

PEMBANGUNAN SATU SISTEM BANGUNAN BERINDUSTRI (IBS) –
LANTAI PASANG SIAP SISTEM KEPINGAN KELULI
BERPROFIL PAPAN KERING

NORHAIZA BINTI NORDIN

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2014

PENGAKUAN

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

14 April 2014

NORHAIZA BINTI NORDIN
P 35250

PENGHARGAAN

Bismillahir Rahmanir Rahim. Alhamdulillah, syukur kepada Allah Subhana Wa Taala kerana dengan izin, petunjuk dan limpah kurniaNya jua, dapatlah disempurnakan penulisan tesis ini. Selawat serta salam ke atas Baginda Junjungan Mulia, Rasulullahu Sallallahu 'Alaihi Wasallam, ahli keluarga dan para sahabat Baginda. Terima kasih tidak terhingga kepada penyelia utama, Prof. Ir. Dr. Hj. Wan Hamidon Wan Badaruzzaman di atas segala tunjuk ajar, keprihatinan, kepercayaan dan kesabaran yang diberi. Penghargaan juga kepada penyelia kedua, Prof Madya Ir. Dr. Abdul Khalim Abdul Rashid di atas sumbangan menyemak hasil kerja.

Berbanyak terima kasih kepada kakitangan makmal Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur, UKM di atas bantuan melaksanakan ujikaji. Terima kasih juga kepada rakan-rakan seperjuangan di UKM yang telah sama-sama membantu dan berkongsi susah senang di dalam menuntut ilmu. Penghargaan kepada rakan-rakan pensyarah di Universiti Malaysia Pahang yang telah banyak memberi kata-kata semangat untuk menyempurnakan penulisan tesis ini.

Setinggi-tinggi penghargaan dan doa kepada suami yang dikasihi dan dimuliakan, Prof. Dr. Hj. Wan Mansor Wan Muhamad yang sentiasa memberi sokongan, kasih sayang dan peringatan, juga anak-anak yang disayangi; Naim, Nuha, Nuur, Nusrah, Nazah, Ahmad Naufal, Nasih Amin dan Nasrul Iman yang terpaksa berjauhan sekian lama. Semoga kalian gigih menuntut ilmu dan beramal soleh sepanjang hayat. Kepada ibubapa yang diingati, Allahyarham Hj Nordin Abdul Ghani dan Hjh Rahimah Abdul Rahman, terima kasih di atas segala sokongan dan harapan.

Semoga segala amalan ini diterima Allah Subhanahu wa Taala.

**PEMBANGUNAN SATU SISTEM BANGUNAN BERINDUSTRI (IBS) –
LANTAI PASANG SIAP SISTEM KEPINGAN KELULI
BERPROFIL PAPAN KERING**

ABSTRAK

Sistem Kepingan Keluli Berprofil Papan Kering atau *Profiled Steel Sheeting Dry Board System (PSSDB)* sebelum ini terdiri daripada komponen-komponennya, iaitu kepingan keluli berprofil, papan kering dan skru penyambung, yang dibawa secara berasingan ke tapak sebelum disusun dan dipasang bersama untuk membentuk unit-unit struktur di dalam sesebuah bangunan. Namun, untuk memenuhi keperluan Sistem Bangunan Berindustri (IBS) sepenuhnya, sistem PSSDB perlu dikembangkan menjadi sebuah sistem pasang siap (*prefabricated*). Matlamat penyelidikan ini adalah untuk membangunkan sistem PSSDB sebagai sistem panel lantai pasang siap yang dipasang di tapak yang memenuhi ciri-ciri pembinaan IBS yang lebih menyeluruh. Objektif kajian pula adalah pertama, membangunkan sistem panel lantai yang lebih kukuh; kedua, menyiasat dan mendapatkan ciri-ciri kekukuhan skru penyambung panel lantai PSSDB; ketiga, membangunkan model unsur terHINGGA untuk meramalkan kekukuhan dan menghasilkan jadual panduan rekabentuk panel lantai PSSDB dan keempat, membangunkan sistem lantai pasang siap PSSDB secara praktikal. Penyelidikan ini terbahagi kepada tiga bahagian iaitu ujikaji makmal, permodelan unsur terHINGGA dan pembinaan kabin bilik darjah. Ujikaji makmal terdiri daripada ujikaji lenturan dan tolak keluar. Keputusan ujikaji lenturan mendapati penggunaan papan kering Cemboard telah menambah kekukuhan dan beban muktamad sebanyak 7.2% dan 9.1% masing-masing, berbanding papan lapis. Penambahan jalur kayu di sisi panel telah menambahkan kekukuhan sebanyak 8.8%. beban muktamad sebanyak 31.7% di samping mengurangkan masalah ketakrataan lantai. Kaedah penyambungan kayu tanggam di antara dua panel yang bersebelahan didapati mampu menanggung lebih banyak beban, iaitu 63.3 % dari panel individu yang diperkukuh dengan jalur kayu dan bertambah sebanyak 77.6% dari panel individu yang tidak diperkukuh. Panel separa selangar lantai pasang siap PSSDB hanya mempunyai 52 % kekukuhan panel selangar. Permodelan unsur terHINGGA penyelidikan terdahulu pula telah ditambah dengan kajian terhadap perbandingan di antara unsur kelompong *semiloof* dengan kelompong tebal, beban seragam dengan beban garis seragam dan jarak di antara kepingan keluli berprofil dengan papan kering. Hasilnya, perbezaan di antara nilai pesongan tengah ujikaji dengan pesongan model unsur terHINGGA adalah sebanyak 7.8%. Model yang telah disahkan ini digunakan pula untuk kajian parametrik dan juga meramalkan kekukuhan panel hasil gabungan beberapa komponen baru. Ramalan ini digunakan untuk membangunkan satu jadual beban melawan rentang sebagai garis panduan kepada rekabentuk lantai. Akhirnya sistem lantai pasang siap PSSDB ini diaplikasikan secara praktikal dengan pembinaan dua kabin bilik darjah. Berdasarkan kepada hasil penyelidikan ini, sistem lantai PSSDB dengan berbagai kelebihan, berpotensi sesuai dan selamat digunakan sebagai lantai pasang siap.

DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIALISED BUILDING SYSTEM (IBS), PROFILED STEEL SHEETING DRY BOARD SYSTEM PREFABRICATED FLOOR

ABSTRACT

Previously, the Profiled Steel Sheeting Dry Board System (PSSDB) which is made up of its components of profiled steel sheeting, dry boards and screw connectors are brought separately to the site, pre-arranged and fitted together to form units in a building structure. However, to meet the needs of the Industrialised Building System (IBS) in full, the PSSDB system must be developed into a prefabricated system. The goal of this research is to develop the PSSDB system as prefabricated floor panel system installed at site that meets the characteristics of a more comprehensive IBS construction. The objective of this research is firstly; to develop a more robust floor panel system, secondly, to investigate and get the stiffness characteristics of the PSSDB floor panel connector screws; thirdly; to develop a finite element model to predict the stiffness and produce the design guidelines of PSSDB floor panels and lastly; to develop the PSSDB prefabricated floor system practically. This research is divided into three parts, mainly; laboratory testing, finite element modeling and construction of classroom cabins. Laboratory experiments consist of bending and push out tests. Bending experiment shows that the use of Cemboard dry board has increased the stiffness and ultimate load by 7.2 % and 9.1 % respectively compared to that of plywood. The addition of wood strips on the side panel has increased the stiffness by 8.8 %, ultimate load by 31.7 % and reduced the problem of uneven floor surface. Rabbet connection between two adjacent panels has allowed the panel to bear more load, which is 63.3 % of the individual panels reinforced with wooden strips and 77.6 % of unstrengthened individual panels. Semi-continuous prefabricated PSSDB floor panel has only 52% of the continuous panel stiffness. Previous finite element modeling has been expanded by comparing between the semi-loof and thick shell, uniform load and uniform line load and the distance between the profiled steel sheet and the board dry. As a result, the difference between the experimental central deflection and that of the finite element model is 7.8%. This verified model has been used to carry out a parametric study and predict the panel stiffness of a combination of several new components. These predictions are used to develop a load versus span table as a guidance to floor design. Finally, the PSSDB prefabricated floor system is applied to the construction of two classrooms cabin. Based on these findings, PSSDB floor system with its advantages is potentially suitable and safe to be used as prefabricated floor system.

LAMPIRAN A
LUKISAN KABIN



KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	x
SENARAI ILUSTRASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Sistem PSSDB	5
1.3 Permasalahan Kajian	6
1.4 Matlamat Kajian	8
1.5 Objektif Kajian	8
1.6 Skop Kajian	8
1.7 Kepentingan Kajian	9
1.8 Susunan Kandungan Tesis	10
BAB II ULASAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Pengenalan	12
2.2 Sistem Lantai IBS di Malaysia	12
2.2.1 Lantai konkrit pra-tuang (<i>precast slab</i>)	13
2.2.2 Lantai komposit keluli konkrit	15
2.2.3 Lantai PSSDB	17
2.3 Sistem Lantai PSSDB	17
2.3.1 Papan kering	17
2.3.2 Kepingan keluli berprofil	19
2.3.3 Skru penyambung dan jaraknya	24
2.4 Kajian Khusus Sistem PSSDB	27
2.4.1 Ujian tolak keluar PSSDB	28
2.4.2 Ujian lenturan	36
2.4.3 Permodelan unsur terhingga	46
2.5 Kesimpulan	51

BAB III	KAJIAN KELAKUAN PANEL LANTAI PASANG SIAP PSSDB	
3.1	Pengenalan	54
3.2	Mengkaji Kelakuan Panel Lantai PSSDB	54
3.3	Matlamat Ujikaji Lenturan	57
3.4	Persampelan	58
3.5	Peralatan Ujikaji	68
3.6	Siri Ujikaji 1 – Panel disokong Mudah	72
	3.6.1 Ujikaji dan pemerhatian	72
	3.6.2 Keputusan, analisa dan perbincangan	75
3.7	Siri Ujikaji 2 – Panel disokong Mudah yang Diperkukuh	83
	3.7.1 Ujikaji dan pemerhatian	84
	3.7.2 Keputusan, analisa dan perbincangan	88
3.8	Siri Ujikaji 3 – Panel Berciri Selanjat	98
	3.8.1 Ujikaji dan pemerhatian	98
	3.8.2 Keputusan, analisa dan perbincangan	104
3.9	Kesimpulan	110
BAB IV	KAJIAN SKRU PENYAMBUNG	
4.1	Pengenalan	112
4.2	Mengkaji Kelakuan Skru Penyambung	113
	4.2.1 Mod-mod kegagalan	114
4.3	Matlamat Ujikaji Tolak Keluar	115
4.4	Persampelan	116
4.5	Peralatan Ujikaji	119
4.6	Ujikaji dan Pemerhatian	120
	4.6.1 Sampel Peva-Cemboard	120
	4.6.2 Sampel Peva-Papan Lapis	122
	4.6.3 Sampel Cemboard-Kayu	123
	4.6.4 Kegagalan skru	124
4.7	Keputusan, Analisa dan Perbincangan	125
	4.7.1 Kesan ketebalan kepingan keluli	127
	4.7.2 Kesan papan kering berbeza	128
	4.7.3 Kesan gandingan kepada Cemboard	129
	4.7.4 Aspek kegagalan skru	130
4.8	Perbandingan Nilai Kekukuhan Skru Penyambung dan Panel Lantai	132

4.9	Kesimpulan	133
BAB V	PERMODELAN UNSUR TERHINGGA	
5.1	Pengenalan	135
5.2	Pra-Permodelan	136
5.2.1	Pemilihan unsur	136
5.2.2	Jenis pembebanan	139
5.2.3	Kesan jarak di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering	141
5.3	Permodelan	141
5.3.1	Unsur	142
5.3.2	Keadaan sempadan, simetri dan beban	142
5.4	Ujian Penumpuan	143
5.5	Pengesahan Model dengan Data Ujikaji	144
5.6	Kajian Parametrik	145
5.6.1	Kesan rentang berbeza	146
5.6.2	Kesan ketebalan kepingan keluli berprofil	146
5.6.3	Kesan ketebalan papan kering	147
5.7	Jadual Rentang melawan Beban Maksima	148
5.8	Kesimpulan	153
BAB VI	APLIKASI SISTEM PASANG SIAP PSSDB DALAM PEMBINAAN KABIN BILIK DARJAH	
6.1	Pengenalan	155
6.2	Projek Kabin Bilik Darjah	155
6.3	Penggunaan Sistem PSSDB dalam Pembinaan Kabin Bilik Darjah	157
6.3.1	Ciri-ciri kabin untuk kawasan pedalaman	158
6.4	Proses Pembinaan	160
6.5	Isu Lantai Semasa Pembinaan	164
6.6	Kesimpulan	166
BAB VII	RUMUSAN DAN CADANGAN KAJIAN LANJUT	
7.1	Pengenalan	167
7.2	Rumusan dan Penemuan Kajian	167
7.2.1	Membangunkan sistem panel lantai yang lebih kukuh	168
7.2.2	Menyiasat dan mendapatkan ciri-ciri kekukuhan skru penyambung panel lantai PSSDB	169
7.2.3	Membangunkan model unsur terhingga untuk meramalkan kekukuhan dan menghasilkan jadual	170

	rekabentuk panel lantai PSSDB	
7.2.4	Membangunkan sistem lantai pasang siap PSSDB secara praktikal	171
7.3	Sumbangan Kajian	172
7.4	Cadangan Kajian Lanjutan	172
7.5	Penutup	173
RUJUKAN		174
LAMPIRAN		
A	Lukisan kabin	183



SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Sifat struktur papan kering	18
2.2	Nilai ujian struktur papan kering	18
2.3	Perbandingan ciri kepingan keluli berprofil	19
2.4	Sifat skru penyambung	25
2.5	Kesan jarak skru kepada peratus interaksi beberapa jenis panel komposit (Ahmed 1996)	26
2.6	Kesan jarak skru kepada peratus interaksi (Wright 1989)	27
2.7	Maklumat ujian tolak keluar (Wright 1989)	30
2.8	Maklumat ujian tolak keluar (Ahmed 1996)	31
2.9	Maklumat ujian tolak keluar (Akhand 2001)	32
2.10	Maklumat ujian tolak keluar (Harsoyo 2004)	33
2.11	Maklumat ujian tolak keluar (Hanizam 2008)	34
2.12	Sebahagian nilai kekukuhan yang didapati melalui ujian tolak keluar penyelidik PSSDB terdahulu	35
2.13	Maklumat ujian lenturan (Wright 1989)	37
2.14	Kekukuhan beberapa panel terpilih	38
2.15	Maklumat ujian lenturan (Ahmed 1996)	39
2.16	Kekukuhan beberapa panel terpilih (Ahmed 1996)	39
2.17	Maklumat ujian lenturan (Akhand 2001)	40
2.18	Maklumat ujian lenturan (Harsoyo 2004)	42
2.19	Kekukuhan beberapa panel terpilih (Harsoyo 2004)	42
2.20	Maklumat ujian lenturan (Siti Hawa 2006)	43
2.21	Maklumat ujian lenturan (Hanizam 2008)	44
2.22	Ringkasan hasil penyelidikan terdahulu	45
2.23	Jenis unsur permodelan yang digunakan dalam LUSAS	50
3.1	Siri ujikaji lantai pasang siap PSSDB	67
3.2	Perbandingan kekukuhan purata di antara PC/2.4DM dan PPI/2.4DM	78
3.3	Perbandingan nilai kekukuhan ramalan dan ujikaji	83
3.4	Perbandingan kelakuan panel	90
3.5	Perbandingan nilai kekukuhan ramalan dan ujikaji	92

3.6	Perbandingan nilai kekukuhan PC/2.4DM dan PCK/2.4DM	93
3.7	Perbandingan kelakuan PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj	109
3.8	Perbandingan kekukuhan panel disokong mudah	110
4.1	Maklumat sampel untuk ujian tolak keluar	117
4.2	Nilai kekukuhan dan beban maksima sampel ujian tolak-keluar	126
4.3	Perbandingan nilai kekukuhan skru penyambung dan panel	132
4.4	Perbandingan kekukuhan	133
5.1	Beberapa jenis unsur pilihan dalam LUSAS	137
5.2	Perbandingan nilai lenturan tengah panel sampel	138
5.3	Perbandingan pembebanan seragam dan beban empat garis menumpu	140
5.4	Jumlah unsur mengikut jejaring	144
5.5	Perbandingan nilai kekukuhan (EI)	145
5.6	Ramalan pesongan tengah rentang dalam mm pada rentang berbeza	146
5.7	Ramalan pesongan tengah rentang dalam mm untuk ketebalan Peva yang berbeza	147
5.8	Ramalan pesongan tengah rentang dalam mm untuk ketebalan Cemboard yang berbeza	148
5.9	Beban maksima panel Cemboard 18 mm dan Peva 0.8 mm atau 1.0 mm	149
5.10	Beban maksima panel Cemboard 16 mm dan Peva 0.8 mm atau 1.0 mm	150
5.11	Beban maksima panel papan lapis 18 mm dan Peva 0.8 mm atau 1.0 mm	151
5.12	Beban maksima panel papan lapis 16 mm dan Peva 0.8 mm atau 1.0 mm	152
5.13	Rentang maksima bagi gabungan tertentu	153
6.1	Perbandingan berat panel lantai PSSDB	159

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah		Halaman
1.1	Perkembangan IBS menuju 2015 (Idrus 2012)	2
1.2	Panel asas PSSDB (Harsoyo 2004)	5
1.3	Panel pasang siap PSSDB di bawah kerangka kaedah pembinaan	7
2.1	Papak komposit keluli-konkrit.	15
2.2	Profil papak komposit jambatan dengan Perfobond	16
2.3	Jenis-jenis kepingan keluli berprofil untuk kegunaan lantai	20
2.4	Piawaian sampel untuk ujikaji tolak keluar	28
2.5	Pandangan keratan rentas unsur terhingga panel PSSDB oleh Akhand (2001).	48
2.6	Pandangan rentas sisi panel yang menunjukkan kedudukan spring	48
3.1	PC/2.4DM (Papan Cemboard) dan PPI/2.4DM (Papan lapis).	59
3.2	PCK/2.4DM – diperkukuh dengan jalur kayu	60
3.3	PCT/2.4DM – Sambungan tanggam	62
3.4	Panel CK/2.4DM	63
3.5	PC/3.0SSj – separa selanjar	64
3.6	PC/3.0Sj – selanjar	66
3.7	Kedudukan tolok-tolok pesongan pada pandangan plan panel sampel	69
3.8	Kedudukan tolok terikan pada keratan rentas bahagian tengah panel sampel	70
3.9	Pandangan plan keratan geronggang segiempat yang disusun di atas panel	71
3.10	Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat (T5) rentang PPI/2.4DM	76
3.11	Pesongan tengah PC/2.4DM pada tiga bahagian	77
3.12	Pesongan tengah PPI/2.4DM pada tiga bahagian	77
3.13	Perbandingan graf beban melawan pesongan purata sampel PC/2.4DM dan PPI/2.4DM	78
3.14	Graf beban melawan terikan PC/2.4DM (garis tebal) dan PPI/2.4DM (garis nipis).	79
3.15	Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat rentang (T5) PCK/2.4DM	89

3.16	Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat rentang (T5) PCT/2.4DM 3.17	89
3.17	Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat rentang (T5) CK/2.4DM	90
3.18	Graf kelakuan purata tiga sampel PC/2.4DM berbanding PCK/2.4DM	92
3.19	Kelengkungan di dalam satu arah	94
3.20	Kelengkungan di dalam dua arah	94
3.21	Perbandingan terikan PCK/2.4DM (garis tebal) dan PC/2.4DM (garis nipis).	95
3.22	Graf beban melawan pesongan PCK/2.4DM, PCT/2.4DM dan PC/2.4DM	96
3.23	Graf perbandingan kelakuan sampel PCK/2.4DM dan CK/2.4DM	98
3.24	Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat (T5) rentang PC/3.0SSj	105
3.25	Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat (T5) rentang PC/3.0Sj	105
3.26	Perbandingan kelakuan PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj	106
3.27	Pandangan sisi skematik PC/3.0SSj	108
4.1	Kelakuan rasuk yang disambung sepenuhnya dan yang tidak disambung	114
4.2	Beberapa jenis mod kegagalan dalam ujian gelincir	115
4.3	Sampel Peva-Cemboard dan Peva-Papan lapis	118
4.4	Sampel Cemboard-kayu	119
4.5	Graf perbandingan sampel-sampel ujian tolak keluar	126
4.6	Perbandingan graf sampel Cemboard yang diskru pada kepingan keluli Peva yang berlainan ketebalan	128
4.7	Graf perbezaan kelakuan sampel kepingan keluli Peva yang diskru pada papan kering Cemboard berbanding Papan lapis	129
4.8	Perbezaan kelakuan sampel kepingan Cemboard yang diskrukan Pada kepingan keluli Peva (0.8 mm) berbanding kayu	130
4.9	Kedudukan skru di dalam Cemboard-Peva	131
4.10	Kedudukan skru di dalam Cemboard dan kayu	131
5.1	Model unsur terhingga panel	143
6.1	Lakaran kabin menunjukkan (a) pandangan perspektif dan (b) sistem pengudaraan yang baik	160
No. Gambar		
2.1	Lantai konkrit pra tuang	13

2.2	Beberapa contoh skru penyambung	25
3.1	Panel diletakkan pada rangka penguji untuk pembebanan	71
3.2	PC/2.4DM di bawah bebanan	73
3.3	Contoh lengkokan tempatan pada bibir atas yang dirakam dari bawah panel	73
3.4	Keadaan panel (a) setelah kegagalan dan (b) kelupasan papan lapis	74
3.5	Keadaan hujung panel (a) sebelum dikenakan beban dan (b) selepas kegagalan	75
3.6	Keadaan bibir bawah kepingan keluli berprofil (a) PC/2.4DM dan (b) PPI/2.4DM sebelum pembebanan dibuat.	81
3.7	(a) Pandangan sisi panel dan (b) keadaan kayu dan kepingan keluli ketika kegagalan (pandangan dari bawah).	84
3.8	Susun atur sampel dan pembebanan.	85
3.9	Kayu tanggam masih bertaut dan melengkong bersama	86
3.10	Lengkokan tempatan berlaku dalam satu garisan melintang di mana hujungnya adalah tempat jalur kayu patah	86
3.11	Keadaan CK/2.4DM pada beban maksima	87
3.12	Keadaan panel semasa (a) kegagalan dan (b) keretakan pada papan kering Cemboard.	88
3.13	Kegelinciran pada CK/2.4DM	88
3.14	Susun atur panel lantai separa selang dengan panel penyambung di tengahnya, PC/3.0SSj.	99
3.15	Panel penyambung di dalam PC/3.0SSj	100
3.16	Rabung pengukuh menghalang keluli berprofil dari bertindan rapat bila disusun di atas satu sama lain.	100
3.17	PC/3.0SSj ketika kegagalan	102
3.18	(a) Panel di bawah pembebanan dan (b).papan kering retak di bahagian tengah panel.	102
3.19	Kegagalan tertumpu di bawah keratan geronggang segiempat yang paling hujung	103
3.20	PC/3.0Sj - Keadaan hujung kepingan keluli (a) sebelum dan (b) selepas dikenakan beban hingga kegagalan	104

3.21	Perbandingan kelakuan bibir bawah semasa kegagalan di antara (a) PC/3.0SSj dan (b) PC/3.0Sj.	104
4.1	Skrus yang digunakan	117
4.2	Peralatan yang digunakan	120
4.3	Sampel setelah gagal	121
4.4	Sampel Peva-Cemboard pada (a) awal ujikaji dan (b) selepas kegagalan	121
4.5	Sampel Peva-Papan lapis pada (a) awal ujikaji dan (b) selepas kegagalan	122
4.6	Pandangan sisi kepingan keluli yang diletakkan berserenjang dengan papan kering papan lapis	123
4.7	(a) Sampel Cemboard-Kayu pada awal ujikaji, (b) pandangan sisi sesudah kegagalan dan (c) skru yang masih melekat pada kayu.	124
4.8	Keadaan skru setelah kegagalan dari sampel (A) Peva-Cemboard (B) Cemboard-Kayu (C) Peva-Papan lapis	124
6.1	(a) Rumah lama guru di Sarawak (b) bangunan sekolah di pendalaman.	156
6.2	Dua pekerja mengangkat panel lantai PSSDB yang seberat 73 kg	159
6.3	(a) Tindakan bahan asas dan (b) kerja pemasangan panel di kilang	161
6.4	(a) Panel lantai dan (b) dinding pasang siap diletakkan di tapak projek	161
6.5	(a) Pembinaan puntung dan (b) pemasangan rasuk kabin	162
6.6	(a) Rasuk saluran “C” yang disusun dan (b) diskru pada puntung	162
6.7	Pemasangan panel (a) dinding dan (b) lantai	163
6.8	Kerja-kerja pengemasan (a) lantai dan (b) dinding kabin	163
6.9	Dua buah kabin bilik darjah yang telah siap dibina	164
6.10	Papan kering yang terjulur memungkinkan (a) ketakrataan lantai dan (b) kepatahan di bucu panel	165

BAB I

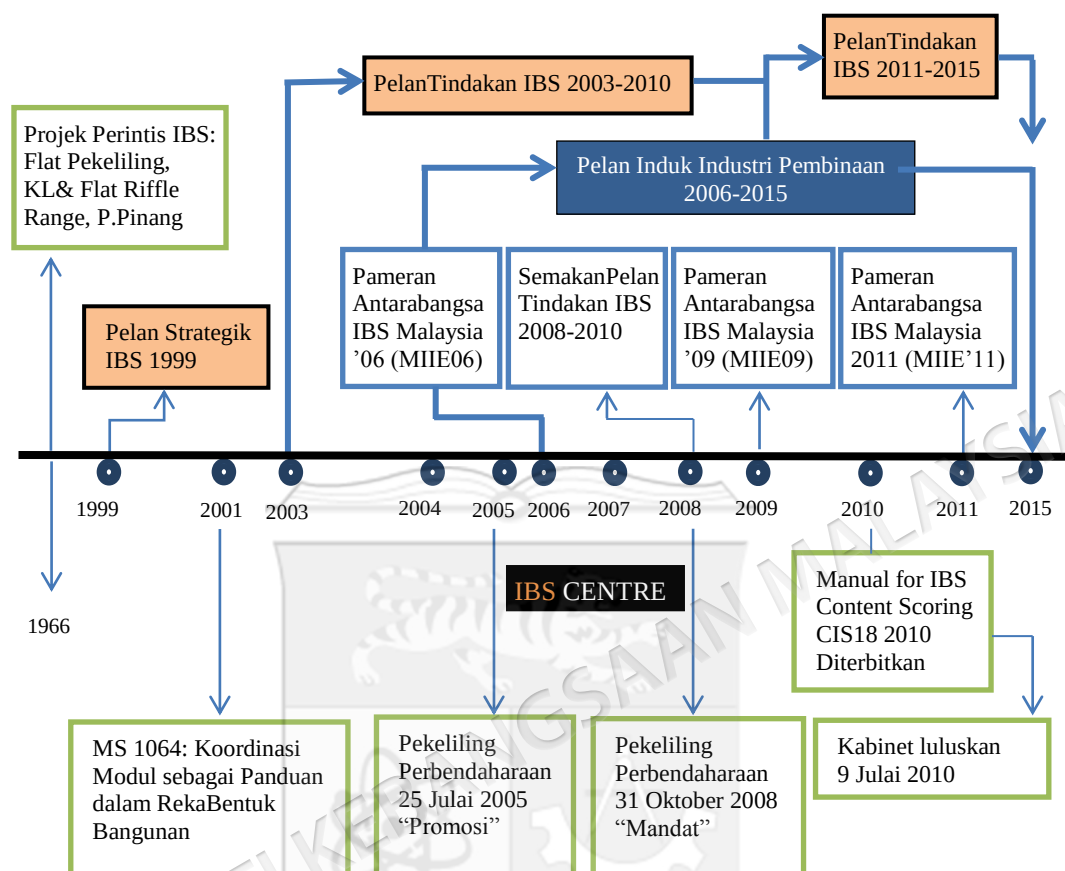
PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan Malaysia (CIDB) telah menakrifkan Sistem Bangunan Berindustri (IBS) sebagai sistem pembinaan di mana komponen dibuat di kilang atau di tapak bina dalam keadaan terkawal, diangkut dan dipasang di tapak menjadi satu struktur dengan tenaga kerja tambahan yang minimum. Konsep IBS tidak terbatas kepada sesuatu produk, sistem atau teknologi tapi turut merangkumi satu kaedah, pendekatan dan proses yang dapat membuatkan pembinaan itu lebih cekap, tidak terlalu bergantung kepada tenaga buruh, pantas dan berkualiti (Shaari et al. 2003). Walaupun IBS sudah lama bertapak di Malaysia sejak daripada tahun 1960an lagi, namun ia telah diberi peranan baru seiring dengan perkembangan teknologi untuk meneraju sektor pembinaan tempatan meningkatkan keupayaan untuk menghadapi cabaran permodenan dan kemampuan bersaing di peringkat global.

Program IBS diwujudkan bertujuan untuk menjuruskan sektor pembinaan ke arah peningkatan kualiti, produktiviti, keselamatan dan daya saing di samping mengurangkan pergantungan kepada tenaga kerja asing kurang mahir (CIDB 2007). Pembinaan berteraskan IBS telah dirancang dan dilaksanakan oleh kerajaan melalui *IBS Roadmap 2003-2010* diikuti dengan penggubalan *Pelan Induk Industri Pembinaan (Construction Industry Masterplan) 2006-2015* dan diteruskan kesinambungannya dengan *IBS Roadmap 2011-2015*. Keseriusan dan komitmen kerajaan turut dapat dilihat melalui pakej-pakej rangsangan ekonomi di dalam Rancangan Malaysia Ke

Lapan, Sembilan dan Sepuluh. Sejarah dan perkembangan IBS menuju tahun 2015 dapat dirangkumkan di dalam Rajah 1.1 di bawah.



Rajah 1.1 Perkembangan IBS menuju 2015.

Sumber: Idrus 2012

IBS roadmap 2011-2015 mensasarkan pengekal momentum penggunaan 70% kandungan IBS di dalam projek bangunan kerajaan dan menambah peratus IBS kepada 50% di dalam projek bangunan sektor swasta sehingga tahun 2015. Peratusan ini mempunyai kesan ekonomi yang besar kerana sektor pembinaan telah mencatatkan jumlah pembinaan sebanyak RM80.93 bilion untuk tahun 2012. Menurut CIDB, jumlah ini dijangka meningkat kepada RM110 bilion pada tahun 2013 (Rupa 2013).

Namun di sebalik potensi yang tinggi ini, berdasarkan statistik kerajaan, penggunaan IBS masih belum mencapai sasaran yang ditetapkan. Menurut Kamarul Anuar (2011), Kajian Separuh Penggal 2007 *IBS Roadmap* melaporkan pada tahun 2006, hanya 10% projek yang telah siap, menggunakan IBS dan hanya 35% dari

jumlah projek pembinaan, yang telah menggunakan sekurang-kurangnya satu produk IBS. Ini tidak menepati sasaran 50% *IBS Roadmap* untuk tahun tersebut.

