

**PENDEKATAN PENILAIAN KANDUNGAN REALITI
MAYA (VR) BERASASKAN ONTOLOGI:
SEBUAH KAJIAN KES DALAM PEMBEDAHAN
BUKU LALI REALITI MAYA**

MOHD YAZID BAJURI

UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA

**PENDEKATAN PENILAIAN KANDUNGAN REALITI MAYA (VR)
BERASASKAN ONTOLOGI: SEBUAH KAJIAN KES DALAM
PEMBEDAHAN BUKU LALI REALITI MAYA**

MOHD YAZID BAJURI

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT
MEMPEROLEHI IJAZAH DOKTOR FALSAFAH**

**INSTITUT INFORMATIK VISUAL
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI**

2024



PERAKUAN TESIS SARJANA / DOKTOR FALSAFAH
(DECLARATION OF MASTER / DOCTOR OF PHILOSOPHY THESIS)

A. MAKLUMAT PELAJAR/STUDENT DETAILS		
Nama <i>Name</i>	Prof. Dr. Mohd Yazid Bajuri	
No. Pendaftaran <i>Registration No.</i>	P94461	
Fakulti/Institut <i>Faculty/Institute</i>	Institut Informatik Visual (IVI)	
Program Pengajian <i>Program of Study</i>	Doktor Falsafah <i>Doctor of Philosophy</i>	
Tajuk Tesis <i>Thesis Title</i>	Pendekatan Penilaian Kandungan Realiti Maya (Vr) Berasaskan Ontologi: Sebuah Kajian Kes Dalam Pembedahan Buku Lali Realiti Maya.	
Mel-e/Email: ezeds007@yahoo.com.my		No. Telefon/Tel.No: 017-277-1000
B. PERAKUAN / DECLARATION		
Merujuk kepada Dasar Harta Intelek UKM 2018, tesis adalah hak milik UKM seperti keterangan dibawah: 4.2.1 Harta Intelek yang direka cipta oleh pelajar termasuk tesis dan semua hasil penyelidikan ditulis oleh Pelajar UKM dalam tempoh pengajiannya di UKM direka cipta, dibangunkan atau dihasilkan menggunakan kemudahan, bahan, dana, atau sumber lain adalah hak milik UKM melainkan dinyatakan sebaliknya dalam Dasar ini atau dipersetujui sebaliknya oleh UKM dan Pelajar/Penaja. <i>Referring to the UKM Intellectual Property Policy 2018, the thesis is the property of UKM as described below:</i> 4.2.1 Intellectual property created by the student, including the thesis and all research output produced by the UKM Student during their studies at UKM, including designed, developed or produced output using facilities, materials, funds, or other resources are the property of UKM unless otherwise stated in this Policy or otherwise agreed by UKM and the Student/Sponsor.		
☐	RAHSIA CONFIDENTIAL	Mengandungi maklumat rahsia di bawah AKTA RAHSIA RASMI 1972 <i>Consisting of classified information under the OFFICIAL SECRETS ACT 1972</i>
☐	TERHAD RESTRICTED	Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi / badan di mana penyelidikan dijalankan <i>Consisting of RESTRICTED information which has been determined by the organisation/body where the research was conducted</i>
☒	AKSES TERBUKA/ TIDAK TERHAD OPEN ACCESS/ NON-RESTRICTED	Saya membenarkan tesis ini diterbitkan secara akses terbuka, teks penuh atau dibuat salinan untuk tujuan pengajian, pembelajaran & penyelidikan sahaja <i>I give permission for this thesis to be published through open access, full text or copied only for study, learning, and research purposes.</i>

Bagi kategori Akses Terbuka/Tidak Terhad, saya membenarkan tesis (Sarjana/Doktor Falsafah) ini di simpan di Perpustakaan Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)* dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

For the Open Access/Non-Restricted category, I permit this (Master's/Doctoral) Thesis to be kept in the Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Library with the following conditions:

1. Perpustakaan UKM mempunyai hak untuk membuat salinan untuk tujuan pengajian, pembelajaran, penyelidikan sahaja.

UKM Library has the right to reproduce the thesis only for study, learning and research purposes.

2. Perpustakaan Universiti Kebangsaan Malaysia dibenarkan membuat satu (1) salinan tesis ini untuk tujuan pertukaran antara institusi pengajian tinggi dan mana-mana badan/ agensi kerajaan, tertakluk kepada terma dan syarat.

UKM Library is allowed to make one (1) copy of this thesis for exchange purposes among higher education institutions and any government body/agency, subject to the terms and conditions.

Saya mengakui maklumat & tesis yang diberikan adalah benar & terkini.

I acknowledge the information & the thesis provided are correct & current.



Tandatangan Pelajar:
Student's Signature

Tarikh / Date: 25/7/2024

Saya memperakukan maklumat & tesis yang diberikan adalah benar & terkini.

I verify that the information & the thesis provided are correct & current.

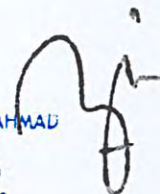
Tandatangan Penyelia / *Supervisor's Signature:*

Nama / Name:

Cop Rasmi / *Official Stamp:*

Tarikh / Date: 30.7.24

PROF. Madya DR. MOHAMMAD NAZIR AHMAD
PENSYARAH & FELO KANAN
Institut Informatik Visual (IVI)
Universiti Kebangsaan Malaysia
mnazir@ukm.edu.my



C. PENGESAHAN FAKULTI/INSTITUT | VERIFICATION OF FACULTY/INSTITUTE

Tandatangan/Signature:

Nama/Name:

Tarikh/Date: 19.8.24

Cop Rasmi/Official Stamp:

PROF. Madya DR. RABIAH ABDUL KADIR
PENGARAH
Institut Informatik Visual (IVI)
Universiti Kebangsaan Malaysia



**Kuatkuasa: 15 Julai 2021

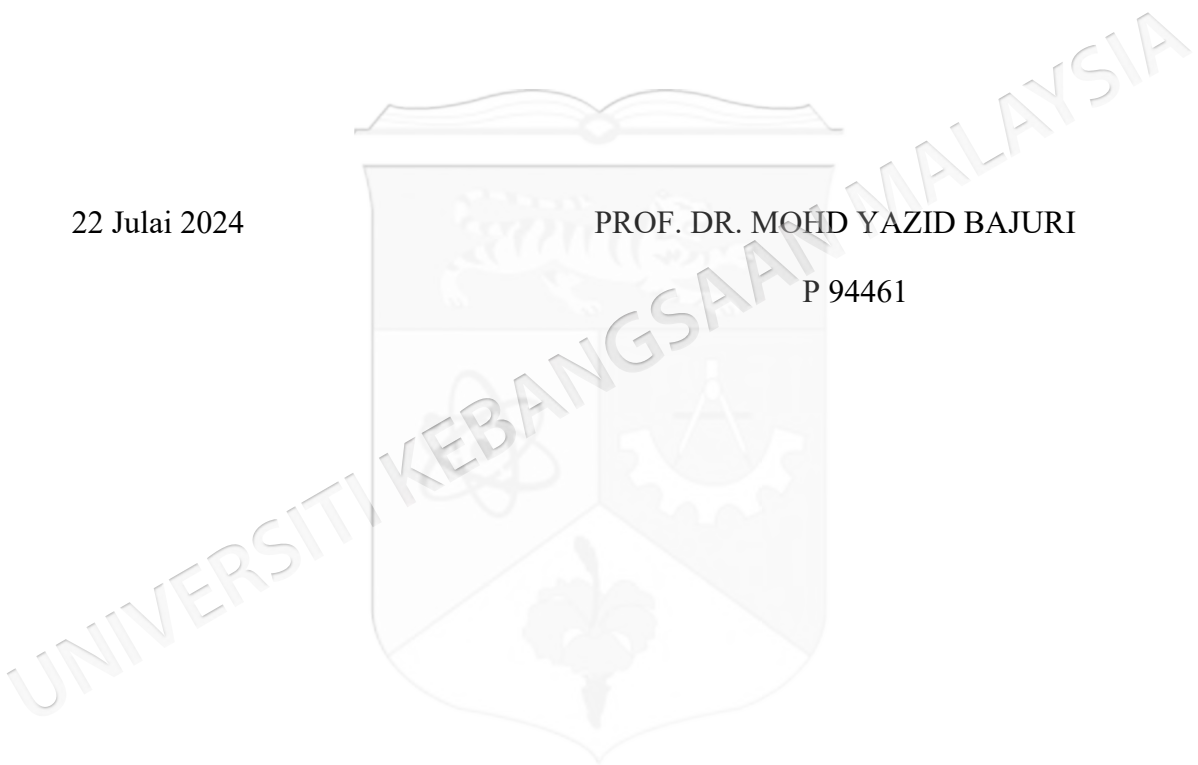
PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

22 Julai 2024

PROF. DR. MOHD YAZID BAJURI

P 94461



PENGHARGAAN

Dengan nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha Mengasihani. Syukur Alhamdulillah dipanjatkan ke hadrat Ilahi kerana dengan rahmat dan izin-Nya, saya dikurniakan kesabaran dan kesihatan yang baik sepanjang perjalanan penyelidikan PhD ini, sehingga tesis ini dapat disempurnakan dengan jayanya.

Setinggi-tinggi penghargaan saya tujukan kepada penyelia utama saya, Prof. Madya Dr. Mohammad Nazir Bin Ahmad @ Sharif, atas peluang yang diberikan untuk menjalankan penyelidikan ini. Terima kasih yang tidak terhingga atas bantuan besar, bimbingan berterusan, teguran membina, dan nasihat yang sangat berguna sepanjang tempoh penyelidikan ini. Bimbingan dan sokongan beliau amat berharga dalam memastikan kejayaan penyelidikan ini.

Saya juga ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) atas peruntukan Dana Inovasi (INOVASI-2018-003) yang telah banyak membantu dari segi kewangan bagi menyempurnakan penyelidikan ini. Tanpa sokongan dana ini, penyelidikan ini mungkin tidak dapat dilaksanakan dengan lancar dan berkesan.

Penghargaan turut saya tujukan kepada pensyarah-pensyarah dan semua kakitangan Institut Informatik Visual yang telah memberikan panduan, nasihat, serta bantuan dalam melancarkan proses penyelidikan ini. Kerjasama dan sokongan mereka sangat dihargai dan telah membantu saya menghadapi cabaran sepanjang penyelidikan ini.

Akhir sekali, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus ikhlas kepada isteri tercinta serta anak-anak serta ahli keluarga dan semua pihak yang telah terlibat dalam menjayakan penyelidikan ini. Sokongan moral, kasih sayang, dan dorongan daripada mereka semua telah menjadi sumber kekuatan dan motivasi saya. Semoga Allah membalas segala kebaikan mereka dengan keberkatan dan rahmat yang berpanjangan.

ABSTRAK

Perubahan teknologi terkini telah merevolusikan banyak perubahan dalam aspek kehidupan manusia. Salah satu revolusi ini adalah teknologi realiti maya, yang telah menarik minat dalam banyak aplikasi seperti pendidikan, hiburan, dan penjagaan kesihatan, termasuk bagaimana pakar bedah menjalankan latihan pembedahan. Walau bagaimanapun, penilaian yang tidak berkesan terhadap mana-mana program latihan pembedahan realiti maya (virtual reality training) boleh menyebabkan pakar bedah dilatih dengan alat yang tidak berkesan atau tidak boleh digunakan. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk membangunkan ontologi yang lengkap serta bersesuaian dengan menggunakan penggantian buku lali (total ankle replacement) sebagai kajian kes, yang boleh digunakan untuk meningkatkan penilaian kandungan latihan pembedahan maya (virtual realiti) dari perspektif pemahaman domain. Ontologi ini mampu menggabungkan konsep-konsep yang dikongsi dari pelbagai domain, termasuk anatomi, fisiologi, biomekanik, dan terminologi perubatan. Ontologi ini digunakan sebagai kaedah untuk menilai kandungan latihan realiti maya, yang dibandingkan dengan kaedah penilaian realiti maya (VR) konvensional. Kaedah penilaian berasaskan OntoAnkle menggabungkan ontologi untuk menilai pengetahuan dan kemahiran pakar bedah dan pelatih berkaitan anatomi buku lali, biomekanik, dan teknik pembedahan. Kaedah penilaian ini merangkumi ukuran objektif dan subjektif, yang disampaikan melalui soal selidik penilaian diri. Hasil kaedah penilaian berasaskan OntoAnkle dibandingkan dengan hasil kaedah penilaian konvensional, yang tidak menggabungkan ontologi domain (OntoAnkle). Hasil kajian menunjukkan kepuasan keseluruhan yang sangat tinggi bagi kedua-dua pelajar (92.27%) dan pakar bedah ortopedik (86.67%). Kajian ini menunjukkan bahawa kaedah penilaian berasaskan OntoAnkle adalah cara yang lebih sistematik dan formal dalam menilai pengetahuan dan kemahiran pakar bedah dan pelatih berkaitan anatomi buku lali, biomekanik, dan teknik pembedahan. Kaedah penilaian berasaskan OntoAnkle juga menyediakan maklum balas yang lebih terperinci dan spesifik, yang boleh membantu pembangun VR dalam melaksanakan penambahbaikan VRT yang relevan. Kajian ini mencadangkan penggunaan penilaian berasaskan OntoAnkle untuk program pendidikan lain dalam domain perubatan, yang boleh mendapat manfaat daripada kaedah penilaian berasaskan ontologi yang mencukupi. OntoAnkle mempunyai potensi untuk memperbaiki penilaian program latihan pembedahan VR secara signifikan, dengan menyediakan ontologi yang mencukupi sebagai metamodel atau rujukan untuk menilai VR yang dicadangkan. Kajian ini juga mempunyai implikasi yang lebih luas untuk pembangunan ontologi dan kaedah penilaian dalam domain perubatan lain. Akhirnya, berasaskan Metodologi Penyelidikan Sains Reka Bentuk (DSRM) sepanjang tesis ini, demonstrasi kaedah penilaian berasaskan OntoAnkle untuk pembedahan buku lali VR yang dibentangkan dalam tesis ini telah menyumbang secara signifikan kepada literatur domain umum dalam kaedah penilaian VR, yang terutamanya yang berkaitan dalam segmentasi kaedah penilaian VR yang berasaskan ontologi.

ABSTRACT

An Ontology based Approach to Virtual Reality (VR) Contents Evaluation: A Case Study in VR Ankle Surgery

The recent changes in technology around us have revolutionized many aspects of the way humans live. Among these revolutions is the virtual reality technology, which has attracted interest in many applications such as education, entertainment, and healthcare, including in how surgeons conduct surgical training. However, ineffective evaluation of any virtual reality surgical training (VRT) program could lead to surgeons being trained in a tool that is not effective or usable. Thus, the current study aims to develop an adequate ontology, using total ankle replacement (TAR) as a case study, which can be used to improve the evaluation of VR surgical training contents from domain understanding perspective. The ontology is able to incorporate shared concepts from various domains, including anatomy, physiology, biomechanics, and medical terminology. The ontology is used as a method to evaluate the virtual reality training contents, which is compared to a conventional VR evaluation method. The OntoAnkle-based evaluation method incorporates the ontology to assess surgeons and trainees' knowledge and skills related to ankle anatomy, biomechanics, and surgical techniques. The evaluation method includes both objective and subjective measures, delivered through self-assessment surveys. The results of the OntoAnkle-based evaluation method are compared to the results of a conventional evaluation method, which does not incorporate the domain ontology (OntoAnkle). The results show a considerably high overall satisfaction for both the students (92.27%) and orthopaedic surgeons (86.67%). The study shows that the OntoAnkle-based evaluation method is a more systematic and formal way in assessing the knowledge and skills of surgeons and trainees related to ankle anatomy, biomechanics, and surgical techniques. The OntoAnkle-based evaluation method also provides more detailed and specific feedback, which can help the VR developers in implementing the relevant VRT improvements. The study proposes the use of OntoAnkle-based evaluation of other educational programs in the medical domain, which can benefit from an adequate ontology-based evaluation method. OntoAnkle has the potential to significantly improve the evaluation of VR surgical training programs, by providing an adequate ontology as a metamodel or reference to evaluate the proposed VR. The study also has broader implications for the development of ontologies and evaluation methods in other medical domains. Finally, rooted in Design Science Research Methodology (DSRM) throughout the thesis, the demonstration of OntoAnkle-based evaluation method for VR Ankle Surgery presented in this thesis makes significant contributions into the general domain of VR evaluation methods literature, which is primarily on the ontology-based VR evaluation method segmentation.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	x
SENARAI SINGKATAN	xiv

BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang Kajian	1
1.2	Motivasi Kajian	5
1.3	Pernyataan Masalah	5
1.4	Persoalan Kajian	7
1.5	Objektif Kajian	7
1.6	Skop Kajian	8
1.7	Rangka Tesis	9
	1.7.1 Bab 1: Pengenalan	9
	1.7.2 Bab 2: Sorotan Kajian	9
	1.7.3 Bab 3: Kaedah Kajian	10
	1.7.4 Bab 4: OntoAnkle untuk Kaedah Penilaian VR	11
	1.7.5 Bab 5: Perbincangan	11
	1.7.6 Bab 6: Pencapaian Kajian, Sumbangan dan Kerja-kerja Masa Hadapan	12
BAB II	SOROTAN KAJIAN	
2.1	Latihan Secara Konvensional dalam Pembedahan	13
2.2	Realiti Maya	20
	2.2.1 Teknologi Realiti Maya	20
	2.2.2 Ciri-ciri Tambahan Realiti Maya	22
	2.2.3 Aplikasi Realiti Maya dalam Pembelajaran dan Pendidikan	23
	2.2.4 Aplikasi Realiti Maya dalam Penjagaan Kesihatan dan Latihan Pembedahan	24

2.2.5	Aplikasi Realiti Maya dalam Domain Pembedahan Ortopedik	26
2.3	Faktor-faktor Kritikal Kejayaan Aplikasi Realiti Maya	34
2.3.1	Faktor-faktor Ciri Realiti Maya	35
2.3.2	Faktor-faktor Realisme	38
2.3.3	Faktor-faktor Kebolegunaan	38
2.3.4	Faktor-faktor Kawalan dan Pembelajaran yang Aktif	39
2.3.5	Faktor-faktor Pelajar	39
2.3.6	Faktor-faktor Hasil Pembelajaran	40
2.3.7	Faktor-faktor Pembatasan	40
2.3.8	Kesimpulan	41
2.4	Kaedah-Kaedah Penilaian Realiti Maya	41
2.4.1	Penilaian Formatif	42
2.4.2	Penilaian Sumatif	45
2.4.3	Soal Selidik	47
2.4.4	Temu Bual	50
2.4.5	Lintas Semak Kognitif	53
2.4.6	Penilaian Heuristik	56
2.4.7	Kesimpulan	59
2.5	Pengenalan kepada Kejuruteraan Ontologi	60
2.5.1	Definisi	60
2.5.2	Jenis-jenis Ontologi	62
2.5.3	Peranan Ontologi	63
2.5.4	Pendekatan Ontologi bagi Penilaian Aplikasi latihan Pembedahan Ortopedik VR	64
2.5.5	Kesimpulan	68
BAB III	KAEDAH KAJIAN	
3.1	Pengenalan	70
3.2	Paradigma-paradigma Kajian dalam Sistem Maklumat	70
3.2.1	Kajian Sains Reka Bentuk dalam Sistem Maklumat	72
3.3	Metodologi Kajian Sains Reka Bentuk	75
3.3.1	Pengenalan Masalah dan Motivasi	77
3.3.2	Penentuan Objektif Penyelesaian	78
3.3.3	Reka Bentuk dan Pembangunan	78
3.3.4	Demonstrasi dan Penilaian	78
3.3.5	Komunikasi	79
3.4	Aplikasi Kajian Reka Bentuk	79

3.4.1	Pengenalan Masalah	80
3.4.2	Penentuan Objektif Penyelesaian	82
3.4.3	Reka Bentuk dan Pembangunan	82
3.4.4	Demonstrasi dan Penilaian	85
3.5	Rumusan	89

BAB IV ONTOANKLE UNTUK KAEDAH PENILAIAN VR ANKLE

4.1	Pengenalan	90
4.2	Reka Bentuk dan Pembangunan OntoAnkle	91
4.2.1	Kaedah-kaedah Pembangunan Ontologi	91
4.2.2	Aplikasi ODM dalam Reka Bentuk dan Pembangunan OntoAnkle	92
4.2.3	Menilai VR Ankle	113
4.3	Penilaian Pembedahan VR Ankle tanpa Instrumen Penilaian terbitan OntoAnkle	120
4.3.1	Pengenalan	120
4.3.2	Kaedah	120
4.3.3	Keputusan	122
4.3.4	Kesimpulan	124
4.4	Penilaian Pembedahan VR Ankle dengan Instrumen Penilaian terbitan OntoAnkle	125
4.4.1	OntoAnkle sebagai Kajian Kes bagi Membina Instrumen Penilaian VR Ankle	125
4.4.2	Aplikasi Instrumen Penilaian VR Ankle untuk Menilai Pembedahan VR Ankle	131
4.4.3	Kaedah	134
4.4.4	Keputusan	138
4.4.5	Rumusan	153

BAB V PERBINCANGAN

5.1	Perbincangan berkaitan Teori	154
5.2	Perbincangan berkaitan Penilaian	158
5.3	Perbincangan berkaitan Prototaip VRAnkle	164
5.4	Limitasi Kajian	166

BAB VI PENCAPAIAN KAJIAN, SUMBANGAN DAN KERJA-KERJA MASA HADAPAN

6.1	Pengenalan	167
6.2	Pencapaian Kajian	167

6.3	Sumbangan Kajian	169
6.3.1	Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk	169
6.3.2	Kaedah Penilaian VR berasaskan Ontologi	172
6.3.3	OntoAnkle	174
6.3.4	VR Ankle	176
6.3.5	Impak pada Latihan dan Pendidikan dalam Konteks Ortopedik	177
6.3.6	Impak-impak Lain	179
6.4	Kesimpulan dan Kerja-kerja Masa Hadapan	180
6.4.1	Kesimpulan	180
6.4.2	Kerja-kerja Masa Hadapan	181
6.5	Kesimpulan	183
RUJUKAN		185
LAMPIRAN		
Lampiran A	Soal Selidik Kajian	202
Lampiran B	Senarai Penerbitan	218
Lampiran C	Senarai Harta Intelek	225

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
Jadual 2.1	Skala penilaian heuristic evaluation yang dibangunkan dalam kajian berbeza	58
Jadual 3.1	Output Kajian Reka Bentuk	72
Jadual 3.2	Artifak DSR yang dihasilkan dalam tesis ini	82
Jadual 3.3	Rumusan pendekatan penilaian yang telah diambil	85
Jadual 4.1	OSRD latihan pembedahan VR TAR	93
Jadual 4.2	Glosari istilah yang telah disahkan	97
Jadual 4.3	Pengkategorian konsep berkaitan <i>endurant</i> dan <i>perdurant</i> ontologi OntoAnkle	98
Jadual 4.4	Konsep <i>Endurant</i> dan definisi	100
Jadual 4.5	Konsep <i>Perdurant</i> dan definisi	102
Jadual 4.6	Soalan untuk pelajar perubatan bagi mendapatkan maklum balas tentang kandungan kursus.	121
Jadual 4.7	Soalan maklum balas untuk pakar bedah ortopedik mengenai modul VR	122
Jadual 4.8	Pertanyaan-pertanyaan berdasarkan ontologi untuk pelatih dan pakar ortopedik kanan	137
Jadual 5.1	Senarai perisian dan perkakas yang digunakan oleh VRAnkle	164

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
Rajah 1.1	Diagram strategi kajian.	10
Rajah 2.1	Prosedur arthroskopi buku lali.	16
Rajah 2.2	Osteotomi buku lali	16
Rajah 2.3	Peletakan blok reseksi tibial	17
Rajah 2.4	Potongan tibial	17
Rajah 2.5	Pemotongan talar.	18
Rajah 2.6	Pemeriksaan penjajaran dan kestabilan	18
Rajah 2.7	Peletakkan blok pemotongan talar	18
Rajah 2.8	Pemotongan medial, lateral dan posterior talus	19
Rajah 2.9	Penyingkiran kapsul dorsal	19
Rajah 2.10	Sisipan trial talus	19
Rajah 2.11	Artroskopi bahu	31
Rajah 2.12	Artroskopi lutut	31
Rajah 2.13	Peletakan skru pedikel	32
Rajah 2.14	Prosedur pemulihan aci tibial patah dengan kaedah “ <i>intramedullary nailing</i> ”.	33
Rajah 2.15	<i>Hemiarthroplasty</i> dan <i>total hip arthroplasty</i>	33
Rajah 2.16	Osteotomi tibial tinggi	34
Rajah 2.17	Reseksi tumor dalam femur	34
Rajah 2.18	CSFs dalam domain ortopedik	37
Rajah 2.19	Jenis-jenis kaedah penilaian VR yang berbeza	43
Rajah 2.20	Klasifikasi ontologi dan lapisannya berdasarkan tahap abstraksi	62
Rajah 2.21	Peranan-peranan dan fungsi-fungsi ontologi	66
Rajah 3.1	Rangka Kerja Kajian Sistem Maklumat	71

Rajah 3.2	Aktiviti Rangka Kerja bagi Kajian Sains Reka Bentuk	74
Rajah 3.3	Komponen Teori-teori Utiliti dan Hipotesis.	75
Rajah 3.4	Tujuh Garis Panduan dalam Sains Reka Bentuk	76
Rajah 3.5	Model Proses Metodologi Kajian Sains Reka Bentuk	77
Rajah 3.6	Pendekatan Berpanduan Reka Bentuk Dan Pembangunan	81
Rajah 4.1	Hubungan hierarki antara individu yang terlibat dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali	104
Rajah 4.2	Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi kulit	105
Rajah 4.3	Perdurant hirisan kulit	105
Rajah 4.4	Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi tendon	106
Rajah 4.5	Perdurant hirisan tendon	107
Rajah 4.6	Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi tibial	107
Rajah 4.7	Perdurant pemotongan tulang tibial	108
Rajah 4.8	Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi tulang talar	109
Rajah 4.9	Perdurant pemotongan tulang talar	109
Rajah 4.10	Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan penempatan implan	110
Rajah 4.11	Perdurant peletakan implan	111
Rajah 4.12	Diagram OntoUML yang dibina untuk OntoAnkle	112
Rajah 4.13	Persekitaran menyerupai wad ortopedik UKM	114
Rajah 4.14	Ruangan persediaan pra pembedahan	115
Rajah 4.15	Menu utama VRAnkle	116
Rajah 4.16	Langkah hirisan kulit	117
Rajah 4.17	Langkah peletakan blok pemotong tibia	118
Rajah 4.18	Langkah peletakan perenggang	118

Rajah 4.19	Langkah peletakan implan	119
Rajah 4.20	Langkah mengskrukan implan ke tulang	119
Rajah 4.21	Peratusan kepuasan untuk keseluruhan pelajar perubatan dan pakar bedah ortopedik berkenaan kandungan kursus	123
Rajah 4.22	Peratusan kepuasan pelajar perubatan berdasarkan domain soal selidik	123
Rajah 4.23	Peratusan kepuasan pakar bedah ortopedik	124
Rajah 4.24	Sesi penilaian dengan pakar bedah baru.	136
Rajah 4.25	Peratusan maklum balas kepuasan keseluruhan diantara pakar bedah kanan dan pelatih melalui penilaian dengan OntoAnkle	139
Rajah 4.26	Peratusan kepuasan terhadap ciri-ciri realiti maya dalam program pembedahan VRAnkle.	141
Rajah 4.27	Peratusan kepuasan terhadap persepsi kegunaan program latihan pembedahan VRAnkle.	143
Rajah 4.28	Peratusan kepuasan terhadap faktor-faktor pelajar yang mempengaruhi hasil program latihan VRAnkle.	145
Rajah 4.29	Peratusan kepuasan terhadap faktor-faktor hasil pembelajaran program latihan VRAnkle.	146
Rajah 4.30	Peratusan kepuasan terhadap faktor-faktor pembatasan program latihan VRAnkle.	148
Rajah 4.31	Peratusan kepuasan terhadap komponen-komponen endurant program latihan VRAnkle.	150
Rajah 4.32	Satisfaction percentage on endurant component of total ankle surgery evaluation with OntoAnkle.	152
Rajah 6.1	Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk	170
Rajah 6.2	Kedudukan penilaian berdasarkan OntoAnkle dalam DSRKCF	173
Rajah 6.3	Kedudukan ontologi domain OntoAnkle dalam DSRKCF	175
Rajah 6.4	Kedudukan VR Ankle dalam DSRKCF	177

SENARAI SINGKATAN

CQ	Soalan Kecekapan
CSF	Faktor Kejayaan Kritikal
DEMO	Kaedah Reka Bentuk & Kejuruteraan untuk Organisasi
DSR	Kajian Sains Reka Bentuk
DSRKCF	Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk
DSRM	Kaedah Penyelidikan Sains Reka Bentuk
HMD	Paparan dipasang pada Kepala
IS	Sistem Informasi
KAST	Knee Arthroscopy Surgical Trainer
ODM	Kaedah Pembangunan Ontologi
OSRD	Dokumen Spesifikasi Keperluan Ontologi
TAR	Penggantian Keseluruhan Buku Lali
UFO	Unified Foundational Ontology
UML	Unified Modeling Language
VR	Realiti Maya
VRT	Latihan Realiti Maya

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG KAJIAN

Pada masa kini, teknologi di sekeliling kita telah berevolusi dengan begitu hebat yang secara dasarnya telah mengubah gaya kehidupan kita, seperti belajar dan cara berkomunikasi antara satu sama lain. Sehingga tahap ini, ruang lingkup, kekompleksan, dan transformasi akan sangat berbeza dengan segala apa yang pernah dihadapi oleh manusia sebelum ini. Walau bagaimanapun, adalah penting agar teknologi diintegrasikan dengan baik bersama dengan semua pihak berkepentingan yang berkaitan bagi memastikan ketuntasan dan keberkesanan teknologi tersebut. Revolusi ini dilakukan terutamanya bagi mewujudkan teknologi-teknologi baharu yang dapat menyediakan perkhidmatan-perkhidmatan dan produk-produk terkini bagi memudahkan kehidupan kita. Trend perkembangan perkhidmatan-perkhidmatan utama, terutamanya dalam sektor makanan dan minuman dan pengangkutan kendalian jarak jauh, telah mewujudkan norma baharu dalam kehidupan (Clarke 2021; Schwab 2016) adalah merupakan hasil dorongan oleh pembangunan teknologi realiti maya atau *virtual reality technology*.

Realiti maya atau *virtual reality* (VR) ditakrifkan sebagai persekitaran dijana oleh komputer yang mensimulasikan pengalaman pengguna melalui deria dan daya tanggapan (Benferdia et al. 2023; Riva & Wiederhold 2002). Selain itu istilah "realiti maya" menggabungkan konsep "maya" dan "realiti." "Maya" bermaksud hampir atau hampir benar, sementara "realiti" merujuk kepada pengalaman dan persekitaran yang dihadapi oleh manusia. Oleh itu, realiti maya boleh difahami sebagai "hampir realiti" (Anon. 2017).

Secara teknikal, realiti maya digambarkan sebagai "persekitaran tiga dimensi yang dihasilkan oleh komputer yang boleh diterokai dan berinteraksi oleh seseorang. Individu tersebut menjadi sebahagian daripada dunia maya atau tenggelam dalam persekitaran ini dan, ketika berada di sana, boleh memanipulasi objek atau melakukan pelbagai tindakan" (Anon. 2017).

Ia semakin menarik minat ramai penyelidik dalam beberapa domain-domain aplikasi seperti media sosial, pendidikan, warisan budaya, hiburan, sukan, penjagaan kesihatan, dan yang paling penting adalah dalam latihan pembedahan (Slater & Sanchez-Vives 2016). Persekitaran VR yang mengasyikkan boleh menjadi begitu realistik seperti yang terdapat dalam dunia sebenar atau fantasi, yang memberikan pengalaman yang tidak mungkin terjadi dalam realiti fizikal yang normal.

Dalam penjagaan kesihatan, latihan pembedahan boleh dilakukan melalui teknologi realiti maya. Walaupun latihan realiti maya (*virtual reality training* – VRT) bukanlah satu konsep yang baharu dalam domain pembedahan, namun pembangunan aplikasi VR dalam disiplin-disiplin latihan pembedahan masih belum matang sepenuhnya lagi. Perkara ini dapat dilihat dengan jelas terutama dalam domain pembedahan ortopedik yang kekurangan aplikasi-aplikasi VR yang canggih. Lantaran kerumitan prosedur pembedahan ortopedik, mereka bentuk aplikasi bagi prosedur tersebut adalah agak sukar dilakukan, apatah lagi untuk membangunkan kaedah penilaian yang sewajarnya untuk aplikasi VR (Jud et al. 2020). Oleh yang demikian, kebanyakan kajian yang melibatkan aplikasi VRT ortopedik, adalah bergantung kepada penilaian daripada kemahiran yang diperolehi sebagai penunjuk tidak langsung keberkesanan untuk aplikasi VRT, dan bukannya tertumpu kepada penilaian aplikasi atau simulator itu sendiri (Clarke 2021; Jud et al. 2020; Rebolledo et al. 2015). Oleh itu, terdapat kekurangan andal/jurnal dalam kajian penilaian VR yang memfokuskan kepada penilaian aplikasi VR untuk domain pembedahan ortopedik. dalam kes penggantian buku lali secara keseluruhan, tidak terdapat satu pun kajian yang berkaitan dengan penilaian aplikasi VR pada masa ini. Situasi ini sebenarnya menunjukkan betapa kurangnya pembangunan VRT untuk domain pembedahan ortopedik.

Memandangkan kebergantungan pada VR akan berkembang apabila pelatih mendapat pendedahan kepada latihan secara digital berbanding latihan secara konvensional dengan melakukan eksperimen dalam makmal, faktor-faktor yang menyebabkan sukar implementasi VRT hendaklah dikenal pasti. Setelah mengenal pasti permasalahan, faktor-faktor kritikal kejayaan atau *critical success factors* (CSF) dapat ditentukan bagi menjadi garis panduan untuk membangunkan mekanisme penilaian VR yang berkemahiran tinggi untuk menilai aplikasi VR semasa fasa penilaian. Antara CSF, kebanyakan faktor-faktor yang dikenal pasti seperti faktor-faktor ciri VR, faktor-faktor kebergunaan dan faktor-faktor pembatasan, adalah didapati berkaitan dengan kaedah penilaian VR yang tidak betul, menghasilkan keputusan yang berat sebelah serta salah yang boleh mengakibatkan kegagalan dalam aplikasi VR (Cooper et al. 2021; Sholihin et al. 2020; Su 2018). Oleh itu, satu mekanisme (kaedah) penilaian yang sewajarnya bagi memastikan pembangunan VR dapat dinilai dengan baik sebelum digunakan oleh pengguna akhir adalah diperlukan. Terdapat banyak perspektif atau pendekatan mengenai penilaian VR yang perlu diteliti dan dikaji semula.

Oleh itu, secara amnya dengan memfokuskan kepada perspektif penilaian VRT, dan secara khususnya VRT dalam domain pembedahan ortopedik, adalah penting untuk menghasilkan mekanisme baharu bagi menilai VRT. Mekanisme penilaian baharu haruslah berupaya untuk membimbing pihak berkepentingan bagi menilai VRT secara bersepadu, pemahaman yang konsisten, dan berasaskan domain pengetahuan yang didapati dengan jelas berdasarkan realiti, yang mana dalam kes ini kami menggunakan pembedahan buku lali sebagai kajian kes. Oleh yang demikian, mekanisme perwakilan pengetahuan seperti pendekatan ontologi dikenal pasti sebagai alat yang utama bagi menyampaikan, menstruktur dan menggambarkan pengetahuan yang dapat membantu atau memberi panduan pihak berkepentingan bagi menilai pembangunan VRT. Ontologi merupakan mekanisme penyampaian yang berpotensi atau sesuai sebagai satu lagi pendekatan yang lebih baik bagi menilai VR yang dibangunkan. Dengan kata lain, permasalahan yang dinyatakan di atas dapat disingkirkan dengan menggunakan pendekatan ontologi, sebagai contoh bagi menilai kandungan dan struktur aplikasi VR yang dibangunkan. Hal ini kerana ontologi boleh menjadikan andaian domain menjadi lebih jelas, membantu penstrukturan pengetahuan dan definisi-definisi yang kompleks,

membantu perkongsian pengetahuan dan komunikasi serta membolehkan pengintegrasian maklumat (Marques et al. 2021; Noy & McGuiness 2001).

Berlandaskan pernyataan misi secara am iaitu memperkenalkan: “Pendekatan atau kaedah penilaian berasaskan ontologi untuk VRT”, dalam kajian ini, penyelidik menggunakan contoh atau kes pembedahan buku lali. Domain ontologi untuk pembedahan buku lali iaitu nama secara ringkasnya ialah OntoAnkle, telah pun dibangunkan (rujuk Bab IV). OntoAnkle berpotensi membawa semua komponen spesifikasi pembedahan buku lali di bawah satu rujukan pengetahuan yang tunggal. Konsep-konsep dan hubungan-hubungan domain diformalkan dan diseragamkan dengan jelas dengan membolehkan konsistensi secara automatik, semakan pematuhan, dan pengestrakan maklumat. Penggunaan semula pengetahuan memudahkan perkongsian pengetahuan dan membolehkan penstrukturan definisi-definisi yang kompleks agar kefahaman bersama dapat dicapai. Peranan ini menjadikan OntoAnkle sebagai satu rujukan utama yang dapat membantu pihak berkepentingan berpotensi menilai kualiti VRT yang dibangunkan (contoh, pembedahan buku lali secara VR). Oleh yang demikian, kajian ini mencadangkan perspektif baharu bagaimana pendekatan secara ontologi boleh digunakan dengan cara yang betul bagi menilai VRT yang menggunakan OntoAnkle sebagai artifak reka bentuk dan contoh kajian kes.

OntoAnkle direka bentuk dan dibangunkan berdasarkan akar umbi falsafah yang merupakan asas ontologi, iaitu Unified Foundational Ontology (UFO), dan Design & Engineering Methodology for Organizations (DEMO). OntoAnkle akan berupaya membantu penilaian kandungan-kandungan dan struktur-struktur VR Ankle dengan efektif yang mana VRT dapat diterima dengan jayanya dalam konteks domain pembedahan ortopedik. Pada lazimnya, kajian ini dapat menyumbang kepada penyelidikan secara umum dalam kaedah penilaian VRT berasaskan ontologi, dan menyediakan pendekatan penilaian yang sistematik dalam pembangunan domain ontologi yang lebih berasas iaitu OntoAnkle dan khususnya dalam domain pembedahan ortopedik.

1.2 MOTIVASI KAJIAN

Kebanyakan kaedah penilaian semasa untuk aplikasi VR dalam domain pembedahan ortopedik adalah lebih tertumpu kepada penilaian pemerolehan kemahiran dan prestasi latihan oleh pelatih. Antara pilihan lain selain melaksanakan penilaian konfigurasi ke atas aplikasi VR atau simulator, kebanyakan kajian menggunakan prestasi pelatih sebagai penunjuk sama ada aplikasi tersebut berkesan dalam latihan pembedahan yang dijalankan (Spiliotis, Spiliotis & Palios, 2020; Rebolledo et al. 2015; Tay 2014; Cannon et al. 2014; Frank et al. 2014). Sehingga kini, hanya terdapat satu kajian yang berkaitan dengan ortopedik yang mengambil kira metrik-metrik simulator seperti jarak kamera, jarak penjelajahan, ketakrataan kamera, dan ketakrataan semasa eksplorasi prob, sebagai sebahagian daripada sistem penilaian digabungkan bersama dengan prestasi pelatih sebagai pengesahsahihan untuk simulator artroskopi lutut yang dinamakan ARTHRO Mentor. Namun begitu, keseluruhan hasil kajian tertumpu kepada prestasi latihan yang dilakukan (Jacobsen et al. 2015) memandangkan prestasi latihan tidak memberikan penunjuk yang tepat untuk menjamin keberkesanan aplikasi VR (Ragan et al. 2015) kerana kurangnya kajian yang memberi tumpuan kepada penilaian aplikasi VR dalam domain pembedahan ortopedik yang boleh diyakini. Khususnya dalam kes pembedahan buku lali, sehingga kini tiada sebarang penerbitan yang membincangkan penilaian aplikasi VR dalam kes ini.

Berteraskan objektif bagi mencadangkan kaedah penilaian yang bersesuaian untuk pembedahan ortopedik VRT, tesis ini akan menumpukan kajian kepada isu kandungan-kandungan dan struktur yang mempunyai hubungan dengan penilaian VRT dalam domain berkaitan serta domain-domain lain. Ia akan merapatkan lagi jurang yang berkaitan dengan masalah-masalah yang telah dikenal pasti daripada kaedah penilaian VR terkini seperti isu subjektiviti. Ontologi telah dipilih sebagai jalan penyelesaian untuk merapatkan jurang yang sedia ada dengan rekaan model domain yang sewajarnya bagi menyokong penilaian VRT dalam pembedahan buku lali.

1.3 PERNYATAAN MASALAH

Persoalan utama dan masalah kajian yang akan dibincangkan dalam kajian ini adalah seperti berikut:

- i) Masalah 1: Kurangnya pemahaman yang andal/kohesif mengenai kandungan-kandungan VRT di kalangan pihak berkepentingan semasa penilaian.

Setelah pembangunan isi kandungan VRT, ia perlu dinilai. Kefahaman yang andal berkenaan VRT yang dibangunkan di kalangan pihak berkepentingan adalah amat penting. Tiada pengetahuan, ketidakfahaman, dan interpretasi yang salah boleh memberikan impak negatif yang besar terhadap kos, masa dan kejayaan implementasi sesebuah projek. ***Oleh itu, bagaimanakah untuk membimbing kefahaman mengenai isi kandungan VRT di kalangan pihak berkepentingan?***

- ii) Masalah 2: Kurangnya pemahaman dan pengetahuan mengenai domain yang komprehensif untuk penilaian VRT

Masalah biasanya timbul ketika penerangan tugas yang terlibat dalam persekitaran maya dengan cara yang lebih komprehensif, sistematik, dan mendidik dengan menggunakan alatan VR. Mendapatkan pengetahuan pakar tentang tahu-bagaimana dan tahu-apa adalah sangat penting bagi penilaian VRT.

- iii) Masalah 3: Kekurangan model domain sebagai rujukan bagi menilai VRT.

Model ini berfungsi sebagai konteks umum untuk pihak berkepentingan membina model khusus aplikasi mereka sendiri bagi penilaian VRT. Ia berfungsi sebagai satu hala tuju (*roadmap*) bagi memahami medan dan penyaringan maklumat yang diperlukan untuk proses penilaian.

- iv) Masalah 4: Kerumitan dan kekurangan panduan bagi penilaian VRT

Oleh kerana kebergantungan proses penilaian kepada pengetahuan yang luas, proses penilaian mengambil masa yang lama dan sukar. Akibatnya, pengguna mungkin akan hilang panduan semasa menyelesaikan tugas yang dikhaskan dalam persekitaran maya semasa proses penilaian. Mereka perlu mempunyai pengetahuan yang jelas mengenai VRT yang digunakan. ***Bagaimanakah proses penilaian boleh diperbaiki menggunakan ontologi dan bagaimana ia boleh membantu dalam menstrukturkan pengetahuan dan definisi-definisi yang diperlukan dalam penilaian?***

Kajian ini menggunakan pendekatan ontologi untuk menangani masalah yang telah dinyatakan sebelum ini. Ontologi ini diperincikan agar ia boleh digunakan untuk menilai aplikasi VRT yang berlainan dalam domain ortopedik. Matlamat utama tesis ini adalah untuk mencadangkan kaedah penilaian VR menggunakan ontologi yang dapat dimanfaatkan oleh penilai merentasi pelbagai aspek dalam domain ortopedik.

1.4 PERSOALAN KAJIAN

Tesis ini adalah bertujuan mewujudkan pemahaman bersama bagaimana mereka bentuk model domain sewajarnya dengan memberikan penekanan yang khusus penggunaan VRT dalam pembedahan penggantian buku lali dalam aspek isi kandungan dan struktur agar dapat menambah kemahiran pihak berkepentingan. Oleh itu, kajian ini bertujuan menyiasat persoalan kajian seperti berikut:

- i) Soalan utama kajian: ***Bagaimana untuk mencadangkan kaedah penilaian yang betul bagi mengesahkan VRT?*** Berdasarkan kajian kes pembedahan buku lali dan juga contoh, subsoalan berikut perlu dirungkai:
 - a) Apakah faktor-faktor kritikal kejayaan atau *critical success factors* (CSFs) bagi memastikan implementasi VRT berjaya dalam domain pembedahan ortopedik?
 - b) Bagaimanakah kita dapat mereka bentuk domain ontologi yang bersesuaian bagi menilai VRT dalam pembedahan buku lali?
 - c) Bagaimanakah kita dapat menggunakan domain ontologi bagi menilai VRT dalam pembedahan buku lali?

1.5 OBJEKTIF KAJIAN

Selaras dengan pernyataan masalah, objektif keseluruhan penyelidikan adalah untuk mereka bentuk dan membangunkan domain ontologi yang berasas serta bersesuaian bagi menyokong penilaian VRT dalam domain pembedahan buku lali ortopedik. Bagi merealisasikan matlamat ini, adalah penting agar objektif-objektif berikut tercapai:

- i. Bagi mengenal pasti CSFs untuk VRT dalam konteks domain pembedahan ortopedik
- ii. Bagi mereka bentuk domain ontologi yang bersesuaian bagi menilai VRT dalam pembedahan buku lali
- iii. Bagi mendemonstrasi kegunaan kaedah penilaian VRT yang berpandukandomain ontologi yang telah dicadangkan dalam pembedahan buku lali

1.6 SKOP KAJIAN

Berdasarkan isu-isu kajian yang telah dibincangkan sebelum ini, kajian ini adalah terhad kepada reka bentuk ontologi latihan berasaskan VR dalam domain ortopedik. Selain itu, memandangkan terdapat banyak aplikasi ortopedik dan CSFs, ontologi ini dibangunkan khusus bagi pembedahan buku lali sebagai kes pembedahan ortopedik. Ia memberi tumpuan kepada bagaimana ontologi boleh direka bentuk, dibangunkan dan bersesuaian dengan domain, yang kemudiannya boleh digunakan untuk menilai VRT dalam pembedahan buku lali. Ontologi yang dikehendaki dalam penyelidikan ini mungkin tidak meliputi semua CSFs ortopedik tetapi boleh diperluaskan lagi pada masa hadapan. Dalam kajian ini, ia hanya memfokuskan kepada faktor yang berkaitan dengan isu kaedah atau pendekatan penilaian VRT yang boleh menyebabkan kegagalan VRT.

Mereka bentuk ontologi untuk VRT memerlukan metodologi pembangunan ontologi yang mantap, yang ditakrifkan dengan baik dan di bawah metodologi yang telah dikaji dengan terperinci seperti Penyelidikan Sains Reka Bentuk atau *Design Science Research* (DSR). Oleh kerana ontologi adalah sejenis artifak reka bentuk, kajian ini mengguna pakai DSR yang berteraskan metodologi pembangunan ontologi yang dicadangkan oleh Ahmad dan rakan-rakannya (Sattar et al. 2021; Youcef, Ahmad & Mustapha, 2021; Ahmad et al. 2018; Ahmad et al. 2012).

Tumpuan utama artifak kajian ini adalah 'kaedah' (Kaedah Penilaian VRT) yang dinilai bagi kepraktisan aplikasinya dalam menilai VRT yang dibangunkan. Doktor ortopedik (pakar dan pelajar perubatan) dari hospital UKM dan pembangun VR akan terlibat sebagai pihak berkepentingan dalam peringkat penilaian tesis, menggunakan

ontologi sebagai "kaedah" untuk menilai pembedahan buku lali VRT, khususnya, dan untuk generalisasi domain pengetahuan dalam kaedah penilaian VRT dalam pengertian umum bidang teknologi maklumat dan komunikasi atau ringkasnya ICT.

1.7 RANGKA TESIS

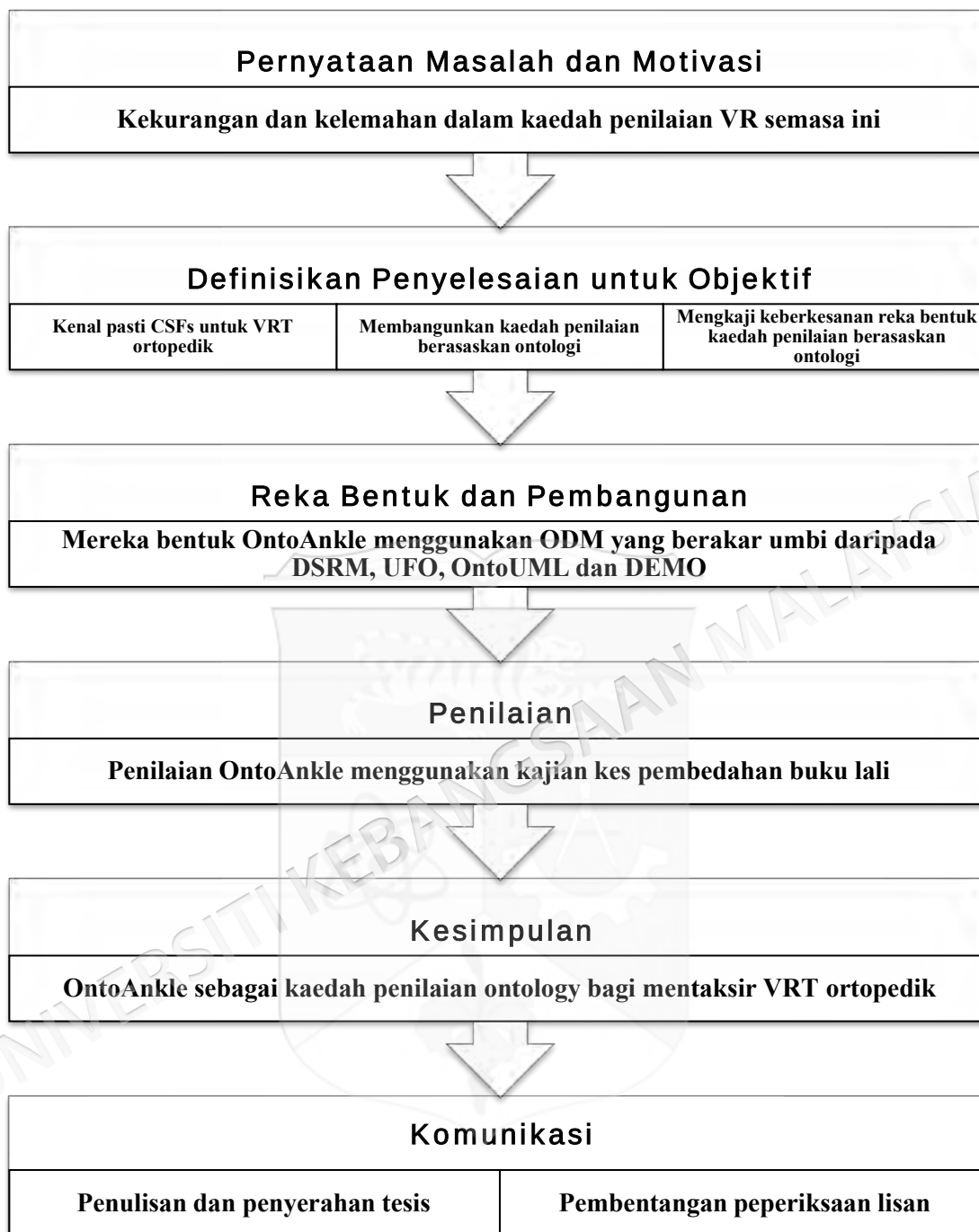
Tesis ini disusun kepada enam bab. Kesemua bab adalah saling berkaitan antara satu sama lain. Butiran ringkas untuk setiap bab seperti berikut. Rajah 1.1 menunjukkan diagram strategi kajian tesis ini.

1.7.1 Bab 1: Pengenalan

Komponen utama tesis dibentangkan dalam bab ini merangkumi latar belakang kajian, motivasi kajian, pernyataan masalah, pengenalpastian persoalan dan objektif kajian, skop kajian dan rangka tesis.

1.7.2 Bab 2: Sorotan Kajian

Dalam bab ini, empat bidang utama dikaji semula secara kritis iaitu pembedahan, ortopedik, VR dan kaedah penilaian VR. Empat bahagian utama diterangkan dalam sorotan kajian. Bahagian pertama membentangkan gambaran ringkas mengenai latihan pembedahan tradisional dalam domain ortopedik am dan domain buku lali khusus. Bahagian kedua mentakrifkan secara ringkas ciri-ciri domain VR serta klasifikasinya. Bahagian ketiga menjawab objektif penyelidikan pertama dengan menjalankan sorotan kajian bersistematik atau *systematic literature review* (SLR) untuk lebih mengenalpasti CSFs untuk VRT dalam domain ortopedik. Bahagian keempat memberikan gambaran keseluruhan yang mendalam tentang kaedah penilaian VR semasa yang digunakan dalam domain yang berbeza termasuk ortopedik. Mendapatkan gambaran keseluruhan tentang teknologi terkini dalam aspek penilaian VRT yang merupakan matlamat sorotan kajian ini. Bab ini dapat membantu mengenal pasti jurang pemisah dalam sistem penilaian sedia ada untuk aplikasi VRT dalam domain pembedahan ortopedik, mempelajari secara teori bagaimana ontologi boleh digunakan sebagai alat penilaian VR secara umum dan akhir sekali, bagaimana alat ini boleh memainkan peranan penting sebagai jalan penyelesaian untuk menangani jurang pemisah bagi menilai VRT dalam domain ortopedik.



Rajah 1.1 Diagram strategi kajian. VR – Virtual Reality; CSF – Critical Success Factor; VRT – Virtual Reality Training; DSRM – Design Science Research Methodology; UFO – Unified Foundational Ontology; UML – Unified Modeling Language; DEMO – Design Engineering Methodology for Organization.

1.7.3 Bab 3: Kaedah Kajian

Bab 3 memberikan penerangan mengenai pembangunan ontologi sebagai satu model konseptual istimewa yang merupakan produk akhir kejuruteraan ontologi. Bab ini juga

menjelaskan lagi dakwaan bahawa pembangunan ontologi adalah bersesuaian dengan DSRM. dalam Bab 3, DSRM diteliti, dikemukakan dan seterusnya diguna pakai sebagai metodologi penyelidikan untuk penyelidikan ini. Metodologi pembangunan ontologi digambarkan berakar umbi dalam DSRM dan dijelaskan juga dengan lebih terperinci dalam bab ini.

1.7.4 Bab 4: OntoAnkle untuk Kaedah Penilaian VR

Pembangunan instrumen bagi menilai latihan pembedahan VR yang menggunakan pembedahan buku lali sebagai kajian kes merupakan matlamat utama dalam bab ini. Pengetahuan penstrukturan mengenai domain pembedahan buku lali adalah sorotan kajian yang penting dalam domain ortopedik. Pengetahuan berkenaan perkara yang wujud dalam domain ini (contoh. anatomi, alat pembedahan) diperolehi dengan menggunakan metodologi pembangunan ontologi yang dibentangkan dalam Bab 3. OntoUML bertindak sebagai bahasa pemodelan yang direka berdasarkan UFO akan digunakan untuk mewakili ontologi yang telah teruji keupayaannya.

Cabaran paling utama dalam membangunkan sesuatu yang berdaya tahan adalah kekurangan kajian yang membincangkan mengenai pembangunan ontologi yang berdaya tahan dalam bidang sistem maklumat. Dalam tesis ini, pendekatan oleh Colomb dan Ahmad (2010) dikaji dan diaplikasikan untuk membina ontologi berdaya tahan yang dapat memberikan maklumat yang banyak mengenai mekanisme dan semantik. Oleh itu, bagi memastikan ketahanan pembangunan dalam domain pembedahan ortopedik, keperluan untuk menggunakan OntoUML dan sistem Metodologi Kejuruteraan Reka Bentuk untuk Organisasi atau Design Engineering Methodology for Organization (DEMO), akan dapat membantu menambahkan lagi daya ketahanan ontologi yang telah dicadangkan dalam bab sebelumnya.

1.7.5 Bab 5: Perbincangan

Bab ini terdiri daripada perbincangan dan kelemahan kajian. Bahagian Perbincangan dalam konteks penyelidikan ini adalah di mana dapatan kajian ditafsirkan, diberikan konteks, dan dibandingkan dengan pengetahuan sedia ada. Bab ini membolehkan penerokaan implikasi dapatan, menyelidik mekanisme yang mungkin berada di sebalik

dapatan, membincangkan hasil yang tidak dijangka, dan mencadangkan hala tuju untuk penyelidikan lanjut.

Manakala, bahagian Kelemahan adalah tempat di mana sebarang batasan atau kelemahan dalam kajian ini yang mungkin boleh mempengaruhi kebolehpercayaan atau kebolehgeneralisasian dapatan dinyatakan. Ini termasuk faktor seperti kelemahan metodologi, masalah saiz sampel, bias, atau kekangan lain yang mungkin boleh mempengaruhi dapatan kajian. Dengan mengenal pasti dan membincangkan kelemahan secara terbuka, penyelidikan masa depan boleh dirancang dengan lebih sistematik dan berstrategi.

1.7.6 Bab 6: Pencapaian Kajian, Sumbangan dan Kerja-kerja Masa Hadapan

Bab ini akan menumpukan sepenuhnya bagi membentangkan ringkasan pencapaian penyelidikan, sumbangan kepada bidang dan hala tuju kerja-kerja masa hadapan. Kerangka yang digunakan untuk mengetengahkan pencapaian dan sumbangan kajian dikenali sebagai Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk (*Design Science Research Knowledge Contribution Framework – DSRKCF*). Setiap artifak yang dihasilkan dikategorikan mengikut DSRKCF, jesteru memberi konteks keatas pencapaian dan sumbangan masing-masing.

BAB II

SOROTAN KAJIAN

2.1 LATIHAN SECARA KONVENSIONAL DALAM PEMBEDAHAN

Pembedahan merupakan prosedur perubatan yang penting berfungsi untuk menyelamatkan nyawa pesakit. Kajian epidemiologi baru-baru ini mendedahkan kesilapan perubatan menjadi salah satu punca kematian biasa di AS (James 2013). Pendedahan ini menekankan betapa pentingnya menyediakan pelatih bagi tugas masa depan mereka sebagai pakar bedah yang cekap dan bertanggungjawab untuk menyelamatkan nyawa pesakit. Satu ketika dahulu, pakar bedah biasanya akan dilatih dalam latihan praktikal berasaskan makmal ke atas pesakit atau mayat sebenar untuk memupuk rasa tanggungjawab dan rasa hormat mereka terhadap kehidupan dengan harapan dapat mengurangkan kadar kematian pesakit akibat daripada prosedur pembedahan (Carter 1952). Walaupun latihan praktikal ini berkesan dalam menanam rasa tanggungjawab dan keyakinan mereka, namun kekurangan sumber untuk latihan seperti mayat dan kebimbangan etika untuk keselamatan pesakit telah menjadi halangan dalam latihan tersebut. Selain itu, pembedahan ke atas mayat adalah sangat berbeza daripada pembedahan ke atas pesakit sebenar kerana perbezaan tindak balas fisiologi antara kedua-dua model. Perbezaan ini mungkin tidak memberikan senario rujukan yang tepat untuk pelatih sekiranya berlaku kecemasan semasa pembedahan sebenar. Tambahan pula, latihan yang dijalankan dalam dewan bedah sebenar memakan jumlah masa yang banyak agar latihan dapat dilakukan dengan sempurna (Reznick & MacRae 2006). Namun, berikutan pengurangan waktu bekerja untuk pakar bedah, dan penekanan terhadap kecekapan penggunaan bilik bedah, cara tradisional bagi mendapatkan kemahiran pembedahan dalam persekitaran bilik bedah sebenar telah beransur-ansur berkurangan (The Council of the European Union 1993; Leach 2004). Ini bermakna, pakar bedah perlu mencapai tahap kecekapan yang sama seperti mereka

yang lebih terdahulu dari mereka dengan masa kerja dan latihan pembedahan secara praktikal yang lebih kurang.

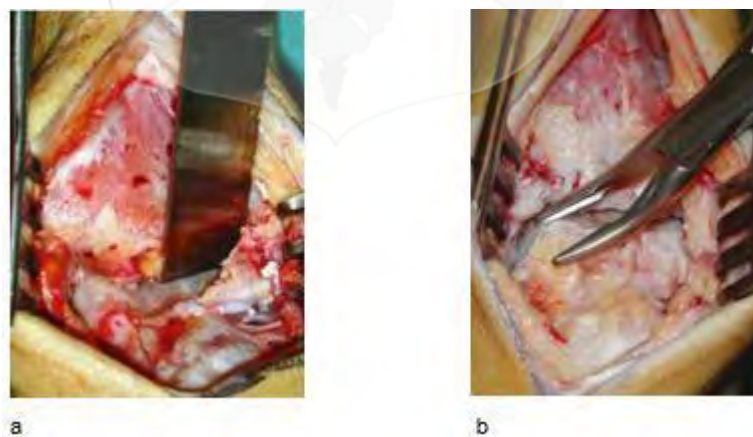
Seperti kata pepatah "latihan berterusan akan membuatnya sempurna", tahap kemahiran yang tinggi hanya boleh dicapai melalui latihan praktikal berulang di bilik bedah untuk mencapai tahap kemahiran pembedahan yang tertentu. Ini adalah terpakai kepada setiap jenis pembedahan. Malah pembedahan yang kurang rumit seperti laparoscopi dan endoscopi juga turut memerlukan latihan berulang untuk mencapai kesempurnaan, apatah lagi pembedahan ortopedik yang lebih rumit kerana prosedurnya yang lebih kompleks. Ambil pembedahan penggantian buku lali total atau *total ankle replacement* (TAR) sebagai contoh, penyediaan kedalaman terlebih dahulu akan dilakukan di bawah tendon otot anterior tibialis untuk memelihara berkas neurovaskular anterior sebelum pemotongan tulang boleh dilakukan menggunakan gergaji berayun. Bagi pesakit yang turut mengalami kecacatan, prosedur tambahan seperti *osteotomy tibial supramalleolar*, pembetulan *calcaneal osteotomy*, pembetulan *arthrodesis* dan penstabilan ligamen lateral/medial juga perlu dilakukan selepas memasukkan komponen implan. Semua prosedur ini perlu dilakukan secara teknikal memerlukan kejituan dan ketepatan yang tinggi (Barg et al. 2015). Adalah mustahil bagi pakar bedah yang amatir untuk menjalankan semua prosedur ini tanpa melalui proses latihan yang intensif. Selain daripada prosedur TAR yang perlu dijalankan secara teknikal, komplikasi bagi prosedur TAR selepas pembedahan boleh menimbulkan risiko lain untuk kualiti hidup pesakit. Salah satu komplikasi utama TAR adalah perkembangan lesi *periprosthetic osteolytic*, yang kemudiannya menyebabkan kegagalan mekanikal pada pergelangan kaki. Komplikasi ini boleh dikurangkan dengan meningkatkan kejituan penempatan implan dan penjajaran yang betul pada pergelangan kaki (Louwerens 2015). Sekali lagi, kejituan dalam penempatan dan penjajaran implan boleh dipertingkatkan melalui latihan yang berulang bagi mengurangkan kesilapan-kesilapan semasa melakukan pembedahan.

Oleh hal yang demikian itu, selaras dengan dasar pengurangan waktu kerja yang diumumkan oleh Arahan Waktu Kerja Eropah (Inapathy, Sayana & Maffulli, 2013) dan penekanan terhadap kecekapan penggunaan bilik pembedahan, pelatih mengamalkan kemahiran pembedahan ortopedik mereka pada model haiwan hidup,

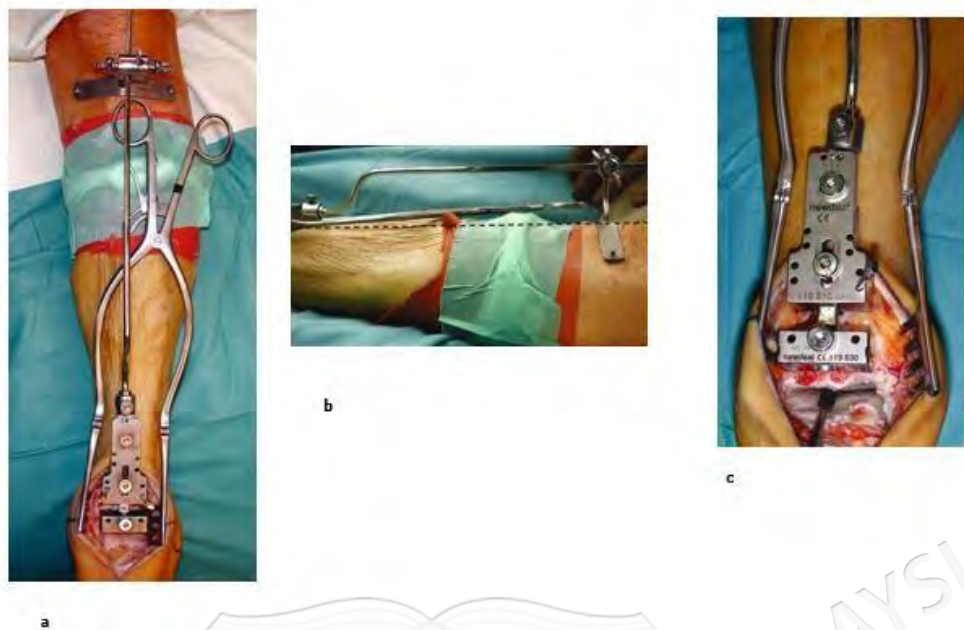
model patung dan mayat tanpa menggunakan bilik bedah (Spiliotis, Spiliotis & Palios). Penggunaan model-model ini dalam simulasi pembedahan adalah berfaedah dari segi kemudahan untuk mendapatkannya. Model haiwan hidup mempunyai konsistensi yang tinggi untuk tisu organisma hidup dan anatomi, membolehkan latihan hemostasis dilakukan semasa pembedahan. Model patung adalah murah, selamat, boleh diguna semula, mudah alih dan mudah didapati. Manakala penggunaan model mayat membolehkan simulasi keseluruhan prosedur pembedah dijalankan kerana model mayat mempunyai konsistensi yang tinggi untuk tisu manusia dan anatomi (Reznick & MacRae 2006). Malah, satu tinjauan yang melibatkan residen ortopedik menunjukkan 87.9 peratus (%) bersetuju bahawa simulasi menggunakan haiwan hidup, model patung dan mayat adalah sangat berguna manakala 57.8% pula bersetuju dapat meningkatkan kemahiran pembedahan (Chu et al. 2020). Walau bagaimanapun, setiap model ini turut mempunyai kelemahan masing-masing. Sebagai contoh, kos haiwan hidup adalah tinggi kerana kemudahan khas dan kakitangan adalah diperlukan untuk tujuan penyelenggaraan. Terdapat juga isu etika dan perbezaan anatomi manusia dengan haiwan hidup. Model patung pada umumnya mempunyai konsistensi yang rendah dengan tisu manusia sebenar, oleh itu hanya boleh digunakan untuk mempraktikkan tugas asas dan bukan keseluruhan prosedur pembedahan (Reznick & MacRae 2006). Model mayat, sebaliknya, tidak berdarah dan dengan itu gagal mensimulasikan senario di mana hemostasis merupakan ciri amalan penting (James et al. 2020). Kelemahan-kelemahan yang terdapat dalam penggunaan model-model ini sebagai simulasi menjadi kekangan untuk mendapat kemahiran dalam pembedahan. Oleh itu, adalah penting untuk mencari kaedah yang lebih maju yang pelatih boleh melaksanakan latihan secara berulang bagi memperoleh kemahiran dalam pembedahan dalam tempoh masa yang lebih singkat di samping memastikan bimbingan yang konsisten, penilaian prestasi yang objektif, dan maklum balas disediakan, juga pada masa yang sama, memelihara keselamatan pesakit kos yang rendah. Latihan secara realiti maya iaitu menggunakan VRT merupakan jalan penyelesaian kepada masalah yang dinyatakan.



Rajah 2.1 Prosedur arthroskopi buku lali. (a) Pemotongan kulit di pergelangan kaki. (b) Penyediaan subkutaneus. (c) Pendedahan tibial distal. (d) Artrotomi sendi buku lali dan memasukkan retractor penahan diri.



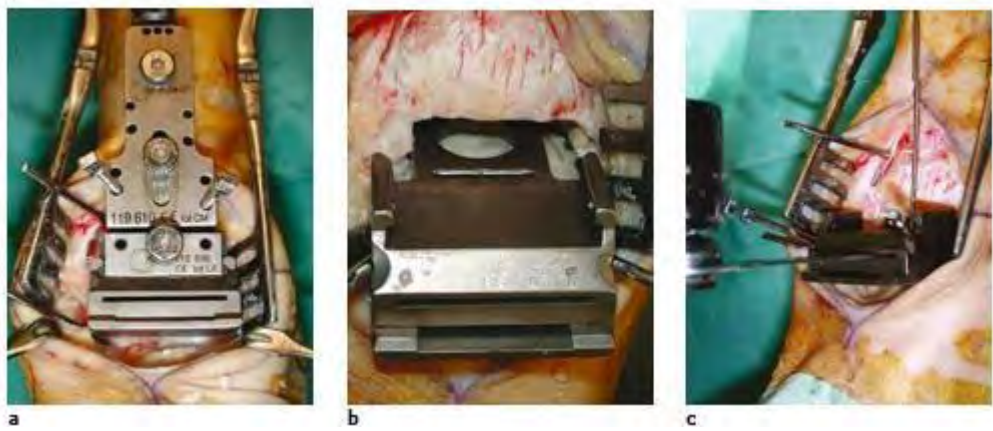
Rajah 2.2 (a) Penyingkiran osteofit tibial. (b) Penyingkiran talar osteofit.



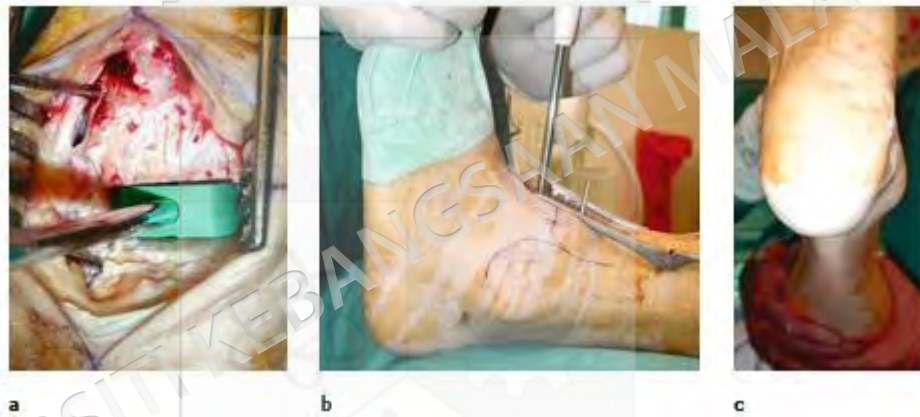
Rajah 2.3 (a) Blok reseksi tibial diletakkan dengan sudut anteromedial pergelangan kaki sebagai rujukan distal, dan tuberositas tibial sebagai rujukan proksimal. (b) Penjajaran sagital blok. (c) Pelarasan satah koronal blok reseksi tibial.



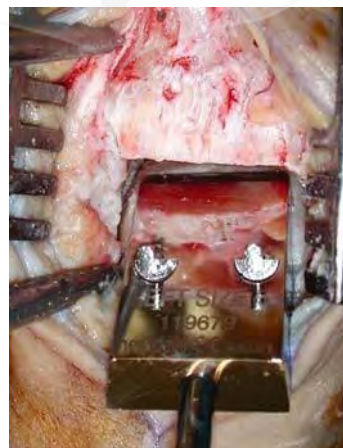
Rajah 2.4 Potongan tibial



Rajah 2.5 Pemotongan talar. Kaki dipegang ketat dalam kedudukan neutral, blok pemotong talar dimasukkan dan dipasang dengan dua pin ke talus.



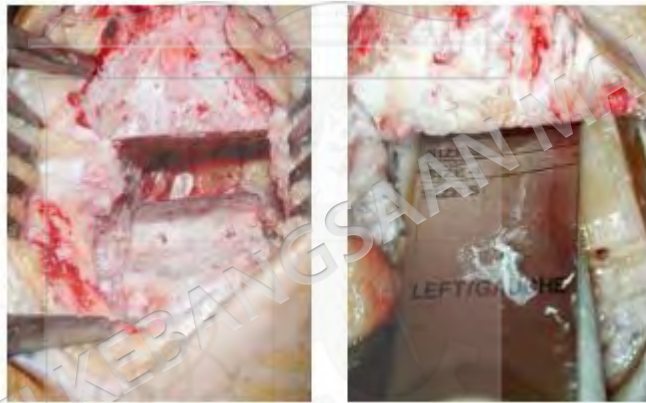
Rajah 2.6 Pemeriksaan penjajaran dan kestabilan



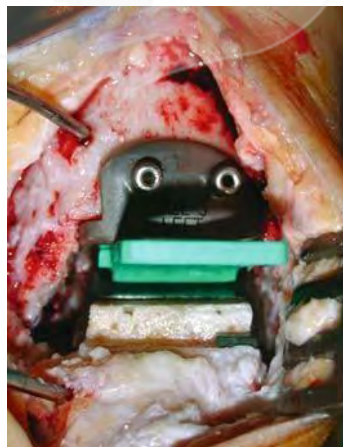
Rajah 2.7 Peletakkan blok pemotongan talar



Rajah 2.8 Pemotongan medial, lateral dan posterior talus



Rajah 2.9 Penyingkiran kapsul dorsal



Rajah 2.10 Sisipan trial talus

2.2 REALITI MAYA

Realiti maya atau *virtual reality* (VR) merupakan satu bentuk lanjutan antara muka manusia-komputer, yang membolehkan pengguna berinteraksi asyik dalam persekitaran yang dijana komputer (Riva & Wiederhold 2002). Teknologi mengasyikkan VR disokong oleh peranti keluaran yang canggih, termasuk paparan dipasang pada kepala atau *head mounted displays* (HMD), sentuhan dan gerakan, dan sarung tangan digital. Teknologi canggih menjadikan persekitaran yang mengasyikkan lebih dekat dengan realiti, di mana ia menjana pengalaman baharu sepenuhnya kepada pengguna yang biasanya mustahil untuk dicapai dalam dunia sebenar secara fizikal.

2.2.1 Teknologi Realiti Maya

Teknologi realiti maya atau *virtual reality technology* boleh dikelaskan kepada dua kategori, iaitu mengasyikkan (*immersive*) dan tidak mengasyikkan (*non-immersive*), mengikut sejauh mana paparan komputer mampu menyampaikan ilusi realiti yang merangkumi semua, menyeluruh, tertutup dan ilusi yang kelihatan hidup (Slater & Wilbur 1997). Bersesuaian dengan namanya, teknologi realiti maya yang mendalam membolehkan pengguna menyelami sepenuhnya ke dalam persekitaran maya. Contoh teknologi VR yang mendalam adalah HMD. HMD merupakan sistem tembus pandang yang berfungsi untuk meningkatkan pandangan pengguna. Ia membolehkan tahap fleksibiliti yang tinggi dengan membenarkan pengguna memvisualisasi kandungan maya yang bertindan terus kepada realiti semasa (Jud et al. 2020). HMD dilengkapi dengan sistem penjejakan tanpa penanda seperti unit ukuran inersia atau inertial measurement unit (IMU), merah-hijau-biru atau *red-green-blue* (RGB) dan penerima inframerah, yang membolehkan penciptaan peta ruang persekitaran dan melaksanakan pengesanan dalam dan luar masa sebenar dan penyetempatan mengikut persekitaran (Genc et al. 2002). Sistem pengesanan ini membolehkan pengguna meletakkan objek maya dalam dunia nyata di kedudukan dan perkaitannya dengan tepat (Wagner, Langlotz & Schmalstieg, 2008). Ciri ini adalah penting bagi pembelajaran dan latihan, terutamanya dalam memperoleh kemahiran dalam pembedahan (Bajuri et al. 2019). Contoh HMD termasuklah *Microsoft HoloLens*, *Google Glass*, *HTC Vive* dan *Oculus*

Rift. *Microsoft HoloLens* telah digunakan dalam beberapa latihan prosedur pembedahan, antaranya termasuklah pembedahan meletakkan skru pedikel (Gibby et al. 2019), prosedur pembedahan ortopedik perkutaneus berasaskan imej (Andress et al. 2018), pembedahan baik pulih pinggul (*hip resurfacing*) (Liu et al. 2018) dan pembedahan penggantian pinggul (*hip arthroplasty*) (Cordino et al. 2018). Manakala, *Google Glass* digunakan dalam pembedahan penggantian bahu (*shoulder arthroplasty*) (Ponce et al. 2014). Sementara itu, walaupun tiada penggunaan *HTC Vive* dilaporkan dalam mana-mana latihan prosedur pembedahan, satu kajian telah membuktikan keupayaan translasi dan putarannya, sekali gus membuktikan penggunaannya akan mendatangkan faedah dalam penyelidikan klinikal (Jost et al. 2019). Berkenaan dengan *Oculus Rift*, ia merupakan teknologi yang agak baharu, dan hanya digunakan dalam bidang pendidikan dan tidak digunakan dalam bidang berkaitan dengan perubatan (Webster & Dues 2017; Papachristos, Vrellis & Mikropoulos, 2017).

Sebaliknya, teknologi VR yang tidak mendalam, tidak membenarkan pengguna diserap sepenuhnya dalam persekitaran maya kerana pengguna masih boleh mengecam skrin atau stesen kerja grafik konvensional. Contoh ketara bagi VR bukan mendalam ialah VR desktop. Salah satu ciri utama VR desktop ialah sistem paparan berasaskan monitor. Sistem ini biasanya dilengkapi dengan dua monitor, iaitu monitor "mentor" di sebelah kiri dan monitor "pandangan kamera" di sebelah kanan. Monitor "mentor" memaparkan panduan dan maklumat tentang cara melaksanakan tugas tertentu, manakala monitor "pandangan kamera" membolehkan pengguna memerhati struktur anatomi 3D semasa melaksanakan tugas mengikut arahan yang diberikan. Contoh VR desktop yang digunakan dalam amalan pembedahan ortopedik adalah jurulatih pembedahan artroskopi lutut atau *knee arthroscopy surgical trainer* (KAST). Dalam KAST, monitor "mentor" memaparkan arahan untuk memberikan panduan kepada pengguna ketika melakukan pembedahan artroskopi lutut melalui teks, audio, imej dan video. Skrin "pandangan kamera" memaparkan imej struktur anatomi 3D lutut yang akan berinteraksi dengan prob maya dan artroskopi, meniru dengan tepat interaksi antara rawan dan lapisan sinovial dalam lutut sebenar. Sistem KAST juga dilengkapi dengan fungsi animasi anatomi interaktif atau interactive anatomic animations (IAA). Ia berupaya menunjukkan segmen anatomi kompleks yang mungkin telah diubah oleh tindakan pengguna yang menggunakan tekstur model berpeta poligon. Selain itu, IAA

juga akan menyediakan kemajuan latihan pengguna dengan merekodkan semua tindakan yang dilakukan oleh pengguna (Mabrey, Reinig & Cannon, 2010). Oleh itu, walaupun tidak mendalam kerana ketiadaan HMD, VR desktop masih terbukti sebagai alat latihan yang berkesan untuk prosedur pembedahan dengan adanya fungsi-fungsi yang canggih seperti itu.

2.2.2 Ciri-ciri Tambahan Realiti Maya

Selain daripada alat visual utama seperti HMD dan monitor, kedua-dua teknologi VR mendalam dan tidak mendalam, turut dilengkapi dengan peranti sokongan lain seperti alat kawalan, maklum balas sentuhan dan pergerakan (dikenali sebagai maklum balas haptik), dan pad sesentuh untuk meningkatkan interaksi pengguna dan simulasi VR. Pemasangan alat kawalan dan tuas kawalan ibu jari membolehkan input pegang tangan untuk penyetempatan dan penjejakan yang tepat bagi alat kawalan (Zizza et al. 2018; Gerloni et al. 2018) Pad sesentuh adalah penting untuk mengklik pada ikon tertentu bagi membolehkan interaksi dengan objek atau teks dalam ruang VR (Harrington et al. 2018). Akhir sekali, maklum balas haptik digunakan untuk menjejaki tindakan dan pergerakan pengguna seperti bergerak ke hadapan atau ke belakang, mencangkung, melepaskan dan mencengkam (Pirker et al. 2017; Zhang et al. 2017). Sebagai contohnya, KAST, iaitu VR desktop yang digunakan dalam latihan artroskopi lutut, mempunyai dua maklum balas haptik yang dipasang bagi mencipta semula sentuhan dan rasa arthroscope dan prob yang berinteraksi dengan struktur lutut. Maklum balas haptik diletakkan pada sendi universal yang dilekatkan pada kaki pengganti, yang membolehkan pengguna melentur dan memanjangkan lutut maya serta menggunakan daya varus dan valgus (Mabrey, Reinig & Cannon, 2010). Penggunaan peranti haptik telah menunjukkan peningkatan kemahiran motor pengguna seperti yang ditunjukkan dalam kajian mengenai penggunaan sistem latihan suntikan sel mikro-robotik VR dalam meningkatkan prestasi suntikan sel para pelatih. Keputusan menunjukkan pelatih yang menggunakan kawalan peranti haptik mempunyai prestasi yang lebih baik daripada pelatih yang menggunakan kawalan papan kekunci konvensional dari segi ketepatan dan kadar kejayaan. Penggunaan peranti haptik meningkatkan kelajuan dan menambah ketepatan suntikan melalui kedudukan yang betul bagi tusukan dan penembusan jarum (Faroque et al. 2018). Disebabkan peranannya yang membantu dalam meningkatkan kemahiran motor, peranti haptik biasanya digunakan dalam

program pemulihan motor VR untuk kanak-kanak yang mengalami *cerebral palsy* dan pesakit dewasa selepas diserang strok (Ravi, Kumar & Singhi, 2017; Karamian et al. 2020). Seperti yang telah diduga, dengan pemasangan peranti haptik dalam proses pemulihan VR, telah meningkatkan keseimbangan dan kemahiran motor berfungsi kanak-kanak terbabit dengan ketara (Ravi, Kumar & Singhi, 2017). Manakala bagi pesakit selepas serangan strok yang menjalani program pemulihan berasaskan haptik, peningkatan sebanyak 28.5% telah direkodkan dalam pergerakan bahagian atas pesakit (Karamians et al. 2020).

Penggunaan peranti sokongan ini amat membantu dalam meningkatkan interaksi pengguna dengan persekitaran VR. Kajian menunjukkan pelbagai potensi boleh diberi peluang dalam situasi berbeza menggunakan peranti sokongan. Ini termasuk keupayaan untuk memanipulasi objek dalam pelbagai cara seperti memutar, menggerakkan, merebut, melepaskan, menyeret dan meletakkan, keupayaan untuk memilih daripada menu, keupayaan untuk memerhati objek dan melihat sekeliling, keupayaan untuk berhenti seketika dan mengulang nota suara atau rakaman yang diubah suai serta menonton pra-rakam kuliah (Radianti et al. 2020). Ciri lain seperti sistem penggera turut dipasang untuk memberikan maklum balas yang pantas apabila terdapat tindakan daripada pihak pengguna (Román-Ibáñez et al. 2018), iaitu satu siri aliran data boleh dijana bagi menghasilkan maklumat situasi semasa sesuatu objek tersebut (Ye et al. 2018), tindakan input akan direkodkan dan maklum balas kemajuan pembelajaran pengguna dapat disediakan (Mabrey, Reinig & Cannon, 2010). Secara umumnya, ciri VRT yang interaktif dan semua ciri-ciri tambahan yang dipasang telah menjadikan VR sebagai alat popular untuk pembelajaran dan latihan yang berkesan.

2.2.3 Aplikasi Realiti Maya dalam Pembelajaran dan Pendidikan

Aplikasi VR lebih menonjol dalam bidang pendidikan berikutan kemajuan teknologi VR. Dalam konteks pendidikan, penggunaan VR dapat meningkatkan keberkesanan pembelajaran di kalangan pelajar universiti (Zhang et al. 2017). Ia dapat membantu para pelajar memahami topik yang rumit dan abstrak, seterusnya meningkatkan minat dan motivasi mereka untuk belajar (Bajuri et al. 2019; Makransky & Lilleholt 2018). Ciri VR yang boleh mengasyikkan dapat meningkatkan hasil pembelajaran pelajar dan menarik minat mereka dalam bidang biologi dan kajian alam sekitar (Su 2018;

Makransky et al. 2016). Selain itu, aplikasi VR juga memberikan kesan positif terhadap perubahan tingkah laku pengguna. VR boleh bertindak sebagai medium untuk pengguna meneroka hubungan sebab dan akibat sesuatu peristiwa atau tindakan melalui pengalaman yang memberikan dorongan dengan itu dapat membantu latihan tingkah laku pengguna. Penyediaan ganjaran secara maya dalam ruang VR juga boleh membantu dengan pembentukan sikap dan tingkah laku pengguna. Sebagai contoh, *Invite Only VR*, iaitu satu permainan pencegahan rokok elektronik (e-rokok) VR, telah berjaya menerapkan pengetahuan e-rokok dan pengetahuan mengenai ketagihan nikotin dalam kalangan remaja yang bermain permainan tersebut. Keputusan menunjukkan ketagihan mereka terhadap e-rokok telah bertambah baik dan mereka membina persepsi bahayanya penggunaan e-rokok yang berterusan selama enam bulan selepas permainan. Penilaian yang dilakukan juga menunjukkan kepuasan dalam keseluruhan pengalaman permainan VR adalah tinggi di kalangan remaja (Weser et al. 2021). Kajian lain menunjukkan penggunaan ciri interaktif dan senario realistik meningkatkan tahap kecekapan etika pengguna melalui peningkatan dalam efikasi sendiri mereka. Program pembelajaran berasaskan VR telah terbukti sebagai alat yang berkesan menghasilkan pengalaman pembelajaran yang bermotivasi dan menarik kepada pelajar prasiswazah bagi memperoleh kemahiran dalam reaksi yang perlu dilakukan apabila menghadapi dilema etika dalam kehidupan sebenar (Bajuri et al. 2019; Sholihin et al. 2020). Perubahan tingkah laku yang positif juga berjaya ditunjukkan dalam kajian yang menguji kesedaran peribadi tentang isu keselamatan kebakaran. Sekali lagi, senario kebakaran realistik yang dihasilkan oleh simulasi VR telah terbukti berkesan dalam mewujudkan kesedaran keselamatan kebakaran di kalangan pengguna dan berjaya memujuk mereka untuk tidak merokok di dalam bangunan (Chittaro & Zangrando 2010).

2.2.4 Aplikasi Realiti Maya dalam Penjagaan Kesihatan dan Latihan Pembedahan

Dalam penjagaan kesihatan, terutamanya dalam latihan pembedahan, VR boleh mewujudkan persekitaran yang selamat, kos efektif dan menarik serta berkesan dalam pemindahan kemahiran daripada persekitaran VR ke dunia sebenar. Latihan melalui VR dapat memberikan pengalaman kepada pelatih yang tidak berpengalaman. Penciptaan semula senario sebenar dalam persekitaran VR membolehkan pengguna melakukan pengendalian sebenar dalam persekitaran VR, dan mempraktikkan tugas tertentu

berulang kali dalam persekitaran yang selamat dan menjimatkan kos. Latihan berulang dapat membantu mereka memahami konsep serta memberikan pengalaman kepada pengguna supaya mereka mampu mengendalikan situasi yang sama dalam kehidupan sebenar. Hal ini dapat memastikan kesilapan perubatan adalah minimum dan keselamatan pesakit tidak terjejas (Francis et al. 2020). Selain itu, latihan berulang dalam persekitaran VR yang terkawal sepenuhnya dapat melatih pelatih mengendalikan tekanan, mengekalkan ketenangan dan membuat keputusan yang bersesuaian dalam situasi kecemasan. Selain itu, pelatih boleh mempraktikkan kemahiran pembedahan melalui simulasi VR beberapa kali sehari walaupun tanpa kehadiran mentor di samping mereka kerana bimbingan automatik telah sedia dipasang dalam VR. Memandangkan kemajuan pelatih boleh dikesan dan direkodkan secara automatik, maklum balas boleh diberikan dengan serta-merta dan mentor dapat menyemak prestasi mereka pada bila-bila masa, oleh itu bimbingan dapat diberi dengan lebih efektif (Spiliotis, Spiliotis & Palios, 2020; Ruthenbeck & Reynolds 2015).

Keberkesanan VR dalam latihan pembedahan telah dibuktikan dalam pelbagai prosedur pembedahan. Sebagai contoh, kajian menunjukkan bahawa pelatih yang menjalani latihan kanulasi intravena (IV) menggunakan simulasi IV maya berjaya menyelesaikan prosedur dalam masa yang lebih singkat dengan kadar ralat yang kurang kritikal berbanding mereka yang tidak menjalani latihan VR. Ini membuktikan bahawa VRT dapat meningkatkan kemahiran pelatih yang tidak berpengalaman dengan ketara (Loukas et al. 2011). Di samping itu, SLR yang melibatkan 18 ujian kawalan secara rawak telah mengkaji boleh pindahan kemahiran pembedahan yang diperolehi adalah berbeza melalui simulasi VR ke dalam tetapan pembedahan sebenar, iaitu peserta yang dilatih dengan VR menunjukan kemahiran yang lebih baik dalam prestasi pembedahan berbanding peserta yang tidak terlatih. Ketepatan, masa pembedahan, kejadian ralat intraoperatif dan komplikasi pasca pembedahan adalah lebih signifikan dalam kalangan kumpulan terlatih menggunakan VR berbanding kumpulan yang tidak terlatih. Hasilnya membuktikan bahawa kemahiran pembedahan yang berbeza termasuk pembaikan angin pasang (*inguinal hernia*), prosedur ginekologi, kolesistektomi laparoskopik, navigasi kamera jahitan laparoskopik dalam prosedur laparoskopik juga boleh dipindahkan ke tetapan pembedahan sebenar melalui VRT tanpa mengira tahap kerumitan pembedahan (Spiliotis, Spiliotis & Palios, 2020).

Kebolegunaan VR juga ditunjukkan dalam pembedahan lain seperti pembedahan pergigian, pembedahan telinga tengah, pembedahan katarak, artroskopi bahu dan pembedahan prostat. Penambahbaikan yang ketara dalam prosedur pembedahan pergigian dapat dilihat di kalangan pelatih menggunakan *DentSim*[®], sistem VRT dengan program maklum balas sentuhan masa nyata dan imej grafik 3D mulut pesakit maya, sebagai alat latihan, berbanding pelatih yang mengikuti arahan berasaskan makmal tradisional (LeBlanc et al. 2004). Dalam 20 kes pembedahan telinga tengah, kualiti latihan pra pembedahan penggerudian tulang telah dipertingkatkan dengan ketara dalam kalangan pelatih selepas menggunakan simulator VR, iaitu *Voxel-Man Tempo*. Penambahbaikan dalam latihan pra pembedahan seterusnya telah menunjukkan peningkatan hasil pembedahan apabila dilakukan ke atas pesakit sebenar (Tolsdorff et al. 2007). Sementara itu, dalam pembedahan mata, pengulangan sebanyak sepuluh (10) kali modul katarak diikuti dengan sepuluh (10) kali ulangan modul *capsulorhexis* menggunakan simulator *EYESi VR* telah menunjukkan peningkatan memberangsangkan dalam kemahiran pembedahan katarak di kalangan pelatih (Selvander & Asman 2012). Begitu juga, dalam pembedahan artroskopi bahu, bukan sahaja dapat meningkatkan kemahiran, malahan latihan yang dijalankan dengan menggunakan simulator artroskopi VR juga berkesan dalam membantu membezakan kemahiran psikomotor antara peserta daripada pelbagai peringkat kerjaya yang berbeza (Pedowitz et al. 2002). Simulator VR untuk pembedahan reseksi prostat melalui uretra atau *transurethral resection of prostate* (TURP) membolehkan simulasi keseluruhan prosedur pembedahan selama tiga puluh (30) sehingga enam puluh (60) minit dijalankan. Apabila tujuh (7) orang pelatih yang tidak berpengalaman dinilai, semuanya menunjukkan peningkatan prestasi yang ketara untuk TURP selepas menyelesaikan hanya enam (6) prosedur simulasi pembedahan (Källström et al. 2005).

2.2.5 Aplikasi Realiti Maya dalam Domain Pembedahan Ortopedik

Keberkesanan VR sebagai alat latihan telah dibuktikan merentasi prosedur pembedahan yang berbeza dalam domain ortopedik, termasuk artroskopi, implan atau penempatan skru, penempatan untuk aci tibial patah (*tibial shaft fracture fixation*), pra-pembedahan pembinaan semula keretakan (*fracture carving*), penggantian keseluruhan pinggul (*total hip athroplasty*), osteotomi lutut (*high tibial osteotomy*) dan reseksi tumor pada tulang paha (*tumour resection in femur*). Antara prosedur-prosedur yang berbeza, VR

paling kerap digunakan dalam latihan artroskopi (untuk lutut dan pinggul) kerana penggunaan peralatan video dan instrumen seperti forseps dan gunting boleh disimulasikan dengan mudah dalam tetapan maya artroskopi (Tay, Khajuria & Gupte, 2014). Terdapat sebanyak sembilan (9) daripada 16 artikel yang membuat kajian mengenai artroskopi telah dimasukkan dalam SLR yang mengkaji keberkesanan VR dalam latihan ortopedik (Clarke 2021). Di dapati bahawa, pakar bedah baharu yang dilatih menggunakan simulator artroskopi lutut *ArthroVR* telah menunjukkan prestasi yang lebih baik dalam pembedahan artroskopi lutut berbanding mereka yang dilatih dengan simulator atas bangku (iaitu dengan nilai $p\text{-value} = 0.02$) (Banaszek et al. 2017). Manakala dalam kajian lain yang menilai keupayaan pakar bedah pertengahan untuk melakukan diagnosis artroskopi lutut pada pesakit hidup dalam masa 25 minit, pakar bedah yang dilatih dengan *ArthroSim* memperoleh markah yang lebih tinggi secara signifikan dari segi ketepatan prosedur berbanding pakar bedah yang tidak dilatih menggunakan VR (iaitu nilai $p\text{-value} = 0.031$) (Cannon et al. 2014). Dalam satu lagi kajian serupa mengenai artroskopi lutut, pakar bedah baharu dalam kumpulan VR menunjukkan peningkatan yang lebih menyerlah dalam ujian pra dan pasca pembedahan. Pakar bedah terlatih dalam VR dapat menyelesaikan prosedur dalam masa yang lebih singkat dan dengan kerosakan rawan yang lebih rendah berbanding pakar bedah yang tidak terlatih (Cychosz et al. 2018). Terdapat kajian yang menyiasat keberkesanan simulator gergaji tulang lutut dalam latihan artroskopi di kalangan 20 pelatih ortopedik, kumpulan terlatih menggunakan VR telah memperoleh markah yang lebih tinggi secara signifikan dalam Projek Penilaian Kecekapan Ortopedik atau *Orthopaedic Competence Assessment Project* (OCAP) (dengan nilai $p\text{-value} = 0.0007$) dan Penilaian Kemahiran Berstruktur Objektif atau *Objective Structured Assessment of Technical Skill* (OSATS) (dengan nilai $p\text{-value} = 0.0011$) berbanding kumpulan yang tidak menggunakan VR dalam latihan (Howells et al. 2008). Peningkatan yang sama juga telah dikaji dalam latihan artroskopi pinggul menggunakan simulator VR seperti yang diterangkan oleh Pollard et al (2012). Kajian mendapati bahawa pelatih yang berlatih menggunakan simulator *Hip Arthroscopy Bench-top* menunjukkan prestasi dan masa yang diambil untuk menyiapkan tugas adalah lebih ketara berbanding pelatih yang tidak dilatih menggunakan simulator VR (Pollard et al. 2012).

Prosedur ortopedik merupakan prosedur kedua yang paling kerap menggunakan alat latihan VR merupakan penempatan implan atau skru. Ia merangkumi tiga (3) daripada 16 artikel yang disertakan bagi analisis keberkesanan dalam SLR (Clarke 2021). Malah VR telah terbukti sebagai alat latihan yang berkesan untuk penempatan skru. Sebagai contoh, dalam kajian yang menilai prestasi pakar bedah baharu bagi meletakkan skru pedikel pada model atas bangku, pakar bedah terlatih VR yang menggunakan *Immersive Touch* melakukan ralat yang jauh lebih rendah (dengan nilai $p\text{-value} < 0.001$) dari segi penempatan skru, pemilihan skru dan pelanggaran pedikel berbanding pakar bedah yang tidak terlatih (Gasco et al.). Satu lagi kajian penilaian penempatan skru pedikel serviks yang sama telah menunjukkan bahawa kumpulan VR yang dilatih dengan teknologi *VR - VSTS* telah mendapat keputusan penempatan skru "boleh diterima" dan "ideal" yang jauh lebih tinggi berbanding kumpulan kawalan (Hou et al. 2018). Demikian juga dalam kajian lain yang menilai kecekapan 16 pakar bedah pertengahan dalam membuat penempatan enam (6) skru pedikel T11-L4 pada mayat selepas latihan dengan menggunakan simulator VR yang dikenali sebagai *IVRSS-PSP*, didapati kumpulan VR mencapai kadar kedudukan skru "boleh diterima" dan "ideal" yang lebih tinggi daripada kumpulan kawalan. Terdapat pengurangan masa yang ketara bagi setiap kedudukan skru untuk kumpulan VR (Xin et al. 2020). Kajian untuk menilai keberkesanan *Microsoft HoloLens* untuk tujuan latihan penempatan skru pedikel juga telah dijalankan. Keputusan kajian menunjukkan bahawa 97% daripada jarum maya yang mewakili skru pedikel dapat diletakkan dengan tepat pada pedikel model *lumbar sawbone* oleh pelatih (Gibby et al. 2019). Bagi penempatan skru pinggul yang dinamik, keberkesanan *TraumaVision* telah dikaji dalam melatih pakar bedah pertengahan melakukan penetapan keretakan *intertrochanteric*. Keputusan kajian masa yang diambil bagi menyelesaikan keseluruhan prosedur fluoroskopi dan percubaan meletakkan wayar panduan, menunjukkan kumpulan yang dilatih menggunakan *TraumaVision* telah menunjukkan prestasi yang lebih baik daripada kumpulan yang tidak dilatih dengan menggunakan VR (dengan nilai $p\text{-value} < 0.001$) (Sugand et al. 2015). Selain itu, gabungan bersama *cone-beam CT* (CBCT) membolehkan C-arm yang ditambah dengan kamera dengan kedalaman merah-hijau-biru atau *red-green-blue depth* (RGBD) menggunakan *Microsoft HoloLens* telah terbukti berkesan untuk menempatkan *Kirshner-wire* (K-wire) dalam kes *ramus pubis superior* yang patah. Latihan menggunakan VRT amat membantu dalam mengurangkan tempoh prosedur, ralat

dalam penempatan dan pendedahan kepada radiasi semasa prosedur penempatan K-Wire (Andress et al. 2018; Fischer et al. 2016).

Manakala dalam prosedur penempatan aci tibial yang patah, pakar bedah baharu dalam kumpulan VR telah mendapat markah yang lebih tinggi dalam skala penarafan global daripada pakar bedah yang berada dalam kumpulan kawalan (dengan nilai $p\text{-value} = 0.001$). Penggunaan simulator *Ossio VR* oleh kumpulan VR dalam latihan mereka telah dapat membantu mengurangkan kadar ralat dalam tugas *intramedullary nailing* pada model atas bangku dalam kes aci tibial yang patah (Blumstein et al. 2020). Selain daripada prosedur ortopedik yang dinyatakan di atas, VR juga telah terbukti berkesan dalam latihan prosedur lain yang lebih rumit seperti prosedur pra-pembedahan pembinaan semula keretakan (Pahuta et al. 2012), penggantian keseluruhan pinggul (Hooper et al. 2019), osteotomi lutut (Fallavollita et al. 2016) dan reseksi tumor pada tulang paha (Hooper et al. et al. 2018). Simulator *Virtual-Fracture-Carving* digunakan dalam membantu prosedur pra-pembedahan pembinaan semula keretakan untuk melatih pakar bedah baharu dalam melukis kedua-dua garisan lajur *hemipelvis* yang patah (Pahuta et al. 2012). Simulator VR yang dikenali sebagai *ORamaVR* telah digunakan untuk melatih pakar bedah baharu dalam melakukan penggantian keseluruhan pinggul (Hooper et al. 2019). Prosedur osteotomi lutut dan reseksi tumor pada tulang paha dilakukan dengan menggunakan simulator VR yang diubah suai dengan penambahan isyarat deria bagi membantu pelatih memperoleh kemahiran pembedahan yang berkaitan, termasuk penilaian intraoperatif paksi mekanikal anggota bawah dan penilaian pengembangan tumor 3D (Fallavollita et al. 2016; Cho et al. 2017; Cho et al. 2018). Kesemua hasil laporan kajian menunjukkan peningkatan dalam kemahiran di kalangan pelatih dari sudut pengurangan kesilapan teknikal, pengurangan masa penyediaan dan peningkatan ketepatan dalam orientasi anatomi (Pahuta et al. 2012; Fallavollita et al. 2016; Cho et al. 2017; Cho et al. 2018; Hooper et al. 2019).

Infinity Total Ankle Replacement System merupakan satu modul VRT yang dibangunkan pada tahun 2019 bagi membantu prosedur penggantian buku lali secara keseluruhan terutama dalam menambah kemahiran artroplasti buku lali dan flouroskopik. Sistem VR ini dilengkapi dengan sistem navigasi prapembedahan iaitu *Prophecy* yang mempunyai ciri pelan pembedahan boleh diubah suai mengikut keadaan

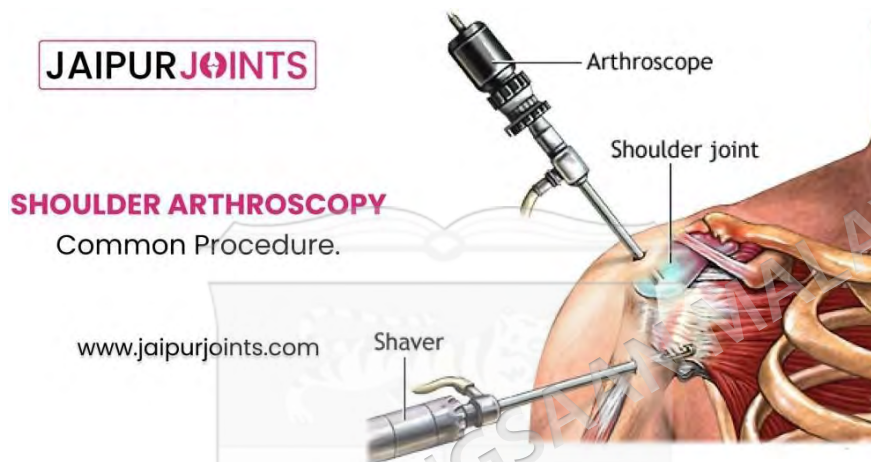
pesakit. Oleh itu, pelbagai jenis implan keseluruhan buku lali boleh dipilih melalui sistem ini untuk memenuhi keperluan khusus pesakit. Selain itu, simulasi VR juga berupaya untuk mencipta semakan terperinci pelan pembedahan sama ada terdapat kemasukan implan atau tidak bagi mengurus kes kehilangan tulang dan membina semula ketinggian sendi dalam pelbagai situasi (American Orthopaedic Foot & Ankle Society Annual Meeting 2019). Namun begitu, di sebalik semua ciri-ciri menarik yang didakwa mampu dilakukan dengan VRT oleh pembangun VR, masih tiada kajian yang dijalankan untuk menilai keberkesanan *Infinity Total Ankle Replacement System*. Ini berkemungkinan disebabkan oleh kurangnya kaedah penilaian yang sesuai untuk menilai VRT yang direka dalam prosedur pembedahan ortopedik yang lebih rumit seperti penggantian keseluruhan buku lali.

Oleh itu, adalah dipercayai bahawa terdapatnya keperluan yang munasabah untuk alat penilaian VRT yang boleh dipercayai dalam domain pembedahan buku lali, dan dalam aspek lain pembedahan ortopedik kerana dapat menyumbang kepada kos dan masa yang lebih efektif. Pembangunan mekanisme penilaian yang berkesan ini dapat dilaksanakan berdasarkan CSFs yang dikenal pasti hasil daripada kajian-kajian aplikasi VRT yang dijalankan.

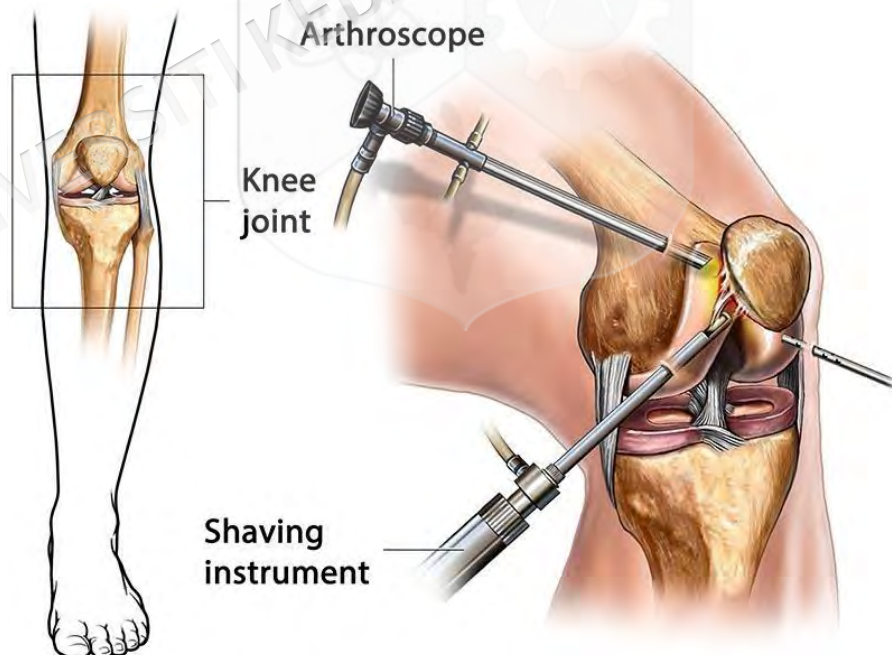
2.2.6 Kesimpulan.

Secara kesimpulan, realiti maya, terutamanya melalui teknologi VR yang mendalam seperti Head Mounted Displays (HMD), membuka pintu kepada pengalaman yang seakan-akan nyata dan mendalam kepada pengguna, memberikan kesan yang signifikan dalam bidang pendidikan dan latihan pembedahan. Dengan ciri-ciri seperti peranti sokongan haptik dan maklum balas sentuhan, VR memungkinkan pengguna untuk berinteraksi secara langsung dengan persekitaran maya, meningkatkan kemahiran motor dan kecekapan teknikal mereka dalam prosedur pembedahan ortopedik yang rumit, sekaligus memperkaya pembelajaran dengan simulasi yang realistik dan interaktif. Realiti maya (VR) merupakan teknologi yang mengubah cara interaksi manusia-komputer dengan mencipta persekitaran yang hampir dengan realiti fizikal. Teknologi ini, yang terbahagi kepada mendalam dan tidak mendalam, memberikan pengalaman interaktif yang tinggi melalui peranti canggih seperti HMD dan sistem

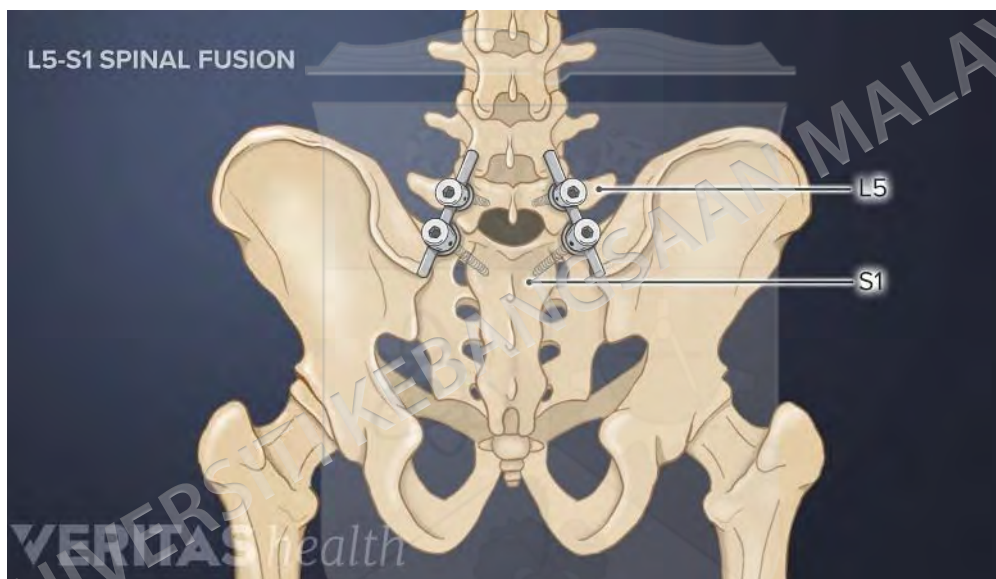
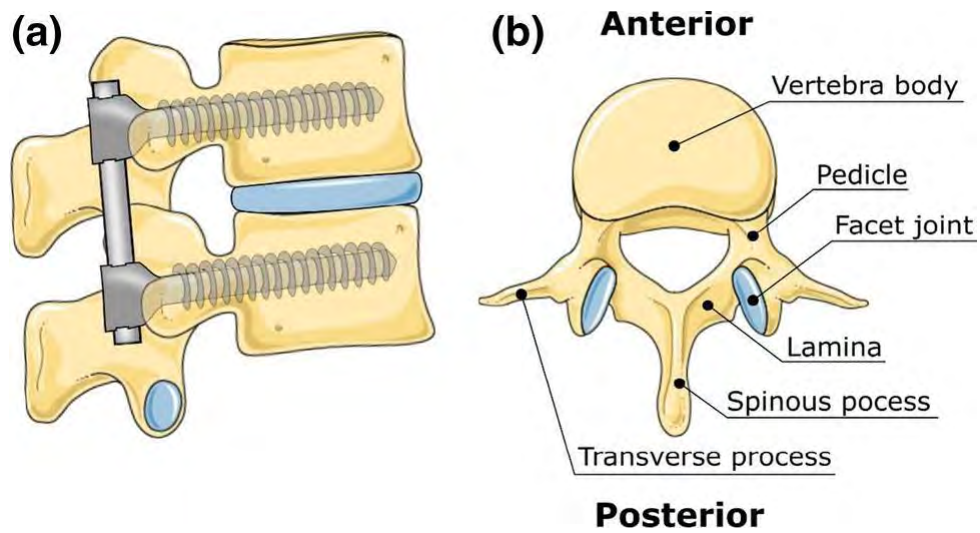
penjejakan. Dalam konteks pembelajaran, pendidikan, dan penjagaan kesihatan, VR telah terbukti meningkatkan keberkesanan latihan, pemahaman, dan perubahan tingkah laku. Khususnya dalam bidang pembedahan, VR menawarkan alat latihan yang selamat dan efisien, memindahkan kemahiran pembedahan dengan ketara ke dunia sebenar, serta meningkatkan prestasi dan keselamatan dalam prosedur ortopedik.



Rajah 2.11 Artroskopi bahu



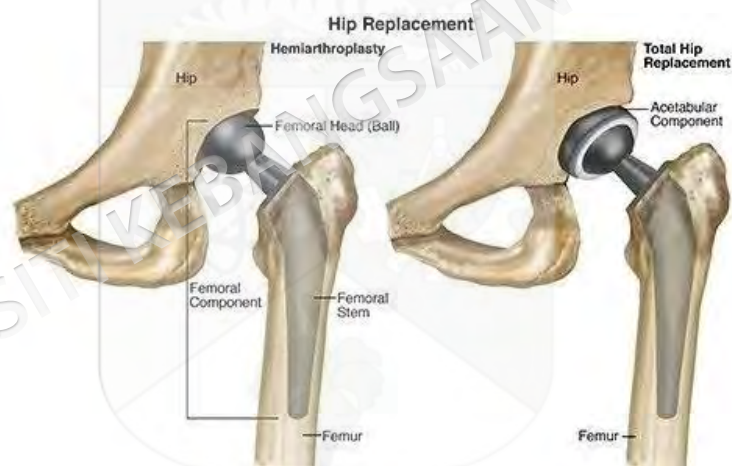
Rajah 2.12 Artroskopi lutut



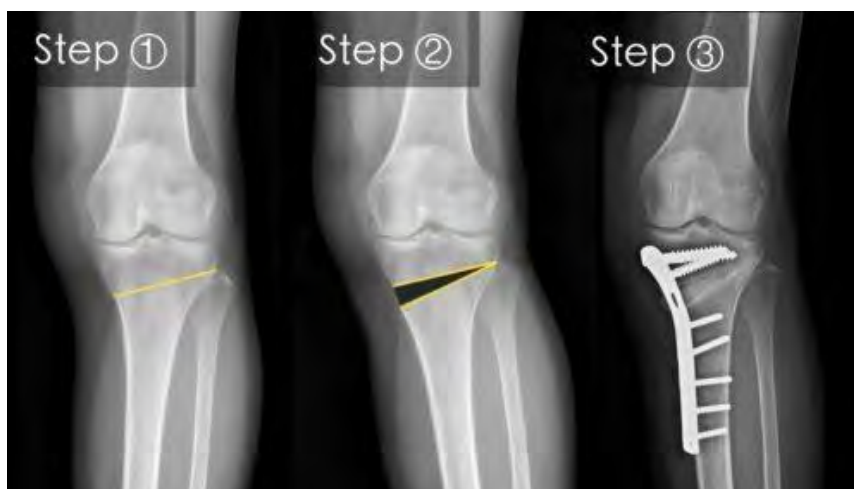
Rajah 2.13 Peletakan skru pedikel



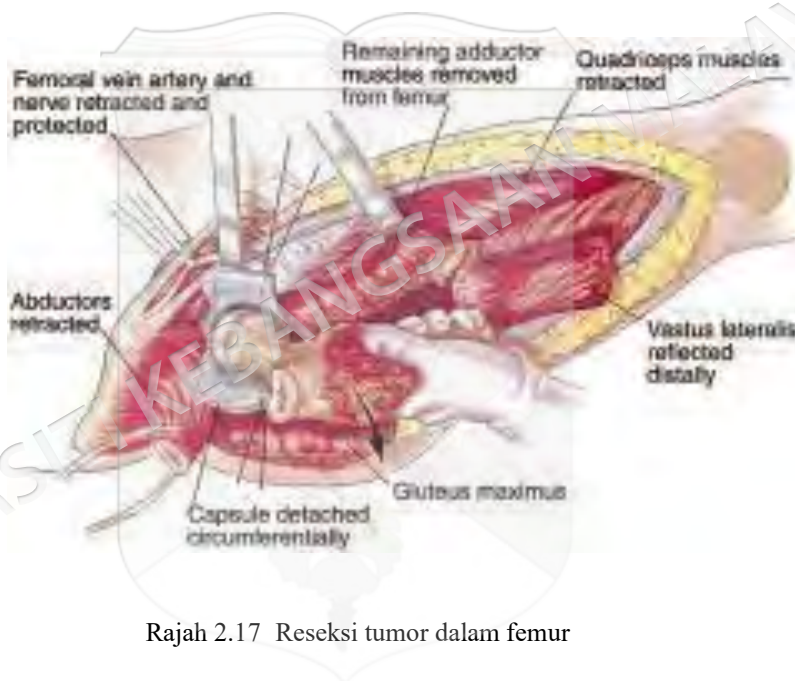
Rajah 2.14 Prosedur pemulihan aci tibial patah dengan kaedah “*intramedullary nailing*”. Anak panah biru: fibula patah; anak panah merah: aci tibial patah



Rajah 2.15 *Hemiarthroplasty* dan *total hip arthroplasty*



Rajah 2.16 Osteotomi tibial tinggi



Rajah 2.17 Reseksi tumor dalam femur

2.3 FAKTOR-FAKTOR KRITIKAL KEJAYAAN APLIKASI REALITI MAYA

Sebagaimana yang telah dibincangkan dalam seksyen sebelum ini, aplikasi VR berkesan bagi mendapatkan kemahiran dan pembelajaran kerana mempunyai ciri-ciri yang interaktif, menarik dan mengasyikkan. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa kekurangan yang wujud dalam VRT sekarang telah menjadi penghalang proses pembelajaran dan latihan, terutamanya dalam domain ortopedik. Pengenalpastian CSFs seperti yang diilustrasikan dalam Rajah 2.1 dijangka akan dapat membantu penyediaan

rangka kerja teori bagi menambah baik pembangunan aplikasi VRT. Hasil kajian penilaian mengenai aplikasi VR dalam domain yang berbeza, iaitu daripada domain pendidikan am sehingga latihan pembedahan ortopedik, CSFs boleh dikelaskan kepada enam (6) kategori. Enam (6) kategori tersebut adalah terdiri daripada faktor ciri VR, faktor kebolegunaan, faktor kawalan dan pembelajaran aktif, faktor pelajar, faktor hasil pembelajaran dan faktor had. Butiran mengenai faktor-faktor ini diuraikan seperti dalam Rajah 2.18.

2.3.1 Faktor-faktor Ciri Realiti Maya

Faktor-faktor ciri VR adalah termasuk aspek teknikal platform VR digunakan yang dapat memberi kesan kepada hasil latihan (Lee, Wong & Fung, 2010). CSFs yang berkaitan dengan VRT diklasifikasikan sebagai perkakasan, perisian, realisme dan faktor kawalan (Bajuri, Benferdia & Ahmad, 2021; Benferdia et al. 2018). Kebanyakan prestasi membanggakan oleh pakar bedah yang menggunakan VRT adalah disebabkan oleh perkakasan VR dan operator/stesen mentor dengan ciri fungsian yang menyerupai peralatan dan instrumen pembedahan sebenar, utiliti komputer, skrin resolusi tinggi dan peranti haptik, input visual, deria dan motor yang realistik, dan model simulasi pembedahan 3D yang praktikal. Kajian yang telah dijalankan menyokong peranan penting komputer, skrin resolusi tinggi dan peranti haptik dalam memastikan pembedahan dijalankan dalam bilik pembedahan yang canggih (Wilson et al. 2020). Sistem VR yang tidak menggunakan perkakasan ini adalah dianggap tidak realistik, menyebabkan kurangnya minat untuk menggunakan sistem VR tersebut (Renganayagalu, Mallam & Nazir, 2021). Sementara itu, peralatan pengendali/ stesen mentor adalah penting bagi memberi bimbingan dan maklum balas kepada pelatih supaya tidak hilang punca semasa menggunakan VRT (Clarke 2021). Kualiti perkakasan visual juga penting untuk kejayaan penggunaan VRT dalam pembedahan ortopedik. Prosedur pembedahan ortopedik sering dihalang oleh medan penglihatan yang lemah disebabkan oleh faktor seperti pendarahan yang berlebihan dan halangan oleh struktur anatomi (Lands et al. 2019). Oleh itu, isyarat visual ini mesti diterjemahkan dengan tepat ke dalam persekitaran maya melalui input deria dan motor supaya para pelatih dapat menjangkanya dalam pembedahan sebenar.

Sebagai alternatif, hasil kejayaan perisian platform VR dikaitkan dengan simulasi persekitaran yang mendalam, terutamanya dalam aspek haptik, teknikal dan aspek-aspek grafikal persekitaran yang disimulasikan. Pengalaman VR yang tidak mengasyikkan atau tidak mendalam, sering menyebabkan kurangnya minat dalam mengambil bahagian dan sering hilang tumpuan semasa latihan (Clarke 2021). Oleh itu, kecerdasan buatan dan rangkaian adalah penting untuk membangunkan ciri haptik dan teknikal yang mendalam, manakala komputer berasaskan fizik dan model visualisasi adalah penting untuk mereka bentuk ciri grafik yang realistik dalam sistem VR. Kesemua elemen ini adalah penting bagi meningkatkan aplikasi antara muka manusia-komputer (Wilson et al. 2020). Ciri ini akan membantu pelatih agar lebih bersedia dalam pelbagai komplikasi yang mungkin berlaku semasa pembedahan sebenar (Laporte, Tornetta & Marsh, 2019). Tanpa interaksi yang mendalam dengan persekitaran maya yang tidak dibangunkan dengan baik, pelatih tidak akan mendapat latihan yang wajar dan berkemungkinan gagal mengendalikan sebarang kecemasan serius yang mungkin berlaku semasa pembedahan sebenar.

Faktor-faktor ciri VR	Faktor-faktor realisme	Faktor-faktor keefektifgunaan	Kawalan dan faktor-faktor pembelajaran yang aktif	Faktor-faktor pelajar	Faktor-faktor hasil pembelajaran	Faktor-faktor pengindahan
- Pertakasan - Komputer - Pertakasan visual - Peranti haptik - Peralatan pembedahan - Operator stesen mentor - Instrumen - Ciri-ciri ringkas - Skrin beresolusi tinggi - Penderia - Maklumat motor - Perisian - Model komputer berasaskan fizik - Model visualisasi - Model haptik - Grafik - Keterampilan buatan - Rangkaian - Antara muka manusia-komputer	- Persamaan anatomi - Antara muka visual dan haptik - Maklumat balas haptik - Realisme dalam pergerakan - Faktor-faktor kawalan - Control-control pergerakan - Antara muka pengguna dan panduan - Teknik pembedahan 2-tangan dan 2-kaki - Menawarkan kawalan pembedahan bermutu - Pergerakan ekonomi yang lebih besar	- Kebergunaan yang diteliti - Menawarkan pengalaman yang penuh berpengalaman - Menawarkan pengalaman yang sangat realistik - Memberikan maklumat balas yang informatif - Pengurangan kos - Ketepatan - Kesihatan - Keberkesanan - Kemudahan penggunaan yang diteliti - Perskitaran pembelajaran yang selamat - Mengurangkan keimbangan palatib - Mengajar beberapa pembedahan - Perskitaran berikutan tulang tekaman - Mengurangkan kompleksiti	- Kawalan pelajar - Alat latihan - Kemahiran penilaian - Pemindahan kemahiran - Semula jadi - Intensiti - Tempoh latihan - Jenis simulator - Latihan dan pembelajaran pembedahan dapat dipercepatkan - Keluk pembelajaran lebih pendek - Membenarkan latihan berulang - Peka bentuk simulator - Fungsi simulator	- Karakter-karakter pelajar - Tahap prapembelajaran - Gaya pembelajaran sedia ada - Tajam dan sikap mengambil peluang bagi mengukuhkan pembelajaran	- Pencapaian prestasi - Peningkatan kecakapan pembedahan - Peningkatan prestasi pembedahan ortopedik yang lebih baik - Prestasi bilik bedah yang lebih baik - Prestasi makmal eksperimen yang lebih baik - Pengetahuan yang lebih baik mengenai artroskopi, kedudukan glenoid, orientasi pin panduan, penempatan patah dan osteotomi - Keberkesanan pembelajaran yang diteliti - Mengurangkan kadar komplikasi - Keselamatan pesakit dipertingkatkan - Hasil keputusan pesakit yang lebih baik - Mengurangkan masa bagi menyisipkan pembedahan - Mengurangkan jumlah tulang yang direseksi dan kesesuaian implan	- Struktur dan isi kandungan - Kekurangan kurikulum latihan komprehensi dan bersepadu - Jumlah latihan yang tidak dibelanjai - Hilang pundi selepas latihan - Kurang bimbingan dan pengawasan - Kos yang tinggi - Peralatan tidak terdapat - Kemahiran teknikal - Tahap realisme yang tinggi - Tahap kerumitan yang tinggi - Demarkahan simulator yang rendah - Kemahiran bukan teknikal - Penggunaan alat - Pemertanian masa hadapan - Kesediaan mental - Flakabiliti kognitif - Peka keadaan sekeliling - Membuat keputusan - Komunikasi - Kerja berpasukan - Kepimpinan - Kekurangan maklumat balas guru yang aktif

Rajah 2.18 CSFs dalam domain ortopedik

Sumber: Bajuri, Benferdia & Ahmad, 2021

2.3.2 Faktor-faktor Realisme

Manakala untuk faktor realisme, antara CSFs yang telah dikenal pasti termasuklah persamaan anatomi, antara muka visual dan haptik, maklum balas haptik, realisme dalam simulasi pergerakan kasar dan pergerakan yang halus (Bajuri, Benferdia & Ahmad, 2021). Kekurangan realisme dalam model anatomi kaki dilaporkan menghalang proses pembelajaran manakala kekurangan realisme dalam input haptik di dapati mengurangkan pengalaman pengguna (Laporte, Tornetta & Marsh, 2019). Akhir sekali merupakan faktor-faktor kawalan yang menerangkan corak-corak pergerakan menghasilkan antara muka pengguna dan panduan. Pemasangan teknik pembedahan dua (2)-tangan dan dua (2)-kaki telah menawarkan kawalan pembedahan yang unggul dan penjimatan tenaga yang lebih baik. Kebolehkawalan VR yang sedemikian adalah penting kerana ia memudahkan proses pemindahan kemahiran dan para pelatih dapat menyempurnakan kemahiran pembedahan mereka bagi mengurangkan kesilapan ketika berada dalam pembedahan yang sebenar (Clarke 2021).

2.3.3 Faktor-faktor Kebolehgunaan

Kebolehgunaan merupakan salah satu CSFs yang turut mempengaruhi hasil latihan ortopedik menggunakan VRT. Faktor-faktor tersebut boleh dibahagikan kepada dua aspek iaitu penelitian kebergunaan dan penelitian kemudahan penggunaan. Penelitian kebergunaan merujuk kepada potensi penggunaan VR yang dapat membantu mengurangkan kos dengan memberikan pengalaman yang sangat versatil, penuh dengan pendidikan dan realistik dalam pemerolehan pengetahuan dan maklum balas formatif semasa latihan simulasi dijalankan (Wedel, Bigne & Zhang, 2020). Contoh pengetahuan yang dimaksudkan adalah kemahiran psikomotor halus untuk pembedahan terbuka, pemahaman tentang hubungan ruangan antara pelbagai struktur anatomi, serta dimensi putaran dan translasi sistem otot rangka (Lohre et al. 2020). Aspek kebergunaan yang diteliti juga merangkumi keesahan, kebolehpercayaan dan keberkesanan VRT dalam mengukur tahap kemahiran pembedahan yang berbeza (Bajuri, Benferdia & Ahmad, 2021; Benferdia et al. 2018).

Penelitian terhadap kemudahan penggunaan termasuklah penyediaan persekitaran pembelajaran yang selamat dalam mempelajari beberapa prosedur

pembedahan (Buttussi & Chittaro 2018). Dengan penggunaan simulator VR, persekitaran yang dapat mengurangkan tekanan para pelatih dalam mempraktikkan kemahiran pembedahan mereka dapat diadakan berbanding dengan tetapan bilik pembedahan sebenar yang berkemungkinan boleh terjadi perkara di luar jangkaan. Persekitaran pembelajaran yang tidak terlalu memberikan tekanan akan membantu dengan pemerolehan kemahiran dan hasil latihan yang lebih baik. Selain itu, kebimbangan para pelatih juga dapat dikurangkan. Hal ini akan memudahkan proses pembelajaran dan membolehkan pengecaman patologi pembedahan sewajarnya yang memberi kelebihan dalam mengurangkan kerumitan prosedur (Benferdia et al. 2018).

2.3.4 Faktor-faktor Kawalan dan Pembelajaran yang Aktif

Reka bentuk pengajaran yang menentukan kawalan pelajar dirujuk sebagai kawalan dan faktor-faktor pembelajaran yang aktif. Implikasi daripada kawalan pelajar, mereka dapat membuat keputusan mengenai aktiviti perjalanan pembelajaran atau pengajaran mereka. Kawalan pelajar merangkumi aspek yang luas, termasuk alatan latihan, kemahiran penilaian, sifat latihan, intensiti pembelajaran, tempoh latihan, jenis simulator, reka bentuk simulator dan fungsinya (Aïm et al. 2016). Sistem pembedahan menggunakan VRT yang ideal seharusnya memudahkan dan menambah keberkesanan proses pemindahan, mempercepatkan latihan dan pembelajaran dalam prosedur pembedahan, keluk pembelajaran yang lebih pendek dan membolehkan latihan berulang sehingga keyakinan dapat dicapai. Proses pembelajaran menggunakan VR seharusnya menyeronokkan, interaktif, dan membenarkan penilaian serta maklum balas yang pantas dengan objektif latihan pemerolehan kemahiran yang jelas (Benferdia et al. 2018).

2.3.5 Faktor-faktor Pelajar

Faktor-faktor yang melibatkan pelajar lebih tertumpu kepada personaliti dan ciri pelajar itu sendiri. Didapati bahawa, sifat azali atau karakter yang diperoleh pelatih boleh mempengaruhi niat mereka menggunakan VRT, yang boleh menjejaskan hasil pembelajaran. Faktor-faktor ini termasuk tahap prapembelajaran, gaya pembelajaran sedia ada, dan bersikap optimis dalam mengukuhkan pembelajaran (Benferdia et al. 2018). Sebagai contoh, pelatih yang adaptif mempunyai motivasi untuk pembelajaran

kendiri dan minat semula jadi dalam prosedur pembedahan boleh mencapai prestasi yang lebih baik berbanding mereka yang tidak mempunyai kualiti ini. Begitu juga halnya dengan pakar pembedahan baharu yang berbakat, yakin, berdikari, mempunyai pengalaman dalam pembedahan terdahulu, berpengetahuan mengenai penilaian dan maklum balas untuk mengenal pasti kelemahan serta peluang untuk latihan berulang, akan berupaya menunjukkan prestasi pembedahan yang lebih baik berbanding mereka yang tidak memiliki kualiti ini (Buttussi & Chittaro 2018).

2.3.6 Faktor-faktor Hasil Pembelajaran

Faktor hasil pembelajaran dapat dikaitkan dengan tingkah laku dan prestasi pelatih, yang boleh dibahagikan kepada pencapaian prestasi dan penelitian keberkesanan pembelajaran. Pencapaian prestasi merujuk kepada peningkatan kemahiran yang ditunjukkan oleh pelatih. Dalam konteks pembedahan ortopedik, beberapa pencapaian prestasi yang dilaporkan termasuk peningkatan kecekapan pembedahan, peningkatan prestasi pembedahan ortopedik, peningkatan prestasi bilik pembedahan, peningkatan prestasi makmal eksperimen, peningkatan pengetahuan tentang artroskopi, kedudukan glenoid, orientasi pin panduan, penetapan patah dan osteotomi (Aïm et al. 2016; Atesok et al. 2012).

Sebaliknya, istilah "penelitian keberkesanan pembelajaran" merujuk kepada peningkatan dalam hasil pembedahan yang ditunjukkan oleh pesakit. Ini termasuk pengurangan kadar komplikasi, peningkatan keselamatan pesakit, kesihatan pesakit yang lebih baik, pengurangan masa untuk menyiapkan pembedahan, pengurangan jumlah tulang yang direseksi dan kesusutan implan (Lohre et al. 2020; Aïm et al. 2016; Atesok et al. 2012).

2.3.7 Faktor-faktor Pembatasan

Faktor-faktor pembatasan merupakan faktor yang boleh menjadi penghalang untuk mencapai objektif VRT yang diingini. Faktor pembatasan boleh dikelaskan kepada pembatasan dalam struktur dan kandungan, kemahiran teknikal dan bukan teknikal. Pembatasan struktur dan kandungan merujuk kepada kelemahan reka bentuk kurikulum VRT, termasuk kekurangan kurikulum latihan yang komprehensif dan bersepadu, tidak

mengetahui jumlah latihan yang telah dijalani, hilang arah selepas menjalani latihan mungkin berpunca daripada kurangnya bimbingan dan penyeliaan, kos yang tinggi dan peralatan yang tidak tersedia (Carruth 2017; Aïm et al. 2016). Pembatasan kemahiran teknikal melibatkan kelemahan yang berkait dengan hasil pembelajaran yang lemah khususnya untuk domain ortopedik, seperti tahap realisme berlebihan untuk struktur anatomi, tahap kerumitan yang melampau dalam prosedur pembedahan dan pemarkahan simulator yang lemah dalam sistem penilaian dan maklum balas (Clarke 2021). Manakala pembatasan kemahiran bukan teknikal melibatkan kelemahan yang berkaitan dengan hasil pembelajaran yang lemah yang tidak semata-mata menjurus untuk domain ortopedik, seperti pengesanan ralat, perancangan ke hadapan, kesediaan mental, kebolehubahan kognitif, kesedaran situasi, membuat keputusan, komunikasi, kerja berpasukan, kepimpinan dan kurangnya maklum balas yang efektif daripada pengajar (Benferdia et al. 2018; Carruth 2017).

2.3.8 Kesimpulan

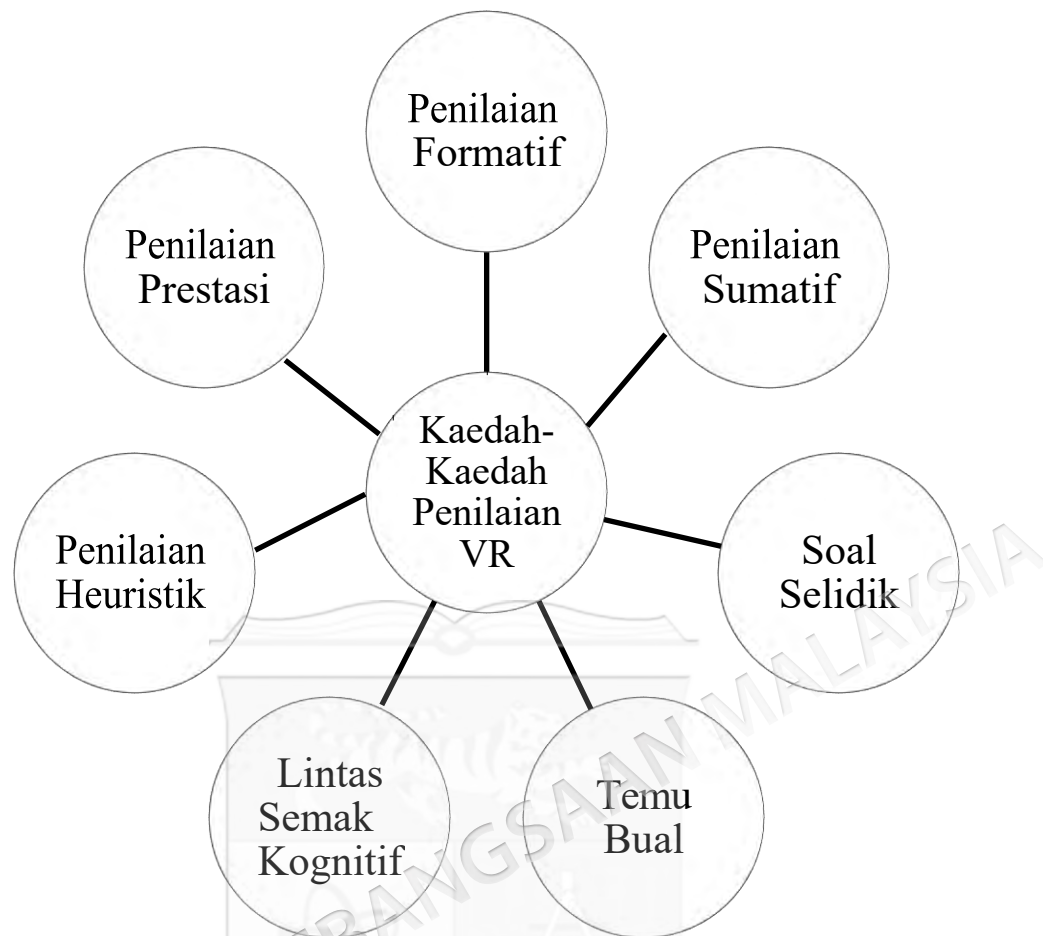
Kesimpulannya, antara kesemua CSFs yang telah dikenal pasti, faktor kawalan, faktor pembelajaran yang aktif, dan faktor pelajar yang menunjukkan faktor-faktor dalaman pelatih, merupakan CSFs yang berjaya dalam latihan menggunakan VR. Berkenaan dengan faktor-faktor hasil pembelajaran, faktor-faktor ini hanyalah menjadi penunjuk kejayaan dalam pelaksanaan VR dalam domain ortopedik yang tidak berkaitan dengan kaedah penilaian VR. Selain itu, aspek-aspek yang dibincangkan dalam ciri-ciri VR, iaitu faktor kebolegunaan dan faktor pembatasan adalah dikaitkan dengan sistem penilaian VR yang tidak sesuai digunakan untuk menilai aplikasi VR (Martens 2016). Oleh itu, faktor-faktor ini boleh menjadi garis panduan untuk menambah baik sistem penilaian VR dalam latihan pembedahan ortopedik.

2.4 KAEDAH-KAEDAH PENILAIAN REALITI MAYA

Kebolegunaan aplikasi VR dinilai menggunakan pelbagai kaedah. Kaedah ini termasuk penilaian formatif, penilaian sumatif, soal selidik, temu bual, penilaian prestasi pengguna, lintas semak kognitif dan penilaian heuristik seperti yang diilustrasikan dalam Rajah 2.19. Setiap kaedah ini mempunyai kesesuaian dan isu-isu tersendiri apabila digunakan dalam penilaian VR.

2.4.1 Penilaian Formatif

Penilaian formatif merupakan kaedah penilaian empirikal dan pemerhatian yang menilai interaksi pengguna dengan meletakkan wakil pengguna secara berulang dalam senario berasaskan tugas bagi mengenal pasti isu kebolegunaan dalam aplikasi VR. Ia juga sesuai bagi menilai kecekapan reka bentuk VR dalam menyokong penerokaan pengguna, pembelajaran dan prestasi tugas. Kaedah tersebut boleh dikelaskan kepada jenis tidak formal dan jenis formal. Jenis tidak formal hanya mampu memberikan hasil berbentuk kualitatif seperti insiden kritikal, reaksi umum dan ulasan pengguna, manakala jenis formal mampu menghasilkan kedua-dua keputusan kualitatif dan kuantitatif seperti pemasaan tugas dan kiraan ralat. Memandangkan penilaian formatif digunakan untuk menilai reka bentuk VR yang sedang berkembang, ia sesuai digunakan sebagai alat penilaian di sepanjang keseluruhan peringkat prototaip, memaklumkan setiap ulangan reka bentuk keseluruhan prototaip dan kebolegunaan (Martens 2016).



Rajah 2.19 Jenis-jenis kaedah penilaian VR yang berbeza

Lee, Nam dan Kim (2018) telah menggunakan kaedah penilaian formatif tidak formal dalam kajian mereka bagi menilai kandungan VR lawatan muzium sejarah secara maya yang begitu mempesonakan. Aplikasi VR mensimulasikan persekitaran 3D muzium bersejarah menggunakan HMD dan tetikus 3D tangan yang interaktif sebagai alat navigasi untuk pengguna melayari persekitaran maya muzium. Dalam kajian itu, pengguna diminta untuk menyelesaikan satu set tugas perwakilan, termasuk mencari dan memasuki pintu masuk dalam muzium, navigasi melalui persekitaran maya, memeriksa butiran sejarah di bilik maya bersebelahan dengan muzium dan mencari gambar yang tertanam dalam bilik. Pengguna kemudiannya diminta untuk mengenal pasti dan menilai masalah yang dihadapi semasa menggunakan aplikasi mengikut ciri reka bentuk yang ditetapkan oleh pasukan penyelidik, termasuk interaksi, grafik, ciri persekitaran dan kawalan. Masalah interaksi seperti tidak dapat mengalihkan objek semasa meneroka persekitaran maya, masalah grafik seperti objek terapung dan

menyebabkan kelewatan dalam mengemas kini paparan grafik 3D apabila mengalih atau menukar sudut pandangan serta masalah kekeliruan apabila melalui dinding dan permukaan lain telah dikenal pasti menggunakan kaedah penilaian kualitatif. Kajian ini menyimpulkan bahawa sekiranya senarai penunjuk ditetapkan untuk masalah berbeza yang telah dikenal pasti dan boleh dikategorikan oleh pengguna-pengguna, ia dapat berfungsi sebagai panduan yang mudah untuk mereka bentuk semula atau meningkatkan aplikasi VR (Lee, Nam & Kim, 2018).

Terdapat satu lagi kajian yang menggunakan kaedah penilaian formatif formal bagi menilai sistem latihan keselamatan lombong VR. Proses penilaian ini melibatkan pengenalpastian penunjuk kualitatif seperti komponen sistem aplikasi VR, termasuk perisian dan perkakasan. Manakala penilaian kuantitatif pula melibatkan pengiraan wajaran mengikut petunjuk yang telah dikenal pasti. Keputusan menunjukkan bahawa masalah utama yang dikenal pasti dalam sistem VRT lombong adalah berkaitan perisian dengan wajaran sebanyak 49.62%. Antara isu-isu yang disenaraikan adalah kekurangan realisme, ketiadaan rekod data pengguna dan tahap kebebasan terhad dalam adegan VR. Hal ini menunjukkan bahawa, sistem VRT boleh dinilai secara saintifik dan efisien menggunakan kaedah penilaian formatif formal yang membolehkan penilaian kualitatif dan kuantitatif. Dengan kaedah ini, kelemahan sistem boleh dikenal pasti daripada keputusan penilaian dan boleh menjadi panduan bagi penambahbaikan aplikasi (Zhang, He & Mitri, 2019).

Walau bagaimanapun, struktur persekitaran maya adalah kompleks dan memerlukan pelbagai jenis input deria untuk mencipta dan mengekalkan kewujudan. Kesudahannya, beberapa jenis perisian dan perkakasan yang berbeza dan tidak serasi jika digandingkan, terpaksa digunakan untuk rakaman walaupun masing-masing mempunyai nilai tafsiran yang berbeza. Kerumitan sebegini boleh menghalang rekod dan analisis maklumat kuantitatif seperti masa menyiapkan tugas, ralat tugas dan bilangan insiden kritikal. Perkara ini menjadi cabaran kepada para penyelidik bagi melaksanakan kaedah penilaian formatif (Martens 2016).

2.4.2 Penilaian Sumatif

Penilaian sumatif merupakan kaedah yang membandingkan secara statistik satu atau lebih konfigurasi berbeza bagi reka bentuk antara muka pengguna, termasuk komponen reka bentuk dan teknik interaksi yang khusus. Penggunaan kaedah ini memerlukan wakil pengguna mencuba setiap versi reka bentuk VR manakala penilai bertanggungjawab mengumpul data kualitatif dan kuantitatif. Sama seperti penilaian formatif, penilaian sumatif juga boleh dikelaskan kepada jenis tidak formal dan formal. Jenis tidak formal adalah pengumpulan data kualitatif seperti insiden kritikal, reaksi umum dan komen pengguna, manakala jenis formal merupakan pengumpulan data kualitatif dan kuantitatif seperti masa tugas dan kadar ralat. Akan tetapi tidak seperti penilaian formatif, penilaian sumatif membolehkan perbandingan lebih daripada satu reka bentuk VR. Disebabkan oleh evolusi dinamik teknologi VR, seseorang yang pakar dalam bidang ini biasanya adalah terhad. Oleh itu keupayaan bagi membolehkan perbandingan berbilang reka bentuk VR sekali gus akan memberi manfaat kepada penyelidik dari aspek sumber pakar, masa dan kos yang diperlukan untuk proses penilaian. Penilaian sumatif sesuai untuk penilaian prototaip di peringkat akhir, kerana kebolegunaan umum telah diwujudkan selepas selesai reka bentuk antara muka pengguna (Martens 2016).

Yu et al. (2022) dalam kajian mereka telah menggunakan kaedah penilaian sumatif formal bagi menilai keberkesanan sistem latihan pembedahan laparoscopi secara VR. Seramai 51 orang pelajar perubatan (iaitu seramai 41 orang telah dilatih menggunakan simulator VR, dan seramai sepuluh (10) orang lagi tidak dilatih menggunakan simulator VR) mengambil bahagian dalam kajian untuk melaksanakan empat tugas (tiga (3) tugas kemahiran pembedahan asas dan satu (1) tugas reseksi kolon). Keberkesanan simulator VR telah dinilai berdasarkan prestasi pelajar dalam tugas. Markah prestasi mereka ditentukan daripada video yang dirakam mengikut piawaian *Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills* atau GOALS, yang merangkumi masa penyiapan dan bilangan ralat yang dilakukan. Sebagai tambahan kepada markah yang diperoleh daripada sistem, pakar perubatan juga dijemput untuk menilai prestasi pelajar. Data fisiologi seperti keadaan fikiran para pelatih ketika asyik menggunakan simulator termasuk penilaian bebanan kognitif diekstrak daripada kadar denyutan jantung dan *electroencephalogram* (EEG). Kesemua data ini dianalisis dan

dibandingkan antara kumpulan eksperimen dan kawalan. Kajian ini telah menyimpulkan bahawa gabungan penilaian prestasi dan data fisiologi yang dikumpul daripada pengguna VR memberikan perwakilan kuantitatif tentang keberkesanan sistem VR.(Yu et al. 2022).

Demikian juga, Jacobsen et al. (2015) telah menggunakan kaedah penilaian sumatif jenis formal bagi menyiasat kesahihan dan kebolehpercayaan simulator artroskopi lutut VR yang dipanggil *ARTHRO Mentor*. Pengguna yang mengambil bahagian dalam kajian ini termasuk pakar bedah baharu dan pakar bedah yang berpengalaman. Mereka telah diminta untuk menyelesaikan empat (4) tugas, termasuk diagnostik artroskopi (skop sahaja), lesi pada *bucket-handle* medial, meniskus diskoid separa sisi dan diagnostik artroskopi (eksplorasi prob). Data kuantitatif metrik simulator seperti jarak kamera, jarak prob, ketakrataan kamera, ketakrataan semasa eksplorasi prob dan masa tugas disiapkan, diperolehi apabila kedua-dua kumpulan pengguna menjalankan tugas mereka. Data kemudiannya dibandingkan di antara kedua-dua kumpulan bagi memastikan sama ada terdapat sebarang perbezaan yang signifikan dalam metrik apabila digunakan oleh pakar bedah yang berbeza kecekapan. Perkara ini membolehkan penemuan isu kebolehgunaan yang terdapat dalam simulator VR. Hasil kajian mendapati perbezaan yang ketara dalam jarak siasatan dan kekasaran semasa penjelajahan dilakukan bagi prosedur diagnostik artroskopi (pemeriksaan menggunakan prob) antara pakar bedah baharu dan berpengalaman. Penyelidik kemudian mendapati bahawa perbezaan ini berpunca daripada kegagalan simulator untuk meniru konfigurasi triangulasi realistik dalam keadaan situasi sfera biru diprob masuk dalam alur patellofemoral semasa lutut dilunjurkan ke 0°. Selain itu, kaedah penilaian sumatif juga menemui isu keesahan konstruk yang berkaitan dengan simulator melalui perbandingan masa menyiapkan tugas antara kedua-dua kumpulan. Pakar bedah yang berpengalaman menyatakan bahawa simulasi tidak menggambarkan prosedur reseksi meniskus yang realistik, mengakibatkan pakar bedah baharu dan tidak berpengalaman mendapat prestasi yang teruk (Jacobsen et al. 2015). Dapatan ini menunjukkan bahawa kaedah penilaian sumatif formal mampu menjadi alat penilaian yang berkesan dalam mengenal pasti isu terperinci aplikasi VR tertentu.