Di antara faktor yang merencatkan penerimaan IBS adalah persepsi negatif masyarakat yang melihat IBS sebagai binaan modular yang kurang menarik, lebih berasaskan konkrit, tidak fleksibel dari segi rekabentuk dan dimensi serta menyekat kreativiti pereka. IBS juga turut dikaitkan dengan teknik pasang siap tahun 1960an yang membawa gambaran pembinaan tidak bermutu dan memiliki nilai estetika yang rendah (Rahman et al. 2006).

Mohd Idrus Din et al. (2013) pula telah menggariskan beberapa sebab yang menjadi penghalang kepada penerimaan ini seperti:

- Kurangnya insentif untuk menggunakan IBS. Perpindahan daripada pembinaan konvensional ke IBS hanyalah melibatkan keuntungan yang kecil, dari itu insentif perlu ditambah untuk menarik minat pengamal pembinaan.
- Kemudahan tenaga buruh asing yang murah. Selagi industri pembinaan mudah untuk mendapatkan tenaga buruh asing dan kos pekerja adalah rendah, maka adalah agak sukar untuk bertukar ke sistem IBS.
- Kos pelaburan yang besar dan saiz pasaran yang tidak mencukupi. Dengan keadaan ekonomi semasa, pelaburan besar di dalam pengeluaran setempat adalah tidak ekonomik.
- Untuk penggunaan IBS yang meluas, pengamal pembinaan memerlukan bilangan projek yang banyak hanya untuk pulangan modal. Walaupun ia meningkatkan mutu pembinaan, namun IBS adalah pilihan yang lebih mahal disebabkan oleh modal berbayar dan penyelenggaraan mesin-mesin. Permintaan yang tidak konsisten dan rendahnya permintaan yang berterusan menyebabkan pelaburan di dalam inovasi terkini bukanlah pertumbuhan komersial yang mampan.
- IBS memerlukan pengeluaran besar-besaran untuk mencapai tahap ekonomi yang berdaya maju, namun di Malaysia buat masakini, masih belum ada

jaminan penerusan pengeluaran yang mana ia telah membataskan kecenderungan terhadap IBS.

- Pengurusan rantai bekalan dan konsep perkongsian belum difahami sepenuhnya di dalam industri pembinaan. Kerjasama di kalangan kontraktor, pengeluar dan pembekal secara umumnya adalah masih lemah.
- Belum ada keseragaman di dalam produk IBS yang produk berasaskan komponen modular yang boleh saling digunapakai di antara mana-mana projek
- Persepsi negatif pengguna yang merasakan bangunan yang menggunakan IBS sering mengalami kebocoran dan sukar untuk diubahsuai.
- IBS dilihat sebagai satu ancaman dan bakal menggantikan cara pembinaan sedia ada.
- Pengguna menganggap perlu mengguna IBS secara keseluruhan. Sebenarnya IBS mempunyai kelebihan dan kekurangan tersendiri maka hanya perlu memilih sistem IBS tertentu sahaja yang bersesuaian dengan projek masing-masing.
- Mengguna pakai sistem IBS dari luar negara secara pukal tanpa melakukan perubahan sesuai dengan iklim dan budaya Malaysia yang akhirnya mengakibatkan kesan yang negatif.

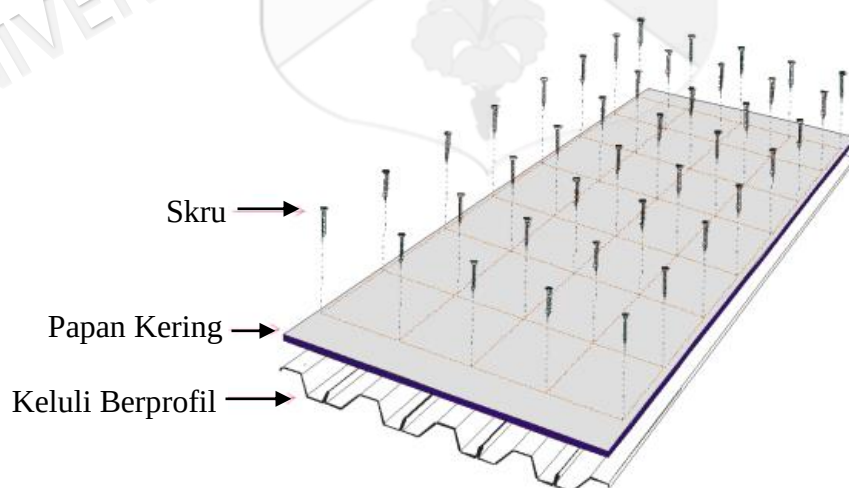
Di dalam Pelan Induk Industri Pembinaan (*CIMP*) 2006-2015, kerajaan berhasrat untuk mengubah persepsi negatif ini dengan mempromosikan produk IBS yang berbeza dari kebiasaannya seperti gipsum, polimer, gentian kaca, kaca, aluminium, panel dinding dan lain-lain. Ini adalah untuk memberi alternatif kepada lima jenis produk utamanya iaitu sistem konkrit pratuang, acuan, kerangka keluli, kerangka kayu dan blok. Inovasi di dalam teknik dan teknologi pembinaan dilihat penting untuk meningkatkan penerimaan IBS di kalangan pemain industri pembinaan tempatan.

Salah satu produk IBS yang inovatif dan boleh diketengahkan adalah sistem Kepingan Keluli Berprofil Papan Kering atau *Profiled Steel Sheeting and Dry Board (PSSDB)* yang telah dibangunkan di Universiti Kebangsaan Malaysia.

1.2 SISTEM PSSDB

Sistem PSSDB telah bertapak dan semakin diterima pakai dalam industri pembinaan Malaysia. Bermula dengan kajian oleh Wan Hamidon Wan Badaruzzaman di University of Cardiff, United Kingdom pada tahun 1990an, ia telah berkembang di Malaysia khususnya berpusat di Universiti Kebangsaan Malaysia dengan penekanan terhadap penggunaan bahan-bahan tempatan untuk membentuk sistem komposit PSSDB. Sistem PSSDB tergolong di dalam kumpulan sistem dinding nipis (*thin-walled*) menggalas beban yang terdiri dari unsur lantai, dinding dan bumbung tanpa melibatkan unsur lain seperti tiang, rasuk dan kekuda. Rajah 1.2 menunjukkan panel asas PSSDB yang terdiri daripada kepingan keluli berprofil, kepingan papan kering dan skru penyambung.

Penyelidikan yang berterusan dijalankan bukan sahaja untuk ketiga-tiga unsur struktur bangunan iaitu lantai, dinding dan bumbung, malah turut juga menyentuh aspek-aspek bukan struktur seperti ketahanan api, kekalisan air, getaran, penebatan haba dan bunyi, pengaruh berbagai bahan isian di dalam lurah panel dan bahan pelindung luar, pengaruh kelangsungan rentang, tatacara pembinaan dan juga kos (Wan Badaruzzaman et al. 2003; 2007a; 2007b; 2009a; 2009b; Chin et al. 2002).



Rajah 1.2 Panel asas PSSDB
Sumber: Harsoyo 2004

Sistem PSSDB juga telah digunapakai di dalam beberapa projek pembinaan komersial seperti lobi Hotel Hyatt, Kota Kinabalu, Sabah dan lantai Menara UiTM Shah Alam pada tahun 1997 dan Bangunan Wawasan di UKM pada tahun 2000 (Wan Badaruzzaman et al. 2003a). Kebaikan sistem ini seperti yang dinyatakan oleh Wan Bararuzzaman et al. (2003b), Rahmadi et al. (2013), Hanizam (2008; 2009a; 2009b) dan Te (2006) antara lain, adalah seperti berikut:

- Ringan, di mana berat satu panel lantai berentang 2.4 m adalah di dalam lingkungan 70 kg dan boleh diangkat oleh dua orang pekerja sahaja.
- Mempunyai nisbah rentang kepada kedalaman sebanyak 30 berbanding 16 untuk lantai kayu tradisional.
- Mempunyai tatacara pembinaan yang mudah. Ia tidak memerlukan acuan (*formwork*) atau sangga lalu dapat dibina dengan segera oleh pekerja yang tidak mahir dan menjimatkan kos.
- Mudah dialihkan kerana ringan dan dapat ditindan untuk menjimatkan ruang.
- Dapat menambah ruang kediaman di bahagian loteng kerana ia tidak memerlukan perembatan (*bracing*) seperti bumbung konvensional.

Sistem PSSDB memiliki ciri-ciri pembinaan yang mudah, ringkas dan tidak memerlukan banyak tenaga mahir. Sistem ini berpotensi untuk dikembangkan untuk lebih menepati kehendak pembinaan IBS.

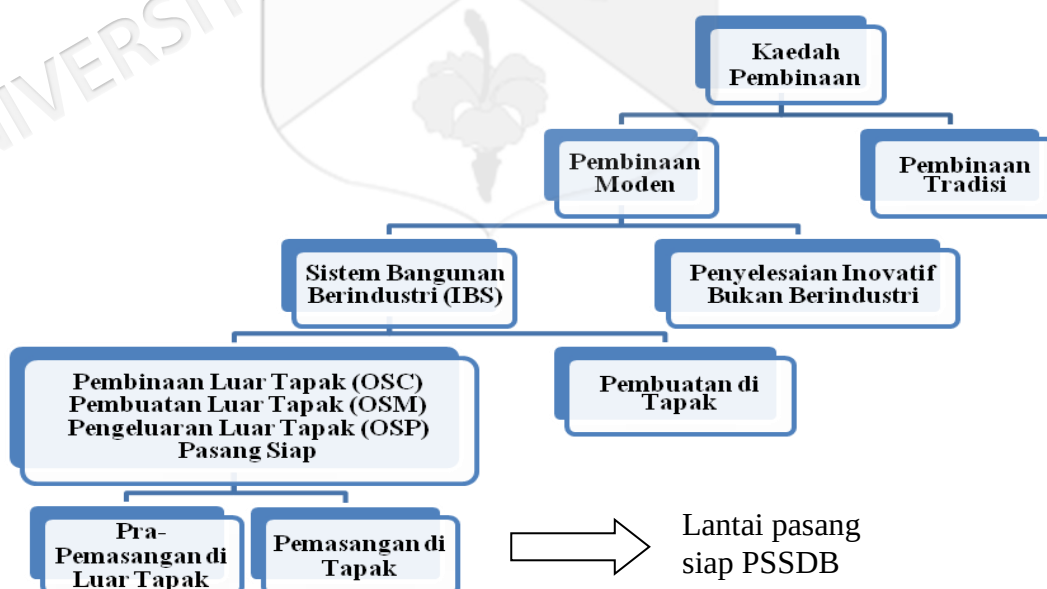
1.3 PERMASALAHAN KAJIAN

Sistem PSSDB sebelum ini berupa satu sistem yang mana komponen-komponen asasnya iaitu kepingan keluli berprofil, papan kering dan skru penyambung, dibawa secara berasingan ke tapak. Seringkali, kepingan keluli disusun dahulu meliputi keseluruhan lantai sebelum papan kering diskrukan kepadanya. Walaupun kaedah ini mudah dari segi logistik bahan-bahan panel, namun ia melibatkan kerja yang banyak dan remeh di tapak seperti pemasangan skru yang boleh berjumlah di antara 16 hingga 25 pada setiap satu meter persegi lantai di samping kerja-kerja pemotongan tambahan mengikut keperluan dan kesesuaian setempat.

Untuk lebih menepati ciri-ciri IBS, kerja-kerja di tapak perlu diminimalkan dan ini menuntut agar sistem PSSDB yang dipraktikkan sebelum ini dirombak supaya dapat ditakrifkan sebagai satu sistem pasang siap (*prefabricated*) sepenuhnya iaitu salah satu ciri utama IBS selain pengilangan unsur binaan secara besar-besaran (Kamarul Anuar 2011).

Tatum (1986) menakrifkan pasang siap (*prefabrication*) sebagai satu proses pembuatan yang umumnya berlaku di tempat yang khusus di mana beberapa bahan disatukan untuk membentuk satu bahan komponen daripada pemasangan yang lengkap. Manakala Haas et al. (2000) menambah bahawa apa-apa komponen yang dibina di luar tapak dan bukannya satu sistem yang telah lengkap, boleh dianggap sebagai pasang siap.

Sistem pasang siap adalah salah satu daripada ciri pembinaan IBS. Kedudukannya di bawah kerangka kaedah-kaedah pembinaan dapat dijelaskan melalui Rajah 1.3. Sistem PSSDB sedia ada terletak di bawah kumpulan IBS -Pembuatan di Tapak, manakala sistem panel pasang siap PSSDB sesuai dikelompokkan di dalam kumpulan Pemasangan di Tapak, di bawah kategori Pasang Siap IBS.



Rajah 1.3 Panel pasang siap PSSDB di bawah kerangka kaedah pembinaan.
Sumber: Kamarul Anuar et al. 2009

Walaupun banyak penyelidikan telah dijalankan terhadap sistem PSSDB sebelum ini, kelakuannya sebagai panel lantai pasang siap masih belum diterokai. Kefahaman terhadap kelakuan panel adalah penting sebelum sesebuah sistem dapat diterimapakai dan dikembangkan. Penyelidikan tesis ini akan mengkaji potensi sistem panel PSSDB sebagai sistem pasang siap IBS.

1.4 MATLAMAT KAJIAN

Matlamat kajian adalah untuk membangunkan sistem PSSDB sebagai sistem panel lantai pasang siap (*prefabricated*) yang dipasang di tapak yang memenuhi ciri-ciri pembinaan IBS yang lebih menyeluruh.

1.5 OBJEKTIF KAJIAN

Untuk merealisasikan matlamat kajian itu, beberapa objektif telah disusun seperti berikut:

- a. membangunkan sistem panel lantai yang lebih kukuh.
- b. menyiasat dan mendapatkan ciri-ciri kekukuhan skru penyambung panel lantai PSSDB.
- c. membangunkan model unsur terhingga untuk meramalkan kekukuhan dan menghasilkan jadual panduan rekabentuk panel lantai PSSDB.
- d. membangunkan sistem lantai pasang siap PSSDB secara praktikal.

1.6 SKOP KAJIAN

Skop kajian tertumpu kepada kajian panel lantai pasang siap PSSDB dan skop metodologi penyelidikan akan menumpu kepada tiga bahagian iaitu; ujikaji makmal, permodelan unsur terhingga dan pembinaan kabin bilik darjah.

Ujikaji makmal terbahagi kepada dua bahagian iaitu ujian lenturan dan ujian tolak keluar. Ujikaji lenturan adalah untuk menyiasat dan memahami kelakuan panel

lantai di bawah pembebanan sehingga mencapai kegagalan. Ujian tolak keluar pula adalah untuk menyiasat kelakuan dan mendapatkan kekukuhan skru penyambung panel PSSDB. Beberapa ujian parametrik turut dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter terhadap kelakuan skru penyambung.

Permodelan unsur terhingga lantai yang disahihkan dengan keputusan ujikaji makmal turut dijalankan. Permodelan ini juga mempelbagaikan lebih banyak parameter seperti ketebalan dan jenis komponen PSSDB, jarak rentang dan nilai dan jenis beban untuk melihat kesannya terhadap kelakuan panel. Kajian ini juga akan menghasilkan jadual untuk meramal kelakuan lantai PSSDB. Ia diharapkan boleh membantu para jurutera untuk mendapat gambaran had rentang dan beban yang mampu ditanggung panel. Akhir sekali, sebuah projek perintis pembinaan kabin bilik darjah turut dijalankan untuk mengaplikasikan sistem lantai pasang siap PSSDB secara praktikal.

Rumusannya, skop kajian menumpu kepada,

- a. menjalankan ujikaji lenturan berbagai panel lantai.
- b. menjalankan ujikaji tolak keluar skru penyambung panel lantai.
- c. membangunkan model teori berasaskan kaedah unsur terhingga lurus untuk meramal kelakuan panel lantai.
- d. membina kabin bilik darjah yang menggunakan sistem lantai pasang siap PSSDB.

1.7 KEPENTINGAN KAJIAN

Komponen-komponen lantai PSSDB sebelum ini biasanya disusun, dicantum dan diskru di tapak pembinaan dan ini akan membabitkan kerja-kerja yang agak banyak dan intensif. Untuk menaiktarafkan sistem PSSDB sedia ada ini, satu kaedah baru dicadangkan untuk menjadikan panel-panel PSSDB sebagai satu sistem pasang siap yang dapat disiapkan di kilang, dihantar dan terus disusun membentuk lantai di tapak tanpa melibatkan banyak kerja tambahan. Dengan ini urusan pembinaan dijangka akan

menjadi ringkas, lebih bermutu, dapat mengurangkan pembaziran di samping menjimatkan masa, tenaga dan kos.

Penyelidikan terhadap sistem PSSDB sebagai satu sistem pasang siap sepenuhnya yang dipasang di tapak belum pernah dijalankan sebelum ini. Tambahan lagi saiz, susunatur dan ciri-ciri komponen panel PSSDB yang digunakan di dalam penyelidikan ini juga adalah berbeza daripada apa yang telah digunakan di dalam penyelidikan terdahulu. Panel-panel lantai PSSDB di dalam sistem pasang siap ini perlu diteliti kesesuaiannya dari segi kebolehalihan, keupayaan struktur dan kemudahan pembuatannya. Dari itu penyelidikan ini akan memberikan kefahaman yang lebih mendalam terhadap kelakuan sistem pasang siap panel lantai PSSDB sebelum ia dapat diterimapakai sebagai satu sistem inovatif yang berdaya saing yang dapat meningkatkan penerimaan IBS di dalam sektor pembinaan.

1.8 SUSUNAN KANDUNGAN TESIS

Tesis ini mengandungi tujuh bab dan kandungan setiapnya adalah seperti yang dinyatakan di bawah:

Bab I memberikan pengenalan kepada latarbelakang permasalahan, matlamat, objektif, kaedah dan kepentingan kajian di dalam tesis. Ia menyentuh permasalahan IBS, sistem PSSDB dan ringkasan isi kandungan semua bab di dalam tesis.

Bab II dimulakan dengan meneliti sistem lantai di Malaysia khususnya lantai yang tergolong di dalam kelompok IBS. Sistem lantai PSSDB telah diberi penekanan dan diulas dari sudut perkembangan penyelidikan terhadap setiap komponennya. Satu perbincangan telah diperuntukkan kepada kajian khusus sistem tersebut iaitu dari aspek ujian tolak keluar skru penyambung, ujian lenturan dan analisa model unsur terhingga.

Bab III membincangkan ujian lenturan yang dijalankan di makmal. Ia membabitkan tiga siri ujikaji yang melibatkan dua puluh satu panel lantai berskala sebenar untuk

mengetahui kelakuan panel lantai dan kaedah-kaedah yang dapat menambahkan kekukuhannya.

Bab IV memberikan penjelasan tentang ujikaji tolak keluar untuk menyiasat dan memahami kelakuan dan mendapatkan nilai kekukuhan skru penyambung panel lantai. Nilai ini akan digunakan sebagai nilai masukan di dalam analisa model unsur terhingga. Kesan beberapa kajian parametrik juga turut dibincangkan.

Bab V menyentuh tentang analisa model unsur terhingga. Ia dimulakan dengan pemilihan unsur, permodelan dan ramalan terhadap lenturan pada beban. Ramalan ini kemudiannya dibandingkan dengan keputusan makmal. Model yang telah disahkan, seterusnya digunakan untuk membuat beberapa kajian parametrik dan digunakan untuk mencari nilai kekukuhan panel. Seterusnya disenaraikan beberapa jadual ramalan beban melawan rentang lantai berdasarkan dari nilaian model unsur terhingga.

Bab VI membincangkan tentang projek pembinaan kabin sekolah kerajaan Malaysia dan proses pembinaan kabin bilik darjah di Sekolah Kebangsaan Telok Mas, Melaka dan cabaran yang dihadapi khususnya, di dalam pembinaan lantai.

Bab VII menyimpulkan dapatan dari seluruh penyelidikan dan turut memberikan saranan untuk penyelidikan masa hadapan.

BAB II

ULASAN KEPUSTAKAAN

2.1 PENGENALAN

Bab I sebelum ini telah memberikan gambaran umum tentang kandungan keseluruhan tesis ini. Bab II seterusnya pula akan menganalisa penyelidikan yang telah dijalankan oleh penyelidik-penyelidik terdahulu yang berkaitan tentang lantai dan sistem PSSDB dan turut memberikan cadangan halatuju penyelidikan tesis ini. Ulasan kepustakaan ini dimulakan dengan meneliti sistem lantai di Malaysia, khususnya lantai yang tergolong di dalam kelompok IBS. Seterusnya, penekanan diberikan terhadap sistem lantai PSSDB dan satu perbincangan telah diperuntukkan kepada kajian khusus sistem tersebut iaitu penyelidikan komponen panel sistem secara berasingan serta penyelidikan panel secara bersepadu yang meliputi ujian tolak keluar skru penyambung, ujian lenturan dan analisa model unsur terhingga. Dapatan dari hasil penyelidikan terdahulu telah dibincang, dirumuskan dan dihuraikan hubungannya dengan aspek-aspek yang akan dikaji di dalam tesis ini.

2.2 SISTEM LANTAI IBS DI MALAYSIA

IBS Score telah membahagikan lantai kepada beberapa kumpulan iaitu lantai konkrit pra-tuang, konkrit di situ dengan acuan logam kekal, konkrit di situ dengan sistem acuan guna semula, konkrit di situ dengan acuan kayu, sistem lantai keluli dan sistem lantai bingkai kayu. Namun perbincangan akan difokuskan kepada lantai yang bercirikan pasang siap dari jenis pra-tuang dan konkrit di situ dengan acuan logam kekal (turut juga dikenali sebagai lantai komposit keluli-konkrit) dan lantai PSSDB.

2.2.1 Lantai Konkrit Pra-Tuang (*Precast Slab*)

Lantai konkrit pra-tuang yang sering digunakan di Malaysia seperti yang tersenarai di dalam Katalog IBS (2009) adalah terdiri daripada lantai separa siap (*half slab*), lantai berongga (*hollow core slab*), lantai keping konkrit pra-tegasan (*prestressed concrete plank*) dan lantai rasuk berganda dan tunggal seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 2.1.



a. Lantai separa siap



b. Lantai berongga



c. Lantai keping konkrit pra-tegasan



d. Lantai rasuk berganda dan tunggal

Gambar 2.1 Lantai konkrit pra tuang.
Sumber: Katalog IBS 2009

Lantai separa siap ini berfungsi sebagai acuan kekal semasa konkrit dituangkan ke atasnya untuk membentuk lantai siap. Lantai ini memudahkan kerja pemasangan pendawaian elektrik dan saluran paip dan rentangnya juga boleh mencecah sehingga 6 m. Lantai berongga pula sering digunakan untuk bangunan letak kereta, kompleks membeli-belah dan boleh merentang sehingga 16 m. Lantai keping

konkrit pra-tegasan pula telah melalui proses pra-tegasan dan boleh merentang sehingga 8 m. Lantai rasuk berganda sesuai digunakan untuk pembinaan yang mempunyai rentang yang panjang (sehingga 20 m) seperti stadium dan tempat letak kereta (Katalog IBS 2009).

Di antara kebaikan yang boleh didapati dari pembinaan pra-tuang ini adalah seperti berikut:

- Pembinaan yang cepat di tapak
- Hasil kerja yang bermutu tinggi kerana kawalan mutu kerja di kilang
- Kaedah prategasan mudah dibuat dan dapat mengecilkan saiz dan bilangan anggota struktur
- Dapat merentang dengan lebih panjang

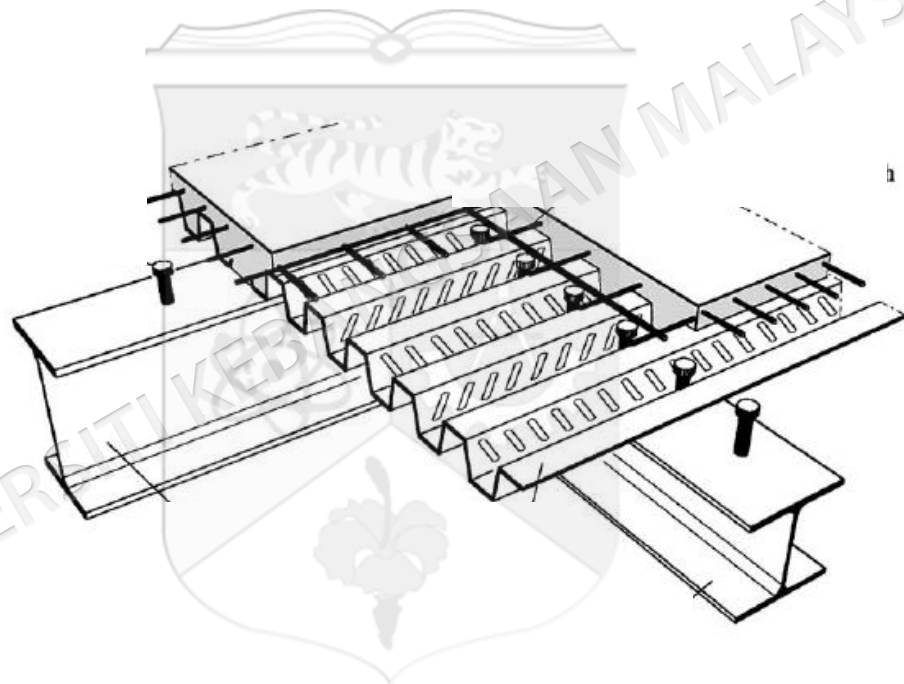
Namun terdapat beberapa kelemahan pada sistem ini seperti yang disenaraikan di bawah ini:

- Ia tidak dapat digunakan di dalam sistem struktur dua hala disebabkan oleh saiz panel yang terbatas
- Rekabentuk bangunan adalah terbatas kerana pengeluaran lantai konkrit pra-tuangnya adalah berskala besar
- Sambungan antara panel adalah mahal dan agak rumit
- Memerlukan pekerja mahir untuk kerja-kerja pemasangan di tapak

Panel lantai konkrit pra-tuang juga seringkali bersaiz besar dan ini memerlukan penggunaan kren untuk mengangkat panel yang berat tersebut. Ini menyebabkan penggunaannya terbatas kepada kawasan yang boleh dimasuki kenderaan berat dan besar sahaja iaitu yang mempunyai infrastruktur yang baik dan tidak sesuai digunakan di kawasan terpencil seperti di pedalaman.

2.2.2 Lantai Komposit Keluli Konkrit

Lantai komposit adalah satu lagi pilihan pembinaan lantai yang popular. Ia terdiri dari kepingan keluli berprofil yang dipasang pada rasuk dan dikimpal dengan penyambung stad. Jejaring bertetulang kemudiannya diletakkan dan konkrit dituang untuk membentuk lantai komposit. Kepingan keluli berprofil bertindak sebagai acuan kekal (*permanent formwork*) dan sangat mudah disusun atur menjadi pelantar bekerja dan dianggarkan empat orang pekerja dapat memasang keluasan sehingga 400 m² di dalam sehari (Davison 2003). Kepingan keluli juga bertindak sebagai telulang tegangan kepada papak komposit ini (Wright et al. 1987) seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 2.1.

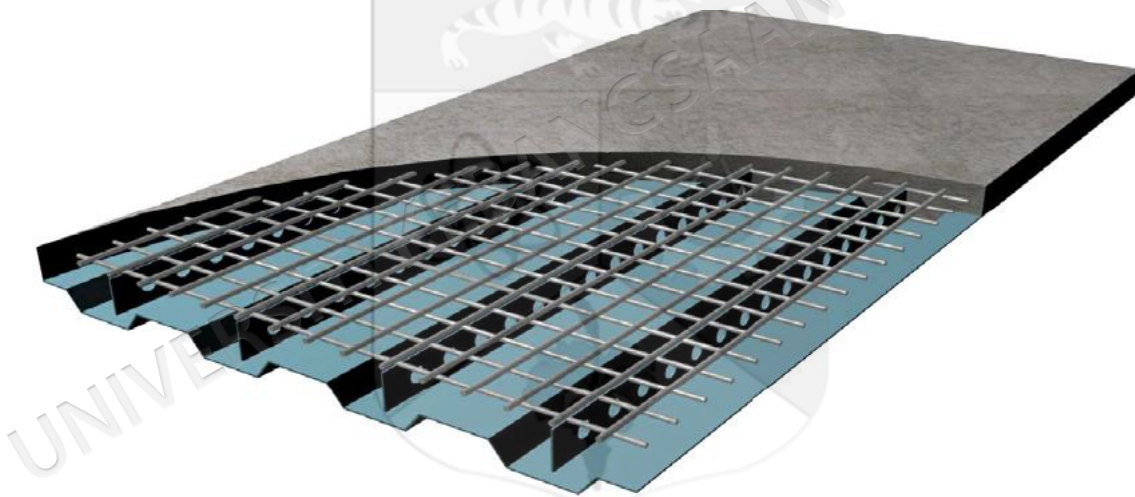


Rajah 2.1 Papak komposit keluli-konkrit.
Sumber: Crisinel & Marimon 2004

Untuk papak yang disokong mudah, keupayaan muktamad selalunya ditentukan oleh keupayaan lenturan atau keupayaan ricih mendatar. Keupayaan melentur lantai komposit boleh ditentukan dengan kaedah yang sama dengan kaedah konkrit bertetulang, dengan syarat wujudnya hubungan interaksi penuh di antara geladak keluli dan konkrit (Lee et al. 2001). Untuk memenuhi keperluan ini, daya ricih perlu dipindahkan di antara konkrit dan kepingan keluli berprofil (Ma'kela'inen

& Sun 1999) dan lenturan lantai komposit bergantung sepenuhnya terhadap kekukuhan ricih penyambung di antara keduanya (Marčiukaitis et al. 2006). Seringkali hubungan interaksi penuh tidak dapat diwujudkan oleh sebab berlakunya kegelinciran di antara penyambung stad dan kepingan keluli dengan konkrit.

Kelakuan penyambung stad telah banyak menjadi kajian penyelidikan seperti Queiroz et al. (2007), Smith et al. (2010) dan Qureshi et al. (2011), tetapi penyambung jenis ini memerlukan sedikit kegelinciran tertentu untuk berlaku sebelum berlaku hubungan interaksi komposit. Perkembangan terkini telah melihat kewujudan jenis penyambung baru seperti yang dipelopori oleh Kim et al. (2009) iaitu penyambung ricih berusuk *Perfobond* seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 2.2, penyambung C dan penyambung Hilti (Cândido-Martins et al. 2010) yang bertujuan untuk mengatasi masalah kegelinciran penyambung stad biasa.



Rajah 2.2 Profil papak komposit jambatan dengan Perfobond
Sumber: Kim et al. 2009

Lantai komposit keluli-konkrit memiliki kelebihan dari segi keanjalan pembinaan di mana komponen kepingan keluli dapat disusun terlebih dahulu sebelum konkrit dicurah di atasnya, mengeras dan menghasilkan papak komposit. Ini masih melibatkan banyak kerja-kerja di tapak seperti penggunaan konkrit basah dan pengkimpalan stad ke rasuk. Keperluan terhadap tenaga pekerja mahir dan berbagai peralatan pembinaan juga adalah masih tinggi.