Sementara itu, penilaian sumatif tidak formal telah digunakan dalam kajian yang menyiasat kesahihan OntoPhaco, ontologi untuk pembedahan oftalmologi menggunakan VRT. Kajian ini menggunakan pendekatan perbandingan dimensi dalam subjek dan gabungan kumpulan fokus dengan menggunakan kaedah eksperimen bagi menilai kecekapan OntoPhaco. OntoPhaco merupakan kaedah penilaian yang berasaskan pengguna. Pada mulanya pengguna-pengguna dibenarkan menggunakan VRT tanpa visualisasi OntoPhaco, dan kemudiannya menggunakan VRT dengan visualisasi. Selepas itu, temu bual dijalankan bagi mendapatkan maklumat kualitatif berkenaan pengalaman pengguna dari aspek bimbingan visual, visualisasi, kandungan dan pemerolehan pengetahuan. Maklumat yang dikumpul telah dibuat perbandingan antara sebelum dan selepas aplikasi visualisasi OntoPhaco. Ini kemudiannya akan memberikan pemahaman tentang bagaimana OntoPhaco dapat memberi manfaat kepada pengguna mereka dari segi pembelajaran dan pemerolehan pengetahuan dalam aplikasi VRT, sekali gus menunjukkan kebolegunaan ontologi (Benferdia et al. 2020; Mohamad et al. 2021; Youcef, Ahmad & Mustapha, 2021).

Terdapat juga kajian lain yang menggunakan kaedah penilaian sumatif dalam penyiasatan keberkesanan aplikasi VRT. Walau bagaimanapun, kajian tersebut hanya tertumpu kepada menilai tahap pemerolehan kemahiran di sisi pengguna dan bukannya pada penilaian konfigurasi atau sifat dalam alat penilaian VR. Sebagai contoh, Sholihin et al. (2020) telah menggunakan jenis penilaian sumatif tidak formal bagi membandingkan tahap kecekapan etika antara pelajar yang dilatih dengan sistem pembelajaran etika perniagaan VR dan pelajar yang tidak terlatih. Perbandingan itu memberikan petunjuk tentang keberkesanan sistem VR dalam pengajaran etika perniagaan dalam kalangan pelajar (Sholihin et al. 2020).

2.4.3 Soal Selidik

Soal selidik merupakan kaedah penilaian yang menggunakan set soalan bertulis bagi mengumpul maklumat demografi, pendapat, pandangan dan pilihan pengguna berikutan penyertaan mereka dalam sesi penilaian kebolegunaan. Soal selidik berfungsi sebagai cara yang mudah bagi mengumpul maklumat subjektif, kualitatif dan kuantitatif daripada pengguna. Memandangkan ia lebih mudah untuk dilaksanakan dan lebih

konsisten daripada temu bual, soal selidik boleh digunakan di sepanjang keseluruhan proses prototaip (Martens 2016).

Satu kajian telah dilakukan oleh pengkaji dari Korea menggunakan kaedah tinjauan soal selidik yang mereka namakan sebagai Kaedah Delphi bagi menilai kandungan VRT aplikasi pendidikan teknologi berasaskan mudah alih. Pertama sekali, mereka mengkategorikan jenis kandungan VRT kepada tiga kumpulan iaitu jenis kefahaman struktur, jenis prosedur pembelajaran dan jenis eksperimen peralatan. Item penilaian kemudiannya ditentukan untuk tiga (3) bidang (iaitu bidang pembelajaran, bidang media dan bidang kualiti kandungan) berdasarkan sorotan kajian terdahulu. Seterusnya, keesahan item penilaian untuk kandungan VRT yang berbeza telah dinilai oleh 20 orang pakar domain dengan menggunakan kaedah tinjauan soal selidik Delphi. Setiap item dinilai pada skala lima (5) mata, iaitu skor lima (5) adalah sangat mencukupi dan skor empat (4) adalah mencukupi. Skor tersebut kemudiannya dinyatakan dalam bentuk nisbah keesahan kandungan atau *content validity ratio* (CVR), iaitu nisbah respons positif dengan nilai 0.42 atau lebih tinggi dianggap sebagai memadai. Kajian ini telah menunjukkan soal selidik sebagai alat maklum balas yang berkesan bagi pembangunan dan pelaksanaan kandungan VRT untuk pendidikan teknologi. Ia boleh menjadi panduan untuk penambahbaikan kandungan berdasarkan keputusan penilaian yang diperolehi daripada ketiga-tiga bidang tersebut. Dengan menilai tahap penerimaan kandungan dalam item penilaian yang merentasi tiga (3) bidang, penambahbaikan setiap kawasan untuk jenis kandungan yang berbeza boleh dicadangkan. Walau bagaimanapun, item penilaian adalah khusus untuk setiap jenis kandungan. Oleh itu, sebelum item tersebut dapat dipilih, penyelidik terlebih dahulu perlu kajian sorotan kajian yang banyak (Jin, Yun & Lee, 2018). Namun, proses ini selalunya memakan masa dan terdapat juga kemungkinan kehilangan item penting, yang masih belum ditemui dalam penerbitan sebelumnya. Selain itu, walaupun kaedah soal selidik Delphi membolehkan terjemahan penarafan kepada data kuantitatif, ia masih berdasarkan pemarkahan subjektif oleh pakar domain. Oleh itu, isu subjektiviti masih wujud dan ini boleh membawa kepada keputusan yang berat sebelah.

Oleh kerana soal selidik yang bersifat subjektif, ia lebih kerap digunakan bersama dengan kaedah penilaian yang lain. Sebagai contoh, Yu et al. (2022)

menggunakan soal selidik bersama kaedah penilaian sumatif bagi menilai keberkesanan simulator pembedahan laparoscopi VR. Selepas latihan menggunakan simulator VR dan menyelesaikan satu siri tugas yang diperlukan berkaitan dengan prosedur pembedahan laparoscopi, pelajar perubatan diminta untuk melengkapkan soal selidik tentang beban kognitif dan pengalaman mereka ketika asyik menggunakan simulator VR. Beban kognitif dinilai menggunakan skala Pas, NASA-TLX dan WP, manakala pengalaman ketika menggunakan VR dinilai menggunakan skala EGame dan skala Cheng. Dalam kajian ini, soal selidik hanya bertindak sebagai alat penilaian tambahan kepada kaedah penilaian sumatif, yang berfungsi sebagai alat penilaian utama yang boleh memberikan data fisiologi kuantitatif yang lebih dipercayai seperti kadar denyutan jantung dan EEG. Selain itu, memandangkan kajian ini bertujuan untuk mengesahkan keberkesanan simulator VR dengan memberi penekanan kepada peningkatan kemahiran pembedahan dalam kalangan pelajar perubatan dan bukannya pada kaedah penilaian yang digunakan, kebolehpercayaan soal selidik hanya dinilai menggunakan alfa Cronbach asas, Kaiser-Meyer-Olkin. (KMO) dan pekali Barlett. Kaedah penilaian soal selidik tidak disemak secara kritis, justeru kelemahannya tidak dinyatakan dalam kajian (Yu et al, 2022).

Selain itu, terdapat juga penyelidikan lain dengan objektif menilai aplikasi lawatan muzium VR yang turut menggunakan soal selidik sebagai alat tambahan bersama dengan kaedah penilaian lain seperti penilaian heuristik dan temu bual. Pendekatan soal selidik berfungsi bagi mengumpul maklumat tambahan daripada pengguna berkenaan dengan pengalaman mereka menggunakan sistem VR. Soal selidik yang digunakan dalam kajian ini dibahagikan kepada dua (2) bahagian. Bahagian pertama dibina mengikut empat (4) dimensi: keaslian, interaktiviti, navigasi dan pembelajaran; dan 15 heuristik yang ditakrifkan oleh penyelidik berdasarkan penerbitan terdahulu. Sebanyak 18 item telah dimasukkan dalam bahagian ini, dan pengguna dikehendaki menilai setiap item pada skala Likert 5 peringkat iaitu antara sangat tidak setuju, tidak setuju, umum, setuju dan sangat setuju. Bahagian kedua pula mengandungi format pilihan tunggal untuk maklumat demografi seperti umur, jantina dan latar belakang pendidikan. Kebolehpercayaan soal selidik dinilai menggunakan pekali alfa Cronbach. Pengguna diminta untuk melengkapkan soal selidik selepas penyertaan mereka dalam lawatan muzium VR. Kajian ini telah merumuskan bahawa dengan

menggunakan gabungan pendekatan soal selidik, penilaian heuristik, dan temu bual, mungkin pengesahan dimensi dapat dilakukan dalam masa yang sama dan dapat mempermudah dan merasionalkan lawatan muzium secara VR (Li, Nie & Ye, 2022). Oleh itu, sebagai alat penilaian tambahan, soal selidik mungkin memberikan maklumat tambahan mengenai pengalaman pengguna. Walau bagaimanapun, langkah berwaspada perlu diambil memandangkan isu subjektiviti yang mendasarinya boleh mengakibatkan keputusan berat sebelah.

2.4.4 Temu Bual

Temu bual merupakan salah satu cara bagi mengumpul maklumat kualitatif dengan bercakap terus dengan pengguna. Kaedah temu bual membolehkan pengumpulan lebih banyak maklumat berbanding soal selidik kerana ia boleh meneroka butiran yang lebih mendalam mengenai sesuatu topik. Oleh itu, temu bual adalah kaedah yang sesuai bagi mengumpul reaksi subjektif, pandangan dan wawasan pengguna dalam mengulas isu-isu tertentu. Temu bual berstruktur mengandungi satu set soalan yang telah disusun sebelumnya mengenai perkara yang ingin diketahui oleh penyelidik. Jenis temu bual ini lebih cenderung menjadi kaku dan maklumat yang dikumpul biasanya terhad dan mungkin mengandungi pendapat yang kurang bernas daripada pengguna. Sebaliknya, temu bual terbuka lebih bersifat eksploratori dan set soalan yang tidak ditetapkan, orang yang ditemu bual juga dapat memberikan maklumat tambahan berkenaan sesuatu topik. Ia juga membolehkan penemuduga meneroka laluan penyoalan lebih meluas yang mungkin berlaku kepada mereka secara spontan semasa sesi temu duga berlangsung. Kadangkala, demonstrasi prototaip juga boleh digunakan bersama dengan temu bual bagi membantu pengguna bercakap mengenai antara muka. Seperti mana dengan soal selidik, temu bual juga boleh digunakan sebagai alat penilaian sepanjang keseluruhan proses prototaip. Temu bual mungkin lebih sesuai sebagai alat penilaian untuk proses prototaip yang lebih awal sekiranya digunakan secara eksploratori berbanding dengan soal selidik (Martens 2016). Walau bagaimanapun, disebabkan oleh sifat subjektif temu bual yang memberikan tumpuan kepada maklum balas yang dilaporkan sendiri daripada pengguna, ia kebiasaannya digunakan sebagai alat penilaian tambahan bersama dengan kaedah penilaian lain.

Sehubungan dengan itu, sebagai contoh, terdapat kajian yang menggunakan temu bual sebagai alat tambahan bersama dengan kaedah lintas semak (*walkthrough*) kognitif bagi mendapatkan maklum balas lisan dan pendapat yang lebih bernas daripada pengguna mengenai pelbagai aspek untuk enam (6) platform VR sosial. Temu bual berstruktur dengan set soalan yang telah ditetapkan telah digunakan dalam kajian tersebut. Aspek-aspek yang menjadi asas bagi soalan termasuk kehadiran, kehadiran bersama dan sejauh mana mendalam atau keasyikan yang dirasakan ketika berada dalam alam VR, interaksi dengan persekitaran maya (iaitu bagi kawalan peranti input), dan keselesaan untuk berkomunikasi dengan avatar lain ketika berada dalam senario (iaitu seperti sentuhan mata, gerak isyarat tangan, interaksi lisan dan keberkesanan pendengaran). Melalui temu bual bersama pengguna, penyelidik dapat mengenal pasti beberapa isu yang berkaitan dengan sistem VR, termasuk isu komunikasi dan kebolehlihatan. Selain itu, pengguna juga dapat memberikan penerangan yang jelas tentang perasaan mereka semasa berada dalam persekitaran maya platform VR yang berbeza. Situasi ini membolehkan perbandingan antara muka pengguna dilakukan antara platform VR yang berbeza (Liu & Steed 2021).

Begitu juga dengan kajian lain yang menggunakan temu bual sebagai alat tambahan sebagai kaedah penilaian heuristik bagi menilai sistem pelancongan muzium maya dalam talian yang menampilkan pameran seni bina Kota Larangan di China. Soalan separa berstruktur yang memfokuskan empat (4) dimensi iaitu, pengalaman menggunakan VR, persepsi kehadiran, keupayaan navigasi dan sokongan pembelajaran telah digunakan dalam temu bual selama 15 minit sehingga 30 minit selepas pengguna menyelesaikan lawatan muzium maya mereka. Para penyelidik telah menggandingkan temu bual dalam sistem penilaian mereka bagi memberikan pemahaman yang lebih komprehensif dan mendalam pengalaman lawatan maya daripada pengguna serta menambah kekurangan dalam analisis kuantitatif. Isu yang berkaitan dengan empat dimensi yang disiasat seperti kekurangan interaktiviti, sistem navigasi yang lemah dan sokongan pembelajaran, telah dikenal pasti daripada temu bual yang telah dilaksanakan. Orang yang ditemu bual mendakwa mereka tidak mempunyai peluang untuk lebih berinteraksi dengan pameran ketika melawat di muzium maya. Mereka juga mendakwa bahawa mereka mempunyai kekeliruan persepsi lokasi mereka, menyebabkan mereka mengalami kesukaran dalam menentukan tempat navigasi dalam persekitaran maya.

Akhir sekali, pengguna yang ditemu bual menyatakan kurangnya penerangan bermaklumat mengenai pameran tertentu, dan gagal memenuhi rasa ingin tahu mereka tentang artifak tersebut. Melalui temu bual, penyelidik berjaya mengenal pasti satu lagi faktor penting yang harus dipertimbangkan tetapi sering diabaikan bagi penilaian, iaitu keterangkuman (*inclusivity*). Dimensi penilaian yang terangkum harus disertakan untuk menangani globalisasi yang mengambil kira keadaan fizikal dan mental pengguna. Ini kerana pengguna yang menyertai lawatan muzium maya datang daripada kumpulan umur yang berbeza, iaitu terdiri daripada kanak-kanak hingga warga emas. Oleh itu, adalah penting untuk memastikan kemudahan menggunakan sistem lawatan VR adalah tersedia untuk semua kumpulan umur. Daripada hasil kajian, perkara yang perlu diberi perhatian bahawa, penggunaan pendekatan temu bual dapat membantu penemuan faktor penting yang perlu disertakan bagi penilaian namun ia sering diabaikan oleh pakar VR (Li, Nie & Ye, 2022).

Sehubungan dengan itu, kajian tesis ini menggunakan pendekatan temu bual sebagai alat penilaian tambahan dan kaedah penilaian heuristik serta sumatif bagi mengesahkan tahap pengetahuan yang ditunjukkan oleh OntoPhaco, sebuah ontologi VR untuk latihan pembedahan katarak. Temu bual yang dilakukan dalam talian menyasarkan pakar yang sangat berpengalaman dalam bidang oftalmologi dan bukannya pakar baharu. Seperti kajian-kajian yang terdahulu, perbincangan telah dimasukkan dalam proses pengesahan bagi mengumpulkan maklum balas yang berharga dan bernas berkenaan pengalaman pengguna dalam persekitaran maya. Soalan-soalan tersebut adalah berdasarkan kriteria yang diperlukan untuk reka bentuk ontologi, termasuk kejelasan, ketekalan/kesepaduan, ketepatan, kebolehgunaan, ketepatan, komitmen minimum ontologi, kesempurnaan dan liputan. Seperti yang dijangkakan oleh penyelidik, maklum balas pakar domain, terutamanya yang berkaitan dengan kepuasan pengguna, bimbingan visual, visualisasi dan kandungan latihan, adalah positif. Hanya beberapa pakar yang mengadu mengenai kekurangan kawalan ke atas peranti VR. Pengenalpastian had kawalan pada reka bentuk ontologi VR yang diperolehi hasil daripada temu bual telah memberikan pakar VR idea bagi memperhalusi reka bentuk ontologi mereka (Benferdia et al. 2020; Mohamad et al. 2021; Youcef, Ahmad & Mustapha, 2021). Hal ini menunjukkan kecekapan temu duga sebagai alat penilaian tambahan.

Secara keseluruhan, temu bual terbukti sebagai alat penilaian VR tambahan yang berkesan kerana ia dapat mengenal pasti beberapa isu kebolehgunaan pada aplikasi VR. Walau bagaimanapun, disebabkan sifat subjektivitinya, ia tidak sesuai digunakan sebagai alat penilaian yang berdiri sendiri tetapi hanya sebagai alat penilaian tambahan digabungkan dengan pendekatan penilaian lain yang lebih sah. Seseorang juga perlu berhati-hati apabila menggunakan pendekatan temu duga, terutamanya apabila subjek sasarannya adalah pengguna baharu atau tidak berpengalaman. Memandangkan peserta memerlukan lebih banyak pengalaman menggunakan aplikasi VR, mereka mungkin tidak dapat menawarkan maklum balas yang boleh dipercayai mengenai kehadiran dan keasyikan menggunakan sistem VR (Martens 2016). Oleh itu, temu bual hanya sesuai sebagai alat tambahan, kerana satu lagi kaedah penilaian tambahan dan lebih dipercayai perlu digunakan bagi menampung kekurangan kaedah temu bual.

2.4.5 Lintas Semak Kognitif

Lintas semak kognitif adalah merupakan satu pendekatan penilai menilai antara muka pengguna dengan melihat senarai tugas harian yang mungkin akan diselesaikan pengguna apabila menggunakan sistem VR. Teknik ini boleh menyasarkan langkah berkaitan yang menilai keupayaan antara muka bagi menyokong setiap langkah diambil. Lintas semak kognitif bertujuan untuk digunakan dalam mod pembelajaran penerokaan, terutamanya dalam memudahkan pemahaman tentang kebolehgunaan sistem maya untuk pengguna kali pertama atau penggunaan yang tidak kerap. Walau bagaimanapun, sifat persekitaran maya yang bertujuan untuk mensimulasikan dunia nyata menghalang pelaksanaan teknik jenis ini disebabkan oleh pelbagai jenis interaksi yang mungkin berlaku di dunia nyata. Ini bermakna menilai kebolehgunaan VR dengan lintas semak kognitif memerlukan lebih banyak peringkat penerokaan dan bukannya dengan penyelesaian tugas penting sahaja. Oleh itu, penyelidik biasanya memanjangkan teknik ke dalam model khusus VR yang meneroka lebih banyak interaksi selain daripada penyediaan tugas. Tiga (3) peringkat interaksi sering dilakukan bagi penilaian panduan kognitif, yang merangkumi aktiviti berasaskan tugas, navigasi/penerokaan dan inisiatif sistem. Inisiatif sistem merujuk kepada peranan pengguna untuk mentafsir tindakan yang diambil oleh aplikasi VR dan bertindak balas kepada mereka apabila

inisiatif dikembalikan. Pengguna boleh sama ada menolak atau menerima inisiatif sistem dan menyambung semula navigasi (Martens 2016).

Sebagai contoh, Liu dan Steed (2021) telah mencipta kaedah yang dipanggil *Guided Group Walkthrough Method* dengan memperluaskan kaedah lintas semak kognitif konvensional dalam platform VR sosial sedia ada, yang bertujuan mengenal pasti isu kebolegunaan dalam sistem VR sosial untuk Oculus Quest. Inovasi ini telah mengubah suai kaedah lintas semak menjadi kaedah perbandingan bagimembandingkan sifat kebolegunaan yang berbeza dalam enam platform sosial VR (iaitu AltspaceVR, RecRoom, VRChat, Bigscreen, Spatial dan Mozilla Hubs) dengan mengenal pasti fungsi biasa yang disokong oleh aplikasi VR. Fungsi-fungsi biasa yang dikenal pasti termasuk pembentukan kumpulan, penyelenggaraan kumpulan, komunikasi dan pemantauan tugas. Dalam *Guided Group Walkthrough Method*, seorang pakar akan menjalankan tugas dengan pengguna lain bertindak sebagai ahli kumpulan sambil mengenal pasti sebarang isu yang berkaitan dengan sistem VR. Para penyelidik membina kaedah panduan dengan memanjangkan interaksi tiga (3) peringkat yang dinyatakan sebelum ini dalam persekitaran maya kolaboratif dengan sedikit pengubahsuaian kepada peringkat tertentu. Mereka mengekalkan dua peringkat pertama (iaitu aktiviti tugas dan navigasi) yang menjadi asas kepada kaedah panduan. Tugas utama dikelompokkan kepada lima (5) kategori iaitu pengenalan, komunikasi, navigasi, manipulasi dan penyelarasan, dan peserta dikehendaki mencari rakan di luar talian atau dalam talian, berinteraksi, menggunakan objek dalam bilik maya bagi meluahkan perasaan dan bergerak ke bilik lain bersama-sama. Memandangkan tiada contoh sistem VR yang mengambil alih sepenuhnya paparan dalam platform VR sosial, mereka menggantikan peringkat inisiatif sistem terakhir dengan amaran sistem, yang menampilkan mesej penting yang memerlukan perhatian atau respons pengguna. Menggunakan *Guided Group Walkthrough Method*, para penyelidik berjaya mengenal pasti 10 isu kebolegunaan biasa yang berkaitan dengan enam (6) sistem VR sosial, termasuk penyelarasan komunikasi yang lemah, kekeliruan terhadap kawalan peranti input dan kebutaan, menu tidak kelihatan dalam persekitaran maya, masalah navigasi ruang, masalah manipulasi bersama, kekurangan identiti objek, kekurangan kesedaran bersama, kawalan yang tepat dan had jarak, mekanisme gelembung menghalang interaksi lebih rapat dan koordinasi bilik yang lemah. Selain daripada isu biasa yang

muncul dalam semua platform VR sosial, kaedah panduan ini juga mampu mengenal pasti lebih daripada satu masalah khusus yang berkaitan dengan platform VR sosial tertentu. Sebagai contoh, ekspresi emosi yang rosak dan isu manipulasi yang tidak konsisten telah dikenal pasti dalam aplikasi RecRoom VR begitu juga dengan isu pemberitahuan tertunda yang tiada dalam AltSpaceVR (Liu & Steed 2021). Ini menunjukkan bahawa kaedah ini berkesan dalam mengenal pasti beberapa isu kebolegunaan umum, dan membolehkan perbandingan dan pengenalpastian isu khusus dalam aplikasi VR.

Terdapat satu lagi kajian yang telah mengubah suai kaedah lintas semak kognitif sedia ada dengan menggabungkan yang terkemudian dengan prototaip hibrid bagi menentukan keperluan pengguna melalui pengenalpastian isu kebolegunaan. Memandangkan kaedah tersebut telah diubah suai berdasarkan kaedah lintas semak kognitif asas, seramai sembilan (9) penilai telah ditugaskan untuk menjalankan beberapa siri tugas dan bagi bertanyakan soalan daripada perspektif pengguna. Pengubahsuaian tambahan kepada kaedah lintas semak termasuk penyediaan pesona yang mewakili pengguna prototaip VR yang berbeza kepada penilai dan penyepaduan tugas dalam kes penggunaan yang mencerminkan keperluan setiap senario pembelajaran. Kaedah penilaian yang diubah suai telah digunakan dalam dua (2) versi hibrid prototaip REVERIE. Prototaip ini melibatkan pengguna dalam dua (2) persekitaran maya parlimen Kesatuan Eropah di Brussel dan galeri yang mempamerkan artifak sejarah Mereka telah diminta untuk menyelesaikan pelbagai tugas pembelajaran seperti adegan-adegan meneroka dan mencari objek tertentu. Memandangkan kedua-dua sistem VR masih dalam fasa reka bentuk awal, prototaip telah ditambah dengan papan cerita dan video yang berfungsi untuk memberikan ilustrasi langkah demi langkah mengenai tugas pengguna yang tiada kepada penilai. Penyelidik menggelarkan proses ini sebagai prototaip hibrid. Sebanyak 47 masalah kebolegunaan telah dikenal pasti daripada kaedah penilaian yang diubah suai, dan kebanyakannya berkaitan dengan senario parlimen. Isu-isu tersebut boleh dikategorikan kepada enam (6) kumpulan, iaitu perkhidmatan pengesahan pengguna dan integrasi rangkaian sosial, reka bentuk antara muka pengguna grafik atau *graphical user interface* (GUI), kandungan media, avatar, ciri-ciri dan fungsi-fungsi persekitaran maya REVERIE dan ciri interaksi maya antara pengguna-pengguna (*user-user*) dan pengguna-ejen (*user-agent*). Isu-isu ini

kemudiannya diterjemahkan ke dalam senarai keperluan pengguna bagi membimbing reka bentuk aplikasi VR di masa hadapan. Kajian menunjukkan bahawa menggunakan kaedah lintas semak kognitif yang diubah suai dan digabungkan dengan prototaip hibrid boleh mengenal pasti masalah kebolegunaan yang lebih meluas dengan menghasilkan isu mengkhusus kepada domain dan pengalaman pengguna seperti GUI, navigasi ruang dan orientasi (Doumanis & Economou 2019).

Walaupun bagaimanapun, kaedah penilaian lintas semak kognitif mempunyai beberapa kelemahan. Liu dan Steed (2021) telah menyedari isu kedangkalan dalam kaedah ini ketika mengenal pasti masalah kebolegunaan. Mereka menyedari bahawa kebanyakan isu yang dikenal pasti adalah biasa dan generik merentasi platform VR sosial yang berbeza. Oleh itu, kaedah ini mungkin datang sebagai pembatasan apabila terdapat keperluan untuk pemeriksaan lebih mendalam keterulangan atau keterukan isu kebolegunaan yang terlalu spesifik (Liu & Steed 2021). Selain itu, kedua-dua kaedah panduan kognitif konvensional dan diubah suai memerlukan sumber pakar bagi tujuan penilaian. Walaupun penilaian yang dilakukan oleh penilai yang terlatih mampu memberikan maklum balas yang lebih dipercayai mengenai isu kebolegunaan VR, kekurangan pakar dalam bidang pembangunan VR yang pantas berkembang mungkin menjadi penghalang pelaksanaan kaedah ini (Doumanis & Economou 2019).

2.4.6 Penilaian Heuristik

Penilaian heuristik adalah merupakan kaedah beberapa pakar kebolegunaan menilai secara berasingan reka bentuk VR dengan menggunakan senarai garis panduan reka bentuk atau heuristik yang dianggap relevan oleh pakar. Hasil ini kemudiannya dikumpulkan dan disenaraikan untuk mengutamakan reka bentuk berulang bagi setiap isu kebolegunaan yang dikenal pasti. Memandangkan pengguna perwakilan tidak diperlukan untuk kaedah penilaian ini, ia lebih sesuai digunakan sebagai alat penilaian semasa proses reka bentuk VR di peringkat awal serta pakar boleh membantu mengenal pasti dan membuat pembetulan isu kebolegunaan umum sebelum digunakan oleh pengguna pada peringkat seterusnya (Martens 2016).

Satu kajian telah membangunkan senarai asas sebanyak 12 heuristik bagi menilai kebolegunaan aplikasi VR seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.1. Senarai

ini telah dibangunkan dengan mengkaji secara menyeluruh keputusan mengenai penilaian kebolegunaan aplikasi VR dalam kajian-kajian terdahulu. Penilai kemudiannya membiasakan diri dengan aplikasi VR dan menjalankan beberapa tugas perwakilan pada aplikasi tersebut. Mereka kemudian menggunakan heuristik untuk mentafsir dan mengklasifikasikan masalah yang dihadapi semasa menggunakan aplikasi. Sebelum ini, pengauditan teknologi perlu dilakukan bagi mewujudkan garis dasar tentang perkara yang boleh dijangkakan oleh persekitaran maya secara munasabah, berdasarkan peranti interaktif yang terdapat dalam aplikasi. Langkah tambahan ini adalah untuk memastikan bahawa tugas pengguna adalah bersesuaian dalam meniru tindakan di dunia sebenar. Ia biasanya dijalankan semasa fasa suai kenal, penilai meneroka persekitaran maya dan menyatakan ketiadaan ciri dalam kategori operasi kehadiran pengguna, kekurangan maklum balas haptik, teknik interaktif dan grafik realistik. Fasa terakhir melibatkan pemeringkatan masalah mengikut heuristik berdasarkan keterukan. Kedudukan tersebut mewakili bilangan ralat yang diberikan kepada setiap heuristik berdasarkan pertimbangan penilai. Berikutan penilaian terhadap dua (2) senario menggunakan kaedah tersebut, kajian merumuskan bahawa kaedah penilaian heuristik merupakan alat penilaian yang berkesan, serta boleh membendung isu-isu penting yang berkaitan dengan persekitaran maya, terutamanya yang berkaitan dengan integrasi kehadiran dan kebolegunaan (Sutcliffe & Gault 2004).

Kajian ini menunjukkan bahawa kaedah adalah fleksibel dan dapat digunakan bersama kaedah penilaian lain, serta heuristik boleh diubah suai bagi menampung objektif kajian (Sutcliffe & Gault 2004). Sebagai contoh, Li, Nie dan Ye (2022) telah mengembangkan sebanyak 12 heuristik kepada 15 heuristik dan mengkategorikannya kepada empat (4) dimensi iaitu keaslian, interaktiviti, navigasi, dan pembelajaran bagi menyerlahkan fungsi pembelajaran sistem pelancongan muzium maya. Manakala kajian lain membuat sedikit perubahan kepada 12 heuristik yang dicadangkan oleh Sutcliffe dan Gault (2004) agar bersesuaian dengan objektif menilai aplikasi lawatan maya dalam talian, yang menekankan kepada tujuan pembelajaran, pengajaran dan navigasi. Mereka mengkategorikan heuristik kepada empat (4) dimensi: Pengalaman VR, persepsi kehadiran, keupayaan navigasi dan sokongan pembelajaran (Kabassi et al. 2019). Butiran mengenai heuristik ini ditunjukkan dalam Jadual 2.1.

Jadual 2.1 Skala penilaian heuristic evaluation yang dibangunkan dalam kajian berbeza

Sutcliffe and Gault (2004) – 12 heuristics	Kabassi et al. (2019) – 12 heuristics	Li, Nie and Ye (2022) – 15 heuristics
Penglibatan semula jadi	Dimensi 1: Pengalaman VR	Dimensi 1: Keaslian
Keserasian dengan tugas pengguna dan domain	Penglibatan semula jadi	Keaslian penyertaan
Ekspresi tindakan semula jadi	Keserasian dengan tugas pengguna dan domain	Keaslian persekitaran
Koordinasi tindakan dan perwakilan yang bersepadu	Maklum balas yang realistik	Keaslian maklum balas
Maklum balas yang realistik	Dimensi 2: Persepsi kehadiran	Dimensi 2: Interaktiviti
Pandangan yang jujur	Ekspresi tindakan yang semula jadi	Sifat semula jadi tingkah laku
Sokongan navigasi dan orientasi	Koordinasi tindakan dan perwakilan yang bersepadu	Penyelarasan pemapar-sistem
Kosongkan poin masuk dan poin keluar	Pengambilan giliran yang jelas	Kosongkan kebenaran
Pemergian yang konsisten	Merasai kehadiran	Sifat semula jadi
Sokongan pembelajaran	Dimensi 3: Keupayaan navigasi	Dimensi 3: Navigasi
Pengambilan giliran yang jelas	Pandangan yang jujur	Perspektif kesetiaan
Merasai kehadiran	Sokongan navigasi dan orientasi	Kejelasan arah
	Kosongkan poin masuk dan poin keluar	Kejelasan lokasi
	Pemergian yang konsisten	Kejelasan dalam permulaan dan pengakhiran
	Dimensi 4: Sokongan pembelajaran	Dimensi 4: Pembelajaran
	Sokongan pembelajaran	Ketersediaan maklumat
		Limpahan maklumat
		Penyampaian maklumat yang menyeronokkan
		Keterkaitan maklumat

Walau bagaimanapun, definisi terperinci heuristik yang membolehkan pengenalanpastian isu kebolegunaan yang rumit mengenai kebimbangan reka bentuk peringkat tinggi, beberapa kelemahan telah ditemui dalam penilaian heuristik. Salah satunya merupakan keperluan untuk langkah tambahan audit teknologi bagi menapis heuristik yang tidak relevan dan hanya mengekalkan yang berdasarkan jenis persekitaran maya yang dinilai. Sebagai contoh, dua heuristik, poin masuk dan keluar yang jelas dan pelepasan yang konsisten, hanya terpakai pada VR desktop dan aplikasi dengan ciri GUI terbenam. Oleh itu, kedua-dua heuristik ini tidak seharusnya digunakan dalam penilaian aplikasi VR mendalam seperti sistem lawatan muzium maya (Li, Nie & Ye, 2022). Penambahan langkah audit teknologi bagi menghapuskan heuristik yang tidak berkaitan adalah membosankan dan memakan masa. Selain itu, takrifan heuristik

tertentu mungkin mengelirukan dan bertindih. Sebagai contoh, tiga (3) heuristik, iaitu penglibatan semula jadi, keserasian dengan tugas, dan domain pengguna dan ekspresi tindakan semula jadi, yang semuanya merujuk kepada aspek interaksi semula jadi yang hanya sedikit perbezaannya dan agak bertindih. Ini boleh menyebabkan kekeliruan di kalangan penilai, yang mendakwa mereka menghadapi kesukaran dalam mentafsir heuristik. Bagi mengelakkan situasi ini berlaku, adalah dicadangkan agar lebih banyak latihan perlu diberikan kepada penilai bagi mengelakkan peningkatan masa yang diperlukan semasa melaksanakan penilaian (Sutcliffe & Gault 2004). Tambahan pula, heuristik penting yang berkaitan dengan beberapa masalah atau isu reka bentuk VR mungkin terlepas jika ia tidak didokumenkan dalam sorotan terdahulu kerana penyelidik biasanya meneliti sorotan bagi mencari heuristik. Kekurangan ini telah ditunjukkan dalam kajian penilaian pelancongan muzium maya, iaitu apabila isu keterangkuman telah diabaikan. Sebaliknya, ia ditemui melalui perbincangan dengan pengguna semasa sesi temu bual (Li, Nie & Ye, 2022). Oleh itu, aplikasi penilaian heuristik dalam penilaian aplikasi VR adalah dihadkan oleh kelemahan ini.

2.4.7 Kesimpulan

Secara kesimpulannya, kaedah penilaian dalam realiti maya (VR) meliputi penilaian formatif, penilaian sumatif, soal selidik, temu bual, penilaian prestasi pengguna, lintas semak kognitif, dan penilaian heuristik. Setiap kaedah ini mempunyai kelebihan dan kelemahan tersendiri, dan digunakan untuk menilai kebolehgunaan dan keberkesanan aplikasi VR.

Penilaian formatif melibatkan penilaian empirikal dan pemerhatian interaksi pengguna dengan aplikasi VR untuk mengenal pasti isu kebolehgunaan dan kecekapan reka bentuk. Penilaian ini boleh formal atau tidak formal, dengan hasil yang berbentuk kualitatif atau kuantitatif. Penilaian sumatif membandingkan secara statistik beberapa konfigurasi reka bentuk VR untuk menilai keberkesanannya. Ia membolehkan perbandingan antara beberapa reka bentuk VR dan sesuai untuk penilaian prototaip di peringkat akhir.

Soal selidik menggunakan set soalan bertulis untuk mengumpul maklumat demografi, pendapat, dan pandangan pengguna terhadap aplikasi VR. Ia berfungsi sebagai cara mudah untuk mengumpul maklumat subjektif, kualitatif, dan kuantitatif dari pengguna. Walau bagaimanapun, ia lebih kerap digunakan bersama dengan kaedah penilaian lain kerana sifat subjektifnya.

Beberapa kajian telah menunjukkan bahawa gabungan kaedah penilaian dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kebolegunaan dan keberkesanan aplikasi VR. Dengan menggunakan kaedah penilaian yang sesuai, pengembang dapat mengidentifikasi masalah dan membuat peningkatan yang diperlukan untuk meningkatkan pengalaman pengguna dalam aplikasi VR.

2.5 PENGENALAN KEPADA KEJURUTERAAN ONTOLOGI

2.5.1 Definisi

Terdapat beberapa definisi bagi istilah Ontologi. Pada asalnya, ontologi dianggap sebagai istilah falsafah yang memberikan penjelasan sistematik tentang kewujudan (Corcho et al. 2003). Guarino (1998) mencadangkan dua jenis istilah, yang pertama "Ontology" (dengan huruf besar O) dan yang kedua, "ontology" (dengan huruf kecil o). Istilah pertama merujuk kepada domain falsafah tertentu, di mana sifat dan struktur realiti adalah tumpuan utama Ontologi, yang dilihat sebagai sebahagian daripada metafizik (Guarino et al. 2009). Ontologi dalam pengertian pengkomputeran, istilah kedua, paling kerap digunakan dalam kejuruteraan perisian dan kini dalam pengurusan pengetahuan. Ia adalah maklumat atau artifak kejuruteraan khusus yang memodelkan dan menyusun domain pengetahuan, termasuk entiti dan hubungan. Oleh itu, perspektif ontologi adalah berkongsi dan memahami pengetahuan domain dengan cara yang semantik dan tidak jelas.

Definisi pertama ontologi diberikan oleh Neches et al. (1991) yang menggambarkan ontologi sebagai berikut: "sebuah ontologi mendefinisikan istilah asas dan hubungan yang terdiri daripada perbendaharaan kata dalam bidang topik serta peraturan untuk menggabungkan istilah dan hubungan untuk mendefinisikan lanjutan kepada perbendaharaan kata". Beberapa tahun kemudian Gruber (1993) mencadangkan

definisi ontologi sebagai "spesifikasi eksplisit bagi konseptualisasi". Ini telah menjadi definisi yang paling kerap dikutip dalam literatur dan oleh penyelidik ontologi. Definisi lain dicadangkan oleh Borst (1997) dengan sedikit pengubahsuaian yang kemudian didefinisikan sebagai "Ontologi ditakrifkan sebagai spesifikasi formal bagi konseptualisasi yang dikongsi". Studer dan rakan-rakan (1998) menggabungkan kedua-dua konsep (Gruber dan Borst) untuk menghasilkan definisi yang berbunyi: "Sebuah ontologi adalah spesifikasi formal, eksplisit bagi konseptualisasi yang dikongsi". Istilah-istilah yang termasuk dijelaskan lagi oleh Guarino (1998 dan 2009) seperti yang diterangkan di sini. Istilah formal:** Ini bermaksud bahawa bahasa formal telah digunakan untuk menyampaikan ontologi secara semantik, yang boleh memberikan ciri yang signifikan untuk dibaca sama ada oleh mesin atau manusia.

Eksplisit:** Ini berkaitan dengan konseptualisasi eksplisit yang wujud dalam minda manusia (implisit), dengan cara membuat konseptualisasi implisit menjadi eksplisit, yang boleh dibaca oleh kedua-dua manusia dan mesin (Guarino 1998).

Perkongsi:** Ini bermaksud bahawa pemahaman tentang domain disediakan dan dikongsi antara agen atau sistem aplikasi.

Konseptualisasi:** Ini adalah pandangan abstrak yang dipermudahkan tentang sebahagian terpilih dari dunia (bahagian dari realiti), yang mengandungi objek (contohnya, doktor), konsep (contohnya, pelajar perubatan, doktor, kognitif, prosedur, pemindahan kemahiran), dan entiti lain yang dianggap berkepentingan untuk tujuan tertentu, serta hubungan antara mereka. Ia wujud dalam minda komuniti sebagai pengetahuan yang dikongsi. Ahli komuniti dalam kes ini adalah pakar domain, pelatih, pakar VR, dan pihak berkepentingan lain (Guarino 1998). Kekhususan domain:** Ini bermaksud bahawa pengetahuan yang ditangkap dalam ontologi adalah terhad kepada domain minat tertentu.

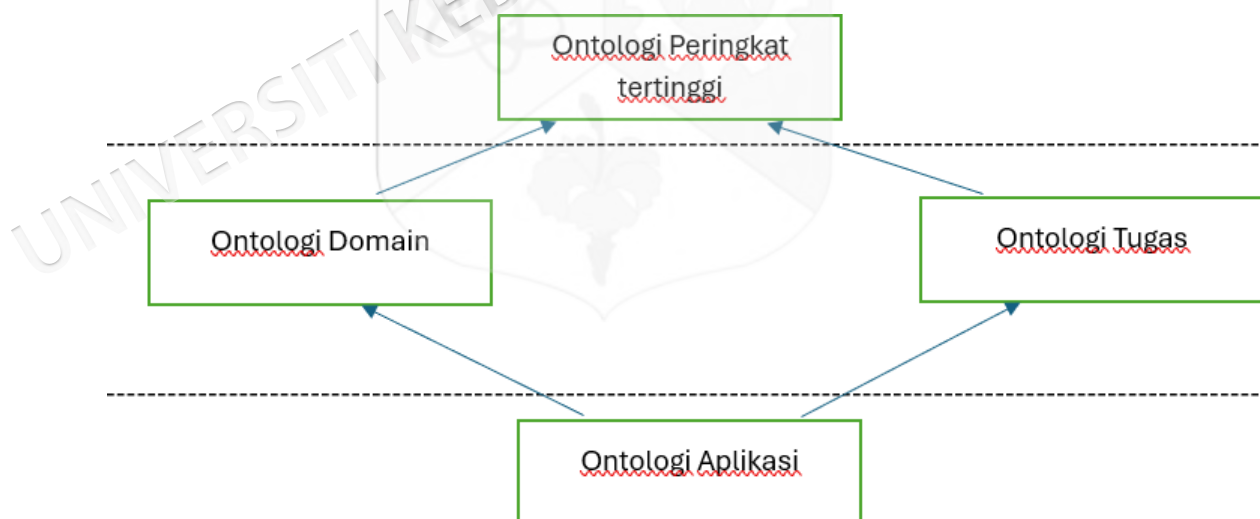
Ontologi baru-baru ini ditakrifkan semula dengan mengembangkan definisi Studer et al. (1998) dengan faktor-faktor baru yang menarik yang benar-benar menggambarkan kepentingan utama ontologi. Feilmayr dan Wöb (2016) mendefinisikannya sebagai "Ontologi ialah spesifikasi formal dan eksplisit bagi satu

konseptualisasi bersama yang dicirikan oleh keupayaan ekspresi semantik yang tinggi diperlukan untuk meningkatkan kerumitan." Ekspresi semantik ditakrifkan sebagai tahap perwakilan eksplisit bagi domain yang diminati.

Istilah kerumitan merujuk kepada sejumlah besar objek dan hubungan yang terlibat dalam mana-mana ontologi. Definisi terakhir ini akan digunakan sepanjang penyelidikan ini. Spesifikasi eksplisit bagi satu konseptualisasi ialah ontologi, yang merupakan model konseptual (model berasaskan pengetahuan), dan telah dikenal pasti sebagai alat penting untuk mewakili pengetahuan yang dikongsi secara eksplisit (Dermeval et al. 2016; Khantong & Ahmad 2020).

2.5.2 Jenis-jenis Ontologi

Ontologi dibangunkan untuk pelbagai tujuan penggunaan dan diwakili dalam pelbagai tahap abstraksi. Oleh itu, ontologi boleh diwujudkan melalui pelbagai formalism dan bahasa, bergantung pada masalah yang ingin diselesaikan. Rajah 2.20 menunjukkan klasifikasi ontologi dan lapisannya berdasarkan tahap abstraksi.



Rajah 2.20 Klasifikasi ontologi dan lapisannya berdasarkan tahap abstraksi

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.20, ontologi peringkat tertinggi lebih umum, dan boleh dispesifikasikan kepada ontologi domain dan tugas. Ontologi domain dan tugas pula, boleh ditentukan dan digabungkan menjadi ontologi aplikasi.

2.5.3 Peranan Ontologi

Peranan ontologi telah direka dan digunakan dalam pelbagai disiplin di mana ia telah memainkan pelbagai peranan. Beberapa tujuan biasa penggunaan ontologi di kalangan para sarjana dijelaskan dalam bahagian di bawah ini.

1. Berkongsi pemahaman umum struktur maklumat di antara ejen perisian, pengguna, atau di antara pengguna dan ejen perisian. Pada dasarnya, ini adalah salah satu peranan yang paling biasa digunakan dalam ontologi (Gruber 1993).
2. Peranan kitar semula adalah salah satu daya pendorong yang paling penting yang menjelaskan kegemparan para sarjana di sebalik penggunaan ontologi (Noy dan McGuinness, 2001). Dalam peranan ini, para pereka membolehkan integrasi ontologi yang sedia ada untuk menerangkan sebahagian daripada domain yang lebih besar. Mereka juga boleh mengguna semula dan menentukan ontologi umum kepada domain minat mereka. Keseluruhan peranan ini boleh menjimatkan banyak masa dan berkesan dari segi kos.
3. Membuat andaian domain secara eksplisit. Peranan ini juga sangat penting. Ia membolehkan perubahan dalam andaian domain jika pengetahuan tentang domain mengalami sebarang perubahan (Noy dan McGuinness, 2001). Selain itu, bentuk membuat pengetahuan secara eksplisit ini berguna kepada mereka yang baru dalam domain tanpa pengalaman sebelumnya, apabila mereka perlu mengetahui makna istilah-istilah baru dalam domain minat seperti istilah Perubatan, Tentera, dan Biologi.
4. Memisahkan pengetahuan domain daripada pengetahuan operasi. Memisahkan pengetahuan domain dan sistem adalah penting. Peranan ini meningkatkan kebolegunaan semula badan pengetahuan di sepanjang pelbagai reka bentuk sistem.
5. Menganalisis pengetahuan domain. Menganalisis istilah-istilah dan konsep-konsep yang digunakan dalam ontologi adalah sangat penting, terutamanya apabila terdapat percubaan untuk mengguna semula dan memperluas ontologi yang sedia ada.

Selain peranan utama ontologi di atas, terdapat juga beberapa peranan lain yang disebutkan dalam (Ahmad et al. 2013) seperti berikut:

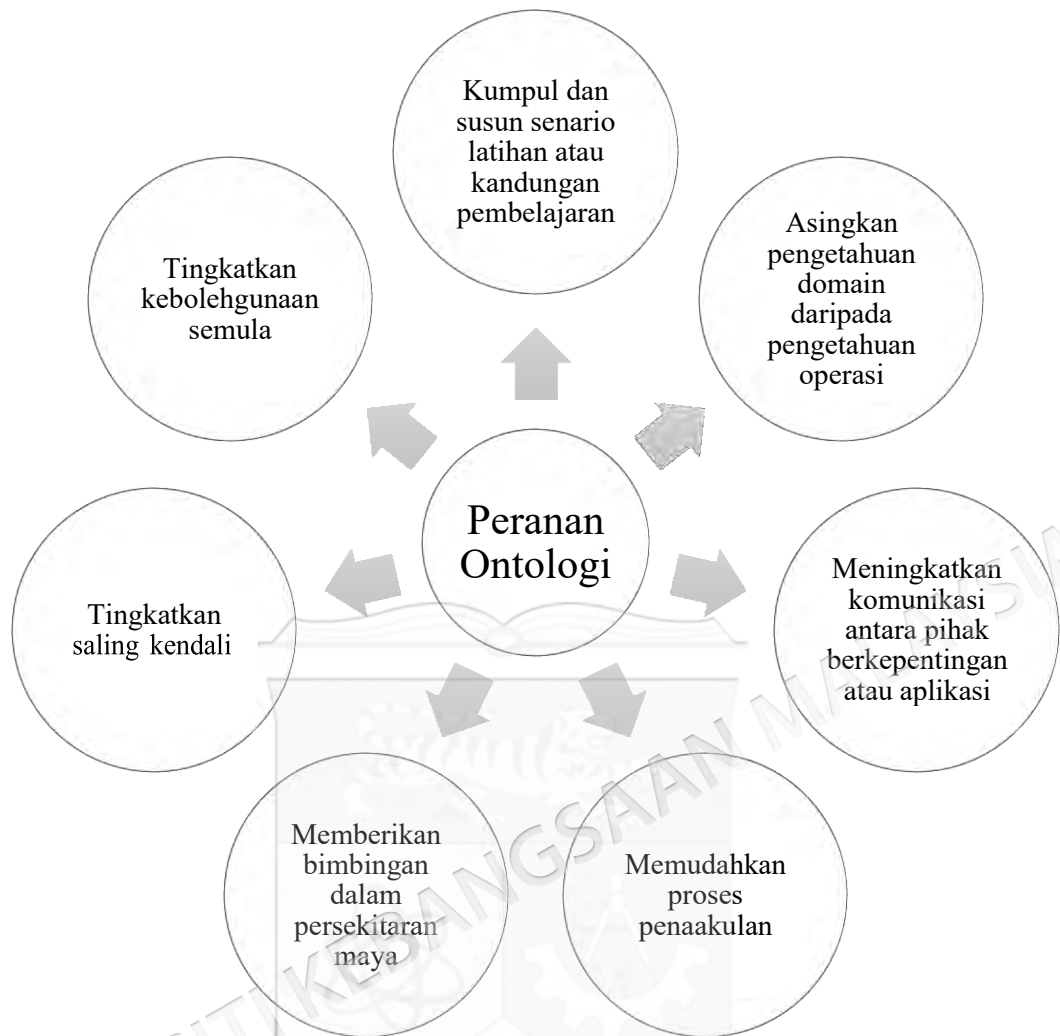
1. Membolehkan interoperabiliti. Lebih banyak ejen perisian atau manusia boleh berinteraksi di antara satu sama lain jika mereka berkongsi atau bersetuju dengan konseptualisasi yang sama. Dalam kes ini, ontologi boleh memainkan peranan sebagai Interlingua, yang boleh menyediakan perkhidmatan terjemahan antara pelbagai bahasa dan pelakon.
2. Meningkatkan pengambilan pengetahuan. Tujuan ini boleh memainkan peranan penting untuk mempercepatkan pengambilan pengetahuan, jika ontologi telah digunakan sebagai cara panduan untuk pengambilan pengetahuan.
3. Meningkatkan kebolehpercayaan. Model konseptual mungkin mempunyai persembahan domain yang tidak betul. Dengan itu, penggunaan ontologi asas, sebagai contoh, boleh mengekalkan konsistensi model konseptual yang digunakan yang mewakili domain pengetahuan.
4. Meningkatkan penyelenggaraan. Banyak sistem menghadapi cabaran berkaitan kos penyelenggaraan dan isu dokumentasi. Penggunaan ontologi boleh membantu mengurangkan kos penyelenggaraan dan menawarkan dokumentasi.

2.5.4 Pendekatan Ontologi bagi Penilaian Aplikasi latihan Pembedahan Ortopedik VR

Walaupun kesemua kaedah yang dinyatakan sebelum ini mempunyai kelebihan tersendiri, seperti penilaian sumatif mampu mengenal pasti kelemahan terperinci dalam simulator VR manakala soal selidik dan temu bual sesuai bagi mengumpul maklumat berkaitan pengalaman pengguna yang lebih mendalam, kaedah ini melibatkan penilaian pengguna/penilai pada poin tertentu di sepanjang proses. Penilaian yang melibatkan pertimbangan manusia mungkin menimbulkan isu subjektiviti, mengakibatkan keputusan berat sebelah dan penilaian palsu pada aplikasi VR, yang dinilai sebagai

sistem "buruk" atau tidak sah. Subjektiviti biasanya berakar umbi daripada persepsi pengguna melibatkan kehadiran dan realisme dalam persekitaran maya, yang cenderung berbeza-beza antara seseorang dengan yang lain. Perasaan realiti yang berbeza-beza dalam persekitaran maya boleh menjejaskan manipulasi objek yang kompleks dan keupayaan untuk mengorientasikan diri dalam ruang maya, sekali gus menjejaskan penyelesaian tugas. Oleh itu, menilai ciri grafik aplikasi VR menggunakan kaedah yang melibatkan pertimbangan manusia mungkin menghasilkan keputusan yang tidak konsisten dan berat sebelah, dan mungkin tidak memberikan gambaran yang tepat tentang kebolegunaan aplikasi VR. Selain itu, individu yang berbeza mungkin mempunyai pengalaman yang berbeza apabila menggunakan aplikasi VR. Sesetengah individu mungkin mengalami sakit kepala dan loya manakala yang lain mungkin tidak mengalaminya. Ini menimbulkan satu lagi faktor yang mungkin mempengaruhi hasil penilaian (Martens 2016). Pendekatan yang objektif, lebih mudah, dan tidak berat sebelah adalah diperlukan bagi menilai aplikasi VR. Oleh itu, kaedah Ontologi adalah dicadangkan bagi tujuan penilaian aplikasi VR (Benferdia et al. 2020; Mohamad et al. 2021).

Ontologi ditakrifkan sebagai formal, spesifikasi yang eksplisit dengan konseptualisasi bersama dicirikan oleh ekspresi semantik tinggi bagi menangani kompleksiti (Feilmayr & Wob 2016). Merujuk Rajah 2.21, ontologi berfungsi untuk mengumpul dan menstruktur senario latihan atau kandungan pembelajaran, memisahkan pengetahuan domain daripada pengetahuan operasi, memudahkan proses penaakulan, meningkatkan komunikasi di kalangan pihak berkepentingan atau aplikasi, memberi panduan dalam persekitaran maya, meningkatkan saling kendali dan meningkatkan kebolegunaan semula (Benferdia et al. 2020). Oleh kerana fungsinya yang serba boleh, ontologi telah digunakan dalam reka bentuk pelbagai aplikasi VR merentas domain yang berbeza, termasuk penjagaan kesihatan (Benferdia et al. 2020; Mohamad et al. 2021; Youcef, Ahmad & Mustapha, 2021), seni (Liang et al. 2018), industri pembinaan (Dris et al. 2019), pengurusan bencana (Poletaeva et al. 2017; Moreno et al. 2011), dan latihan ketenteraan (Khanthong & Ahmad 2020; Elenius et al. 2016).



Rajah 2.21 Peranan-peranan dan fungsi-fungsi ontologi

Selain daripada kegunaan ontologi dalam pembangunan VR, ia juga boleh digunakan sebagai alat penilaian untuk aplikasi VR. Oleh kerana keupayaannya dapat mewakili dan menyampaikan pengetahuan domain di kalangan pihak berkepentingan yang berbeza (iaitu pakar bidang subjek, pakar teknologi maklumat atau *information technology* (IT) dan pengguna), ia mewujudkan hubungan antara dimensi aplikasi VR dan konsep-konsep proses penilaian. Ini membolehkan perbandingan antara dimensi yang berbeza dan membantu dalam mengenalpasti masalah semasa penilaian aplikasi VR. Manakala dalam membantu proses penaakulan, ontologi digunakan sebagai alat penilaian yang membolehkan penjanaan perspektif tambahan dalam dimensi aplikasi berbeza yang disokong oleh VR. Memandangkan ontologi juga berfungsi sebagai panduan dalam persekitaran maya, ia boleh digunakan untuk menilai pemboleh ubah yang berkaitan dengan reka bentuk grafik dan interaksi antara manusia-komputer.

Selain itu, oleh kerana ia boleh diguna semula dan saling kendali merentas kawasan berbeza dalam domain tertentu, ontologi yang sama boleh digunakan sebagai alat penilaian untuk aplikasi VR yang berbeza dalam domain tertentu. Oleh itu, tiada keperluan mereka bentuk ontologi baharu untuk setiap aplikasi VR, sekali gus mengurangkan kos dan masa bagi penilaian VR. Selain itu, penggunaan ontologi sebagai alat penilaian juga dapat mengelakkan isu subjektiviti yang dihadapi dalam penilaian menggunakan soal selidik dan temu bual. Hal ini dapat membantu mengelakkan isu pembatasan teknikal yang mendapat pemarkahan rendah dalam maklum balas penilaian disebabkan oleh penilaian berat sebelah daripada penilai (Clarke 2021). Secara ringkasnya, ontologi boleh bertindak sebagai alat penilaian yang berfungsi untuk menyokong asas pengetahuan semantik bagi memahami skop penilaian dalam menangani aplikasi tertentu melalui pengantaraan VR (Marques et al. 2021).

Aplikasi ontologi sebagai satu kaedah penilaian telah dicadangkan oleh Marques et al. (2021) bagi menilai senario kerjasama jauh melalui pengantaraan realiti terimbuh (*augmented reality*). Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan dimensi utama dalam kerjasama seperti pasukan, tugas, komunikasi dan interaksi sebagai kelas teras. Kelas ini kemudiannya dikaitkan dengan konsep penilaian biasa seperti skop, reka bentuk, persediaan, data dan instrumen. Seterusnya, reka bentuk penilaian dibangunkan berdasarkan garis panduan mengikut kelas, konsep dan atribut dalam ontologi. Akhir sekali, hasil penilaian yang terdiri daripada data berkaitan dengan konteks iaitu kualitatif dan kuantitatif, dijana sebagai hasil daripada proses kerjasama yang berfungsi sebagai penunjuk sama ada kerjasama itu berkesan atau sebaliknya.

Menurut kajian tersebut, kaedah penilaian ontologi membolehkan kajian kolaboratif yang menyeluruh dijalankan dan penyediaan perspektif tambahan mengenai dimensi kerjasama yang berbeza disokong oleh realiti terimbuh. Ia boleh membantu menjana perspektif tambahan nuansa kerjasama dalam senario terpencil dan nilai realiti terimbuh. Perkara ini boleh dilaksanakan dengan mewujudkan hubungan antara dimensi utama kerjasama dan konsep proses penilaian bagi membimbing penyelidik mengenal pasti pemboleh ubah yang berkaitan dengan proses kolaboratif. Ia juga bertujuan untuk menentukan instrumen yang akan digunakan bagi mendapatkan keputusan yang berkaitan sebagai tafsiran dalam skop penilaian. Struktur sistematik pendekatan

Ontologi membolehkan analisis dan perbandingan keputusan diperolh daripada kaedah penilaian yang berbeza. Keadaan ini membantu penyelidik membuat keputusan bagi penggunaan penyelesaian berasaskan realiti terimbuh untuk senario kerjasama jauh (Marques et al. 2021).

Sehubungan dengan itu, oleh kerana kesesuaian ontologi sebagai alat penilaian, penyelidikan ini bertujuan untuk menyiasat keberkesanan OntoAnkle sebagai alat penilaian bagi penilaian aplikasi pembedahan ortopedik menggunakan VRT. Latihan pembedahan ortopedik menggunakan aplikasi VR dipilih sebagai subjek penilaian kerana kebanyakan kajian penilaian VR yang melibatkan pembedahan ortopedik tertumpu kepada penilaian pemerolehan kemahiran atau prestasi latihan sisi pelatih sebagai penunjuk keberkesanan secara tidak langsung untuk aplikasi VR, dan bukannya memberi tumpuan kepada penilaian terhadap aplikasi atau simulator itu sendiri (Spiliotis, Spiliotis & Palios, 2020; Rebolledo et al. 2015; Tay 2014; Cannon et al. 2014; Frank et al. 2014). Prestasi latihan tidak sesuai digunakan sebagai penunjuk keberkesanan aplikasi VR kerana pelatih yang berprestasi baik dalam prestasi tugas maya tidak semestinya berprestasi baik dalam dunia sebenar (Ragan et al. 2015). Oleh itu, terdapat kekurangan kajian penilaian VR yang boleh dipercayai memberi tumpuan kepada penilaian pembedahan ortopedik aplikasi VRT. Oleh itu, tesis ini dijalankan untuk membuktikan OntoAnkle sebagai alat penilaian yang sah untuk aplikasi VRT ortopedik.

2.5.5 Kesimpulan

Secara kesimpulan, ontologi merujuk kepada konsep yang penting dalam domain falsafah dan pengkomputeran. Dalam konteks falsafah, ontologi digunakan untuk memberikan penjelasan sistematik tentang kewujudan, sementara dalam pengkomputeran, ia merujuk kepada maklumat atau artifak kejuruteraan yang memodelkan dan menyusun domain pengetahuan.

Terdapat beberapa definisi ontologi yang telah dicadangkan oleh pelbagai ahli, termasuk Neches, Gruber, Borst, dan Studer. Definisi ini menggariskan ciri-ciri ontologi seperti kekhususan domain, perspektif eksplisit, dan perkongsian pengetahuan.

Jenis-jenis ontologi termasuk ontologi peringkat tinggi, ontologi domain, ontologi tugas, dan ontologi aplikasi, yang dapat diwujudkan melalui pelbagai formalisme dan bahasa bergantung pada tujuan penggunaannya. Ontologi memainkan pelbagai peranan dalam berbagai disiplin, termasuk berkongsi pengetahuan, kitar semula, membuat andaian domain secara eksplisit, memisahkan pengetahuan domain daripada pengetahuan operasi, dan menganalisis pengetahuan domain.

Dalam konteks penilaian aplikasi latihan pembedahan ortopedik menggunakan realiti maya (VRT), ontologi digunakan sebagai alat penilaian yang dapat menyokong asas pengetahuan semantik bagi memahami skop penilaian, membantu proses penaakulan, dan mengelakkan isu subjektiviti yang dihadapi dalam penilaian menggunakan kaedah lain seperti soal selidik dan temu bual. Ini menunjukkan bahawa pendekatan ontologi adalah penting dalam penilaian aplikasi VRT untuk memastikan keberkesanan dan kebolehgunaan aplikasi tersebut dalam konteks latihan pembedahan ortopedik.

BAB III

KAEDAH KAJIAN

3.1 PENGENALAN

Kaedah penyelidikan adalah perlu untuk menjalankan penyelidikan yang sistematik dalam apa-apa jua disiplin. Terdapat pelbagai kaedah penyelidikan yang terdapat dalam bidang sistem maklumat (SM) yang berbeza dari aspek proses penyelidikan, teknik dan falsafah asas. Bab ini mengkaji dan membentangkan metodologi penyelidikan yang diguna pakai dalam tesis ini bagi mereka bentuk metodologi pembangunan standard maklumat berasaskan ontologi – penyelidikan sains reka bentuk (*Design Science Research* – DSR). Asas-asas yang menjadi tonggak DSR adalah dengan menambah baik amalan dan penyelesaian masalah penting, ini kerana kegunaan kepelbagaian penyelesaian merupakan sesuatu yang amat berguna. Oleh itu dalam bab ini akan menerangkan justifikasi pemilihan DSR sebagai kaedah penyelidikan yang diterima dalam SM, sah dan sah untuk melaksanakan penyelidikan ini.

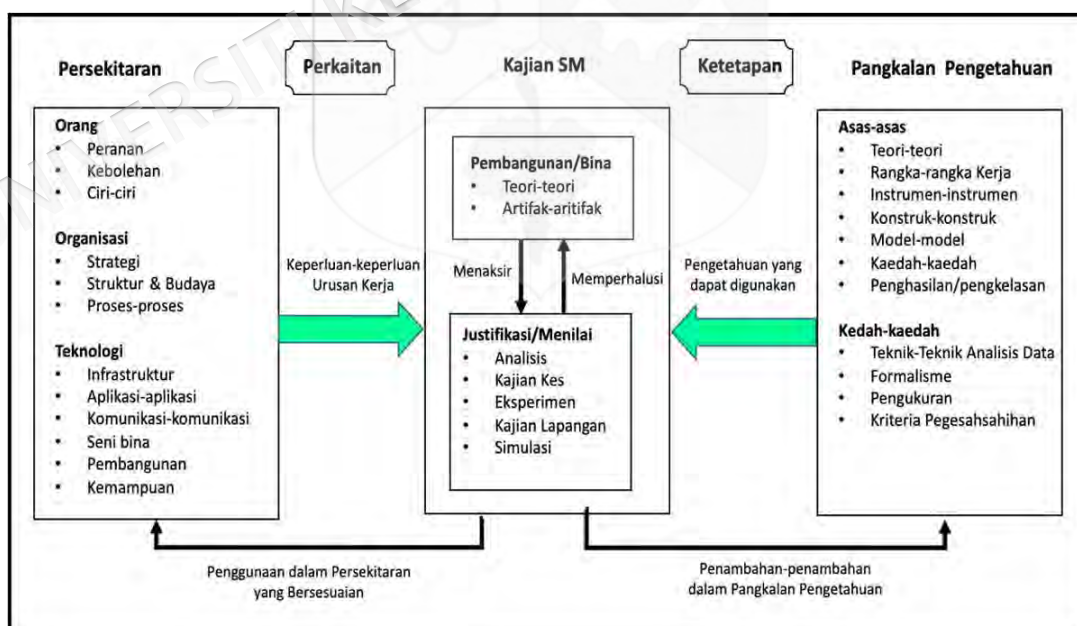
Susunan bab ini adalah seperti berikut iaitu, Seksyen 3.2 menerangkan gambaran secara keseluruhan mengenai paradigma penyelidikan sedia ada dalam SM dan pengenalan kepada DSR. Manakala Seksyen 3.3 pula memperincikan kaedah DSR dengan menunjukkan fasa-fasa dan hasil pengeluaran serta kaedah-kaedah penilaian yang terlibat.

3.2 PARADIGMA-PARADIGMA KAJIAN DALAM SISTEM MAKLUMAT

Penyelidikan dalam sistem maklumat (SM) secara umumnya bercirikan dua (2) paradigma; sains semula jadi (iaitu sains tingkah laku) dan sains reka bentuk. Pada dasarnya, sains semula jadi merupakan pemahaman realiti, menerangkan atau meramalkan tingkah laku manusia dan organisasi serta menghasilkan pengetahuan

umum berbentuk teori. Manakala sains reka bentuk berkaitan dengan mereka bentuk artifak baharu dan inovatif bagi memenuhi keperluan manusia dan organisasi (March & Smith 1995; Hevner et al. 2004). Kedua-dua pendekatan ini tidak saling eksklusif iaitu penemuan sains semula jadi boleh digunakan dalam sains reka bentuk untuk meningkatkan kualiti artifak yang direka agar dapat memenuhi keperluan manusia dengan sebaiknya.

Hevner et al. (2004) mencadangkan rangka kerja konseptual untuk penyelidikan SM yang menggabungkan sains tingkah laku dan paradigma sains reka bentuk seperti yang digambarkan dalam Rajah 3.1 di mana, penyelidikan sains tingkah laku yang terutamanya berkaitan dengan pembangunan dan justifikasi teori adalah bertujuan untuk mencari 'kebenaran'. Manakala penyelidikan sains reka bentuk direalisasikan melalui pembinaan dan penilaian artifak yang bertujuan untuk 'utiliti' atau kemudahan awam. Hevner et al. (2004) juga berpendapat bahawasanya, 'kebenaran' dan 'utiliti' hendaklah bergandingan, yang bermaksud utiliti artifak berkemungkinan disebabkan oleh beberapa 'kebenaran' yang masih belum ditemui. Begitu juga halnya di mana teori boleh menyumbang kepada reka bentuk artifak baharu yang lebih berguna.



Rajah 3.1 Rangka Kerja Kajian Sistem Maklumat

Sumber: Hervner et al. 2004

3.2.1 Kajian Sains Reka Bentuk dalam Sistem Maklumat

Penyelidikan reka bentuk diolah daripada kejuruteraan dan sains tiruan (Simon 1996). Meskipun begitu, kepentingan reka bentuk mendapat pengiktirafan yang baik dalam literatur sistem maklumat (SM), malahan sains reka bentuk turut mendapat perhatian yang semakin meningkat terutama daripada para saintis SM semenjak sedekad yang lalu (Glass 1999; Hevner et al. 2004; Mac & Smith 1995; Markus et al. 2002; Nunamaker et al. 1991; Peffers et al. 2007; Vaishnavi & Kuechler 2007). Penyelidikan sains reka bentuk merupakan paradigma penyelidikan penyelesaian masalah yang bertujuan untuk mereka bentuk artifak sebagai penyelesaian kepada masalah penyelidikan. Artifak reka bentuk ini biasanya berbentuk binaan, model, kaedah atau penghasilan/pengelasan seperti yang diterangkan dalam Jadual 3.1.

Terdapat perselisihan pendapat dalam literatur tentang ‘teori’, adakah ia harus dianggap sebagai artifak atau hasil/output penyelidikan reka bentuk dalam SM. Beberapa penerbitan dalam literatur menganggap ‘teori’ sebagai artifak penyelidikan reka bentuk (Vaishnavi & Kuechler 2007), manakala sesetengah daripada penyelidik berpendapat ia sebagai hasil penyelidikan reka bentuk dan bukannya artifak (Hevner et al. 2004; Markus et al. 2002; Nunamaker et al. 1991; Purao 2002; Walls et al. 1992). Klasifikasi yang terakhir adalah berdasarkan istilah artifak itu sendiri yang digunakan untuk menggambarkan sesuatu pembuatan atau dibina oleh manusia, berbanding dengan sesuatu yang berlaku secara semula jadi (Simon 1996). Terdapat juga pandangan yang berbeza, di mana ‘teori’ bukanlah artifak sains reka bentuk atau output sains reka bentuk. Mereka percaya bahawa ‘teori’ merupakan hasil dari kajian sains semula jadi dan bukan kajian reka bentuk (March & Smith 1995).

Jadual 3.1 Output Kajian Reka Bentuk

Output	Keterangan
Konstruk-konstruk	Perbendaharaan kata konsep domain memberikan bahasa untuk masalah dan penyelesaian ditakrifkan dan disampaikan
Model-model	Satu set saranan-saranan atau pernyataan untuk menyatakan hubungan antara konstruksi. Dengan kata lain, model menggunakan konstruk untuk mewakili situasi dunia sebenar, masalah reka bentuk, dan ruang penyelesaiannya
Kaedah-kaedah	Satu set kaedah-kaedah dan garis panduan tentang cara melaksanakan tugas-tugas dan menyelesaikan masalah

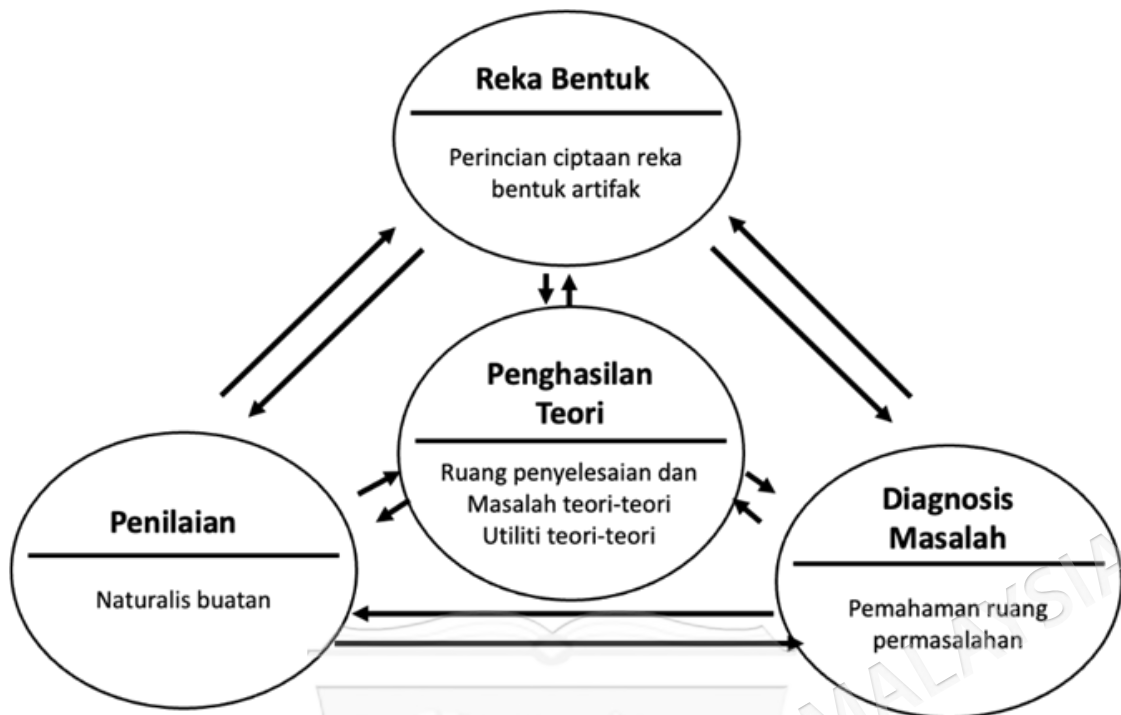
Sumber: Hevner et al. 2004; Vaishnavi & Kuechler 2007

Walls et al. (1992) mempunyai pandangan yang menarik berkenaan dengan teori dan menghuraikan teori reka bentuk sebagai teori preskriptif berdasarkan asas teori dan berpendapat oleh kerana teori reka bentuk bersifat preskriptif, ia berbeza daripada teori sains semula jadi, yang bersifat penjelasan dan ramalan. Mereka berpendapat bahawa satu lagi perbezaan antara sains semula jadi dan teori reka bentuk adalah dalam cara mereka memproses matlamat: Matlamat dalam teori sains semula jadi adalah tidak bermakna dan teori sains sosial mungkin menangani matlamat sebagai objek kajian, manakala matlamat dalam teori sains reka bentuk adalah prasyarat. Bagaimanapun, objektif teori reka bentuk adalah bukan untuk mencapai matlamat, tetapi untuk “Menjelaskan mengapa matlamat tertentu wujud atau meramalkan hasil yang berkaitan dengan matlamat” . Walls et al. (1992) turut membincangkan lebih lanjut bahawa terdapat dua (2) jenis teori reka bentuk yang harus ditangani iaitu :

- i Produk reka bentuk muktamad; dan
- ii Proses reka bentuk yang digunakan untuk menghasilkan produk reka bentuk.

Walls et al. (1992) juga memperkenalkan teori kernel, yang berasal dari semula jadi dan sains sosial serta mengawal keperluan reka bentuk dan proses.

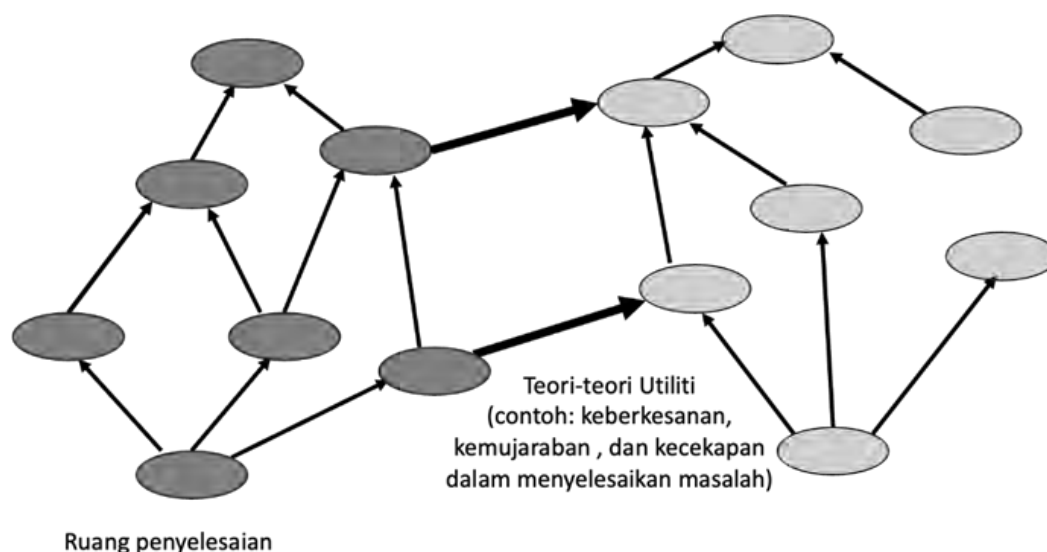
Venable (2006b) sependapat dengan Walls et al. (1992) di mana beliau menegaskan bahawa teori-teori harus menjadi output utama penyelidikan reka bentuk dan memainkan peranan yang penting dalam proses penyelidikan reka bentuk. Venable (2006b) turut mencadangkan rangka kerja bagi penyelidikan sains reka bentuk yang menunjukkan kepentingan teori-teori dan penghasilan teori-teori penyelidikan sains reka bentuk dalam SM seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.2.



Rajah 3.2 Aktiviti Rangka Kerja bagi Kajian Sains Reka Bentuk

Sumber: Venable 2006a, 2006b

Berdasarkan definisi teori kernel yang diperkenalkan oleh Walls et al. (1992), Venable (2006b) memperkenalkan teori baharu yang dikenali sebagai teori utiliti. Beliau berhujah yang bahawa utiliti membentuk fokus utama bagi menghasilkan penyelidikan reka bentuk dan teori utiliti menerapkan jenis atau kelas teknologi tertentu mempunyai beberapa tahap utiliti dalam menyelesaikan atau memperbaiki situasi yang bermasalah (Venable 2006b). Oleh itu, Venable (2006b) berpendapat maksud teori utiliti harus dinyatakan dari segi kesannya bagi menyelesaikan atau memperbaiki masalah (atau masalah-masalah) dalam ruang masalah. Dengan kata lain, teori utiliti menerapkan jenis penyelesaian tertentu (dari ruang penyelesaian) mempunyai beberapa tahap utiliti bagi menyelesaikan atau memperbaiki masalah(atau masalah-masalah) yang ditakrifkan/diperhatikan (dari ruang masalah). Rajah 3.3 menjelaskan mengenai teori utiliti dan kaitannya dengan masalah dan ruang penyelesaian.



Rajah 3.3 Komponen Teori-teori Utiliti dan Hipotesis.

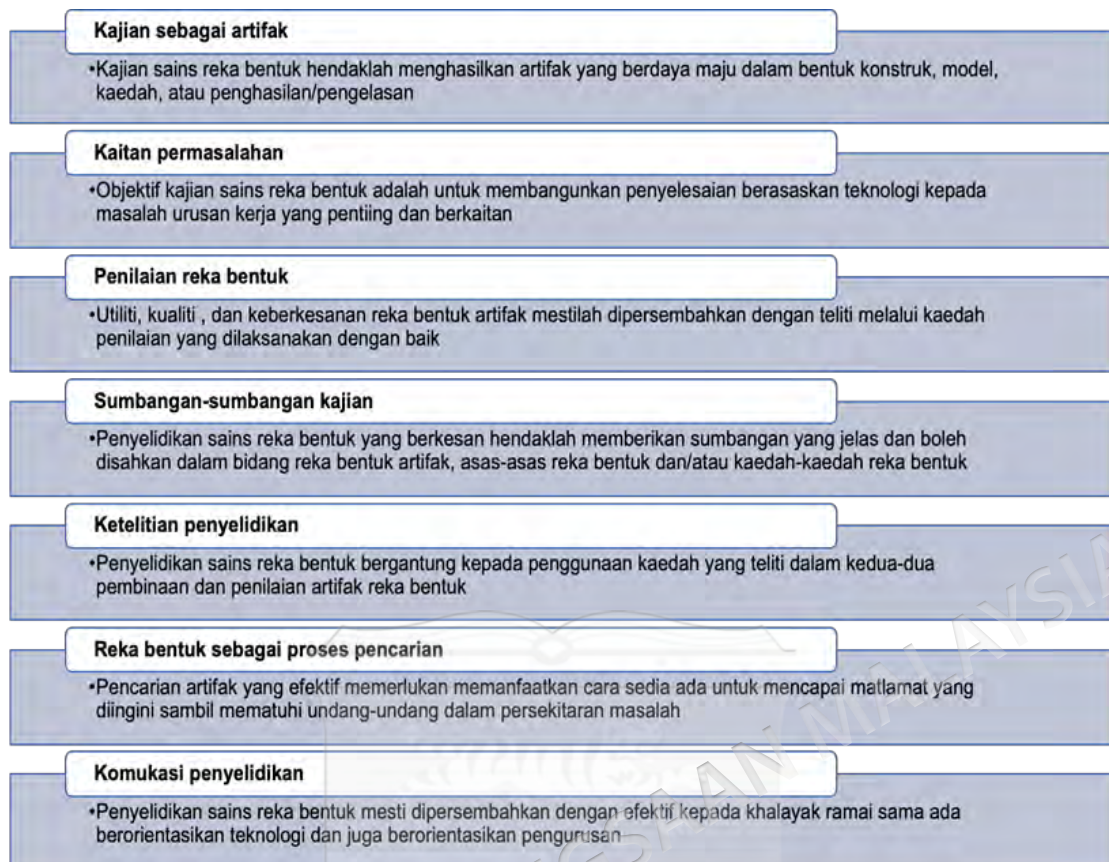
Sumber: Venable 2006b

Kajian ini mengikut definisi Venable (2006b) dengan anggapan 'teori' sebagai keperluan dalam proses reka bentuk dan sebagai output penyelidikan reka bentuk yang selari dengan artifak.

Tanpa mengira jenis artifak, Hevner et al. (2004) menegaskan bahawa dalam kebanyakan kes artifak yang dibina dalam penyelidikan sains reka bentuk, masih belum cukup lengkap untuk dipraktikkan. Walau bagaimanapun, Hevner et al. (2004) mempertimbangkan bahawa artifak reka bentuk adalah merupakan "Inovasi, yang mentakrifkan idea, amalan, keupayaan teknikal, dan produk yang melaluinya analisis, reka bentuk, pelaksanaan dan penggunaan sistem maklumat boleh dicapai dengan berkesan dan cekap".

3.3 METODOLOGI KAJIAN SAINS REKA BENTUK

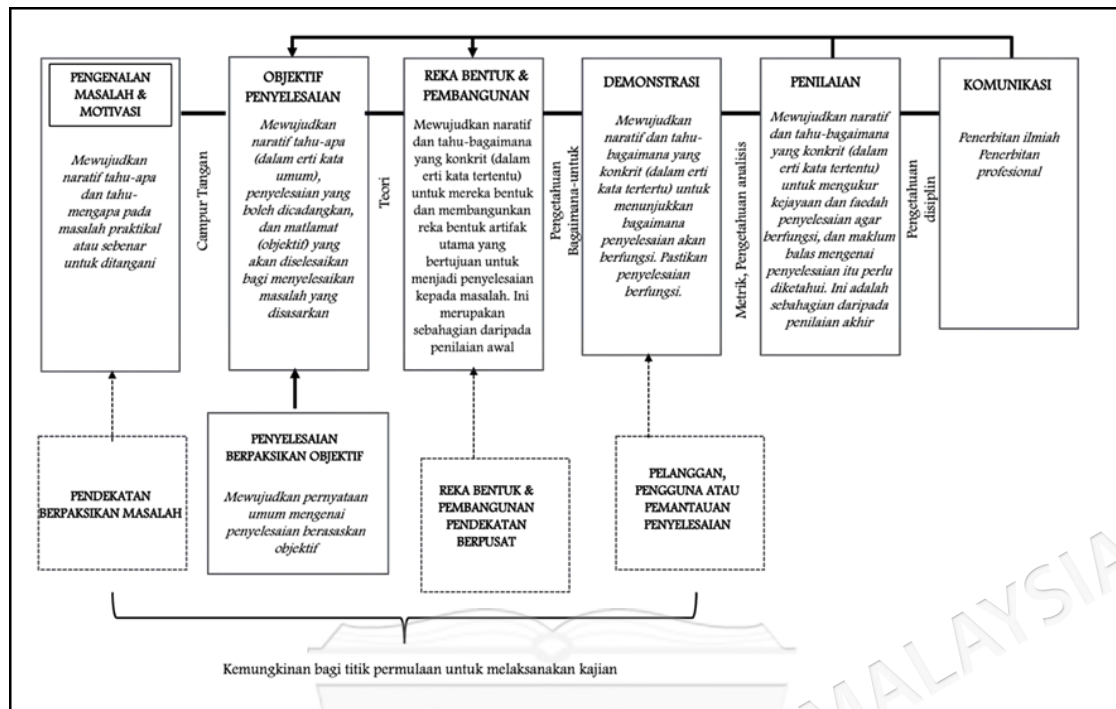
Ringkasan daripada rangka kerja yang telah dicadangkan oleh Hevner et al. (2004), di mana Hevner et al. (2004) telah menggambarkan sebanyak tujuh (7) garis panduan untuk penyelidikan sains reka bentuk dalam domain sistem maklumat (SM) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.4.



Rajah 3.4 Tujuh Garis Panduan dalam Sains Reka Bentuk

Sumber: Hevner et al. 2004

Sains reka bentuk adalah paradigma penyelidikan di mana fokus utamanya adalah mengenai pembangunan dan pengesahan untuk pengetahuan yang sukar diperolehi. Walau bagaimanapun, Peffers et al. (2007) menekankan bahawa sehingga kini, titik fokus dalam kajian dalam SM telah mengabaikan perkembangan proses konsensus dan mental yang penting dalam domain SM. Oleh itu, Peffers et al. (2007) mencadangkan satu metodologi untuk penghasilan dan pembentangan penyelidikan reka bentuk dalam SM yang terdiri daripada enam (6) peraturan seperti yang digambarkan dalam Rajah 3.5 Objektifnya adalah untuk menyediakan rangka kerja yang mendapat persetujuan bersama agar penyelidik akan datang dapat mengesahkan penyelidikan sains reka bentuk tanpa sebarang kerumitan.



Rajah 3.5 Model Proses Metodologi Kajian Sains Reka Bentuk

Sumber: Peffers et al. 2007

Dalam seksyen berikutnya, setiap aspek untuk enam (6) peraturan dalam fasa terlibat akan diterangkan.

3.3.1 Pengenalan Masalah dan Motivasi

Berdasarkan rangka kerja kajian sains reka bentuk yang dicadangkan oleh Hevner et al. (2004), pengenalpastian masalah adalah penting dalam proses kajian sains reka bentuk, seperti mana dibahaskan oleh Kuechler & Vaishnavi (2008) dan Peffers et al. (2007), bagi langkah pertama penyelidikan, masalah penyelidikan khusus harus ditakrifkan dan nilai penyelesaian harus dijustifikasikan untuk memastikan kesemua individu yang terlibat dalam penyelidikan tersebut memahami situasi masalah itu sekali gus mendorong mereka untuk bertahan dengan hasil penyelesaian nanti. Mengenal pasti masalah khusus dan mewajarkan nilai penyelesaian kepada masalah adalah aktiviti matlamat utama dalam fasa ini (Peffers et al., 2007). Namun begitu, Peffers et al. (2007) menekankan bahawa akibat daripada proses reka bentuk yang tidak dapat dielakkan, salah satu daripada penyelesaian yang terhad dan bertambah, masalah yang sebenarnya bagi artifak tidak perlu diterjemahkan terus kepada objektif. Oleh itu, penyelidikan

perlu menunjukkan pengetahuan tentang keadaan terkini dan kesesuaian masalah yang dikenal pasti.

3.3.2 Penentuan Objektif Penyelesaian

Peffer et al. (2007) mengenal pasti penentuan objektif penyelesaian sebagai fasa kedua dalam kajian sains reka bentuk. Matlamat langkah kedua ini adalah untuk mengagak objektif penyelesaian daripada definisi masalah dan pengetahuan tentang perkara yang mungkin dan boleh dilaksanakan. Tugas dalam fasa ini memerlukan pengetahuan yang berkaitan dan apa yang boleh dipraktikkan berkemungkinan dalam ruang lingkup permasalahan. Terdapat dua formasi dalam penyelesaian objektif yang boleh ditakrifkan. Pertama, ia boleh diteruskan dalam bentuk kualitatif (contoh, penjelasan tentang bagaimana prospek artifak baharu mampu memberikan penyelesaian yang belum ditangani); kedua, dalam bentuk pendekatan kuantitatif (contoh, menyumbang kepada penyelesaian baharu yang lebih baik daripada yang sedia ada). Oleh itu, untuk melaksanakan fasa ini, adalah penting bagi mengetahui status masalah, penyelesaian dan keupayaannya secara berterusan.

3.3.3 Reka Bentuk dan Pembangunan

Dalam fasa ketiga, artifak dihasilkan juga berupaya membentuk konstruk konsep, model, kaedah, pembuktian atau sifat baharu sumber teknikal, sosial dan/atau maklumat (Hevner et al., 2004; Kuechler et al., 2008; Peffer et al., 2007). Dengan kata lain, artifak merupakan penyelesaian kepada permasalahan yang jelas dan objektif yang telah diperakukan. Oleh itu, dalam aktiviti fasa ini kesesuaian fungsi artifak dan mewujudkan seni bina artifak dapat ditunjukkan. Dalam fasa ini, bagi mereka bentuk dan membangunkan artifak, sumber hendaklah memenuhi keperluan objektif. Begitu juga pengetahuan berkenaan teori yang menyumbang dalam penghasilan penyelesaian.

3.3.4 Demonstrasi dan Penilaian

Fasa keempat metodologi ialah mencadangkan demonstrasi artifak, khususnya tentang cara penggunaan artifak bagi penyelesaian masalah. Peffer et al. (2007) menegaskan kepentingan menunjukkan penggunaan artifak yang dicadangkan dalam menyampaikan permasalahan yang diutarakan dalam kajian sains reka bentuk. Ia melibatkan banyak

kaedah seperti eksperimen, simulasi, kajian kes, pembuktian atau aktiviti lain yang bersesuaian. Oleh itu, sumber penting yang diperlukan dalam fasa ini ialah pengetahuan tentang bagaimana artifak itu dapat digunakan untuk menangani masalah tersebut.

Manakala pada fasa kelima iaitu penilaian yang melibatkan aktiviti memerhati dan mengukur sejauh mana artifak itu menjadi asas penyelesaian kepada masalah tersebut. Aktiviti ini memerlukan pengetahuan tentang metrik yang berkaitan dan teknik yang betul dalam analisis. Proses penilaian boleh dalam pelbagai bentuk kerana ia bergantung kepada ciri-ciri permasalahan dan artifak. Walaupun begitu, maklum balas daripada pengguna/pelanggan, tinjauan kepuasan pengguna/pelanggan atau dari papan pemuka simulasi boleh digunakan untuk mendapatkan kesamaan fungsi artifak dan hasil dengan objektif yang ditetapkan. Penyelidik terdahulu turut menyatakan bahawa penilaian sebagai fasa utama dalam menunjukkan utiliti, kaitan dan keberkesanan artifak reka bentuk (Hevner et al., 2004; March et al., 1995; Walls et al., 1992).

3.3.5 Komunikasi

Fasa terakhir kaedah kajian sains reka bentuk ialah komunikasi, yang merujuk kepada penyebaran pengetahuan baharu yang diperolehi oleh penyelidikan dalam tempoh tertentu (contohnya disertasi atau artikel jurnal). Peffers et al. (2007) mentakrifkan bahawa struktur penerbitan kajian sains reka bentuk boleh mengikut struktur kertas kajian sains tingkah laku yang bermula dengan mentakrifkan masalah, diikuti dengan tinjauan literatur, membangunkan hipotesis, pengumpulan data, analisis, keputusan, perbincangan, dan penutup beserta kesimpulan.

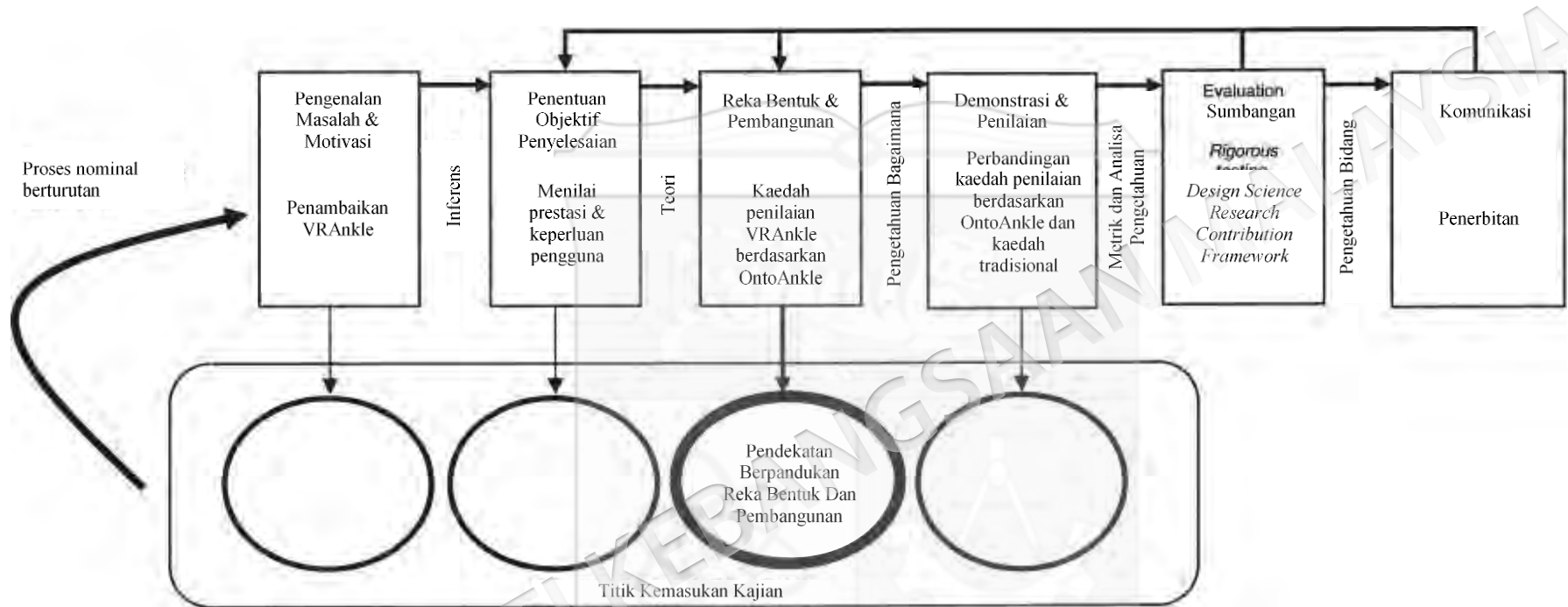
3.4 APLIKASI KAJIAN REKA BENTUK

Kajian ini membentangkan satu kaedah reka bentuk sistematik untuk membangunkan kaedah penilaian bagi latihan realiti maya (VR) dalam pembedahan ortopedik berdasarkan ontologi yang dinamakan *OntoAnkle*. Kaedah penilaian yang berasaskan *OntoAnkle* tidak hanya dibangunkan mengikut panduan penyelidikan sains reka bentuk, tetapi juga menggabungkan paradigma reka bentuk yang sama. Selaras dengan garis panduan DSR, kajian ini dijalankan secara berulang dan beransur-ansur, di mana setiap iterasi akan memperluaskan, menyempurnakan, dan akhirnya menilai artifak.

Metodologi kajian sains reka bentuk yang digunakan dalam kajian ini diambil dari Pendekatan Berpanduan Reka Bentuk Dan Pembangunan (*Design- and Development-Centered Approach*) seperti yang dicadangkan oleh Peffers et al. (2007). Rajah 3.6 meringkaskan penyelidikan reka bentuk dan iterasinya dalam tesis ini, yang akan dijelaskan dengan lebih terperinci dalam bahagian-bahagian seterusnya.

3.4.1 Pengenalan Masalah

Fasa ini bermula dengan memahami masalah dalam bidang untuk mencadangkan jenis penyelesaian yang membentuk satu cadangan untuk dibangunkan lebih lanjut dalam bahagian penyelidikan yang selebihnya. Pengenalan masalah dalam tesis ini telah dicapai melalui kajian literatur seperti yang dikemukakan dalam Bab 2 di mana ruang masalah dan ruang penyelesaian telah dikaji. Masalah yang ditakrifkan dalam Bab 1 adalah *kebanyakan kajian menggunakan prestasi peserta latihan sebagai petunjuk, dan bukan nya penilaian konfigurasi aplikasi VR atau simulator itu sendiri, untuk menentukan sama ada aplikasi tersebut berkesan dalam latihan pembedahan* (Spiliotis, Spiliotis & Palios, 2020; Rebolledo et al. 2015; Tay 2014; Cannon et al. 2014; Frank et al. 2014). OntoAnkle mengatasi masalah di atas dari perspektif semantik dan telah dibangunkan (secara iteratif) untuk memberikan manfaat yang dinyatakan dalam Bab 4 - dengan penekanan khusus pada titik-titik yang saling berkaitan dalam *pembangunan kaedah penilaian baru, pengformalan konsep-konsep dari domain pengetahuan ortopedik, dan rekabentuk semula penilaian sedia ada berdasarkan ontologi*.



Rajah 3.6

Pendekatan Berpanduan Reka Bentuk Dan Pembangunan

Sumber: Peffers et al. 2007

3.4.2 Penentuan Objektif Penyelesaian

Setelah masalah telah diperjelaskan, teori utiliti, yang bertujuan untuk mencadangkan meta-reka bentuk bagi masalah di atas, ditakrifkan (Jonassen 2000). Ini dilakukan dengan menjalankan kajian yang lebih terperinci terhadap ruang masalah dan ruang penyelesaian, mensintesis pelbagai jenis kaedah penilaian serta kaedah pembangunan ontologi, dan merangka keperluan bagi proses pembangunan penilaian yang kukuh (Heravi 2012). Teori utiliti dalam tesis ini adalah bahawa *ontologi domain yang kukuh adalah sesuai untuk menyokong penilaian VRT dalam bidang pembedahan buku lali ortopedik*.

3.4.3 Reka Bentuk dan Pembangunan

Pembangunan berlaku apabila artifak utama penyelidikan dicipta. Dalam tesis ini, sebuah *kaedah* (menurut definisi March & Smith (1995)) telah dibangunkan. Artifak yang berkaitan dalam tesis ini adalah metodologi penilaian yang berasaskan OntoAnkle. Walau bagaimanapun, terdapat pelbagai artifak yang lain yang turut dicipta menerusi pelbagai iterasi tesis ini. Jadual 3.2 menunjukkan artifak-artifak yang merupakan hasil daripada penyelidikan reka bentuk dalam tesis ini dan menunjukkan hubungan mereka dengan pelbagai fasa DSR.

Jadual 3.2 Artifak DSR yang dihasilkan dalam tesis ini

Saluran Kajian Reka Bentuk	Tafsiran OntoAnkle	Fasa DSR
Teori utiliti	Pendekatan Ontologi – pandangan bahawa penjelasan yang jelas mengenai entiti, hubungan, dan aksiom dalam suatu domain akan meningkatkan kualiti.	Pengenalan masalah/Penentuan objektif
Konstruk	Artifak-artifak yang terhasil seperti OntoAnkle, VRAnkle, dan metodologi yang berasaskan OntoAnkle	Pembangunan
Model	Model konseptual ontologi	
Kaedah	Kaedah OntoAnkle	
Pelaksanaan	Perbandingan metodologi penilaian yang berasaskan OntoAnkle dengan metodologi penilaian piawai	Menilai

Seperti yang telah dinyatakan sebelum ini, penyelidikan reka bentuk adalah proses yang beriterasi, di mana setiap iterasi dibina di atas yang sebelumnya. Dengan mendapatkan pengetahuan baharu untuk setiap iterasi dalam penyelidikan reka bentuk, cadangan baharu boleh digunakan untuk iterasi seterusnya. Oleh itu, fasa 'pembangunan' dalam penyelidikan ini terdiri daripada tiga iterasi seperti berikut, diikuti oleh fasa penilaian akhir seperti dijelaskan dalam Seksyen 3.4.4:

Iterasi 1 – Pembangunan OntoAnkle: Ontologi formal pembedahan ortopedik

Iterasi ini mencadangkan pembangunan ontologi formal yang berfungsi sebagai panduan untuk membangunkan kaedah penilaian secara ontologikal. Hasil dari iterasi ini adalah (1) faktor-faktor kejayaan kritikal (CSFs) yang menyumbang kepada keberkesanan latihan realiti maya (VRT) dan (2) model ontologi OntoUML.

Penilaian di akhir iterasi ini memberi tumpuan kepada penilaian keberkesanan ontologi formal yang dibangunkan, faktor-faktor kejayaan kritikal, dan model ontologi OntoUML dalam membimbing kaedah penilaian keberkesanan latihan realiti maya. Penilaian akan mengambil kira faktor-faktor seperti ketelusan matlamat, kerelevanan dan kepentingan hasil, kesahihan ontologi, liputan faktor-faktor kejayaan kritikal, keserasian dengan metodologi yang dicadangkan, kebolehgunaan praktikal, kebaruan, kesahihan data, konsistensi dengan kajian terdahulu, batasan, arah masa depan, dan maklum balas pihak berkepentingan. Tujuan utama adalah untuk menentukan kualiti dan nilai hasil dalam memajukan pemahaman dan penilaian keberkesanan latihan realiti maya.

Iterasi 2 – Pembangunan VRAnkle: VRT untuk penggantian keseluruhan buku lali (TAR)

Tujuan iterasi ini ialah untuk membangunkan kaedah latihan realiti maya (VRT) untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali (TAR), yang menggabungkan ontologi OntoAnkle sebagai domain pengetahuan untuk anatomi dan teknik pembedahan. Iterasi ini akan melibatkan pembangunan persekitaran maya yang realistik, melaksanakan mekanisme peningkatan kemahiran dan penilaian, dan mengumpulkan maklum balas pengguna untuk menilai keberkesanan, kebolehgunaan, dan kesesuaian kaedah latihan dengan keperluan pihak berkepentingan. Melalui proses ini, peningkatan kemahiran dan

pengetahuan peserta latihan dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali adalah matlamat yang ingin dicapai, seterusnya meningkatkan kualiti pembedahan dan penjagaan pesakit.

Penilaian iterasi ini akan memberi tumpuan kepada menilai keberkesanan dan kebolehgunaan kaedah latihan realiti maya yang dibangunkan untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali, serta integrasi ontologi OntoAnkle. Penilaian ini akan mengukur peningkatan dalam kemahiran pembedahan dan pengetahuan pelajar, mengkaji tahap realisme dan imersi dalam persekitaran maya, mengumpulkan maklum balas mengenai kebolehgunaan kaedah latihan, dan menilai ketepatan dan sumbangan ontologi OntoAnkle. Kepuasan dan pandangan pihak berkepentingan akan diambil kira untuk menyempurnakan kaedah latihan dan integrasi ontologi, dengan tujuan untuk meningkatkan kemahiran perubatan dan pengetahuan peserta latihan dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali dan mungkin memberi faedah kepada konteks latihan perubatan lain.

Iterasi 3 – Pembangunan kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle

Iterasi ini memberi tumpuan kepada pembangunan kaedah penilaian yang berasaskan ontologi OntoAnkle untuk menilai keberkesanan dan prestasi VRT untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali (TAR). Membina atas hasil iterasi sebelum ini, objektif utama iterasi ini adalah untuk menggunakan pengetahuan berstruktur yang terdapat dalam ontologi OntoAnkle untuk mereka bentuk rangka kerja penilaian yang komprehensif dan piawaian. Pendekatan baru ini bertujuan untuk menyediakan fahaman bernilai tentang kemajuan peserta latihan, peningkatan kemahiran, dan kecekapan keseluruhan dalam menjalankan prosedur penggantian keseluruhan buku lali. Dari sudut berbeza, kelemahan dalam aspek VR untuk VRT TAR yang dikenal pasti melalui penilaian dapat digunakan untuk memberi maklumat bagi memperbaiki reka bentuk VRT.

Penilaian iterasi ini akan memberi tumpuan utama kepada keberkesanan, kebolehpercayaan, dan adaptabiliti kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle untuk latihan realiti maya dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali. Ia akan menilai keserasian kaedah penilaian dengan ontologi OntoAnkle, memastikan bahawa

komponen-komponen yang dipilih secara efektif menyumbang kepada rangka kerja penilaian yang kukuh dan komprehensif.

3.4.4 Demonstrasi dan Penilaian

Tujuan fasa ini adalah untuk menunjukkan kesahihan dan kebolehpercayaan kaedah penilaian OntoAnkle. Maklum balas daripada pakar bedah senior, peserta latihan, dan pelajar perubatan akan dikumpulkan untuk menilai kepuasan mereka terhadap metodologi ini. Maklumat ini adalah penting untuk proses penambahbaikan lebih lanjut artifak penilaian dalam tesis ini. Analisis perbandingan kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle berbanding pendekatan penilaian sedia ada akan menunjukkan kelebihan dan sumbangan baru kaedah berdasarkan ontologi ini.

Kajian ini secara amnya merupakan penilaian *ex-post* terhadap artifak reka bentuk jenis *deskriptif*, seperti digambarkan oleh Hevner et al. (2004), dengan menggunakan skenario dan hujah yang diberikan untuk menilai kegunaan kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle. Penilaian dalam penyelidikan ini dianggap sebagai *real* dalam erti kata bahawa pengguna adalah pihak berkepentingan sebenar bagi artifak ini (mereka adalah peserta latihan) dan masalah tersebut sering disebut dalam kajian-kajian sebelum ini. Walaupun begitu, metodologi ini dianggap sebagai *artificial* kerana penggunaan semua artifak dalam tesis ini adalah merupakan satu skenario prototaip. Perspektif dan pendekatan penilaian ini diringkaskan dalam Jadual 3.3.

Jadual 3.3 Rumusan pendekatan penilaian yang telah diambil

Perspektif Penilaian	Pendekatan yang Diambil
Bila penilaian dilakukan	Semasa pembangunan VRAnkle
Apa yang dinilai	Kebolehan penilaian yang berasaskan OntoAnkle untuk mengenalpasti prestasi dan keperluan pengguna (garis panduan penilaian dan proses tambah baik).
Bagaimana ia dinilai	Perbandingan metodologi penilaian yang berasaskan OntoAnkle dengan metodologi penilaian piawai.

Penilaian dalam tesis ini dilakukan pada dua peringkat: (a) Pada akhir setiap iterasi, menilai artifak-artifak yang dihasilkan dari setiap iterasi, terutamanya yang berjenis 'model' berdasarkan kriteria yang ditakrifkan; (b) Penilaian akhir OntoAnkle sebagai artifak jenis kaedah.

Model-model dinilai berdasarkan kriteria penilaian yang ditakrifkan untuk model-model konseptual ontologi seperti berikut:

i. Konsistensi:

Konsistensi artifak merujuk kepada kejelekitan (*coherence*) dan harmoni logik rangka kerja penilaian dan kesesuaiannya dengan ontologi. Kaedah penilaian harus memastikan bahawa komponen dan metrik yang dipilih daripada ontologi OntoAnkle diterapkan secara konsisten, dan kriteria penilaian secara logik berhubung kait dengan matlamat latihan. Menilai konsistensi akan melibatkan pengesahan bahawa proses penilaian tersebut dapat mengekalkan pendekatan yang seragam, mengurangkan sebarang percanggahan atau pertentangan dalam penilaian prestasi peserta latihan dan kemahiran pembedahan.

ii. Kelengkapan:

Kelengkapan kaedah penilaian berkaitan dengan tahap komprehensifnya dalam menilai setiap aspek yang relevan dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali dalam persekitaran latihan realiti maya. Ini melibatkan pemastian bahawa rangka kerja penilaian telah merangkumi pelbagai aspek seperti penunjuk prestasi dan kriteria penilaian yang meliputi pelbagai tugas pembedahan, pertimbangan anatomi, dan faktor kejayaan kritikal yang dikenal pasti dalam ontologi OntoAnkle. Menilai kelengkapannya akan melibatkan penilaian sama ada kaedah ini merangkumi representasi holistik kecekapan peserta latihan dan menangani seluruh spektrum kemahiran yang diperlukan untuk pembedahan yang berjaya.

iii. Kebolehgunaan:

Dalam konteks tesis ini, kebolehgunaan merujuk kepada kemudahan dan keberkesanan kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle untuk digunakan oleh jurulatih,

profesional perubatan, dan peserta latihan. Kaedah penilaian ini harus mesra pengguna, intuitif, dan mudah untuk dilaksanakan, seterusnya memastikan pihak berkepentingan dapat dengan mudah memahami dan menggunakan kriteria penilaian dan mekanisme maklum balas. Menilai kebolegunaan akan melibatkan pengumpulan maklum balas daripada pengguna untuk menilai kepuasan mereka terhadap reka bentuk, antara muka (*interface*), dan kebolegunaan keseluruhan kaedah, dengan tujuan untuk meningkatkan pengalaman pengguna dan penerimaan kaedah tersebut.

iv. Kebolehubahan:

Kebolehubahan (*Customisability*) berkaitan dengan fleksibiliti kaedah penilaian untuk menyesuaikan kepada kepelbagaian dalam matlamat latihan, tahap kemahiran, dan pendekatan pembelajaran. Memandangkan peserta latihan yang berbeza mungkin mempunyai keperluan dan tahap kecekapan yang berbeza, rangka kerja penilaian harus membenarkan penyesuaian dan adaptasi kepada konteks tertentu atau program latihan yang disesuaikan individu. Menilai kebolehubahan akan melibatkan penentuan sama ada kaedah ini dapat disesuaikan dengan mudah untuk memenuhi keperluan unik pengguna yang berbeza, memastikan keserbagunaan dan kerelevanannya dalam pelbagai skenario latihan perubatan.

Dengan mengambil kira konsistensi, kelengkapan, kebolegunaan, dan kebolehubahan kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle, penyelidikan ini menjadikan penyediaan rangka kerja yang kukuh dan mudah disesuaikan untuk menilai keberkesanan dan impak latihan realiti maya untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali sebagai tujuan. Penilaian ini akan menyumbang kepada peningkatan kemahiran dan pengetahuan di kalangan profesional perubatan, membawa kepada hasil pembedahan yang lebih baik dan penjagaan pesakit yang ditingkatkan dalam bidang pembedahan buku lali.

Metodologi penilaian yang terperinci bagi setiap artifak khusus dalam tesis ini akan dijelaskan di bawah ini:

Artifak 1: OntoAnkle

Penilaian ontologi formal, faktor-faktor kejayaan kritikal (CSFs), dan model ontologi OntoUML bertujuan untuk memastikan relevansinya dan potensi keberkesanan dalam memberi panduan kepada kaedah penilaian untuk latihan realiti maya (VRT). Penilaian ini melibatkan tinjauan komprehensif oleh pakar pembedahan ortopedik yang merupakan pakar domain dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali. Kepakaran mereka digunakan untuk menilai keserasian dengan amalan terbaik, relevansinya, dan kesesuaian kandungan OntoAnkle untuk menilai keberkesanan VRT. Maklum balas dikumpulkan melalui temu bual terperinci di Jabatan Ortopedik Hospital Canselor Tunku Muhriz. Penilaian ini dilakukan selepas pembangunan ontologi formal, CSFs, dan model ontologi OntoUML untuk memastikan artifak-artifak ini bersedia untuk diuji dan diberi maklum balas.

Artifak 2: VRAnkle

Selepas pembangunan VRAnkle, keberkesanan, realisme, kebolegunaan, dan kemudahan penggunaan kaedah latihan realiti maya untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali dinilai. Ujian pengguna dengan pelajar perubatan, pakar bedah pelatih, dan pakar bedah kanan yang menjalankan pembedahan TAR simulasi dalam persekitaran maya dijalankan. Metrik objektif, maklum balas subjektif, dan penilaian prestasi dinilai untuk mengesahkan keberkesanan kaedah latihan ini. Penilaian ini melibatkan pakar perubatan berpengalaman yang mengkhusus dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali, peserta latihan, pendidik perubatan, dan pakar dalam latihan realiti maya dan simulasi pembedahan. Semua peserta berasal dari Jabatan Ortopedik di Hospital Canselor Tunku Muhriz.

Artifak 3: Kaedah Penilaian yang Berasaskan OntoAnkle

Akhirnya, selepas pembangunan kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle, penilaian yang bertujuan untuk menentukan keberkesanan, kebolehpercayaan, dan adaptabiliti kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle untuk menilai VRT dalam pembedahan TAR dijalankan. Perbandingan antara prestasi peserta dalam latihan realiti maya menggunakan kaedah yang berasaskan OntoAnkle dengan pendekatan penilaian tradisional dijalankan. Maklum balas dan kaji selidik kepuasan dinilai untuk

kebolegunaan dan pengalaman pengguna, manakala data prestasi dianalisis untuk kesan keberkesanan. Penilaian menggunakan soal selidik yang berasaskan OntoAnkle melibatkan pakar bedah ortopedik pelatih dan pakar bedah kanan sementara soal selidik tradisional diuji dengan pelajar perubatan, semua dari mereka adalah peserta latihan yang telah menjalani VRT untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali. Semua peserta berasal dari Jabatan Ortopedik di Hospital Canselor Tunku Muhriz.

3.5 RUMUSAN

Sebagai rumusan, bab ini membentangkan kaedah penyelidikan yang diambil dalam tesis ini untuk mereka bentuk dan menilai metodologi OntoAnkle, artifak-artifaknya, dan rasional di sebalik pemilihan kaedah ini. Untuk memilih kaedah penyelidikan reka bentuk yang paling sesuai, pelbagai kaedah DSR yang sedia ada dianalisis dan dibandingkan, dan satu kaedah penyelidikan yang sesuai untuk tesis ini ditentukan berdasarkan keperluan projek ini. Selanjutnya, perbincangan mendalam mengenai penilaian reka bentuk disediakan kerana penilaian dipercayai sebagai aspek yang penting tetapi sering diabaikan dalam penyelidikan sains reka bentuk. Hasil daripada analisis ini, satu kaedah penilaian yang sesuai dan satu set kriteria ditentukan untuk menilai artifak reka bentuk dalam tesis ini. Kemudiannya, reka bentuk penyelidikan tesis ini dijelaskan dan setiap iterasi penyelidikan dibincangkan dengan terperinci.

BAB IV

ONTOANKLE UNTUK KAEDAH PENILAIAN VR ANKLE

4.1 PENGENALAN

Bab ini membentangkan butiran yang berkaitan pembangunan instrumen bagi menilai aplikasi VR sebagai latihan pembedahan dalam domain ortopedik dengan menggunakan sebuah VRT untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali (*Total Ankle Replacement – TAR*) yang dikenali sebagai VR Ankle, sebagai kajian kes. Pembangunan kaedah penilaian melibatkan tiga (3) fasa, iaitu fasa pertama adalah merupakan reka bentuk dan pembangunan ontologi yang mewakili VR Ankle, dikenali sebagai OntoAnkle; fasa kedua melibatkan penilaian VR Ankle menggunakan kaedah penilaian konvensional untuk memberi gambaran penilaian VR Ankle tanpa OntoAnkle, dan fasa terakhir dimana VR Ankle dinilai dengan instrumen penilaian berasaskan OntoAnkle, seperti yang dibentangkan dalam Bab III. Oleh itu, bab ini disusun kepada Seksyen 4.2, 4.3, dan 4.4 mengikut setiap fasa pembangunan.

Secara khususnya, Seksyen 4.2 (Reka Bentuk dan Pembangunan OntoAnkle) telah dihuraikan dalam konteksnya melalui beberapa subtajuk yang merangkumi Seksyen 4.2.1, iaitu membentangkan maklumat mengenai Kaedah-kaedah Pembangunan Ontologi (*Ontology Development Methodologies – ODM*); diikuti oleh Seksyen 4.2.2, menunjukkan penggunaan ODM bagi mereka bentuk dan membangunkan OntoAnkle; diikuti pula dengan Seksyen 4.2.3, kepentingan penilaian latihan VR Ankle akan dipertengahan. Manakala Seksyen 4.3 memperincikan hasil penilaian VR Ankle menggunakan instrumen penilaian konvensional sebagai tanda aras penilaian VR Ankle tanpa ontologi. Akhir sekali, aplikasi ontologi dalam kaedah penilaian VR Ankle, khususnya OntoAnkle telah diperincikan dalam konteks Seksyen 4.4.

4.2 REKA BENTUK DAN PEMBANGUNAN ONTOANKLE

4.2.1 Kaedah-kaedah Pembangunan Ontologi

Kaedah-kaedah Pembangunan Ontologi (*Ontology Development Methodologies* – ODM) boleh digunakan dalam pembangunan instrumen bagi menilai program latihan pembedahan ortopedik berasaskan realiti maya melalui tiga (3) fasa; fasa pertama adalah merupakan pembangunan domain ontologi pembedahan TAR, diikuti pembangunan instrumen penilaian yang diperolehi daripada ontologi yang dibangunkan, dan akhir sekali, diikuti dengan aplikasi instrumen penilaian dalam latihan pembedahan VR TAR (Noy & McGuinness, 2001). Dalam konteks kajian ini, sebuah VRT untuk pembedahan TAR yang telah dibangunkan oleh penyelidik sebelum ini, dikenali sebagai VR Ankle, akan digunakan sebagai kajian kes.

Fasa pertama ODM disempurnakan dengan mentakrifkan skop dan objektif program latihan, mewujudkan hierarki konsep dan hubungan melalui ontologi, menggambarkan tetapan pembedahan dan pesakit menggunakan persekitaran VR, yang akhirnya boleh digunakan dalam membangunkan kandungan latihan. Sementara itu, fasa kedua ODM melibatkan proses mengenal pasti aspek ontologi yang penting untuk ditaksir dan dinilai bagi mencapai objektif penilaian. Sehubungan dengan itu, kriteria dan metrik yang ideal perlu diwujudkan dalam aspek yang telah dikenal pasti seperti ketepatan, kesempurnaan, ketekalan, kejelasan, kebolegunaan dan kaitan dengan domain. Akhir sekali, menguji dan menilai program latihan dengan pakar dalam bidang pembedahan ortopedik dan VR, serta menyemak dan mengemas kini program latihan mengikut maklum balas yang diterima atau sekiranya terdapat sebarang teknik dan teknologi pembedahan yang baharu dikembangkan (Noy & McGuinness, 2001). Dengan mengikuti langkah-langkah ini, kaedah penilaian yang bersepadu (*comprehensive*) dan berkesan dapat dibangunkan bagi mentafsir mana-mana program latihan pembedahan ortopedik berasaskan VR, khususnya dalam latihan pembedahan TAR.

4.2.2 Aplikasi ODM dalam Reka Bentuk dan Pembangunan OntoAnkle

a. Langkah 1 – Prakonseptualisasi

Dalam peringkat prakonseptualisasi, adalah penting untuk mengutamakan dua (2) aspek penting: aktiviti spesifikasi keperluan ontologi dan penghasilan Dokumen Spesifikasi Keperluan Ontologi (*Ontology Requirements Specification Document – ORSD*). Aktiviti spesifikasi keperluan ontologi merangkumi penyempurnaan beberapa tugas iaitu; 1) definisi tujuan, skop dan bahasa pelaksanaan ontologi; 2) pengenalpastian pihak berkepentingan atau pengguna akhir; 3) pengenalpastian tujuan penggunaannya; dan 4) pengenalpastian keperluan spesifik ontologi dengan penghasilan ORSD sebagai hasil utama peringkat ini (Jadual 4.1).

Lebih tepat lagi, keperluan spesifik ontologi merupakan satu set spesifikasi yang mentakrifkan ciri dan sifat yang perlu ada pada ontologi bagi memenuhi keperluan aplikasi atau domain tertentu. Menurut Suárez-Figueroa et al. (2009), keperluan spesifik ontologi dibahagikan kepada dua (2), iaitu keperluan berfungsi (*functional requirement*) dan tidak berfungsi (*non-functional requirement*). Keperluan berfungsi merujuk kepada keperluan khusus yang berkaitan dengan kandungan ontologi, manakala keperluan tidak berfungsi merujuk kepada ciri, kualiti atau item umum lain yang tidak berkaitan dengan kandungan ontologi, seperti contoh sama ada ontologi mesti direka bentuk untuk menyokong sistem berbilang bahasa atau sama ada terminologi yang digunakan mestilah diperolehi daripada piawaian tertentu seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.1.

Jadual 4.1 OSRD latihan pembedahan VR TAR

Parameter	Keterangan
Tujuan	Tujuan mereka bentuk ontologi adalah bagi menyediakan pengetahuan yang dipersetujui bersama dan bersepadu (<i>comprehensive</i>) mengenai pembedahan TAR agar dapat digunakan atau diguna semula bagi mereka bentuk dan menilai VRT untuk domain ortopedik.
Skop	Ontologi hanya perlu fokus kepada pembedahan TAR domain ortopedik. tahap perincian berkait secara langsung dengan soalan kecekapan atau <i>competency questions</i> (CQs) dan istilah-istilah yang telah dikenal pasti.
Bahasa pelaksanaan	Ontologi adalah untuk kegunaan manusia dan bukan untuk tujuan pengiraan. Ia akan dilaksanakan dengan menggunakan OntoUML sebagai bahasa pemodelan, bagi membantu bagi menerangkan model konseptual.
Pengguna-pengguna akhir dicadangkan	Pengguna 1: Jurulatih-jurulatih pembedahan ortopedik, yang perlu menilai pelatih. Pengguna 2: Pakar-pakar bedah ortopedik, yang perlu berkomunikasi dengan pembangun VR Pengguna 3: Pembangun-pembangun VR dalam VRT untuk domain ortopedik.. Pengguna 4: Penyelidik-penyelidik dalam bidang VRT untuk domain ortopedik.
Kegunaan dicadangkan	1. Menyediakan penaksiran dan penilaian VRT dalam TAR dan domain ortopedik. 2. Untuk membantu pakar domain dan pereka bentuk dalam mengenal pasti faktor-faktor kejayaan kritikal (<i>Critical Success Factors</i> ; CSFs) bagi VRT dalam ortopedik 3. Untuk membantu pakar domain dan pereka bentuk dalam mengemas kini VRT mengikut hasil penilaian 4. Menggalakkan kebolehgunaan semula penaksiran dan penilaian VRT merentas sistem dan platform yang berbeza.
Keperluan tidak berfungsi ontologi	1. Ontologi mesti ditulis dalam bahasa Inggeris dan tidak akan menyokong senario berbilang bahasa. 2. Kesemua konsep yang digunakan mesti diambil daripada sorotan kajian domain ortopedik dan TAR.
Keperluan berfungsi ontologi	
CQs	Jawapan kepada CQs
1. Apakah konsep keseluruhan kawasan latihan ortopedik peringkat atasan?	Mungkin terdapat pemantauan, peraturan, rawatan, pengajaran, program akademik, pendaftaran
2. Apakah teknik atau amalan yang digunakan untuk latihan dalam pembedahan TAR?	Amalan latihan mungkin termasuk latihan ke atas pesakit sebenar, makmal eksperimen dan latihan simulasi.
3. Apakah jenis kompetensi yang diperlukan oleh pelajar sebelum memulakan latihan?	Pelajar mungkin memerlukan sikap yang baik, pengetahuan asas, kemahiran pelajar, dan pemahaman.
4. Bagaimanakah anda menamakan pelatih dalam domain latihan ortopedik?	Pelatih boleh mengambil nama sebagai pelajar, pelajar perubatan, orang baharu atau residen.

... bersambung

... sambungan

- | | |
|---|--|
| <p>5. Apakah jenis-jenis rawatan ortopedik yang ada?</p> <p>6. Sekiranya anda membuat rawatan pembedahan, apakah jenis pembedahan yang anda lakukan bagi rawatan pembedahan ini?</p> <p>7. Sekiranya anda membuat pembedahan intraoperasi apakah jenis pembedahan yang anda lakukan di bawah pembedahan ini?</p> <p>8. Apakah langkah-langkah utama dalam pembedahan TAR?</p> | <p>Terdapat rawatan perubatan dan pembedahan.</p> <p>Jenis-jenis pembedahan adalah pembedahan praoperasi, pembedahan intraoperasi, dan pembedahan postoperasi</p> <p>Jenis-jenis pembedahan intraoperasi adalah penggantian keseluruhan buku lali, pembinaan semula ligamen sisi, pemindahan tendon <i>peroneal, hindfoot fusion</i>, dan pemanjangan kord tumit.</p> <p>Langkah-langkah utama dalam teknik pembedahan TAR adalah berikut:</p> <p>Langkah 1: Buat hirisan (hirisan membujur di atas bahagian tengah buku lali)</p> <p>Langkah 2: Dedahkan tibia distal dengan membuat hirisan antara extensor halusis longus dan tendon tibia anterior.</p> <p>Langkah 3: Keluarkan osteofit pada tibia dan talar</p> <p>Langkah 4: Dedahkan sendi buku lali anterior</p> <p>Langkah 5: Letakkan blok reseksi tibia dan selaraskan rod dalam satah sagital</p> <p>Langkah 6: Sejajarkan blok reseksi tibia dalam satah koronal</p> <p>Langkah 7: Lakukan pemotongan tibia dan keluarkan tulang</p> <p>Langkah 8: Masukkan blok pemotong talar dan periksa kedudukan selepas mengeluarkan blok reseksi tibia</p> <p>Langkah 9: Lakukan pemotongan talar dan buang tulangnya</p> <p>Langkah 10: Semak penjajaran dan kestabilan</p> <p>Langkah 11: Letakkan blok reseksi talar dan buat potongan medial, lateral, dan posterior talus</p> <p>Langkah 12: Keluarkan kapsul dorsal sepenuhnya</p> <p>Langkah 13: Masukkan talus percubaan diikuti dengan tibia percubaan dan inlai percubaan. Periksa kedudukan setiap percubaan sehingga dianggap sempurna, dan gerudi dua (2) lubang bagi memastikan kedudukan komponen talar pada kedudukan yang dikehendaki.</p> <p>Langkah 14: Masukkan komponen talar implant</p> <p>Langkah 15: Masukkan inlai dan skru</p> |
|---|--|

... bersambung

... sambungan

- | | |
|---|---|
| <p>9. Siapa yang memantau pelatih semasa latihan pembedahan penggantian keseluruhan buku lali?</p> <p>10. Di manakah pelatih mendapat pengetahuan bagi tujuan latihan?</p> <p>11. Apakah perkara-perkara yang anda boleh jadikan sebagai sumber?</p> <p>12. Sekiranya sumber manusia juga termasuk sebagai salah satu sumber apakah ciri-ciri yang perlu mereka ada?</p> <p>13. Apakah bahagian anatomi yang terlibat dalam operasi penggantian keseluruhan buku lali?</p> <p>14. Apakah maklumat penting yang perlu diketahui oleh pelajar mengenai anatomi?</p> <p>15. Apakah jenis alatan yang digunakan dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali?</p> <p>16. Apakah maklumat penting yang perlu diketahui oleh pelajar mengenai alatan tersebut?</p> <p>17. Apakah jenis ubat yang terlibat dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali?</p> <p>18. Apakah maklumat penting yang perlu diketahui oleh pelajar mengenai ubat-ubatan?</p> <p>19. Bilakah pesakit akan diberikan ubat bagi pembedahan penggantian keseluruhan buku lali?</p> <p>20. Apakah penyakit yang kebiasaannya melibatkan penggantian keseluruhan buku lali?</p> | <p>Mungkin akan ada lebih banyak pilihan termasuk pakar bedah, doktor pakar atau jurulatih</p> <p>Dia mungkin mendapat pengetahuan daripada sumber jabatan seperti kuliah, kursus, artikel yang dicadangkan, dan sebagainya.</p> <p>Sumber yang mungkin boleh digunakan seperti sumber manusia, penyakit, alatan, bahan pembelajaran, ubat-ubatan dan instrumen.</p> <p>Mereka perlu mempunyai pengalaman, kelayakan dan kemahiran.</p> <p>Pembedahan akan melibatkan anatomi buku lali. Terdapat pelbagai bahagian seperti talus, tibia, fibula, rawan, dan sebagainya.</p> <p>Mereka harus mempunyai pengetahuan mengenai nama, lokasi dan imej.</p> <p>Alatan ini digunakan bagi membantu dalam kesemua perkara seperti ujian diagnostik, rawatan atau pembedahan penggantian keseluruhan buku lali. Terdapat beberapa instrumen seperti alat radiologi, MRI, bilah pembedahan, perenggang, bilah gergaji, implan dan sebagainya.</p> <p>Mereka perlu mempunyai pengetahuan mengenai nama, peranan dan imej.</p> <p>Ubat-ubatan merupakan komponen ubat-ubatan yang diberikan oleh doktor. Terdapat pelbagai jenis ubat seperti ubat tahan sakit yang ringkas seperti <i>paracetamol</i>, ubat tahan sakit anti-radang, dan sebagainya.</p> <p>Mereka mungkin dikehendaki membuat kajian mengenai nama, peranan dan pengetahuan tentang dos ubat yang betul.</p> <p>Ada kemungkinan untuk pesakit diberikan ubat sebelum, semasa dan selepas operasi penggantian keseluruhan buku lali.</p> <p>Penyakit yang kebiasaannya melibatkan penggantian keseluruhan buku lali adalah osteoarthritis primer, osteoarthritis sekunder/sistemik seperti artritis reumatoid, dan osteoarthritis selepas trauma seperti patah buku lali.</p> |
|---|---|

... bersambung

... sambungan

21. Apakah faktor-faktor risiko penyakit yang melibatkan penggantian keseluruhan buku lali?	Faktor-faktor risiko adalah semua perkara yang meningkatkan jumlah masalah penggantian buku lali, yang merangkumi banyak jenis seperti: - Arthritis Reumatoid dan Artropati Inflamasi - Jangkitan - Osteopenia dan Osteoporosis - Berat badan berlebihan - Arthritis sendi bersebelahan - Maljajaran anggota bawah, buku lali atau kaki belakang - Ketidakstabilan buku lali belakang - Penguncupan kord tumit - Komplikasi tisu lembut - Pertimbangan umur - Aktiviti terhad - Merokok
22. Apakah simptom-simptom untuk penyakit yang melibatkan penggantian keseluruhan buku lali?	Gejala-gejala penyakit bagi penggantian keseluruhan buku lali adalah: - Kesakitan yang teruk - Keradangan - Kekakuan - Kesukaran untuk berjalan
23. Apakah jenis ubat yang diberikan kepada pesakit untuk pembedahan penggantian keseluruhan buku lali?	Dua kategori ubat disediakan kepada pesakit termasuk ubat dan peranti.
24. Apakah jenis komplikasi yang mungkin timbul dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali?	Komplikasi yang mungkin timbul selepas pembedahan seperti implan longgar, keimpinjan (menguntit), tidak sejajar, implan tenggelam dalam tulang, saiz implan digunakan salah, pemakaian berlebihan mana-mana bahagian implan atau implan boleh patah atau retak.
25. Siapa yang akan menilai pelajar?	Pelatih
26. Bagaimanakah anda mengklasifikasikan tahap pelajar?	Tinggi, sederhana, rendah

Suárez-Figueroa et al. (2009) mengesyorkan satu pendekatan agar soalan kecekapan dirumuskan dalam bahasa semula jadi untuk memudahkannya dijawab oleh pakar dalam subjek tersebut bagi mendapatkan keperluan berfungsi. Khusus untuk OntoAnkle, pelbagai sumber telah dianalisis dan disemak (contohnya, video, dokumen, laman sesawang, foto, artikel) bagi mendapatkan gambaran keseluruhan mengenai domain TAR. Sehubungan itu, beberapa istilah seperti kata kerja, nama, dan kata sifat telah diekstrak sebagai istilah sumber untuk glosari awal, dan digunakan bagi merumuskan jawapan hipotesis kepada beberapa soalan kecekapan. Akhirnya, maklum balas daripada pakar domain akan digunakan bagi mengesahkan respons hipotesis ini berdasarkan soalan kecekapan yang telah dirumuskan.

Teknik berbeza boleh digunakan bagi mengesahkan pengetahuan yang diperoleh daripada soalan kecekapan dalam menentukan sumber bersesuaian untuk menjadi asas bagi pembangunan ontologi. Justeru, untuk projek OntoAnkle, dua (2) kaedah telah digunakan dalam urutan bagi mendapatkan sumber yang sesuai. Kaedah pertama, temu bual dalam talian dengan pakar dalam bidang ortopedik telah dijalankan bagi mendapatkan sumber pengetahuan utama. Kemudiannya, dokumen berkaitan yang dikenal pasti melalui sorotan yang telah dilakukan telah diperiksa bagi mengesahkan respons daripada pakar dengan sumber pengetahuan sekunder. Jadual 4.2 menunjukkan glosari istilah gabungan dan disahkan mengikut langkah yang dinyatakan di atas.

Jadual 4.2 Glosari istilah yang telah disahkan

Pengetahuan yang Diperolehi; Kebolehsesuaian; Anatomi; Maklumat Anatomi; Pendekatan Anterior Buku Lali; Sikap; Semak Implan; Tutup Luka; Tahap Kecekapan; Komplikasi; Kecemasan; Tahap Penilaian; Cemerlang; Baik; Implan; Maklumat Implan; Hirisan; Petunjuk; Radang Sendi (*Inflammatory Arthritis*); Pesakit dalam Rawatan; Masukkan Implan; Masukkan Instrumen; Alat; Maklumat Instrumen; Pengetahuan; Pendekatan Sisi Buku Lali; Motivasi; Pengetahuan Baharu; Kemahiran baru; Latihan Ortopedik; Osteoarthritis; Pesakit Luar; Pesakit; Penjagaan Pesakit; Latihan Praktikal; Perancangan Praoperasi; Prosedur; Keluarkan Implan; Gantikan Instrumen; Memuaskan; Tulang Gergaji; Pilih Anatomi; Kulit; Pelajar; Faktor Pelajar; Kemahiran Pelajar; Kefahaman Pelajar; Prosedur pembedahan; Talus; Prestasi Tugas; Tendon; Latihan Teori; Tibia; Sendi Tibiotalar; Penggantian Keseluruhan Buku lali; Jurulatih; Implan Percubaan; Lemah.

Berdasarkan pengetahuan domain yang dikumpulkan, konsep utama yang perlu diwakili dalam ontologi telah dikenal pasti. Konsep-konsep ini hendaklah menyeluruh dan konsisten, serta merangkumi semua aspek berkaitan domain yang diminati.

Seterusnya, pengetahuan tentang domain distrukturkan dan disusun menjadi model ekspresif di peringkat pengetahuan. Dalam peringkat ini, koleksi konsep boleh dicirikan kepada dua (2) kumpulan, *endurant* dan *perduran*, berdasarkan pengetahuan prospektifnya untuk setiap ontologi. Diadaptasi daripada *Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering* (DOLCE) (Masolo et al., 2003; Colomb, 2007), *endurant* mewakili entiti yang wujud tanpa kebergantungan dengan masa, manakala *perduran* mewakili entiti yang berlaku dari semasa ke semasa. Sejajar dengan itu, konsep ini dikenali sebagai keadaan dan kejadian dalam sistem *Bunge-Wand-Weber* (BWW) (Weber, 1997; Colomb, 2007). Konsep *endurant* akan digunakan untuk memodelkan objek dalam ontologi *OntoAnkle*, manakala *perduran* akan digunakan untuk memodelkan proses dalam ontologi *OntoAnkle*. Jadual 4.3 menggambarkan konsep utama dalam domain TAR mengikut konsep yang berkaitan dengan *endurant* dan *perduran*.

Jadual 4.3 Pengkategorian konsep berkaitan *endurant* dan *perduran* ontologi *OntoAnkle*

Ontologi	Jenis Ontologi	Konsep-konsep Berkaitan
Latihan Ortopedik	<i>Endurant</i>	Latihan Ortopedik; Jurulatih; Prestasi Tugas; Tahap Penilaian; Lemah; Kepuasan; Bagus; Cemerlang; Tahap Kecekapan; Sikap; Pengetahuan Baharu; Kemahiran Baharu; Pelajar; Ilmu yang Diperolehi; Kemahiran Pelajar; Pemahaman Pelajar; Faktor-faktor Pelajar; Motivasi; Pengetahuan; Kebolehsesuaian.
Penggantian Keseluruhan Buku Lali	<i>Endurant</i>	Penggantian keseluruhan Buku lali; Latihan Teori; Anatomi; Alat; Petunjuk; Sendi Tibiotalar; Osteoartrosis; Arthritis Radang; Pesakit; Latihan Praktikal; Perancangan Praoperasi; Prosedur; Penjagaan pesakit; Pesakit dalam Rawatan; Pesakit luar; Kecemasan; Prosedur Pembedahan; Pendekatan Anterior Buku Lali; Pendekatan Buku Lali Sisi.
Buat hirisan (kulit)	<i>Perduran</i>	Pilih Anatomi; Hirisan; Masukkan Instrumen.
Buat hirisan (tendon)	<i>Perduran</i>	Pilih Anatomi; Hirisan; Masukkan Instrumen.
Potong tibia	<i>Perduran</i>	Pilih Anatomi; Masukkan Instrumen; Potong Tulang.
Potong talus	<i>Perduran</i>	Pilih Anatomi; Masukkan Instrumen; Potong Tulang.
Masukkan implan percubaan	<i>Perduran</i>	Masukkan Implan; Potong Tulang; Buang Implan.
Masukkan implan	<i>Perduran</i>	Masukkan Implan; Periksa Implan.
Tutup luka	<i>Perduran</i>	Tutup luka.

ORSD bertindak sebagai medium komunikasi yang menghubungkan antara pihak berkepentingan bagi menjelaskan set keperluan yang harus dipenuhi oleh

ontologi yang direka bentuk (Suárez-Figueroa et al. 2009). Garis panduan Suárez-Figueroa et al., (2009) kebiasaannya digunakan seperti dalam (masukkan 2-3 petikan terbaru yang menggunakan ORSD) sebagai templat bagi mengenal pasti hasil daripada ORSD (Drosio, 2022; Meditskos et al., 2020; Negri et al., 2016; Riga et al., 2021). Kandungan ORSD telah diselaraskan secara berterusan dan diharmonikan melalui langkah-langkah berturut mengikut garis panduan yang disenaraikan di atas bagi memenuhi tujuan penyelidikan. Langkah-langkah ini termasuk mengenal pasti konsep dan hubungan, mentakrifkan struktur ontologi, mentakrifkan perwakilan ontologi, dan seterusnya mentakrifkan integrasi ontologi, secara kolektif dikenali sebagai fasa konseptualisasi.

b. Peringkat 2 – Konseptualisasi

Fasa konseptualisasi dalam ODM merupakan proses bagi mengenal pasti dan mentakrifkan hubungan antara konsep utama dan yang akan diwakili dalam ontologi. Hubungan ini berkemungkinan boleh membentuk hierarki atau bukan hierarki, dan hendaklah konsisten serta logik bagi menggambarkan domain dikaji dengan tepat. Fasa ini adalah penting bagi memastikan ontologi yang mewakili domain dikaji dengan tepat serta memenuhi keperluan pihak berkepentingan. Sebelum penstrukturan dan penyusunan semula semua konsep utama dan pengetahuan domain, huraian teks yang tepat, eksplisit, jelas dan harmoni bagi setiap konsep harus dicapai melalui penyelarasan dan penyegerakan yang meluas antara semua pihak berkepentingan bagi memastikan pemahaman yang sama tentang konsep dicapai (Noy & McGuinness, 2001).

Walau bagaimanapun, keluasan domain pengetahuan ortopedik harus dipertimbangkan, dimana sesetengah istilah konsep kadangkala membawa makna yang berbeza-beza di kalangan pakar bedah ortopedik. Oleh itu, pengoptimuman dari segi mengenal pasti makna tepat setiap istilah, penting bagi memastikan kesempurnaan dan konsistensi definisi konsep dalam peringkat ini agar kesempurnaan dan kesepaduan ontologi boleh dimuktamadkan. Sekiranya terdapat sebarang penggunaan definisi konsep yang tidak boleh dipercayai di kalangan sumber, ia akan diselaraskan dan diharmonikan agar sesuai dengan matlamat ontologi. Sebagai contoh, peranti merupakan konsep yang diperkenalkan pada peringkat awal ODM (iaitu prakonseptualisasi), yang merujuk kepada instrumen atau alat yang digunakan bagi

melaksanakan sesuatu tugas (Noy & McGuinness, 2001), kemudiannya didapati bercanggah dengan peranti pegang tangan VR yang digunakan oleh latihan VR Ankle. Oleh itu, sebagai alternatif, istilah Instrumen akan digunakan bagi menggambarkan definisi yang dicadangkan. Berdasarkan definisi konsep yang diperolehi dalam fasa sebelumnya seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.2, set lengkap konsep dan definisinya selepas penyemakan dan penyelarasan untuk konsep *endurant* dan *perdurant*, masing-masing dibentangkan dalam Jadual 4.4 dan Jadual 4.5.

Jadual 4.4 Konsep *Endurant* dan definisi

Konsep	Definisi
Latihan Ortopedik	Ia adalah komponen teras jabatan ortopedik, iaitu termasuk semua aktiviti (proses latihan dan pembelajaran) yang dijalankan dalam bidang tertentu, dan membawa kepada kelayakan akademik, ijazah, atau sijil.
Jurulatih	Kakitangan profesional dengan aset penting daripada segi kemahiran, peranan, pengalaman, dan keupayaan mengajar pembedahan
Penilaian	Ia merupakan cara yang sistematik bagi menilai proses latihan pelajar
Prestasi Tugas	Ia merujuk kepada cara seseorang bertindak dan berkelakuan dalam tugas tertentu, atau ia adalah hasil daripada tingkah laku seseorang
Tahap Penilaian	Ia merujuk kepada kuantifikasi proses penilaian
Cemerlang	Ia merujuk kepada gred bagi menunjukkan tahap pelajar
Baik	Ia merupakan gred bagi menunjukkan tahap pelajar
Memuaskan	Ia merupakan gred bagi menunjukkan tahap pelajar
Lemah	Ia merupakan gred bagi menunjukkan tahap pelajar
Tahap Kecekapan	Ia merujuk kepada keupayaan seseorang bagi melaksanakan beberapa tugas secara ideal
Sikap	Ia merupakan cara seseorang berfikir atau perasaannya terhadap sesuatu
Pengetahuan Baharu	Ia adalah maklumat dan fakta baru yang diperolehi selepas latihan
Kemahiran Baharu	Ia merupakan kebolehan baharu untuk melakukan tugas tertentu, diperolehi selepas mempelajari atau mempraktikkan aktiviti baharu
Keyakinan	Ia merupakan keadaan percaya pada pertimbangan, kapasiti dan kebolehan sendiri
Perkakasan	Ia adalah peranti fizikal dan peralatan yang membolehkan prestasi input dan output data serta maklum balas dengan sistem VR
Ciri-ciri VR	Aspek-aspek perkakasan VR
Skrin Beresolusi Tinggi	Ia merupakan ciri paparan dengan ketumpatan piksel yang tinggi menjadikan imej lebih tajam dan jelas
Peranti Haptik	Ia merupakan ciri maklum balas yang membolehkan penerimaan maklumat sentuhan melalui deria mereka, sama ada menggunakan daya, getaran atau sentuhan.
Stesen Operator	Ia merupakan stesen fizikal tempat pengendali mengendalikan VR
Gerak Balas Haptik	Ia ialah daya, getaran atau sentuhan yang digunakan oleh peranti haptik
Grafik Beresolusi Tinggi	Ia merujuk kepada grafik resolusi tinggi menggambarkan secara realistik anatomi sendi buku lali dan tisu sekeliling
Grafik Realistik	Ia merujuk kepada objek maya apabila mensimulasikan tingkah laku fizikal objek sebenar
Manipulasi Realistik	Ia merujuk kepada persekitaran VR apabila membenarkan manipulasi realistik instrumen dan objek maya
Kebolegunaan	Ia merujuk kepada kualiti pengalaman pengguna apabila berinteraksi dengan sistem

bersambung...

...sambungan

Jimat Kos	Ia merujuk kepada pengurangan kos latihan
Jimat Tempoh	Ia merujuk kepada pengurangan tempoh latihan
Mudah Digunakan	Ia merujuk kepada keadaan yang mudah digunakan
Pelajar	Seseorang yang terlibat dalam pembelajaran ortopedik bagi mempelajari bagaimana melakukan beberapa tugas dan pembedahan
Pengetahuan yang Diperolehi	Ia adalah pemerolehan sikap, pengetahuan, kemahiran, dan nilai melalui pembelajaran yang perlu dilalui, sebelum menghadiri latihan praktikal
Pemahaman Pelajar	Ia adalah kefahaman tentang sesuatu, mengetahui cara ia berfungsi atau maksudnya
Kemahiran Pelajar	Ia merupakan keupayaan untuk melakukan beberapa tugas dalam tempoh masa tertentu
Faktor-faktor Pelajar	Ia merupakan personaliti dan ciri-ciri pelajar yang mungkin menyumbang kepada keluk pembelajaran mereka
Minat Semula Jadi	Ia merujuk kepada minat pelajar yang telah wujud sebelum pengalaman pembelajaran
Cara belajar	Ia merupakan cara pilihan pelajar untuk menyerap, memproses, memahami dan mengekalkan maklumat
Kebolehsesuaian	Ia merujuk kepada keupayaan seseorang untuk menyesuaikan diri dengan perubahan
Motivasi	Ia merupakan penyebab untuk melakukan beberapa tugas
Pengetahuan	Ia merupakan pemerolehan sikap, pengetahuan, kemahiran, dan nilai melalui pembelajaran yang diperlu dilalui sebelum menghadiri latihan praktikal
Faktor Pembatasan	Ia merujuk kepada faktor-faktor yang menghalang daripada merealisasikan kejayaan
Pengisian Kurikulum	Ia merujuk kepada potensi kurikulum latihan sedia ada kurang bersepadu (<i>comprehensive</i>) bagi mempelajari sepenuhnya pembedahan
Jumlah Latihan Diperlukan	Ia merujuk kepada potensi jumlah latihan yang diperlukan bagi mencapai kecekapan adalah terlalu lama
Matlamat Latihan Jelas	Ia merujuk kepada potensi objektif dan matlamat pembelajaran tidak jelas
Kerumitan Mencukupi	Ia merujuk kepada potensi tahap kerumitan prosedur pembedahan tidak sesuai bagi membolehkan pembelajaran pembedahan yang lengkap
Maklum Balas Berkesan	Ia merujuk kepada potensi maklum balas yang diberikan tidak mencukupi bagi meningkatkan prestasi
Mengenal Pasti Kesilapan	Ia merujuk kepada potensi pelajar tidak bersedia bagi mengenali kemungkinan kesilapan yang berlaku semasa pembedahan
Membuat Keputusan Reaktif	Ia merujuk kepada potensi pelajar tidak bersedia membuat keputusan yang reaktif semasa pembedahan
Penggantian Keseluruhan Buku Lali	Ia merujuk kepada jenis pembedahan yang merawat artritis buku lali
Latihan Teori	Ia mengenai penyediaan pelajar dengan pengetahuan berkaitan ortopedik seperti pengetahuan tentang jenis penyakit, ubat-ubatan, instrumen, anatomi, dan sebagainya.
Anatomi	Ia merujuk kepada struktur yang terdiri daripada semua bahagian badan yang membantu dalam proses pandangan
Instrumen	Ia merujuk kepada alat atau peranti khusus yang terlibat dalam menjalankan tindakan atau tugas khas semasa pembedahan
Petunjuk	Ia merujuk kepada faktor tidak normal dan tidak diinginkan yang mempengaruhi struktur buku lali
Sendi Tibiotalar	Sendi yang membentuk artikulasi antara talus dan tibia
Osteoartrosis	Penyakit sendi bukan keradangan yang dicirikan oleh kemerosotan rawan artikul, hipertrofi di margin tulang, dan perubahan dalam membran sinovium.
Radang Sendi	Sekumpulan keabnormalan sistem imun pada sendi
Pesakit	Merujuk kepada mana-mana manusia yang menerima perkhidmatan

bersambung...