2.2.3 Lantai PSSDB

Berbanding dua jenis lantai IBS yang dibincangkan sebelum ini, lantai PSSDB mempunyai kelebihan dari sudut keringanan dan kemudahan pembinaan. Keringanannya dapat mengurangkan berat keseluruhan binaan dan seterusnya mengurangkan saiz asas (*foundation*) struktur. Ia juga sesuai digunakan untuk pembinaan yang cepat tanpa memerlukan tenaga pekerja mahir atau peralatan yang canggih dan ia juga sesuai digunakan untuk pembinaan di kawasan pedalaman. Ciri-ciri ini memberikan kelebihan pada lantai PSSDB untuk menjadi alternatif kepada lantai IBS yang biasa. Bahagian yang seterusnya akan membincangkan lantai PSSDB sebagai sebuah sistem.

2.3 SISTEM LANTAI PSSDB

Lantai PSSDB terdiri dari tiga komponen utama iaitu papan kering, kepingan keluli berprofil dan penyambung skru. Setiap komponen tersebut mempunyai ciri-cirinya yang tersendiri. Apabila ketiga-tiga komponen ini disatukan, ia membentuk satu panel komposit yang kelakannya dipengaruhi oleh tahap interaksi ketiga-tiga komponen tersebut. Huraian seterusnya akan membincangkan kajian yang dijalankan ke atas setiap komponen tersebut secara berasingan dahulu sebelum mengkaji sifatnya secara bersepadu.

2.3.1 Papan Kering

Kepingan papan kering adalah unsur panel PSSDB yang paling terdedah. Apabila ia diskrukan pada kepingan keluli berprofil, ia bertindak sebagai permukaan rata lantai yang boleh dibiarkan begitu sahaja atau ditutupi dengan kemasan lain seperti jubin, lepaan atau vinyl. Dari sudut struktur pula, papan kering turut menyumbang dalam usaha melambatkan berlakunya lengkokan tempatan pada kepingan keluli berprofil, menambahkan kekukuhan panel dan meningkatkan beban muktamad yang mampu ditanggung (Ahmed & Wan Badaruzzaman 2005). Papan kering yang sering digunakan di dalam sistem lantai PSSDB terdiri dari jenis papan lapis (*Plywood*),

papan racik (*Chipboard*) dan papan simen (Cemboard) (Ahmed et al. 2000). Jadual 2.1 di bawah menunjukkan sifat struktur beberapa jenis papan kering.

Jadual 2.1 Sifat struktur papan kering

Sifat struktur	Modulus Young (N/mm ²)	Modulus Pecah (N/mm ²)
Cemboard	4500	9
Papan lapis	7000	40
Papan racik	2500	13

Sumber: Hume 2002

Ujikaji yang telah dijalankan terhadap papan kering sebagai satu entiti tersendiri adalah berupa ujian modulus elastik dan kekuatan lenturan oleh Ahmed (1996) dan hasilnya disenaraikan di dalam Jadual 2.2 di bawah.

Jadual 2.2 Nilai ujian struktur papan kering

Jenis Papan	Modulus Kekenyalan (MPa)		Kekuatan Lenturan (MPa)	
	Berselari	Berserenjang	Berselari	Berserenjang
Papan Cemboard 16 mm	5250	5250	8.4	8.4
Papan lapis 18 mm (5 lapis)	5300	9775	40.4	66.5
Papan racik 18 mm	1950	1950	11.4	11.4

Sumber: Ahmed 1996

Cemboard merupakan satu jenama papan yang dihasilkan dari serpihan kayu getah, simen Portland dan air di bawah suhu dan tekanan yang terkawal. Papan jenis ini mempunyai kelebihan seperti kalis api, mempunyai permukaan yang licin dan ketebatan bunyi yang baik, mudah dikerjakan juga tahan serangan anai-anai dan kulat (Akhand 2004). Ketebalan yang sering digunakan untuk kegunaan lantai adalah di antara 12 hingga 20 mm (Hume 2002). Daripada ujikaji ini, nilai modulus kekenyalan Papan Cemboard yang didapati iaitu 5250 MPa adalah lebih tinggi dari nilai yang disarankan oleh pengeluaranya iaitu 4500 MPa.

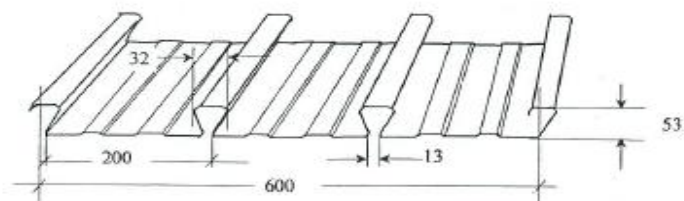
2.3.2 Kepingan Keluli Berprofil

Kepingan keluli berprofil adalah unsur paling kukuh di antara ketiga-tiga komponen dan ia boleh didapati di dalam berbagai-bagai bentuk dan ketebalan. Kepingan keluli berprofil memainkan peranan yang penting di dalam menentukan tahap kemampuan panel lantai PSSDB untuk menanggung beban (Ahmed 2003). Jadual 2.3 di bawah memberikan maklumat berat dan kekuatan alah bagi kepingan keluli yang sering digunakan di dalam sistem lantai PSSDB iaitu Bondek II dan Peva 45.

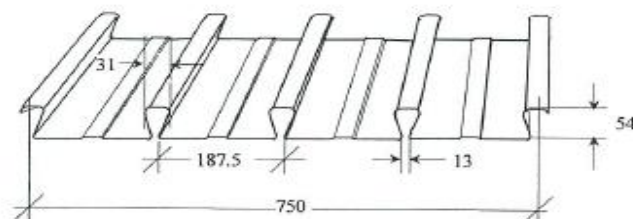
Jadual 2.3 Perbandingan ciri kepingan keluli berprofil

	Ketebalan	Bondek II	Peva 45
Berat (kg/m ²)	1.0 mm	13.3	13.3
	0.75 mm	10.3	-
	0.8 mm	-	10.67
Kekuatan alah minima N/mm ²		550	350

Rajah 2.3 pula menunjukkan lakaran beberapa kepingan keluli berprofil untuk kegunaan lantai seperti Bondek II, Buildeck, PMFL D35, PMFL 60 dan Peva 45 dengan dimensinya diberi di dalam unit mm. Bondek II dan Buildeck adalah daripada jenis kepingan keluli ekor merpati (*dovetail*) manakala PMFL D35, PMFL 60 dan Peva 45 pula adalah daripada kumpulan berbentuk trapezoid.



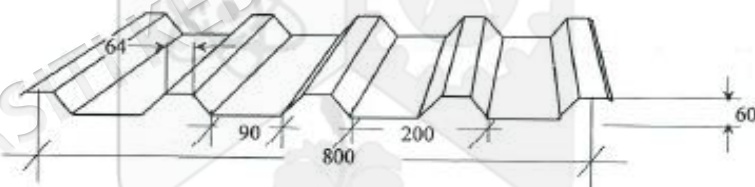
(a) BONDEK II



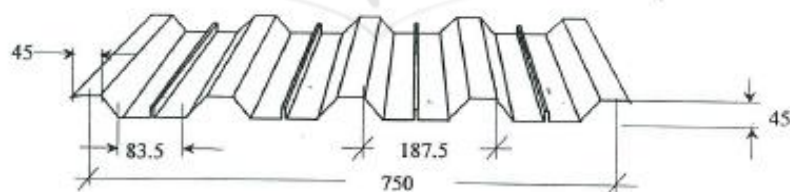
(b) BUILDDECK



(a) PMFL D35



(b) PMFL 60



(c) PEVA 45

Rajah 2.3 Jenis-jenis kepingan keluli berprofil untuk kegunaan lantai
Sumber: Harsoyo 2004

Rekabentuk kepingan keluli berprofil di pasaran sebenarnya adalah untuk pasaran lantai komposit konkrit-keluli yang digunakan secara meluas. Kepingan keluli

berprofil ini pada dasarnya dicipta untuk menampung beban konkrit basah semasa fasa pembinaan. Beberapa ciri pada kepingan keluli berprofil seperti penimbulan (*embossment*) dan pengukuh (*stiffener*) sebenarnya bertujuan untuk menambah kekuatan rekatan di antara konkrit dan kepingan keluli. Belum ada kepingan keluli yang direka khusus untuk kegunaan sistem PSSDB tetapi telah terdapat pengubahsuaian pada rekabentuk kepingan keluli berprofil seperti di dalam kajian Akhand (2001) di mana kepingan Bondek II telah dibuang penimbulannya di kawasan bebibir atas untuk memudah dan merapatkan cantuman dengan papan kering.

Kepingan keluli berprofil tergolong di dalam anggota berdinding nipis terbentuk sejuk (*cold-formed thin-walled members*) yang mempunyai nisbah lebar-tebal (b/t) yang besar. Keadaan ini membuatkan ia akan melengkok pada tahap ketegasan yang lebih rendah dari takat alah jika dikenakan beban mampatan, ricih, lenturan atau galas (Yu 2000). Menurut Murray (1984), kepingan keluli yang nipis dan rata adalah sangat mudah lentur bila beban dikenakan pada sudut tepat satahnya tetapi sangat kukuh apabila beban dikenakan pada arah satah. Sifatnya yang sangat mudah lentur pula bermakna ia lebih terdedah kepada beberapa bentuk lengkokan yang membawa kepada pengagihan semula tegasan dan penurunan kekukuhan. Adalah agak sukar untuk menghasilkan struktur berdinding nipis yang sempurna, dari itu akan wujudlah unsur-unsur herotan, tegasan baki dan seumpamanya pada struktur tersebut. Kedua-dua kesan ini akan mempengaruhi tindakbalas struktur berdinding nipis apabila ia dikenakan beban.

Penyelidikan terhadap anggota berdinding nipis terbentuk sejuk kini menjurus kepada penggunaan yang lebih berekonomi, mengeksploitasikan kekuatan simpanan pascalengkakan dan mencari kaedah rekabentuk yang tepat tapi mudah. Kajian khusus pula di kalangan penyelidik keluli terbentuk sejuk adalah merangkumi aspek-aspek ketaksempurnaan, lengkokan tempatan dan mod kegagalan.

Aspek ketaksempurnaan telah dikaji oleh, antara lainnya, Bernard et al. (1999), Dubina & Ungureanu (2002), Lechner & Pircher (2005) dan Schafer & Pekoz (1998). Lechner & Pircher (2005) mendapati bahawa sedikit ketaksempurnaan sahaja di dalam pembuatan kepingan keluli sudah boleh mempengaruhi kelakuan struktur anggota

berdinding nipis dan menurut Bernard et al. (1999), kehadiran ketidaksempurnaan ini mungkin akan menambahkan lagi ketidakstabilan struktur. Dubina & Ungureanu (2002) menghuraikan bahawa ketidaksempurnaan geometri dan bahan dipengaruhi oleh kelebaran dan ketebalan kepingan keluli serta proses pembuatannya yang berkait rapat dengan bentuk keratan rentas. Bernard et al. (1999) seterusnya mengkaji kaedah mengira dan menilai ketidaksempurnaan di dalam anggota berdinding nipis terbentuk sejuk ini melalui fotogrametri jarak dekat, pelarasan optik dan mesin pengira koordinat berkomputer. Permodelan ketidaksempurnaan turut dikaji melalui kaedah unsur terhingga tak lurus oleh Schafer & Pekoz (1998).

Anggota berdinding nipis juga sering mengundang berlakunya lengkokan tempatan dan mekanisma plastik tempatan yang mana merupakan aspek penting yang menentukan kelakuannya (Mahendran 1997a). Lengkokan tempatan akan mengakibatkan berlakunya pengagihan semula tegasan dan penurunan kekukuhan. Rata-rata kajian penyelidikan PSSDB khususnya, telah mendapati mod kegagalan utama panel PSSDB adalah kerana berlakunya lengkokan tempatan pada bibir kepingan keluli berprofil.

Davis (2000) dan Hancock (2003) telah mengklasifikasikan lengkokan kepada empat jenis iaitu lengkokan tempatan, sejagat, herotan dan ricih. Penyelidikan oleh Allen dan Bulson (1980), Schafer et al. (1998 dan 2008), Hancock (2003), Davies (1997, 2000), Kremer et al. (2008), Liang & Uy (2000), Guzelbey et al. (2006) dan Machado (2008) mendapati lengkokan tempatan lebih kerap dialami oleh unsur bentukan sejuk dan mempunyai ciri panjang gelombang yang pendek pada unsur plat individu. Lengkokan sejagat pula merangkumi lengkokan Euler, lengkokan kilasan sisi pada tiang dan lengkokan sisi pada rusuk. Lengkokan ini kadangkala diistilahkan sebagai lengkokan jasad tegar kerana keratan rentasnya tidak mengalami herotan apabila melengkok. Lengkokan herotan pula adalah lengkokan yang mengherotkan keratan rentasnya (Yu et al. 2003, 2007) manakala lengkokan ricih boleh berlaku kepada web yang lebih nipis di bawah lenturan atau kepada bibir lebar pada kepingan keluli berprofil di bawah tindakan diafragma (Davies 2000).

Kajian turut merangkumi aspek mod kegagalan oleh penyelidik-penyelidik seperti Mahendran (1997a), Biegus & Czepizak (2006), Davies (1997), Hofmeyer (2000, 2001, 2005a, 2005b) dan de Kleine et al. (2006). Hofmeyer et al. (2002) telah berjaya menunjukkan bahawa setelah berlakunya beban muktamad, wujud mod pasca kegagalan iaitu satu set corak garis alah (*yield line pattern*) dan telah berjaya mengelasifikasikan secara teliti rupabentuk lengkukan tempatan kepingan keluli ini kepada kategori seperti bumbung (*roof*), cakera flip (*flip-disc*), gulingan (*rolling*), arka alah (*yield arc*) dan mata alah (*yield eye*) yang terjadi kepada kepingan yang tanpa atau mempunyai pengukuh. Kajian Mahendran (1997a) telah menerangkan bagaimana perubahan dari satu mekanisme runtuh (bumbung) kepada satu mekanisme runtuh yang lain (cakera-flip) pada plat yang sedang mengalami fenomena lengkukan tempatan, dijangka mengakibatkan penurunan beban maksima sebanyak 5%.

Kepingan keluli berprofil juga telah dibahagikan kepada tiga generasi, di mana generasi pertama adalah kepingan yang tidak mempunyai apa-apa pengukuh; generasi kedua adalah kepingan yang mempunyai pengukuh di dalam arah panjang membujur sahaja, sementara generasi ketiga adalah kepingan yang turut mempunyai pengukuh di dalam arah melintang (Hofmeyer 2000). Kepingan keluli berprofil yang sering digunakan di dalam sistem PSSDB seperti Peva 45 adalah tergolong di dalam generasi kedua namun pengukuhnya berada di bahagian bibir bawah yang berada di dalam kawasan tegangan. Sekiranya terdapat pengukuh di bahagian mampatan, iaitu di bahagian bibir atas, ia akan dapat mengurangkan nilai nisbah b/t dan seterusnya akan membantu mengurangkan lengkukan dari terjadi. Dari itu Peva 45 bersifat sama seperti kepingan keluli generasi pertama yang tidak mempunyai pengukuhan di bahagian mampatan.

Murray (1984) telah mengandaikan bahawa kedudukan pertama berlakunya titik alah akan menentukan jenis mod pascakegagalan. Kedudukan pertama ini berubah dari kedudukan tengah plat menuju ke bahagian tengah tebing memanjang bergantung kepada nisbah kelebaran kepada ketebalan, nilai ketaksempurnaan dan tegasan alah keluli. Semakin tinggi nisbah ini, semakin jauhlah kedudukan pertama berlakunya titik alah dari tengah plat. Andaian ini telah disokong oleh penyelidikan

Mahendran (1997a). Namun de Kleine et al. (2002) telah menyangkal andaian Murray (1984) melalui kajian model unsur terHINGGA mereka terhadap kepingan keluli berprofil generasi pertama. Daripada enam simulasi unsur terHINGGA, mereka mendapati semua kedudukan pertama alah berlaku pada penjuru di antara web dan bibir mampatan untuk semua mod pascakegagalan. Dalam kata lain, kedudukan pertama berlakunya titik alah tidak menentukan jenis mod pascakegagalan.

Aspek-aspek ketaksempurnaan, lengkukan tempatan dan mod kegagalan adalah penting untuk dikaji untuk memahami kelakuan anggota berding nipis terbentuk sejuk. Walau bagaimanapun, di dalam sistem PSSDB, kepingan keluli berprofil sebagai satu anggota berding nipis terbentuk sejuk tidak bertindak bersendirian, sebaliknya sentiasa digandingkan dengan komponen kepingan papan kering. Kehadiran kepingan papan kering ini telah sedikit sebanyak mengurangkan pengaruh ketaksempurnaan dan lengkukan tempatan terhadap kelakuan panel PSSDB. Namun kesan pengaruh ini boleh dikaji dan diperhalusi sekiranya bertujuan meraih keupayaan tersimpan panel di dalam julat pascalengkukan.

Secara umumnya, anggota berding nipis terbentuk sejuk secara entitinya yang tersendiri telah banyak dikaji dan membuahkan banyak garis panduan rekabentuk seperti Kaedah Kekuatan Terus (*Direct Strength Method*), Kelebaran Berkesan (*Effective Width Method*), Tegasan Terturun (*Reduced Stress*), Ketebalan Berkesan, Pendekatan Faktor-Q, Kehakisan Beban Dwiwujudan Genting (*Erosion of Critical Bifurcation Load*), Unsur TerHINGGA, Jalur TerHINGGA dan Teori Rasuk Teritlak (*Generalized Beam Theory*) (Schafer 2008; Davies 2000; Hancock 2003; Macdonald et al. 2008; Tovar & Sposito 2005; Sposito & Tovar 2005; Fan et al. 1997 dan Rusch & Lindner 2001). Selain daripada kaedah unsur terHINGGA, sebahagian besar kemajuan ini masih belum dimanfaatkan sepenuhnya di dalam penyelidikan panel PSSDB.

2.3.3 Skru Penyambung dan Jaraknya

Skru penyambung merupakan unsur yang paling kecil namun sangat penting di dalam menentukan kelakuan panel PSSDB secara keseluruhan. Skru yang paling sesuai

digunakan untuk penyambungan papan kering dan kepingan keluli berprofil adalah skru daripada jenis skru gerudi dan ulir sendiri seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 di bawah.



Gambar 2.2 Beberapa contoh skru penyambung.
Sumber: MK Fasteners 2011

Jadual 2.4 pula memberikan maklumat dua jenis skru yang telah digunakan di dalam penyelidikan PSSDB iaitu DX14 Powerdrive dan DS-FH432.

Jadual 2.4 Sifat skru penyambung

	DX14 Powerdrive	DS-FH432
Bahan	Keluli karbon	Keluli karbon
Panjang	25 mm	32 mm
Diameter Ulir	4.2 mm	4.2 mm
Beban gagal tegangan	6.3 kN	7.0 kN
Tork pusingan	4.7 Nm	3.4 Nm

Sumber: MKFasteners 2011 dan Powerdrive 1991

Jarak skru memainkan peranan yang penting di dalam menentukan tahap interaksi di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering. Semakin rapat jaraknya,

semakin tinggi kekukuhan panel dan begitu juga sebaliknya, semakin jauh jaraknya, kekukuhan akan berkurangan. Jarak ini juga dapat dilihat dari sudut kadar interaksi di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering. Peratus interaksi ditakrifkan sebagai,

$$\% \text{ interaksi} = \frac{\text{kekukuhan ujian} - \text{kekukuhan kepingan keluli berprofil}}{\text{kekukuhan komposit penuh} - \text{kekukuhan kepingan keluli berprofil}} \quad (2.1)$$

Sebagai contoh, peratus interaksi 100% bermakna, berlaku gandingan komposit yang sempurna di antara dua komponen tersebut. Kedua-dua komponen bertindak sebagai satu entiti dan tidak berlaku sebarang kegelinciran di antaranya. Manakala peratus interaksi 0% pula bermakna, kedua-dua komponen bertindak secara individu, malah kehadiran papan kering turut dianggap tidak memberi apa-apa kesan sehinggakan kekukuhan panel komposit bersamaan dengan kekukuhan kepingan keluli berprofil sahaja (Wright et al. 1989). Di antara dua nilai melampau ini, wujud satu sela kelakuan yang dinamakan interaksi separa, di mana terdapat tahap komposit tertentu di antara kedua-dua komponen. Namun di dalam situasi ini, kegelinciran masih berlaku dan ia bergantung kepada kekukuhan dan jarak skru penyambung.

Kajian Ahmed (1996) terhadap panel PSSDB yang terdiri dari kepingan keluli berprofil Bondek yang digandingkan dengan tiga jenis papan kering telah memberikan peratus interaksi untuk jarak tertentu skru dan maklumat ini dipamerkan di dalam Jadual 2.5.

Jadual 2.5 Kesan jarak skru kepada peratus interaksi beberapa jenis panel komposit

Jenis panel komposit	Jarak skru		
	50 mm	100 mm	200 mm
Bondek-Papan Lapis	+42.5%	+16.2%	+4.5%
Bondek-Cemboard	+52.9%	+21.3%	+5.8%
Bondek-Papan Racik	+61.0%	+22.1%	+6.5%

Sumber: Ahmed 1996

Jarak skru 50 mm telah memberikan peratus interaksi di sekitar 50% manakala jarak 200 mm mencatatkan peratus interaksi yang rendah, di sekitar 5% sahaja. Dapatan ini agak berbeza daripada hasil kajian yang dilakukan oleh Wright et al. (1989) seperti yang dimuatkan di dalam Jadual 2.6 berikut.

Jadual 2.6 Kesan jarak skru kepada peratus interaksi

Jenis panel komposit	Jarak skru		
	150 mm	300 mm	600 mm
PMF-Papan Lapis	39%	20%	8%

Sumber: Wright et al. 1989

Jarak skru 150 mm di dalam kajian Wright et al. (1989) masih memberikan peratus interaksi yang agak tinggi iaitu 39% manakala peratus interaksi jarak skru 600 mmnya memberikan nilai yang hampir dengan peratus interaksi jarak skru 200 mm panel kajian Ahmed (1996). Namun ini boleh dijelaskan melalui penggunaan kepingan keluli berprofil yang berbeza bentuk. Kepingan keluli berprofil Bondek adalah dari jenis ekor merpati (*dovetail*) manakala, PMF adalah dari golongan profil trapezoid yang diperkukuh bebibirnya dan ini memberi kesan terhadap nilai momen inersia dan kekukuhan masing-masing dan seterusnya kepada peratus interaksi.

2.4 KAJIAN KHUSUS SISTEM PSSDB

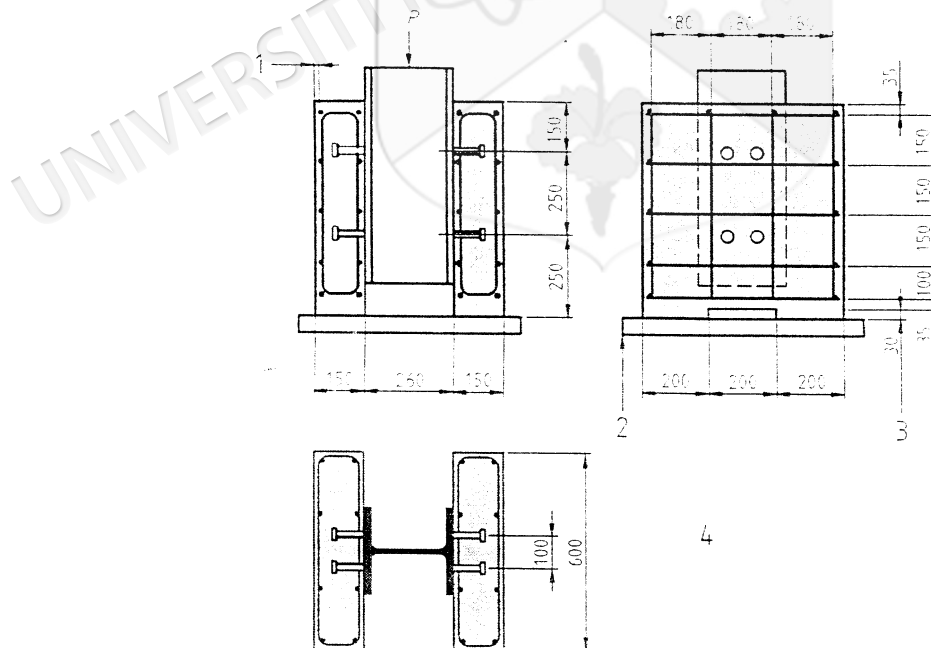
Bahagian sebelum ini telah menghuraikan komponen-komponen PSSDB dan penyelidikan yang dijalankan ke atas setiap satunya secara berasingan. Namun penyelidikan PSSDB secara panel bersepadu mempunyai kepentingan untuk difahami kelakuannya. Sebagaimana kedudukannya dengan konkrit bertetulang, gabungan unsur-unsur berbeza dapat menghasilkan satu komposit yang memiliki kelebihan keupayaan struktur. Untuk panel PSSDB yang dikenakan lenturan, kepingan papan kering yang bersifat rapuh seperti konkrit berada di zon mampatan manakala bahagian bawah kepingan keluli berprofil yang mulur berada di zon tegangan. Kedudukan ini sesuai dengan kelebihan sifat masing-masing. Skru penyambung pula bertindak

sebagai pengikat kepada kedua-dua unsur ini. Interaksi di antara kepingan keluli berprofil, papan kering dan skru penyambung mempengaruhi kekukuhan dan kelakuan panel tersebut.

Tiga jenis kategori penyelidikan ke atas sistem PSSDB secara bersepadu adalah ujian tolak keluar skru penyambung, ujian lenturan dan permodelan unsur terhingga dan akan dikupas seterusnya.

2.4.1 Ujian Tolak Keluar PSSDB

Ujian tolak keluar adalah satu ujian piawai yang dibuat kepada sistem komposit keluli-konkrit. Penyambung rantai komposit keluli-konkrit lazimnya adalah penyambung ricih stad berkepala (*headed stud shear connectors*). Ujian tolak keluar seringkali digunakan untuk untuk mengenalpasti kemampuan sambungan ricih dan hubungan beban-gelincir penyambung (Ellobody & Young 2006). Tatacara ujikaji dan saranan-saranan telah dinyatakan secara terperinci di dalam kod piawaian Eropah, EN 1994-1-1:2004 Annex B. Contoh lakaran sampel ujikaji di dalam unit mm adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 2.4.



Rajah 2.4 Piawaian sampel untuk ujikaji tolak keluar.
Sumber: EN 1994-1-1:2004 (E)

Di dalam ujikaji ini, satu rasuk kecil (rasuk jenis “I”) disambungkan kepada dua papak konkrit menerusi penyambung ricih. Beban sekata kemudiannya dikenakan ke atas hujung rasuk tersebut. Kegelinciran di antara rasuk dan dua papak kecil itu disukat pada takat penambahan beban tertentu. Huraian lanjut tentang ujian ini boleh didapati daripada kajian seperti Mahendra (1997b), Jeong et al. (2005), Ferrera et al. (2006) dan Valente & Cruz (2009).

Walau bagaimanapun, ujikaji yang membabitkan PSSDB tidak dapat menggunakan kaedah tersebut kerana terdapat beberapa perbezaan ketara di antara sistem komposit keluli-konkrit dan panel PSSDB. Perbezaan pertamanya adalah dari sudut penyambung ricih yang digunakan. Penyambung komposit keluli-konkrit adalah penyambung ricih stad berkepala yang dipateri kepada rasuk, manakala gelincir yang terjadi dan hendak disukat adalah gelincir di antara penyambung ricih ini dan konkrit di sekitarnya. Di dalam sistem PSSDB pula, penyambung ricihnya adalah berupa skru gerudi dan ulir sendiri dan gelincir yang berlaku adalah di antara skru, kepingan keluli berprofil dan papan kering. Dari itu, satu ujian tolak keluar yang khusus untuk sistem PSSDB adalah diperlukan untuk menganalisa kelakuan di antara skru, kepingan keluli berprofil dan kepingan papan kering.

Wright et al. (1989) telah merintis ujian tolak keluar untuk PSSDB. Menurut mereka, maklumat penyambung ricih yang terdapat di dalam penerbitan pengilang tertumpu kepada kekuatan penyambung itu sahaja dengan andaian bahawa anggota yang disambung adalah kukuh sepenuhnya. Di dalam sistem PSSDB, penyambung ricih (skru) tidak menyambung anggota-anggota yang kukuh, sebaliknya, papan mungkin menghancurkan dan keluli nipis mungkin mengherot akibat tegasan galas yang dikenakan oleh aci skru tersebut (Fan et al. 1997). Setelah menimbang beberapa jenis ujian, akhirnya satu ujikaji telah direka untuk memahami kelakuan skru penyambung di dalam sistem PSSDB. Ujian ini sangat menyerupai ujian CP 117 (1965) yang menguji kekuatan kimpalan stad dalam papak komposit keluli-konkrit.

Ujian seterusnya telah disambung dan dijalankan oleh penyelidik-penyelidik PSSDB seperti Wright et al. (1989), Ahmed (1996), Akhand (2001), Harsoyo (2004),

dan Hanizam (2008) dalam beberapa variasi. Berikut dibincangkan pula secara terperinci akan kajian yang dijalankan oleh mereka di dalam ujikaji tolak keluar ini.

a. Wright et al. (1989)

Penyelidikan Wright et al. (1989) sebelum ini turut mengkaji kesesuaian beberapa jenis penyambung iaitu skru kayu, nat dan bolt, paku dan skru gerudi dan ulir sendiri. Mereka mendapati penyambung yang paling sesuai digunakan di dalam PSSDB adalah skru gerudi dan ulir sendiri. Maklumat tentang ujikaji tolak keluar Wright et al. (1989) dinyatakan di dalam Jadual 2.7 di bawah.

Jadual 2.7 Maklumat Ujian Tolak Keluar

	Jenis	Ketebalan / saiz
Kepingan keluli berprofil	PMF	Tidak dinyatakan
Papan kering	Papan lapis	18 mm
	Papan racik	18 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	Tidak dinyatakan
	Paku	
Saiz sampel	Tidak dinyatakan	
Bilangan ujikaji	3	
Bilangan sampel	Melebihi 14	

Sumber: Wright et al. 1989

Nilai kekukuhan yang didapati adalah seperti berikut, papan lapis-paku (267 N/mm), papan racik-paku (175 N/mm), papan lapis-skru gerudi dan ulir sendiri (760 N/mm) dan papan racik-skru gerudi dan ulir sendiri (550 N/mm). Mereka turut mengesan mod kegagalan berbeza di dalam penggunaan dua penyambung. Sampel yang menggunakan penyambung skru gagal dengan papan kering menyerpih di sekeliling skru manakala sampel yang menggunakan paku gagal dengan paku tersebut tercabut keluar dari kepingan keluli berprofil. Walau bagaimanapun, ujikaji ini telah dijalankan di United Kingdom dengan menggunakan bahan-bahan yang terdapat di sana yang berbeza dengan sifat barangan tempatan Malaysia.

b. Ahmed (1996)

Ujikaji Ahmed (1996) adalah berdasarkan ujikaji Wright et al. (1989) yang terdahulu namun beliau merupakan pelopor ujikaji tolak keluar di Malaysia yang menggunakan sepenuhnya barangan tempatan untuk semua komponen ujikaji. Kajian beliau menggunakan satu jenis kepingan keluli yang dipadankan dengan tiga jenis papan kering berbeza. Maklumat ujian tolak keluar beliau ditunjukkan di dalam Jadual 2.8 berikut.

Jadual 2.8 Maklumat Ujian Tolak Keluar

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Bondek II	1 mm
Papan kering	Papan lapis	18 mm
	Cemboard	16 mm
	Papan racik	18 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	Tidak dinyatakan 6 skru/sampel
Saiz sampel	350 mm x 210 mm	
Bilangan ujikaji	3	
Bilangan sampel	Tidak dinyatakan	

Sumber: Ahmed 1996

Kekukuhan sambungan yang didapati adalah 730 N/mm (papan lapis 18 mm), 625 N/mm (Cemboard 16 mm) dan 470 N/mm (papan racik 18 mm) dan ini telah memberikan satu keputusan awal terhadap sifat komponen barangan tempatan Malaysia. Namun terdapat beberapa maklumat lain seperti jenis dan panjang skru dan peralatan ujikaji yang digunakan, tidak diberikan dengan jelas untuk dibuat perbandingan dengan penyelidikan seterusnya.

c. Benayoune (1998)

Ujikaji yang dijalankan Benayoune (1998) adalah serupa dengan Ahmed (1996) melainkan kepingan keluli yang digunakan adalah Peva 45 (tanpa dinyatakan

ketebalannya). Kekukuhan sambungan yang dicatatkan adalah 730 N/mm (papan lapis 18 mm), 620 N/mm (Cemboard 16 mm) dan 480 N/mm (papan racik 18 mm). Keputusan ini sangat menghampiri keputusan ujikaji Ahmed (1996) walaupun Benayoune (1998) menggunakan kepingan keluli berprofil Bondek yang mempunyai nilai kekuatan alahan yang lebih tinggi iaitu 550 MPa berbanding Peva 45 dengan 350 MPa.

d. Akhand (2001)

Kajian Akhand (2001) adalah untuk mendapatkan nilai kekukuhan penyambung di samping mengkaji kesan ketebalan papan kering, diameter skru dan keadaan basah/kering sampel terhadap kekukuhan skru penyambung. Maklumat ujian beliau dinyatakan di dalam Jadual 2.9 di bawah.

Jadual 2.9 Maklumat Ujian Tolak Keluar

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Bondek II	1 mm
Papan kering	Cemboard	16 dan 20 mm
Skru	DX 14 dan DX-15	berdiameter 4.2 dan 4.8 mm dan 25 mm panjang 8 skru/sampel
Saiz sampel	345 mm x 210 mm	
Bilangan ujikaji	8	
Bilangan sampel	24	

Sumber: Akhand 2001

Akhand (2001) menggunakan kedua-dua mesin penguji insani (*manual*) dan automatik (UTM) dan mendapati penguji automatik dapat mengesan gelincir permulaan yang berlaku pada awal pembebanan. Beliau juga mendapati ketebalan papan kering dan skru tidak memberi kesan kepada kekukuhan skru penyambung.

Kelembapan papan kering didapati akan mengurangkan kekukuhan sampel sebanyak 28%. Kekukuhan yang didapati dari ujikaji adalah 710 N/mm berdasarkan nilai kekukuhan ciri (*characteristic stiffness value*) dan bukannya purata biasa.

Walau bagaimanapun, susunan dan jarak skru yang dipilih pada sampelnya adalah agak rapat iaitu 50 mm pada bahagian tengah dan 100 mm pada bahagian sisi. Penulis berpendapat adalah lebih baik jika jarak itu diagihkan dengan lebih sekata kepada seluruh sampel seperti mana keadaan lantai sebenar. Gelincir permulaan yang didapati juga adalah terlalu kecil (0.28 mm) malah tidak dapat dikesan oleh mesin insani dan ia tidak mempengaruhi pengiraan nilai kekukuhan kerana nilai ini berdasarkan kepada kecerunan awal graf beban-gelincir. Dari itu, pengamatan terhadap gelincir permulaan boleh diabaikan kelak di dalam ujikaji penulis.

e. Harsoyo (2004)

Ujikaji Harsoyo (2004) adalah berbeza dari ujikaji tolak keluar sebelum ini yang menguji kekukuhan skru penyambung. Ujikaji beliau melibatkan sampel kepingan keluli berprofil yang diisi dengan konkrit dan ujian tolak keluar adalah untuk menilai kekuatan rekatan di antara bahan isian konkrit dengan kepingan keluli berprofil. Ia lebih menyerupai ujian tolak keluar pada komposit konkrit keluli. Maklumat ujian tersebut dirumuskan di dalam Jadual 2.10 di bawah.

Jadual 2.10 Maklumat Ujian Tolak Keluar

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Peva 45	1 mm
Papan kering	Cemboard	16 mm
	Kayu	50 mm x 100 mm
Skru	Tidak dinyatakan	Tidak dinyatakan
Saiz sampel	600 mm x 232 mm	6 skru/sampel
Bilangan ujikaji	2	
Bilangan sampel	6	

Sumber: Harsoyo 2004

Kekukuhan yang didapati adalah 1922.98 kN/mm/m untuk Peva-Kayu dan 1909.2 kN/mm/m untuk Peva-Cemboard. Nilai kekukuhan ini merujuk kepada kekuatan rekatan isian konkrit dan kepingan keluli dan bukannya kekukuhan skru penyambung.

f. Hanizam (2008)

Penyelidikan Hanizam (2008) membabitkan dua komponen baru iaitu Ajiya CL 660 sebagai kepingan keluli berprofil dan Primaflex sebagai papan kering. Dua komponen ini adalah jauh lebih nipis dari komponen penyelidikan sebelum ini kerana ia digunakan untuk panel bumbung yang biasanya lebih ringan dan kurang kukuh berbanding lantai. Maklumat ujian beliau dimuatkan di dalam Jadual 2.11 berikut.

Jadual 2.11 Maklumat Ujian Tolak Keluar

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Ajiya CL 660	0.48 mm
Papan kering	Primaflex	9 mm
	Cemboard	10 dan 12 mm
Skru	DX 14 dan DX-RW	berdiameter 4.2 mm dan 25 mm panjang
Saiz sampel	225 mm x 231 mm	8 skru/sampel
Bilangan ujikaji	5	
Bilangan sampel	15	

Sumber: Hanizam 2008

Beliau menguji dengan menggunakan mesin pembebanan automatik (UTM). Nilai kekukuhan yang didapatkan untuk sampel Primaflex adalah 345 N/mm. Rumusan lain dari ujikajinya mendapati sampel yang basah telah menurunkan nilai kekukuhan sebanyak 15% pada sampel Primaflex dan 25% pada sampel Cemboard, manakala dalam keadaan kering, hanya terdapat 5% perbezaan di antara dua jenis

papan ini. Berbeza dengan Akhand (2001), Hanizam (2008) mendapati ketebalan papan kering telah memberi kesan terhadap kekukuhan skru penyambung.

Walau bagaimanapun, susunan dan jarak skru pada sampel beliau adalah sama dengan Akhand (2001) dan tidak diagihkan secara sekata ke keseluruhan panel seperti panel bumbung sebenar. Hanizam (2008) juga telah menggunakan kayu tanggam pada panel bumbungnya namun tiada ujikaji tolak keluar yang dibuat untuk mendapatkan nilai kekukuhan di antara papan kering dan kayu tanggam tersebut.

Rumusan keputusan kekukuhan yang didapati oleh para penyelidik tersebut adalah seperti ditunjukkan oleh Jadual 2.12 di bawah.

Jadual 2.12 Sebahagian nilai kekukuhan yang didapati melalui ujian tolak keluar penyelidik PSSDB terdahulu.

Penyelidik	Wright et al. (1989)	Ahmed (19960)	Akhand (2001)	Harsoyo (2004)	Hanizam (2008)
Kepingan keluli	PMF	Bondek II 1.0 mm	Bondek II 1.0 mm	Peva 45 1.0 mm	Ajiya CL 660
Papan kering	Papan lapis Papan cip 18 mm	16 mm Cemboard	16 mm Cemboard	16 mm Cemboard	9 mm Primaflex
Jenis skru	Skru gerudi dan ulir sendiri. Paku.	Skru gerudi dan ulir sendiri 4.2 mm x 25 mm	Skru gerudi dan ulir sendiri 4.2 mm x 25 mm	Tidak berkaitan (Menggunakan isian konkrit)	Skru gerudi dan ulir sendiri 4.2 mm x 25 mm
Nilai kekukuhan (N/mm)	760 550	625	710	1050	345

Hasil penyelidikan terdahulu di atas turut menampilkan beberapa dapatan penting seperti:

- Perbezaan panjang skru tidak memberikan kesan yang besar pada kekukuhan penyambung.
- Jenis papan kering telah memberi kesan pada kekukuhan penyambung, di mana kekukuhan tertinggi adalah pada papan papan lapis (730 N/mm), diikuti oleh Cemboard (625 N/mm) dan papan cip (470 N/mm)
- Papan kering yang basah akan menurunkan kekukuhan panel.
- Ketebalan papan kering berkemungkinan akan memberi kesan terhadap kekukuhan penyambung.

Walau bagaimanapun, tiada penyelidik yang mengkaji kesan ketebalan kepingan keluli berprofil terhadap kekukuhan dan juga kelakuan gabungan dua unsur baru iaitu papan kering dan kayu yang digunakan sebagai pengukuh dan tanggam pada panel lantai PSSDB. Agihan skru yang lebih seragam pada sampel juga patut dipertimbangkan agar menyerupai keadaan sebenar skru di panel lantai, bumbung atau dinding. Tiga perkara ini akan dikaji di dalam penyelidikan ini.

2.4.2 Ujian Lenturan

Matlamat ujian lenturan adalah untuk memahami kelakuan panel di bawah beban lenturan dan juga untuk mengesahkan keputusan yang didapati dari analisa model unsur terhingga. Maklumat yang didapati dari ujian ini termasuklah beban maksima, pesongan panel dan mod kegagalan. Seterusnya kekukuhan panel dapat di ketahui daripada maklumat tersebut. Di sini dibincangkan beberapa dapatan penting dari beberapa penyelidik utama ujian lenturan panel PSSDB.

a. Wright et al. (1989)

Wright et al. (1989) juga adalah antara penyelidik pelopor dalam ujian lenturan panel PSSDB. Mereka telah merintis kajian lenturan yang agak menyeluruh dengan menjalankan ujian statik dan dinamik pada panel dan juga pada pendakap penyokong sokongan (*hanger support bracket*). Ujian statik dijalankan dengan mengenakan beban seragam pada sampel menerusi bag udara (*air bag*) yang dikekang pada

kerangka. Ujian turut dijalankan ke atas kepingan keluli berprofil sahaja. Maklumat lenturan dari ujikaji digunakan untuk mengira momen muktamad dan kekukuhan panel. Maklumat ujian lenturan mereka dimuatkan di dalam Jadual 2.13 berikut:

Jadual 2.13 Maklumat Ujian Lenturan

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	PMF 60 dan 100	0.9 mm, 1.2 mm
Papan kering	Papan lapis	18 mm
	Papan racik	18 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	Tidak dinyatakan
Jarak skru	150 mm, 300 mm, 600 mm,	
Saiz sampel	Rentang 2.4 m, 2.9 m,	
	3.0 m, 3.5 m	
Jenis pembebanan	Beban seragam	
Bilangan ujikaji	9	
Bilangan sampel	Tidak dinyatakan	
Sumber: Wright et al. 1989		

Hasil ujikaji menunjukkan kekukuhan panel komposit adalah 14% lebih tinggi dari kekukuhan kepingan keluli berprofil sahaja. Kajian juga merumuskan bahawa jarak skru yang rapat akan meninggikan lagi kekukuhan dan peratus interaksi antara kepingan keluli dan papan kering panel.

Walau bagaimanapun, nilai kekukuhan kepingan keluli berprofil yang didapati melalui persamaan (2.1) telah mengandaikan bahawa keadaan interaksi 0% adalah bila mana panel terdiri dari kepingan keluli sahaja tanpa diskru ke papan kering. Namun penulis berpendapat nilai yang lebih sesuai digunakan, adalah nilai kekukuhan semulajadi panel (iaitu kekukuhan papan kering yang diletakkan di atas kepingan keluli berprofil tanpa diskru). Kehadiran papan kering (tanpa diskru) akan menyebabkan terjadinya geseran semulajadi dengan kepingan keluli berprofil apabila beban lenturan dikenakan. Kekukuhan gabungan ini sudah tentu lebih tinggi dari

kekukuhan kepingan keluli berprofil sahaja. Dari itu nilai % interaksi yang sebenar sepatutnya lebih rendah dari apa yang diperolehi dari penyelidikan Wright et al. (1989).

Jadual 2.14 berikut memberikan nilai-nilai kekukuhan lantai beberapa panel terpilih dari penyelidikan Wright et al. (1989).

Jadual 2.14 Kekukuhan lenturan beberapa panel terpilih

Rentang (m)	Bahan Komponen	Jarak Antara Skru (mm)	Kekukuhan (kNm ² /m)
2.4	PMF 60 1.2 mm Papan lapis 18 mm	150	254
2.4	PMF 60 1.2 mm Papan lapis 18 mm	600	216
2.4	PMF 60 1.2 mm Papan racik 18 mm	600	216
2.9	PMF 0.9 mm Papan racik 18 mm	600	159

Sumber: Wright et al. 1989

Ujikaji mereka turut mendapati penggunaan papan kering papan lapis dan papan racik memberikan nilai kekukuhan yang sama walaupun papan racik mempunyai nilai modulus Young dan kekukuhan penyambung yang lebih rendah. Dapatan ini akan dinilai semula dalam penyelidikan tesis ini untuk melihat kesan jenis papan kering terhadap kekukuhan panel dan kekukuhan skru penyambung.

b. Ahmed (1996 dan 1999)

Ujikaji Ahmed (1996) banyak berkait rapat dengan ujikaji Wright et al. (1989). Ahmed (1996) menjalankan ujikaji lenturan untuk melihat kelakuan lenturan sebenar panel di bawah beban statik di samping mendapatkan nilai kekukuhan panel. Keputusan ujikaji juga telah dibandingkan dengan keputusan kaedah analisis. Beliau turut menjalankan kajian parametrik pada ketebalan papan kering, kekukuhan, jarak

skru dan kesan penggunaan glu di dalam penyambungan. Ringkasan maklumat ujian lenturannya dan kekukuhan beberapa panel terpilih dipaparkan semula dalam Jadual 2.15 dan 2.16 berikut.

Jadual 2.15 Maklumat Ujian Lenturan

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Bondek II	1.0 mm
	Papan lapis	18 mm
Papan kering	Papan racik	18 mm
	Cemboard	12 mm, 16 mm, 24 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	Tidak dinyatakan
Jarak skru	50 mm, 100 mm, 200 mm	
Saiz sampel	620 mm x 2400 mm	
Jenis pembebanan	Beban garis di tengah rentang	
Bilangan ujikaji	14	
Bilangan sampel	Tidak dinyatakan	

Sumber: Ahmed 1996

Jadual 2.16 Kekukuhan beberapa panel terpilih

Rentang (m)	Bahan Komponen	Jarak Antara Skru (mm)	Kekukuhan (kNm ² /m)
2.4	Bondek II 1.0 mm Papan lapis 18 mm	200	141
2.4	Bondek II 1.0 mm Cemboard 16 mm	200	142
2.4	Bondek II 1.0 mm Papan racik 18 mm	200	138

Sumber: Ahmed 1996

Sepertimana hasil kajian Wright et al. (1989), Ahmed (1996) juga mendapati kekukuhan panel yang menggunakan papan kering papan lapis tidak banyak berbeza dari Cemboard. Namun disebabkan Cemboardnya adalah lebih nipis sedikit dari papan

lapis, maka panel Bondek-Cemboard telah dirumuskan sebagai lebih kukuh dari panel Bondek-papan lapis, sedangkan modulus Young (4500 N/m^2) dan kekukuhan skru penyambung (625 N/mm) panel Cemboard sebenarnya adalah lebih rendah dari nilai papan lapis iaitu masing-masing 7000 N/m^2 dan 730 N/mm . Dari itu, penyelidikan penulis akan meninjau semula aspek ini untuk mendapatkan pengesahan lanjut. Ujikaji Ahmed (1999) pula adalah satu ujian untuk memahami kelakuan PSSDB sebagai panel dua hala dengan mengambil maklumat tentang hubungan beban-lenturan dan gelincir di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering.

c. Akhand (2001)

Ujikaji yang dijalankan Akhand (2001) adalah membabitkan ujian kepingan keluli berprofil sahaja, ujian momen rintangan dan momen pusingan lantai PSSDB, ujian rintangan ricih hujung dan ujian pengesahan lantai selangar. Penyelidikan beliau juga bertujuan membuktikan bahawa kelakuan lantai selangar PSSDB dapat diramal dengan menggunakan model berskala kecil Unger. Maklumat ujian lenturan beliau dirumuskan di dalam Jadual 2.17 berikut.

Jadual 2.17 Maklumat Ujian Lenturan

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Bondek II	1.0 mm
Papan kering	Cemboard	16 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	DX14, 4.2 mm diameter dan 25 mm panjang
Jarak skru	150 mm	
Saiz sampel	600 mm x 3000, 400, 700, 1000, 1200, 1600, 1360, 1080 mm	
Jenis pembebanan	Beban 4 garis menumpu selaku beban teragih seragam	
Bilangan ujikaji	8	
Bilangan sampel	48	

Sumber: Akhand 2001

Di dalam ujian pengesahan model unsur terhingga, ujikaji yang melibatkan panel PSSDB yang terdiri dari Bondek II (1.0 mm tebal), Cemboard (16 mm tebal) dan skru berjarak 150 mm pada rentang 3.0 m, menghasilkan nilai purata kekukuhan sebanyak 215.8 kNm²/m. Ia adalah selaras dengan dapatan penyelidikan seperti Ahmed (1996) (142 kNm²/m) yang menggunakan komponen yang sama tetapi jarak skru yang lebih besar iaitu 200 mm. Keputusan ini menyokong andaian bahawa semakin bertambah jarak skru, semakin berkurangan kekukuhan panel.

Sebahagian besar penyelidikan beliau melibatkan ujian terhadap kepingan keluli berprofil sahaja iaitu ketika fasa pembinaan lantai di mana papan kering belum diskru bersama. Ini adalah untuk jenis pembinaan PSSDB yang mana kepingan keluli berprofil dipasang terlebih dahulu pada rasuk sebelum konkrit dicurah ke dalam lurahnya (sekiranya melibatkan konkrit) atau ditutup dengan papan kering dan diskru padanya. Menerusi ujian di makmal, kemampuan kepingan keluli berprofil ini untuk menampung berat pekerja, alatan dan konkrit basah (sekiranya digunakan) dapat diketahui. Namun penyelidikan fasa pembinaan tidak perlu dijalankan dalam tesis ini kerana ia bakal menggunakan panel pasang siap PSSDB yang telah lengkap diskru dan akan terus disusun menjadi lantai di tapak pembinaan.

d. Harsoyo (2004)

Ujikaji Harsoyo (2004) terdiri dari dua bahagian iaitu ujian kawalan (panel PSSDB biasa) dan ujian panel dengan isian konkrit. Maklumat tentang ujiannya ditunjukkan oleh Jadual 2.18 berikut.

Jadual 2.18 Maklumat Ujian Lenturan

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Peva 45	1.0 mm
Papan kering	Cemboard	16 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	DX 425.FO
Jarak skru	200 mm	
Saiz sampel	750 mm x 2000 mm	
Jenis pembebanan	Beban teragih seragam dan beban 4 garis menumpu	
Bilangan ujikaji	2	
Bilangan sampel	4	

Sumber: Harsoyo 2004

Nilai kekukuhan panel pula ditunjukkan oleh Jadual 2.19 di bawah.

Jadual 2.19 Kekukuhan beberapa panel terpilih

Rentang (m)	Bahan Komponen	Jarak Antara Skru (mm)	Kekukuhan (kNm ² /m)
2.0	Peva 45 1.0 mm Cemboard 16 mm	200	132
2.0	Peva 45 1.0mm Cemboard 16 mm Lurah Peva diisi konkrit	200	144

Sumber: Harsoyo 2004

Namun nilai kekukuhan 132 kNm²/m adalah didapati dari ujian satu sampel yang merupakan sampel kawalan sahaja, manakala nilai 144 kNm²/m pula dari ujian tiga sampel berisi konkrit iaitu ujikaji utama Harsoyo (2004).

e. Siti Hawa (2006)

Penyelidikan Siti Hawa (2006) adalah berkenaan ujian lenturan paksi pada dinding dan beliau juga turut meninjau kelakuan dinding dengan bukaan untuk

tingkap dan pintu. Selain itu, aspek sambungan temu papan kering dan bertindih kepingan keluli berprofil turut dikaji. Maklumat ujian beliau dirumuskan di dalam Jadual 2.20 berikut.

Jadual 2.20 Maklumat ujian lenturan paksi

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Peva 45, Bondek II	0.75 mm dan 1.0 mm
Papan kering	Cemboard	12 mm
Skrus	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	DS425.FH 25 mm panjang dan diameter 4.2 mm
Jarak skru	100 mm dan 200 mm	
Saiz sampel	600 mm x 1000 mm x 54 mm 820 mm x 1000 mm x 69 mm 600 mm x 1000 mm x 78 mm 1200 mm x 1000 mm x 78 mm 3000 mm x 3000 mm x 78 mm	
Jenis pembebanan	Beban paksi menegak	
Bilangan ujikaji	5	
Bilangan sampel	33	

Sumber: Siti Hawa 2006

Siti Hawa (2006) mendapati kebanyakan sampel mempamerkan pesongan yang berubah-ubah dari positif ke negatif pada awal pembebanan dan menurut beliau, ini disebabkan oleh ketidaksempurnaan pada panel sampel. Menurut beliau lagi, pesongan sisi berlaku kerana kesan ketidaksempurnaan pada kepingan keluli berprofil yang menyebabkan berlakunya lengkokan tempatan pada bahagian dua pertiga ketinggian sampel. Jenis kegagalan ini dipercepatkan lagi oleh kesipian dalam pembebanan paksi – iaitu pembebanan khusus untuk panel dinding. Penulis merasakan kesipian bebanan perlu diberi perhatian kerana ia boleh mempengaruhi kelakuan panel yang diuji. Walau bagaimanapun, aspek ketidaksempurnaan panel adalah lebih sukar untuk dikesan dan dikaji.

f. Hanizam (2008)

Kajian Hanizam (2008) adalah berkenaan panel bumbung yang diuji lenturan di dalam keadaan mendatar. Maklumat ujian beliau dimuatkan di dalam Jadual 2.21 di bawah.

Jadual 2.21 Maklumat Ujian Lenturan

	Jenis	Ketebalan /saiz
Kepingan keluli berprofil	Ajiya CL 660	0.48 mm
Papan kering	Cemboard	12 mm
	Primaflex	9 mm
Skru	Gerudi dan ulir sendiri (umum)	DX 14 DX-RW 25 mm panjang dan diameter 4.2 mm
Jarak skru	100 mm	
Saiz sampel	750 mm x 2000 mm 2250 mm x 2000 mm	
Jenis pembebanan	Beban 4 garis menumpu selaku beban teragih seragam	
Bilangan ujikaji	6	
Bilangan sampel	17	

Sumber: Hanizam 2008

Penyelidikan beliau mendapati papan kering Primaflex telah menambahkan kekukuhan panel sebanyak 21.1% berbanding Cemboard. Kekukuhan panel juga bertambah sebanyak 35.8% apabila jalur kayu diletakkan di sisi panel. Namun ujikaji yang dibuat untuk melihat kesan jalur kayu telah dilakukan ke atas panel individu sahaja. Dari itu kelakuan sebenar kayu bertanggam yang menyambungkan panel bersebelahan tidak dapat didedahkan. Walaupun Hanizam (2008) ada menjalankan kajian terhadap tiga panel yang disambung bersebelahan secara tanggam, namun ia didapati berkelakuan hampir sama dengan kes satu panel berjalur kayu.

Penulis merasakan cara yang lebih sesuai dan berfokus adalah dengan menguji dua panel yang disambung tengahnya secara bertanggam dan beban dikenakan pada satu panel sahaja. Dari itu kesan kayu tanggam yang mengelincir di antara satu sama lain dapat ditumpu dan dikaji dengan lebih terperinci.

Seterusnya Jadual 2.22 menunjukkan ringkasan hasil penyelidikan terdahulu di dalam ujian lenturan.

Jadual 2.22 Ringkasan hasil penyelidikan terdahulu

Penyelidik	Panel Ujikaji	Bilangan Ujikaji	Ringkasan penyelidikan
Wright (1989)	Lantai	9	Ujian statik, dinamik dan kaji kesan pelbagai jenis komponen dan jarak skru pada momen muktamad dan kekukuhan panel.
Ahmed (1996)	Lantai	14	Guna bahan tempatan. Kaji kesan jenis dan ketebalan papan kering berbeza dan jarak skru pada kekukuhan panel.
Ahmed (1999)	Bumbung	1	Ujian terhadap PSSDB sebagai panel 2 hala
Akhand (2001)	Lantai	8	Ujian momen rintangan, momen pusingan, ujian rintangan ricih hujung panel selangar.
Harsoyo (2004)	Lantai	2	Kaji kesan isian konkrit di dalam kepingan keluli berprofil terhadap kekukuhan panel.
Siti Hawa (2006)	Dinding	5	Kaji lenturan paksi pada dinding biasa dan dengan bukaan
Hanizam (2008)	Bumbung	6	Kaji kesan papan kering berbeza, penggunaan tangam kayu pada kekukuhan panel.

Hasil penyelidikan terdahulu di atas turut menampilkan beberapa dapatan umum yang penting seperti:

- Jarak skru mempengaruhi kekukuhan panel. Semakin bertambah jarak skru, semakin berkurang kekukuhan panel. Jarak skru pada nilai kurang dari 50 mm akan menghasilkan interaksi penuh.

- Mod kegagalan pada panel adalah pembentukan lengkukan tempatan pada bibir kepingan keluli berprofil.
- Jenis dan ketebalan papan kering yang berbeza mempengaruhi kekukuhan panel.

Walaupun jenis dan ketebalan papan kering diketahui mempunyai pengaruh ke atas kekukuhan panel, namun pengaruh nilai modulus Young papan kering tidak diketahui secara jelas. Bahkan, penyelidikan terdahulu memberikan keputusan yang tidak dijangka iaitu panel yang menggunakan papan kering yang mempunyai nilai modulus Young yang tinggi, lebih rendah kekukuhannya dan begitu juga sebaliknya. Kekukuhan lantai dan kekukuhan skru penyambung juga tidak menampakkan satu hubungan yang ketara.

Hampir kesemua penyelidik telah menggunakan komponen-komponen yang khusus untuk penyelidikan mereka, yang berbeza dari segi komponen, ketebalan dan saiz panel yang dikaji di dalam penyelidikan tesis ini. Dari itu, ujikaji lenturan panel perlu dijalankan untuk mendapatkan maklumat beban maksima, pesongan panel dan mod kegagalan yang khusus untuk kajian ini dan menjawab persoalan-persoalan tadi.

2.4.3 Permodelan Unsur Terhingga

Permodelan unsur terhingga telah digunakan untuk memodel dan meramalkan kelakuan panel PSSDB di bawah lenturan. Terdapat tiga kelebihan permodelan unsur terhingga. Pertama, ia dapat mengganti sebahagian ujikaji yang berkos tinggi untuk mengkaji kepelbagaian pembolehubah secara sistematik. Kedua, ia dapat digunakan untuk menguji berbagai andaian dan hipotesis kegagalan komponen-komponen panel PSSDB. Ketiga, ia boleh mensimulasi ujikaji yang secara praktikalnya tidak mungkin dapat dilaksanakan tetapi bernilai untuk dikaji seperti kelakuan panel rentang yang sangat panjang (Hofmeyer 2002).

Rata-rata kesemua penyelidik PSSDB menggunakan perisian komputer berjenama LUSAS kecuali Agus (2005) yang menggunakan perisian NASTRAN. Perbandingan terhadap kaedah yang digunakan dan nilai ramalan para penyelidik

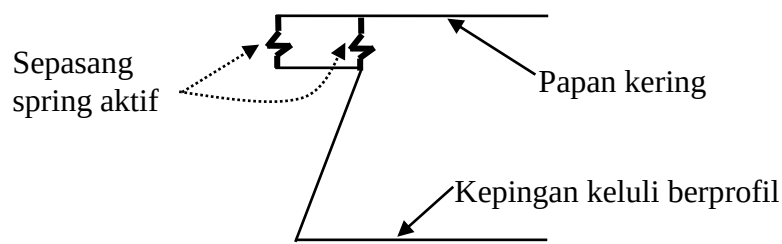
terdahulu akan dibuat dan pemerhatian khusus diberikan kepada jenis elemen yang digunakan untuk ketiga-tiga komponen PSSDB iaitu kepingan keluli berprofil, papan kering dan skru penyambung. Di bawah ini dinyatakan dapatan penting dan perbincangan tentang model beberapa penyelidik utama PSSDB.

a. Ahmed (1999)

Penyelidikan Ahmed (1999) adalah pelopor tempatan kepada penggunaan unsur terHINGGA untuk menganalisa panel PSSDB di bawah lenturan. Ahmed (1999) telah memodelkan papan kering dan kepingan keluli berprofil dengan unsur QSL8 dan QSI4 manakala sambungan skru pula dimodelkan menerusi plat dan spring (JL43 dan JSH4). Model spring diletakkan pada kedudukan skru sahaja dan tidak di bahagian kepingan keluli berprofil dan papan kering lain yang bersentuhan. Perbezaan nilai pesongan ujikaji dan model unsur terHINGGA dalam lingkungan 22.8% hingga 34%.

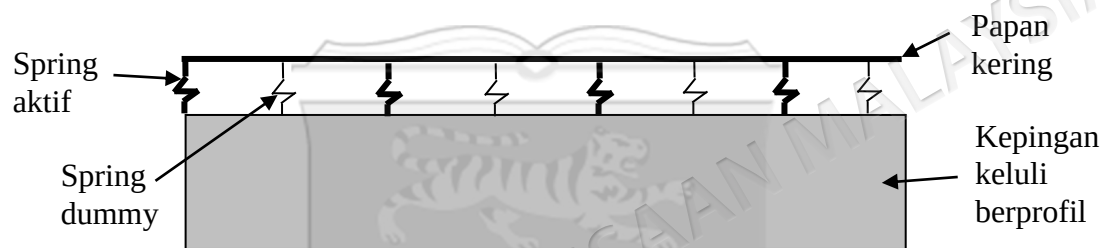
b. Akhand (2001)

Sambungan skru yang dibuat oleh Ahmed (1999), menerusi unsur spring di kedudukan skru, menyebabkan beban dipindahkan ke kepingan keluli melalui skru sahaja dan tidak di tempat lain. Akhand (2001) menyedari bahawa kaedah ini akan menyebabkan kedua-dua komponen itu melentur dan berputar secara individu dan papan kering, dengan sifatnya yang lebih lemah, akan melentur dengan lebih banyak daripada kepingan keluli berprofil. Ini seolah-olah menggambarkan bahawa papan kering yang di atas boleh melentur menembusi kepingan keluli berprofil di bawah – sesuatu yang mustahil boleh berlaku di dalam keadaan sebenar. Dari itu Akhand (2001) mengambil langkah mengagihkan kekukuhan penyambung kepada sepasang spring aktif (JL43) tiga hala, yang diletakkan pada tebing separuh bibir kepingan keluli seperti ditunjukkan oleh Rajah 2.5 berikut.