...sambungan

	penjagaan kesihatan mengenai penyakit penggantian keseluruhan buku lali
Latihan Praktikal	Ia merupakan sebarang pembelajaran yang berlaku di jabatan atau organisasi dan pelajar mengaplikasikan apa yang dipelajarinya dalam bentuk praktikal
Perancangan Praoperasi	Ia merupakan aktiviti yang terdiri daripada mengambil ukuran buku lali termasuk menentukan pendekatan pembedahan dan implan yang diperlukan
Prosedur	Ia merujuk kepada cara yang khusus bagi melakukan rawatan atau pembedahan
Penjagaan Pesakit	Ia merujuk kepada perbuatan atau cara yang melibatkan rawatan dan diagnosis pesakit tersebut
Pesakit dalam Rawatan	Pesakit yang tinggal di hospital apabila menerima rawatan
Pesakit Luar	Merujuk kepada pesakit datang ke hospital untuk diagnosis tetapi dia tidak tinggal di hospital
Kecemasan	Merujuk kepada situasi merbahaya yang memerlukan perhatian segera
Prosedur Pembedahan	Ia adalah sejenis diagnosis yang melibatkan pembedahan
Pendekatan Hadapan Buku Lali	Apabila navigasi ke sendi buku lali dimulakan dengan meletakkan hirisan antara tibial anterior dan ekstensor halusis longus
Pendekatan Sisi Buku Lali	Apabila navigasi ke sendi buku lali dimulakan dengan meletakkan hirisan di sepanjang sempadan posterior fibula

Jadual 4.5 Konsep *Perdurant* dan definisi

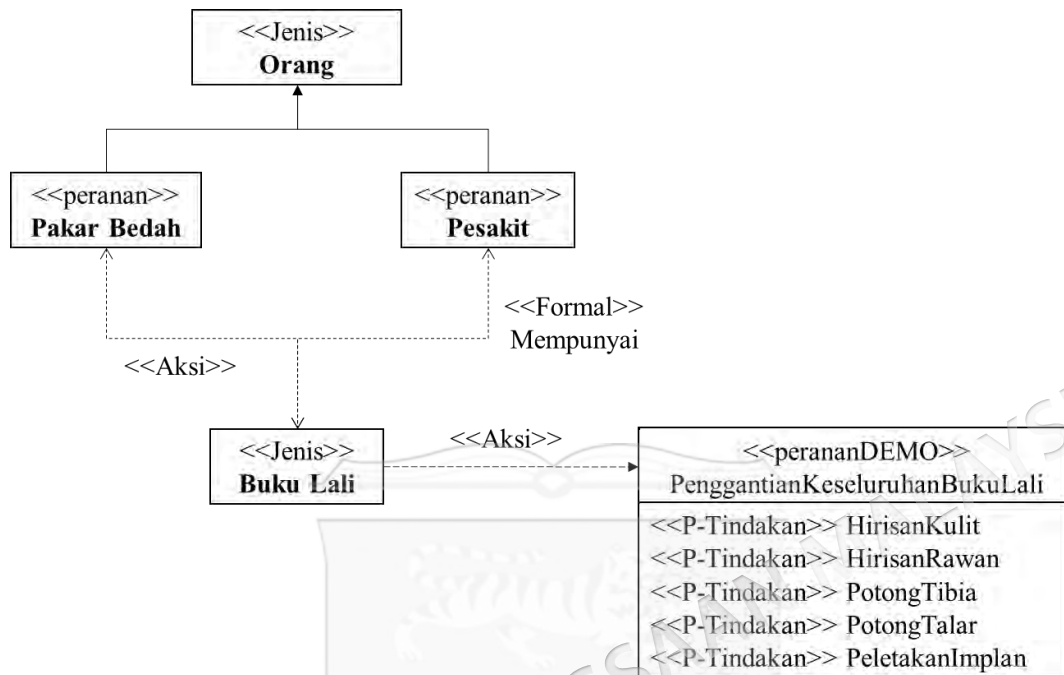
Concepts	Definition
Pilih Anatomi	Untuk memilih lokasi anatomi bagi membuat hirisan atau untuk meletakkan instrumen
Hirisan	Untuk memilih instrumen yang akan digunakan untuk membuat hirisan atau untuk menggergaji tulang
Masukkan Instrumen	Instrumen tersebut sama ada perenggang atau gergaji, dimasukkan di posisi yang telah ditentukan
Gantikan Instrumen	Menggantikan perenggang <i>Hohmann</i> dengan perenggang kawal-sendiri
Potong Tulang	Membuat ruang untuk implan dengan memotong tulang menggunakan gergaji tulang
Masukkan Implan	Memasukkan implan
Keluarkan Implan	Mengeluarkan implan percubaan selepas mengesahkan kedudukan implan
Semak Implan	Memastikan penempatan implan adalah betul
Tutup Luka	Menjahit hirisan pada kulit

Perwakilan ontologi yang menggunakan bahasa perwakilan ontologi adalah penting bagi kegunaan praktikalnya, terutama dalam pembangunan sistem VR. Guizzardi (2005) telah mencadangkan OntoUML, satu bahasa varian UML yang boleh

mewakili konsep *endurant* dan proses *perdurant*, digunakan khusus bagi menyatakan ontologi, berdasarkan konsep yang terkandung dalam *Unified Foundational Ontology* (UFO). *Endurants* dalam OntoUML lazimnya diwakili menggunakan elemen Kelas (*Class*) dan Kejadiannya (*Instances*), manakala *perdurant* biasanya diwakili menggunakan gabungan elemen Aktiviti (*Activity*) dan Tindakan (*Action*), yang menerangkan aspek dinamik dan perubahan yang berlaku dalam entiti dari semasa ke semasa. Selain itu, penghalusan OntoUML baru-baru ini telah memperkenalkan aplikasi DEMO berasaskan UML dalam pembentangan *perdurant* ontologi. Menurut sistem DEMO (*Design and Engineering Methodology for Organizations*), perlakuan pertuturan yang dilakukan dalam konteks perniagaan lazimnya merupakan tindakan yang kompleks. Tindakan *urus niaga*, dikenali sebagai tindakan penghasilan atau P-Tindakan, mewakili aspek kestabilan sesebuah organisasi. P-Tindakan selalunya merupakan hasil perbualan yang melibatkan pelbagai pihak. Setiap langkah dalam perbualan sepadan dengan tindakan koordinasi atau C-act, yang merupakan jenis perlakuan pertuturan yang berbeza. C-Tindakan diletakkan dalam kumpulan yang sama dengan *urus niaga*, dan P-Tindakan hanya dianggap lengkap jika transaksi berjaya dimuktamadkan. Walaupun P-Tindakan kekal stabil, C-Tindakan di dalamnya berkemungkinan mengalami perubahan. Perwakilan *endurant* dan *perdurant* dalam OntoUML membolehkan pemodelan aspek statik dan dinamik ontologi. *Endurant* mengambil aspek entiti yang stabil dan berkekalan, manakala *perdurant* menyediakan rangka kerja bagi mewakili evolusi temporal, proses dan peristiwa yang dikaitkan dengan entiti. Berdasarkan OntoUML, sintaks perhubungan individu diwakili sebagai baris dan perkaitan di antara mereka.

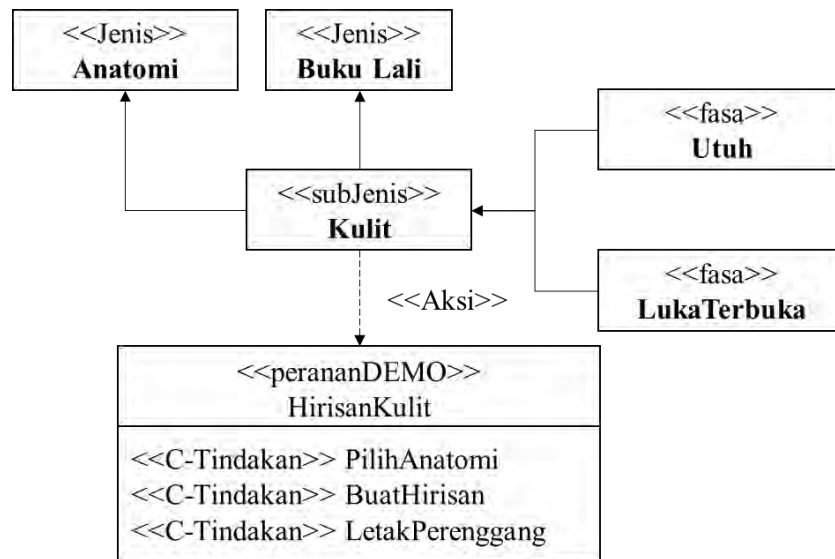
Pertama, hubungan antara semua konsep *endurant* ditentukan akan diikuti oleh konsep *perdurant*. Bagi konsep *endurant*, tindakan pertama adalah mengenal pasti peranan semua peserta yang terlibat dalam pembedahan TAR. Berdasarkan pendekatan Guizzardi, Orang adalah stereotaip <<*Jenis*>> seperti yang digambarkan dalam Rajah 4.1. Pembedahan TAR melibatkan seseorang yang mempunyai peranan Pakar Bedah yang berinteraksi dengan orang yang mempunyai peranan Pesakit yang mempunyai Buku lali. Buku lali pesakit adalah stereotaip <<*Jenis*>> kerana ia membekalkan identiti untuk bahagian badan yang sedang menjalani pembedahan TAR. Konsep *endurant*

disambungkan kepada antara muka DEMO TotalAnkleReplacement melalui stereotaip <<Aksi>>.



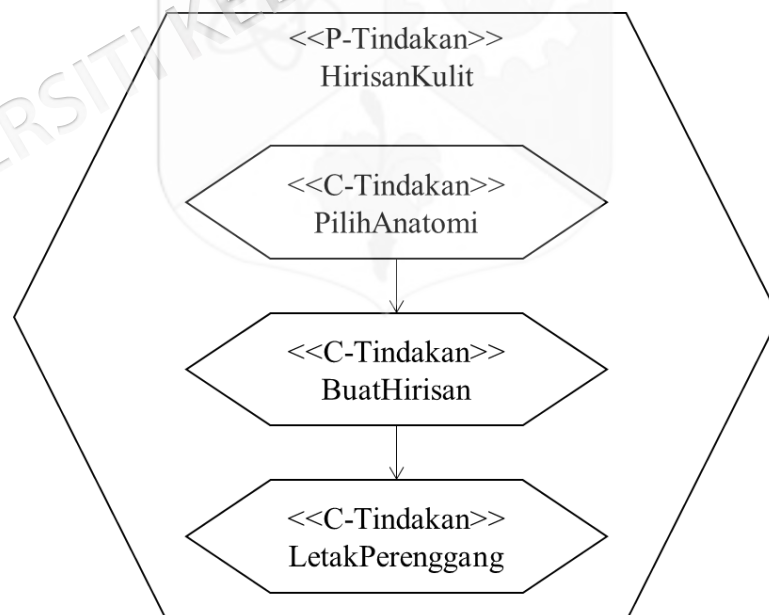
Rajah 4.1 Hubungan hierarki antara individu yang terlibat dalam pembedahan penggantian keseluruhan buku lali

Seterusnya, bahagian-bahagian anatomi buku lali dibahagikan dan diasingkan untuk membolehkan sambungan ke antara muka DEMO bagi *perdurant* setiap langkah TAR. Rajah 4.2. memaparkan perhubungan endurant dalam Kulit, dengan stereotaip <<subJenis>> kepada buku lali. Hirisan kulit perlu dilakukan untuk akses anatomi asas. Oleh itu, endurant ini mempunyai antara muka dengan peranan DEMO untuk P-Tindakan hirisan kulit.



Rajah 4.2 Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi kulit

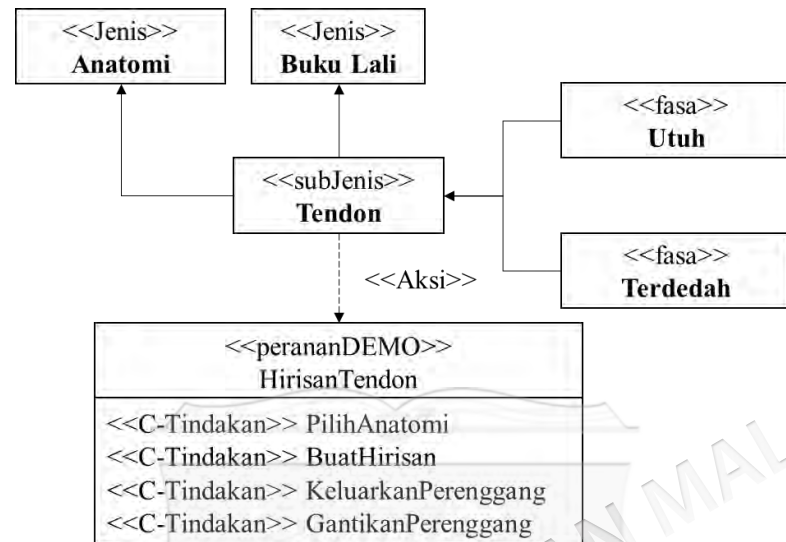
Rajah 4.3 memberikan butiran P-Tindakan HirisanKulit, dan perdurant yang terlibat dalam hirisan kulit yang diperlukan untuk akses anatomi asas disenaraikan. Perdurant ini termasuk memilih lokasi anatomi hirisan, membuat hirisan, dan menggunakan perenggang bagi memastikan ia terdedah.



Rajah 4.3 Perdurant hirisan kulit

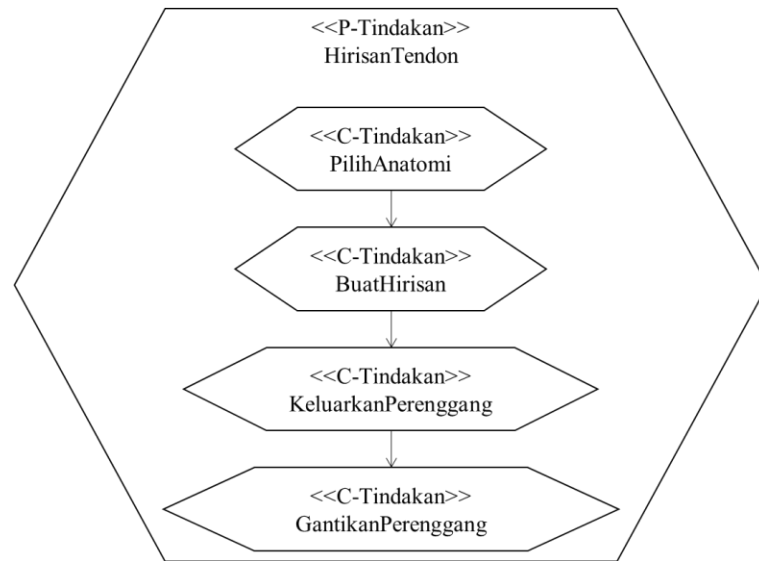
Kemudiannya, tendon yang terletak di bawah kulit juga perlu dihiris untuk mengakses tulang di bawahnya. Oleh itu, endurant ini mempunyai antara muka dengan

peranan DEMO untuk P-Tindakan hirisan tendon. Sehubungan itu, endurant ini mempunyai antara muka dengan peranan DEMO untuk P-Tindakan hirisan tendon (Rajah 4.4).



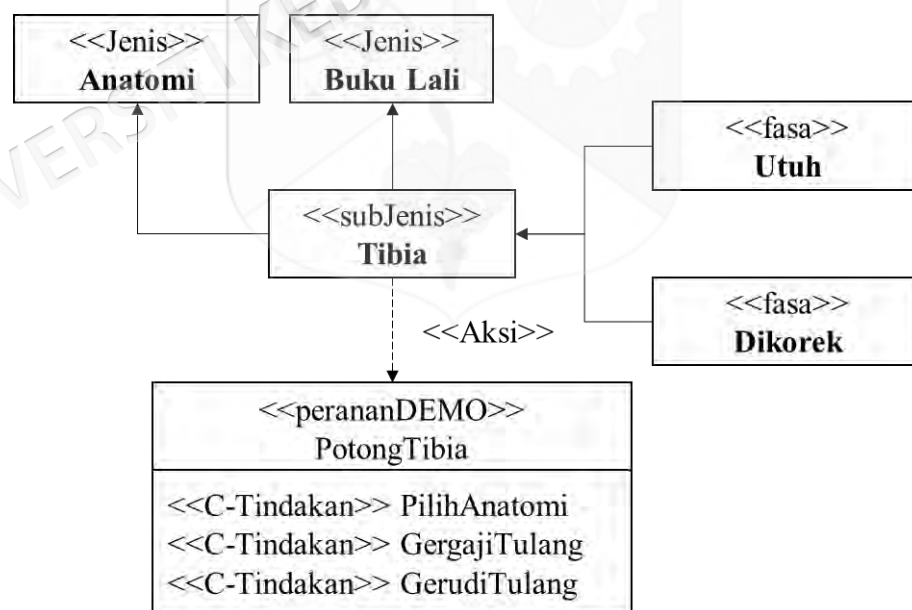
Rajah 4.4 Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi tendon

Rajah 4.5 memberikan butiran P-Tindakan HirisanTendon, dan perdurant yang terlibat dalam hirisan tendon untuk mengakses tulang asas telah disenaraikan. Perdurant ini termasuk memilih lokasi anatomi hirisan, membuat hirisan, mengeluarkan perenggang kulit, dan menggantikannya dengan perenggang tendon.



Rajah 4.5 Perdurant hirisan tendon

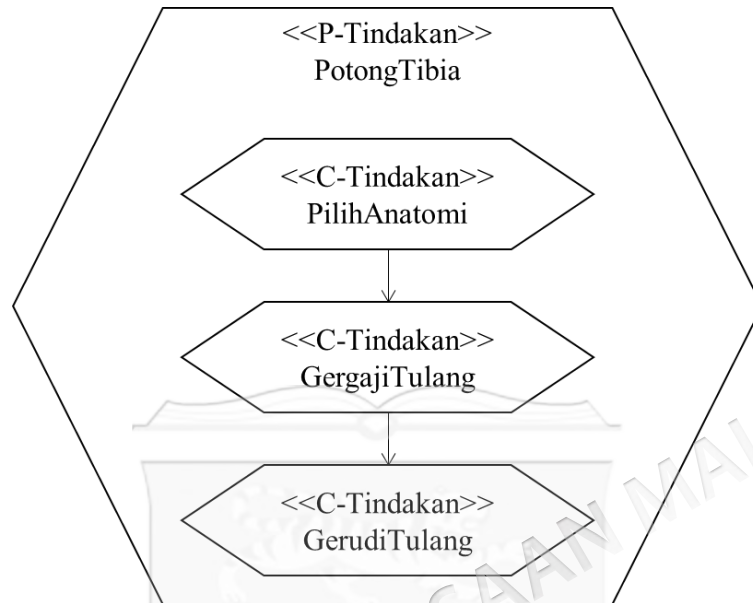
Sebaik sahaja tulang terdedah, tapak implan perlu disediakan. Pertama, tulang tibial perlu ditanggalkan daripada sendi talar sebelum lubang digerudi. Oleh itu, endurant ini mempunyai antara muka kepada peranan DEMO berhubung dengan P-Tindakan yang melibatkan pemotongan tulang talar (Rajah 4.6).



Rajah 4.6 Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi tibial

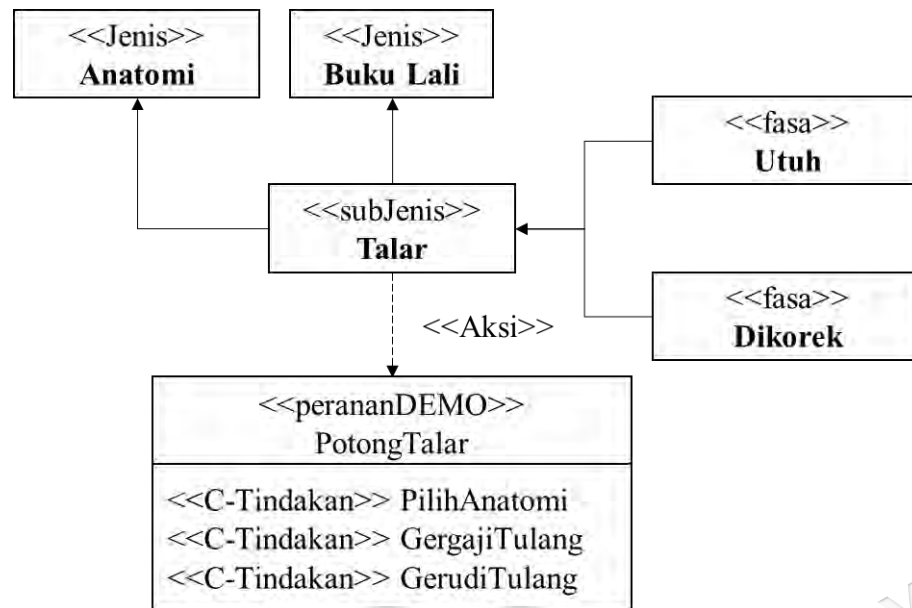
Dalam Rajah 4.7, maklumat khusus dibentangkan mengenai P-Tindakan PotongTibia. Perkara ini memerlukan senarai perdurant yang terlibat dalam proses

penyediaan tulang talar bagi penempatan implan. Perdurant ini merangkumi tugas seperti menentukan tapak anatomi untuk hirisan, menggergaji tulang tibial, dan menggerudi tulang tibial.



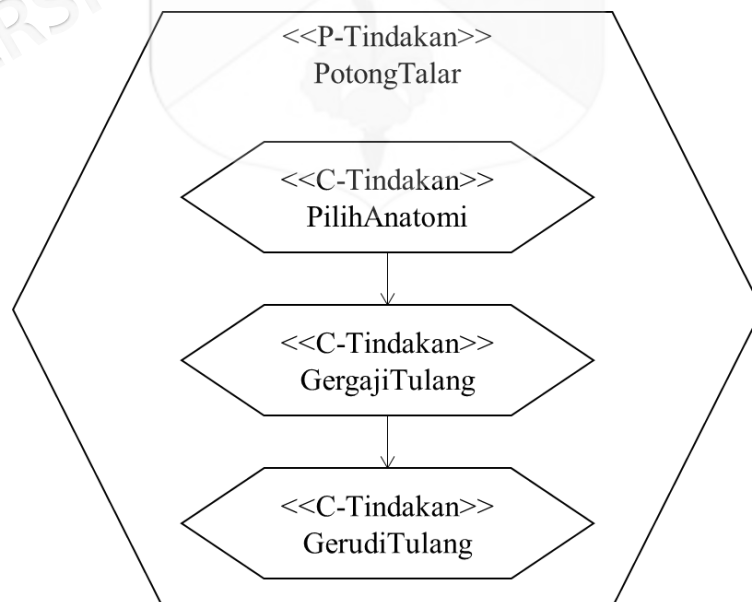
Rajah 4.7 Perdurant pemotongan tulang tibial

Selepas pemisahan dan penyediaan tulang tibial, tulang talar bersebelahan juga perlu disediakan (Rajah 4.8). Oleh yang demikian, endurant ini akan dilengkapi dengan antara muka yang memainkan peranan DEMO dalam P-Tindakan melakukan pemotongan talar.



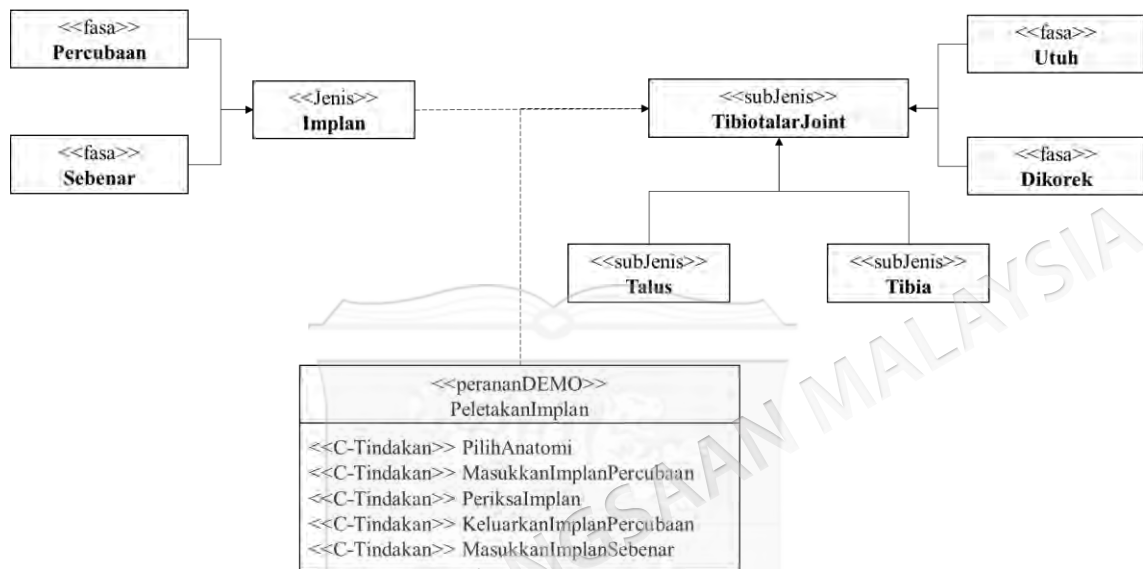
Rajah 4.8 Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan anatomi tulang talar

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.9, maklumat khusus dibentangkan mengenai P-Tindakan PotongTalar. Situasi ini memerlukan senarai perdurant yang terlibat dalam proses mengakses penyediaan tulang talar. Perdurant ini merangkumi tugas seperti menentukan tapak anatomi untuk hirisan, menggergaji tulang, dan menggerudi tulang.



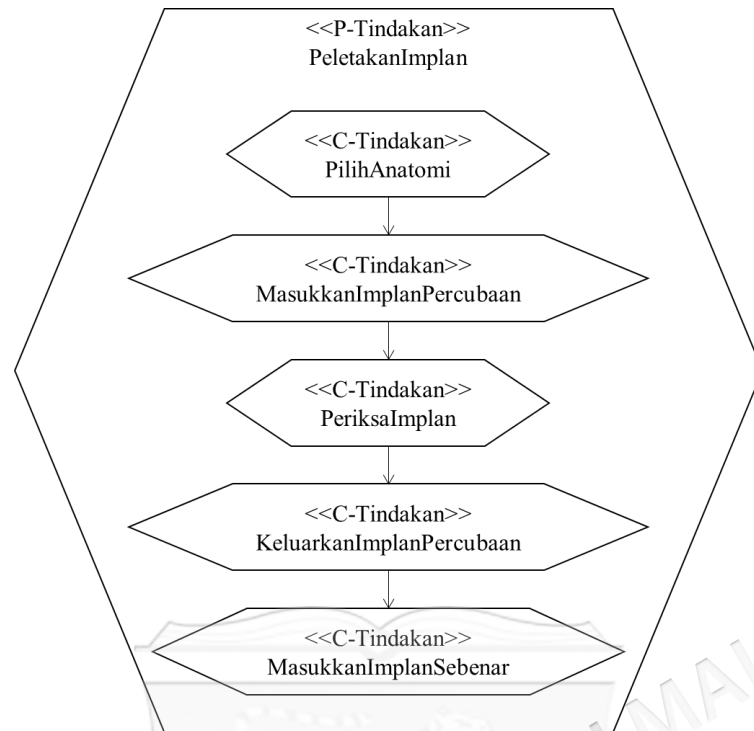
Rajah 4.9 Perdurant pemotongan tulang talar

Setelah kedua-dua tulang tibial dan tulang talus disediakan, penempatan implan boleh dilaksanakan. Berdasarkan terma endurant, dua (2) tulang yang menerima implan, sendi tibiotalar ada diterangkan dalam Rajah 4.10. Sebaliknya, endurant ini juga dikonfigurasi untuk berinteraksi dengan peranan DEMO sebagai sebahagian daripada fungsinya dalam proses menjalankan penempatan implan.



Rajah 4.10 Hubungan hierarki antara kelas yang berkaitan dengan penempatan implan

Rajah 4.11 menunjukkan akaun terperinci P-Tindakan ImplantPlacement, iaitu penglibatan perdurant yang bertanggungjawab untuk proses penempatan implan. Perdurant ini merangkumi aktiviti seperti memilih lokasi anatomi untuk penempatan, melaksanakan penyisipan implan percubaan, memeriksa implan, mengeluarkan implan percubaan, dan akhirnya meletakkan implan sebenar apabila telah yakin sepenuhnya.



Rajah 4.11 Perdurant peletakan implan

Akhir sekali, hubungan keseluruhan konsep dalam OntoAnkle digambarkan dalam Rajah 4.12.

4.2.3 Menilai VR Ankle

Menilai program TAR VRT adalah penting dalam menentukan keberkesanan dan kebolehgunaan alat VR dalam pengajaran pembedahan TAR. Penilaian ini dapat membantu mengenal pasti mana-mana bidang bagi penambahbaikan dan memastikan program ini mencapai objektif pembelajaran seperti yang dihasratkan. VR Ankle yang merupakan salah satu alat VR dalam domain latihan pembedahan, berpotensi merevolusikan bagaimana pakar bedah dilatih dengan menyediakan persekitaran pembelajaran yang selamat dan realistik (Mazli et al. 2019). Sehubungan dengan itu, VR Ankle dapat memberikan manfaat dalam bidang pembedahan ortopedik bagi melatih pakar bedah dalam prosedur yang kompleks seperti pembedahan keseluruhan buku lali. Selain itu, menilai program juga boleh membantu untuk menentukan kesan alat ini khususnya kepada latihan pembedahan buku lali (Akdere et. al. 2021).

Kegagalan menilai program VR Ankle boleh menyebabkan pakar bedah yang dilatih menggunakan alat yang tidak berkesan atau tidak berguna. Situasi ini mengakibatkan kurangnya kemajuan dalam pembangunan alat latihan VR untuk pakar bedah, dan juga boleh menyebabkan pakar bedah tidak mendapat latihan yang wajar dalam melakukan pembedahan keseluruhan buku lali. Selain itu, tidak menilai program juga boleh mengakibatkan tertutupnya peluang bagi penambahbaikan, yang akhirnya boleh menyebabkan alat menjadi kurang berkesan dalam mencapai objektif pembelajaran seperti yang diharapkan (Akdere et. al., 2021).

Sejajar dengan kemajuan dunia perubatan global, penerimaan teknologi realiti maya sebagai salah satu kaedah latihan pembedahan sudah mula mendapat sambutan (Francis et al. 2020). Jesteru itu, satu pasukan pakar yang terdiri daripada pakar pembedahan ortopedik dan pakar teknologi maklumat di Universiti Kebangsaan Malaysia telah memutuskan untuk merangka satu aplikasi canggih dalam bidang latihan pembedahan penggantian buku lali melalui realiti maya. Prototaip yang dinamakan VRAnkle ini telah dicipta dengan matlamat memastikan latihan yang berkesan dan selamat bagi para doktor pelatih dan pesakit.

VRAnkle ini telah dicipta dengan menggunakan perkakas dan perisian daripada Virtualis (<https://www.virtualis.com/>), sebuah pemaju dalam bidang penciptaan aplikasi

realiti maya. Perkakas dan perisian Vrtalis yang digunakan dikenali sebagai Visionary Render. Ia merupakan sebuah perisian yang membolehkan penciptaan sebuah alam realiti maya yang realistik dalam skala 1:1. Reka bentuk yang sempurna ini dapat memberi pengalaman yang mendalam serta berinteraktif supaya pelatih pembedahan buku lali dapat bermanfaat daripada latihan realiti maya tersebut.

Persekitaran VRAnkle direka bentuk sepenuhnya supaya menyerupai persekitaran wad ortopedik di hospital. Persekitaran ini boleh diubah suai untuk mengikut reka bentuk persekitaran yang biasa untuk pengguna lain, sekiranya perlu. Dalam dunia VRAnkle, persekitaran yang biasa dilihat penting untuk memudahkan pengguna untuk menumpukan kepada tugas yang perlu dijalankan. Ini kerana, persekitaran yang terlalu menonjol akan mengalih perhatian pengguna. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.13, apabila pengguna memasuki bilik latihan, pengguna akan disambut dengan landskap digital yang menakjubkan, memberikan perasaan seolah-olah mereka berada di dunia nyata. Selain itu, suasana yang mengasyikkan ini juga memastikan bahawa latihan yang disampaikan tidak hanya efektif tetapi juga menyeronokkan.



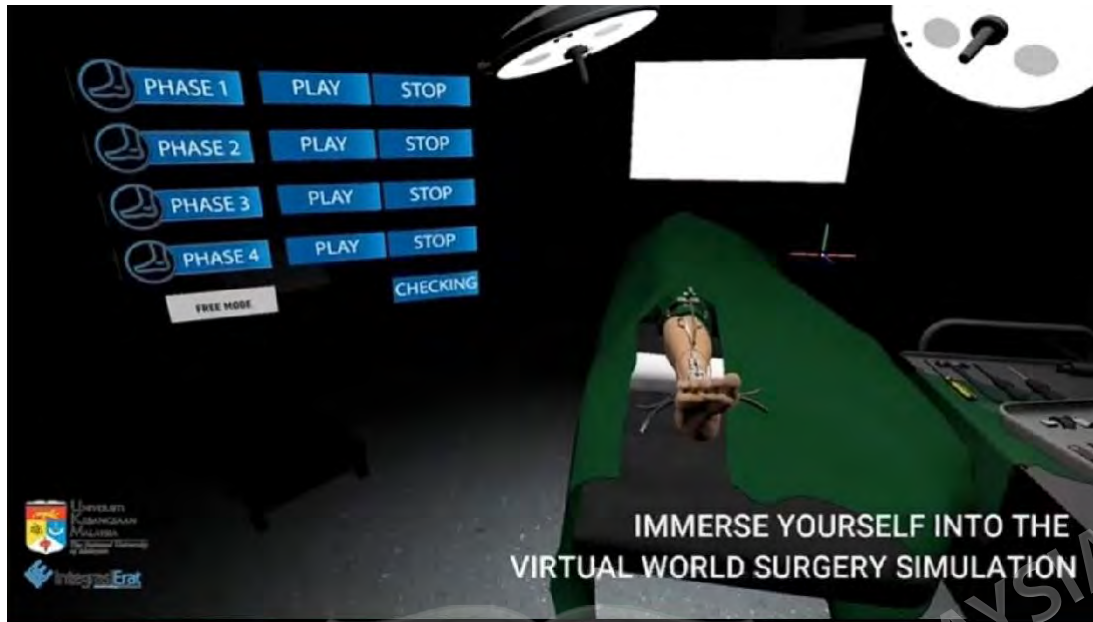
Rajah 4.13 Persekitaran menyerupai wad ortopedik UKM

Selain daripada persekitaran di pintu hadapan wad, VRAnkle juga disertakan dengan persekitaran bilik persediaan pembedahan (Rajah 4.14). Di ruangan ini, tugas-tugas pra pembedahan akan dijalankan termasuk persediaan pesakit oleh pasukan bius. Ruangan ini juga boleh digunakan untuk tujuan penyampaian kandungan kursus anatomi asas dimana tiada sebarang prosedur pembedahan perlu dilakukan. Diruangan ini, kandungan kursus anatomi asas bukan sahaja boleh disampaikan kepada doktor pelatih ortopedik, malah turut boleh digunakan untuk tujuan pengajaran pelajar perubatan.



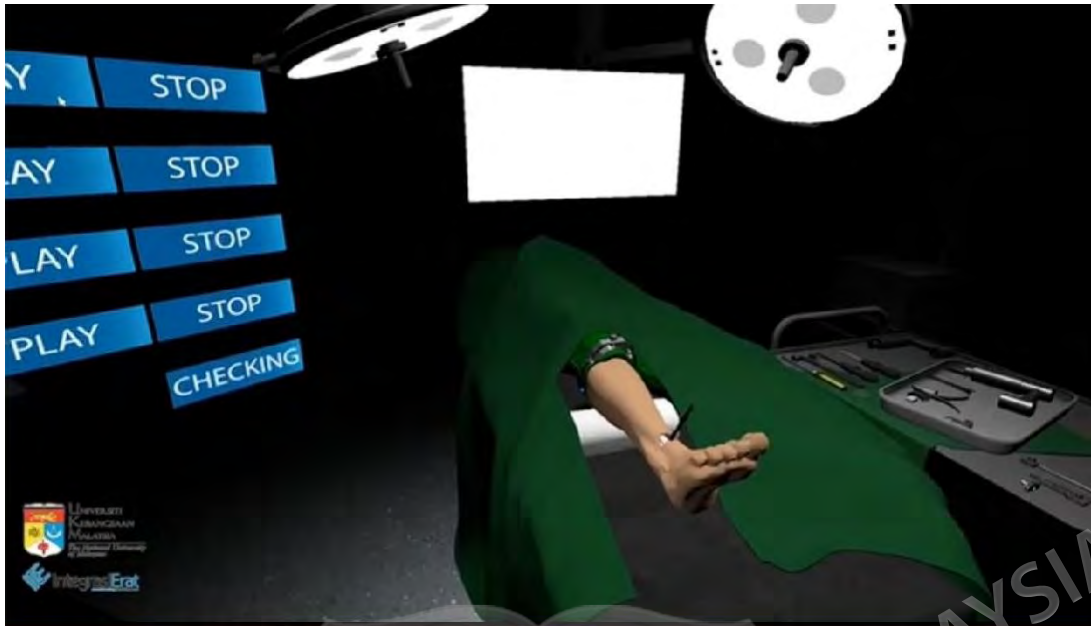
Rajah 4.14 Ruangan persediaan pra pembedahan

Apabila suasana bilik pembedahan dicapai, perkara pertama yang boleh dilihat oleh pengguna ialah ruangan menu utama. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.15, ruangan menu utama ini memberi gambaran keseluruhan protokol yang jelas dan ringkas. Ini termasuk langkah-langkah utama yang perlu dilakukan dalam pembedahan penggantian buku lali, serta matlamat yang perlu dicapai dalam sesi latihan tersebut. Melalui ruangan menu utama ini juga, pelatih atau pengajar boleh memilih untuk memulakan latihan dari mana-mana peringkat pembedahan, ataupun mengulang mana-mana prosedur mengikut kesesuaian latihan.



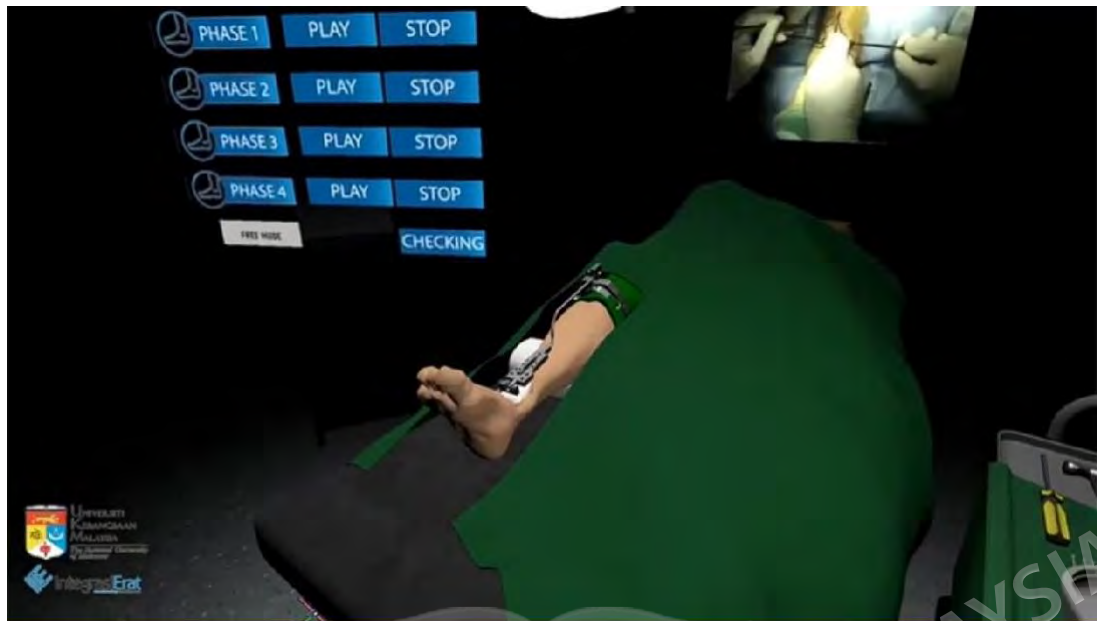
Rajah 4.15 Menu utama VRAnkle

Sebagai contoh seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.16, apabila pengguna memasuki bahagian latihan untuk membuat hirisan kulit, pengguna boleh berinteraksi dengan model kaki untuk membuat hirisan kulit. Ini membolehkan pengguna untuk memahami anatomi pesakit dengan lebih baik, sekaligus mempersiapkan mereka untuk langkah seterusnya dalam prosedur pembedahan. Setelah selesai langkah ini, pengajar boleh menentukan sama ada pelatih memerlukan ulangan dalam langkah ini atau boleh meneruskan ke langkah seterusnya.



Rajah 4.16 Langkah hirisan kulit

Langkah seterusnya adalah peletakan blok pemotongan tibia, di mana pengguna akan dapat melaksanakan amali langkah ini dalam situasi yang terkawal (Rajah 4.17). Penggunaan teknologi VR membolehkan pengguna untuk melihat setiap perincian dengan teliti, memastikan bahawa pengguna memahami sepenuhnya proses tersebut sebelum melangkah lebih jauh. Ini diikuti dengan peletakan perenggang (Rajah 4.18) dimana pengguna akan diberi peluang untuk melatih kemahiran pengguna dalam menempatkan instrumen ini dengan betul. Melalui visual yang jelas dan interaksi langsung, pengguna akan dapat menguasai teknik ini dengan lebih baik.



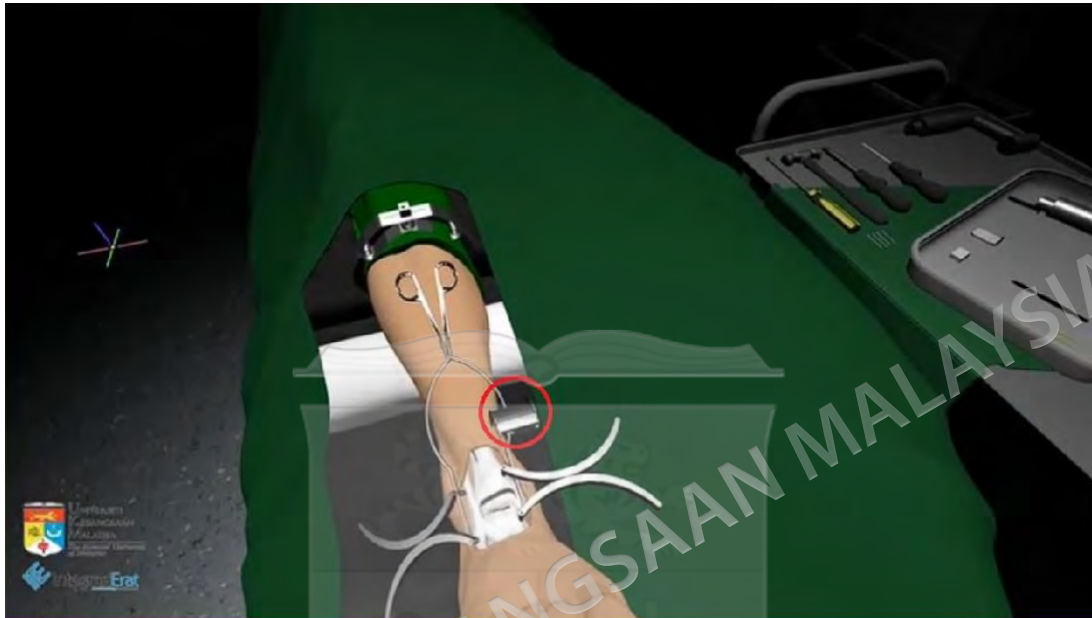
Rajah 4.17 Langkah peletakan blok pemotong tibia



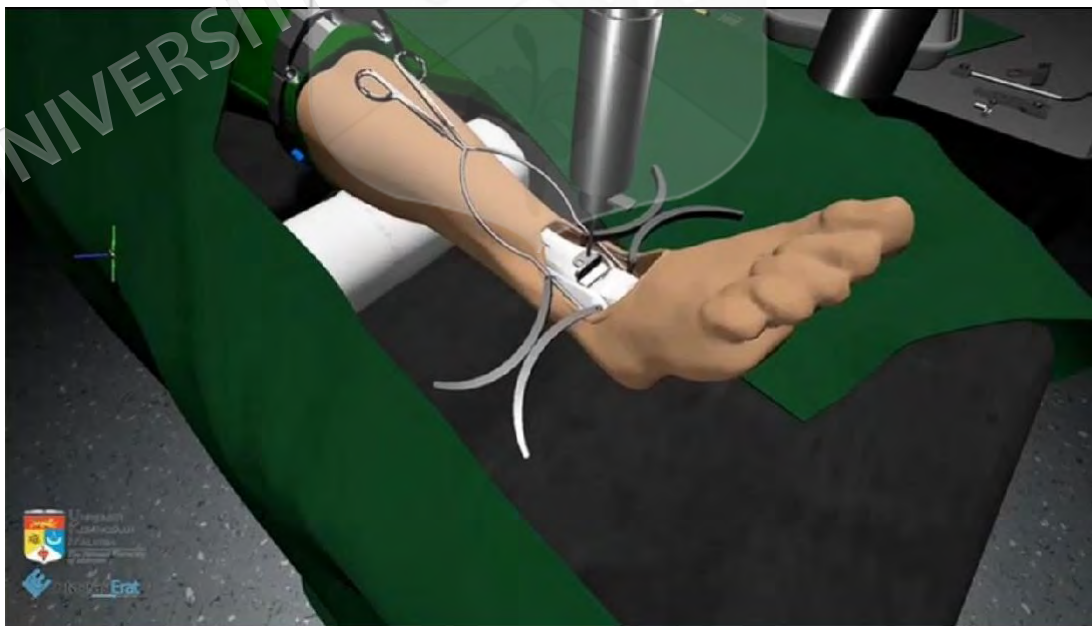
Rajah 4.18 Langkah peletakan perenggang

Setelah selesai anatomi buku lali didedahkan, langkah osteotomi atau persediaan tulang boleh dijalankan dengan gerudi tulang. Pengguna akan belajar untuk menggunakan alat yang betul dan melakukan gerakan yang diperlukan dengan tepat. Dalam persekitaran VR, pengguna akan diberikan peluang untuk berlatih gerakan ini berulang kali sehingga pengguna merasa selesa dan yakin dengan kemahiran pengguna. Akhirnya, pengguna akan diajar tentang peletakan implan (Rajah 4.19), di mana

pengguna akan belajar untuk meletakkan implan dengan tepat dalam buku lali pesakit sebelum implan tersebut diskrukan ke tulang (Rajah 4.20). Melalui panduan visual dan arahan langkah demi langkah, pengguna akan dapat menyelesaikan prosedur ini dengan penuh keyakinan.



Rajah 4.19 Langkah peletakan implan



Rajah 4.20 Langkah mengskrukan implan ke tulang

Dengan menggabungkan visual yang realistik, interaksi yang teliti, dan arahan yang berstruktur dengan baik, VRAnkle menyediakan satu pengalaman latihan pembedahan yang holistik dan berkesan. Dengan latihan yang berulang dalam persekitaran yang terkawal, para profesional perubatan dapat meningkatkan kemahiran mereka dalam pembedahan penggantian buku lali dengan cara yang selamat dan berkesan.

4.3 PENILAIAN PEMBEDAHAN VR ANKLE TANPA INSTRUMEN PENILAIAN TERBITAN ONTOANKLE

4.3.1 Pengenalan

Sejak beberapa tahun kebelakangan ini, program latihan pembedahan VR mula menempa nama dalam bidang perubatan. Latihan pembedahan VR secara amnya dianggap memberikan pengalaman pembelajaran yang hebat kepada pengguna kerana ia membolehkan pelajar menggunakan kesemua pancaindera mereka dalam pembelajaran secara aktif (Mao et al., 2021). Schubungan itu, aspek pembelajaran VR yang dinamik ini dapat meningkatkan fungsi kognitif pelajar dan membantu dalam proses hafalan, baik dari segi domain dan juga pengetahuan teknikal (Atli et al., 2021). Penggunaan VRT terutama dalam domain ortopedik adalah terhad dan masih di peringkat awal, menyebabkan kurangnya penilaian yang boleh dipercayai terhadap keberkesanannya. Untuk memberikan gambaran penilaian VR Ankle tanpa ontologi, kajian ini membentangkan hasil penilaian VR Ankle menggunakan instrumen penilaian yang dibangunkan yang mengukur tahap penerimaan dan maklum balas mengenai penggunaan VR Ankle dalam pengajaran anatomi.

4.3.2 Kaedah

Sebanyak 107 set borang soal selidik telah diedarkan kepada 100 orang pelajar perubatan dan tujuh (7) orang pakar bedah ortopedik Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia yang telah dijemput untuk merasai pembelajaran secara praktikal bagi menggunakan sistem maya yang dibangunkan, iaitu VR Ankle. Mereka diminta menilai aspek teknikal sistem dan menerangkan pengalaman mereka berhubung dengan kepraktisan sistem dalam amalan klinikal mereka.

Selain daripada menawarkan simulasi keseluruhan pembedahan TAR, VR Ankle juga boleh digunakan untuk mengajar anatomi asas buku lali untuk pelajar perubatan di peringkat sarjana muda. Untuk itu, soal selidik terdiri daripada lima (5) domain iaitu Pandangan Umum, Sumbangan Pelajar, Persekitaran dan Kaedah Pengajaran, Kualiti Penyampaian dan Penilaian (Jadual 4.6), telah digunakan.

Jadual 4.6 Soal-an untuk pelajar perubatan bagi mendapatkan maklum balas tentang kandungan kursus.

Domain	Item
Pandangan Umum	Objektif adalah jelas Beban kerja boleh dikendalikan Tersusun dengan baik
Sumbangan Pelajar	Mengambil bahagian secara aktif Pelajar ada kemajuan
Persekitaran dan Kaedah Pengajaran	Di struktur dengan baik Menggalakkan penyertaan Persekitaran yang kondusif
Kualiti Penyampaian	Kelas yang memuaskan Merangsang minat Kelajuan kursus adalah bersesuaian Idea dan konsep dibentangkan dengan jelas Kaedah penilaian munasabah Penilaian maklum balas adalah tepat pada masanya Penilaian maklum balas adalah membantu

Kepuasan pelajar perubatan berkenaan 15 item yang mewakili kesemua domain kebolehgunaan diukur menggunakan skala Likert 5 mata, iaitu samada Sangat tidak memuaskan = 1; Tidak memuaskan = 2; Neutral = 3; Memuaskan = 4; atau Sangat memuaskan = 5. Peratus kepuasan diantara semua pelajar untuk setiap item akan dijumlahkan sebagai petunjuk kepuasan bagi setiap item. Kemudian, peratus kepuasan setiap item akan dijumlahkan untuk mendapatkan kepuasan keseluruhan untuk VR Ankle.

Manakala untuk pakar bedah ortopedik, mereka diminta untuk menilai aspek teknikal pembedahan TAR yang terkandung dalam VR Ankle. Secara umumnya, domain-domain yang terlibat dalam soal selidik yang diberi kepada pakar bedah ortopedik termasuk, Tahap Keinovatifan, Ketepatan Kandungan, Ketepatan Konstruk, Tahap Kemesraan Pengguna, Kebolehgunaan, Potensi Pengkomersialan, dan Tarikan (Jadual 4.7).

Jadual 4.7 Soalan maklum balas untuk pakar bedah ortopedik mengenai modul VR

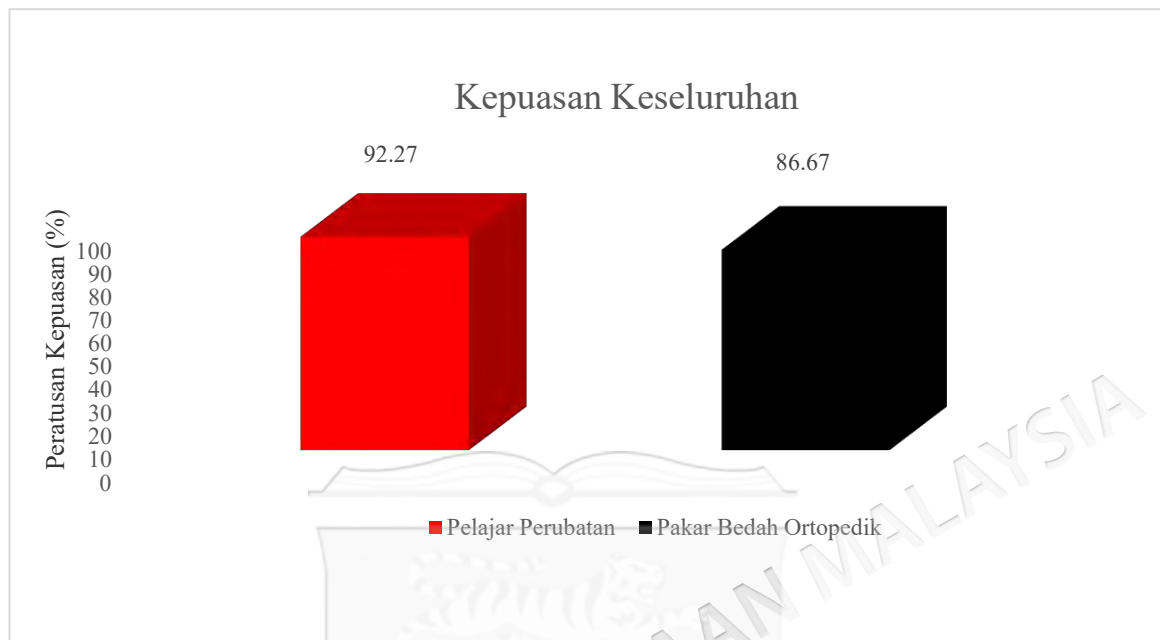
Domain	Item
Inovatif	Kreativiti dalam membangunkan modul VR
Ketepatan Kandungan	Seberapa tepat kandungan yang dihantar melalui modul VR
Ketepatan Konstruk	Realisme: Bagaimanakah rupa modul VR Sejauh mana benarnya teknik pembedahan yang digunakan dalam VR Sejauh mana benarnya penggunaan instrumen dalam modul VR
Mesra Pengguna	Adakah modul mudah digunakan dan dilayari
Kebolehgunaan	Adakah modul tersebut dapat digunakan secara meluas untuk pelbagai peringkat latihan dalam kepakaran
Potensi Pengkomersialan	Adakah modul mempunyai potensi pengkomersialan yang kukuh
Tarikan	Adakah modul VR kelihatan menarik sebagai modul <u>pengajaran-pembelajaran</u>

Sama seperti pelajar sarjana muda perubatan, kepuasan pakar bedah ortopedik berkenaan 9 item yang mewakili kesemua domain kebolehgunaan juga diukur menggunakan skala Likert 5 mata, iaitu samada Sangat tidak memuaskan = 1; Tidak memuaskan = 2; Neutral = 3; Memuaskan = 4; atau Sangat memuaskan = 5. Peratus kepuasan diantara semua pakar bedah ortopedik untuk setiap item akan dijumlahkan sebagai petunjuk kepuasan bagi setiap item. Kemudian, peratus kepuasan setiap item akan dijumlahkan untuk mendapatkan kepuasan keseluruhan untuk VR Ankle.

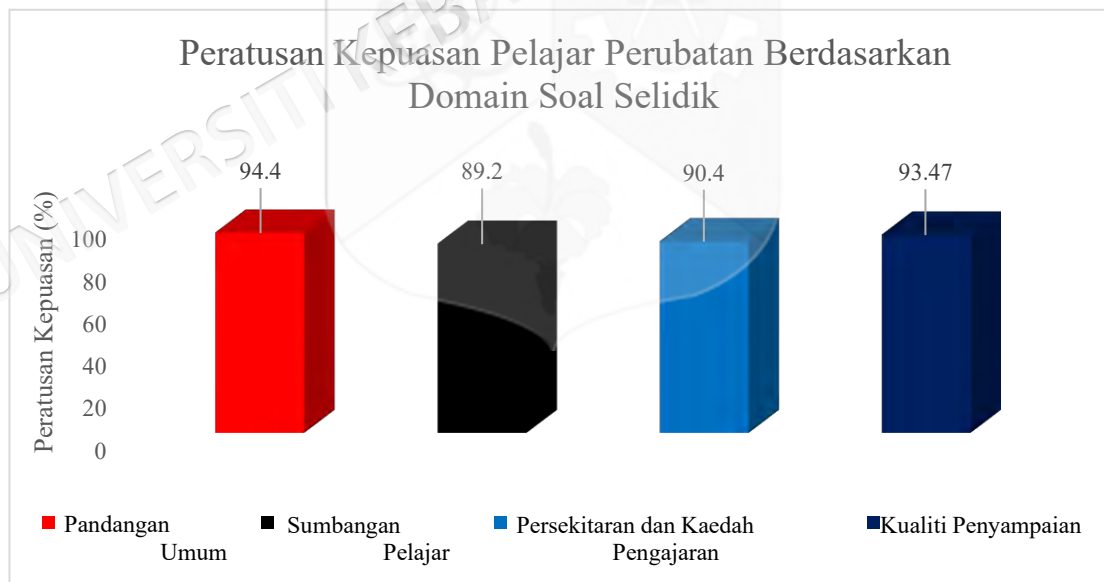
4.3.3 Keputusan

Berdasarkan Rajah 4.13, peratusan keseluruhan kepuasan pelajar perubatan dan pakar bedah ortopedik masing-masing menunjukkan 92.27% dan 86.67% kepuasan terhadap kandungan VR Ankle. Oleh itu, boleh dikatakan kedua-dua kumpulan berpuas hati, dan maklum balas positif telah diperolehi berkenaan kandungan kursus. Dalam soal selidik pelajar perubatan, peratusan kepuasan tertinggi dicapai dalam domain tanggapan umum dengan 94.4% diikuti oleh kualiti penyampaian (93.47%), persekitaran dan kaedah pengajaran (90.4%) dan sumbangan pelajar (89.2%) yang diilustrasikan dalam Rajah 4.14. Mengikut perspektif pakar bedah ortopedik, modul VR mencapai peratusan tertinggi bagi kepuasan dalam inovasi (96.67%) dan menarik (96.67%) diikuti oleh potensi pengkomersialan (93.33%), ketepatan kandungan (86.67%), kebolehgunaan (86.67%), ketepatan pembinaan (82.22%), dan kemesraan pengguna (73.33%).

Kesimpulannya, kajian ini mencapai maklum balas yang sangat memuaskan yang diberikan oleh pelajar perubatan dan pakar bedah ortopedik.



Rajah 4.21 Peratusan kepuasan untuk keseluruhan pelajar perubatan dan pakar bedah ortopedik berkenaan kandungan kursus



Rajah 4.22 Peratusan kepuasan pelajar perubatan berdasarkan domain soal selidik



Rajah 4.23 Peratusan kepuasan pakar bedah ortopedik

4.3.4 Kesimpulan

Penilaian VR Ankle menggunakan soal selidik konvensional dilakukan untuk mengetengahkan keterbatasannya yang boleh menggugat keberkesanan sesuatu artifak VR. Walaupun keputusan mengenai VRAnkle menunjukkan hasil yang positif, ia mungkin menjadi satu indikator yang salah terhadap keberkesanannya. Salah satu isu utama adalah kurangnya model rujukan konsisten yang boleh digunakan untuk menilai VRAnkle. Akibatnya, proses penilaian kelihatan seperti tidak ada perancangan dan mungkin terdedah kepada ketidaktekanan. Pembatasan ini harus diakui dan ditangani dalam penilaian masa hadapan dalam memastikan prestasi penilaian VRAnkle yang lebih bersepadu (*comprehensive*) dan tepat. Sehubungan dengan itu, pemahaman kajian ini yang berkaitan dengan keupayaan dan kelemahan teknologi ini akan dapat dipertingkatkan lagi, sejajar dengan kepentingannya dalam pembangunan dan penggunaannya di masa hadapan.

4.4 PENILAIAN PEMBEDAHAN VR ANKLE DENGAN INSTRUMEN PENILAIAN TERBITAN ONTOANKLE

Kekurangan model rujukan yang konsisten untuk digunakan sebagai penilaian VRAnkle telah menjadi satu halangan bagi menilai keberkesanan VRAnkle. Oleh itu, bagi merapatkan jurang ini, satu model rujukan baharu telah dibangunkan daripada ontologi OntoAnkle. VRAnkle yang berfungsi sebagai alat VR, telah membolehkan pakar bedah mensimulasikan dan merancang pembedahan buku lali dalam persekitaran maya, menggunakan anatomi khusus pesakit dan simulasi realistik prosedur pembedahan (Mazli et al. 2019, 2017). Ekoran daripada ini, pakar bedah lebih cenderung memahami keadaan pesakit, merancang pembedahan dengan lebih tepat, dan melakukan pembedahan dengan lebih jitu serta mengurangkan kadar komplikasi yang mungkin berlaku. Selain itu, alat ini juga dapat digunakan bagi melatih pelajar dan pelatih perubatan menggunakan teknik yang betul dalam pembedahan buku lali

OntoAnkle yang bertitik tolak daripada ontologi yang kaya dengan domain dan pengetahuan teknikal mengenai pembedahan ortopedik secara umum, dan pembedahan penggantian keseluruhan buku lali secara khususnya, OntoAnkle juga bertindak memberi panduan dalam penyusunan soalan khusus yang diperlukan bagi menilai keberkesanannya. Apabila strategi atau model rujukan ini telah diwujudkan, ia boleh menyediakan satu rangka kerja standard bagi menilai teknologi yang berkaitan, mewujudkan kriteria prestasi yang jelas, dan memastikan keesahan dan kebolehpercayaan proses penilaian. Oleh hal yang demikian, kaedah penilaian yang diperolehi daripada OntoAnkle dapat membantu mewujudkan kriteria prestasi yang jelas dalam penggunaan teknologi VR oleh doktor yang berlainan dalam bidang terapeutik yang berbeza.

4.4.1 OntoAnkle sebagai Kajian Kes bagi Membina Instrumen Penilaian VR Ankle

Faktor ciri-ciri VR yang dipertimbangkan dalam penilaian OntoAnkle adalah seperti kesesuaian perkakasan, perisian, realisme, faktor kawalan, faktor kebolegunaan seperti persepsi kegunaan dan persepsi kemudahan penggunaan, faktor pelajar seperti faktor intrinsik seperti personaliti dan ciri pelajar, faktor hasil pembelajaran seperti penambahbaikan sebenar dalam bilik pembedahan seperti yang dirasakan oleh jurulatih

dan pelajar, dan faktor pembatasan pula adalah mengenai sebarang perkara yang menjadi penghalang, penekanan berkaitan dengan struktur dan kandungan, serta kemahiran teknikal dan bukan teknikal. Selain itu, dengan menggunakan konsep perdurant dan endurant yang digunakan dalam reka bentuk program VR, soal selidik OntoAnkle juga berpandukan setiap individu atau gabungan konsep ini seperti penggunaan tulang gergaji, mencari lokasi anatomi yang tepat dan memilih instrumen yang betul.

Sehubungan dengan itu, pertama sekali, instrumen penilaian OntoAnkle perlu menilai kesesuaian perkakasan dan peralatan realiti maya yang digunakan dalam program, seperti komputer dan skrin resolusi tinggi, peranti haptik dan stesen pengendali/mentor. Instrumen OntoAnkle juga perlu memastikan bahawa perkakasan VR menyerupai peralatan dan instrumen pembedahan sebenar serta menyediakan input visual, deria dan motor yang realistik. Hal ini adalah penting kerana penyelidikan telah menunjukkan majoriti prestasi yang berjaya oleh pakar bedah yang menggunakan VRT adalah disebabkan oleh perkakasan VR dengan ciri-ciri fungsian yang menyerupai peralatan dan instrumen pembedahan sebenar (Lee, Wong & Fung, 2010).

Langkah kedua, instrumen OntoAnkle perlu menilai kualiti perisian VR yang digunakan dalam program, seperti simulasi persekitaran yang mendalam dan mengasyikkan, terutamanya dalam aspek haptik, teknikal dan grafik persekitaran simulasi. Instrumen harus memastikan bahawa perisian VR mempunyai kecerdasan buatan dan rangkaian bagi membangunkan ciri haptik dan teknikal yang mendalam dan mengasyikkan, manakala komputer berasaskan fizik dan model visualisasi adalah penting untuk mereka bentuk ciri grafik realistik sistem VR. Perkara ini adalah penting kerana kejayaan perisian platform VR dikaitkan dengan simulasi persekitaran yang mendalam dan mengasyikkan (Benferdia et al. 2018).

Langkah berikutnya iaitu langkah ketiga, instrumen OntoAnkle perlu menilai realisme persekitaran maya, seperti persamaan anatomi, antara muka visual dan haptik, maklum balas haptik, dan realisme dalam simulasi pergerakan kasar dan halus. OntoAnkle juga perlu menilai realisme model anatomi kaki yang penting dalam proses pembelajaran. Kajian yang dilakukan oleh penyelidik terdahulu telah melaporkan

bahawa kekurangan realisme dalam model anatomi kaki dapat menghalang proses pembelajaran manakala kekurangan realisme dalam input haptik akan mengurangkan pengalaman pengguna (Laporte, Tornetta & Marsh, 2019).

Seterusnya, dalam langkah keempat, instrumen *OntoAnkle* perlu menilai kebolehkawalan program latihan realiti maya, seperti corak pergerakan yang membenarkan antara muka pengguna dan panduan. Ia juga akan menilai pemasangan teknik pembedahan dua (2) tangan dan dua (2) kaki, yang menawarkan kawalan pembedahan dan pergerakan yang lebih baik, serta membantu dalam proses mempelajari kemahiran. Kebolehkawalan VR sedemikian adalah penting kerana ia memudahkan pembelajaran dalam kemahiran oleh para pelatih dan mereka dapat menyempurnakan kemahiran pembedahan yang membantu mengurangkan kesilapan dalam pembedahan sebenar (Clarke 2021).

Persepsi kegunaan merujuk kepada potensi VR dalam mengurangkan kos melalui penyediaan pengalaman pendidikan dan maklum balas yang sangat serba guna, realistik, dan berdaya tinggi dalam pengumpulan pengetahuan serta latihan simulasi. Kemahiran psikomotor halus untuk pembedahan terbuka, pemahaman mengenai hubungan spatial antara struktur anatomi yang berbeza, serta dimensi rotasi dan translasi sistem skeletomuskular, merupakan contoh-contoh pengetahuan ini. Aspek persepsi kegunaan juga merangkumi kebolehpercayaan, kesahan, dan keberkesanan VRT dalam mengukur tahap kemahiran pembedahan yang berbeza (Wedel, Bigne & Zhang, 2020; Benferdia et al. 2018; Lohre et al. 2020).

Selain itu, faktor kebolegunaan juga boleh ditakrifkan sebagai persepsi kemudahan penggunaan program latihan realiti maya, yang perlu dinilai oleh instrumen penilaian yang dicipta. Persepsi kemudahan penggunaan merangkumi penyediaan persekitaran pembelajaran yang selamat dan mampu untuk menawarkan pengajaran lebih daripada satu jenis pembedahan. Dengan simulator VR, para pelatih dapat melatih kemahiran pembedahan mereka dalam persekitaran yang kurang tertekan berbanding dengan dalam bilik pembedahan sebenar di mana kejadian yang tidak dapat diramalkan boleh berlaku. Persekitaran pembelajaran dengan tekanan rendah ini akan membantu dalam proses membina kemahiran, seterusnya membawa kepada hasil latihan yang

lebih baik. Selain itu, kebimbangan para pelatih juga dapat dikurangkan, seterusnya memudahkan proses pembelajaran dan membolehkan pengenalpastian patologi pembedahan yang betul (Buttussi & Chittaro 2018; Benferdia et al. 2018).

Instrumen penilaian yang dihasilkan juga perlu menilai keberkesanan pemindahan kemahiran dari program latihan realiti maya ke pembedahan dunia nyata. Sistem VRT pembedahan yang ideal sepatutnya membolehkan pemindahan kemahiran yang berkesan, mempercepatkan latihan dan pembelajaran pembedahan, memendekkan lengkung pembelajaran (*learning curve*), dan membolehkan latihan berulang kali dijalankan sehingga keyakinan pelatih tercapai (Aïm et al. 2016; Benferdia et al. 2018). Selanjutnya, proses pembelajaran VR sepatutnya menyeronokkan, interaktif, serta membolehkan penilaian dan maklum balas segera dengan objektif yang jelas dalam pemerolehan kemahiran latihan (Benferdia et al. 2018). Ini akan membantu memastikan bahawa program latihan realiti maya adalah berkesan dalam mempersiapkan pelatih untuk prosedur pembedahan dunia nyata dan meningkatkan kemahiran pembedahan mereka.

Instrumen penilaian sepatutnya merangkumi soalan atau ukuran yang menilai tahap pra-pembelajaran yang dimiliki oleh pelatih, sebelum mereka memulakan program latihan realiti maya. Ini akan memberikan pencerahan tentang pengetahuan dan pemahaman mereka mengenai prosedur pembedahan sebelum latihan bermula, dan bagaimana pengetahuan dan pemahaman ini boleh mempengaruhi prestasi mereka semasa latihan VR. Selain itu, instrumen penilaian juga sepatutnya menilai gaya pembelajaran semula jadi mereka, dan juga jenis maklum balas yang mereka terima semasa program latihan realiti maya. Ini akan memberikan pencerahan tentang bagaimana seseorang pelatih belajar dan bagaimana maklum balas yang mereka terima semasa latihan VR dapat mempengaruhi prestasi mereka (Benferdia et al., 2018).

Selain itu, instrumen penilaian sepatutnya turut merangkumi soalan atau ukuran yang menilai peningkatan dalam kemahiran pembedahan yang ditunjukkan oleh pelatih selepas menyelesaikan program latihan realiti maya. Ini boleh merangkumi penilaian peningkatan dalam kecekapan pembedahan, prestasi pembedahan ortopedik, prestasi di bilik pembedahan, prestasi di makmal eksperimen, dan pengetahuan tentang prosedur

pembedahan tertentu. Tambahan lagi, instrumen penilaian juga sepatutnya menilai peningkatan dalam hasil pembedahan untuk pesakit sebagai hasil dari program latihan realiti maya. Ini boleh merangkumi penilaian pengurangan komplikasi, peningkatan keselamatan pesakit, hasil pesakit yang lebih baik, dan penyingkatan masa pembedahan.

Perlu juga diingat, adalah penting untuk instrumen penilaian program latihan realiti maya *OntoAnkle* turut juga mempertimbangkan faktor-faktor pembatasan. Faktor-faktor pembatasan merujuk kepada sebarang faktor yang boleh menjadi penghalang untuk mencapai objektif VRT yang diinginkan. Faktor-faktor ini boleh diklasifikasikan kepada pembatasan dalam struktur dan kandungan, kemahiran teknikal dan bukan teknikal (Clarke, 2021; Benferdia et al., 2018; Carruth 2017; Aïm et al. 2016).

Pembatasan dalam struktur dan kandungan merujuk kepada kelemahan dalam reka bentuk kurikulum VRT itu sendiri, seperti ketiadaan kurikulum latihan menyeluruh yang bersepadu, tidak dapat memastikan jumlah latihan yang diperlukan, perasaan sesat walaupun setelah latihan selesai, kekurangan panduan dan pengawasan, kos tinggi dan ketiadaan peralatan (Carruth 2017; Aïm et al. 2016). Aspek instrumen penilaian ini boleh merangkumi soalan atau ukuran yang menilai struktur keseluruhan dan kandungan program latihan realiti maya, serta sejauh mana ia mempersiapkan pelatih untuk prosedur pembedahan dunia sebenar.

Pembatasan kemahiran teknikal pula melibatkan kelemahan yang boleh memberi impak negatif kepada hasil pembelajaran yang berkaitan dengan domain ortopedik. Contoh-contoh kelemahan ini adalah seperti tahap realisme struktur anatomi yang berlebihan, tahap kerumitan prosedur pembedahan yang berlebihan, dan sistem penilaian yang lemah dalam menilai dan memberi maklum balas yang bersesuaian (Clarke 2021). Oleh itu, instrumen penilaian boleh dilengkapi dengan soalan atau ukuran yang menilai kemahiran teknikal pelatih dan sejauh mana mereka dapat memindahkan kemahiran mereka dari program latihan realiti maya ke prosedur pembedahan dunia sebenar.

Untuk kemahiran bukan teknikal, pembatasan dalam aspek ini melibatkan kelemahan yang berkaitan dengan hasil pembelajaran yang kurang baik yang tidak berkaitan dengan domain ortopedik. Contoh-contoh termasuk seperti kekurangan dalam semakan ralat (error checking), perancangan masa hadapan, kesediaan mental, kecekapan kognitif, kesedaran situasi, pembuatan keputusan, komunikasi, kerja berpasukan, kepimpinan, dan kekurangan maklum balas yang berkesan daripada pengajar (Benferdia et al. 2018; Carruth 2017). Berikutan itu, penambahbaikan dalam aspek instrumen penilaian ini boleh merangkumi soalan atau ukuran yang menilai kemahiran bukan teknikal pelatih dan sejauh mana mereka dapat memindahkan kemahiran mereka dari program latihan realiti maya ke prosedur pembedahan dunia sebenar.

Seperti yang disebutkan sebelum ini, salah satu kelebihan memiliki kaedah penilaian terbitan ontologi adalah keupayaannya untuk dipandu oleh pengetahuan dan konsep yang digunakan dalam reka bentuk program tersebut. Komponen-komponen endurant OntoAnkle boleh digunakan sebagai rujukan untuk mendapatkan soalan-soalan yang relevan yang membolehkan penilaian konsep-konsep umum berkaitan dengan latihan ortopedik, seperti hierarki pemindahan pengetahuan, tahap pengetahuan pelatih pembedahan, dan keberkesanan maklum balas VR oleh pakar bedah. Dipandu oleh konsep-konsep endurant, tahap kecekapan pelatih untuk melakukan pembedahan penggantian keseluruhan buku lali boleh dinilai. Selain itu, pengetahuan baru atau lama pakar bedah, kemahiran dan sikap terhadap pembedahan penggantian buku lali keseluruhan setelah modul latihan VR juga boleh dinilai, terutamanya mengenai faktor-faktor pelajar, dimana modul latihan VR akan dinilai berdasarkan ciri-ciri peribadi mereka, membawa kepada peningkatan latihan praktikal, peningkatan prosedur dan penjagaan pesakit. Secara kolektif, kegunaan VR dalam rehabilitasi dan keseluruhan keberkesananannya dapat dinilai.

Di sisi lain, komponen-komponen perdurant OntoAnkle pula membolehkan penilaian aspek pengetahuan teknikal latihan VR. Isu atau halangan dalam reka bentuk yang mungkin membataskan pemahaman terhadap sebahagian langkah-langkah tertentu dalam pembedahan, dapat dikesan dan dikenal pasti dengan mudah apabila kaedah penilaian yang digunakan merangkumi tahap perincian seperti ini. Ini

terutamanya benar apabila bahagian-bahagian yang berbeza dalam proses pembedahan, mempunyai cabaran unik masing-masing, yang memerlukan penyelesaian unik untuk setiap masalah yang dihadapi. Dalam konteks latihan pembedahan, konsep-konsep perdurant boleh dilihat dalam bentuk pengenalan pastian lokasi anatomi untuk hirisan, pemilihan instrumen dan teknik yang sesuai untuk setiap situasi, dan pelaksanaan teknik seperti peletakan dan penempatan implan.