Rajah 2.5 Pandangan keratan rentas unsur terhingga panel oleh Akhand (2001).

Akhand (2001) turut menempatkan sepasang spring *dummy* di tengah-tengah jarak antara dua skru (spring aktif) seperti yang dilakarkan di dalam Rajah 2.6.



Rajah 2.6 Pandangan rentas sisi panel yang menunjukkan kedudukan spring.

Dua spring yang selari dengan satah lenturan neutral (arah global X dan Z-mendatar) sahaja yang terlibat dalam mewakili kelakuan ricih pada sambungan skru. Nilai kekukuhan yang dimasukkan adalah nilai yang didapati dari ujian tolak keluar. Spring yang ketiga (dalam arah Y-menegak) telah diberikan nilai kekukuhan yang besar. Manakala untuk spring *dummy* pula, spring dalam arah global X dan Z diberi nilai kekukuhan bukan sifar yang kecil, manakala spring dalam arah Y (menegak) diberi nilai kekukuhan yang sama dengan nilai spring aktif tadi.

Akhand (2001) telah memodelkan kepingan keluli berprofil dan papan keringnya dengan unsur kelompang nipis QSL8. Keputusan ramalan unsur terhingga lurus beliau pada panel selanjat setara memberikan nilai perbezaan 20% dengan nilai ujikaji pada beban 32 kN/m iaitu bersamaan dengan 50% beban muktamad ujikaji. Walau bagaimanapun ramalan unsur terhingga tak lurus beliau memberikan nilai pesongan yang menghampiri nilai ujikaji pada bebanan di bawah muktamad.

c. Harsoyo (2004)

Harsoyo (2004) menggunakan unsur QSL8 untuk memodelkan kedua-dua kepingan keluli berprofil dan papan kering. Bahan isian konkrit pula menggunakan unsur hexahedral pepejal dan skru pula menggunakan JL43. Pada beban 4.0 kN/m^2 perbezaan di antara nilai pesongan ujikaji dan ramalan model unsur terhingga adalah 9.4%.

d. Agus (2005)

Model Agus (2005) menggunakan perisian NASTRAN dengan analisa tak lurus. Beliau menggunakan unsur kelompok nipis untuk kepingan keluli berprofil manakala unsur pepejal untuk papan kering. Tumpuan analisisnya adalah terhadap sambungan skru di mana beliau menggunakan unsur sentuh sela (*contact gap*) sebanyak 0.23 mm. Hasil perbandingan dengan ujikaji makmal mendapati terdapat perbezaan sekitar 5% sahaja namun beliau tidak banyak memberikan maklumat lanjut tentang permodelan beliau.

e. Siti Hawa (2006)

Penyelidikan Siti Hawa (2006) merupakan kajian analisa statik lurus. Beliau menggunakan unsur kelompok nipis QSI4 untuk memodelkan papan kering dan kepingan keluli berprofil. Untuk sambung skru pula, beliau menggunakan unsur sambungan JSH4 dengan nilai kekukuhan 620 N/mm^2 yang didapati dari ujian tolak keluar Benayoune (1998). Pada beban muktamad 150 kN/m , pesongan sisi yang diramal oleh model unsur terhingga beliau, mencatatkan nilai 5.58 mm manakala nilai ujikaji adalah 57 mm, iaitu pengurangan sebanyak -90.2 %. Menurut beliau, ini adalah kerana analisa lurus tidak dapat mengesan lengkokan tempatan yang berlaku. Namun tiada perbandingan yang dilakukan pada beban yang lebih rendah ketika mana panel masih berkelakuan elastik.

f. Hanizam (2008)

Sebagai mana Akhand (2001), Hanizam (2008) juga menggunakan model spring aktif dan spring *dummy*. Beliau tidak menggunakan sepasang spring sebaliknya meletakkan cuma satu spring pada kedudukan sebenar skru iaitu di setiap jarak 200 mm. Spring *dummy* pula diletakkan pada setiap 50 mm atau 100 mm di antara jarak skrunya. Model beliau mencatatkan perbezaan terbaik sehingga 5.6 % dari keputusan ujikaji makmal.

Jadual 2.23 memberi perbandingan jenis unsur permodelan dalam LUSAS yang telah digunakan oleh para penyelidik utama panel PSSDB terdahulu.

Jadual 2.23 Jenis unsur permodelan yang digunakan dalam LUSAS

	Ahmed (1999)	Akhand (2001)	Harsoyo (2004)	Siti Hawa (2006)	Hanizam (2008)
Papan kering	QSL8	QSL8	QSL8	QSI4	QSL8
Kepingan keluli	QSI4	QSL8	QSL8	QSI4	QSL8
Skru	JSH4 JL43	JL43	JL43	JSH4	JL43
Plat " <i>dummy</i> "					

Beberapa pendekatan telah diambil untuk memodelkan panel PSSDB. Hampir kesemua penyelidik telah menggunakan unsur kelompong nipis untuk komponen papan kering dan kepingan keluli berprofil. Terdapat beberapa cubaan berbeza seperti penggunaan unsur JSH4, JL43 dan plat "*dummy*" di dalam memodelkan sambungan skru, iaitu satu komponen kritikal yang banyak mempengaruhi kelakuan panel PSSDB. Penyelidikan ini akan menilai dan mengambil pendekatan terbaik dari beberapa kaedah yang telah digunakan di samping menjalankan beberapa cubaan baru untuk menghasilkan model yang lebih menghampiri kelakuan panel sebenar.

2.5 KESIMPULAN

Bab ini telah membincangkan aspek-aspek penting dalam isu lantai. Bermula dengan perbincangan berkisar lantai-lantai IBS di Malaysia iaitu lantai konkrit pra-tuang, lantai komposit keluli konkrit dan lantai PSSDB; kupasan berkisar pula kepada penyelidikan yang telah dijalankan terhadap komponen-komponen panel PSSDD secara individu iaitu papan kering, kepingan keluli berprofil, skru penyambung dan jaraknya. Selanjutnya perhatian khusus diberikan kepada penyelidikan yang melibatkan panel bersepadu PSSDB seperti ujian tolak keluar skru penyambung, ujian lenturan dan analisa unsur terhingga. Hasil dari penelitian tersebut, beberapa rumusan telah diambil, langkah penambahbaikan dan ujian pengesahan akan dibuat di dalam kajian tesis ini seperti berikut:

a. Ujian tolak keluar skru penyambung

Hasil penyelidikan terdahulu mendapati:

- Perbezaan panjang skru tidak memberikan kesan yang besar pada kekukuhan skru penyambung.
- Jenis papan kering telah memberi kesan pada kekukuhan penyambung, di mana kekukuhan tertinggi adalah pada papan papan lapis (730 N/mm), diikuti oleh Cemboard (625 N/mm) dan papan cip (470 N/mm)
- Papan kering yang basah akan menurunkan kekukuhan panel.
- Ketebalan papan kering berkemungkinan akan memberi kesan terhadap kekukuhan penyambung.

Aspek yang masih tidak diketahui dan akan dikaji adalah:

- Nilai kekukuhan skru penyambung, beban muktamad dan mod kegagalan sampel baru penyelidikan
- Kesan ketebalan kepingan keluli terhadap kekukuhan
- Kelakuan gabungan unsur papan kering dan jalur kayu
- Kesan agihan skru penyambung yang seragam pada sampel
- Kelakuan skru penyambung di bawah pembebanan

b. Ujian lenturan

Hasil penyelidikan terdahulu mendapati:

- Jarak skru mempengaruhi kekukuhan panel. Semakin bertambah jarak skru, semakin berkurang kekukuhan panel. Jarak skru pada nilai kurang dari 50 mm akan menghasilkan interaksi penuh.
- Mod kegagalan pada panel adalah pembentukan lengkokan tempatan pada bebibir kepingan keluli berprofil.
- Jenis dan ketebalan papan kering yang berbeza mempengaruhi kekukuhan panel.

Aspek yang masih tidak diketahui dan akan dikaji adalah:

- Nilai kekukuhan, beban muktamad dan mod kegagalan sampel baru penyelidikan.
- Pengaruh jenis (berdasarkan nilai modulus Young), unsur bahan dan ketebalan papan kering terhadap kekukuhan panel.
- Hubungan di antara kekukuhan panel dan kekukuhan skru penyambung.
- Kesan pertambahan ciri kekukuhan panel terhadap kelakuan sampel.

c. Analisa unsur terhingga

Hasil penyelidikan terdahulu mendapati:

- Unsur kelompok nipis sering digunakan untuk komponen papan kering dan kepingan keluli berprofil.
- Penggunaan unsur JSH4, JL43 dan plat "dummy" di dalam memodelkan sambungan skru memberikan keputusan yang baik.
- Perbezaan ramalan dan nilai ujikaji di dalam penyelidikan berada di antara +5 % hingga mencecah +34%.

Aspek yang masih tidak diketahui dan akan dikaji adalah:

- Kesan penggunaan kelompok tebal berbanding nipis pada sampel baru penyelidikan

- Gabungan unsur-unsur dan pembebanan yang akan memberikan ramalan nilai lenturan yang menghampiri nilai lenturan ujikaji.
- Kesan jarak di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering kepada nilai lenturan panel.
- Kesan rentang, ketebalan kepingan keluli berprofil dan papan kering kepada pesongan tengah rentang.
- Ramalan beban maksima pada rentang panel PSSDBD tertentu.

Secara dasarnya, penyelidikan terdahulu telah menggunakan gabungan bahan dan saiz komponen yang berbeza dari kajian tesis ini, maka ujikaji makmal dan model unsur terhingga yang baru perlu dijalankan untuk mendapatkan maklumat dan pemahaman dan seterusnya ramalan kelakuan panel pasang siap. Bab seterusnya akan membincangkan kajian kelakuan panel lantai pasang siap PSSDB.



BAB III

KAJIAN KELAKUAN PANEL LANTAI PASANG SIAP PSSDB

3.1 PENGENALAN

Bab II telah menyentuh tentang kajian kepustakaan sistem lantai secara am dan lantai PSSDB secara khusus. Komponen-komponen lantai PSSDB yang sebelum ini disusun dan dicantum di tapak pembinaan, kini diolah dengan dipasang siap terlebih dahulu di kilang sebelum dibawa ke tapak untuk disusun atur menjadi lantai. Kelainan ini membuka kepada beberapa persoalan baru yang perlu dijawab sebelum struktur ini selamat dan sesuai digunakan sebagai panel lantai pasang siap. Beberapa pengujian perlu dilakukan untuk mengetahui kelakuan panel lantai di bawah lenturan dan kaedah-kaedah yang dapat menambahkan kekukuhannya. Dua puluh satu panel sehala berskala sebenar telah diuji di dalam tiga siri ujikaji. Keputusan dan analisa ujikaji diberikan pada penghujungnya.

3.2 MENGKAJI KELAKUAN PANEL LANTAI PSSDB

Matlamat utama kajian tesis ini adalah untuk memahami kelakuan panel lantai PSSDB yang telah diubahsuai supaya dapat menjadi panel pasang siap yang hanya memerlukan kerja pemasangan yang minima di tapak. Di antara aspek yang perlu diberi perhatian adalah kelakuan panel tersebut dan kebolehannya menjadi lantai yang dapat berfungsi dengan baik, yang mempunyai kekukuhan dan kekuatan yang dapat menanggung beban keaan di atas lantai. Panel-panel lantai PSSDB yang dikaji dalam tesis ini disesuaikan sebagai panel pasang siap dan kajian dijalankan terhadap aspek-aspek yang dapat meningkatkan kekukuhan panel serta kesan sistem

penyambung antara panel lantai terhadap kekukuhan dan kekuatan sistem lantai PSSDB secara lebih mendalam. Panel-panel kajian telah dibahagikan kepada tiga iaitu;

- Panel disokong mudah
- Panel disokong mudah yang diperkukuh
- Panel berciri selangar

a. Panel disokong mudah

Panel disokong mudah terdiri daripada panel lantai PSSDB yang diletakkan sahaja di atas penyokong tanpa perlu diikat dengan skru pada rasuk di bawah. Teknik ini adalah mudah, ringkas dan panel boleh senang dirungkai kemudiannya sekiranya diperlukan. Ini juga adalah langkah untuk mengelakkan pertambahan kos kerana lubang selalunya terpaksa ditebuk dahulu pada rasuk keluli sebelum panel lantai dapat diskru padanya. Dua jenis panel akan diuji iaitu panel yang menggunakan kepingan papan kering Cemboard dan papan lapis untuk mengetahui kesan jenis kepingan papan kering yang berbeza terhadap kekukuhan panel.

b. Panel disokong mudah yang diperkukuhkan

Panel seterusnya yang akan diuji adalah panel yang disokong mudah yang diperkukuhkan dengan meletakkan jalur kayu pada kedua-dua belah sisinya yang berfungsi untuk mengurangkan lenturan maksima panel, menampung bahagian papan kering yang terjulur dan boleh mengelakkannya dari mudah patah, menyerpih atau melentur ke bawah. Kehadiran dua jalur kayu ini dijangka akan menambahkan kekukuhan keseluruhan panel lantai kerana dua jalur kayu itu mungkin boleh bertindak sebagai sokongan dan menyebabkan panel melentur sebagai papak rentang dua hala dan bukan lagi papak rentang sehalu. Lenturan dan seterusnya nilai kekukuhan panel diperkukuh ini akan dibandingkan dengan nilai panel PSSDB yang tidak diperkukuh.

Panel-panel yang disokong mudah akan bertindak secara individu kerana tidak disambung dengan panel di sebelahnya. Susunan sebegini boleh mengakibatkan ayunan lantai yang ketara kerana setiap panel akan melentur secara maksima tanpa halangan. Keadaan ini dapat dikurangkan jika panel-panel lantai dapat disambungkan di antara satu sama lain dan lenturan dijangka berkurangan kerana beban turut ditanggung oleh panel bersebelahan. Satu kaedah penyambungan sisi panel-panel yang efektif adalah melalui penggunaan tanggam.

Kaedah tanggam merupakan teknik penyambungan kayu yang telah diamalkan oleh orang Melayu terutamanya di dalam pembinaan rumah dan istana warisan. Pada umumnya, kaedah tanggam merujuk kepada suatu bentuk disiplin penyambungan kerangka binaan, khususnya kayu. Kaedah penyambungan ini mewakili hampir setiap bentuk penyambungan bahagian yang wujud dalam binaan sesebuah rumah Melayu (Mastor 2009).

Dari itu, kajian ini akan turut juga meneliti kelakuan panel yang disambungkan dengan panel bersebelahan dengan kaedah tanggam. Di dalam siri kajian ini, sisi dua panel yang bersebelahan akan diskrukan dengan jalur kayu yang diketam dengan sepasang alur tanggam. Sambungan secara bertanggam ini dijangka akan dapat menghasilkan ikatan yang lebih mantap di antara panel-panel lantai, menambah nilai ketegaran dan akan mampu menanggung beban yang lebih besar.

c. Panel berciri selangar

Siri sebelum ini telah membincangkan tentang dua jenis panel yang disokong mudah. Siri ketiga pula ialah siri kajian yang akan meneliti satu kaedah lagi untuk meningkatkan kekukuhan panel iaitu dengan mengaplikasikan aspek keselangaran.

Panel selangar, sebagaimana rasuk, akan mempunyai lenturan yang kurang dan lebih ekonomik berbanding panel atau rasuk yang disokong mudah. Walau bagaimanapun, panel selangar selalunya adalah panjang, berat dan sukar dikendalikan. Lantai pasang siap, sebaliknya, perlu mengekalkan ciri kebaikan sistem IBS di mana

panel itu disiapkan di kilang terlebih dahulu dan mudah untuk dibawa ke tapak dan hanya memerlukan kerja pemasangan yang minima. Ciri ini memerlukan panel itu agar tidak terlalu panjang iaitu berada di dalam lingkungan di bawah 3.0 m supaya mudah untuk diangkat dan memindahkannya menggunakan kenderaan yang sederhana besar. Ini lebih-lebih lagi penting pada projek pembinaan di kawasan terpencil di mana kemudahan asas adalah terhad dan sukar menggunakan khidmat kren dan mesin berat yang lain.

Setelah menimbangkan keperluan ciri panel pasang siap ini, satu panel separa selangar telah dicadangkan. Panel separa selangar ini terdiri dari dua bahagian kepingan keluli berprofil dan tiga bahagian papan kering yang diskru di tapak untuk menjadi mirip sebuah panel selangar. Sifat panel ini sudah tentu tidak menyamai lantai selangar sepenuhnya maka kerana itulah ia lebih sesuai dinamakan panel lantai separa selangar.

Panel separa selangar ini juga akan dibandingkan kelakannya dengan panel selangar iaitu panel yang terdiri dari satu bahagian kepingan keluli berprofil dan tiga bahagian papan kering. Kajian ini tidak dapat menggunakan kepingan papan kering padu yang sama panjangnya dengan kepingan keluli berprofil kerana dasar pengilang yang tidak menghasilkan potongan sepanjang 3 meter.

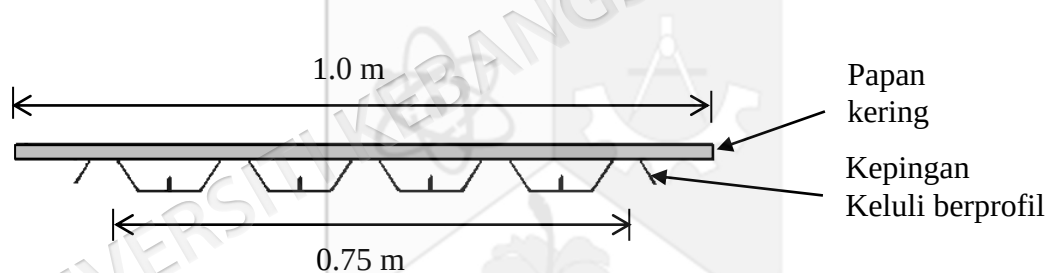
3.3 MATLAMAT UJIKAJI LENTURAN

Kajian terhadap kelakuan panel PSSDB dibuat melalui ujikaji lenturan yang dilaksanakan untuk memahami kelakuan panel lantai di bawah pembebanan. Panel lantai PSSDB diuji untuk menanggung beban sehingga menemui kegagalan. Maklumat yang dinilai menerusi ujikaji lenturan adalah perubahan pesongan dan terikan terhadap beban, nilai beban muktamad dan mod kegagalan. Nilai kekukuhan pula akan didapati melalui maklumat pesongan maksima panel. Panel juga dapat dikatakan selamat apabila pesongan maksima yang terhasil tidak melebihi had pesongan ($\text{rentang}/200$) yang ditetapkan oleh BS 5950: Part 6: 1995.

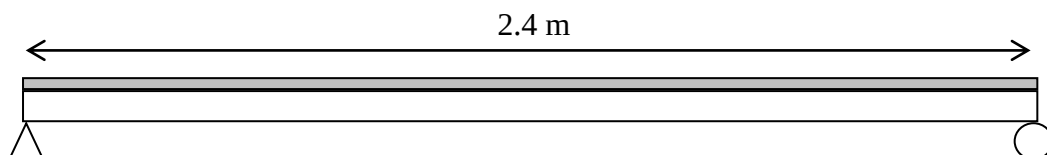
3.4 PERSAMPELAN

Untuk memahami kelakuan panel-panel pasang siap yang dicadangkan ini, tiga siri ujikaji telah direkabentuk.

Siri Ujikaji 1 – Panel yang disokong mudah. Panel ini adalah jenis panel PSSDB yang sering digunakan di dalam sistem PSSDB terdahulu. Lebar panel adalah 1.0 m manakala panjangnya 2.4 m. Dua jenis papan kering digunakan iaitu Cemboard (PC/2.4DM) dan papan kering lapis (PPI/2.4DM) dan kedua-duanya berketebalan 18 mm. Papan-papan kering itu masing-masing diskrukan kepada kepingan keluli berprofil Peva 45 berketebalan 0.8 mm. Skru yang digunakan adalah berukuran 32 mm panjang dan 4.2 mm tebal dari jenis gerudi dan ulir sendiri. Jarak di antara skru adalah 200 mm. Tujuan ujikaji ini adalah untuk melihat kesan kekukuhan dari penggunaan papan kering yang berbeza. Lakaran sampel ujikaji siri ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.1 di bawah.



a. Keratan rentas.



b. Pandangan sisi.



c. Pandangan pelan.

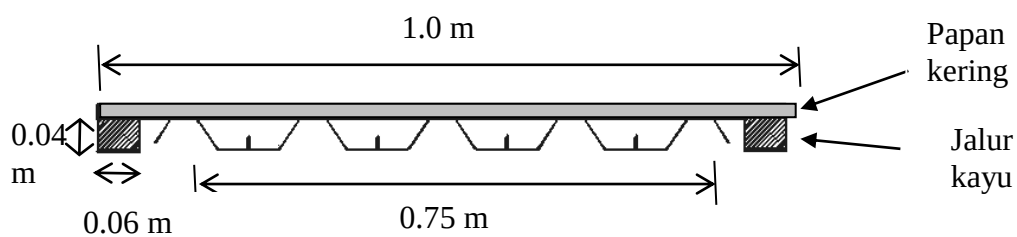


d. Pandangan isometrik.

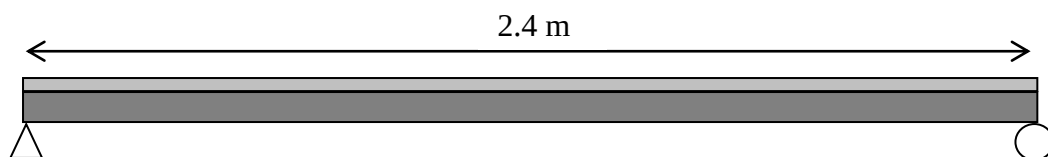
Rajah 3.1 PC/2.4DM (Papan Cemboard) dan PPI/2.4DM (Papan lapis).

Siri Ujikaji 2 – Panel disokong mudah yang diperkukuh. Panel yang digunakan di dalam siri ujikaji ini adalah sama dengan PC/2.4DM tapi diperkukuhkan dengan jalur kayu. Tiga kes akan dikaji iaitu:

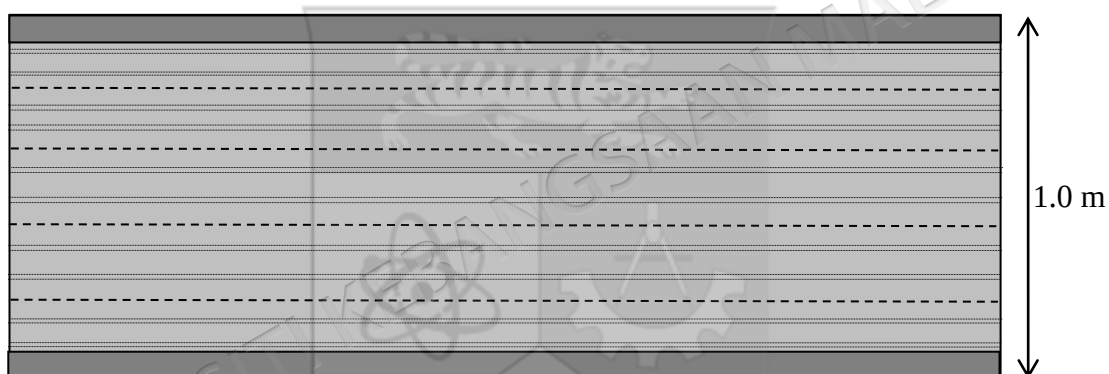
a. Kes A – Panel individu seperti PC/2.4DM akan diperkukuhkan dengan diskru jalur kayu Meranti berketam sepanjang 2.4 m di kedua belah sisinya. Ia akan dikenali sebagai PCK/2.4DM. Tinggi jalur kayu (0.04 m) adalah sama dengan kedalaman lurah kepingan keluli berprofil dan kelebaran 0.06 m dipilih untuk memenuhi sebahagian ruang kosong di bawah papan kering yang terjulur itu. Kayu ini disambungkan kepada papan kering menggunakan jenis skru yang sama digunakan untuk menyambung kepingan keluli berprofil dan papan kering. Ini adalah sebagai langkah yang praktikal, agar tidak perlu mengguna dua jenis skru berbeza pada satu panel. Lakaran sampel ujikaji siri ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.2 di sebelah.



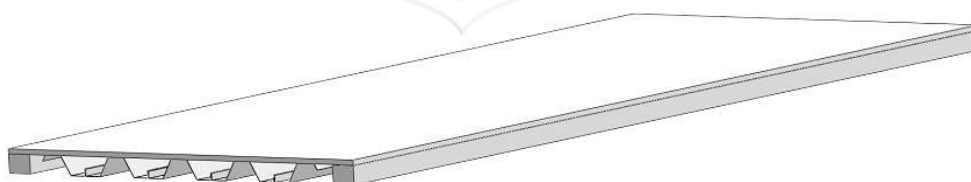
a. Keratan rentas.



b. Pandangan sisi.



c. Pandangan Pelan.

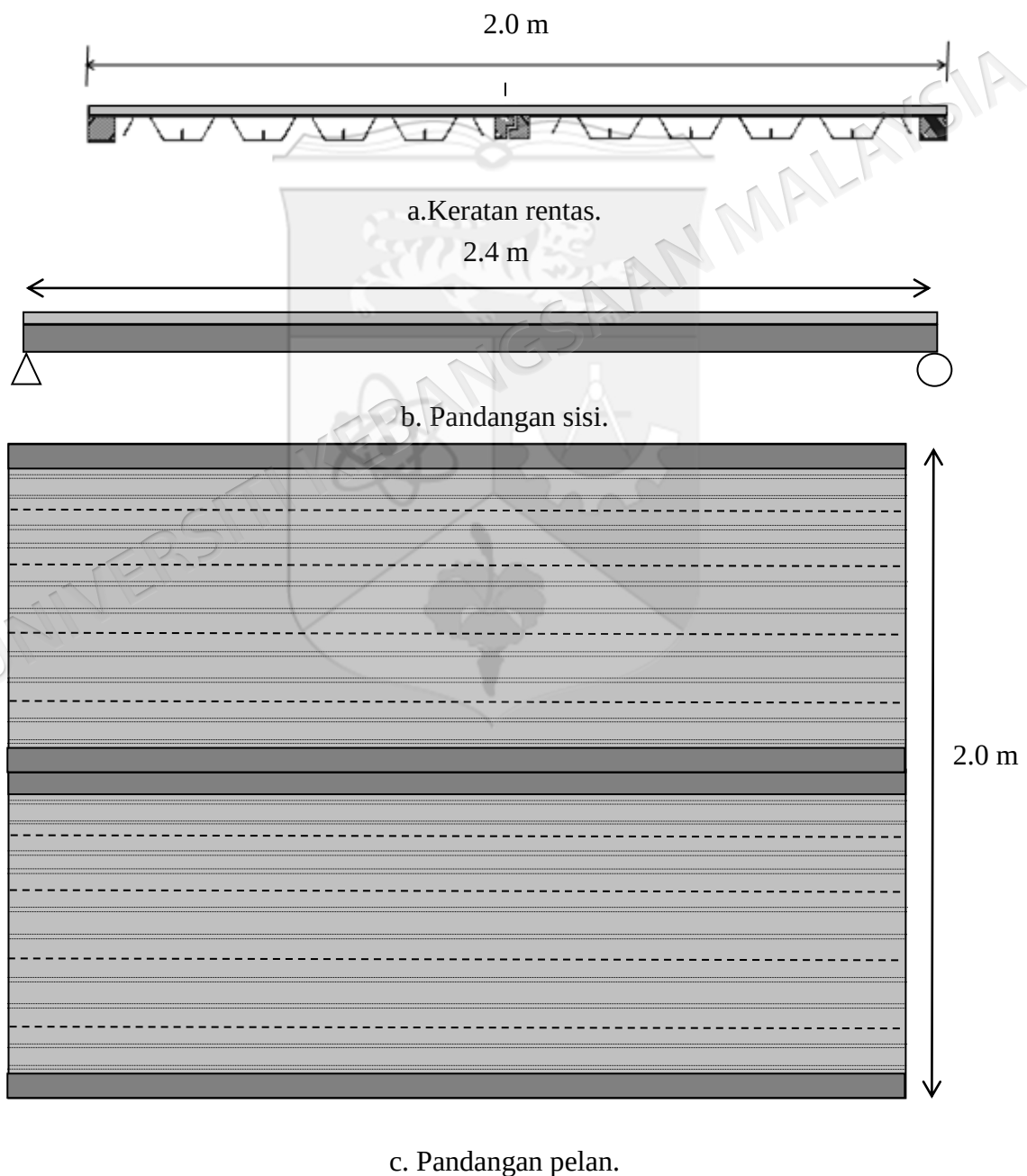


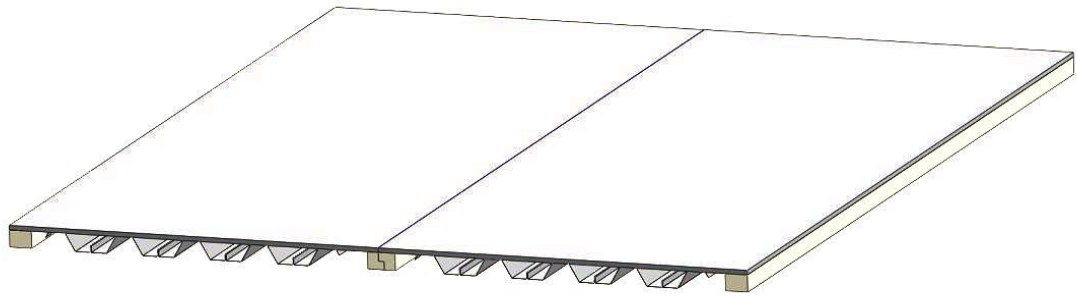
d. Pandangan isometrik.

Rajah 3.2 PCK/2.4DM – diperkukuh dengan jalur kayu.

PCK/2.4DM ini akan dibandingkan dengan PC/2.4DM untuk melihat kesan kehadiran jalur kayu pada kekukuhan panel.

b. Kes B – Di dalam kes ini, dua panel akan disusun bersebelahan dengan kedua-dua sisi yang terdedah dipasang dengan jalur kayu manakala sisi di antara panel, dipasang dengan kayu bertanggam. Pembebanan akan dikenakan pada satu panel sahaja untuk melihat kesan sambungan tanggam terhadap kemampuan panel menampung beban. Panel ini dinamakan PCT/2.4DM dan akan dibandingkan dengan PCK/2.4DM untuk melihat kesan kekukuhan panel yang disambung secara tanggam berbanding panel individu yang diletakkan jalur kayu. Lakaran sampel ujikaji siri ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.3 di bawah.

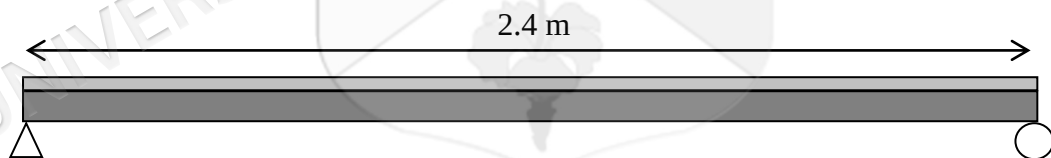
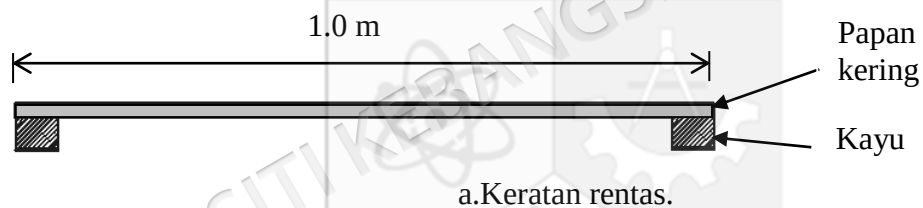




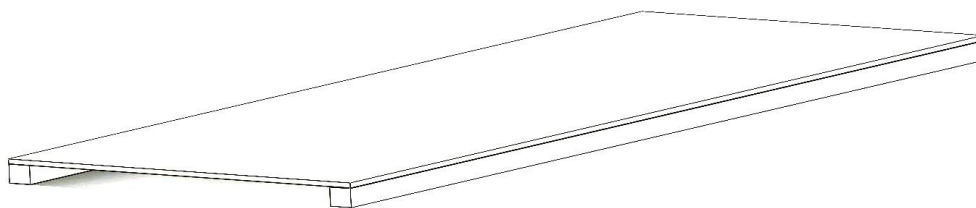
d. Pandangan isometrik.

Rajah 3.3 PCT/2.4DM – Sambungan tanggam.

c. Kes C – Kes ini melibatkan panel seperti PCK/2.4DM namun tidak mempunyai kepingan keluli berprofil. Ia dinamakan CK/2.4DM dan akan dibandingkan dengan PCK/2.4DM. Ia bertujuan untuk melihat pengaruh kepingan keluli berprofil pada panel lantai yang diperkukuh. Lakaran sampel ujikaji ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.4 di bawah.



c. Pandangan pelan.

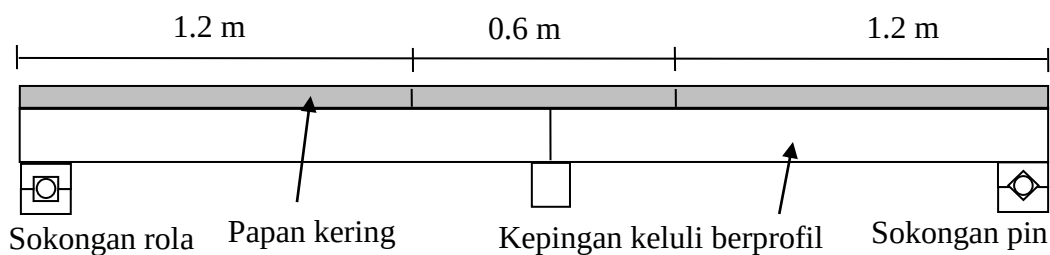
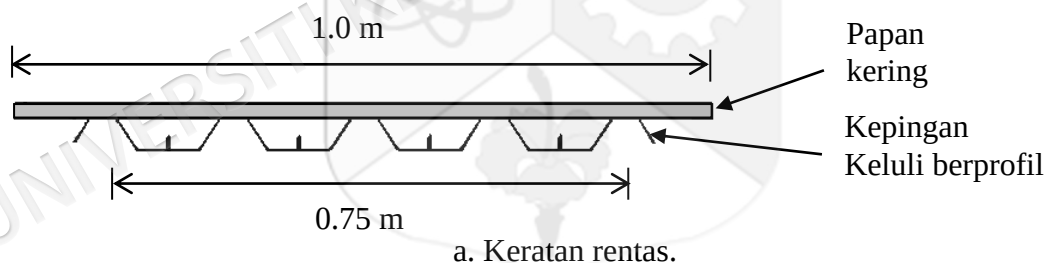


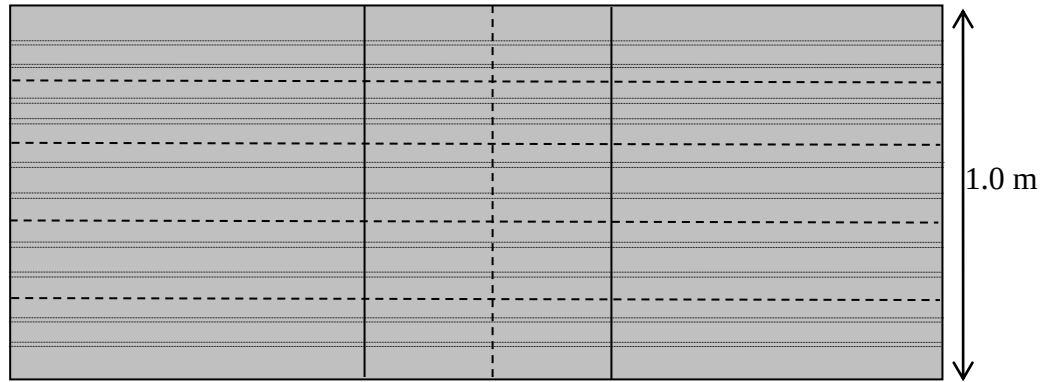
d. Pandangan isometrik.

Rajah 3.4 Panel CK/2.4DM.

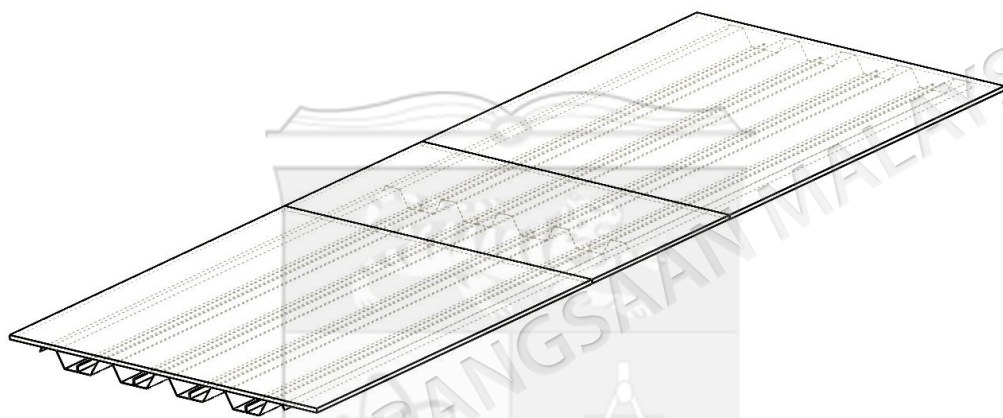
Siri Ujikaji 3 – Panel Berciri Selangar

Panel berciri selangar terdiri dari dua jenis iaitu Panel Separa Selangar dan Panel Selangar. Panel separa selangar (PC/3.0SSj) adalah terdiri dari dari dua kepingan papan kering Cemboard bersaiz 1.2 m panjang dan satu kepingan bersaiz 0.6 m panjang yang diskrukan kepada dua keping keluli berprofil 1.5 m. Panjang keseluruhan panel ini adalah 3.0 m dan lebarnya 1.0 m. Lakaran sampel ujikaji siri ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.5 di bawah.





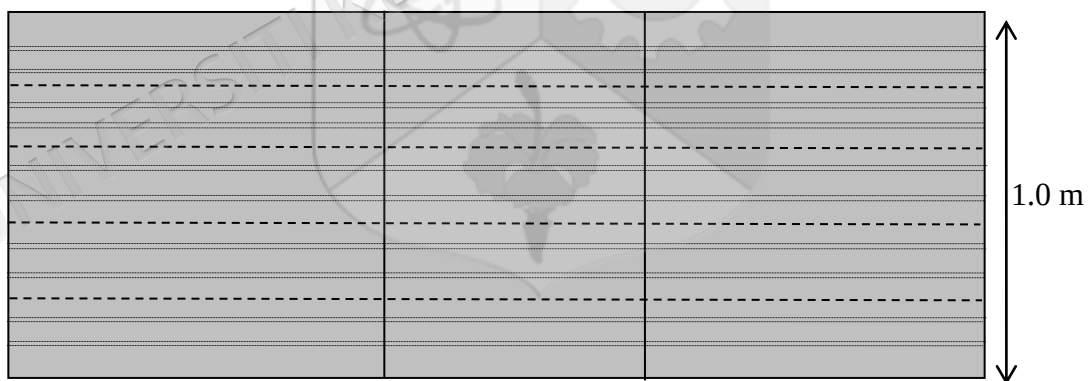
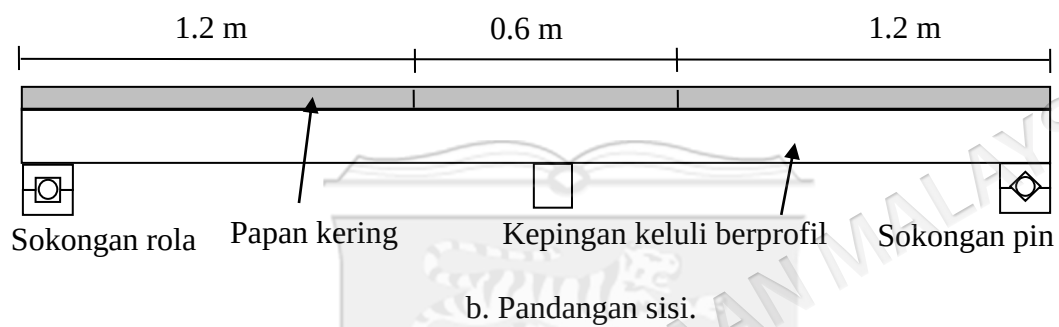
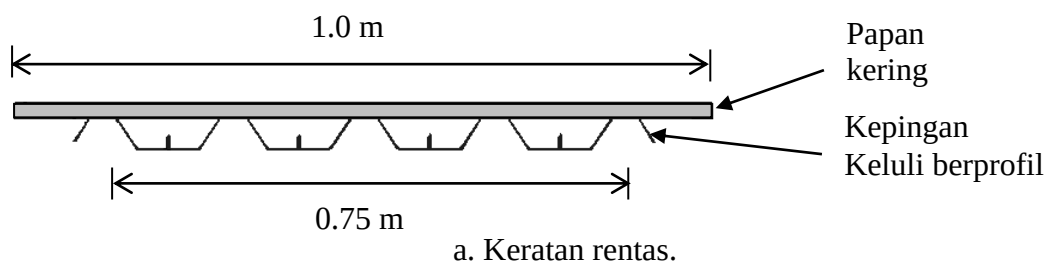
c. Pandangan pelan.

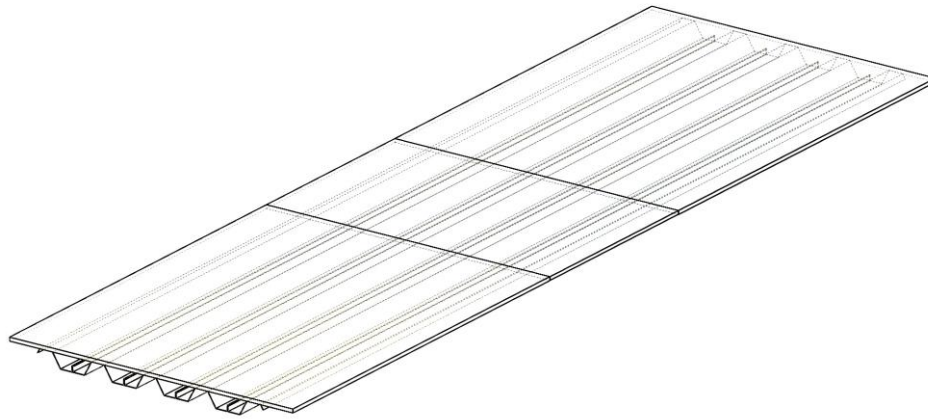


d. Pandangan isometrik.

Rajah 3.5 PC/3.0SSj – separa selangar.

Panel ini akan dibandingkan dengan panel selangar (PC/3.0Sj). Situasi unggul sebuah panel selangar adalah panel yang terdiri dari sekeping kepingan papan kering yang diskrukan kepada sekeping kepingan keluli berprofil. Namun terdapat kekangan pihak pengilang kepingan papan kering Cemboard yang tidak dapat membekalkan kepingan sepanjang 3.0 m. Dari itu, ujikaji ini mentakrifkan panel selangar sebagai panel yang terdiri dari dua kepingan papan kering Cemboard bersaiz 1.2 m panjang dan satu kepingan bersaiz 0.6 m panjang yang diskrukan kepada sekeping keluli berprofil 3.0 m. Lakaran sampel ujikaji siri ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.6 di sebelah.





d. Pandangan isometrik.

Rajah 3.6 PC/3.0Sj - selanjar.

Tujuan ujikaji ini dijalankan adalah untuk melihat kelakuan kekukuhan panel separa selanjar berbanding panel selanjar.

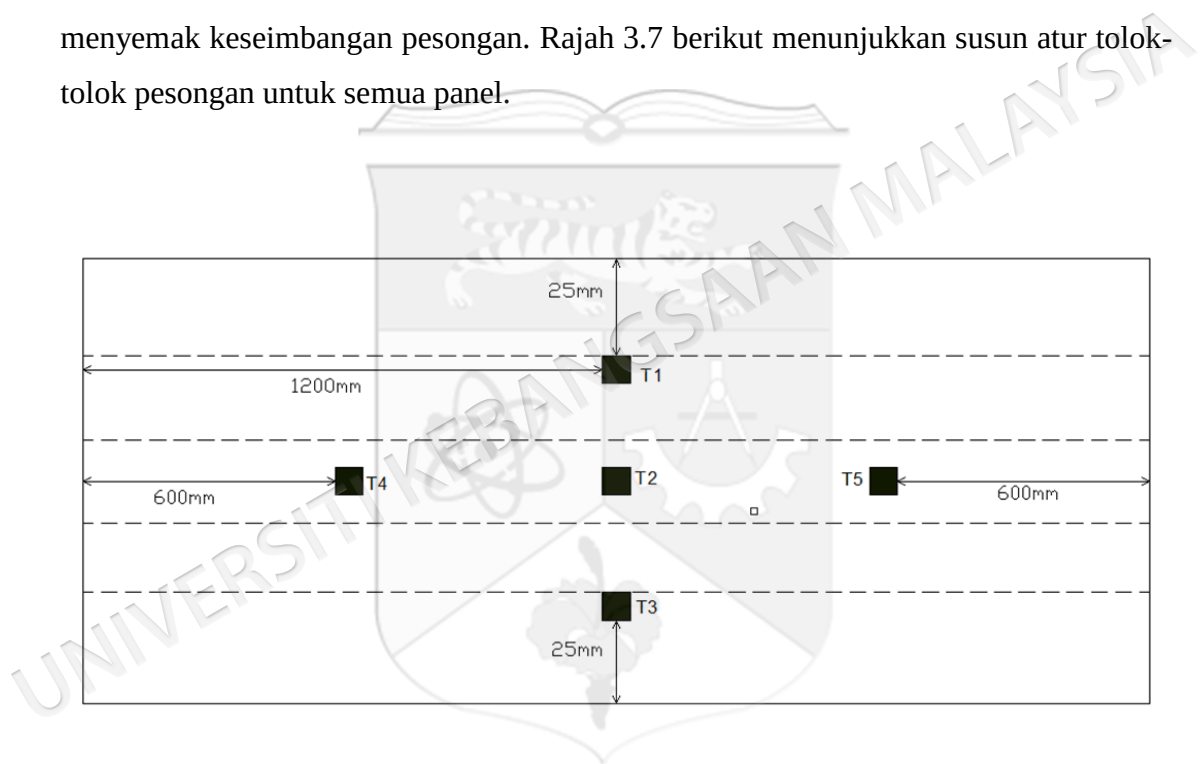
Kesemua ujikaji dan sampel yang terlibat ditunjukkan di dalam Jadual 3.1 di sebelah. Penamaan sampel adalah berpandukan awalan huruf dan nombor yang dihitamkan. Contohnya: panel yang terdiri daripada kepingan keluli berprofil **P**eva dan papan kering **C**emboard yang berukuran 1.0 m x **2.4** m dan **D**isokong **M**udah dinamakan sebagai **PC/2.4DM** manakala panel yang terdiri daripada kepingan keluli berprofil **P**eva dan papan kering **C**emboard yang berukuran 1.0 m x **3.0** m dan bersifat **S**epara **S**elanjar dinamakan sebagai **PC/3.0SSj**.

Jadual 3.1 Siri ujikaji lantai pasang siap PSSDB

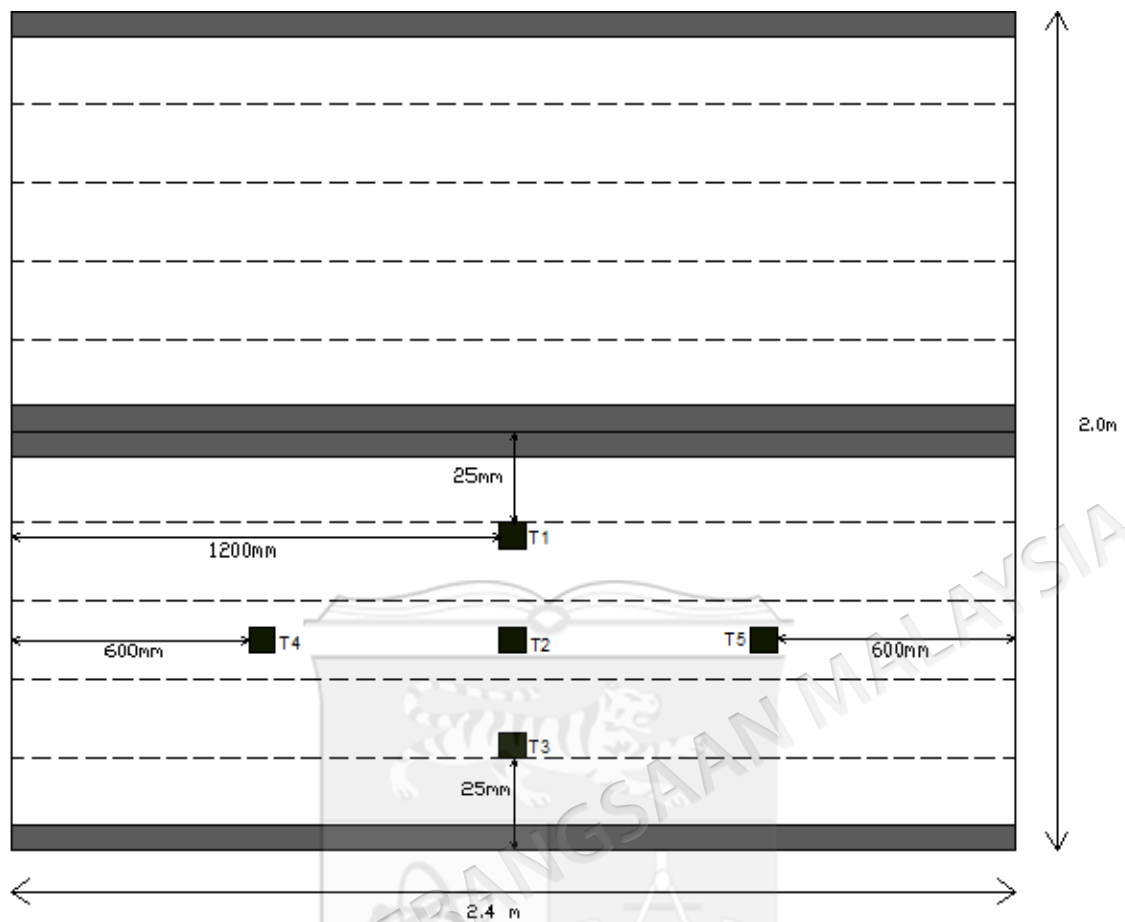
Siri Ujikaji		Lebar x Rentang Panel	Nama Sampel	Bilangan sampel
Siri Ujikaji 1 – Panel yang disokong mudah	Keping keluli berprofil Peva dan papan kering Cemboard	1.0 m x 2.4 m	PC/2.4DM	3
	Keping keluli berprofil Peva dan papan kering lapis	1.0 m x 2.4 m	PPI/2.4DM	3
Siri Ujikaji 2 – Panel disokong mudah yang diperkukuh	Kes A- Peva-Cemboard ditambah jalur kayu	1.0 m x 2.4 m	PCK/2.4DM	3
	Kes B – Peva-Cemboard di sambung tanggam antara dua panel	2 keping 1.0 m x 2.4 m	PCT/2.4DM	3
	Kes C – panel kepingan papan kering Cemboard berjalur kayu tanpa kepingan keluli berprofil	1.0 m x 2.4 m	CK/2.4DM	3
Siri Ujikaji 3 – Panel berciri selangar	Panel separa selangar Peva-Cemboard	1.0 m x 3.0 m	PC/3.0SSj	3
	Panel selangar Peva-Cemboard	1.0 m x 3.0 m	PC/3.0Sj	3

3.5 PERALATAN UJIKAJI

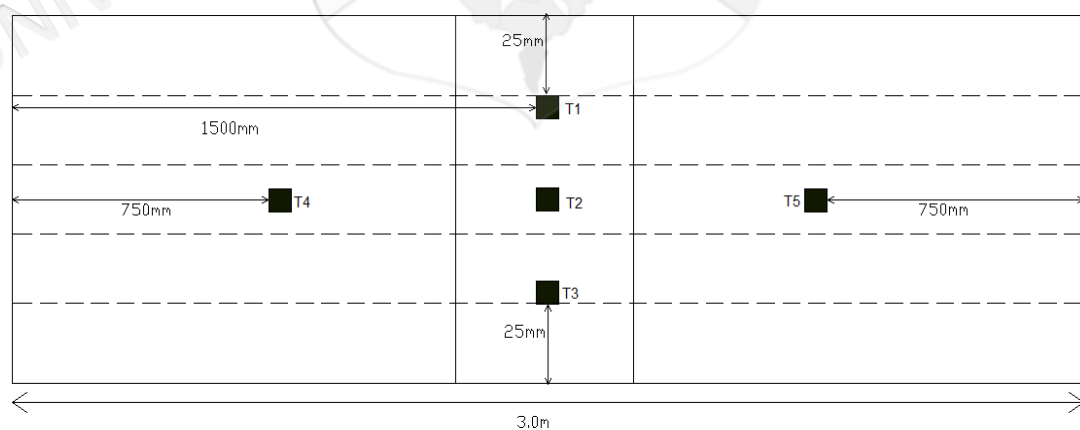
Peralatan yang telah digunakan dalam ujikaji lenturan ini terdiri dari rangka penguji, pam tangan hidrolik berjenama Enerpac berkapasiti 25 tan yang disambungkan kepada silinder penjana bebanan berjenama Power Team C10010C Model B yang berkapasiti 100 tan dan sel bebanan 50 tan berjenama ELE buatan United Kingdom. Pesongan diukur menggunakan lima tolok pesongan (*transducer*) jenis DT-100A Kyowa, yang dapat mengukur pesongan sehingga 100 mm. Tiga tolok diletakkan pada kedudukan tengah sampel di mana pesongan maksima dijangka berlaku dan dua lagi tolok di kedudukan satu suku panjang dari setiap hujung panel yang bertujuan untuk menyemak keseimbangan pesongan. Rajah 3.7 berikut menunjukkan susun atur tolok-tolok pesongan untuk semua panel.



a. PC/2.4DM, PPI/2.4DM, PCK/2.4DM, dan CK/2.4DM.



b. PCT/2.4DM.

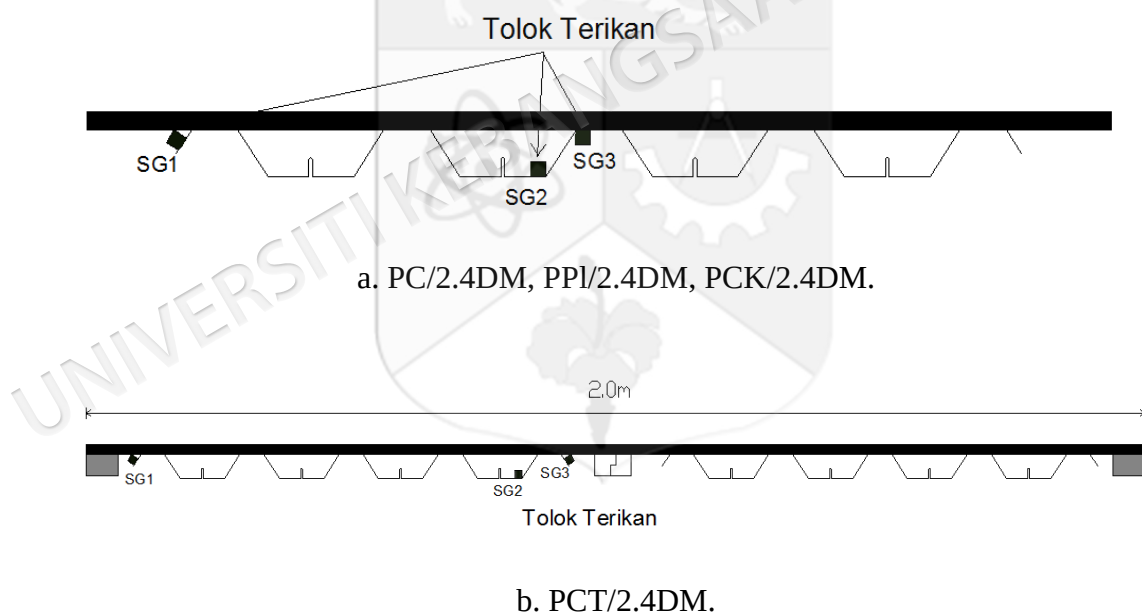


c. PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj.

Rajah 3.7 Kedudukan tolok-tolok pesongan pada pandangan pelan panel sampel.

Setelah kepingan keluli berprofil, papan kering dan kayu siap dipotong, tolok terikan dilekatkan pada kepingan keluli berprofil dengan perekat epoksi (*epoxy adhesive*) dan dibiarkan kering sekurang-kurangnya 24 jam sebelum dipaterikan dengan sambungan wayar. Setelah kering, sambungan wayar dan tolok terikan disemak kebolehan aliran elektriknya. Akhir sekali, kepingan keluli dan papan kering dikepit dengan pengapit terlebih dahulu sebelum diskru untuk mengelakkan kerengangan sambungan.

Tolok terikan pula adalah dari jenis PFL-30-11, panjang 30 mm dan berintangan $120 \pm 0.3 \Omega$ buatan Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., Jepun dan diletakkan di bahagian-bahagian strategik untuk mengesan terikan dan lengkukan seperti yang ditunjukkan di Rajah 3.8. Tolok di bahagian atas adalah untuk mengukur terikan mampatan manakala bahagian bawah untuk terikan tegangan.



Rajah 3.8

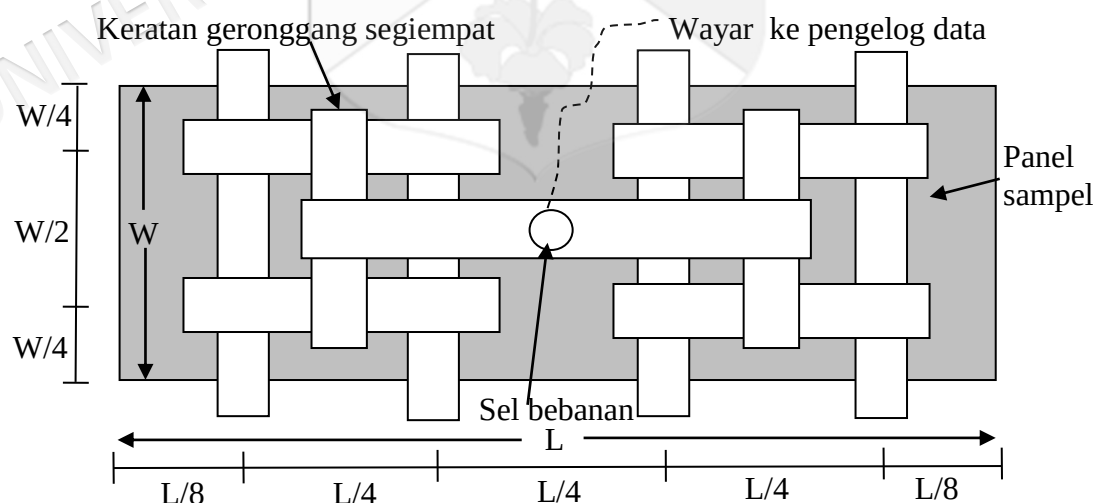
Rajah 3.8 Kedudukan tolok terikan pada keratan rentas bahagian tengah panel sampel.

Maklumat data dari tolok pesongan, tolok terikan dan sel bebanan disalurkan terus kepada pengellog data jenis mudah alih Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., model TDS 302 buatan Jepun.

Semua sampel yang disokong mudah diletakkan mendatar di atas dua penyokong (pin dan rola) di hujung panel dalam kerangka penguji. Manakala sampel selanjar dan separa selanjar pula disokong pada kedua-dua hujung dan tengah panel. Beban yang akan dikenakan adalah beban seragam dan ia disimulasikan menerusi empat garisan beban menumpu yang menyentuh sampel seperti yang dicadangkan dalam ujian papak komposit BS 5950-4:1994, bahagian 8. Garisan beban ini dihasilkan dari susunan 11 batang keratan geronggang segiempat (*rectangular hollow sections*) bersaiz 100 mm x 100 mm x 5 mm dengan panjang yang berbeza-beza. Susun atur keratan-keratan geronggang tersebut dipaparkan di dalam Gambar 3.1 dan Rajah 3.9.



Gambar 3.1 Panel diletakkan pada rangka penguji untuk pembebanan.



Rajah 3.9 Pandangan pelan keratan geronggang segiempat yang disusun di atas semua panel

Sedikit beban dikenakan menerusi pam tangan hidraulik supaya pelocok (*plunger*) silinder beban menyentuh sel beban dan seterusnya menekan keratan-keratan geronggang dan sampel. Setelah itu, sedikit bacaan beban, pesongan dan terikan yang telah mula tercatat pada pengellog data disetkan kembali menjadi kosong. Keadaan ini dianggap mewakili keadaan permulaan sampel yang belum dikenakan beban. Ujikaji dimulakan dengan penghasilan beban dari pam hidraulik tangan dan bacaan pesongan dari tolok pesongan dan terikan dari tolok terikan diambil pada setiap sela beban tertentu bergantung kepada jenis sampel. Beban yang dihasilkan adalah beban statik melalui kaedah pembebanan yang perlahan-lahan dan tidak secara mengejut sehingga sampel gagal seperti yang ditakrifkan di dalam BS 5950-4: 1994 bahagian 8.2.2.3.