4.4.2 Aplikasi Instrumen Penilaian Onto Ankle untuk Menilai Pembedahan VR Ankle

Dalam kajian ini, sekumpulan pakar bedah ortopedik kanan dan sekumpulan pelatih akan menggunakan kaedah penilaian OntoAnkle untuk menilai keberkesanan program latihan pembedahan VRAnkle. Program ini direka untuk mengajar para pelatih kemahiran teknikal yang diperlukan untuk menjalankan pembedahan penggantian keseluruhan buku lali, satu prosedur kompleks yang mencabar untuk dipelajari melalui kaedah tradisional. Peserta-peserta kajian akan menggunakan parameter penilaian OntoAnkle untuk menilai program latihan VR dan mengenal pasti apa-apa ruangan yang perlu diperbaiki. Seksyen ini akan memberikan latar belakang terhadap parameter-parameter yang dinilai dan ringkasan penemuan-penemuan penilaian dalam fasa ini, sebelum butiran yang lebih lanjut akan dibentangkan di syeksen-syeksen selanjutnya.

Langkah pertama dalam proses penilaian adalah untuk mentakrif faktor-faktor ciri realiti maya (virtual reality feature factors) dalam program tersebut. Para peserta telah menilai kesesuaian perkakasan, perisian, realisme, dan faktor kawalan dalam sistem realiti maya yang dikaji. Mereka mendapati bahawa perkakasan realiti maya yang digunakan dalam program ini, termasuk komputer dan skrin berkeupayaan tinggi, peranti haptik, dan stesen pengendali/pelatih, adalah berkesan dalam mensimulasikan (simulating) peralatan dan instrumen pembedahan sebenar. Para peserta juga mendapati bahawa perisian realiti maya yang digunakan dalam program ini mempunyai ciri-ciri haptik dan teknikal yang mendalam, serta model komputer dan visualisasi yang berdasarkan fizik, yang membantu mencipta persekitaran grafik yang realistik.

Para peserta juga telah menilai tahap realisme persekitaran maya, termasuk persamaan anatomi, antara muka (interface) visual dan haptik, maklum balas haptik, dan realisme dalam simulasi pergerakan kasar dan halus. Mereka mendapati bahawa

model anatomi kaki yang digunakan dalam program ini sangat realistik dan membantu pelatih untuk lebih memahami tahap kerumitan prosedur tersebut. Selain itu, para peserta juga dapat menilai tahap kawalan program latihan realiti maya dan mendapati bahawa teknik pembedahan 2-tangan dan 2-kaki yang digunakan dalam program ini menawarkan kawalan pembedahan yang lebih baik dan ekonomi gerakan yang lebih luas. Ini membantu pelatih memperbaiki kemahiran pembedahan mereka dan mengurangkan ralat (error) semasa pembedahan sebenar (Laporte, Tornetta & Marsh, 2019).

Selanjutnya, para peserta juga dibimbing untuk menilai faktor-faktor kebolegunaan program, termasuk persepsi kegunaan dan persepsi kemudahan penggunaan. Mereka mendapati bahawa program latihan realiti maya memberikan pengalaman yang sangat serba guna, mendidik, dan realistik dalam pemerolehan pengetahuan serta maklum balas yang dibentuk semasa latihan yang disimulasikan. Para peserta juga mendapati bahawa program ini menyediakan persekitaran pembelajaran yang selamat di mana pelatih dapat melatih kemahiran pembedahan mereka dalam persekitaran yang kurang tekanan jika dibandingkan dengan bilik pembedahan. Selain itu, program ini juga mengurangkan rasa gemuruh pelatih, yang memudahkan proses pembelajaran dan membolehkan pengenalanpastian patologi pembedahan dengan betul (Buttussi & Chittaro 2018; Benferdia et al. 2018).

Para peserta juga telah menilai faktor-faktor kawalan dan pembelajaran aktif dalam program ini, termasuk keupayaan pelatih untuk membuat keputusan mengenai pilihan pembelajaran mereka. Mereka mendapati bahawa program latihan realiti maya membolehkan pemindahan kemahiran yang berkesan, latihan dan pembelajaran pembedahan yang lebih singkat, lengkung pembelajaran (learning curve) yang lebih pendek, dan membenarkan latihan diulang-ulang sehingga keyakinan pelatih tercapai. Proses pembelajaran realiti maya juga didapati oleh mereka sebagai menyeronokkan, interaktif, dan membolehkan penilaian serta maklum balas segera dengan objektif jelas untuk pembentukan kemahiran (Aim et al., 2016; Benferdia et al., 2018).

Para peserta juga dibimbing untuk menilai faktor-faktor pelajar dalam program ini, dimana ciri-ciri semula jadi (innate) pelatih atau melalui latihan (acquired) yang

mempengaruhi niat mereka untuk menggunakan VRT. Mereka mendapati bahawa pelatih yang mudah beradaptasi, dengan motivasi untuk pembelajaran sendiri, dan mempunyai minat semula jadi (*innate interest*) dalam prosedur pembedahan mencapai prestasi yang lebih baik berbanding dengan mereka yang tiada ciri-ciri ini. Tambahan lagi, pelatih yang berbakat, yakin, berdikari, mempunyai pengalaman pembedahan sedia ada, mempunyai pengetahuan dalam penilaian dan maklum balas untuk mengenalpasti kelemahan, serta mengetahui tentang peluang untuk latihan berulang, menunjukkan prestasi pembedahan yang lebih baik berbanding dengan mereka yang tidak mempunyai ciri-ciri ini (Benferdia et al., 2018; Buttussi & Chittaro 2018).

Seterusnya, para peserta juga turut menilai faktor-faktor hasil pembelajaran program, yang dikaitkan dengan tingkah laku dan prestasi pelatih. Mereka mendapati bahawa program latihan VR meningkatkan kecekapan pembedahan, meningkatkan prestasi pembedahan ortopedik, meningkatkan prestasi di bilik pembedahan, meningkatkan prestasi di makmal eksperimen, meningkatkan pengetahuan tentang artroskopi, penempatan glenoid, orientasi pin panduan, pembetulan keretakan dan pemotongan tulang (*osteotomy*). Selain itu, program ini juga telah didapati meningkatkan keselamatan pesakit, hasil pesakit yang lebih baik, mengurangkan masa pembedahan, mengurangkan jumlah tulang yang dipotong dan kehausan implan (Cychosz et al., 2018; Xin et al., 2020; Gibby et al., 2019; Hooper et al. 2019; Andreas et al., 2018; Cho et al. 2018; Cho et al. 2017; Hou et al., 2018; Banaszek et al., 2017; Fallavollita et al. 2016; Fischer et al., 2016; Cannon et al., 2014; Gasco et al., 2014; Pahuta et al. 2012; Pollard et al., 2012; Howells et al., 2008).

Dalam hal faktor-faktor pembatasan, para peserta telah dibimbing untuk mengenal pasti kelemahan dalam reka bentuk kurikulum VRT itu sendiri, seperti ketiadaan kurikulum latihan menyeluruh yang bersepadu, tidak dapat memastikan jumlah latihan yang diperlukan, perasaan sesat walaupun setelah latihan selesai, kekurangan panduan dan pengawasan, kos tinggi dan ketiadaan peralatan (Carruth 2017; Aïm et al. 2016). Selain itu, kelemahan kemahiran teknikal dikenal pasti seperti tahap realisme struktur anatomi yang berlebihan, tahap kerumitan prosedur pembedahan yang berlebihan, dan sistem penilaian yang lemah dalam menilai dan memberi maklum balas yang bersesuaian (Clarke 2021). Manakala, kelemahan

kemahiran bukan teknikal seperti kekurangan dalam semakan ralat (error checking), perancangan masa hadapan, kesediaan mental, kecekapan kognitif, kesedaran situasi, pembuatan keputusan, komunikasi, kerja berpasukan, kepimpinan, dan kekurangan maklum balas yang berkesan daripada pengajar (Benferdia et al. 2018; Carruth 2017).

Akhirnya, soalan-soalan khusus mengenai setiap konsep endurant dan perdurant yang disenaraikan dalam UML program VR telah dimasukkan ke dalam beberapa soalan yang menilai langkah-langkah tertentu dalam pembedahan TAR. Memiliki soalan-soalan yang diambil terus dari konsep-konsep ini berpotensi untuk membolehkan satu model rujukan yang konsisten digunakan dalam menilai pelbagai jenis modul latihan pembedahan. Akibatnya, bukan sahaja masa untuk penyediaan instrumen penilaian untuk aplikasi yang berbeza dapat dijimatkan, tetapi hasil dari proses penilaian juga dijangka boleh menjadi lebih konsisten daripada soal selidik yang disediakan secara ad hoc.

4.4.3 Kaedah

Sebanyak 6 pelatih dan 6 pakar bedah ortopedik kanan (Rajah 4.16) dari Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia yang dijemput untuk menggunakan sistem maya yang dibangunkan (Mazli et al. 2019, 2017) dan mengalami pembelajaran praktikal yang ia sediakan, telah menyelesaikan soal selidik dalam talian melalui platform Google Form. Mereka diminta untuk menilai bahagian perdurant dan endurant dalam pembelajaran maya. Soal selidik yang dijawab oleh mereka juga terdiri daripada tujuh domain lain iaitu ciri-ciri VR, persepsi kegunaan, faktor-faktor pelajar, faktor-faktor hasil pembelajaran, dan faktor-faktor pembatasan. Secara keseluruhan, instrumen penilaian ini terdiri daripada 45 kenyataan (Jadual 4.8).

Pada peringkat kajian ini, tahap persetujuan pakar ortopedik berkenaan 45 kenyataan yang mewakili kesemua domain kebolehgunaan diukur menggunakan skala Likert 5 mata. Skala ini merangkumi Sangat tidak bersetuju = 1; Tidak setuju = 2; Neutral = 3; Setuju = 4; atau Sangat bersetuju = 5. Peratus persetujuan diantara semua pakar ortopedik mengikut tahap pengalaman mereka, samada pelatih atau pakar, dijumlahkan sebagai petunjuk persetujuan bersama (*consensus*) bagi setiap item.

Kemudian, peratus persetujuan setiap item akan dijumlahkan untuk mendapatkan keputusan keberkesanan keseluruhan untuk VR Ankle.





Rajah 4.24 Sesi penilaian dengan pakar bedah baru. Dari atas ke bawah. Sesi taklimat menjelaskan objektif penilaian. Gambar wakil seorang pakar bedah yang

mengalami latihan VR. Sesi maklum balas untuk mengumpul data penilaian.

Jadual 4.8 Pertanyaan-pertanyaan berdasarkan ontologi untuk pelatih dan pakar ortopedik kanan

Domain	Perkara
Faktor-faktor Ciri Realiti Maya	Penggunaan komputer dan skrin beresolusi tinggi yang efektif membantu anda membayangkan anatomi bedah semasa operasi dengan tepat. Peranti haptik (bimbit) yang digunakan secara efektif membantu anda mengembangkan rasa taktil dari alat bedah dan anatomi semasa operasi. Stesen operator/pelatih yang digunakan dengan berkesan meningkatkan pemahaman anda tentang prosedur pembedahan dan pelaksanaannya semasa operasi. Tindak balas haptik (rangsangan rasa, tekanan, getaran, dll.) yang diberikan oleh perisian VR secara berkesan membantu anda mengembangkan rasa sentuhan bagi alat-alat pembedahan dan anatomi. Grafik beresolusi tinggi menggambarkan anatomi sendi buku lali dan tisu-tisu sekitarnya dengan realistik. Objek virtual (tulang, tendon, dan implan) dalam persekitaran VR mensimulasikan tingkah laku fizikal objek nyata. Persekitaran VR membenarkan manipulasi instrumen dan objek virtual (instrumen bedah, implan, dan tulang) yang realistik.
Faktor-faktor Persepsi Kegunaan	Program VR mempunyai potensi untuk mengurangkan kos latihan pembedahan Program VR mempunyai potensi untuk mengurangkan tempoh masa latihan pembedahan Program VR mudah untuk digunakan
Faktor-faktor Pelajar	Kejayaan latihan VR bergantung kepada gaya pembelajaran individu. Kejayaan latihan VR bergantung kepada motivasi individu untuk belajar. Kejayaan latihan VR bergantung kepada minat semula jadi individu terhadap kemahiran pembedahan
Faktor-faktor Hasil Pembelajaran	Saya belajar benda baru berkenaan surgeri yang saya tidak tahu sebelum ini selepas menghadiri program VR Saya rasa lebih yakin untuk melakukan pembedahan selepas menghadiri program VR
Faktor-faktor Pembatasan	Kurikulum latihan yang disediakan oleh program VR cukup bersepadu (<i>comprehensive</i>) untuk mempelajari pembedahan dengan sempurna Jumlah latihan yang diperlukan untuk mencapai kompetensi dalam kemahiran-kemahiran yang diajar oleh program VR adalah jelas Matlamat dan objektif pembelajaran dengan VR program adalah jelas Tahap kerumitan prosedur pembedahan adalah sesuai untuk membolehkan pembelajaran pembedahan yang sempurna Pemarkahan dan penilaian sistem simulator memberikan maklum balas yang berkesan ke atas prestasi dan kelemahan-kelemahan anda Latihan yang diberi melalui program VR menyediakan saya untuk mengenal pasti ralat/kesilapan yang boleh dijangka semasa pembedahan Latihan yang diberi melalui program VR menyediakan saya untuk membuat keputusan muktahir semasa pembedahan
Konsep-konsep Endurant	Pendapat tentang peranan realiti maya dalam menyediakan pemahaman keatas proses keseluruhan TAR Pendapat mengenai pengetahuan pengajar dalam membimbing keseluruhan program realiti maya Pendapat tentang simulasi tugas yang terlibat dalam TAR oleh program realiti maya Pendapat tentang keberkesanan maklum balas VR

bersambung...

...sambungan

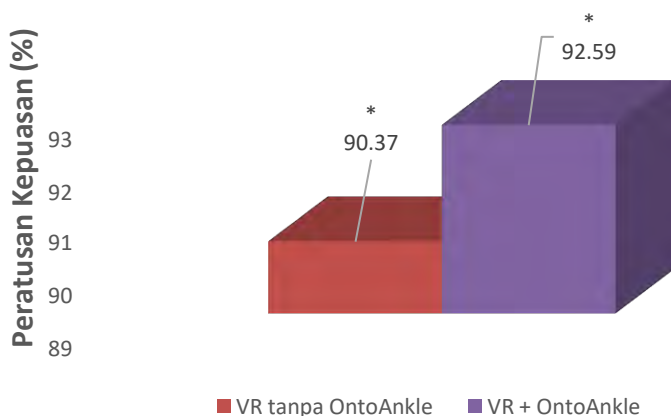
Konsep-konsep Perdurant	Pendapat tentang tahap kompetensi untuk menjalankan TAR selepas program VR
	Pendapat tentang perkembangan kemahiran baru berkaitan TAR
	Pendapat tentang pemerolehan pengetahuan baru berkaitan TAR selepas program VR
	Pendapat tentang sikap terhadap pembelajaran TAR selepas program VR
	Pendapat tentang kesan personaliti individu terhadap pembelajaran TAR
	Pendapat tentang keberkesanan latihan VR untuk menjalankan TAR secara praktikal
	Pendapat tentang pemahaman prosedur pembedahan TAR selepas program VR
	Pendapat tentang keberkesanan latihan VR untuk memahami kepentingan penjagaan pesakit
	Pendapat tentang keberkesanan latihan VR untuk memahami proses rehabilitasi
	Pendapat tentang keberkesanan VR untuk mengajar TAR
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam mengajar pemilihan lokasi anatomi yang betul untuk hirisan
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam mengajar pemilihan peralatan yang betul
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam mengajar peletakan perenggang (<i>retractor</i>) Hohmann di lokasi yang betul
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam mengajar penggantian perenggang Hohmann dengan perenggang tahan sendiri (<i>self-retaining retractor</i>).
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam membantu pelatih dalam menghasilkan jurang untuk peletakan implan dengan memotong tulang
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam membantu pelatih dalam meletakkan implan di lokasi anatomi yang betul
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam membantu pelatih dalam mengeluarkan implan percubaan
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam membantu pelatih dalam proses membetulkan kedudukan implan
	Pendapat tentang keberkesanan program VR dalam membantu pelatih dalam menutup luka dengan jahitan

4.4.4 Keputusan

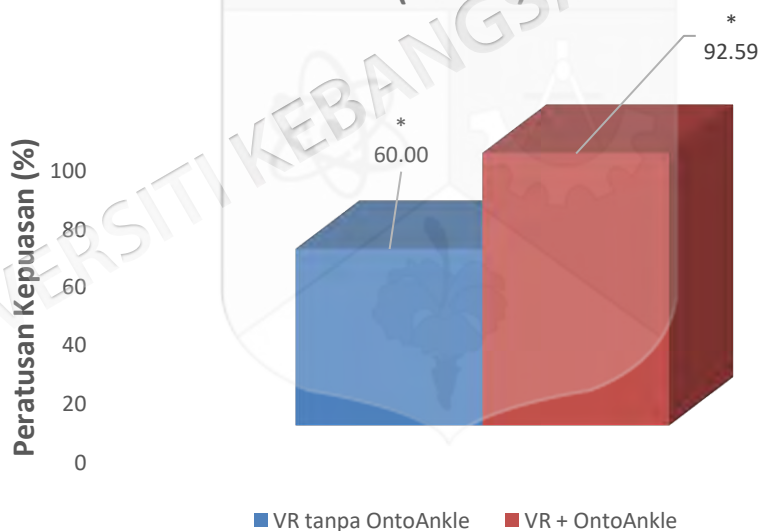
a. Kepuasan Keseluruhan

Berdasarkan Rajah 4.17, peratusan untuk kepuasan keseluruhan adalah 92.59% untuk kedua-dua pelatih dan pakar bedah ortopedik kanan dengan menggunakan VR dengan OntoAnkle. Oleh itu, boleh dikatakan bahawa kedua-dua kumpulan mempunyai tahap kepuasan yang baik, beserta dengan maklum balas yang positif telah diterima berkenaan kandungan kursus berkaitan dengan pembedahan TAR.

Kepuasan Keseluruhan untuk Penilaian Penggantian Buku Lali Keseluruhan dengan OntoAnkle (Pakar Bedah Kanan)



Kepuasan Keseluruhan untuk Penilaian Penggantian Buku Lali Keseluruhan dengan OntoAnkle (Pelatih)



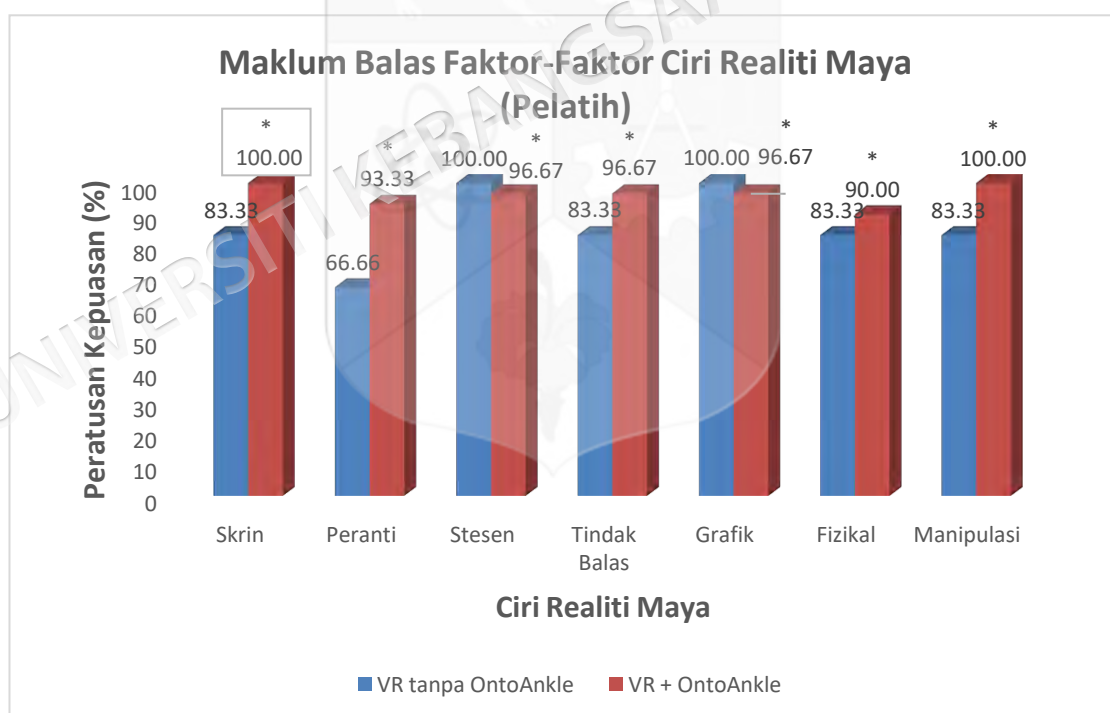
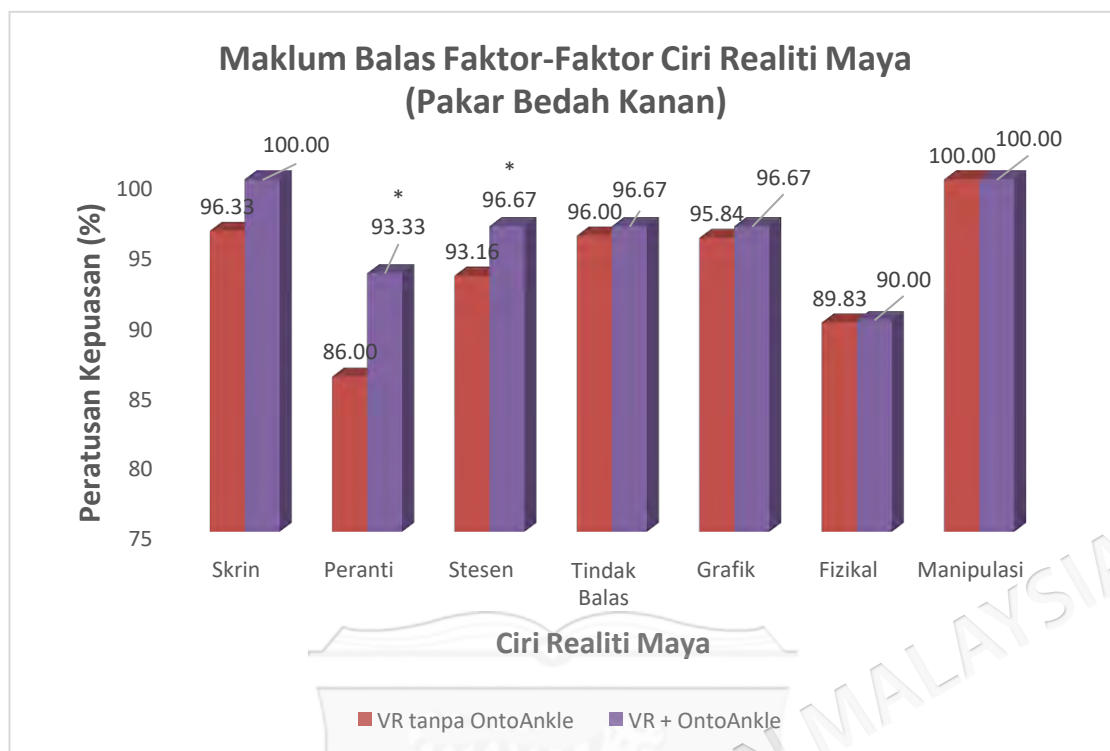
* $p < 0.05$

Rajah 4.25 Peratusan maklum balas kepuasan keseluruhan diantara pakar bedah kanan dan pelatih melalui penilaian dengan OntoAnkle

b. Faktor-faktor Ciri Realiti Maya

Dalam hal penilaian ciri realiti maya dengan menggunakan OntoAnkle, kesepakatan sebulat suara (100%) tercapai ketika ditanya tentang sumbangan skrin beresolusi tinggi dan manipulasi realistik dari instrumen dan objek terhadap keberkesanan program VR. Seterusnya, markah kepuasan yang tinggi diikuti oleh stesen operator/pelatih, tindak balas haptik yang diintegrasikan dalam program VR, dan grafik beresolusi tinggi, di mana 96.67% percaya bahawa ciri-ciri ini membantu keberkesanan program VR. Meskipun peranti haptik memiliki peratusan kepuasan terendah (93.33%) dalam hal keberkesanannya, namun skor ini masih dianggap tinggi. Sebagai kesimpulan, baik pakar bedah kanan mahupun pelatih, semuanya mempunyai kepuasan yang tinggi berkenaan ciri-ciri realiti maya.





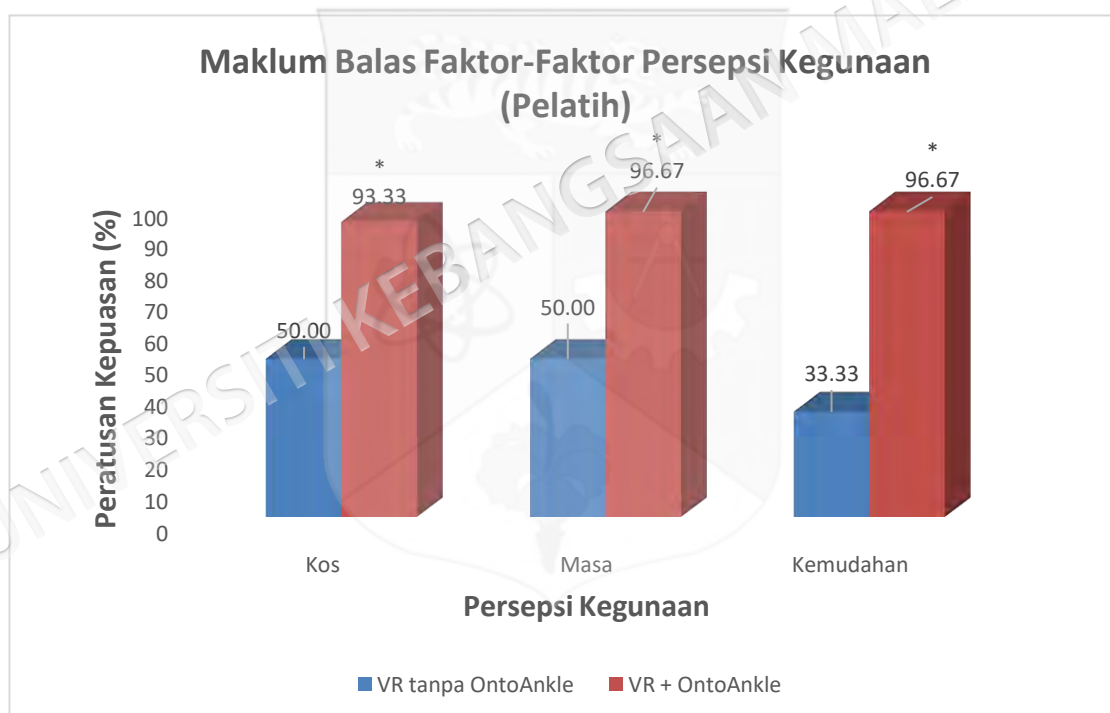
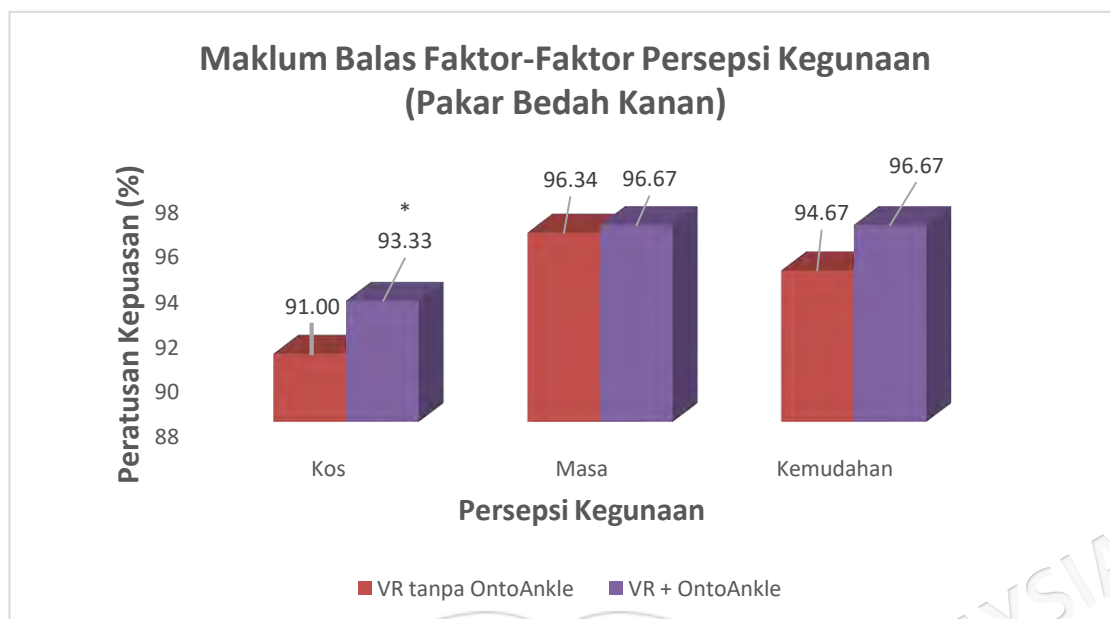
* $p < 0.05$

Rajah 4.26 Peratusan kepuasan terhadap ciri-ciri realiti maya dalam program pembedahan VRAnkle. *Skrin = Komputer dan skrin resolusi tinggi, Peranti = Peranti haptik, Stesen = Stesen operator/pelatih, Tindak Balas = Tindak balas haptik, Grafik = Grafik resolusi tinggi, Fizikal = Simulasi tingkah laku fizikal, Manipulasi = Manipulasi realistik.

c. Faktor-faktor Persepsi Kegunaan

Menerusi penilaian OntoAnkle, persepsi kegunaan daripada program latihan realiti maya telah diukur menggunakan soalan tentang potensi penjimatan kos dan penjimatan masa. Kedua-dua soalan ini menerima respons yang baik dengan kepuasan sebanyak 93.33% dan 96.67% di kalangan pakar bedah kanan dan pelatih. Persepsi kemudahan penggunaan program latihan realiti maya juga menghasilkan maklum balas kepuasan yang tinggi dengan 96.67% kepuasan di kalangan peserta.



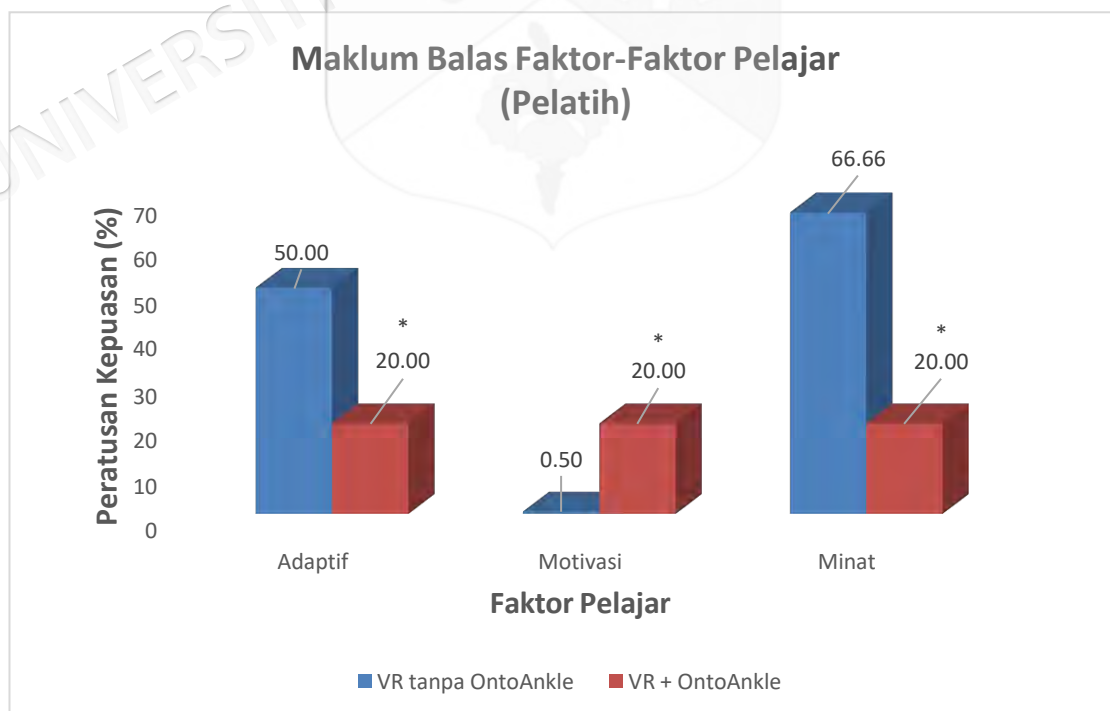
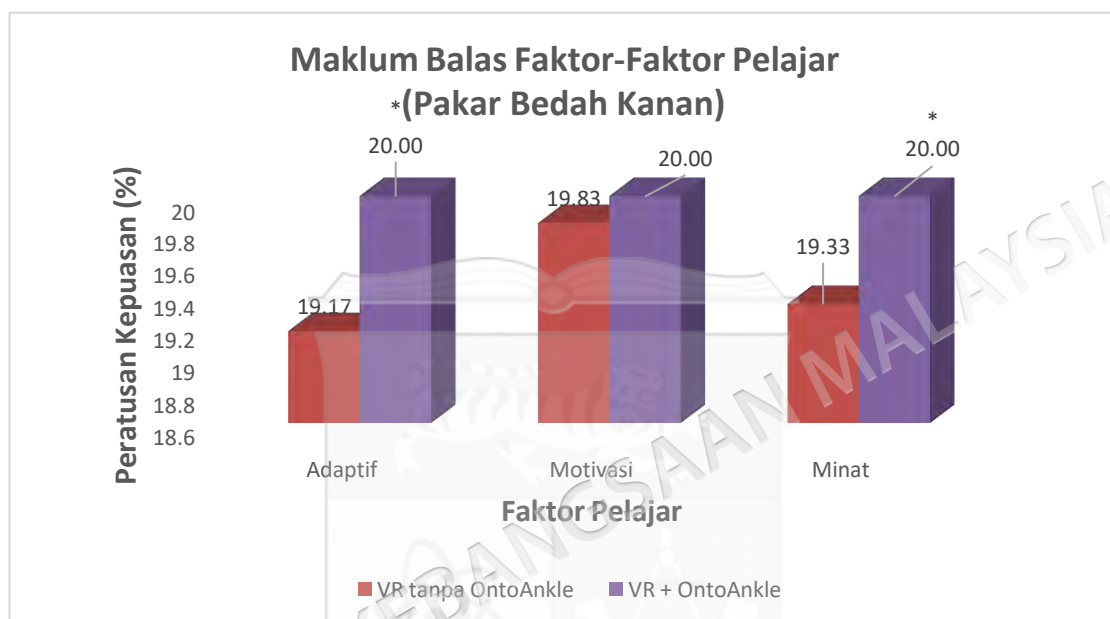


* $p < 0.05$

Rajah 4.27 Peratusan kepuasan terhadap persepsi kegunaan program latihan pembedahan VRAnkle. *Kos = Potensi penjimatan kos, Masa = Potensi penjimatan masa, Kemudahan = Mudah digunakan

d. Faktor-faktor Pelajar

Penilaian OntoAnkle juga mendapati bahawa responden di kalangan pelatih sebulat suara tidak bersetuju (20%) yang gaya pembelajaran adaptif seseorang, motivasi untuk pembelajaran sendiri, dan minat semula jadi terhadap prosedur pembedahan akan mempengaruhi keberkesanan program latihan VR.



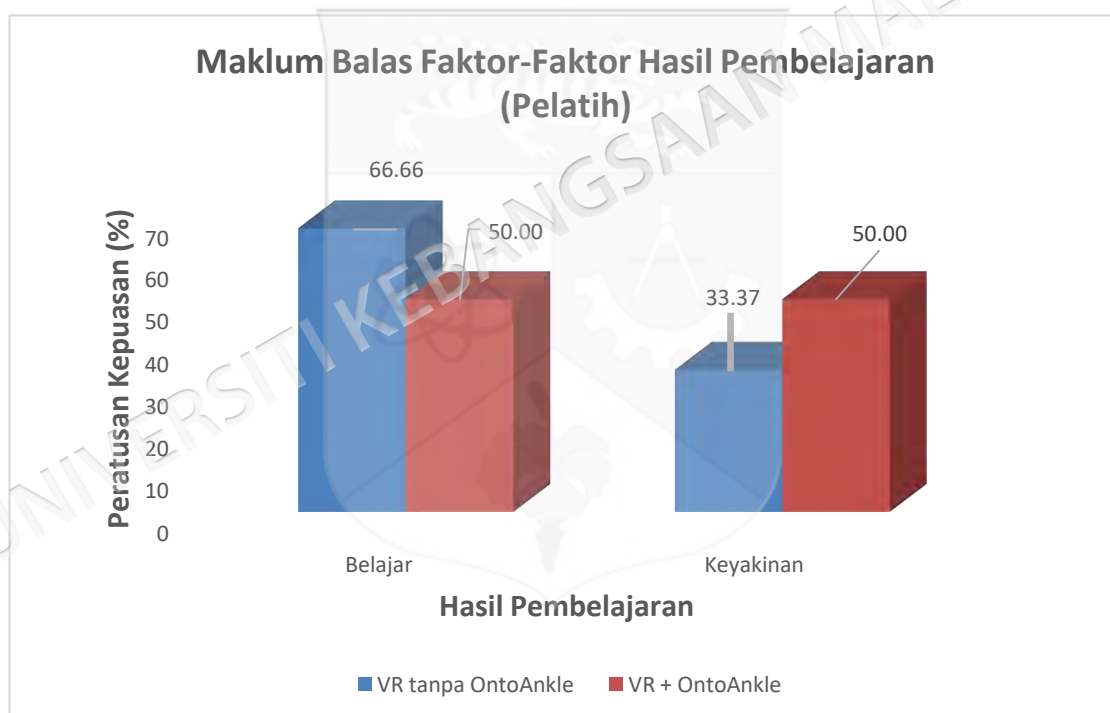
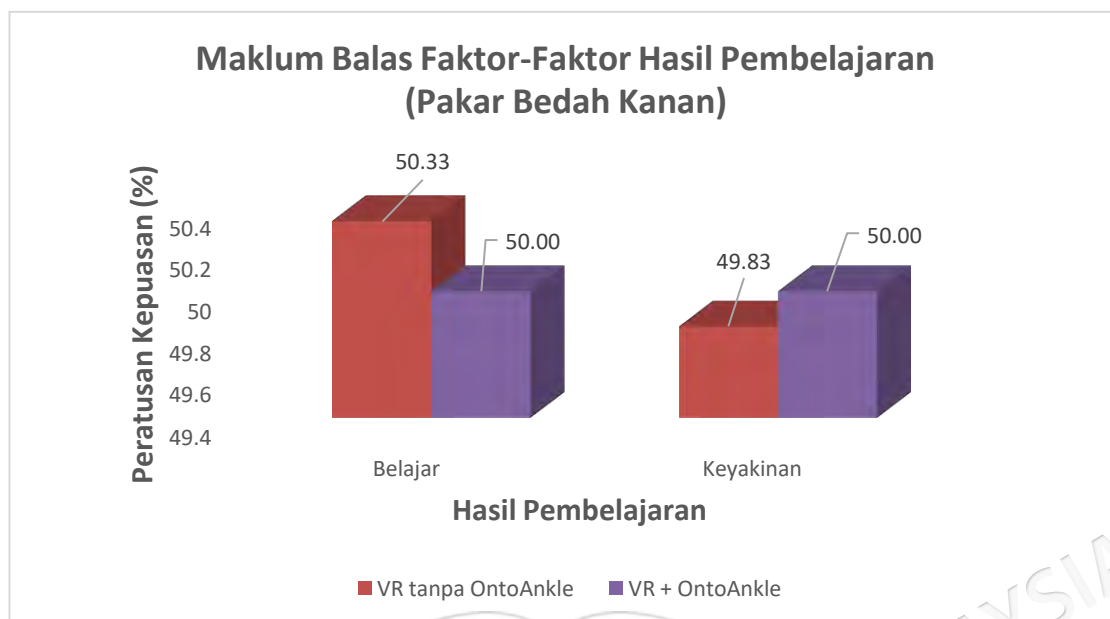
* $p < 0.05$

Rajah 4.28 Peratusan kepuasan terhadap faktor-faktor pelajar yang mempengaruhi hasil program latihan VRAnkle. *Adaptif = Gaya pembelajaran adaptif, Motivasi = Motivasi untuk pembelajaran sendiri, Minat = Minat semula jadi dalam prosedur pembedahan.

e. Faktor-faktor Hasil Pembelajaran

Penilaian OntoAnkle mendapati bahawa para pelatih dan pakar bedah kanan melaporkan kurang menjumpai pengetahuan baru yang sebelum ini mereka tidak tahu. Selain itu, program latihan VR juga meningkatkan keyakinan pelatih dan pakar bedah kanan dalam menjalankan prosedur tersebut.





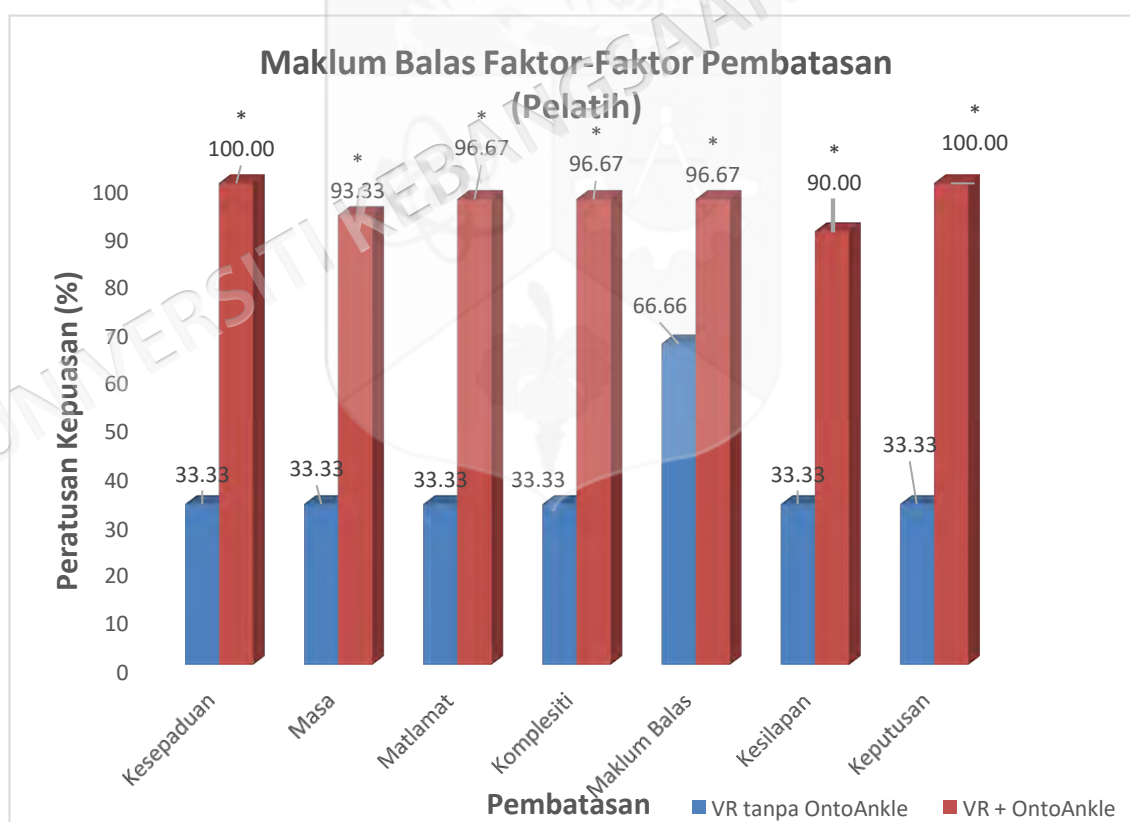
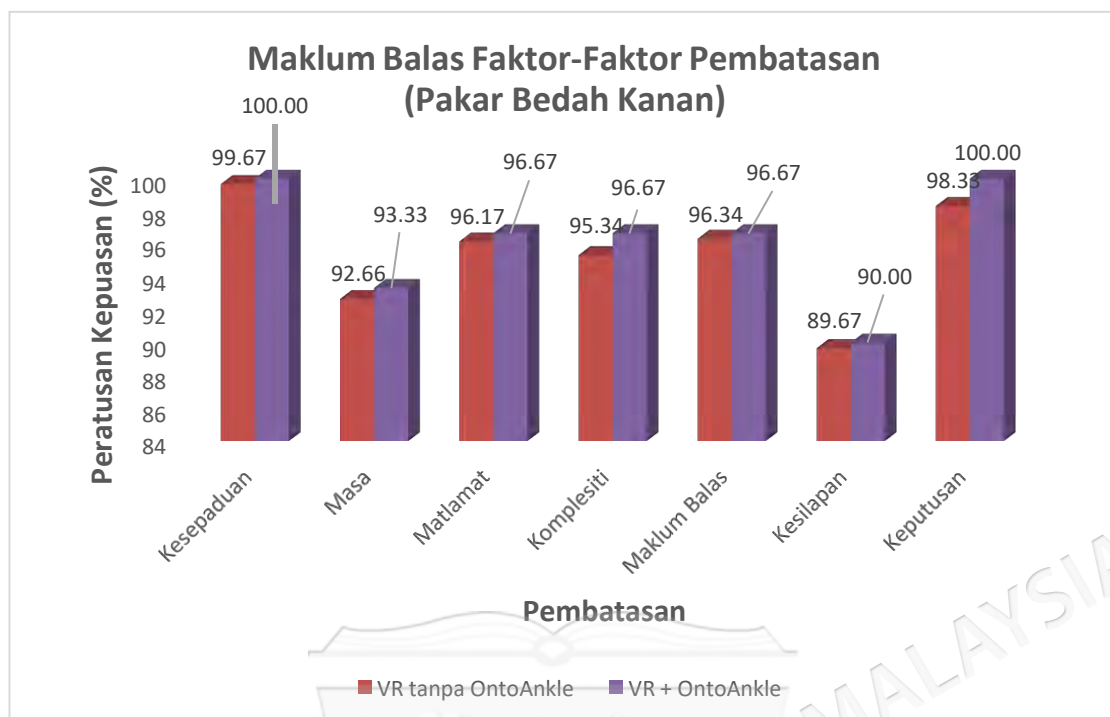
* $p < 0.05$

Rajah 4.29 Peratusan kepuasan terhadap faktor-faktor hasil pembelajaran program latihan VRAnkle. *Belajar = Belajar benda baru, Keyakinan = Rasa lebih yakin.

f. Faktor-faktor Pembatasan

Berkenaan dengan soalan faktor-faktor batasan dalam penilaian program latihan VRAnkle dengan OntoAnkle, kepuasan tertinggi (100%) dicapai dalam tahap kesepaduan (comprehensiveness) program dan kesediaan untuk membuat keputusan dalam persekitaran pembedahan. Kejelasan objektif dan matlamat pembelajaran, kompleksiti latihan yang mencukupi, dan maklum balas penilaian yang berkesan, dinilai sebagai yang kedua tertinggi (96.67%). Ini diikuti dengan jumlah latihan yang mencukupi (93.33%) dan kesediaan untuk mengenali kesilapan semasa pembedahan (90%). Secara keseluruhannya, kebanyakan responden berpuas hati dengan faktor-faktor yang boleh menjadi batasan kepada program latihan VR.





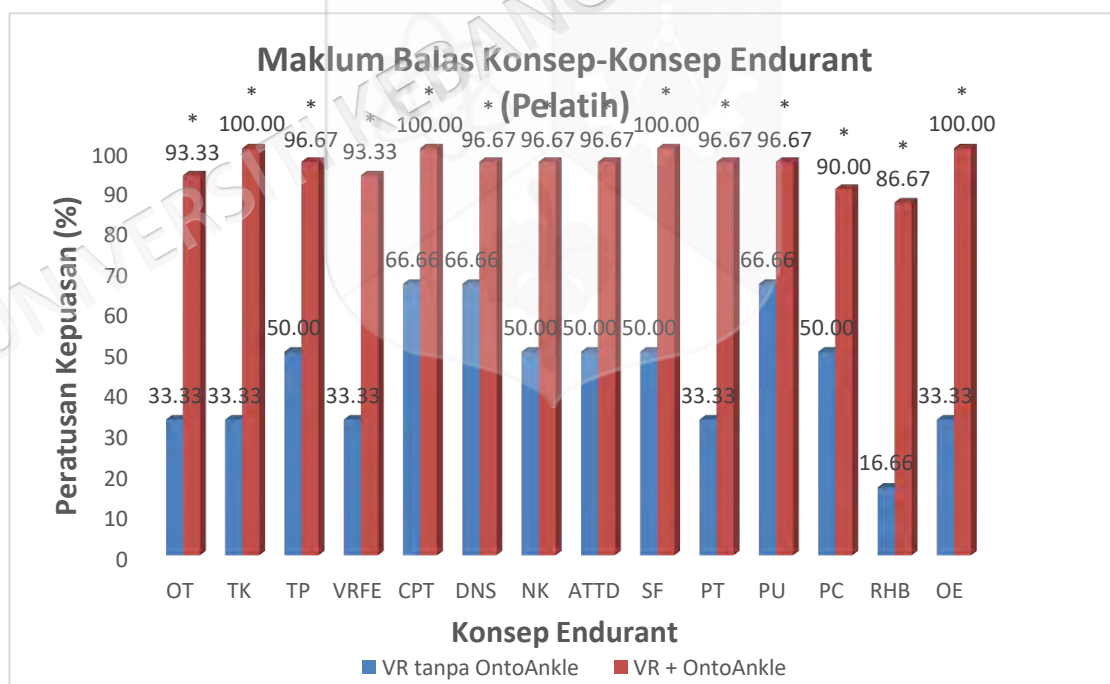
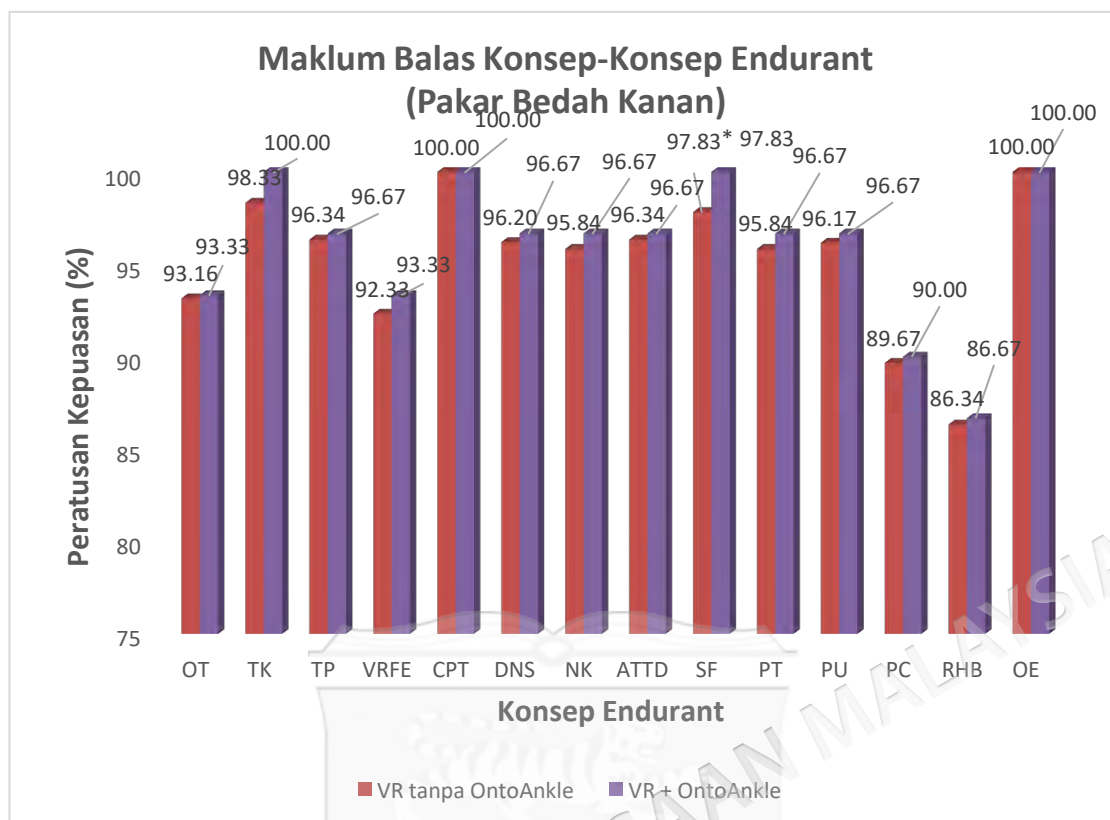
* $p < 0.05$

Rajah 4.30 Peratusan kepuasan terhadap faktor-faktor pembatasan program latihan VRAnkle. *Kesepaduan = Kesepaduan program, Masa = Jumlah latihan yang mencukupi, Matlamat = Kejelasan objektif dan matlamat

pembelajaran, Kompleksiti = Tahap kompleksiti yang mencukupi, Maklum Balas = Maklum balas latihan berkesan, Kesilapan = Kesiapan untuk mengenali kesilapan semasa pembedahan, Keputusan = Kesiapan untuk membuat keputusan semasa pembedahan.

g. Kepuasan Terhadap Komponen Endurant

Untuk komponen endurant dalam penilaian VRAnkle dengan OntoAnkle, kepuasan tertinggi (100%) dicapai dalam pengetahuan pengajar, tahap kompetensi pakar bedah kanan dan pelatih dalam melaksanakan penggantian keseluruhan buku lali, faktor pelajar, dan keseluruhan keberkesanan program realiti maya dalam mengajar penggantian keseluruhan buku lali. Ini diikuti oleh prestasi simulasi realiti maya, perolehan kemahiran dan pengetahuan baru, sikap, latihan praktikal, dan pemahaman prosedur dengan kepuasan keseluruhan sebanyak 96.67%. Walaupun rehabilitasi mencapai peratusan kepuasan terendah (86.67%), tetapi ia masih melebihi 80% yang mana adalah memuaskan. Kesimpulannya, komponen endurant turut mencapai kepuasan yang tinggi yang diberikan oleh pakar bedah kanan dan pelatih.



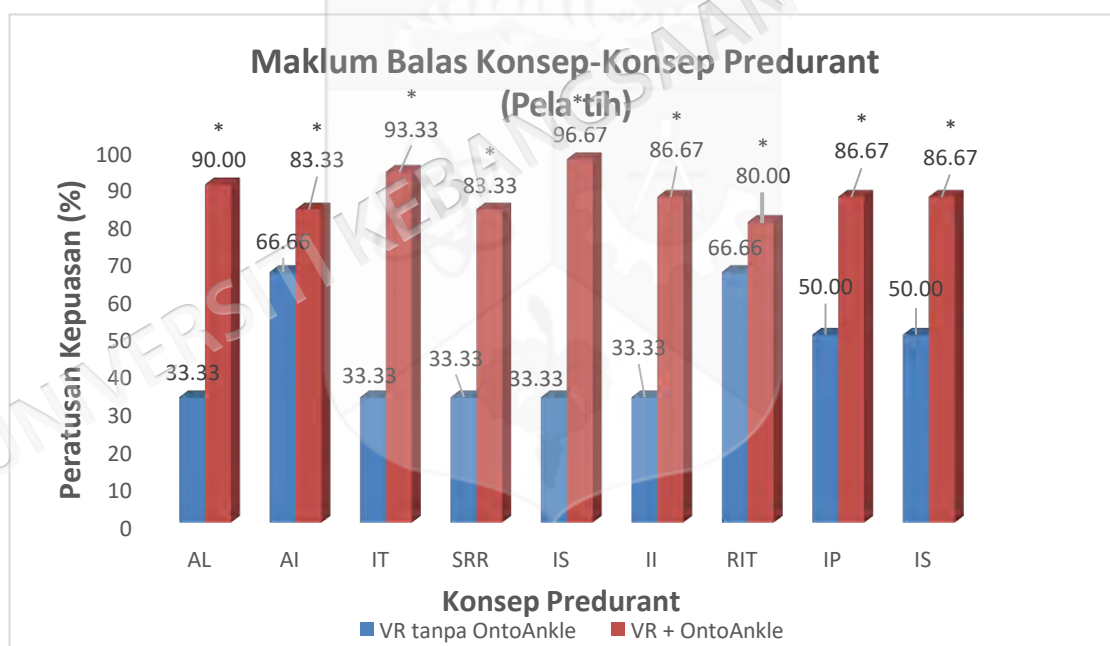
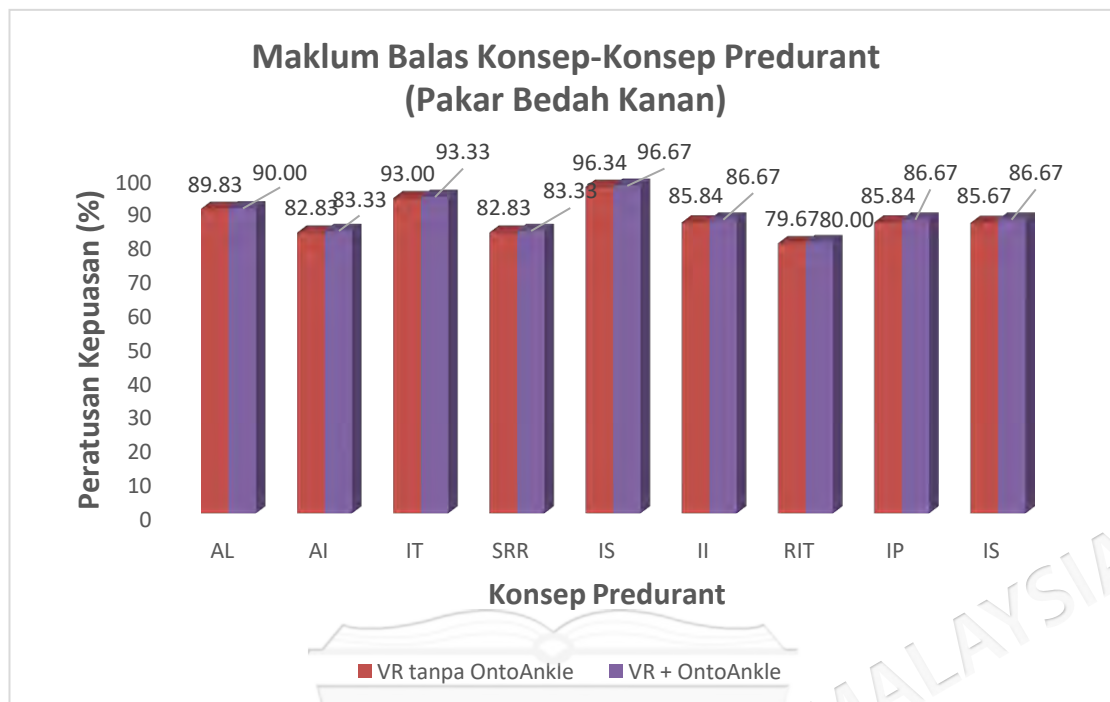
*p<0.05

Rajah 4.31 Peratusan kepuasan terhadap komponen-komponen endurant program latihan VRAnkle. *OT = Latihan Ortopedik, TK = Pengetahuan Pengajar, TP = Prestasi Tugas, VRFE = Maklum Balas VR yang Berkesan, CPT = Tahap Kemahiran, DNS = Perkembangan Kemahiran Baru, NK =

Pengetahuan Baru, ATTD = Sikap, SF = Faktor Pelajar, PT = Latihan Amali, PU = Pemahaman Prosedur, RHB = Pemulihan, OE = Keberkesanan Keseluruhan

h. Kepuasan Terhadap Komponen Perdurant

Peratusan kepuasan tertinggi (96.67%) dalam komponen perdurant untuk penilaian VRAnkle dengan OntoAnkle dicapai dalam kandungan realiti maya bagi pemotongan tulang untuk mencipta ruang bagi implan semasa pembedahan. Ini diikuti oleh peletakan perenggang Hohmann pada lokasi yang betul dengan peratusan 93.33% sementara keberkesanan program realiti maya terhadap pemilihan lokasi anatomi yang betul untuk hirisan mencapai 90%. Peratusan kepuasan terendah (80%) dicapai dalam pengeluaran implan percubaan selepas kedudukan implan disahkan. Kesimpulannya, maklum balas yang sangat memuaskan telah diberikan oleh pakar bedah kanan dan pelatih.



*p<0.05

Rajah 4.32 Satisfaction percentage on endurant component of total ankle surgery evaluation with OntoAnkle. *AL = Lokasi Anatomi, AI = Alat yang Tepat, IT = Teknik Alat, SSR = Perenggang Tahan Kendiri, IS = Ruang Implan, II = Peletakan Implan, RIT = Mengeluarkan Implan Percubaan, IP = Penempatan Implan, IS = Jahitan Luka.

4.4.5 Rumusan

Pembangunan OntoAnkle mewakili langkah penting ke hadapan dalam penilaian dan pelaksanaan VRAnkle. Model rujukan ini menyediakan kerangka piawai untuk menilai teknologi tersebut, menetapkan kriteria prestasi yang jelas, dan memastikan kesahihan dan kebolehpercayaan proses penilaian. Pelaksanaan OntoAnkle dalam penilaian prestasi VRAnkle telah memberikan hasil yang menjanjikan, dengan skor kepuasan lebih dari 80% bagi semua soalan. Ini menggambarkan bahawa OntoAnkle dapat membantu menetapkan kriteria prestasi yang jelas bagi VRAnkle dan meningkatkan penerimaan teknologi ini oleh pembekal kesihatan dan syarikat insurans. Kajian lanjut diperlukan untuk mengesahkan keberkesanan dan kecekapan kos VRAnkle berbanding dengan pilihan rawatan lain. Namun, pembangunan OntoAnkle mewakili langkah penting ke hadapan dalam penilaian dan pelaksanaan teknologi VR untuk pemulihan dan peningkatan mobiliti

BAB V

PERBINCANGAN

5.1 PERBINCANGAN BERKAITAN TEORI

Keseluruhan kajian dalam tesis ini iaitu dimulai dengan Bab 1 hingga Bab 6 telah disusun dan dilaksanakan dengan keyakinan kepada pendekatan penyelidikan atau berasaskan metodologi Sains Rekabentuk (DSRM) yang telah diterangkan asasnya di Bab 3. Secara ringkas, DSRM yang digunakan dalam kajian ini adalah merujuk kepada model proses oleh Pepper et al (2008) dan ia merupakan model proses DSRM yang paling popular dan relevan seperti mana disitasi terkini oleh penyelidik di (Yazdani et al., 2023). Secara asas, fokus paling penting dalam menggunakan DSRM sebagai pendekatan penyelidikan ialah penghasilan artefak yang praktikal dan solusi dalam menyelesaikan masalah sebenar dan relevan (Pepper et al., 2008).

Justeru, kajian tesis ini bukan memfokuskan kepada pembangunan kandungan VR Ankle (khususnya) dan kandungan VR (amnya). Secara tepat, tumpuan utama artefak bukan pada prototaip VR Ankle, namun, ia boleh dijadikan salah satu sumbangan dalam kajian ini. Sumbangan utama dalam kajian ini ialah berkaitan artefak OntoAnkle iaitu sebuah Model (Model) sebagai output DSRM, dan satu lagi output DSRM ialah kaedah atau Metod (Method), iaitu mengemukakan kaedah perspektif baharu bagaimana menilai sesebuah kandungan VR yang dibangunkan dari perspektif menepati pemahaman domain (domain understanding) atau realiti pengetahuan yang diabstrak yang menjadi fokus atau teras kepada pembangunan VR itu. Sejauh mana kandungan VR itu menepati (comply) dengan pengetahuan yang diabstrak pada konseptual model sesuatu realiti.

Untuk itu, teori bersifat pendidikan, psikologi, andragogi, pedagogi adalah bukan skop kajian ini dan ia tidak bersesuaian dengan kepada kajian ini. Penglibatan teori yang

penting dalam kajian adalah teori kernel (Kernel Theory) yang biasanya digarap dari sains tingkahlaku (Behaviour Science - BS) serta terlibat dalam proses membangunkan konseptual model iaitu OntoAnkle sebagai domain model yang menjadi rujukan dalam mengemukakan kaedah menilai VR yang dibangunkan. Teori asas pembangunan OntoAnkle ini berdasarkan teori UFO (Unified Foundation Ontology) yang sangat kuat dari segi sokongan teori akarnya yang lain iaitu berdasarkan integrasi teori dari sains kognitif, linguistik, falsafah logik dan ontologi formal dalam bidang falsafah, juga beberapa mikro-teori yang mengakar dalam asas pemodelan konseptual. UFO boleh dirujuk secara mendalam di (Guizzardi, 2005); dan UFO sangat relevan dalam kejuruteraan ontologi dan menerima sitasi terkini seperti di (Derave et al., 2024).

Bagi membincangkan berkaitan teori juga, teori kernel yang digunakan dalam pembangunan OntoAnkle juga selain berdasarkan UFO untuk aspek enduran ontologi, ia juga berdasarkan teori DEMO (Design and Engineering Methodology for Organisations) oleh Dietz (2006) yang kemudiannya menjadi kerangka asas kepada pembangunan "UML-based DEMO modeling" yang diasaskan oleh Colomb & Ahmad (2010) dan masih relevan seperti digunakan dalam (Benferdia et al., 2021; Sattar et al., 2021; Mohammad et al., 2022; Benferdia et al., 2022; Hj. Md Nasir et al., 2024). Ini digunakan dalam memodelkan OntoAnkle dari aspek perduran ontologi. DEMO mempunyai teras teori yang sangat kuat seperti mana UFO juga. Ia juga berteraskan teori komunikasi seperti Theory of Institutional facts, Speech Acts dan juga linguistik. DEMO boleh dirujuk di (Dietz, 2006) dan masih relevan dan terus disitasi sehingga kini dalam pelbagai bidang.

Apabila membincangkan teori dalam pengamal model proses DSRM yang menggarap paradigma kajian sains rekabentuk (DSR), DSR kekal sebagai dasar kepada keseluruhan tesis ini dibangunkan dan paradigma kajian yang dipegang. Secara teras (fundamental) DSR dan BS wujud secara saling melengkapi (Hevner et al., 2004; Hevner et al., 2009). Penghasilan artefak dari output DSRM merupakan solusi kepada permasalahan yang perlu dikaji lanjut dari segi aspek impak, penerimaan dan adaptasi yang mana pengkaji dalam BS lazimnya akan melakukannya. Maka, dalam kajian BS, teori kernel banyak digunakan sebagai kerangka asas kajian penerimaan, kelangsungan penggunaan, adaptasi dan pelbagai topik lagi. Teori-teori kernel dalam BS seperti TAM

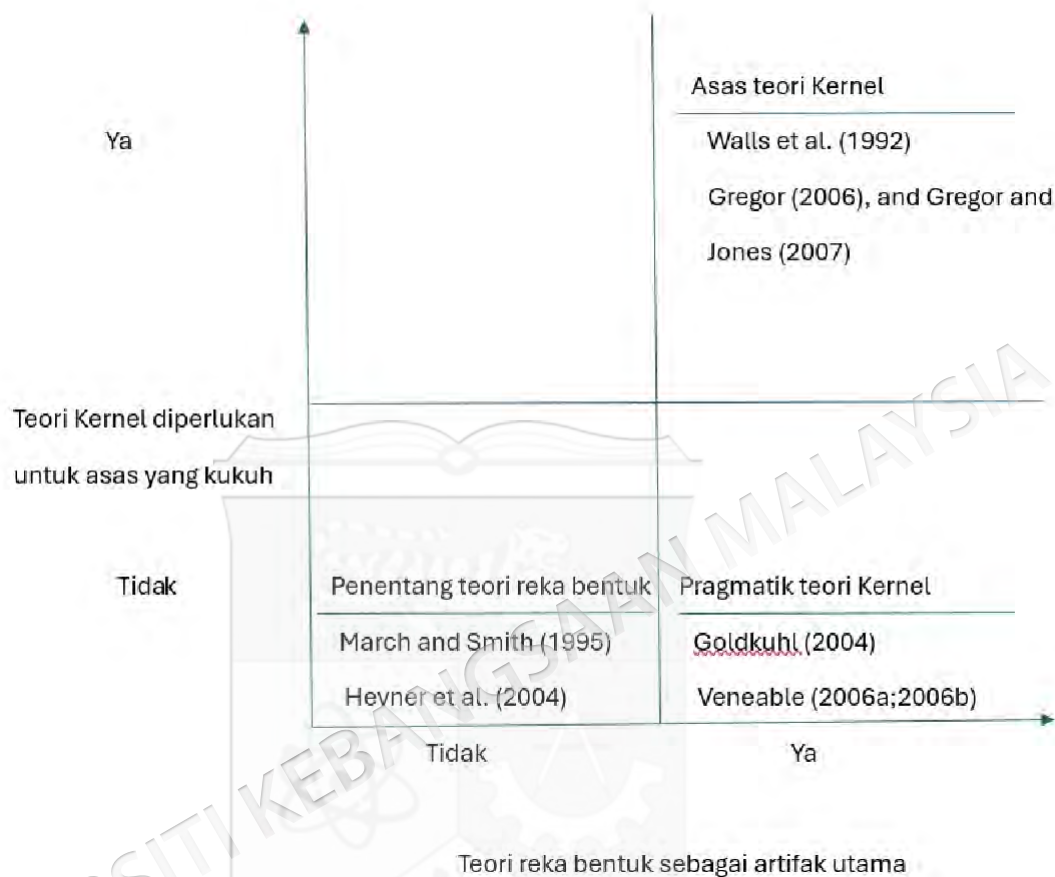
(Davis, 1989), UTAUT (Venkatesh et al., 2003) adalah antara yang popular dan klasikal.

Bagaimanapun, dalam konteks pengamal aliran DSR dan seterusnya model proses DSRM, Terdapat secara jelas tiga aliran utama di kalangan pengamal DSR tentang keperluan teori kernel dalam pembangunan sesebuah artefak rekabentuk (design artefact). Pertama, aliran yang mengatakan tidak wajib memerlukan teori kernel disebabkan DSR bukan bersifat Sains Tingkahlaku (Behavioural Science - BS). DSR melengkapkan BS dan teori kernel wujud dalam kajian melibatkan BS dan dalam DSR ia bukan menjadi keutamaan atau kemestian. Aliran pertama ini dipelopori oleh pengasas DSR dalam disiplin Sistem Maklumat (IS) iaitu oleh Hevner et al (2004) dan March et al (1995). Perbincangan tentang aliran ini dan penghujahan oleh saintis dalam aliran ini boleh dirujuk dalam analisa yang dibuat oleh Fisher et al (2010). Aliran ini dirujuk sebagai “Design Theory Opponents (DTO)” rajah 5.1. Sebagai contoh, Hevner et al (2004) menyatakan: "mention the IS knowledge base that is comprised of results of behavioral sciences as well as design science research. If helpful, such knowledge may be used for constructing design science artifacts – but ISDSR artifacts do not necessarily need to be grounded on kernel theories". Ringkasnya, aliran ini tidak menerima teori sebagai output DSRM dan juga tidak menekankan keperluan teori kernel dalam kejuruteraan artefak.

Kedua, aliran yang mengatakan keperluan teori kernel itu juga tidak begitu penting dalam proses pembinaan artefak, namun, teori sebagai output DSRM sesuatu yang boleh diterima sebagai impak dan output DSRM. Aliran ini dirujuk sebagai “Kernel Theory Pragmatist (KTP)”. Aliran ini diasaskan oleh Goldkuhl (2004) dan Venable (2006a; 2006b).

Seterusnya, aliran yang ketiga ialah apa dinamakan sebagai “Kernel Theory Fundamentalists (KTF)”. Aliran ini dipelopori oleh Walls et al. (1992), Gregor (2006), dan Gregor et al. (2007). Ia merupakan aliran yang agak ekstrim dan mewajibkan teori kernel dalam penglibatan pembinaan artefak dan pada masa yang sama menerima teori sebagai output DSRM. Sebagai contoh, Walls et al. (1992) menyatakan: Building upon this classification, ISDT literature distinguishes kernel and design theories. There is a

broad consensus that kernel theories are theories from natural or social sciences and serve as a foundation for artifact construction (Walls et al. 1992, p. 42).



Rajah 5.1 Pemilihan teori Kernel sebagai teori asas reka bentuk

Perbincangan tentang kewujudan ketiga-tiga aliran dalam DSR ini boleh dirujuk dalam (Fisher et al., 2010). Kesimpulan dari penghujahan ini, penyelidik berpendapat bahawa secara akademik, ketiga-tiga aliran ini wajar diiktiraf dan boleh dirujuk. Walaupun dua aliran dengan jelas menyatakan tidak perlu keperluan teori kernel dalam pembangunan sesebuah artefak, namun, dalam kajian ini, penyelidik mengambil pendekatan pertengahan dengan menerima bahawa keperluan teori kernel itu wujud dalam proses pembinaan OntoAnkle tetapi bukan kepada pembangunan prototaip VR sebab ia bukan skop kajian yang dimaksudkan dalam tesis ini. Bagaimanapun, kajian tesis ini tidak sealaran mengatakan teori sebagai output DSRM sesuatu yang mesti dan hendaklah dilakukan. Oleh yang demikian, penyelidik menerima pendapat tentang penglibatan teori kernel oleh aliran KTF, walaupun dua aliran iaitu DTO dan KTP jelas menolak,

namun tidak mengikuti pandangan dari aliran KTF dari segi teori sebagai output DSRM. Inilah pemilihan yang penyelidik cuba ketengahkan tentang penglibatan teori kernel dan jelas menunjukkan terdapat sekurang-kurangnya tiga pendapat atau “school of thought” yang masih relevan dan boleh digunapakai.

5.2 PERBINCANGAN BERKAITAN PENILAIAN

Keputusan penilaian dengan menggunakan instrumen penilaian yang berasaskan OntoAnkle dan penilaian tanpa menggunakan OntoAnkle dianalisis dan dibandingkan untuk menilai keberkesanan program latihan pembedahan penggantian keseluruhan buku lali dengan realiti maya (VRAnkle). Kedua-dua penilaian menyokong kebolehan program latihan pembedahan VRAnkle dalam mengajar kemahiran teknikal yang diperlukan untuk menjalankan prosedur tersebut. Walau bagaimanapun, persoalan yang muncul berkenaan penilaian tanpa menggunakan OntoAnkle adalah, walaupun ia memberikan pengesahan tentang keberkesanan VRAnkle dalam meningkatkan pengetahuan mengenai teknik pembedahan, ia mungkin kurang berkesan dari sudut kegunaan untuk meningkatkan pengaturcaraan sistem VRAnkle. Sebaliknya, penggunaan OntoAnkle, yang memastikan bahawa kedua-dua bahasa pengaturcaraan dan kaedah penilaian dibina berdasarkan ontologi yang sama, membolehkan penilaian program VRAnkle yang lebih tepat dan mendalam. Penilaian ini dapat menghasilkan pengetahuan yang boleh diambil tindakan (actionable insight) yang dapat dilaksanakan terus ke dalam bahasa pengaturcaraan (programming language) untuk memperbaiki program. Contohnya, dalam situasi di mana instrumen penilaian yang berasaskan OntoAnkle mengenal pasti kekurangan keberkesanan penggunaan peranti haptik tertentu, tindakan pragmatik dapat diambil dengan menggantikan peranti haptik tersebut dengan satu yang dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Penilaian menggunakan OntoAnkle menemui bahawa perkakasan dan perisian VR yang digunakan dalam program tersebut sesuai untuk latihan dan secara efektif mensimulasikan peralatan dan alat pembedahan sebenar. Setelah itu, realisme perkakasan perlu disokong dengan input visual, deria, dan motor yang realistik. Ini adalah penting kerana kajian telah menunjukkan bahawa memiliki perkakasan VR dengan ciri-ciri yang menyerupai peralatan dan alat pembedahan sebenar mempunyai pengaruh yang besar keatas prestasi pakar bedah yang menjalani latihan realiti maya

(Lee, Wong & Fung, 2010). Walaupun soalan mengenai realisme alat pembedahan memang ditanya dalam penilaian tanpa menggunakan OntoAnkle, sifatnya yang kabur mungkin menghalang kegunaannya. Oleh kerana soalan ini tidak diperinci untuk merujuk kepada bahagian ontologi tertentu yang digunakan dalam bahasa pengaturcaraan, peningkatan dalam hal realisme yang dicetuskan oleh hasil ini mungkin tidak akan menghasilkan sebarang arahan yang boleh dilaksanakan (actionable direction) dalam memperbaiki bahasa pengaturcaraan. Akibatnya, program mungkin perlu dibongkar dan dipasang semula untuk menjalankan pembetulan yang diperlukan (Rudwan & Fonou-Dombeu, 2022). Sebagai perbandingan, soalan penilaian yang berasaskan OntoAnkle adalah lebih terperinci dalam menentukan peralatan atau alat yang tepat yang tidak menyumbang kepada aspek realisme, sama ada skrin paparan, peranti mudah alih, stesen operator, dan sebagainya.

Selain itu, penilaian menggunakan OntoAnkle mendapati bahawa program ini menangani isu kebolegunaan latihan VR. Khususnya, peserta kebanyakannya bersetuju bahawa program ini berjaya mengurangkan kos dan tempoh latihan tradisional, sambil mengekalkan kesederhanaan atau kemudahan penggunaannya. Oleh itu, sumbangan faktor kegunaan dalam kejayaan program latihan VR dibuktikan melalui kesepakatan yang dilaporkan dalam kajian terdahulu mengenai penilaian latihan VR (Ammann-Reiffer, Kläy, & Keller 2022; Lerner et al., 2020). Perlu diperhatikan, penilaian terhadap konsep sejajar mengenai kegunaan juga dicuba dalam penilaian tanpa menggunakan OntoAnkle, di mana soalan mengenai kemudahan penggunaan program VR ditanyakan. Walau bagaimanapun, kerana soalan ini tidak dimaksudkan untuk merujuk kepada bahagian tertentu dalam ontologi bahasa pengaturcaraan, sebarang peningkatan kegunaan yang dihasilkan oleh hasil ini mungkin tidak akan menghasilkan sebarang cadangan konkrit mengenai penambahbaikan yang boleh dibuat ke dalam bahasa pengaturcaraan (Rudwan & Fonou-Dombeu, 2022).

Selain itu, hasil pembelajaran dalam persekitaran maya juga dinilai sebagai tinggi, dimana kebanyakan pakar bedah melaporkan pembelajaran perkara-perkara baru yang sebelum ini tidak diketahui oleh mereka, seterusnya menghasilkan peningkatan keyakinan mereka dalam melaksanakan pembedahan. Kebiasaannya, metrik hasil pembelajaran adalah petunjuk utama kejayaan dalam mana-mana program latihan VR.

Program latihan VR telah diketahui meningkatkan kecekapan pembedahan, prestasi pembedahan ortopedik, prestasi bilik pembedahan, prestasi makmal eksperimen, dan pemahaman tentang artroskopi, penempatan glenoid, orientasi pin panduan, penstabilan patah tulang, dan pemotongan tulang. Jelasnya, penilaian terhadap hasil pembelajaran bukanlah agenda utama dalam penilaian tanpa menggunakan OntoAnkle. Ini kerana soalan-soalan dalam instrumen ini lebih menumpukan kepada persepsi pengguna program VR berbanding dengan penilaian prestasi mereka oleh pihak kedua. Alat penilaian yang baik seharusnya mampu menggabungkan aspek persepsi sendiri dan penilaian prestasi oleh pihak kedua, sebagai contoh pengajar, selepas program VR. Ketiadaan penilaian prestasi mungkin menghalang penerimaan program latihan VR oleh pihak berkepentingan (pentadbir hospital dan universiti). Tanpa piawaian prestasi yang ditakrifkan dengan baik dan bukti kukuh yang mengesahkan keberkesannya, meyakinkan pentadbir universiti dan hospital untuk melabur dalam teknologi tersebut mungkin mencabar.

Instrumen penilaian untuk OntoAnkle juga menilai faktor-faktor yang boleh membataskan keberkesanan program VR. Batasan-batasan ini merangkumi pelbagai aspek dan boleh menghalang pencapaian objektif yang diinginkan dalam latihan realiti maya (Clarke, 2021; Benferdia et al., 2018; Carruth, 2017; Aim et al., 2016). Batasan dalam struktur dan kandungan berkaitan dengan kelemahan dalam reka bentuk kurikulum latihan realiti maya. Ini termasuk seperti ketiadaan kurikulum latihan menyeluruh yang bersepadu, tidak dapat memastikan jumlah latihan yang diperlukan, perasaan sesat walaupun setelah latihan selesai, kekurangan panduan dan pengawasan, kos tinggi dan ketiadaan peralatan (Carruth, 2017; Aim et al., 2016). Instrumen penilaian yang berdasarkan OntoAnkle membenarkan maklum balas ini diintegrasikan terus dalam bahasa pengaturcaraan. Berbeza dengan instrumen penilaian tanpa OntoAnkle, soalan-soalan yang berkaitan dengan faktor-faktor batasan yang telah disebutkan di atas tidak ada dalam instrumen penilaian tanpa menggunakan OntoAnkle. Pengamatan ini mengesahkan kepentingan membina kriteria penilaian yang dipandu oleh ontologi. Tanpa panduan ontologi, kaedah penilaian masih dapat menerangkan aspek tertentu dalam program, namun berkemungkinan untuk terlepas dalam penilaian aspek penting lain dalam program tersebut.

Secara kesimpulannya, penggunaan OntoAnkle dalam proses penilaian telah membuktikan nilai yang diberikannya dalam memperoleh pandangan yang dapat dilaksanakan untuk meningkatkan program VRAnkle. Kaedah penilaian yang menggunakan OntoAnkle memberikan penilaian yang lebih bersepadu dan memudahkan pelaksanaan peningkatan terus ke dalam bahasa pengaturcaraan. Penemuan kajian ini mempunyai implikasi penting terhadap reka bentuk dan penilaian program latihan pembedahan VR, dengan akhirnya meningkatkan pendidikan dan pembangunan kemahiran ahli bedah ortopedik dalam pembedahan penggantian buku lali secara keseluruhan.

Pembangunan OntoAnkle merupakan langkah yang signifikan dalam menambahbaik penilaian prestasi VRAnkle. Model rujukan ini menyediakan kerangka piawai untuk menilai teknologi tersebut, dimana kriteria prestasi yang jelas ditetapkan, dan kesahihan dan kebolehpercayaan proses penilaian dipastikan (Noy & McGuinness, 2001). Penggunaan konsep *endurant* dan *perdurant* berkaitan dengan teknik pembedahan penggantian keseluruhan buku lali memastikan model rujukan ini adalah bersepadu dan relevan dengan aplikasi klinikal (Guizzardi et al, 2018; Colomb & Ahmad, 2010).

Pelaksanaan OntoAnkle dalam penilaian prestasi VRAnkle telah memberikan hasil yang menjanjikan. Skor kepuasan bagi semua soalan adalah melebihi dari 80%, menunjukkan tahap persetujuan yang tinggi di kalangan penilai mengenai keberkesanan VRAnkle. Ini menunjukkan bahawa OntoAnkle menyediakan kerangka kerja yang kukuh dan boleh dipercayai untuk menilai prestasi VRAnkle dan membantu menetapkan kriteria prestasi yang jelas bagi teknologi tersebut.

Pembangunan OntoAnkle juga mempunyai implikasi penting terhadap pelaksanaan VRAnkle. Dengan menyediakan kerangka piawai untuk menilai teknologi tersebut, OntoAnkle dapat membantu memastikan bahawa VRAnkle adalah berkesan dan selamat untuk digunakan dalam suasana klinikal. Seterusnya, ini dapat meningkatkan penerimaan VRAnkle oleh pembekal kesihatan dan syarikat insurans, dimana ia akan mempengaruhi akses dan ketersediaan teknologi ini kepada pesakit, yang boleh mendapat manfaat daripada penggunaannya (Hussain et al., 2019).

Penggunaan VR dalam penjagaan kesihatan telah mendapat lonjakan momentum sejak beberapa tahun kebelakangan ini, dengan aplikasi yang dahulunya terdiri daripada latihan dan pendidikan kepada terapi dan pemulihan (Guerra-Armas et al., 2023; Jung, 2022; Lagos Rodríguez et al., 2022; Cooper et al., 2021; Buttussi & Chittaro, 2018; Makransky & Lilleholt, 2018; Carruth, 2017; Ravi, Kumar & Singhi, 2017; Mabrey, Reinig & Cannon, 2010). Pembangunan sistem VR yang menunjukkan kejayaan telah membolehkan para pelajar melayari teknik pembedahan mengasyikkan di samping mengambil bahagian secara aktif dengan menggunakan kesemua lima (5) deria. TAR merupakan salah satu teknik dalam prosedur pembedahan tersebut dan penggunaan teknologi VR bagi meningkatkan maklum balas proprioseptif semasa proses pembelajaran adalah penting untuk teknik yang kompleks seperti TAR (Clarke, 2021; Hooper et al., 2019; Aim et al., 2016). Walaupun keputusan awal mengenai prestasi OntoAnkle adalah positif, terdapat kebimbangan mengenai proses penilaian dan kekurangan model rujukan yang konsisten yang boleh digunakan untuk menilai prestasinya.

Salah satu pembatasan utama proses penilaian ialah kekurangan model rujukan yang konsisten yang boleh digunakan untuk menilai prestasi VRAnkle. Tidak seperti peranti dan teknologi perubatan lain, tiada rangka kerja atau penanda aras yang kukuh bagi menilai sistem latihan VR (Sanchez et al., 2021). Ketiadaan model rujukan ini menyukarkan untuk membandingkan prestasi VRAnkle dengan sistem lain atau untuk mewujudkan kriteria prestasi yang jelas untuk teknologi tersebut. Akibatnya, proses penilaian kelihatan dilakukan tanpa perancangan dan mungkin terdedah kepada ketidakkonsistenan.

Selain itu, kekurangan model rujukan yang konsisten menimbulkan persoalan tentang keesahan dan kebolehpercayaan proses penilaian. Tanpa rangka kerja standard bagi menilai prestasi VRAnkle, terdapat risiko bahawasanya proses penilaian mungkin akan mengabaikan aspek penting teknologi atau gagal untuk mengenal pasti kelemahan dan batas keupayaannya (Sanchez et al., 2021). Ini mungkin mempunyai implikasi yang serius dalam pembangunan dan penggunaan VRAnkle, kerana ia mungkin membawa kepada kesimpulan yang salah atau tidak lengkap mengenai keupayaan dan potensi aplikasinya.

Pembatasan proses penilaian mempunyai implikasi penting dalam pembangunan dan penggunaan VRAnkle. Pertama sekali, ketiadaan model rujukan yang konsisten menyukarkan bagi menetapkan kriteria prestasi yang jelas untuk teknologi. Situasi ini seterusnya akan menjadikannya lebih mencabar dalam mengenal pasti bidang untuk penambahbaikan atau mengoptimumkan teknologi aplikasi tertentu (Sanchez et al., 2021). Tanpa kriteria prestasi yang jelas, adalah menjadi satu cabaran untuk menentukan keberkesanan dan keberkesanan kos VRAnkle berbanding pilihan lain dalam latihan pembedahan.

Kekurangan model rujukan yang konsisten juga menimbulkan persoalan tentang kebolehan untuk generalisasi keputusan yang diperoleh daripada proses penilaian. Tanpa rangka kerja standard untuk menilai prestasi VRAnkle, adalah tidak jelas sama ada keputusan yang diperoleh daripada satu penilaian boleh diekstrapolasi ke tetapan lain atau populasi pesakit. Hal ini boleh mengehadkan kebolehgunaan dan VRAnkle secara berskala, kerana ia mungkin hanya berkesan dalam konteks tertentu atau untuk kumpulan tertentu.

Tambahan pula, dengan ketiadaan model rujukan yang konsisten juga, pihak pentadbir universiti dan hospital mungkin akan menghalang penggunaan VRAnkle. Tanpa kriteria prestasi yang jelas dan bukti kukuh yang menyokong keberkesanannya, adalah hal yang mencabar meyakinkan pentadbir universiti dan hospital melabur dalam teknologi ini. Situasi ini akan mengehadkan ketersediaan dan kebolehcapaian VRAnkle kepada pelajar dan jurulatih yang boleh mendapat manfaat daripada penggunaannya.

Oleh hal yang demikian, bagi menangani pembatasan proses penilaian, penyelidikan untuk masa hadapan perlulah memberikan tumpuan kepada pembangunan model rujukan yang konsisten bagi menilai latihan pembedahan ortopedik menggunakan teknologi VR. Model rujukan ini perlu memujudkan kriteria prestasi yang jelas, menyediakan rangka kerja piawai bagi menilai teknologi, dan memastikan kesahihan dan kebolehpercayaan proses penilaian. Pembangunan model rujukan yang sedemikian, membolehkan kajian ini meningkatkan ketelitian dan ketekalan proses penilaian bagi menyediakan prestasi penilaian VRAnkle yang lebih bersepadu (comprehensive) dan tepat.

Penyelidikan di masa hadapan juga perlu memberi tumpuan ke arah keberkesanan dan keberkesanan kos VRAnkle berbanding kaedah latihan konvensional. Ujian terkawal secara rawak atau kajian secara pemerhatian boleh dilaksanakan bagi membandingkan VRAnkle dengan kaedah latihan konvensional yang lain. Justeru itu, dengan mewujudkan keberkesanan dan keberkesanan kos VRAnkle berbanding kaedah latihan konvensional, serta kriteria prestasi yang jelas, dapat dijadikan bukti kukuh dalam menyokong keberkesanannya kepada pihak berkepentingan bagi menarik pelaburan dalam penerimgunaan dan pembangunan teknologi pada masa hadapan.

5.3 PERBINCANGAN BERKAITAN PROTOTAIP VRANKLE

Dalam dunia realiti maya, setiap perkakas dan perisian memainkan peranan penting dalam membentuk pengalaman mengasyikkan (*immersive*) yang ditawarkan oleh aplikasi seperti VRAnkle. Dari ActiveMove yang memudahkan interaksi pengguna hingga kepada komputer Nvidia P6000 yang memberi kuasa kepada grafik berkualiti tinggi, setiap komponen menyumbang kepada realisme dan keberkesanan simulasi. Jadual 5.1 menunjukkan perkakas dan perisian yang digunakan oleh program VRAnkle. Melalui penilaian terbitan OntoAnkle, soalan penilaian yang lebih terperinci berkenaan kesesuaian setiap peralatan, sama ada skrin paparan, peranti mudah alih, atau stesen operator, boleh ditanya. Maklumbalas dari soalan-soalan ini membolehkan pembangun VRAnkle untuk menumpukan usaha penambahbaikan kepada perkakas atau perisian yang tertentu.

Jadual 5.1 Senarai perisian dan perkakas yang digunakan oleh VRAnkle

Jenis	Pengeluar	Perkara
Perisian	Virtalis	Visionary Render
Perkakas	ActiveMove	1 x 3D Stereo VR Projector
		20 x ActiveWorks 1600 3D Glasses
		1 x wifi emitter
		1 x Nvidia P6000 PC
		1 x Space Explorer
		1 x Visionary Render DV
		1 x CAD Adapter
		1 x Interaction SmartTrack
		1 x 3D Connexion Compact Space Mouse

Sebagai contoh, penggunaan skrin paparan 3D Stereo VR Projector dan paparan dipasang pada kepala ActiveWorks 1600 3D Glasses memastikan pengguna melihat persekitaran maya dengan kejelasan dan kedalaman yang maksimum, penting untuk

latihan pembedahan di mana ketepatan adalah penting. Didalam penilaian terbitan OntoAnkle, soalan berkenaan kesesuaian paparan melalui skrin dan peranti ada disertakan. Maklum balas yang tidak memuaskan daripada soalan-soalan ini membolehkan pasukan pembangun menguji skrin atau peranti yang lain untuk mempertingkatkan kualiti penggunaan VRAnkle.

Sebagai pemacu utama dalam sistem, Nvidia P6000 PC memastikan prestasi yang tinggi dan penghasilan grafik yang realistik dalam aplikasi VRAnkle. Keupayaannya yang kuat membolehkan aplikasi merendahkan grafik secara lancar dan responsif, memberikan pengalaman yang mulus kepada pengguna. Maklum balas yang tidak memuaskan daripada soalan-soalan berkaitan realisme dan persekitaran VR dalam VRAnkle boleh menjadi panduan kepada pasukan pembangun untuk mencuba peranti grafik yang berlainan untuk mempertingkatkan kualiti penggunaan VRAnkle.

Selain itu, Space Explorer dan 3D Connexion Compact Space Mouse menyediakan mekanisme kawalan intuitif, membolehkan pengguna bergerak dan berinteraksi dengan lancar dalam ruang maya. Sementara itu, Interaction SmartTrack memastikan penjejakan gerakan yang tepat, penting untuk mensimulasikan pergerakan pembedahan yang realistik. Alat-alat ini secara kolektif membentuk rangkaian asas VRAnkle, membolehkan pengguna terlibat dalam prosedur pembedahan yang realistik dan mengasah kemahiran mereka dalam persekitaran yang selamat dan terkawal. Seperti yang telah disebut, maklum balas dari penilaian terbitan OntoAnkle membenarkan pasukan pembangun VR untuk mencuba dan ralat (*try and error*) pelbagai perkakasan dalam proses penambahbaikan mereka.

Walau bagaimanapun, ukuran sebenar kejayaan VRAnkle terletak dalam penilaiannya. Melalui penilaian menyeluruh, pembangun boleh menilai prestasi, kebolegunaan, dan keberkesanan aplikasi dalam mencapai objektif pendidikannya. Dengan menganalisis maklum balas dan data yang dikumpulkan dari pengguna, penyesuaian boleh dilakukan untuk meningkatkan pelbagai aspek aplikasi, sama ada dengan menyempurnakan kualiti visual, meningkatkan reka bentuk antara muka pengguna, atau menyesuaikan mekanik interaksi.

Pada intinya, VRAnkle mewakili gabungan teknologi terkini dan inovasi pendidikan, menyediakan platform realistik kepada bakal pakar bedah untuk menyempurnakan teknik pembedahan mereka. Melalui penilaian yang teliti dan penambahbaikan berterusan, VRAnkle bersedia untuk mengubah cara latihan pembedahan, memastikan bahawa generasi masa depan profesional perubatan dilengkapi dengan kemahiran dan kepakaran yang diperlukan untuk memberikan jagaan pesakit yang luar biasa.

5.4 LIMITASI KAJIAN

Kajian ini mempunyai beberapa limitasi. Antaranya ialah metodologi. Pendekatan penilaian yang digunakan dalam kajian ini adalah berdasarkan penilaian secara subjektif menggunakan kaedah soal selidik. Pendekatan ini akan menyebabkan bias yang berasal daripada persepsi subjek. Selain itu, subjek yang terlibat dalam kajian ini berasal dari sebuah institusi yang sama. Ini menyebabkan keputusan kajian ini tidak dapat digeneralisasikan kepada semua pakar pembedahan ortopedik seluruh negara kerana latihan pembedahan yang dibekalkan oleh setiap institusi adalah berbeza.

BAB VI

PENCAPAIAN KAJIAN, SUMBANGAN DAN KERJA-KERJA MASA HADAPAN

6.1 PENGENALAN

Bab ini dikhaskan untuk menerangkan pencapaian kajian dan sumbangan kepadabidang ini. Selain itu, cadangan untuk kerja-kerja masa depan juga diterangkan dalam bab ini. Oleh itu, bab ini diatur dalam Seksyen 6.2, 6.3, dan 6.4 untuk pencapaian kajian, sumbangan kajian, dan kerja-kerja masa depan, masing-masing. Seksyen 6.5 membentangkan ringkasan bab ini..

Secara khusus, Seksyen 6.3 dikembangkan dalam konteks beberapa subseksyen yang termasuk Seksyen 6.3.1, yang memberikan maklumat tentang Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk (*Design Science Research Knowledge Contribution Framework – DSRKCF*); diikuti oleh Seksyen 6.3.2, 6.3.3, 6.3.4, 6.3.5, dan 6.3.6 di mana sumbangan penilaian OntoAnkle dijelaskan dalam konteks kaedah penilaian realiti maya berdasarkan ontologi, aplikasi OntoAnkle, aplikasi pembedahan realiti maya, impak ke atas latihan dan pendidikan dalam ortopedik, dan impak lain.

6.2 PENCAPAIAN KAJIAN

Bab ini membincangkan pencapaian kajian dalam mencapai objektif yang telah ditetapkan dalam pendahuluan penyelidikan. Secara keseluruhan, penyelidikan ini berjaya mencapai objektifnya dengan mengenal pasti faktor-faktor kejayaan kritikal (CSFs), mereka bentuk ontologi domain yang kukuh untuk penilaian latihan realiti maya (VRT) dalam pembedahan buku lali ortopedik, dan membuktikan kegunaan kaedah penilaian yang dicadangkan.

Objektif pertama penyelidikan ini adalah untuk mengenal pasti faktor-faktor kejayaan kritikal (CSFs) yang memainkan peranan penting dalam penilaian VRT dalam bidang pembedahan buku lali ortopedik yang berkesan. Untuk mencapai objektif ini, tinjauan perpustakaan yang meluas telah dijalankan untuk mengumpulkan pengetahuan sedia ada mengenai aplikasi dan amalan VRT dalam bidang ortopedik. Tinjauan ini juga merangkumi kajian-kajian yang berkaitan dengan latihan pembedahan, penerimaan teknologi, dan metrik penilaian. Hasil kajian literatur mengenai CSFs telah dijelaskan dengan terperinci dalam Seksyen 2.3 Bab II dan diringkaskan secara visual dalam Rajah 2.1.

Kedua, penyelidikan ini menghasilkan reka bentuk ontologi domain yang sesuai untuk penilaian VRT dalam konteks pembedahan buku lali. Proses pembangunan ontologi ini melibatkan beberapa langkah utama, iaitu konseptualisasi, pemodelan, pengesahan, dan akhirnya, integrasi. Dalam fasa konseptualisasi, konsep asas dan hubungan yang berkaitan dengan VRT dalam pembedahan buku lali ortopedik dikenal pasti. Selanjutnya, ontologi tersebut dibentuk menggunakan bahasa pemodelan yang sesuai, memastikan setiap konsep didefinisikan dengan tepat, dan hubungan di antara mereka diwakili dengan baik. OntoUML, suatu variasi bahasa Unified Modeling Language (UML) yang digunakan khusus untuk menyatakan ontologi, berdasarkan konsep-konsep dalam Unified Foundational Ontology (UFO), digunakan dalam fasa ini. Kemudian, ontologi yang dibangun melalui pengesahan yang ketat untuk memastikan ketepatannya, kelengkapannya, dan kesesuaiannya dengan objektif penyelidikan. Maklum balas dari pakar domain juga didapatkan untuk menyempurnakan ontologi tersebut. Akhirnya, ontologi domain diintegrasikan ke dalam kerangka penilaian VRT untuk memudahkan interaksi yang lancar antara ontologi dan sistem VRT.

Akhirnya, untuk memperlihatkan kesesuaian dan keberkesanan praktikal kaedah penilaian VRT yang dicadangkan, yang dipandu oleh ontologi domain yang telah dibangun, penilaian kaedah penilaian yang berasaskan OntoAnkle digunakan untuk menilai VRT penggantian keseluruhan buku lali (TAR). CSFs yang sebelum ini dikenal pasti juga dimasukkan ke dalam kaedah penilaian sebagai komponen penting dalam

ontologi. Sebuah kaedah penilaian tradisional tanpa aplikasi OntoAnkle juga digunakan untuk membandingkan kegunaan kaedah penilaian yang dicadangkan.

Secara keseluruhannya, hasil kajian ini memberikan sumbangan yang signifikan kepada kemajuan aplikasi VRT dalam latihan pembedahan dan mempunyai implikasi untuk meningkatkan perkembangan kemahiran dan prestasi keseluruhan pakar bedah ortopedik. Kajian lanjut boleh membina diatas pencapaian ini untuk menyempurnakan dan meluaskan ontologi domain dan kerangka penilaian, khususnya untuk domain pembedahan lain, malah termasuk juga lain-lain latihan dalam bidang perubatan secara amnya.

6.3 SUMBANGAN KAJIAN

6.3.1 Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk

Gregor & Hevner (2013) memperkenalkan satu kerangka sumbangan pengetahuan untuk penyelidikan sains reka bentuk (DSR). Kerangka ini terdiri daripada tiga komponen utama: proses DSR, artifak penyelidikan yang dihasilkan, dan sumbangan pengetahuan yang dibuat. Proses DSR melibatkan menentukan masalah penyelidikan, mencipta teori reka bentuk, menilai teori reka bentuk melalui kaedah empirik, dan menyempurnakan teori reka bentuk berdasarkan hasil penilaian (Merwe, Gerber, & Smuts, 2019). Artifak penyelidikan yang dihasilkan merangkumi produk fizikal atau bukan fizikal dalam proses penyelidikan, seperti perisian, model, atau kaedah (Lee, Thomas, & Baskerville, 2015). Sumbangan pengetahuan yang dibuat termasuk kedua-dua ilham teoretikal dan ilham praktikal yang diperoleh melalui proses penyelidikan, seperti prinsip reka bentuk baru atau kaedah reka bentuk yang diperbaiki (Cautela et al., 2019).

Setiap peringkat tertentu dalam DSR mempunyai potensi untuk menghasilkan pelbagai jenis dan tahap sumbangan penyelidikan, bergantung kepada tahap kematangan sesuatu masalah atau penyelesaian itu, ketika kajian bermula (Sunkle, Kholkar, & Kulkarni, 2015). Kepelbagaian ini mencerminkan kedudukan projek penyelidikan dalam garis masa perkembangan pengetahuan dalam bidang tersebut, yang secara langsung berkaitan dengan ketersediaan dan kesesuaian kematangan

masalah dan kematangan penyelesaian yang berkaitan dengan projek DSR (Mettler 2011). Visualisasi proses ini diperlihatkan dalam Rajah 5.1, di mana matriks 2×2 digunakan untuk menggambarkan konteks projek penyelidikan dan potensi sumbangan penyelidikan DSR. Pada paksi x, konteks kematangan masalah digambarkan, bermula dari titik kematangan yang tinggi sehingga rendah. Sementara itu, paksi y pula mewakili kematangan semasa artifak yang wujud sebagai titik permulaan potensi untuk penyelesaian soalan penyelidikan, juga diukur dari titik kematangan yang tinggi sehingga rendah (Gregor & Hevner 2013).



Rajah 6.1 Kerangka Sumbangan Pengetahuan Penyelidikan Sains Reka Bentuk

Dalam situasi di mana kematangan kedua-dua penyelesaian dan masalah adalah tinggi (kuadran kiri bawah), istilah Reka Bentuk Rutin (*Routine Design*) digunakan untuk menggambarkan penyelidikan dan artifak yang dihasilkan (Gregor & Hevner 2013). Reka Bentuk Rutin merujuk kepada sumbangan penyelidikan yang melibatkan pembangunan dan aplikasi kaedah, teknik, atau artifak yang diketahui dan telah kukuh, untuk menyelesaikan masalah tertentu. Dalam konteks ini, para penyelidik memanfaatkan pengetahuan sedia ada dan amalan terbaik dalam domain tertentu untuk

mencipta penyelesaian untuk menangani cabaran-cabaran yang telah diketahui (Halstrøm & Galle, 2015). Sumbangan Reka Bentuk Rutin biasanya bersifat tambahan dan memberi tumpuan kepada menambahbaik kaedah sedia ada atau menyesuaikan mereka untuk konteks-konteks tertentu (Bapuji et al., 2019). Dari segi sumbangan pengetahuan baru, DSR yang dianggap sebagai Reka Bentuk Rutin mungkin memberikan sumbangan yang terlalu sedikit atau tiada sumbangan sama sekali.

Dalam keadaan kematangan masalah yang tinggi dan kematangan penyelesaian yang rendah (kuadran kiri atas), DSR boleh digambarkan dengan istilah Peningkatan (*Improvement*) (Gregor & Hevner 2013). Sumbangan Peningkatan melibatkan peningkatan kaedah, teknik, atau artifak sedia ada untuk mengatasi kelemahan mereka dan mencapai prestasi yang lebih baik (McLaren et al., 2011). Ini melibatkan pengenpastian kekurangan dalam pendekatan semasa dan mencadangkan modifikasi atau inovasi untuk menangani kelemahan tersebut (Carlsson et al., 2011). Sumbangan Peningkatan bertujuan untuk mengoptimumkan penyelesaian sedia ada untuk mencapai hasil yang lebih unggul. Dari segi sumbangan pengetahuan baru, DSR Peningkatan memberikan sumbangan kepada pengenpastian peluang aplikasi penyelidikan baru dan pengetahuan baru.

Kuadran kanan bawah dalam DSRCF mewakili satu situasi yang dikhususkan untuk penyelidikan yang dikategorikan sebagai Eksaptasi (*Exaptation*) (Gregor dan Hevner 2013). Eksaptasi melibatkan penyesuaian kaedah, teknik, atau artifak dari satu domain atau konteks yang sedia ada dan mengaplikasikannya untuk menyelesaikan masalah dalam domain atau konteks yang berbeza (Hevner dan Chatterjee 2010). Ini melibatkan penggunaan semula penyelesaian sedia ada untuk menangani cabaran baru, seringkali di luar penggunaan asal yang dirancang. Dari segi sumbangan pengetahuan baru, DSR yang dianggap sebagai Eksaptasi, memang menawarkan sumbangan pengetahuan baru selain daripada mengenal pasti masalah penyelidikan yang baru untuk diselesaikan.

Akhir sekali, istilah Ciptaan (*Invention*) merujuk kepada penciptaan kaedah, teknik, atau artifak yang benar-benar baru yang sebelum ini tidak pernah dikaji atau digunakan (He dan Luo, 2017). Ia melibatkan pembangunan inovasi yang unggul yang

memperkenalkan pendekatan baru dalam menyelesaikan masalah. Jelas sekali, situasi Ciptaan boleh terjadi disebabkan oleh kematangan yang rendah dalam kedua-dua penyelesaian dan masalah. Seterusnya, ini membolehkan Ciptaan menawarkan peluang untuk mendekati masalah penyelidikan yang benar-benar baru dan tiada penyelesaian yang pernah ada sebelum ini, selain daripada sumbangan yang menyeluruh dalam bentuk pengetahuan yang baru (Gregor dan Hevner 2013).

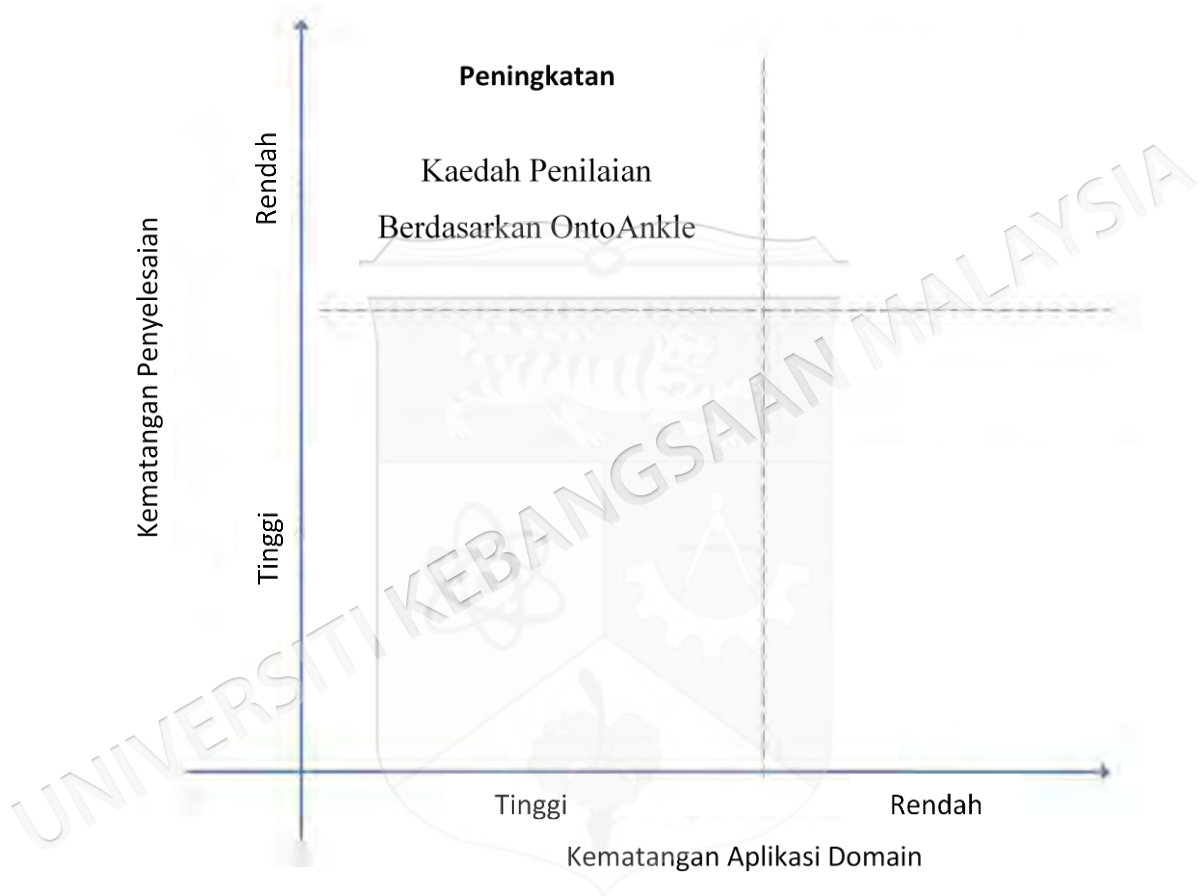
Kesimpulannya, kerangka ini boleh diterapkan dalam penilaian OntoAnkle dengan mengenal pasti bahawa masalah-masalah penyelidikan ini adalah dalam bentuk menilai keberkesanan VRT dalam pembedahan TAR, mencipta teori reka bentuk untuk kaedah penilaian, menilai kaedah yang dicipta melalui kaedah empirik dengan menggunakan pakar bedah ortopedik, dan menyempurnakan kaedah penilaian berdasarkan hasil penilaian. Artifak-artifak penyelidikan yang dihasilkan boleh dibahagikan kepada tiga iaitu kaedah penilaian berdasarkan ontologi, ontologi domain OntoAnkle itu sendiri, dan program VR Ankle. Seterusnya, sumbangan-sumbangan pengetahuan seperti yang disebutkan di atas boleh mempengaruhi latihan dan pendidikan dalam pembedahan ortopedik, melalui pengetahuan mengenai keberkesanan realiti maya dalam mengajar teknik pembedahan dan pengenalan kepada bahagian-bahagian yang perlu diperbaiki dalam program latihan pembedahan VR. Impak lain dari kajian ini termasuk potensi pengurangan kos latihan pembedahan, peningkatan keselamatan pesakit, dan kemungkinan untuk menangani isu kekurangan pakar bedah.

6.3.2 Kaedah Penilaian VR berasaskan Ontologi

Reka bentuk dan pembangunan ontologi domain OntoAnkle yang khusus disesuaikan untuk penilaian VRT dalam pembedahan buku lali ortopedik berfungsi sebagai representasi berstruktur dan formal pengetahuan domain, memudahkan proses penilaian secara sistematik dan piawai. Dengan mengikuti proses pembangunan ontologi, termasuk konseptualisasi, pemodelan, pengesahan, dan integrasi, kajian ini menyediakan artifak inovatif dan praktikal untuk penilaian VRT dalam konteks ortopedik.

Menggunakan DSRKCF, sumbangan artifak kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle termasuk dalam kategori Peningkatan (Rajah 5.2). Ini disebabkan oleh

kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle melalui kajian ini meningkatkan proses penilaian VRT dengan menyediakan pendekatan yang lebih tertumpu dan kontekstual berbanding pendekatan penilaian sedia ada yang diketahui. Memasukkan CSFs dari ontologi juga memperkuat lagi kelengkapan dan praktikaliti penilaian yang dihasilkan, membolehkan penambahbaikan yang boleh dilaksanakan dan bersasar untuk kegunaan program VR Ankle.



Rajah 6.2 Kedudukan penilaian berdasarkan OntoAnkle dalam DSRKCF

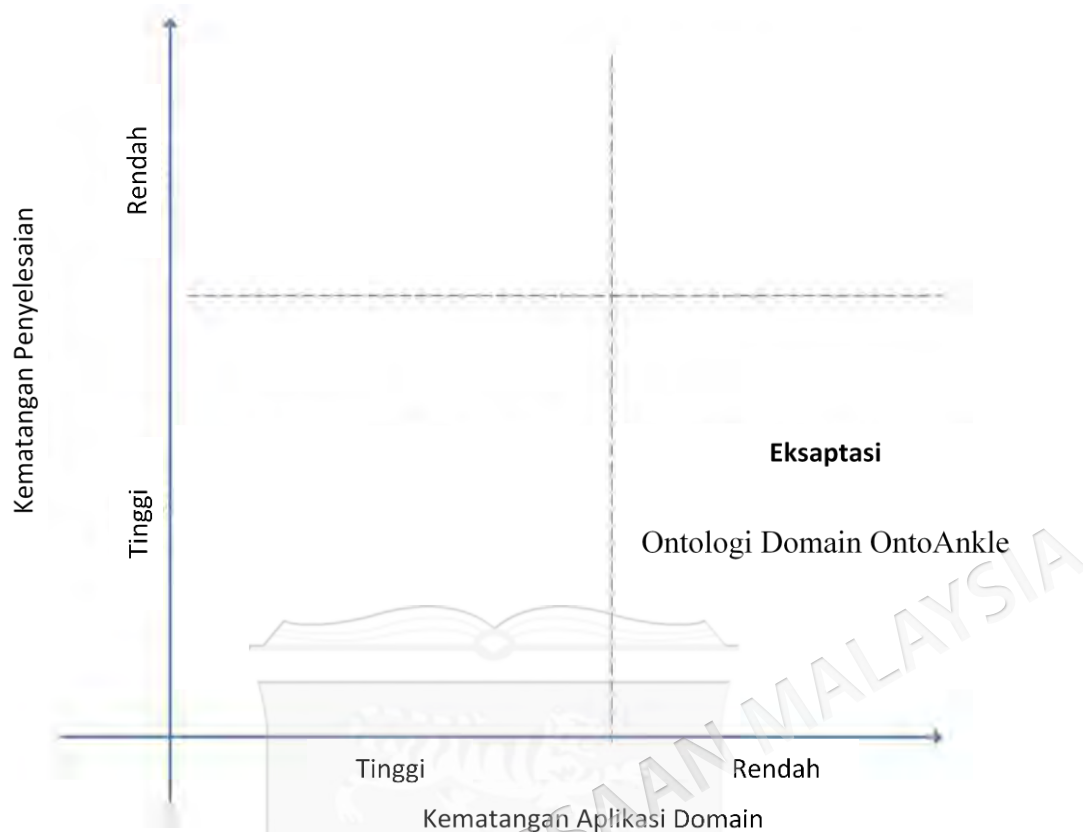
Suatu elemen penting yang diperlukan untuk membuktikan sumbangan DSR melalui Peningkatan seperti kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle adalah bukti prestasi atau keberkesanannya yang lebih baik berbanding dengan kaedah sedia ada (Petter, Khazanchi, dan Murphy, 2010). Oleh itu, sebuah kaedah penilaian tradisional untuk VR Ankle telah digunakan dalam kajian ini. Keupayaan kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle untuk menyasarkan dan melaksanakan tindakan yang lebih komprehensif dan praktikal berdasarkan CSFs berbanding kaedah tradisional, turut mengesahkan kepentingannya dalam memajukan bidang penilaian VRT.

Kesimpulannya, mengikut DSRKCF, kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle memberi sumbangan dalam bentuk Peningkatan. Kaedah penilaian ini menawarkan pendekatan yang lebih bertumpu dan berkonteks, yang boleh meningkatkan kebergunaan program VR Ankle. Gambaran berstruktur pengetahuan domain dalam penilaian yang dihasilkan ini juga memastikan pendekatan penilaian yang lebih sistematik dan piawai. Artifak inovatif ini menjanjikan masa depan yang cerah untuk VRT dalam bidang ortopedik.

6.3.3 OntoAnkle

Idea ontologi dalam realiti maya (*virtual reality* – VR) timbul daripada kesedaran tentang kepentingan konteks dan kepakaran domain semasa mencipta mana-mana persekitaran maya tertentu di mana realisme adalah penting. Dengan kata lain, apabila seorang pembangun VR membina dunia maya tanpa maklumat dari pakar dalam bidang tertentu, persekitaran maya yang diinginkan mungkin tidak realistik sehingga tidak memberi impak kepada pengguna seperti yang dikehendaki. Ontologi merujuk kepada penggunaan gambaran formal dan berstruktur bagi pengetahuan dan konsep untuk memudahkan organisasi, pemahaman, dan interaksi dalam persekitaran maya. Ontologi, dalam konteks VR, bertindak sebagai rangkaian asas yang menentukan konsep, entiti, hubungan, dan peraturan yang mengawal dunia maya, mencipta pemahaman bersama antara entiti maya, pengguna, dan aplikasi.

Mengikut DSRKCF, artifak ontologi domain OntoAnkle boleh dianggap sebagai sumbangan Eksaptasi (Rajah 5.3). Ini sesuai dengan kenyataan bahawa ontologi domain OntoAnkle menyumbang dengan menyesuaikan dan menggunakan semula metodologi ontologi sedia ada dari domain lain untuk memenuhi keperluan khusus penilaian VRT dalam pembedahan buku lali ortopedik. Tambahan lagi, OntoAnkle juga boleh berfungsi sebagai model untuk program latihan VR yang lain dalam ruangan pembedahan ortopedik, secara asasnya menjadikan ia sebuah penyelesaian sedia ada yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah baru, seperti yang didefinisikan oleh Gregor dan Hevner (2013).



Rajah 6.3 Kedudukan ontologi domain OntoAnkle dalam DSRKCF

Kesahihan sumbangan Eksaptasi bergantung sepenuhnya kepada bukti yang menyokong bahawa perluasan penyelesaian sedia ada ke bidang baru adalah sesuatu yang tidak mudah dan menarik (Andriani, Ali, dan Mastrogiorgio, 2017). Walaupun kekurangan ontologi domain dalam pembedahan ortopedik adalah motivasi awal pada permulaan kajian ini, kerumitan dan pengkhususan yang terlibat dalam subjek ortopedik adalah titik penting yang sebenar nya membawa kepada penghasilan kajian dalam tesis ini. Tanpa OntoAnkle, latihan pembedahan dalam konteks ortopedik mungkin mustahil untuk diterjemahkan dengan sesuai ke dalam program VR. Melalui hujah-hujah yang dibentangkan di atas, sumbangan Eksaptasi OntoAnkle benar-benar disokong oleh kepentingan dan daya tarikan OntoAnkle dalam bidang ortopedik.

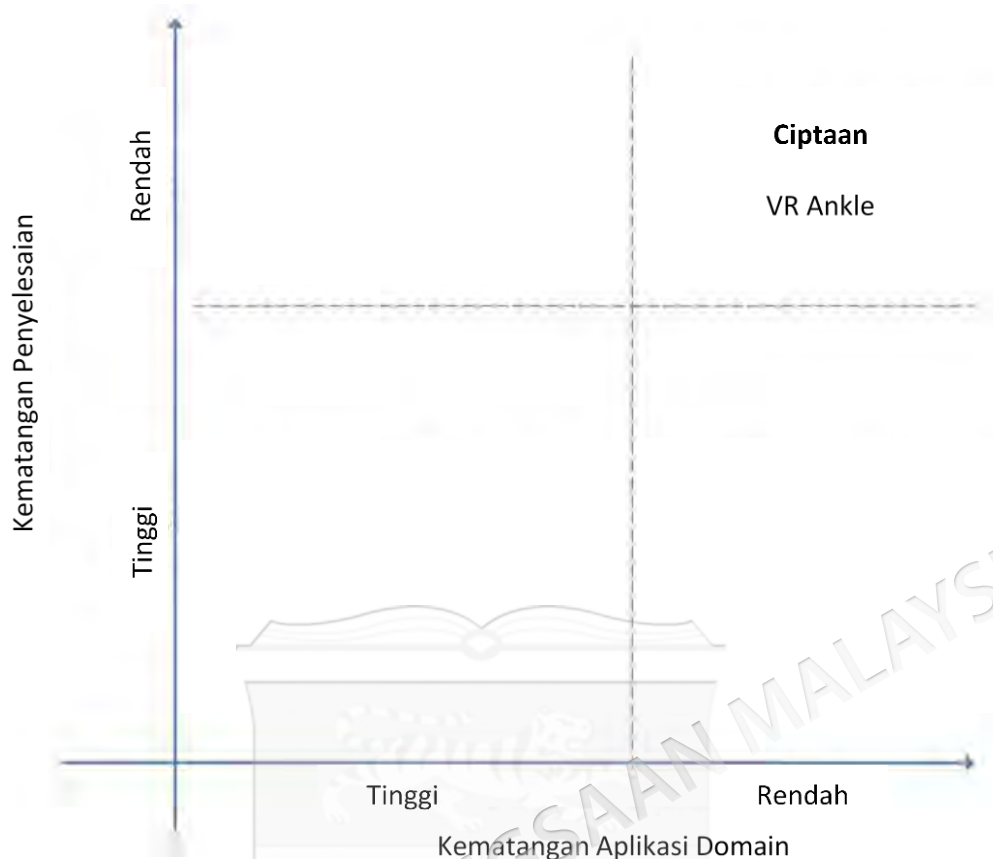
Kesimpulannya, ontologi domain OntoAnkle adalah contoh sumbangan Eksaptasi yang menyesuaikan metodologi sedia ada untuk latihan VR dalam pembedahan ortopedik dengan berkesan. Ontologi memainkan peranan penting dalam realiti maya, membolehkan realisme dan pemahaman bersama dalam persekitaran

maya. Kepentingannya terletak dalam menghubungkan jurang antara kepakaran pembedahan dan penciptaan dunia maya, menjadikan latihan VR dalam bidang yang rumit menjadi mungkin dan berkesan.

6.3.4 VR Ankle

Penggunaan ontologi domain OntoAnkle telah memudahkan terjemahan yang lancar dan menyeluruh bagi aspek yang rumit dalam pembedahan buku lali. Hasilnya, latihan VRT yang disesuaikan khas untuk pembedahan TAR, VR Ankle, telah berjaya memberikan artifak VRT yang inovatif dan praktikal yang menawarkan pengalaman latihan yang sangat realistik dan mendalam untuk pembedahan TAR (Mazli et al. 2019, 2017). Sebahagian besar kejayaan VR Ankle adalah disebabkan oleh kebolehan program ini untuk merangkumi semua aspek VRT, dari kesesuaian perkakas dan perisian, hingga realisme dan faktor kawalan, kebolehgunaan, faktor pelajar dan hasil pembelajaran, dan faktor-faktor pembatasan, mengikut panduan ontologi domain OntoAnkle. Pendekatan ini boleh diadaptasi dan digunakan dalam program latihan pembedahan VR lain, seterusnya membolehkan latihan yang berkesan dan lancar bagi pakar bedah dan akhirnya memberi faedah kepada pesakit.

Keberkesanan VR sebagai alat latihan telah ditunjukkan dalam pelbagai prosedur pembedahan dalam domain ortopedik menggunakan pelbagai metrik prestasi (Cho et al. 2017; Cho et al. 2018; Clark 2021; Fallavollita et al. 2016; Hooper et al. 2019; Pahuta et al. 2012). Walau bagaimanapun, kekurangan yang menghalang proses pembelajaran dan latihan masih wujud dalam teknologi VR semasa, terutamanya dalam domain ortopedik. Kekurangan ini diramalkan disebabkan oleh kekurangan fahaman yang menyeluruh tentang kandungan VRT di kalangan pihak berkepentingan (pakar bedah ortopedik dan pembangun VR), baik semasa pembangunan mahupun semasa penilaian. Oleh itu, penggunaan OntoAnkle dalam VR Ankle tidak hanya menyelesaikan masalah yang sebelum ini terabai, tetapi juga menawarkan penyelesaian inovatif yang belum pernah dilaksanakan sebelum ini. Oleh itu, sumbangan artifak VR Ankle termasuk dalam kategori Ciptaan berdasarkan DSRKCF (Rajah 5.4).



Rajah 6.4 Kedudukan VR Ankle dalam DSRKCF

Kesimpulannya, penggunaan ontologi domain OntoAnkle membawa kepada kejayaan pembangunan VR Ankle, sebuah program VRT yang sangat realistik dan mendalam untuk pembedahan TAR yang berkesan. Dengan merangkumi semua aspek penting VRT dan menangani kekurangan dalam teknologi VR semasa, VR Ankle menawarkan penyelesaian inovatif yang boleh disesuaikan untuk program latihan pembedahan lain. Sumbangan VR Ankle termasuk dalam kategori Ciptaan berdasarkan DSRKCF, menandakan kemajuan transformasi dalam pendidikan perubatan. Kajian ini menekankan kepentingan kefahaman yang menyeluruh di antara pihak berkepentingan untuk meningkatkan latihan pembedahan dan akhirnya memberi faedah tambahan kepada pesakit.

6.3.5 Impak pada Latihan dan Pendidikan dalam Konteks Ortopedik

Salah satu sumbangan utama program OntoAnkle terhadap latihan dan pendidikan dalam pembedahan ortopedik adalah kemampuannya untuk menyediakan pengalaman

pembelajaran yang sangat realistik dan mendalam bagi peserta latihan. Melalui penggunaan perkakas dan perisian VR yang canggih, serta model anatomi kaki yang sangat terperinci dan tepat, peserta latihan dapat berlatih dan menyempurnakan kemahiran pembedahan mereka dalam persekitaran maya yang hampir sama dengan bilik pembedahan sebenar. Ini membolehkan pembelajaran dan penguasaan kemahiran yang lebih cepat, serta mengurangkan risiko kesilapan dan komplikasi semasa pembedahan sebenar (Karaliotas 2011).

Sumbangan lain program OntoAnkle adalah penekanan terhadap pembelajaran aktif dan kawalan pelajar. Program ini membolehkan peserta latihan membuat keputusan mengenai pilihan pembelajaran mereka, termasuk alat latihan, kemahiran penilaian, dan intensiti pembelajaran. Pendekatan ini, bersama-sama dengan penilaian dan maklum balas segera, menggalakkan pembelajaran yang diarahkan sendiri dan meningkatkan motivasi dan penglibatan peserta latihan dalam proses pembelajaran (Goh et al., 2019).

Tambahan lagi, salah satu kelebihan utama program OntoAnkle adalah kemampuannya untuk menyediakan persekitaran selamat dan terkawal bagi latihan praktikal dan teoretikal pembedahan. Dalam latihan pembedahan tradisional, kesilapan semasa pembedahan sebenar atau pembedahan menggunakan mayat boleh meningkatkan risiko yang tidak dapat dielakkan, baik kepada peserta latihan mahupun pesakit (Ruoranen, Antikainen, dan Eteläpelto, 2017). Namun, dengan teknologi VR, pelatih dapat melakukan pembedahan simulasi dalam suasana bebas risiko, mengurangkan kemungkinan bahaya kepada pesakit dan menyediakan persekitaran pembelajaran yang rendah tekanan bagi pelatih (Akhtar et al., 2015). Penekanan OntoAnkle terhadap keselamatan tidak hanya menanamkan keyakinan dalam peserta latihan tetapi juga membolehkan mereka meneroka teknik dan pendekatan yang berbeza tanpa rasa takut terhadap kesan buruk, seterusnya menyumbang kepada perkembangan kemahiran dan peningkatan keselamatan pesakit dalam situasi pembedahan sebenar.

Akhir sekali, program OntoAnkle juga berfungsi sebagai alat penilaian yang berharga untuk menilai kemajuan dan kemahiran pelatih. Platform VR ini merakam dan menganalisis tindakan dan prestasi yang dibuat oleh pelatih semasa pembedahan maya,

membolehkan pengajar untuk memberikan maklum balas yang berpandu dan membina. Penilaian terperinci ini membolehkan pengajar mengenal pasti bidang kelemahan atau peningkatan dalam teknik pelatih dan menyesuaikan rancangan pelajaran mereka dengan latihan yang diterima oleh pelatih. Dengan memberikan maklum balas secara segera, program *OntoAnkle* mendorong pendekatan pembelajaran yang diarahkan sendiri, meyakinkan pelatih untuk terlibat secara aktif dalam pembangunan kemahiran mereka dan mamacu kemajuan mereka dari semasa ke semasa (Katz-Sidlow, Baer, dan Gershel, 2016). Sebagai rumusan, proses penilaian yang disesuaikan ini boleh digunakan untuk meningkatkan keberkesanan program latihan, menghasilkan pakar bedah yang lebih kompeten dan yakin dalam bidang pembedahan ortopedik (Phillips et al., 2016).

6.3.6 Impak-impak Lain

Program *OntoAnkle* boleh memberikan sumbangan yang signifikan dalam mengurangkan kos yang relevan dengan kaedah latihan pembedahan tradisional. Dalam pendekatan latihan konvensional, penggunaan mayat dan model haiwan hidup boleh membawa kepada masalah kos dan logistik yang mencabar. Sebaliknya, dengan penggunaan teknologi VR, pelatih dapat berlatih berulang-ulang kali dalam persekitaran maya, justeru menghapuskan keperluan untuk sumber fizikal yang mahal. Persekitaran latihan maya ini juga membenarkan pelatih untuk menyempurnakan kemahiran pembedahan mereka tanpa menanggung kos yang biasanya berkaitan dengan kaedah latihan tradisional, akhirnya menjadikan pendidikan pembedahan lebih mudah diakses dan menjimatkan kos.

Impak lain yang signifikan dari program *OntoAnkle* juga terletak pada kesan positifnya terhadap keselamatan pesakit. Dengan menyediakan persekitaran maya yang sangat realistik bagi pelatih untuk berlatih dan menyempurnakan kemahiran pembedahan mereka, pendedahan pesakit kepada kesilapan dan komplikasi yang tidak perlu dapat dikurangkan (Akhtar et al., 2015). Seterusnya, apabila pelatih boleh melakukan pembedahan maya secara berulang kali dan menerima maklum balas dalam persekitaran yang selamat ini, mereka dapat mengembangkan kecekapan dan keyakinan dengan lebih cepat dan berkesan sebelum melakukan prosedur pembedahan sebenar pada pesakit. Penguasaan kemahiran dan kebiasaan dengan teknik pembedahan yang

diperoleh yang ditingkatkan melalui program OntoAnkle, dapat menghasilkan ketepatan pembedahan yang lebih baik dan mengurangkan kemungkinan kesilapan berlaku semasa pembedahan sebenar. Hasilnya, pesakit mungkin mengalami hasil pembedahan yang lebih baik, masa pemulihan yang lebih cepat, dan komplikasi selepas pembedahan yang berkurangan, akhirnya menyumbang kepada standard keselamatan pesakit yang lebih tinggi dalam bidang pembedahan ortopedik.

Akhirnya, program VR Ankle mempunyai potensi untuk memberi kesan besar pada tenaga kerja pembedahan (Mazli et al. 2019, 2017). Dengan menggunakan program VRT seperti VR Ankle, kemungkinan untuk melatih pakar bedah dengan jumlah yang lebih besar dalam jangka masa yang lebih cekap adalah tidak mustahil. Keupayaan ini dapat memainkan peranan penting dalam mengatasi kekurangan dalam tenaga kerja pembedahan, terutamanya di kawasan yang menghadapi kekurangan pakar bedah khusus. Selain itu, akses kepada program ini setelah menyelesaikan latihan formal mereka, juga membolehkan pakar bedah untuk terus menyempurnakan kemahiran mereka, mendapat manfaat daripada pembangunan profesional berterusan. Hasilnya, pakar bedah ini dapat terus mengikuti perkembangan terkini dan amalan terbaik dalam pembedahan ortopedik, menghasilkan hasil pembedahan yang lebih baik dan peningkatan penjagaan pesakit. Kebolehubahan dan kemudahan program VR Ankle membolehkan peningkatan kemahiran berterusan, menjadikannya sumber yang bernilai untuk memelihara dan meningkatkan kecekapan pakar bedah sepanjang kerjaya mereka.

6.4 KESIMPULAN DAN KERJA-KERJA MASA HADAPAN

6.4.1 Kesimpulan

Secara keseluruhan, kajian ini telah memberikan sumbangan yang signifikan kepada bidang VRT dalam pembedahan buku lali ortopedik. Pembangunan ontologi domain OntoAnkle dan integrasinya ke dalam program VR Ankle telah menghasilkan artifak VRT yang inovatif dan praktikal. Kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle menawarkan pendekatan yang lebih berfokus dan sistematik untuk menilai keberkesanan VRT, menjurus kepada hasil latihan yang lebih baik dan potensi penjimatan kos. Penekanan pada realisme, kawalan pembelajar, dan pembelajaran aktif

dengan program VR Ankle mempunyai potensi untuk merevolusikan latihan pembedahan, meningkatkan pembangunan kemahiran, dan meningkatkan keselamatan pesakit.

Selain itu, aplikasi OntoAnkle dan program VR Ankle mempunyai implikasi yang lebih luas bagi program latihan pembedahan lain. Dengan menyesuaikan dan mengadaptasi ontologi domain OntoAnkle dan kaedah penilaian, penyelesaian latihan VR dapat disesuaikan untuk domain pembedahan yang berbeza, menangani keperluan latihan khusus dan mengoptimumkan hasil pembelajaran.

6.4.2 Kerja-kerja Masa Hadapan

Walaupun kajian ini telah mencapai pencapaian yang signifikan dalam bidang latihan pembedahan VR, terdapat beberapa bidang yang boleh turut mendapat manfaat dari penyelidikan dan pembangunan lanjut. Dalam penyelidikan masa depan, ontologi domain OntoAnkle dapat diperluas dan disempurnakan untuk merangkumi lebih banyak prosedur pembedahan dan pakar bedah dalam bidang ortopedik. Kolaborasi dengan pakar domain dapat membantu memperkayakan ontologi dengan maklumat anatomi dan prosedur yang lebih terperinci dan tepat, memastikan gambaran komprehensif bagi domain pembedahan ortopedik. Kerjasama ini tidak hanya akan meningkatkan keberkesanan program VR Ankle, tetapi juga menjadikannya boleh digunakan dalam lebih banyak situasi latihan pembedahan ortopedik.

Integrasi algoritma AI dan pembelajaran mesin ke dalam program VR Ankle boleh menjadi satu haluan yang menjanjikan potensi yang cerah untuk kajian masa depan. Dengan memasukkan mekanisme maklum balas AI, program ini dapat menawarkan panduan waktu nyata kepada pelatih, disamping menyesuaikan pengalaman pembelajaran berdasarkan prestasi dan keperluan pembelajaran individu. Pendekatan yang menyasarkan individu untuk latihan ini dapat mengoptimumkan penguasaan dan pemeliharaan kemahiran setiap pelatih, membawa kepada potensi untuk menghasilkan kualiti pembedahan yang lebih baik.

Untuk menilai kesan latihan VR dalam jangka masa panjang, penyelidikan masa depan harus memberi tumpuan kepada menjalankan kajian jangka masa panjang yang

menilai pemeliharaan kemahiran pembedahan yang diperoleh melalui latihan VR. Kajian pemeliharaan kemahiran jangka masa panjang akan memberikan informasi berharga tentang keberkesanan latihan VR dan kesannya terhadap prestasi pakar bedah dalam tetapan pembedahan sebenar. Kajian-kajian ini akan membantu membina pemahaman yang lebih komprehensif tentang manfaat jangka panjang latihan pembedahan berdasarkan VR.

Kajian pelbagai pusat yang melibatkan kerjasama dengan beberapa institusi juga dapat mengukuhkan bukti yang menyokong keberkesanan program latihan VR seperti VR Ankle. Dengan membandingkan hasil pakar bedah yang terlatih dalam VR dengan mereka yang dilatih menggunakan kaedah tradisional, kajian-kajian ini dapat memberikan bukti yang lebih kukuh mengenai manfaat latihan pembedahan berdasarkan VR. Kajian-kajian dalam skala besar ini akan menyumbang kepada penerimaan lebih meluas latihan VR dalam pembedahan ortopedik.

Penambahan teknologi maklum balas haptik ke dalam program VR Ankle dapat meningkatkan realisme dan pengalaman sentuhan untuk pelatih semasa simulasi pembedahan maya. Maklum balas haptik, yang menyediakan rasa sentuhan dan maklum balas tekanan, dapat menghanyutkan pelatih dalam persekitaran maya, menjadikan pengalaman latihan yang lebih tulen dan berkesan. Penyelidikan tentang integrasi maklum balas haptik dalam VR Ankle dan penilaian kesannya terhadap pembangunan kemahiran pembedahan akan menjadi haluan yang sesuai untuk kajian lanjutan yang berpotensi tinggi.

Seterusnya, memastikan aksesibiliti dan kemampuan menerima latihan VR adalah penting untuk pelaksanaan luasnya dalam program latihan pembedahan di pelbagai persekitaran. Penyelidikan masa depan harus memberi tumpuan kepada mengoptimumkan teknologi dan perisian VR untuk menjadikannya lebih mudah diakses oleh audiens yang lebih luas, termasuk fasiliti kesihatan dan institusi latihan dengan sumber yang terhad. Usaha untuk menjadikan latihan VR lebih terjangkau dan mesra pengguna dapat mendorong penerimaannya dengan skala yang lebih besar.

Akhirnya, penyelidikan masa depan juga perlu meneroka pendekatan latihan campuran (hybrid) yang menggabungkan latihan VR dengan modaliti pendidikan lain, seperti penggunaan mayat atau latihan simulasi tradisional. Siasatan untuk membongkarkan bagaimana latihan VR dapat melengkapkan dan meningkatkan kaedah latihan sedia ada, serta dapat memberikan pengalaman latihan yang komprehensif dan bersepadu bagi pelatih pembedahan, adalah sangat bermakna untuk diterokai. Pendekatan hybrid ini dapat memanfaatkan kelebihan setiap modaliti latihan, dan akhirnya menghasilkan program latihan pembedahan yang lebih berkesan dan serbaguna.

Dengan memenuhi cadangan-cadangan seperti yang disebutkan diatas dalam merancang penyelidikan masa depan, bidang latihan pembedahan VR dalam ortopedik akan dapat terus berkembang dan maju, akhirnya memberi manfaat kepada pakar bedah, pesakit, dan bidang pembedahan ortopedik secara keseluruhan.

6.5 KESIMPULAN

Bab ini memberikan gambaran menyeluruh tentang pencapaian, sumbangan, dan impak kajian terhadap bidang. Bab ini diatur dalam tiga bahagian utama: Pencapaian Penyelidikan, Sumbangan Penyelidikan, dan Kerja-kerja Masa Hadapan. Selain itu, ia membentangkan DSRKCF untuk mengelaskan sumbangan penyelidikan.

Dalam Bahagian 5.2, pencapaian penyelidikan dalam tesis ini ditekankan. Kajian ini berjaya mengenal pasti CSF untuk penilaian VRT yang berkesan dalam pembedahan buku lali ortopedik melalui tinjauan perpustakaan yang luas. Kajian ini juga merancang dan membangunkan ontologi domain OntoAnkle, yang berfungsi sebagai gambaran berstruktur pengetahuan domain untuk penilaian VRT. Selain itu, kaedah penilaian OntoAnkle-derived telah digunakan untuk menilai VRT dalam pembedahan TAR (VR Ankle), menunjukkan kesesuaiannya dan keberkesanannya secara praktikal.

Bahagian 5.3 mengkaji sumbangan penyelidikan dengan menggunakan DSRKCF. Kaedah penilaian berdasarkan OntoAnkle dikelaskan sebagai sumbangan Peningkatan, kerana ia meningkatkan proses penilaian berbanding kaedah yang sedia

ada dan menggabungkan CSF untuk memastikan pendekatan yang komprehensif. Ontologi domain OntoAnkle dianggap sebagai sumbangan Exaptation, kerana ia menyesuaikan metodologi ontologi yang sedia ada untuk memenuhi keperluan penilaian VRT dalam pembedahan buku lali ortopedik. VR Ankle, program latihan VR, dikategorikan sebagai sumbangan Invention kerana ia mewakili satu kaedah yang sama sekali baru dan transformatif dalam bidang pendidikan perubatan.

Dalam Bahagian 5.3.3, impak OntoAnkle ke atas latihan dan pendidikan dalam konteks ortopedik dibincangkan. Kajian ini telah menunjukkan bahawa program VR Ankle menawarkan pengalaman pembelajaran yang sangat realistik dan menyeluruh, menggalakkan pembelajaran aktif dan kawalan sendiri pelajar. Ia juga berpotensi mengurangkan kos yang berkaitan dengan kaedah latihan pembedahan tradisional dan meningkatkan keselamatan pesakit dengan mengurangkan kesilapan semasa pembedahan. Dalam Bahagian 5.3.4, impak lain OntoAnkle juga diperhalusi. Potensi program untuk mengurangkan kos latihan pembedahan, meningkatkan keselamatan pesakit, dan mengatasi kekurangan tenaga kerja pembedahan ditekankan.

Akhirnya, dalam Bahagian 5.4, potensi dan hala tuju kajian lanjutan penyelidikan dicadangkan. Ini termasuk memperluas dan menyempurnakan ontologi domain OntoAnkle, menggabungkan algoritma AI dan pembelajaran mesin ke dalam program VR Ankle, menjalankan kajian jangka masa panjang mengenai pemeliharaan kemahiran, dan meneroka integrasi maklum balas haptik. Selain itu, usaha untuk menjadikan latihan VR lebih mudah diakses dan terjangkau, serta menyelidiki pendekatan latihan hybrid, dicadangkan untuk meneruskan kemajuan bidang latihan pembedahan VR dalam ortopedik.

Secara keseluruhan, bab ini menunjukkan sumbangan yang signifikan kajian OntoAnkle kepada bidang latihan pembedahan VR dan potensinya untuk meningkatkan pendidikan pembedahan, keselamatan pesakit, dan kecekapan penjagaan kesihatan. Kaedah penilaian inovatif, ontologi domain, dan program latihan VR menjanjikan kemajuan masa depan dalam latihan pembedahan ortopedik dan bidang lain.

RUJUKAN

- Ahmad, M. N., Badr, K. B. A., Colomb, R. M. & Ibrahim, R. 2012. Ontology-based applications in information systems research: Through the lens of design science research methodology. *Proceedings - Pacific Asia Conference on Information Systems, PACIS 2012*.
- Ahmad, M. N., Badr, K. B. A., Salwana, E., Zakaria, N. H., Tahar, Z. & Sattar, A. 2018. An ontology for the waste management domain. *Proceedings of the 22nd Pacific Asia Conference on Information Systems - Opportunities and Challenges for the Digitized Society: Are We Ready? PACIS 2018*.
- Aïm, F., Lonjon, G., Hannouche, D., & Nizard, R. 2016. Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery. *Arthroscopy* 32(1): 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.07.023>.
- Akdere, M., Jiang, Y. & Lobo, F. D. 2021. Evaluation and assessment of virtual reality-based simulated training: exploring the human–technology frontier. *European Journal of Training and Development* 46(5/6): 434–449. doi: 10.1108/EJTD-12-2020-0178.
- Akhtar, K., Sugand, K., Sperrin, M., Cobb, J., Standfield, N., & Gupte, C. 2015. Training safer orthopedic surgeons. *Acta Orthopaedica* 86: 616 - 621.
- American Orthopaedic Foot & Ankle Society Annual Meeting 2019. Wright Medical's Total Ankle Replacement System. *American Orthopaedic Foot & Ankle Society*.
- Ammann-Reiffer, C., Kläy, A., & Keller, U. 2022. Virtual reality as a therapy tool for walking activities in pediatric neurorehabilitation: Usability and user experience evaluation. *JMIR Serious Games* 10(3): e38509.
- Andress, S., Johnson, A., Unberath, M., Winkler, A. F., Yu, K., Fotouhi, J., Weidert, S., et al. 2018. On-the-fly augmented reality for orthopedic surgery using a multimodal fiducial. *Journal of Medical Imaging* 5(02): 021209–021209. doi:10.1117/1.jmi.5.2.021209.
- Andriani, P., Ali, A., & Mastrogiorgio, M. 2017. Measuring exaptation and its impact on innovation, search, and problem solving. *Organization Science* 28(2): 320–338.
- Atesok, K., Mabrey, J. D., Jazrawi, L. M. & Egol, K. A. 2012. Surgical simulation in orthopaedic skills training. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 20(7): 410–22 doi:10.5435/JAAOS-20-06-410.
- Atli, K., Selman, W., & Ray, A. 2021. A comprehensive multicomponent neurosurgical course with use of virtual reality: Modernizing the medical classroom. *Journal of Surgical Education* 78(4): 1350–1356.