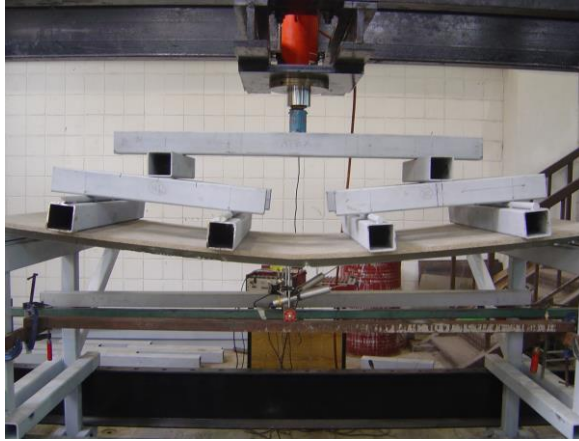
3.6 SIRI UJIKAJI 1 – PANEL DISOKONG MUDAH

Siri ujikaji ini melibatkan sampel PC/2.4DM – kepingan keluli berprofil Peva dan papan kering Cemboard dan PPI/2.4DM – kepingan keluli berprofil Peva dan papan kering lapis.

3.6.1 Ujikaji dan Pemerhatian

a. PC/2.4DM – Penggunaan Papan Kering Cemboard

Pembebanan yang dilakukan ke atas sampel PC/2.4DM adalah seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Pertambahan beban dilakukan secara perlahan dan berhati-hati dan bacaan data diambil pada setiap sela beban 1.0 kN. Setelah beban semakin bertambah, panel melengkung ke bawah sedikit demi sedikit dan pada beban sekitar 8.40 kN/m² iaitu berhampiran beban muktamad, mula terbit lengkokan tempatan pada bahagian bibir atas kepingan keluli berhampiran bahagian tengah.



Gambar 3.2 PC/2.4DM di bawah bebanan.

Ia tidak terbentuk di bahagian tengah panel sebagaimana yang dijangka kerana terhalang oleh skru yang mengikat kepingan keluli pada papan kering, lantas membataskan ruang untuk melengkok. Lengkukan tempatan ini bermula sebagai lengkukan kecil pada bahagian bibir atas, namun dengan pertambahan beban ia membesar menjadi lengkukan berbentuk seakan bunga yang turut meliputi bahagian web seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Bentuk ini yang sebenarnya adalah sempadan garis alah keluli sepertimana yang diselidiki oleh Hofmeyer (2000) dan Mahendran (1997a).



Gambar 3.3 Contoh lengkukan tempatan pada bibir atas yang dirakam dari bawah panel.

Setelah itu, muncul lebih banyak lagi “bunga” di dalam satu barisan yang merentangi kelebaran panel. Fenomena ini turut diiringi dengan bunyi kuat keriuhan kepingan besi melentur. Setelah itu, beban beransur-ansur berkurangan manakala

pesongan terus bertambah hingga mencecah 80 mm. Pada waktu yang sama, retakan pada papan kering Cemboard turut dikesan berlaku berhampiran rentang tengah panel, iaitu di atas kawasan berlakunya lengkokan tempatan kepingan keluli berprofil. Ujikaji diberhentikan apabila bebanan yang dikenakan, gagal menambah ukuran pesongan dan tolok-tolok pesongan juga telah mencapai had masing-masing.

b. PPI/2.4DM – Penggunaan Papan Kering Lapis

Pembebanan untuk PPI/2.4DM ini dilaksanakan seperti PC/2.4DM sebelum ini. Maklumat pesongan dan terikan diambil pada setiap sela beban 1.0 kN semasa peringkat awal lurus ujikaji dan dikurangkan pada setiap sela 0.5 kN apabila ujian memasuki fasa kritikal tak lurus. Gambar 3.4 (a) menunjukkan panel sedang melengkok semasa pembebanan dikenakan.



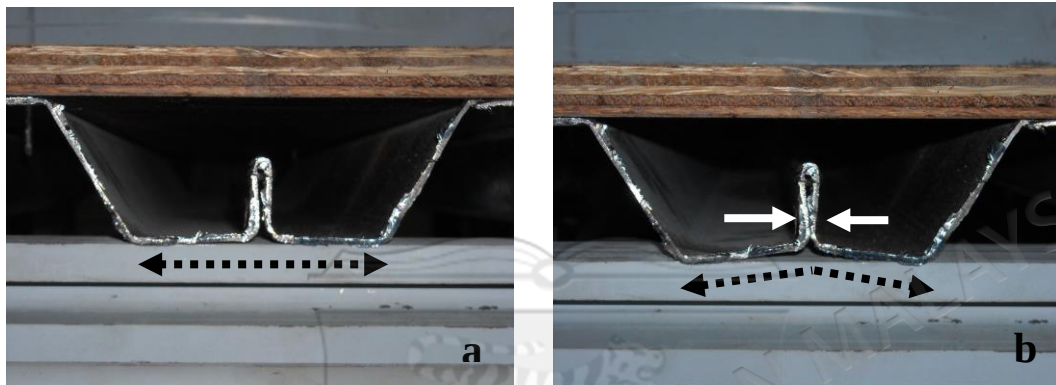
Gambar 3.4 Keadaan panel setelah (a) kegagalan dan (b) kelupasan papan lapis.

Pada beban 7.5 kN/m^2 , iaitu lebih rendah dari PC/2.4DM, PPI/2.4DM mula menunjukkan kelakuan tidak lurus di mana kadar penambahan beban berlaku secara lebih rendah berbanding pesongan. Lengkokan tempatan turut dirakam terjadi di sekitar beban ini namun beban masih lagi meningkat. Kelupasan mula kelihatan terbentuk pada permukaan papan lapis berhampiran kedudukan berlakunya lengkokan keluli seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4 (b).

Bacaan beban semakin menurun dari 7.75 kN/m^2 hingga ke 6.3 kN/m^2 semasa pesongan bertambah dari 40 mm ke 60 mm. Namun bacaan beban didapati meningkat

secara perlahan-lahan sejurus kemudian, hingga mencecah 7.3 kN/m^2 dan pesongan menjadi 96 mm. Ujikaji terpaksa dihentikan pada tahap ini apabila tolak pesongan yang berkapasiti pengukuran 100 mm telah mencapai had maksimumnya.

Pemerhatian terhadap kelakuan hujung bebibir bawah kepingan keluli turut dirakamkan di dalam Gambar 3.5 (a) dan (b) berikut.

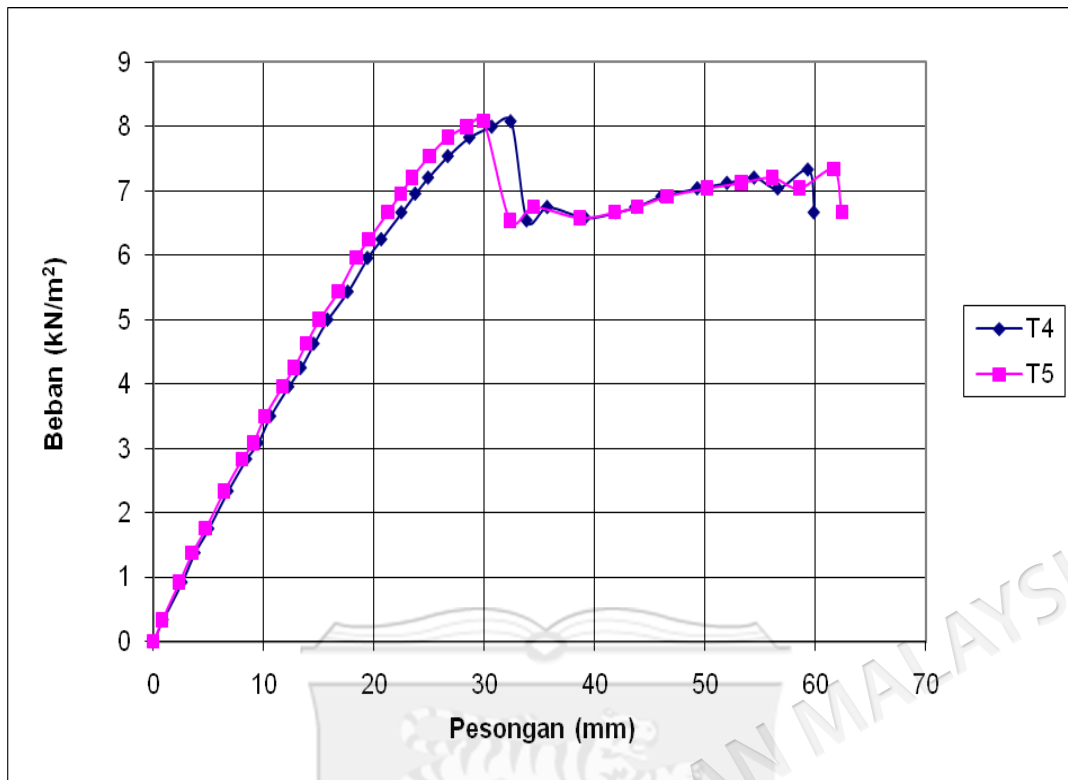


Gambar 3.5 Keadaan hujung panel (a) sebelum dibeban dan (b) selepas kegagalan.

Sebelum panel dikenakan beban, bebibir bawah kepingan keluli kelihatan rata namun setelah kegagalan berlaku, terdapat sedikit kesan lengkungan ke atas dan kaki rabung pengukuh menjadi semakin rapat.

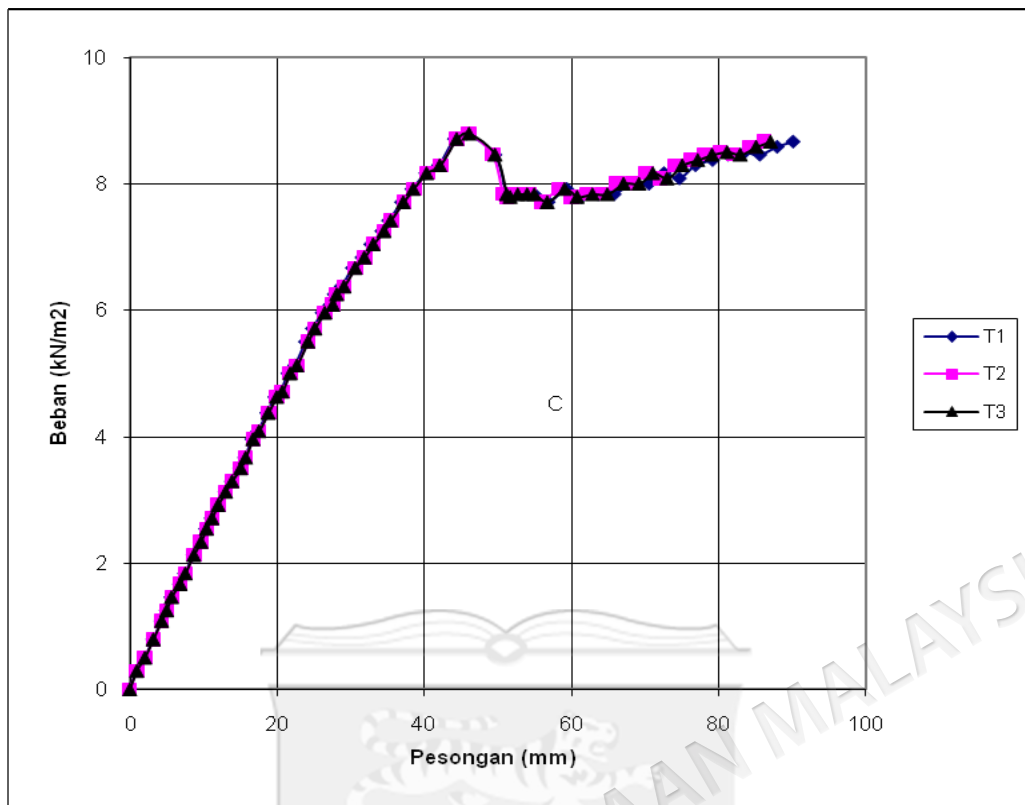
3.6.2 Keputusan, Analisa dan Perbincangan

Keputusan ujikaji yang didapati adalah berupa nilai pesongan dan terikan pada tahap beban tertentu. Beberapa graf beban melawan pesongan telah diplotkan untuk menilai tahap simetri pesongan panel. Ini bertujuan untuk mengesahkan sama ada bebanan adalah simetri dan nilai pesongan tengah adalah nilai pesongan maksima panel. Dari itu, nilai pesongan pada jarak satu perempat rentang (T4) dan tiga perempat rentang (T5) panel PPI/2.4DM diplotkan pada beban yang sama seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.10.

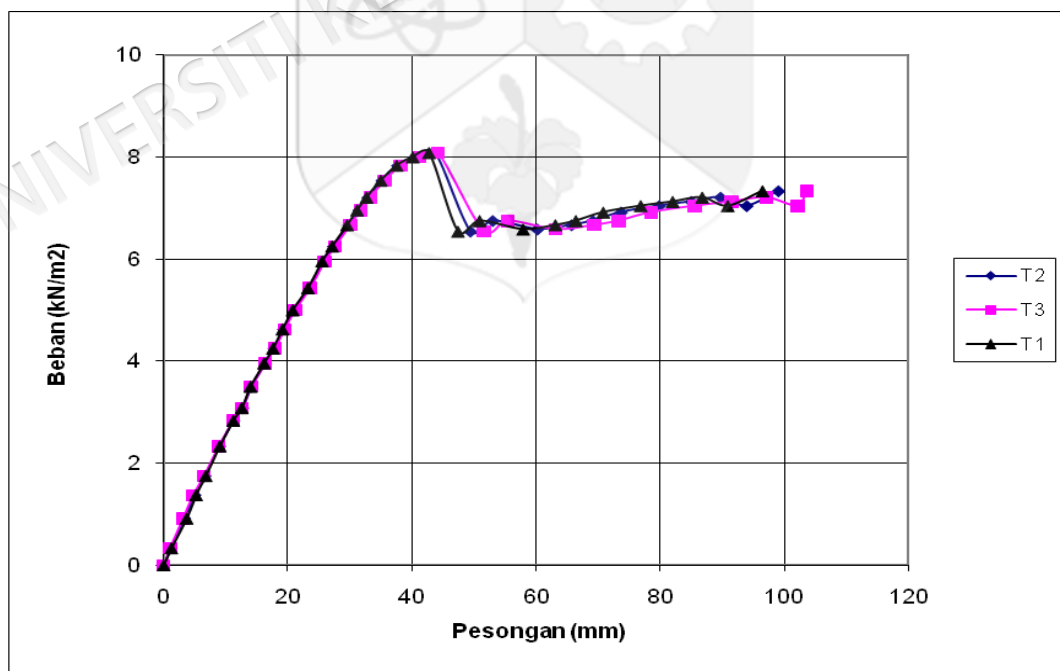


Rajah 3.10 Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat (T5) rentang PPI/2.4DM

Rajah 3.11 dan 3.12 pula menunjukkan perbandingan graf pesongan di tiga kedudukan tengah (T1, T2, T3) melintang panel tersebut untuk PC/2.4DM dan PPI/2.4DM. Graf-graf tersebut membuktikan bahawa nilai pesongan pada ketiga-tiga tempat adalah hampir sama. Ini berbeza keadaannya dengan bentuk lenturan kepingan keluli berprofil sahaja seperti yang dikaji oleh Wright et al. (1987) dan Wan Badaruzzaman et al. (1995). Mereka mendapati lenturan maksima panel keluli berprofil, adalah pada bahagian sisi tengahnya dan bukan pada bahagian tengah panel. Ini menunjukkan kehadiran papan kering yang diskru kepada kepingan keluli berprofil telah menghalang kejadian ini dari berlaku.



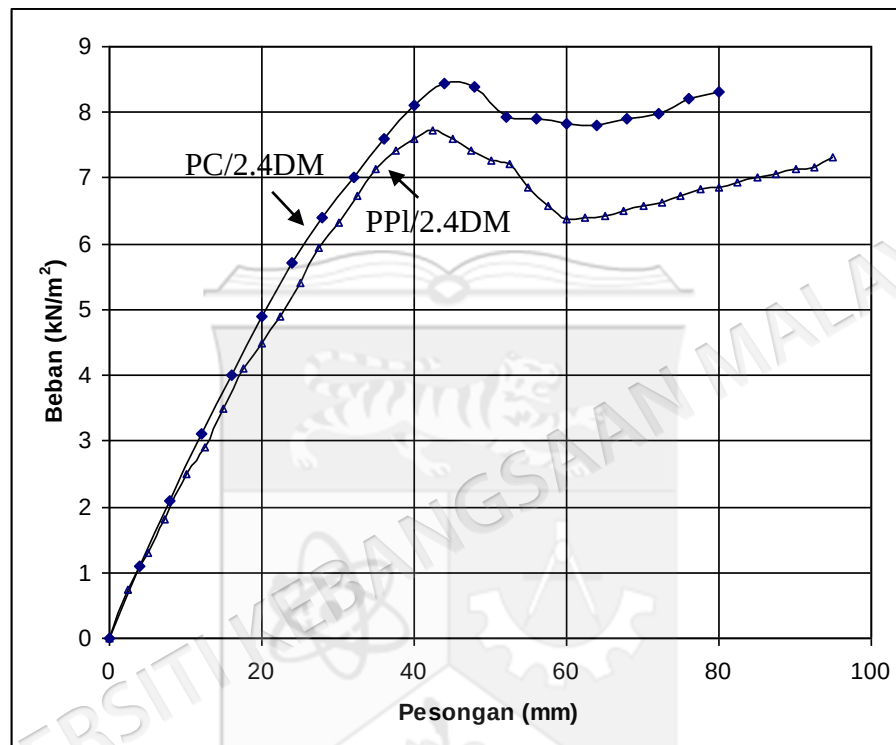
Rajah 3.11 Pesongan tengah PC/2.4DM pada tiga bahagian.



Rajah 3.12 Pesongan tengah PPI/2.4DM pada tiga bahagian.

a. Kesan Papan Kering Berbeza pada Panel PSSDB

Perbandingan dibuat terhadap dua sampel PSSDB yang sama dari segi saiz dan ketebalan kepingan keluli berprofil tetapi dengan papan kering yang berbeza. Kelakuan kedua-dua sampel ini ditunjukkan di dalam Rajah 3.13 di bawah. Data yang ditunjukkan adalah dari kiraan purata tiga sampel bagi setiap jenis kes.



Rajah 3.13 Perbandingan graf beban melawan pesongan purata sampel PC/2.4DM dan PPI/2.4DM

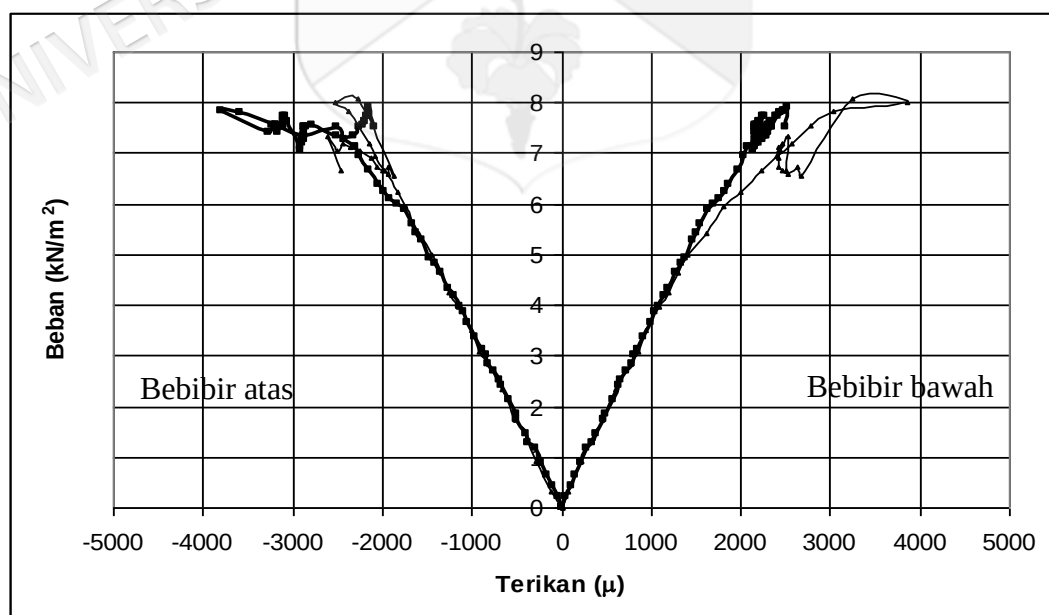
Kekukuhan panel masing-masing telah didapati berdasarkan kecerunan awal graf di dalam kawasan lurus dan nilai yang didapati adalah seperti di dalam Jadual 3.2 berikut:

Jadual 3.2 Perbandingan kekukuhan purata di antara PC/2.4DM dan PPI/2.4DM

Sampel	Kekukuhan (kNm^2/m)	Beban Maksima (kN/m^2)
PC/2.4DM	108.22	8.43
PPI/2.4DM	100.92	7.73

PC/2.4DM memperlihatkan nilai purata kekukuhan dan beban maksima yang mengatasi sampel PPI/2.4DM, iaitu sebanyak 7.2% dan 9.1%, masing-masing. Bentuk graf adalah hampir sama, namun PPI/2.4DM mempunyai nilai beban yang lebih rendah dalam fasa tak lurus. Memandangkan kedua-dua sampel menggunakan kepingan keluli berprofil yang serupa, maka huraian kepada kelakuan ini akan tertumpu kepada sifat dua papan kering berbeza yang digunakan. Walau bagaimanapun, perbandingan dari segi sifat dua jenis papan kering ini akan dikupas di dalam Bab IV (Bahagian 4.7.2), ujian tolak keluar skru penyambung, di mana kesannya adalah lebih ketara.

Keputusan kekukuhan yang didapati adalah berbeza dari keputusan penyelidikan yang terdahulu (Ahmed 1996) di mana panel PSSDB yang menggunakan papan lapis mempunyai kekukuhan yang lebih tinggi berbanding Cemboard. Namun begitu, penyelidikan beliau tidak menggunakan ketebalan papan kering yang sama. Ketebalan papan papan lapis yang digunakan adalah 18 mm, manakala papan Cemboard pula adalah 16 mm. Penggunaan papan lapis yang lebih tebal bermakna nilai momen inersianya (I) telah bertambah dan menyebabkan nilai kekukuhan (EI) turut meningkat. Pemerhatian lanjut akan kelakuan ini boleh didapati dari maklumat terikan panel seperti di dalam Rajah 3.14 di bawah.

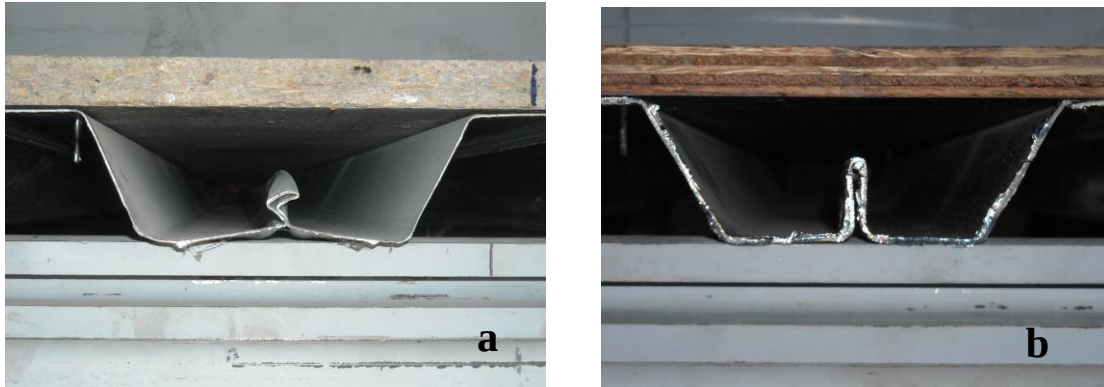


Rajah 3.14 Graf beban melawan terikan PC/2.4DM (garis tebal) dan PPI/2.4DM (garis nipis)

Pada peringkat fasa lurus, graf terikan kedua-dua sampel adalah setara, di mana nilai terikan bibir atas dan bawah adalah hampir sama tetapi mempunyai tanda yang bertentangan. Ini selaras dengan keadaan di mana di bawah bebanan lenturan, bibir atas mengalami mampatan manakala bibir bawah mengalami tegangan. Perbezaan bermula pada fasa tak lurus pada bibir atas, di mana PC/2.4DM mencatatkan terikan yang lebih tinggi berbanding PPI/2.4DM. Tolok terikan yang diletakkan pada kepingan keluli sampel PC/2.4DM menunjukkan nilai terikan maksima menghampiri 4000 μ sebelum ia berkurangan kepada 2000 μ setelah bebannya mencecah beban muktamad.

Manakala, PPI/2.4DM pula menunjukkan pengurangan dan kemudian penambahan semula nilai terikan dan ini boleh dikaitkan dengan perubahan keratan rentas iaitu gelombang lengkukan tempatan yang telah mengubah keadaan mampatan ke tegangan. Fenomena ini tidak mudah dikesan kerana tempat berlakunya lengkukan tempatan tidak dapat dipastikan kerana ia bergantung kepada kedudukan berlakunya ketidaksempurnaan pembuatan kepingan keluli berprofil.

Walau bagaimanapun, pada bahagian bibir bawah pula, terikan pada PPI/2.4DM memberikan nilai yang lebih tinggi berbanding PC/2.4DM. Ini boleh dijelaskan dengan membuat perbandingan keadaan hujung PC/2.4DM (Gambar 3.6(a)) dan PPI/2.4DM (Gambar 3.6(b)) ketika panel diletakkan di atas sokongan mudah sebelum pembebanan dibuat. Bahagian bibir bawah PPI/2.4DM kelihatan mendatar manakala bibir bawah PC/2.4DM kelihatan sudah melengkung sedikit ke atas dan hujung rabungnya juga terpenyek akibat kesan keratan pengilang yang kurang kemas. Kepingan keluli berprofilnya telah mengalami sedikit pra-tegangan dan terikan telahpun berlaku sebelum pembebanan bermula. Apabila pembebanan ujikaji berlangsung, terikan akan hanya bertambah pada sekian tahap sahaja. Berbeza dengan PPI/2.4DM di mana tidak terdapat pra tegangan, tolok terikan dapat mencatat perubahan nilai yang lebih tinggi di akhir pembebanan.



Gambar 3.6 Keadaan bibir bawah kepingan keluli berprofil (a) PC/2.4D dan (b) PPI/2.4DM sebelum pembebanan dibuat

Keputusan ini juga dibandingkan dengan kiraan kekukuhan secara teori struktur komposit. Terdapat tiga jenis interaksi yang boleh dianggap berlaku di antara komponen-komponen apabila panel dikenakan beban iaitu interaksi penuh, interaksi separa dan tiada interaksi. Untuk interaksi penuh, kepingan keluli berprofil dan papan kering dianggap bertindak sebagai satu entiti bersepadu. Memandangkan bahan panel komposit ini tidak seragam, maka formula lenturan tidak dapat digunakan secara terus. Sebaliknya keratan rentas panel perlu ditukar kepada sejenis bahan sahaja melalui kaedah Keratan Terjelma (*transformed section*) untuk mendapatkan nilai kekukuhan. Interaksi separa pula menganggap terdapat kegelinciran di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering. Tiada interaksi pula beranggapan kepingan keluli berprofil dan papan kering melentur secara berasingan. Berikut adalah pengiraan nilai kekukuhan panel yang merupakan nilai modulus Young didarab momen inersia (EI) untuk andaian tiada interaksi dan interaksi penuh panel PC/2.4DM dan PPI/2.4DM.

PC/2.4DM

a. Tiada Interaksi

$$I_{peva} = 298\,000 \text{ mm}^4 \text{ (Harsoyo 2004)}$$

$$I_{cemboard} = 1/12 bh^3 = 1/12 \times 1000 \text{ mm} \times 18^3 \text{ mm} = 486\,000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{panel} = EI_{peva} + EI_{cemboard}$$

$$= (210\,000 \text{ MPa} \times 298\,000 \text{ mm}^4) + (4500 \text{ MPa} \times 486\,000 \text{ mm}^4)$$

$$= 64.8 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

b. Interaksi Penuh

Setarakan cemboard kepada keluli peva.

Faktor terjelma, $n = E_{\text{cemboard}} / E_{\text{peva}} = 4500 \text{ MPa} / 210\,000 \text{ MPa} = 0.0214$

Nilai kelebaran Cemboard, $b_c = 1000 \text{ mm} \times 0.0214 = 21.4 \text{ mm}$

Nilai keluasan keratan rentas Peva = 1037.2 mm^2 (Harsoyo 2004)

Nilai centroid keratan terjelma,

$$y = \frac{\sum yA}{\sum A}$$

$$y = \frac{(18 + 28)(1037.2) + 9(21.4)18}{1037.2 + 21.4(18)}$$

$$= 35.98 \text{ mm}$$

Nilai momen inertia keratan terjelma $I = I_{\text{cemboard terjelma}} + I_{\text{peva}}$

$$I = (1/12 b_c h^3 + A d^2) + 298\,000 \text{ mm}^4$$

$$= (1/12 \times 21.4 \times 18^3) + (21.4 \times 18) \times 26.98^2 + 298\,000$$

$$= 588\,796 \text{ mm}^4$$

$$EI = 210\,000 \text{ MPa} \times 588\,796 \text{ mm}^4$$

$$= 123.65 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

PPI/2.4DM

a. Tiada Interaksi

$$I_{\text{peva}} = 298\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{PLapis}} = 1/12 b h^3 = 1/12 \times 1000 \text{ mm} \times 18^3 \text{ mm} = 486\,000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{panel}} = EI_{\text{peva}} + EI_{\text{PLapis}}$$

$$= (210\,000 \text{ MPa} \times 298\,000 \text{ mm}^4) + (7000 \text{ MPa} \times 486\,000 \text{ mm}^4)$$

$$= 65.98 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

b. Interaksi Penuh

Setarakan papan lapis kepada keluli peva.

Faktor terjelma, $n = E_{\text{PLapis}} / E_{\text{peva}} = 7000 \text{ MPa} / 210\,000 \text{ MPa} = 0.033$

Nilai kelebaran Papan Lapis, $b_p = 1000 \text{ mm} \times 0.033 = 33 \text{ mm}$

Nilai centroid keratan terjelma,

$$y = \frac{\sum yA}{\sum A}$$

$$y = \frac{(18 + 28)(1037.2) + 9(33)18}{1037.2 + 33(18)}$$

$$= 32.52 \text{ mm}$$

Nilai momen inertia keratan terjelma $I = I_{\text{PLapis terjelma}} + I_{\text{peva}}$

$$I = (1/12 b_p h^3 + A d_p^2) + 298\,000 \text{ mm}^2$$

$$= (1/12 \times 33 \times 18^3) + (33 \times 18) \times 23.53^2 + 298\,000$$

$$= 642\,912.6 \text{ mm}^4$$

$$EI = 210\,000 \text{ MPa} \times 642\,912.6 \text{ mm}^4$$

$$= 135.0 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

Keputusan pengiraan ini diberikan di dalam Jadual 3.3 di bawah.