- Bajuri, M.Y., Benferdia, Y. & Ahmad, M.N. 2021. Critical success factors for virtual reality applications in orthopaedic surgical training: A systematic literature review. *IEEE Access* 9: 128574–128589.
- Bajuri, M.Y., Zamri, K.S., Ahmad, M.N. & Mohd Ismail, M.I. 2019. Virtual reality ideal learning: In: *Badioze Zaman, H., et al. Advances in Visual Informatics. IVIC 2019. Lecture Notes in Computer Science (182–189), vol 11870. Springer, Cham.*
- Banaszek, D., You, D., Chang, J., Pickell, M., Hesse, D., Hopman, W. M., Borschneck, D., et al. 2017. Virtual reality compared with bench-top simulation in the acquisition of arthroscopic skill: A randomized controlled trial. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume* 99(7): e34. doi:10.2106/JBJS.16.00324.
- Bapuji, H., Hora, M., Saeed, A., & Turner, S. 2019. How understanding-based redesign influences the pattern of actions and effectiveness of routines. *Journal of Management* 45: 2132 - 2162.
- Barg, A., Wimmer, M. D., Wiewiorski, M., Wirtz, D. C., Pagenstert, G. I. & Valderrabano, V. 2015. Total ankle replacement-indications, implant designs, and results. *Deutsches Ärzteblatt International* 112(11): 177. doi:10.3238/arztebl.2015.0177.
- Benferdia, Y., Ahmad, M. N., Mustapha, M., Baharin, H. & Bajuri, M. Y. 2018. Critical success factors for virtual reality-based training in ophthalmology domain. *Journal of Health & Medical Informatics* 09: 318. doi:10.4172/2157-7420.1000318.
- Benferdia, Y., Ahmad, M.N., Bajuri, M.Y. & Mustafa, M. 2020. Ontologies applications in virtual reality training domain: A review and future direction. *24th Pacific Asia Conference on Information Systems.*
- Benferdia, Y., Md Ali, M. A., Leong, L. K., Isa, M. H., Mahdy, Z. A., Ahmad, M. N., & Shapii, A. 2023. Systematic review on ontology applications in virtual reality training domain: design components, roles, and research directions. *Journal of Electronic Imaging* 32(2): 021403-021403.
- Benferdia, Y., Md. Ali, M. A., Leong, L. K., Isa, M. H., A. Mahdy, Z., Ahmad, M. N., Shapii, A. 2022. Systematic review on ontology applications in virtual reality training domain: design components, roles, and research directions. *Journal of Electronic Imaging* 32(2): 1-31.
- Benferdia, Y., Ahmad, M. N., Mustapha, M. 2021. OntoPhaco: An Ontology for Virtual Reality Training in Ophthalmology Domain – A Case Study of Cataract Surgery. *IEEEAccess* 9(2021): 152347-152378.
- Blumstein, G., Zukotynski, B., Cevallos, N., Ishmael, C., Zoller, S., Burke, Z., Clarkson, S., et al. 2020. Randomized trial of a virtual reality tool to teach

- surgical technique for tibial shaft fracture intramedullary nailing. *Journal of Surgical Education* 77(4): 969-977. doi:10.1016/j.jsurg.2020.01.002.
- Buttussi, F. & Chittaro, L. 2018. Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24(2): 1063-1076.
- Cannon, W. D., Garrett, W. E., Hunter, R. E., Sweeney, H. J., Eckhoff, D. G., Nicandri, G. T., Hutchinson, M. R., et al. 2014. Improving residency training in arthroscopic knee surgery with use of a virtual-reality simulator: A randomized blinded study. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume* 96(21): 1798-1806.
- Carlsson, S.A., Henningsson, S., Hrastinski, S., and Keller, C. 2011. Socio-Technical Is Design Science Research: Developing Design Theory for Is Integration Management. *Information Systems and e-Business Management* 9(1): 109-131.
- Carruth, D. W. 2017. Virtual reality for education and workforce training. *ICETA 2017 - 15th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, Proceedings*. doi:10.1109/ICETA.2017.8102472
- Carter, B. N. 1952. The fruition of Halsted's concept of surgical training. *Surgery* 32(3): 518-527.
- Cautela, C., Mortati, M., Dell'Era, C., & Gastaldi, L. 2019. The impact of artificial intelligence on design thinking practice: Insights from the ecosystem of startups. *Strategic Design Research Journal* 12(1): 114-134.
- Chittaro, L., & Zangrando, N. 2010. The persuasive power of virtual reality: effects of simulated human distress on attitudes towards fire safety. In *Persuasive Technology: 5th International Conference, PERSUASIVE 2010, Copenhagen, Denmark, June 7-10, 2010. Proceedings 5 (pp. 58-69)*. Springer Berlin Heidelberg.
- Cho, H. S., Park, Y. K., Gupta, S., Yoon, C., Han, I., Kim, H. S., Choi, H., et al. 2017. Augmented reality in bone tumour resection: An experimental study. *Bone and Joint Research* 6(3): 137-143. doi:10.1302/2046-3758.63.BJR-2016-0289.R1
- Cho, Hwan Seong, Park, M. S., Gupta, S., Han, I., Kim, H. S., Choi, H. & Hong, J. 2018. Can augmented reality be helpful in pelvic bone cancer surgery? An in vitro study. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 476(9): 1719. doi:10.1007/s11999-0000000000000233
- Chu, A. K., Law, R. W., Greschner, J. M. & Hyer, C. F. 2020. Effectiveness of the cadaver lab in podiatric surgery residency programs. *Journal of Foot and Ankle Surgery* 59(2): 246-252. doi:10.1053/j.jfas.2019.08.004
- Clarke, E. 2021. Virtual reality simulation—the future of orthopaedic training? A systematic review and narrative analysis. *Advances in Simulation* 6(1): 1-11. doi:10.1186/s41077-020-00153-x

- Colomb, R. M. & Ahmad, M. N. 2010. A perdurant ontology for interoperating information systems based on interlocking institutional worlds. *Applied Ontology* 5(1): 47-77. doi:10.3233/AO-2010-0074
- Colomb, R.M. 2007. *Ontology and The Semantic Web*. Amsterdam: IOS Press.
- Condino, S., Turini, G., Parchi, P. D., Viglialoro, R. M., Piolanti, N., Gesi, M., Ferrari, M., et al. 2018. How to build a patient-specific hybrid simulator for orthopaedic open surgery: Benefits and limits of mixed-reality using the Microsoft hololens. *Journal of Healthcare Engineering* 2018: 5435097. doi:10.1155/2018/5435097
- Cooper, N., Millela, F., Cant, I., White, M. D. & Meyer, G. 2021. Transfer of training - Virtual reality training with augmented multisensory cues improves user experience during training and task performance in the real world. *PLoS ONE* 16(3): e0248225. doi:10.1371/journal.pone.0248225
- Cychosz, C. C., Tofte, J. N., Johnson, A., Gao, Y., & Phisitkul, P. 2018. Fundamentals of arthroscopic surgery training program improves knee arthroscopy simulator performance in arthroscopic trainees. *Arthroscopy* 34(5): 1543-1549.
- Davis, F. 1989. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly* 13: 319-340.
- Derave, T., Gailly, F., Sales, T. P., & Poels, G. 2024. A taxonomy and ontology for digital platforms. *Information Systems* 120: 102293.
- Dietz, J. L. G. 2006. *Enterprise Ontology*. New York: Springer-Verlag.
- Doumanis, I., & Economou, D. 2019. Using cognitive walkthrough and hybrid prototyping to gather user requirements in early design virtual reality prototypes. In *Immersive Learning Research Network: 5th International Conference, iLRN 2019, London, UK, June 23–27, 2019, Proceedings 5* (pp. 234-246). Springer International Publishing.
- Dris, A. S., Lehericey, F., Gouranton, V., & Arnaldi, B. 2019. OpenBIM based IVE ontology: an ontological approach to improve interoperability for virtual reality applications. In *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering: Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management* (pp. 129-136). Springer International Publishing.
- Drosio, S. 2022. Development and evaluation of ontology for decision support in Polish crisis management system. *Journal of Decision Systems* 31(sup1): 299-307.
- Elenius, D., Denker, G., & Kim, M. 2016. Semantically enhanced virtual learning environments using sunflower. In *Metadata and Semantics Research: 10th International Conference, MTSR 2016, Göttingen, Germany, November 22-25, 2016, Proceedings* (pp. 81-93). Springer International Publishing.
- Fallavollita, P., Brand, A., Wang, L., Euler, E., Thaller, P., Navab, N. & Weidert, S. 2016. An augmented reality C-arm for intraoperative assessment of the

- mechanical axis: a preclinical study. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 11(11): 2111-2117. doi:10.1007/s11548-016-1426-z
- Faroque, S., Mortimer, M., Pangestu, M., Seyedmahmoudian, M. & Horan, B. 2018. Evaluation of a new virtual reality micro-robotic cell injection training system. *Computers and Electrical Engineering* 67: 656-671. doi:10.1016/j.compeleceng.2017.04.030
- Feilmayr, C. & Wöß, W. 2016. An analysis of ontologies and their success factors for application to business. *Data and Knowledge Engineering* 101: 1-23. doi:10.1016/j.datak.2015.11.003
- Fischer, C., Winter, R., & Wortmann, F. (2010). Design theory. *Business & Information Systems Engineering* 2: 387-390. DOI 10.1007/s12599-010 0128-2, 387-390
- Fischer, M., Fuerst, B., Lee, S. C., Fotouhi, J., Habert, S., Weidert, S., Euler, E., et al. 2016. Preclinical usability study of multiple augmented reality concepts for K-wire placement. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 11(6): 1007-1014. doi:10.1007/s11548-016-1363-x
- Francis, E. R., Bernard, S., Nowak, M. L., Daniel, S. & Bernard, J. A. 2020. Operating room virtual reality immersion improves self-efficacy amongst preclinical physician assistant students. *Journal of Surgical Education* 77(4): 947-952. doi:10.1016/j.jsurg.2020.02.013
- Frank, R. M., Erickson, B., Frank, J. M., Bush-Joseph, C. A., Bach, B. R., Cole, B. J., Romeo, A. A., et al. 2014. Utility of modern arthroscopic simulator training models. *Arthroscopy* 30(1): 121-133. doi:10.1016/j.arthro.2013.09.084
- Gasco, J., Patel, A., Ortega-Barnett, J., Branch, D., Desai, S., Kuo, Y. F., Luciano, C., et al. 2014. Virtual reality spine surgery simulation: An empirical study of its usefulness. *Neurological Research* 36(11): 968-973. doi:10.1179/1743132814Y.00000000388
- Genc, Y., Riedel, S., Souvannavong, F., Akinlar, C. & Navab, N. 2002. Marker-less tracking for AR: A learning-based approach. *Proceedings - International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2002*. doi:10.1109/ISMAR.2002.1115122
- Gerloni, I. G., Carchiolo, V., Vitello, F. R., Sciacca, E., Becciani, U., Costa, A., Riggi, S., et al. 2018. Immersive virtual reality for earth sciences. *Proceedings of the 2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2018*. doi:10.15439/2018F139
- Gibby, J. T., Swenson, S. A., Cvetko, S., Rao, R. & Javan, R. 2019. Head-mounted display augmented reality to guide pedicle screw placement utilizing computed tomography. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 14: 525-535. doi:10.1007/s11548-018-1814-7
- Glass, R. 1999. On design. *IEEE Software* 16(2): 103-104.

- Goh, C., Tan, O., Rasli, A., & Choi, S. 2019. Engagement in peer review, learner-content interaction and learning outcomes. *The International Journal of Information and Learning Technology* 36(5): 423-433.
- Goldkuhl, G. 2004. Design theories in information systems – a need for multi-grounding. *Journal of Information Technology Theory and Application* 6(2): 59–72.
- Gregor, S. 2006. The nature of theory in information systems. *MIS Quarterly* 30(3): 611–642
- Gregor, S., & Hevner, A. R. 2013. Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS Quarterly* 2013: 337-355.
- Gregor, S., Jones, D. 2007. The anatomy of a design theory. *Journal of the Association for Information Systems* 8(5): 312–335.
- Guerra-Armas, J., Flores-Cortes, M., Pineda-Galan, C., Luque-Suarez, A., & La Touche, R. 2023. Role of immersive virtual reality in motor behaviour decision-making in chronic pain patients. *Brain Sciences* 13(4): 617.
- Guizzardi, G. 2005. Ontological Foundations for Structural Conceptual Models. The Netherlands: *University of Twente, Telematica Instituut*.
- Guizzardi, G., Fonseca, C. M., Benevides, A. B., Almeida, J. P. A., Porello, D., & Sales, T. P. 2018. Endurant types in ontology-driven conceptual modeling: Towards OntoUML 2.0. In *Conceptual Modeling: 37th International Conference, ER 2018, Xi'an, China, October 22–25, 2018, Proceedings 37 (pp. 136-150)*. Springer International Publishing.
- Halstrøm, P. L., & Galle, P. 2015. Design as co-evolution of problem, solution, and audience. *Artifact: Journal of Design Practice* 3(4): 3-1.
- Harrington, C. M., Kavanagh, D. O., Quinlan, J. F., Ryan, D., Dicker, P., O’Keeffe, D., Traynor, O., et al. 2018. Development and evaluation of a trauma decision-making simulator in Oculus virtual reality. *American Journal of Surgery* 215(1): 42-47. doi:10.1016/j.amjsurg.2017.02.011
- He, Y., & Luo, J. 2017. The novelty ‘sweet spot’ of invention. *Design Science* 3: e21.
- Heravi, B. R. 2012. Ontology-based information standards development. *Brunel University*.
- Hevner, A., & Chatterjee, S. 2010. Design science research in information systems. *Design Research in Information Systems* 9-22.
- Hevner, A.R., March, S.T., Park, J. & Ram, S. 2004. Design science in information systems research. *MIS Quarterly* 28(1): 75-105.

- Hj. Md. Nasir, A., Sulaiman, M. F., Leong, L. K., Salwana, E., Ahmad, M. N. 2024. An Approach for Developing an Ontology: Learned from Business Model Ontology Design and Development. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)* 15(3): 539-554.
- Hooper, J., Tsiridis, E., Feng, J. E., Schwarzkopf, R., Waren, D., Long, W. J., Poultides, L., et al. 2019. Virtual reality simulation facilitates resident training in total hip arthroplasty: A randomized controlled trial. *Journal of Arthroplasty* 34(10): 2278-2283. doi:10.1016/j.arth.2019.04.002
- Hou, Y., Shi, J., Lin, Y., Chen, H. & Yuan, W. 2018. Virtual surgery simulation versus traditional approaches in training of residents in cervical pedicle screw placement. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 138(6): 777-782. doi:10.1007/s00402-018-2906-0
- Howells, N. R., Gill, H. S., Carr, A. J., Price, A. J. & Rees, J. L. 2008. Transferring simulated arthroscopic skills to the operating theatre: A randomised blinded study. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B* 90(4): 494-499. doi:10.1302/0301-620X.90B4.20414
- Hussain, R., Lalande, A., Guigou, C., & Bozorg-Grayeli, A. 2019. Contribution of augmented reality to minimally invasive computer-assisted cranial base surgery. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 24(7): 2093-2106.
- Im, T., An, D., Kwon, O. Y. & Kim, S. Y. 2017. A virtual reality based engine training system: A prototype development & evaluation. *CSEDU 2017 - Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education*. doi:10.5220/0006263702620267
- Inaparthi, P. K., Sayana, M. K. & Maffulli, N. 2013. Evolving trauma and orthopedics training in the UK. *Journal of Surgical Education* 70(1): 104-108. doi:10.1016/j.jsurg.2012.07.006
- Jacobsen, M. E., Andersen, M. J., Hansen, C. O. & Konge, L. 2015. Testing basic competency in knee arthroscopy using a virtual reality simulator exploring validity and reliability. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume* 97(9): 775-781. doi:10.2106/JBJS.N.00747
- James, H. K., Pattison, G. T. R., Fisher, J. D. & Griffin, D. 2020. Cadaveric simulation versus standard training for postgraduate trauma and orthopaedic surgical trainees: protocol for the CAD: TRAUMA study multicentre randomised controlled educational trial. *BMJ Open* 10(9): e037319. doi:10.1136/bmjopen-2020-037319
- James, J. T. 2013. A new, evidence-based estimate of patient harms associated with hospital care. *Journal of Patient Safety* 9(3): 122-128. doi:10.1097/PTS.0b013e3182948a69

- Jin, M. K., Yun, H. J. & Lee, H. S. 2018. Design of Evaluation Areas Based on Type of Mobile-Based Virtual Reality Training Content. *Mobile Information Systems* 2018: 1-9. doi:10.1155/2018/2489149
- Jonassen, D. H. 2000. Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development* 48(4): 63-85.
- Jost, T. A., Drewelow, G., Koziol, S. & Rylander, J. 2019. A quantitative method for evaluation of 6 degree of freedom virtual reality systems. *Journal of Biomechanics* 97: 109379. doi:10.1016/j.jbiomech.2019.109379
- Jud, L., Fotouhi, J., Andronic, O., Aichmair, A., Osgood, G., Navab, N. & Farshad, M. 2020. Applicability of augmented reality in orthopedic surgery - A systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders* 21(1): 103. doi:10.1186/s12891-020-3110-2
- Jung Y. 2022. Virtual reality simulation for disaster preparedness training in hospitals: Integrated review. *Journal of Medical Internet Research* 24(1): e30600.
- Kabassi, K., Amelio, A., Komianos, V. & Oikonomou, K. 2019. Evaluating Museum Virtual Tours: The case study of Italy. *Information (Switzerland)* 10(11): 351. doi:10.3390/info10110351
- Källström, R., Hjertberg, H., Kjölhede, H. & Svanvik, J. 2005. Use of a virtual reality, real-time, simulation model for the training of urologists in transurethral resection of the prostate. *Scandinavian Journal of Urology and Nephrology* 39(4): 312-320. doi:10.1080/00365590510031246
- Karaliotas, C. (2011). When simulation in surgical training meets virtual reality. *Hellenic Journal of Surgery*, 83, 303-316.
- Karamians, R., Proffitt, R., Kline, D. & Gauthier, L. V. 2020. Effectiveness of Virtual Reality- and Gaming-Based Interventions for Upper Extremity Rehabilitation Poststroke: A Meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 101(5): 885-896. doi:10.1016/j.apmr.2019.10.195
- Katz-Sidlow, R., Baer, T., & Gershel, J. (2016). Providing rapid feedback to residents on their teaching skills: an educational strategy for contemporary trainees. *International Journal of Medical Education*, 7, 83 - 86.
- Khantong, S. & Ahmad, M. N. 2020. An Ontology for Sharing and Managing Information in Disaster Response: In Flood Response Usage Scenarios. *Journal on Data Semantics* 9(1): 39-52. doi:10.1007/s13740-019-00110-6
- Kuechler, B., & Vaishnavi, V. 2008. On theory development in design science research: anatomy of a research project. *European Journal of Information Systems* 17(5): 489-504.
- Lagos Rodríguez, M., García, Á. G., Loureiro, J. P., & García, T. P. 2022. Personalized virtual reality environments for intervention with people with disability. *Electronics* 11(10): 1586.

- Lands, V., Avery, D., Malige, A., Stoltzfus, J., Gibson, B. & Carolan, G. 2019. Rating visualization in shoulder arthroscopy: A comparison of the visual analog scale versus a novel shoulder arthroscopy grading scale. *Journal of Orthopaedics and Allied Sciences* 7(1): 8-11. doi:10.4103/joas.joas_8_18
- Laporte, D. M., Tornetta, P. & Marsh, J. L. 2019. Challenges to Orthopaedic Resident Education. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 27(12): 419-425. doi:10.5435/JAAOS-D-18-00084
- Leach, D. C. 2004. A model for GME: Shifting from process to outcomes. A progress report from the Accreditation Council for Graduate Medical Education. *Medical Education*. doi:10.1111/j.1365-2923.2004.01732.x
- LeBlanc, V. R., Urbankova, A., Hadavi, F. & Lichtenthal, R. M. 2004. A preliminary study in using virtual reality to train dental students. *Journal of Dental Education* 68(3): 378-383. doi:10.1002/j.0022-0337.2004.68.3.tb03754.x
- Lee, A., Thomas, M., & Baskerville, R. (2015). Going back to basics in design science: from the information technology artifact to the information systems artifact. *Information Systems Journal*, 25, 21 - 5.
- Lee, E. A. L., Wong, K. W., & Fung, C. C. 2010. How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education* 55(4): 1424-1442.
- Lee, S. H., Nam, S. H. & Kim, J. Y. 2018. Analysis of a quality evaluation model for VR contents. *International Journal of Grid and Distributed Computing* 11(2): 97-110. doi:10.14257/ijgdc.2018.11.2.09
- Lerner, D., Mohr, S., Schild, J., Göring, M., & Luiz, T. 2020. An immersive multi-user virtual reality for emergency simulation training: Usability study. *JMIR Serious Games* 8(3): e18822.
- Li, J., Nie, J. W. & Ye, J. 2022. Evaluation of virtual tour in an online museum: Exhibition of Architecture of the Forbidden City. *PLoS ONE* 17(1 January): e0261607. doi:10.1371/journal.pone.0261607
- Liang, H., Deng, S., Chang, J., Zhang, J. J., Chen, C. & Tong, R. 2018. Semantic framework for interactive animation generation and its application in virtual shadow play performance. *Virtual Reality* 22(2): 149-165. doi:10.1007/s10055-018-0333-8
- Liu, H., Auvinet, E., Giles, J., & Rodriguez Y Baena, F. 2018. Augmented reality based navigation for computer assisted hip resurfacing: A proof of concept study. *Annals of Biomedical Engineering* 46(10): 1595–1605.
- Liu, Q. & Steed, A. 2021. Social Virtual Reality Platform Comparison and Evaluation Using a Guided Group Walkthrough Method. *Frontiers in Virtual Reality* 2: 668181. doi:10.3389/frvir.2021.668181

- Lohre, R., Bois, A. J., Athwal, G. S. & Goel, D. P. 2020. Improved Complex Skill Acquisition by Immersive Virtual Reality Training: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume* 102(6): e26. doi:10.2106/JBJS.19.00982
- Loukas, C., Nikiteas, N., Kanakis, M. & Georgiou, E. 2011. Evaluating the effectiveness of virtual reality simulation training in intravenous cannulation. *Simulation in Healthcare* 6(4): 213-217. doi:10.1097/SIH.0b013e31821d08a9
- Louwerens, J. W. K. 2015, August 1. Total ankle replacement. *Acta Orthopaedica* 86(4): 399-400. doi:10.3109/17453674.2015.1056701
- Mabrey, J. D., Reinig, K. D. & Cannon, W. D. 2010. Virtual reality in orthopaedics: Is it a reality? *Clinical Orthopaedics and Related Research* 468(10): 2686-2591. doi:10.1007/s11999-010-1426-1
- Makransky, G. & Lilleholt, L. 2018. A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development* 66(5): 1141–1164. doi:10.1007/s11423-018-9581-2
- Makransky, G., Bonde, M. T., Wulff, J. S. G., Wandall, J., Hood, M., Creed, P. A., Bache, I., et al. 2016. Simulation based virtual learning environment in medical genetics counseling: An example of bridging the gap between theory and practice in medical education. *BMC Medical Education* 16(1): 98. doi:10.1186/s12909-016-0620-6
- Mao, R. Q., Lan, L., Kay, J., Lohre, R., Ayeni, O. R., & Goel, D. P. 2021. Immersive virtual reality for surgical training: a systematic review. *Journal of Surgical Research*, 268, 40-58.
- March, S. T., Smith, G. F. 1995. Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems* 15(4): 251–266.
- Markus, M.L., Majchrzak, A. & Gasser, L. 2002. A design theory for systems that support emergent knowledge processes. *MIS Quarterly* 26(3):179-212.
- Marques, B., Silva, S., Dias, P., & Sousa-Santos, B. 2021. An ontology for evaluation of remote collaboration using augmented reality. *Proceedings of the 19th European Conference on Computer-Supported Cooperative Work: The International Venue on Practice-centred Computing on the Design of Cooperation Technologies. European Society for Socially Embedded Technologies.*
- Martens, D. 2016. Virtually usable: A review of virtual reality usability evaluation methods. MFA Dissertation and Thesis. *The New School of Design, New York.*
- Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A. Guarino, N. Oltramari, A. & Schneider, L. 2003. TheWonderWeb library of foundational ontologies preliminary report *WonderWeb deliverable D17. Laboratory for Applied Ontology, National*

Research Council of Italy, 2003. Available at: <http://www.loa-cnr.it/Papers/DOLCE2.1-FOL.pdf>.

- Mazli, N., Bajuri, M.Y., Shapii, A. & Hassan, M.R. 2019. The Semi-automated Software (MyAnkle™) for Preoperative Templating in Total Ankle Replacement Surgery. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 13(7): 6–9.
- Mazli, N., Shapi'i, A., Bajuri, M.Y. & Shamsul Bahari, S.I. 2017. Development of Total Ankle Replacement Digital Templating Software (MYANKLE™). *International Trade Fair IENA 2017*
- McLaren, T. S., Head, M. M., Yuan, Y., & Chan, Y. E. 2011. A multilevel model for measuring fit between a firm's competitive strategies and information systems capabilities. *MIS Quarterly*, 909-929.
- Meditkos, G., Kontopoulos, E., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. 2020. Conversiveness: Ontology-driven conversational awareness and context understanding in multimodal dialogue systems. *Expert Systems* 37(1): e12378.
- Merwe, A., Gerber, A., & Smuts, H. (2019). Guidelines for conducting design science research in information systems. , 163-178.
- Mettler, T. (2011). Maturity assessment models: a design science research approach. *International Journal of Society Systems Science*, 3(1-2), 81-98.
- Mohamad, U.H., Ahmad, M.N., Benferdia, Y., Shapi'i, A. & Bajuri, M.Y. 2021. An overview of ontologies in virtual reality-based training for healthcare domain. *Frontiers in Medicine* 8: 698855.
- Mohammad, U. H., Ahmad, M. N., Zakaria, A. M. U. 2022. Ontologies application in the sharing economy domain: A systematic review. *Online Information Review (OIR)* 46(4): 807-825.
- Moreno, A., Zlatanova, S., Bucher, B., Posada, J., Toro, C. & García-Alonso, A. 2011. Semantic enhancement of a Virtual Reality simulation system for fire fighting. *Joint ISPRS Workshop on 3D City Modelling and Applications and the 6th 3D GeoInfo, 3DCMA 2011*.
- Negri, E., Fumagalli, L., Garetti, M., & Tanca, L. 2016. Requirements and languages for the semantic representation of manufacturing systems. *Computers in Industry* 81: 55-66.
- Noy, N. F. & McGuinness, D. L. 2001. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. *Stanford Knowledge Systems Laboratory*. doi:10.1016/j.artmed.2004.01.014
- Nunamaker, J.F., Chen, M. & Purdin, T.D.M. 1991. Systems development in information systems research. *Journal of Management Information Systems* 7(3): 89-106.

- Pahuta, M. A., Schemitsch, E. H., Backstein, D., Papp, S. & Gofton, W. 2012. Virtual fracture carving improves understanding of a complex fracture: A randomized controlled study. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A* 94(24): e182. doi:10.2106/JBJS.K.00996
- Papachristos, N. M., Vrellis, I. & Mikropoulos, T. A. 2017. A Comparison between Oculus Rift and a Low-Cost Smartphone VR Headset: Immersive User Experience and Learning. *Proceedings - IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2017*. doi:10.1109/ICALT.2017.145
- Pedowitz, R. A., Esch, J. & Snyder, S. 2002. Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. *Arthroscopy* 18(6): E29. doi:10.1053/jars.2002.33791
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. 2007. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems* 24(3):45-77.
- Petter, S., Khazanchi, D., & Murphy, J. (2010). A design science based evaluation framework for patterns. *Data Base*, 41, 9-26.
- Phillips, D., Zuckerman, J., Kalet, A., & Egol, K. (2016). Direct Observation: Assessing Orthopaedic Trainee Competence in the Ambulatory Setting. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 24, 591–599.
- Pirker, J., Lesjak, I. & Guetl, C. 2017. Maroon VR: A Room-Scale Physics Laboratory Experience. *Proceedings - IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2017*. doi:10.1109/ICALT.2017.92
- Poletaeva, T., Guizzardi, G., Almeida, J. P. A. & Abdulrab, H. 2017. Revisiting the DEMO transaction pattern with the Unified Foundational Ontology (UFO). *Lecture Notes in Business Information Processing*, hlm. Vol. 284. doi:10.1007/978-3-319-57955-9_14
- Pollard, T. C. B., Khan, T., Price, A. J., Gill, H. S., Glyn-Jones, S. & Rees, J. L. 2012. Simulated hip arthroscopy skills: Learning curves with the lateral and supine patient positions: A randomized trial. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A* 94(10): e68. doi:10.2106/JBJS.K.00690
- Ponce, B. A., Menendez, M. E., Oladeji, L. O., Fryberger, C. T. & Dantuluri, P. K. 2014. Emerging technology in surgical education: Combining real-time augmented reality and wearable computing devices. *Orthopedics* 37(11): 751- 757. doi:10.3928/01477447-20141023-05
- Purao, S. 2002. Design research in the technology of information systems: Truth or dare. *GSU Department of CIS Working Paper* 34, 45-77.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. & Wohlgenannt, I. 2020. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements,

- lessons learned, and research agenda. *Computers and Education* 147: 103778. doi:10.1016/j.compedu.2019.103778
- Ragan, E. D., Bowman, D. A., Kopper, R., Stinson, C., Scerbo, S. & McMahan, R. P. 2015. Effects of field of view and visual complexity on virtual reality training effectiveness for a visual scanning task. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 21(7): 794-807. doi:10.1109/TVCG.2015.2403312
- Ravi, D. K., Kumar, N. & Singhi, P. 2017. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy (United Kingdom)* 103(3): 245-258. doi:10.1016/j.physio.2016.08.004
- Rebolledo, B. J., Hammann-Scala, J., Leali, A. & Ranawat, A. S. 2015. Arthroscopy Skills Development with a Surgical Simulator: A Comparative Study in Orthopaedic Surgery Residents. *American Journal of Sports Medicine* 43(6): 1526-1529. doi:10.1177/0363546515574064
- Renganayagalu, S. kumar, Mallam, S. C. & Nazir, S. 2021. Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning* 26(4): 999-1041. doi:10.1007/s10758-020-09489-9
- Reznick, R. K. & MacRae, H. 2006. Teaching Surgical Skills — Changes in the Wind. *New England Journal of Medicine* 355(25): 3664-3669. doi:10.1056/nejmra054785
- Riga, M., Kontopoulos, E., Ioannidis, K., Kintzios, S., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. 2021. EUCISE-OWL: An ontology-based representation of the Common Information Sharing Environment (CISE) for the maritime domain. *Semantic Web* 12(4): 603-615.
- Riva, G. & Wiederhold, B. K. 2002. Guest editorial: Introduction to the special issue on virtual reality environments in behavioral sciences. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* 6(3): 193-197. doi:10.1109/TITB.2002.802369
- Román-Ibáñez, V., Pujol-López, F. A., Mora-Mora, H., Pertegal-Felices, M. L. & Jimeno-Morenilla, A. 2018. A low-cost immersive virtual reality system for teaching robotic manipulators programming. *Sustainability (Switzerland)* 10(4): 1102. doi:10.3390/su10041102
- Rudwan, M. S. M. & Fonou-Dombeu, J. V. 2022. Ontology reuse: Neural network-based measurement of concepts representations and similarities in ontology corpus. *International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD), Durban, South Africa, 2022*: 1-8.
- Ruoronen, M., Antikainen, T., & Eteläpelto, A. (2017). Surgical learning and guidance on operative risks and potential errors. *Journal of Workplace Learning*, 29, 326-342.

- Ruthenbeck, G. S. & Reynolds, K. J. 2015. Virtual reality for medical training: The state-of-the-art. *Journal of Simulation* 9(1): 16-26. doi:10.1057/jos.2014.14
- Sanchez, D. R., Weiner, E. J., & Van Zelderen, A. 2021. Virtual Reality Assessments (VRAs): Exploring the reliability and validity of evaluations in VR. *International Journal of Selection and Assessment* 30(1): 103-125. doi: 10.1111/jisa.12369
- Sattar, A., Ahmad, M. N., Mat Surin, E. S., Mahmud, A. K. 2021. An Improved Methodology for Collaborative Construction of Reusable, Localized, and Shareable Ontology. *IEEEAccess* 9(2021): 17463-17484.
- Schwab, K. 2016. The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond. *World Economic Forum*.
- Selvander, M. & Åsman, P. 2012. Virtual reality cataract surgery training: Learning curves and concurrent validity. *Acta Ophthalmologica* 90(5): 412-417. doi:10.1111/j.1755-3768.2010.02028.x
- Sholihin, M., Sari, R. C., Yuniarti, N. & Ilyana, S. 2020. A new way of teaching business ethics: The evaluation of virtual reality-based learning media. *International Journal of Management Education* 18(3): 100428. doi:10.1016/j.ijme.2020.100428
- Simon, H.A. 1996. The sciences of the artificial. Ed. ke-3. London: The MIT Press.
- Slater, M. & Sanchez-Vives, M. V. 2016. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers Robotics AI* 3: 74. doi:10.3389/frobt.2016.00074
- Slater, M. & Wilbur, S. 1997. A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6(6): 603-616. doi:10.1162/pres.1997.6.6.603
- Spiliotis, A. E., Spiliotis, P. M., & Palios, I. M. 2020. Transferability of simulation-based training in laparoscopic surgeries: A systematic review. *Minimally Invasive Surgery* 2020: 5879485. <https://doi.org/10.1155/2020/5879485>.
- Su, C. H. 2018. Exploring sustainability environment educational design and learning effect evaluation through migration theory: An example of environment educational serious games. *Sustainability (Switzerland)* 10(10): 3363. doi:10.3390/su10103363
- Suárez-Figueroa, M. C., Gómez-Pérez, A. & Villazón-Terrazas. 2009. How to Write and Use the Ontology Requirements Specification Document. On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2009, 2009(5871).
- Sugand, K., Akhtar, K., Khatri, C., Cobb, J. & Gupte, C. 2015. Training effect of a virtual reality haptics-enabled dynamic hip screw simulator. *Acta Orthopaedica* 86(6): 695-701. doi:10.3109/17453674.2015.1071111

- Sunkle, S., Kholkar, D., & Kulkarni, V. 2015. Solving semantic disparity and explanation problems in regulatory compliance- a research-in-progress report with design science research perspective. , 326-341.
- Sutcliffe, A. & Gault, B. 2004. Heuristic evaluation of virtual reality applications. *Interacting with Computers* 16(4): 831-849. doi:10.1016/j.intcom.2004.05.001
- Tay, C., Khajuria, A. & Gupte, C. 2014. Simulation training: A systematic review of simulation in arthroscopy and proposal of a new competency-based training framework. *International Journal of Surgery* 12(6): 626-633.
- The Council of the European Union. 1993. Council Directive 93/104/EC of 23 November 1993 concerning certain aspects of the organization of working time. *Official Journal of the European Communities* Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993L0104&from=EN>
- Tolsdorff, B., Petersik, A., Pflesser, B., Pommert, A., Tiede, U., Leuwer, R. & Hohne, K. H. 2007. Preoperative simulation of bone drilling in temporal bone surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 2: 160-180.
- Vaishnavi, V. & Kuechler, W. 2007. Design Research in Information Systems. <http://www.isworld.org/Researchdesign/drisISworld.htm> [27 May 2008].
- Venable, J. 2006a. A framework for design science research activities. In: *Emerging Trends and Challenges in Information Technology Management*. Idea Group, Hershey, pp 184–187.
- Venable, J. 2006b. The role of theory and theorising in design science research. In: Chatterjee S, Hevner AR (eds) *First International Conference on Design Science in Information Systems and Technology*. Claremont Graduate University, Claremont, pp 1–18.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. 2003. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly* 27 (3): 425–478.
- Veronez, M. R., Gonzaga, L., Bordin, F., Kupssinsku, L., Kannenberg, G. L., Duarte, T., Santana, L. G., et al. 2018. *RIDERS: Road Inspection Driver Simulation. 25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*. doi:10.1109/VR.2018.8446207
- Wagner, D., Langlotz, T. & Schmalstieg, D. 2008. Robust and unobtrusive marker tracking on mobile phones. *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, ISMAR 2008*. doi:10.1109/ISMAR.2008.4637337

- Walls, J. G., Widmeyer, G. R., & El Sawy, O. A. 1992. Building an information system design theory for vigilant EIS. *Information Systems Research* 3(1): 36-59. <http://www.jstor.org/stable/23010780>
- Weber, R. 1997. *Ontological Foundations of Information Systems*. Melbourne: Coopers and Lybrand.
- Webster, R. & Dues, J. F. 2017. System usability scale (SUS): Oculus Rift® DK2 and Samsung Gear VR®. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, hlm. Vol. 2017-June. doi:10.18260/1-2--28899
- Wedel, M., Bigné, E. & Zhang, J. 2020. Virtual and augmented reality: Advancing research in consumer marketing. *International Journal of Research in Marketing* 37(3): 443-465. doi:10.1016/j.ijresmar.2020.04.004
- Weser, V. U., Duncan, L. R., Sands, B. E., Schartmann, A., Jacobo, S., François, B. & Hieftje, K. D. 2021. Evaluation of a virtual reality E-cigarette prevention game for adolescents. *Addictive Behaviors* 122: 107027.
- Wilson, G., Zargar, A., Kokotkin, I., Bhaskar, J., Zargar, D. & Trompeter, A. 2020. Virtual reality and physical models in undergraduate orthopaedic education: A modified randomised crossover trial. *Orthopedic Research and Reviews* 12: 97-104. doi:10.2147/ORR.S252274
- Wynn, D. C., & Eckert, C. M. 2017. Perspectives on iteration in design and development. *Research in Engineering Design* 28: 153-184.
- Xin, B., Huang, X., Wan, W., Lv, K., Hu, Y., Wang, J., Li, S., et al. 2020. The efficacy of immersive virtual reality surgical simulator training for pedicle screw placement: a randomized double-blind controlled trial. *International Orthopaedics* 44(5): 927-934. doi:10.1007/s00264-020-04488-y
- Yazdani, M., Loosemore, M., Mojtahedi, M., Sanderson, D., & Haghani, M. 2023. An integration of operations research and design science research methodology: With an application in hospital disaster management. *Progress in Disaster Science* 20: 100300.
- Ye, Q., Hu, W., Zhou, H., Lei, Z. & Guan, S. 2018. VR Interactive Feature of HTML5-based WebVR Control Laboratory by Using Head-mounted Display. *International Journal of Interactive Mobile Technologies* 14(3): 20. doi:10.3991/ijoe.v14i03.8112
- Youcef, B., Ahmad, M. N. & Mustapha, M. 2021. Ontophaco: An ontology for virtual reality training in ophthalmology domain - A case study of cataract surgery. *IEEE Access* 9: 152347-152378. doi:10.1109/ACCESS.2021.3126697
- Yu, P., Pan, J., Wang, Z., Shen, Y., Li, J., Hao, A. & Wang, H. 2022. Quantitative influence and performance analysis of virtual reality laparoscopic surgical

training system. *BMC Medical Education* 22(1): 92. doi:10.1186/s12909-022-03150-y

Zhang, H., He, X. & Mitri, H. 2019. Fuzzy comprehensive evaluation of virtual reality mine safety training system. *Safety Science* 120: 341-351. doi:10.1016/j.ssci.2019.07.009

Zhang, X., Jiang, S., Ordóñez de Pablos, P., Lytras, M. D. & Sun, Y. 2017. How virtual reality affects perceived learning effectiveness: a task–technology fit perspective. *Behaviour and Information Technology* 36(5): 548-556. doi:10.1080/0144929X.2016.1268647

Zizza, C., Starr, A., Hudson, D., Nuguri, S. S., Calyam, P. & He, Z. 2018. Towards a social virtual reality learning environment in high fidelity. *CCNC 2018 - 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference* doi:10.1109/CCNC.2018.8319187



LAMPIRAN A

Soal Selidik Kajian

1. Soal selidik tanpa ontologi untuk pelajar perubatan



Universiti Kebangsaan Malaysia

Virtual Reality Teaching Method Evaluation Questionnaire

QUESTIONS

Course Contents and Organization		Strongly Agree	Agree	Uncertain	Disagree	Strongly Disagree
1. The course objective were clear		☐	☐	☐	☐	☐
2. The Course workload was manageable		☐	☐	☐	☐	☐
3. The Course was well organized (e.g. timely) Access to materials, notification of changes, etc.)		☐	☐	☐	☐	☐
4. Comments						
Student Contribution						
5. Approximate level of your own attendance during the whole Course		☐ <20%	☐ 21-40%	☐ 41-60%	☐ 61-80%	☐ >81%
6. I participated actively in the course		☐	☐	☐	☐	☐
7. I think I have made progress in this course		☐	☐	☐	☐	☐
8. Comments						
Learning Environment and Teaching Methods		Strongly Agree	Agree	Uncertain	Disagree	Strongly Disagree
9. I think the Course was well structured to achieve the learn outcomes (there was a good balance of lectures, tutorials, practical etc.)		☐	☐	☐	☐	☐
10. The learning and teaching methods encouraged participation		☐	☐	☐	☐	☐
11. The overall environment in the class was conducive to learning		☐	☐	☐	☐	☐
12. Classrooms were satisfactory		☐	☐	☐	☐	☐
13. Comments						
Learning Resources		Strongly Agree	Agree	Uncertain	Disagree	Strongly Disagree
14. Learning materials (Lesson Plans, Course Notes etc) were relevant and useful		☐	☐	☐	☐	☐
15. Recommended reading Books etc. were relevant and appropriate		☐	☐	☐	☐	☐
16. The provision of learning resources in the class was adequate and appropriate		☐	☐	☐	☐	☐
17. The provision of learning resources on the web was adequate and appropriate (if relevant)		☐	☐	☐	☐	☐
18. Comments						

Quality of Delivery	Strongly Agree	Agree	Uncertain	Disagree	Strongly Disagree
19. The course stimulated my interest and thought on the subject area	☐	☐	☐	☐	☐
20. The pace of course was appropriate	☐	☐	☐	☐	☐
21. Ideas and concepts were presented clearly	☐	☐	☐	☐	☐
22. Comments					



Universiti Kebangsaan Malaysia

Virtual Reality Teaching Method Evaluation Questionnaire

Assessment	Strongly Agree	Agree	Uncertain	Disagree	Strongly Disagree
23. The method of assessment were reasonable	☐	☐	☐	☐	☐
24. Feedback on assessment was timely	☐	☐	☐	☐	☐
25. Feedback on assessment was helpful	☐	☐	☐	☐	☐
26. Comments					
Overall Evaluation					
27. What is your feedback					

2. Soal selidik tanpa ontologi untuk pakar bedah ortopedik



Pre-Ontology

Please submit feedback regarding the course you have just completed, including feedback on course structure, content, and instructor.

Topic of VR module being assessed *

☐ Ankle Surgery (Total Ankle Replacement)

List of Parameters for Assessment

Please score each parameter below according to the following description wherever applicable:

- 1 - Very poor = not good and the module has no value;
- 2 - Poor = not good but might have some value;
- 3 - Neutral, undecided;
- 4 - Good, contains key elements, can be further improved;
- 5 - Excellent, nothing much to add on.

1. Innovativeness - creativity in making the VR module *

	1	2	3	4	5	
Very Poor	☐	☐	☐	☐	☐	Excellent

2. Content accuracy - how accurately is the content delivered via the VR module? *

	1	2	3	4	5	
Very Poor	☐	☐	☐	☐	☐	Excellent

3. Construct accuracy - realism - how does the VR module look? *

	1	2	3	4	5	
Very Poor	☐	☐	☐	☐	☐	Excellent

3a. Construct accuracy - how real is the surgical technique being used in the VR module? *

	1	2	3	4	5	
Very Poor	☐	☐	☐	☐	☐	Excellent

3b. Construct accuracy - how real is the instrument usage in the VR module? *

	1	2	3	4	5	
Very Poor	☐	☐	☐	☐	☐	Excellent

4. User friendliness - is the module easy to use and navigate through? *

	1	2	3	4	5	
Very Poor	☐	☐	☐	☐	☐	Excellent

5. Usability - Does the module widely applicable to various training levels within the specialty? *

	1	2	3	4	5	
Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree

6. Does the module has strong commercialization potential? *

	1	2	3	4	5	
Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree

7. Captivating - does the VR module look interesting as a teaching-learning module? *

	1	2	3	4	5	
Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree

Comments & Suggestions

Your answer

Submit

Clear form

3. Soal selidik penilaian VRAnkle terbitan OntoAnkle untuk pelatih dan pakar bedah ortopedik

Total Ankle Surgery Evaluation with OntoAnkle

Orthopaedic Training:

A. How helpful was the virtual reality program in providing an understanding of the overall process of total ankle replacement surgery?

- ☐ Excellent
- ☐ Good
- ☐ Satisfactory
- ☐ Weak

Trainer:

A. How knowledgeable and experienced did the trainers seem in guiding you through the virtual reality program?

- ☐ Excellent
- ☐ Good
- ☐ Satisfactory
- ☐ Weak

Task Performance:

A. How well did the virtual reality program simulate the tasks involved in total ankle replacement surgery?

- ☐ Excellent
- ☐ Good
- ☐ Satisfactory
- ☐ Weak

Evaluation Level:

A. How effective was the feedback provided by the virtual reality program in helping you improve your performance?

- ☐ Excellent
- ☐ Good
- ☐ Satisfactory
- ☐ Weak

Competency Level:

A. How confident do you feel in your ability to perform total ankle replacement surgery after completing the virtual reality program?

- ☐ Very confident
- ☐ Somewhat confident
- ☐ Not very confident
- ☐ Not confident at all

New Skills:

A. How much did the virtual reality program help you develop new skills related to total ankle replacement surgery?

- ☐ A lot
- ☐ Somewhat
- ☐ Not very much
- ☐ Not at all

New Knowledge:

A. How much new knowledge did you gain about total ankle replacement surgery from the virtual reality program?

- ☐ A lot
- ☐ Somewhat
- ☐ Not very much
- ☐ Not at all

Attitude:

A. How did the virtual reality program influence your attitude towards learning total ankle replacement surgery?

- ☐ Very positive
- ☐ Somewhat positive
- ☐ Neutral
- ☐ Somewhat negative
- ☐ Very negative

Student Factors:

A. Did any of your personal characteristics or traits impact your ability to learn from the virtual reality program?

- ☐ Yes, positively
- ☐ Yes, negatively
- ☐ No, not at all

Practical Training:

A. How well do you think the virtual reality program prepared you for practical training in total ankle replacement surgery?

- ☐ Very well
- ☐ Somewhat well
- ☐ Not very well
- ☐ Not at all

Procedure:

A. How much did the virtual reality program help you understand the specific steps involved in performing total ankle replacement surgery?

- ☐ A lot
- ☐ Some
- ☐ Not very much
- ☐ None

Patient Care:

A. How well did the virtual reality program help you understand the importance of patient care in total ankle replacement surgery?

- ☐ Very well
- ☐ Somewhat well
- ☐ Not very well
- ☐ Not at all

Rehabilitation:

A. How well did the virtual reality program help you understand the rehabilitation process following total ankle replacement surgery?

- ☐ Very well
- ☐ Somewhat well
- ☐ Not very well
- ☐ Not at all

Overall Effectiveness:

A. Overall, how effective do you think the virtual reality program was in teaching you total ankle replacement surgery?

- ☐ Very effective
- ☐ Somewhat effective
- ☐ Not very effective
- ☐ Not at all effective

How effective was the virtual reality program in helping you select the correct anatomical location for creating an incision or placing an instrument during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you select the correct instrument for creating an incision or sawing bone during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you insert instruments at the correct location during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you replace Hohmann retractors with self-retaining retractors during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you saw the bone to create space for the implant during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you insert the implant at the correct location during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you remove the trial implant after confirming the implant position during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you check the correct placement of the implant during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree

How effective was the virtual reality program in helping you close the wound by suturing the skin incision during the surgery?

Strongly Disagree

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Strongly Agree



LAMPIRAN B

SENARAI PENERBITAN

1. Development Of Total Ankle Replacement Digital Templating Software (MYANKLE™)

DEVELOPMENT OF TOTAL ANKLE REPLACEMENT
DIGITAL TEMPLATING SOFTWARE (MYANKLE™)¹NORLIYANA MAZLI, ²AZRULHIZAM SHAPI'I, ¹MOHD YAZID BIN BAJURI,
³SYAH IRWAN SHAMSUL BAHARI¹Department of Orthopaedic, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia, Jalan Yaacob Latif, Bandar Tun Razak, 56000 Cheras, Kuala Lumpur, Malaysia.²Faculty of Information Science & Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM, Bangi Selangor, Malaysia.³Department of Orthopaedic, Faculty of Medicine, KPJ Healthcare University College, Lot PT 17010 Persiaran Seriemas, Kota Seriemas, 71800 Nilai, Negeri Sembilan.**Abstract**

Background: The aim of this study is to develop semi-automated method for templating total ankle implant size in digital form. The software system named (MyAnkle™) has been designed and developed to assist surgeon for easier and faster templating as part of preoperative planning. The template image library was created based on Hintegra total ankle replacement template. Multiple template sizes can be reviewed against the radiograph to obtain the predicted size of the total ankle implant. MyAnkle™ has auto-scaling properties which matches the magnification of the radiograph and template. This software is evaluated by testing the accuracy and interobserver reliability of pre-operative digital templating of tibia and talar component size for total ankle replacement.

Methods: The digital radiographs of twelve patients underwent primary total ankle arthroplasty from year January 2014 until April 2017 in Universiti Kebangsaan Malaysia Medical Center (UKMMC) were retrospectively reviewed. All patients were using nonconstrained anatomic shaped 3-component system prosthesis (Hintegra). The digital templating was done by two foot and ankle surgeons from different centre using digital templating software (MyAnkle™). The accuracy was assessed by comparing the predicted implant size with the actual components selected at the time of surgery and is measured in percentage (%). The interobserver reliability was assessed using the linear weighted kappa(κ) analysis.

Results: The size of tibial and talar component was accurate in 83.3% and 91.7% respectively. The interobserver reliability for tibial and talar component size was substantial, weighted kappa (κ)= 0.802 (95% CI, 0.623 to 0.982), $p < 0.001$.

Conclusion: MyAnkle™ software is a promising tool for preoperative planning in total ankle replacement surgery.

Keywords

total ankle replacement, arthroplasty, digital templating

2. The Semi-automated Software (MyAnkle™) for Preoperative Templating in Total Ankle Replacement Surgery

Original Article

DOI: 10.7863/JCDR/2019/13/05.12090

The Semi-automated Software (MyAnkle™) for Preoperative Templating in Total Ankle Replacement Surgery

Orthopaedics Section

NORLIYANA MAZLI*, MOHD YAZID BAJURI*, AZRULHIZAM SHAPI*, MOHD ROHAIZAT HASSAN*

ABSTRACT

Introduction: MyAnkle™ software is semi-automated digital templating software for total ankle replacement surgery. This software enables a surgeon to review multiple sizes of implant over the radiograph for implant size determination. It has auto-scaling properties which matches the magnification of the radiograph and template. This software is evaluated by testing the accuracy and inter-observer reliability of preoperative digital templating for total ankle replacement.

Aim: To evaluate the accuracy and inter-observer reliability of preoperative digital templating of tibia and talar component size for total ankle replacement using MyAnkle™ digital templating software.

Materials and Methods: This was retrospective study in which digital radiographs of patients who had undergone primary total ankle arthroplasty were evaluated. The operations were done in between year 2014 until 2017 in Universiti Kebangsaan

Malaysia Medical Centre (UKMMC). All cases were using non-constrained anatomic shaped 3-component system prosthesis (Hintergra). The digital templating software (MyAnkle™) was used for templating by two foot and ankle surgeons from different centres. The predicted implant size was compared with the actual components selected at the time of surgery and its accuracy was measured. The inter-observer reliability was analysed using the linear weighted kappa (κ) analysis.

Results: The size of tibial and talar component was accurate in 83.3% and 91.7% respectively. The accuracy of correct predicted size for second surgeon was 66.7% for talar component size and 58.3% for tibia component size. The inter-observer reliability for tibial and talar component size was substantial, weighted kappa (κ)=0.802 (95% CI, 0.623 to 0.982), $p<0.001$.

Conclusion: MyAnkle™ software is an effective tool for preoperative planning in total ankle replacement surgery. It provides rapid, reproducible accurate results and cost-effectiveness.

Keywords: Ankle joint, Arthroplasty, Osteoarthritis

INTRODUCTION

Computer-assisted surgery refers to a surgical method which utilises the computer for surgical planning and guiding during the procedure. The objective of this technology is to achieve better results by combination of accuracy and precision of the computer with the surgeon's operating skills [1]. The application of computer-assisted surgery in total ankle arthroplasty is still new, compared to hip and knee surgery. Digital templating software is one of the computer-assisted methods for preoperative planning. The application of scientific visualisation and digital images with integrated computer system in medical field helps to facilitate in diagnosis, surgeries and therapy. This technology can help clinicians and surgeons to improve the quality of care for their patients but experience is still the utmost importance.

MyAnkle™ software is a newly developed, semi-automated computer-aided digital templating software for Total Ankle Replacement (TAR). This software allows a surgeon to review multiple sizes of implant over the radiograph for implant size determination. Hintergra total ankle template was used to create the template image library. It has distinctive special features for manipulation of implant from front or side as well as allowing rotation and flipping of the implant image in two axes. These features permit a better manipulation of implant image to match with the size of patient's bone in radiograph.

In conventional templating, a surgeon has to deal with the radiographic magnification and acetate template magnification. The template provided by the implant manufacturer is an outline of the implant in various sizes printed on acetate. The surgeon will then overlay this acetate template onto the ankle radiograph to match the size with the anatomy of the patient. To address this problem, the radiograph is taken with a scale marker at the side of joint. The acetate template

has a scale marker determined by the manufacturer. The surgeon has to adjust and match the two magnifications manually to determine the size of implant. It involves multiple steps which are time consuming and liable to magnification error. MyAnkle™ has been developed with an auto-scaling program that matches the digital X-ray images and the implant templates to same magnification. This auto-scaling program is able to minimise the time consumption during digital templating and eliminates radiographic magnification error. These advantages facilitate a surgeon in preoperative planning and provide a better outcome of the surgery.

Preoperative planning in joint replacement surgery is crucial to assess the need for nonstandard implant sizes, plan the levels of bony resection and anticipate the appropriate instruments needed intraoperatively [2]. In total ankle replacement, the aim of the surgery is to restore the anatomy and biomechanics of the diseased ankles as much as possible. To achieve this goal, proper sizing and correct positioning of the implant are important in order to allow the ankle to move about a centre of rotation. A proper sizing is also important to prevent complications e.g., impingement, soft tissue problems and late migration of component [3].

Prior to the development of digital templating software, preoperative planning was performed using acetate templating and radiograph. This method can contribute to surgical error due to variation in the radiographic magnification factor because acetate templates assume approximately 110-120% magnification [4]. The elimination of printed radiographic film with the advent of digital radiography and Picture Archiving and Communication Systems (PACS) favours the evolution of digital templating software for joint replacement surgery. This technology also offers a rapid and reproducible preoperative planning in which a permanent record of the template can be saved and is cost-efficient [2-5].

3. Critical Success Factors for Virtual Reality Applications in Orthopaedic Surgical Training: A Systematic Literature Review

Received August 6, 2021, accepted August 31, 2021. Date of publication xxxx 00, 0000, date of current version xxxx 00, 0000.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2021.312345

Critical Success Factors for Virtual Reality Applications in Orthopaedic Surgical Training: A Systematic Literature Review

MOHD YAZID BAJURI¹, YUCEF BENFERDIA², AND MOHAMMAD NAZIR AHMAD^{1,2}

¹Department of Orthopaedics and Traumatology, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur 56000, Malaysia

²Institute of IR4.0, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor 43600, Malaysia

Corresponding author: Mohd Yazid Bajuri (ezeds007@yahoo.com.my)

ABSTRACT There is an increasing pressure to improve the cost-effectiveness of orthopaedic training, both temporally and financially. Accordingly, virtual reality (VR) has been incorporated into a number of surgical training programs, providing trainees a safe yet realistic environment to practice their craft before going into the operating room. Identification of critical success factors (CSFs) for VR integration in the orthopaedic training program, can be beneficial in guiding the focus of healthcare providers and VR designers during the VR platform development stage. The aim of this study is to identify VR-based training CSFs that encourage orthopaedic surgeons to use VR as a method for acquiring, maintaining, and improving skills. A total of 74 studies conducted between 2011 and 2021 were selected and examined. There were 73 CSFs listed as being essential for VR adoption in orthopaedic surgical training. The CSFs were divided into six general categories: HCI/VR Features, Learning Outcome, Usability, Control and Active Learning, Student and Limitation factors. Subsequently, recommendations were made to guide healthcare professionals, researchers, and designers for optimal adoption of VR in orthopaedic surgical training in the future.

INDEX TERMS Arthroscopy, critical success factors, orthopaedic training, virtual reality.

I. INTRODUCTION

Orthopaedic is a field of medicine concerned with the pathology, physiology, and disease of the musculoskeletal system [1]. Accordingly, an orthopaedic surgeon is a medical professional that specialises in diagnosis and management of diseases related to the musculoskeletal system [2]. Their qualifications include a medical degree, followed by four years of orthopaedic residency training. An orthopaedic surgeon who has undergone extensive preparation is authorized to perform a variety of tasks including examining orthopaedic cases and performing surgery when necessary [2].

The ever-growing elderly population has increased the need for orthopaedic surgeons that can accommodate the resulting healthcare demand, particularly on age-related orthopaedic disease such as osteoarthritis [3]. Additionally, the inevitable retirement of senior orthopaedic surgeons, stresses the importance of training novice clinician into

the orthopaedic field [4]. However, expertise in orthopaedic surgery is a technical skill that grows with experience, and orthopaedic training programs have been cited to be both arduous and demanding [5].

For decades, long hours of training were thought to be necessary in training novice orthopaedic surgeons [6]. The extensive training undergone by orthopaedic surgeons is mainly attributed to the level of complexity involve with the tasks related to this discipline [5]. In particular, orthopaedic surgeries often necessitate a clear understanding of the complex anatomy and physiology of the musculoskeletal system, including changes to it during disease pathology. Often, a great deal of cognitive awareness is required to carefully navigate through parts of the body that are not affected by the disease, to reach the surgery site [5].

In recent years, burnout has been recognised as a crucial factor that has led to deterioration of both cognitive and technical skills among the surgical trainees [7]. Moreover, orthopaedic surgeons are also engaged in academic works on musculoskeletal disorders during their training, in addition

The associate editor coordinating the review of this manuscript and approving it for publication was Andrea F. Abate.

4. An Overview of Ontologies in Virtual Reality-Based Training for Healthcare Domain



An Overview of Ontologies in Virtual Reality-Based Training for Healthcare Domain

Ummul Hanan Mohamad¹, Mohammad Nazir Ahmad¹, Youcef Benferdia¹, Azrulhizam Shapi^{1,2} and Mohd Yazid Bajuri^{3*}

¹Institute of IR4.0, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia, ²Faculty of Information Science & Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia, ³Department of Orthopaedics and Traumatology, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia

OPEN ACCESS

Edited by:

Michelle A. Kelly,
Curtin University, Australia

Reviewed by:

Ehab Seed Ahmed,
Inays Medical Colleges, Saudi Arabia
Kamal Badr,
Sudan University of Science and
Technology, South Sudan

*Correspondence:

Mohd Yazid Bajuri
yb@ppulm.ukm.edu.my

Specialty section:

This article was submitted to
Family Medicine and Primary Care,
a section of the journal
Frontiers in Medicine

Received: 22 April 2021

Accepted: 14 June 2021

Published: 09 July 2021

Citation:

Mohamad LH, Ahmad MN,
Benferdia Y, Shapi A and Bajuri MY
(2021) An Overview of Ontologies in
Virtual Reality-Based Training for
Healthcare Domain.
Front. Med. 8:698855.
doi: 10.3389/fmed.2021.698855

Virtual reality (VR) is one of the state-of-the-art technological applications in the healthcare domain. One major aspect of VR applications in this domain includes virtual reality-based training (VRT), which simplifies the complicated visualization process of diagnosis, treatment, disease analysis, and prevention. However, not much is known on how well the domain knowledge is shared and considered in the development of VRT applications. A pertinent mechanism, known as ontology, has acted as an enabler toward making the domain knowledge more explicit. Hence, this paper presents an overview to reveal the basic concepts and explores the extent to which ontologies are used in VRT development for medical education and training in the healthcare domain. From this overview, a base of knowledge for VRT development is proposed to initiate a comprehensive strategy in creating an effective ontology design for VRT applications in the healthcare domain.

Keywords: knowledge representation, ontology engineering, domain knowledge, virtual reality, medical education and training

INTRODUCTION

Virtual reality is a technology advancement that creates an immersive, virtual environment to allow users to interact and visualize the real world in a virtual form (1) through multiple sensory channels (2). As mentioned by Ajmera and Gonen (3), VR is commonly composed of three main components: art, audio and mechanics. The first component, art, describes the environment where users see, interact with objects and the animated surroundings in VR. Audio, on the other hand, provides some level of immersiveness and reality-like feeling during the real-time simulation of the VR. Meanwhile, mechanics is the main part of the VR that facilitates user interaction with the created virtual events.

In the healthcare domain, VR-based training often involves the use of VR headsets, instrumented clothing such as haptic gloves or tracking suits, along medical instruments. So far, a few VRTs in the healthcare domain have been developed to provide an alternative channel for medical education and training for healthcare personnel. Among them are virtual surgery for ophthalmology, laparoscopic, endoscopic procedures (4), anatomy dissection (5), emergency simulation (6), and many other procedural trainings (7). Hence, the need and scope for VRT in the healthcare domain are limitless. VRT in the healthcare domain is an interactive, immersive use of VR technology for medical education and training purposes, to provide a real-time simulation of an actual setting (8) related to the healthcare domain.

5. Critical Success Factors (CSFs) for Virtual Reality-Based Training in Ophthalmology Domain



**Journal of
Health & Medical Informatics**

Benferdia et al., J Health Med Informat 2018, 9:3
DOI: 10.4172/2157-7420.1000318

Thesis
Open Access

Critical Success Factors for Virtual Reality-based Training in Ophthalmology Domain

Youcef Benferdia¹, Mohammad Nazir Ahmad², Mushawiahti Mustapha², Hanif Baharin³ and Mohd Yazid Bajuri³

¹Institute of Visual Informatics (IVI), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, Selangor
²Department of Ophthalmology, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia(UKM), Kuala Lumpur
³Department of Orthopaedics and Traumatology, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia(UKM), Kuala Lumpur

Abstract

In recent years, as a result of advanced computer technology and internet resources, the interest in VR and surgical simulations has seen an increase in the healthcare domain. Virtual reality (VR), one of the modern tools that have emerged from IT, has been integrated in many hospital training programs. So far, however, there are no intensive studies with focus on investigating factors such as critical success factors (CSFs) for VR success within the healthcare context, especially in the ophthalmology domain. There are several factors that healthcare providers or designers need to consider during the implementation of VR in the healthcare domain. This paper aims to identify VR based training CSFs that motivate the ophthalmologist surgeons to adopt VR as an alternative tool for acquiring, maintaining and improving skills. This paper presents a systematic review of literature on VR based training in an ophthalmology context. In total, 59 studies published between 2006 and 2017 in 6 indexed journals were analysed. 86 CSFs were identified as significant ones for any adoption of VRT. Based on papers in different disciplines, CSFs were categorized into the 6 broad categories of HCI/VR Features, Learning Outcome, Usability, Control and Active Learning, Student and Limitation Factors, each containing one to four sub-categories. Finally, insightful practice and theory recommendations for further research have been provided for healthcare providers, researchers as well as for designers.

Keywords: Healthcare; Virtual reality (VR); Ophthalmology; Cataract

Introduction

Virtual reality (VR) is being used in several sectors and contexts, from consumer applications and manufacturers, to the airlines industry. In airlines, VR offers great value in flight simulation applications, in combination with several other forms of technologies. The use of VR in manufacturing and other industries for which the term industry 4.0 gets used now reality. It is constantly develop while this paper is written, and is poised to accelerate as benefits become increasingly clear, and as offerings, hardware and applications mature and move to the next level. Therefore, manufacturers increase their digital transformation efforts along strategic and staged paths, towards realizing industry 4.0 and the digital transformation of manufacturing.

The current trends evidence that the level of invention in VR's application in surgical training is arriving at a plateau. However, progress is still slow, and the level of adoption and stories of high success are still not well reported [1]. Implementing VR is a complex exercise, and many adopters in the healthcare field have encountered problems in different phases. For instance, many studies have been suggested that simulator training is most successful if it is integrated with a systematic training curriculum [2-6]. In addition, risky obstacles stem from the lack of non-technical skills integrated into virtual reality simulators. This is the major cause of surgical errors, and also of the lack of validity evidence for many simulators, as indicated in the literature [7-9]. Once these factors and others are integrated and fulfilled, the re-purposing and sharing of system components, and the resultant high returns on investment, will encourage healthcare providers to adopt virtual reality-based training in the ophthalmology area. The lack of a high success rate in implementing of VR calls for a better understanding of process. In order to reduce the failure rate of VR implementation, a study regarding the identification of critical success factors (CSFs) in VR implementation is crucial.

Unfortunately there has been no intensive study of CSFs for VR success within the healthcare context, unlike a number of studies reporting CSFs for other areas, such as enterprise systems [10-12]. Therefore, with a particular emphasis on ophthalmology, this paper represents a first attempt to establish common CSFs for VR-based training for ophthalmology. This paper therefore seeks to answer the following research question:

RQ: What are the critical success factors that influence the use of virtual reality-based training in the ophthalmology domain?

Taking this objective into account, the aim of this systematic literature review is to present the current status of research into VRT in ophthalmology. This study will be the first to explore the CSFs which influence the use of VRT. The study considers categories for analysing the current state and tendencies of VRT, such as the uses of VRT in the ophthalmology domain, as well as its challenges and levels of effectiveness. It will review the availability of adaptation and the personalization processes in VRT applications, as well as the use of VRT for addressing the special needs for ophthalmology residents within diverse contexts. The analysis of the different categories allows for the suggestion of trends, challenges, affordances, opportunities for further research, and a general vision towards the future.

This paper has been organized in the following way. Section 2 presents the study's background, section 3 describes its methodological design, and section 4 presents the results jointly with a discussion of findings. Section 5 follows with a discussion of trends and provides a vision towards the future. Finally, section 6 presents some conclusions.

Background

Cataracts are a well-known disease in ophthalmology field, which

***Corresponding author:** Mohammad Nazir Ahmad, Associate Professor, Institute of Visual Informatics (IVI), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, Selangor Tel: (6016)770 6735, (603)8921 7169; E-mail: mnazir@ukm.edu.my

Received: June 12, 2018; **Accepted:** July 18, 2018; **Published:** August 01, 2018

Citation: Benferdia Y, Ahmad MN, Mustapha M, Baharin H, Bajuri MY (2018) Critical Success Factors for Virtual Reality-based Training in Ophthalmology Domain. J Health Med Informat 9: 318. doi: [10.4172/2157-7420.1000318](https://doi.org/10.4172/2157-7420.1000318)

Copyright: © 2018 Benferdia Y, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

6. Ontology Applications in Virtual Reality Training Domain: Review and Future Direction

Ontologies Application in Virtual Reality Training Domain: A Review and Future Directions

Ontologies Application in Virtual Reality Training Domain: A Review and Future Directions

Completed Research Paper

Youcef Benferdia

Institute of IR4.0, UKM, 43600,
Bangi, Selangor
Byoucef1111@gmail.com

Mohd Yazid Bajuri

Department of Orthopaedics and Traumatology,
Faculty of Medicine, UKM, Kuala Lumpur
yb@ppukm.edu.my

Mazida Ahmad

School of Computing,
UUM, Sintok, Kedah
mazida@uum.edu.my

Mohammad Nazir Ahmad

Institute of IR4.0, UKM, 43600,
Bangi, Selangor
mnazir@ukm.edu.my

Mushawiahti Mustapha

Department of Ophthalmology, Faculty
of Medicine UKM, Kuala Lumpur
drmusha@gmail.com

Azrulhizam Shapii

Center For Artificial Intelligence Technology,
UKM, 43600, Bangi, Selangor
azrulhizam@ukm.edu.my

Abstract

The development of Virtual Reality in the Training and Education domain (VRT for short) involves a huge amount of knowledge related to interactive graphics, and also requires bridging the knowledge among stakeholders. However, studies on how the knowledge is captured explicitly are still lacking. Thus, the main purpose of this study is to explore how ontologies have recently been applied in the VRT domain. A narrative method was conducted with the support of Kitchenman's Systematic Literature Review (SLR) methodology. In summary, the key findings of this work are: (i) Majority of the studies only focus on capturing & structuring knowledge; (ii) All ontologies apply deficient foundational ontologies, languages and methodologies when designing ontologies for VRT; (iii) Lack of capturing perdurant knowledge in ontology design (iv) There are key components that are considered crucial for designing an ontology for VRT. Future directions are suggested for designing the right ontology for VRT.

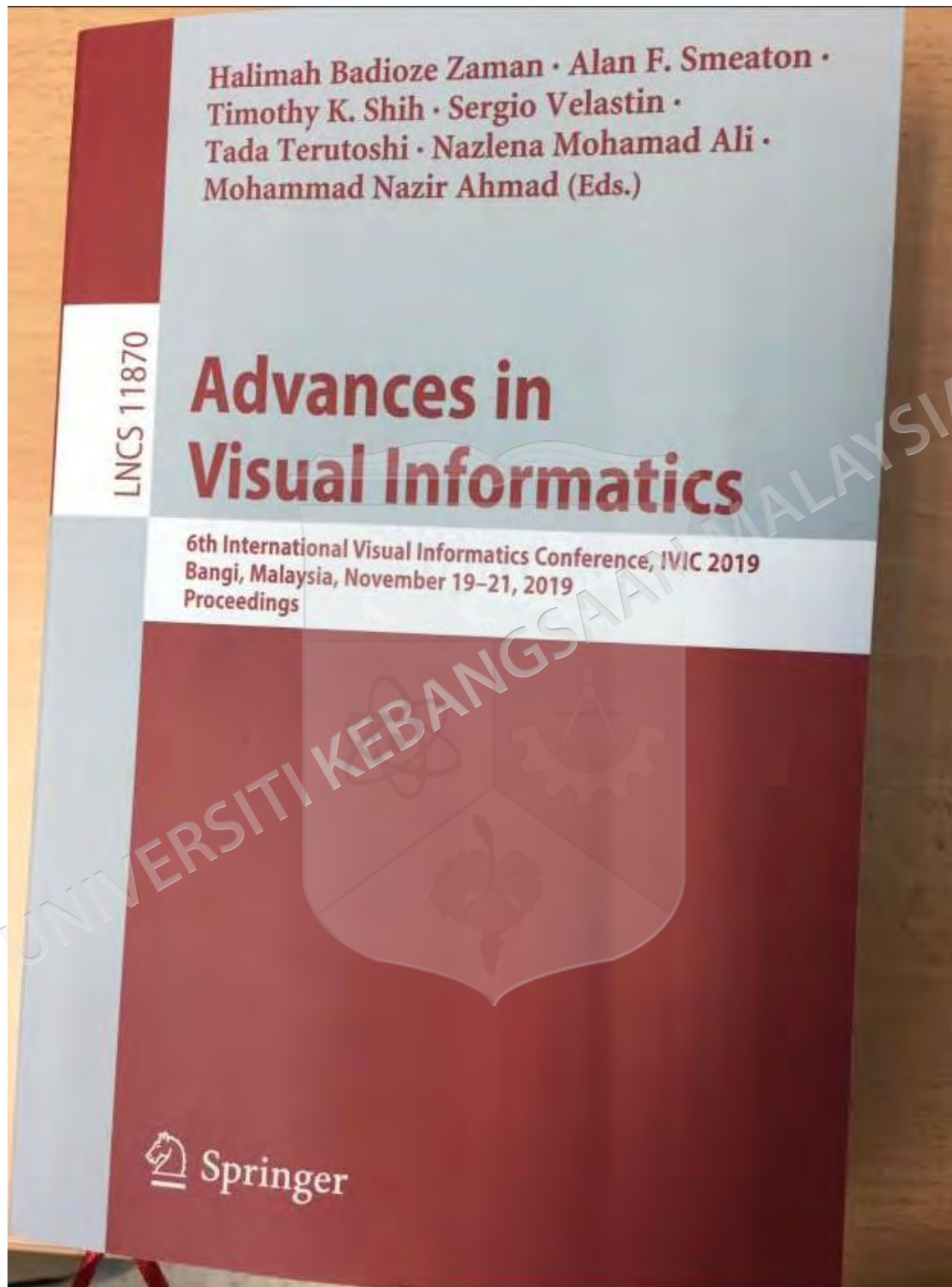
Keywords: Ontology applications, Virtual reality, Training and Education.

Introduction

The growing global use of ontology has led to its success in different disciplines including enterprise systems, knowledge management, software engineering and disaster management. A shared and common understanding of a domain is one of the key features of ontology that can strongly facilitate communication and interaction among agents and applications, especially in very complicated domains such as Virtual Reality (VR). However, it is noted that the ontology applications in the VRT domain have received less attention, and that the VRT community still lacks a comprehensive understanding of how ontologies are used in the VRT domain.

VR is defined as "real-time interactive graphics with 3D models, combined with a display technology that gives the user the immersion in the model world and direct manipulation" (Fuchs and Bishop 1992). The immersive environment can be similar to the real world or it can be fantastical, creating an experience not possible in ordinary physical reality. The progresses in VR from the past, present, and future have been outlined in (Cipresso et al. 2018). It shows that the using of this technology has been

7. Virtual Reality Ideal Learning: A Look into Future Medical Classroom



LAMPIRAN C

SENARAI HARTA INTELEK

1. Virtual Reality in Total Ankle Replacement Surgery

 **INTELLECTUAL PROPERTY CORPORATION OF MALAYSIA**
An agency under the Ministry of Domestic Trade and Consumer Affairs
COPYRIGHT ACT 1987
NOTIFICATION OF WORKS
[subregulation 5(2) and 5(3)]

 **CR - 1**



Application No: LY2020000440

Applicant:

*Title of work
(Original language) : VIRTUAL REALITY IN TOTAL ANKLE REPLACEMENT SURGERY

Translation
(If the title of work is neither in Bahasa nor English) : _____

Transliteration
(If the title of work is neither in Bahasa nor English) : _____

Name of the Language
(Language used in the work) : ENGLISH

*** Section A : Category of Works**

☒ Literary ☐ Musical ☐ Artistic ☐ Film ☐ Sound Recording ☐ Broadcast

Date of Creation / Fixation : 15 / 09 / 2019

Section B : Publication

The Work is : ☐ Published ☒ Unpublished

If published
(please state date first published) : _____ / _____ / _____
(Year of Compilation) (Date of first publication) (Country)

*** Section C : Author** (Note : Author is an individual person, not a company. To add additional authors, please attach separate sheet
1. If author is anonymous, please state name of legal representative)

Name : MOHD YAZID BIN BAJURI

I.C. / Passport No. : 761202-01-6809

Address : JABATAN ORTOPEDIK DAN TRAUMATOLOGI
PUSAT PERUBATAN UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
JALAN YAACOB LATIF, BANDAR TUN RAZAK

Postcode : 56000 City : WILAYAH PERSEKUTUAN Nationality : _____

State : KUALA LUMPUR Country : _____

Telephone No. : 017 - 277 1000 E-mail : ezeds007@yahoo.com.my Date of Death : _____ / _____ / _____

Fax No. : _____

* Required to be filled in

*** Section D : Owner** (Note: to add additional owners, please attach separate sheet)

Name : _____
 I.C / Passport No. : _____
OR
 Company Name : UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
 Company Registration No. : _____
 Address : PUSAT INOVASI KOLABORATIF
 UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA

 Postcode : 43600 City : BANGI Nationality : _____
 State : SELANGOR Country : MALAYSIA
 Telephone No. : 03-8921 4876 E-mail : pghinovasi@ukm.edu.my Fax No. : 03-8921 4114

Section E : Licensee (Section D must be filled in)

Name : _____
 I.C / Passport No. : _____
OR
 Company Name : _____
 Company Registration No. : _____
 Address : _____

 Postcode : _____ City : _____ Nationality : _____
 State : _____ Country : _____
 Telephone No. : _____ E-mail : _____ Fax No. : _____
 Date of Agreement : | | / | | / | |
 Duration of Agreement : | | / | | / | | until | | / | | / | |

Please provide copy of agreement(s) or supporting document(s)

*** Section F : Contact Person**

Name : MA KALTHUM ISHAK
 I.C / Passport No. : 870714-29-5218
 Address : PUSAT INOVASI KOLABORATIF
 UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA

 Postcode : 43600 City : BANGI Nationality : MALAYSIAN
 State : SELANGOR Country : MALAYSIA
 Telephone No. : 03-8921 4821 E-mail : makalthum@ukm.edu.my Fax No. : 03-8921 4114

* Required to be filled in

APPENDIX 1

SECTION C: AUTHORS

NO	NAME	NRIC	ADDRESS
1	MOHAMMAD NAZIR BIN AHMAD @ SHARIF	(761113-01-6735)	INSTITUTE OF VISUAL INFORMATICS UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA 43600 BANGI SELANGOR