Jadual 3.3 Perbandingan nilai kekukuhan ramalan dan ujikaji

Panel	Nilai kekukuhan tiada interaksi (kNm ² /m)	Nilai kekukuhan ujikaji (kNm ² /m)	Nilai kekukuhan interaksi penuh (kNm ² /m)
PC/2.4DM	64.8	108.22	123.65
PPI/2.4DM	65.98	100.92	135.0

Keputusan ini menunjukkan nilai EI yang didapati daripada ujikaji berada di antara nilai andaian tiada interaksi dan interaksi penuh sebagaimana yang dijangkakan.

3.7 SIRI UJIKAJI 2 – PANEL DISOKONG MUDAH YANG DIPERKUKUH

Siri ujikaji ini melibatkan sampel PCK/2.4DM – Peva Cemboard yang diperkukuh dengan jalur kayu di kedua belah sisinya, PCT/2.4DM – Peva Cemboard yang disambung secara bertanggam dengan panel bersebelahan dan CK/2.4DM – papan kering Cemboard yang diperkukuh dengan jalur kayu tanpa kehadiran kepingan keluli berprofil.

3.7.1 Ujikaji dan Pemerhatian

a. PCK/2.4DM – Diperkukuh dengan jalur kayu

Pembebanan pada PCK/2.4DM ini adalah serupa seperti PC/2.4DM dan PPI/2.4DM sebelum ini. Gambar 3.7 (a) menunjukkan panel sedang melengkok semasa pembebanan dikenakan. Pada beban 9.5 kN/m^2 , panel mula menunjukkan kelakuan tak lurus di mana kadar penambahan beban berlaku secara lebih sedikit berbanding pesongan. Lengkokan tempatan pada bebibir atas kepingan keluli turut dirakamkan terjadi di sekitar beban ini namun beban masih terus bertambah dan kayu masih terus melentur dengan baik. Kegagalan dikesan berlaku apabila kayu patah secara tiba-tiba di sekitar beban purata 11.1 kN/m^2 dan ujian telah dihentikan. Ia turut menyebabkan papan kering Cemboard retak pada kedudukan berhampiran terjadinya lengkokan tempatan itu. Gambar 3.7 (b) menunjukkan keadaan panel setelah kegagalan berlaku.



Gambar 3.7 (a) Pandangan sisi panel dan (b) keadaan kayu dan kepingan keluli ketika kegagalan (pandangan dari bawah).

b. PCT/2.4DM - Sambungan tanggam antara dua panel bersebelahan

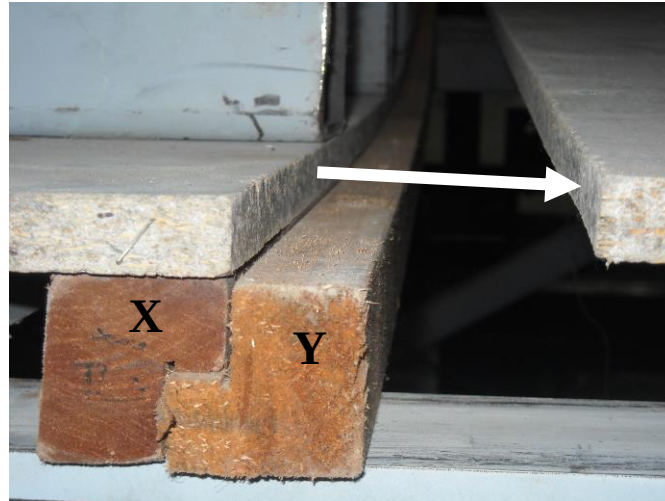
Di dalam ujikaji ini, dua panel diletakkan bersebelahan dan beban seragam dikenakan pada satu panel sahaja seperti yang dirakamkan oleh Gambar 3.8 untuk melihat kelakuan tanggam apabila dikenakan beban.



Gambar 3.8 Susun atur sampel dan pembebanan.

Pembebanan yang sama dijalankan terhadap panel-panel terdahulu dan tindakbalasnya dianggar menyamai tindakbalas PCK/2.4DM. Secara umumnya kegagalan pertama berlaku adalah apabila kayu tanggam Y (Gambar 3.9) terlepas dari ikatan skru yang mengikatnya pada kepingan kayu kering. Ini sememangnya dijangka kerana kayu tanggam X yang melentur di bawah bebanan akan menekan kayu tanggam Y hingga ia (Y) terlerai dari kepingan kayu kering Cemboard di atasnya yang tidak dikenakan sebarang beban. Kejadian ini berlaku pada tahap 44% dari beban muktamad.

Seterusnya beban semakin bertambah dengan pesongan dalam hubungan yang agak lurus. Pada beban muktamad iaitu sekitar 14.1 kN/m^2 , lengkokan mula dikesan berlaku dan beban mula menurun sehingga jalur kayu yang tidak bertanggam patah dan ujikaji diberhentikan.



Gambar 3.9 Kayu tanggam masih bertaut dan melengkong bersama.

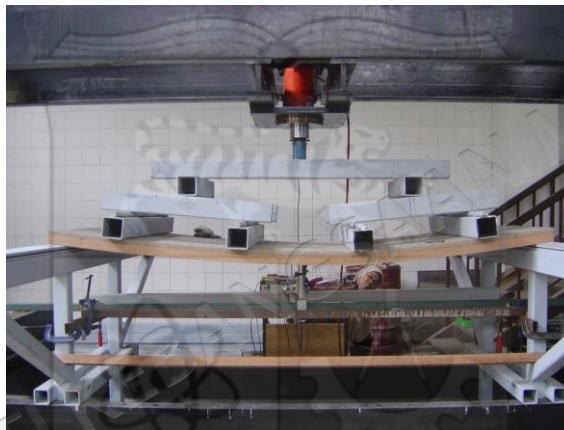
Gambar 3.10 pula menunjukkan kedudukan berlakunya lengkokan tempatan yang diambil dari bahagian bawah panel. Lengkokan itu berada di dalam satu garisan yang merintangi panel yang mana di hujungnya adalah tempat kayu tidak bertanggam telah patah. Tempat lengkokan terjadi adalah tempat di mana tegasan adalah pada tahap tertinggi dan ini menjelaskan kenapa kayu telah patah pada kawasan ini.



Rajah 3.10 Lengkokan tempatan berlaku dalam satu garisan melintang di mana hujungnya adalah tempat jalur kayu patah

c. CK/2.4DM – Panel diperkukuh jalur kayu tanpa keluli berprofil

CK/2.4DM ini terdiri daripada PCK/2.4DM namun tanpa kepingan keluli berprofil. Pembebanan (Gambar 3.11) dilakukan secara perlahan-lahan dan didapati panel lebih cepat melentur pada beban yang rendah dibandingkan dengan sampel yang mempunyai kepingan keluli berprofil (PCK/2.4DM). Apabila beban semakin bertambah, satu langkah berjaga-jaga telah diambil dengan menempatkan cabang (*fork*) trak angkat susun (*forklift truck*) di bawah panel untuk menampung panel yang bakal patah dan menghalangnya dari menghempap tolok pesongan.



Gambar 3.11 Keadaan CK/2.4DM pada beban maksima.

Kegagalan berlaku secara mendadak pada bebanan 3.46 kN/m^2 apabila kayu patah hampir serentak dengan papan kering Cemboard dan jatuh terhempas di atas cabang trak angkat susun. Jalur kayu gagal secara mericih dalam arah mengufuk dan papan kering Cemboard juga retak seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.12 (a) dan (b). Kegagalan berlaku berhampiran dengan garisan tengah di bawah keratan geronggang segiempat.



Gambar 3.12 Keadaan panel semasa (a) kegagalan dan (b) keretakan pada papan kering Cemboard

Kegelinciran juga turut dikesan di hujung panel di antara papan kering Cemboard dan kayu. Ini dapat dilihat menerusi Gambar 3.13 di bawah.

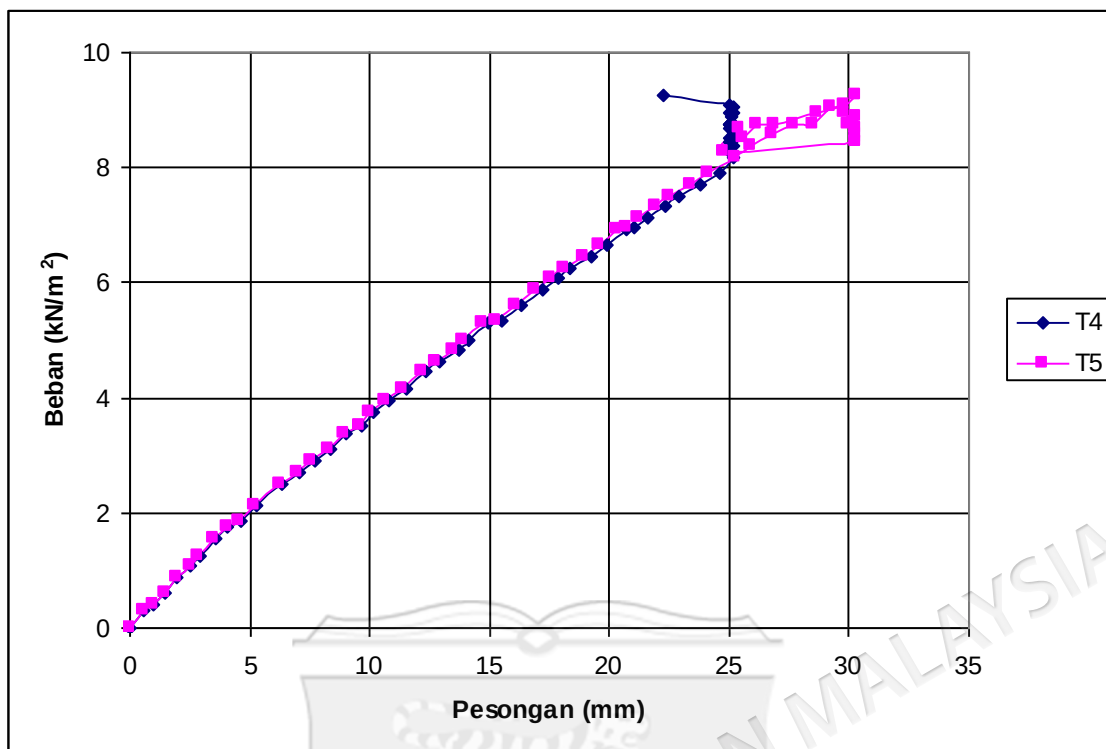


Gambar 3.13 Kegelinciran pada CK/2.4DM.

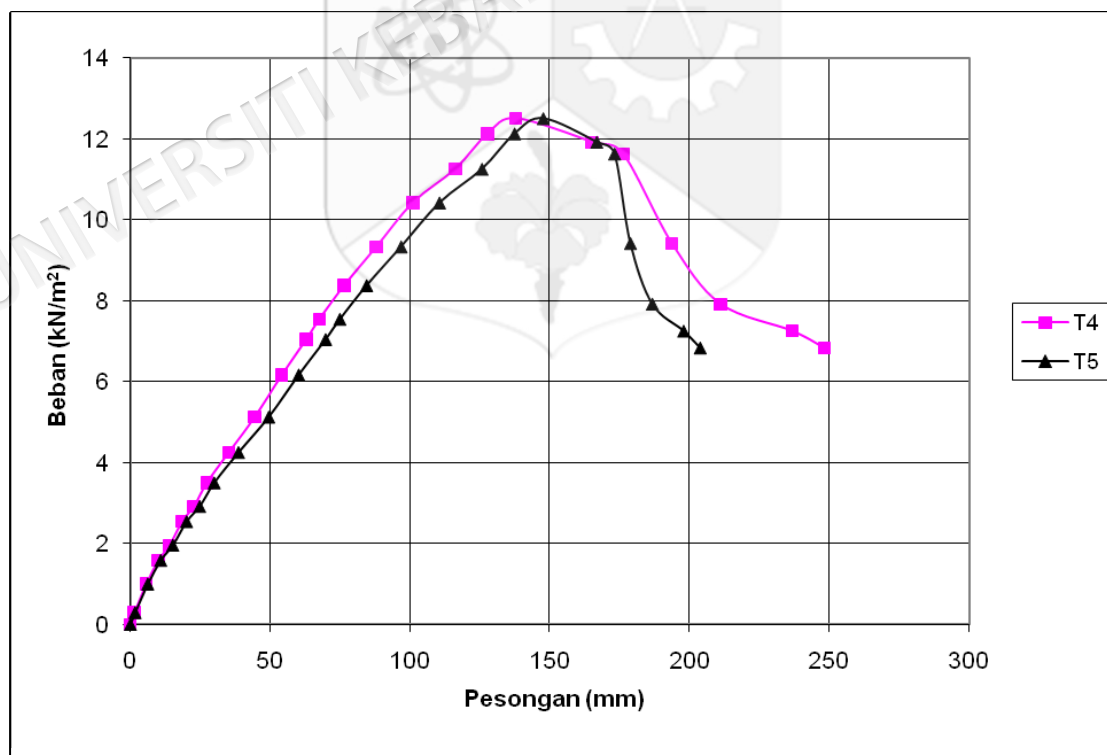
Kegagalan secara rapuh ini telah sememangnya telah diduga kerana ketiadaan kepingan keluli yang boleh memungkinkan berlakunya kelakuan yang lebih mulur.

3.7.2 Keputusan, Analisa dan Perbincangan

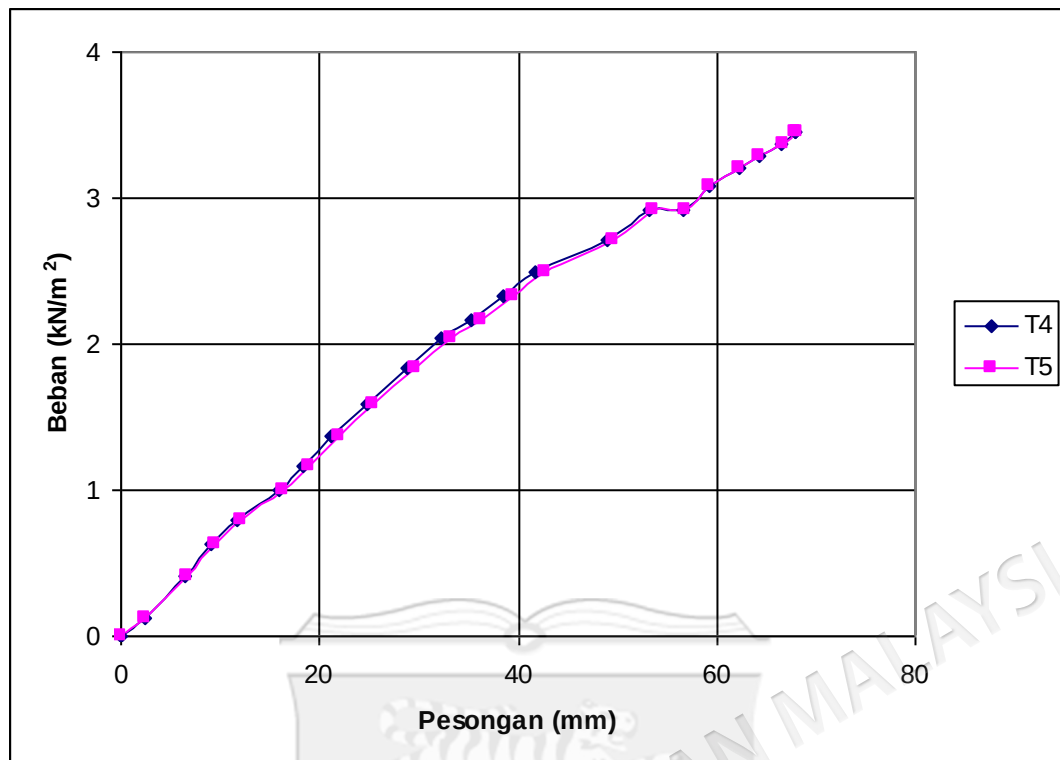
Beberapa graf beban melawan pesongan telah diplotkan untuk menilai tahap simetri pesongan panel. Ini bertujuan untuk mengesahkan sama ada bebanan adalah simetri dan nilai pesongan tengah adalah nilai pesongan maksima panel. Dari itu, nilai pesongan pada jarak satu perempat rentang (T4) dan tiga perempat rentang (T5) (Rajah 3.7) diplotkan pada beban yang sama untuk sampel PCK/2.4DM, PCT/2.4DM dan CK/2.4DM seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3.15, 3.16 dan 3.17.



Rajah 3.15 Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat rentang (T5) PCK/2.4DM.



Rajah 3.16 Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat rentang (T5) PCT/2.4DM.



Rajah 3.17 Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat rentang (T5) CK/2.4DM.

Graf-graf tersebut membuktikan bahawa nilai pesongan dua tempat yang sama jaraknya dari tengah rentang adalah hampir sama dan boleh dianggap bukti bahawa bebanan yang dikenakan adalah simetri dan nilai pesongan tengah boleh dianggap sebagai nilai pesongan maksima panel.

Seterusnya, nilai pesongan tengah atau maksima ini digunakan untuk melakar graf beban melawan pesongan dan mendapatkan nilai kekukuhan (EI). Jadual 3.4 menunjukkan nilai kekukuhan sampel-sampel yang didapati. Huraian tentang maklumat ini akan diberikan di dalam perbincangan kes A, B dan C.

Jadual 3.4 Perbandingan kelakuan panel

Sampel	Kekukuhan (kNm^2/m)	Beban Maksima (kN/m^2)
PCK/2.4DM	117.72	11.1
PCT/2.4DM	192.24	18.1
CK/2.4DM	19.22	3.46

Sampel panel PCK/2.4DM turut dikira kekukuhanannya melalui andaian tiada interaksi dan interaksi penuh seperti di bawah ini.

PCK/2.4DM

a. Tiada Interaksi

$$I_{\text{peva}} = 298\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{cemboard}} = 1/12 bh^3 = 1/12 \times 1000 \text{ mm} \times 18^3 \text{ mm} = 486\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{kayu}} = 1/12 bh^3 = 1/12 \times 60 \text{ mm} \times 40^3 \text{ mm} \times 2 = 640\,000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{panel}} = EI_{\text{peva}} + EI_{\text{cemboard}} + EI_{\text{kayu}}$$

$$= (210\,000 \text{ MPa} \times 298\,000 \text{ mm}^4) + (4500 \text{ MPa} \times 486\,000 \text{ mm}^4) + (12\,700 \text{ MPa} \times 640\,000 \text{ mm}^4)$$

$$= 72.9 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

b. Interaksi Penuh

Setarakan cemboard dan jalur kayu kepada keluli peva.

$$\text{Faktor terjelma, } n_c = E_{\text{cemboard}} / E_{\text{peva}} = 4500 \text{ MPa} / 210\,000 \text{ MPa} = 0.0214$$

$$\text{Faktor terjelma, } n_k = E_{\text{kayu}} / E_{\text{peva}} = 12\,700 \text{ MPa} / 210\,000 \text{ MPa} = 0.0605$$

$$\text{Nilai kelebaran Cemboard, } b_c = 1000 \text{ mm} \times 0.0214 = 21.4 \text{ mm}$$

$$\text{Nilai kelebaran kayu, } b_k = 60 \text{ mm} \times 0.0605 = 3.63 \text{ mm}$$

Nilai centroid keratan terjelma,

$$y = \frac{\sum yA}{\sum A}$$

$$y = \frac{(18 + 28)(1037.2) + 9(21.4)18 + 2(20 + 18)(40 \times 3.63)}{1037.2 + 21.4(18) + 2(40 \times 3.63)}$$

$$= 36.32 \text{ mm}$$

Nilai momen inertia keratan terjelma $I = I_{\text{cemboard terjelma}} + I_{\text{peva}} + I_{\text{kayu terjelma}}$

$$I = (1/12 b_c h^3 + A d_c^2) + 298\,000 \text{ mm}^2 + (1/12 b_k h^3 + A d_k^2)$$

$$= (1/12 \times 21.4 \times 18^3) + (21.4 \times 18) \times 27.32^2 + 298\,000 + (1/12 \times 3.63 \times 40^3) + (3.63 \times 40) \times 1.68^2 \text{ mm}^4$$

$$= 615\,676.7 \text{ mm}^4$$

$$EI = 210\,000 \text{ MPa} \times 615\,676.7 \text{ mm}^4$$

$$= 129.1 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

Keputusan pengiraan ini diberikan di dalam Jadual 3.5 di bawah.

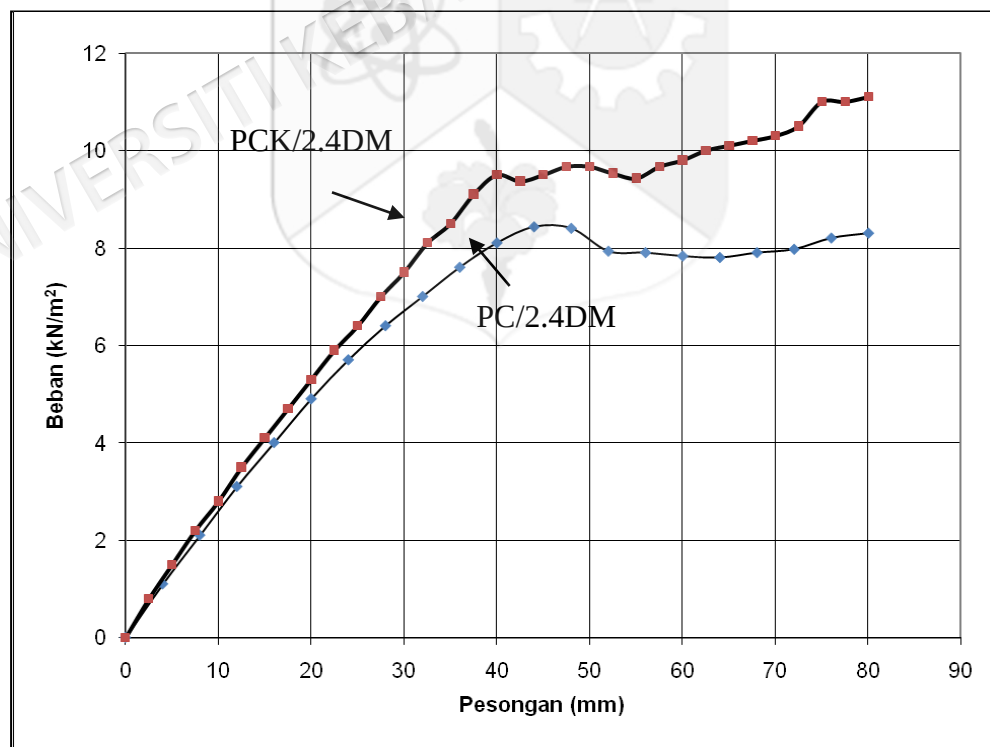
Jadual 3.5 Perbandingan nilai kekukuhan ramalan dan ujikaji

Nilai kekukuhan tiada interaksi	Nilai kekukuhan ujikaji	Nilai kekukuhan interaksi penuh
72.9 kNm ² /m	117.72 kNm ² /m	129.1 kNm ² /m

Keputusan ini menunjukkan nilai EI yang didapati daripada ujikaji berada di antara nilai andaian tiada interaksi dan interaksi penuh sebagaimana yang dijangkakan.

a. Kes A - Kesan kehadiran jalur kayu pada kekukuhan panel lantai PSSDB

Rajah 3.18 memperlihatkan graf beban melawan pesongan untuk purata tiga sampel bagi setiap PC/2.4DM dan PCK/2.4DM.



Rajah 3.18 Graf kelakuan purata tiga sampel PC/2.4DM berbanding PCK/2.4DM.

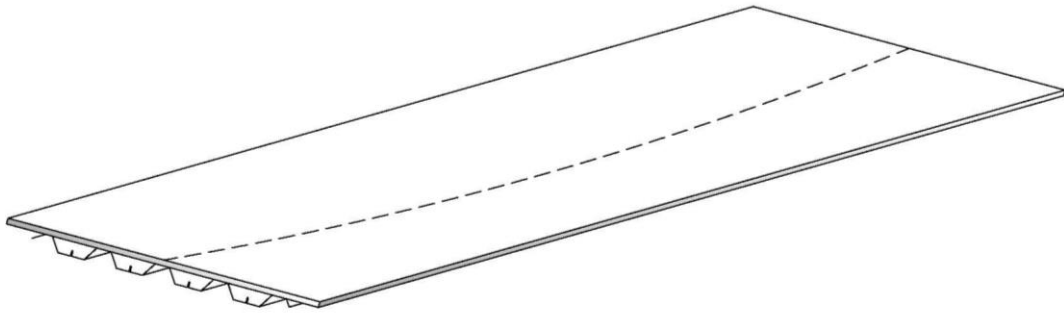
Graf menunjukkan perhubungan yang lurus dan anjal pada peringkat awal ujikaji. Namun PCK/2.4DM mempamerkan kecerunan yang lebih besar berbanding sampel PC/2.4DM. Ini lebih jelas terbukti menerusi nilai kekukuhan yang didapati dari kecerunan awal ini dan ditunjukkan oleh Jadual 3.6.

Jadual 3.6 Perbandingan nilai kekukuhan PC/2.4DM dan PCK/2.4DM

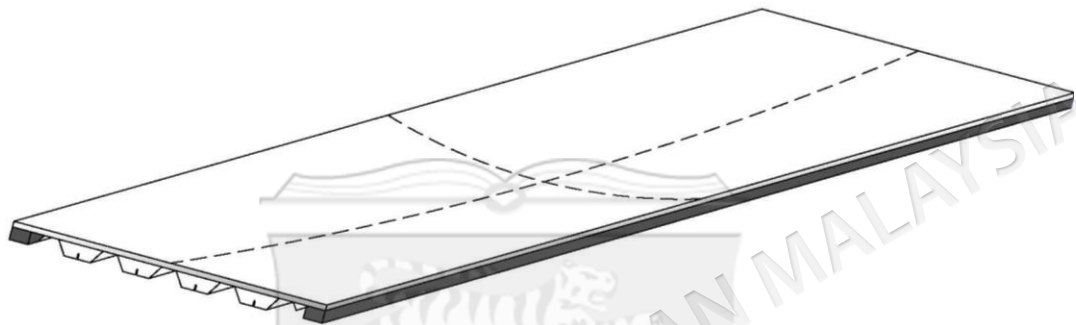
Sampel	Kekukuhan (kNm ² /m)	Beban Maksima (kN/m ²)
PC/2.4DM	108.22	8.43
PCK/2.4DM	117.72	11.1

Penambahan jalur kayu telah menyebabkan kenaikan nilai kekukuhan sebanyak 8.8% dan beban muktamad pula sebanyak 31.7%. Ia juga telah memperbaiki kelakuan panel dalam julat tidak lurus. Kehadiran jalur kayu telah menambah keupayaan panel untuk menanggung beban, walaupun setelah terbentuknya lengkungan tempatan pada keluli berprofil. Dari itu, beban maksima panel yang berkayu terjadi ketika pesongan maksima, sejurus sebelum kayu merekah dan bukannya ketika sebelum terjadinya lengkungan tempatan seperti kes panel tanpa kayu.

Kehadiran jalur kayu juga boleh dilihat sebagai mengubah panel dari ciri papak rentang sehala ke papak rentang dua hala. Tanpa jalur kayu, beban diagihkan dan ditanggung oleh penyokong di kedua-dua sisi pendek panel sahaja. Panel melengkung di dalam arah yang ditunjukkan oleh Rajah 3.19. Apabila jalur diletakkan di sisi merentang, beban kini turut ditanggung oleh kedua-dua jalur dan berkemungkinan berlaku kelengkungan dalam dua arah berserenjang seperti di dalam Rajah 3.20.

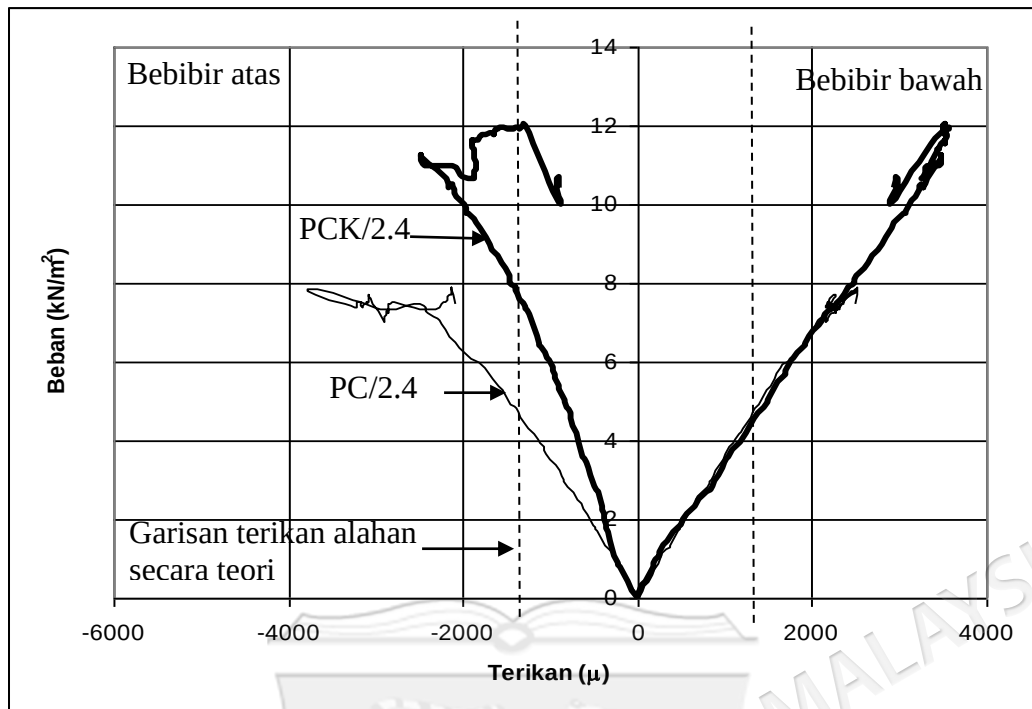


Rajah 3.19 Kelengkungan di dalam satu arah.



Rajah 3.20 Kelengkungan di dalam dua arah.

Kelakuan dari sudut terikan pula digambarkan oleh graf beban melawan terikan oleh Rajah 3.21. Di dalam kawasan mampatan (bebibir atas), panel yang berkayu mempunyai nilai terikan yang lebih kecil pada beban yang sama berbanding panel yang tidak berkayu. Sebagai contoh, pada bebanan 6 kN/m^2 , nilai terikan pada panel berkayu adalah separuh dari nilai terikan panel tidak berkayu. Graf ini juga membuktikan bahawa panel berkayu mempunyai beban maksima yang lebih tinggi, di dalam kes ini, 12 kN/m^2 berbanding 8 kN/m^2 pada panel tidak berkayu. Pengurangan nilai terikan dikesan berlaku apabila beban telah mencecah nilai maksima masing-masing dan keratan rentas panel berubah akibat fenomena lengkokan tempatan.



Rajah 3.21 Perbandingan terikan PCK/2.4DM (garis tebal) dan PC/2.4DM (garis nipis)

Di dalam kawasan tegangan (bebibir bawah), walau bagaimanapun, nilai terikan pada kedua-dua sampel tidak banyak berbeza pada bebanan sehingga 8 kN/m². Setelah itu, hanya panel berkayu terus menambah nilai terikan hingga ke 3500 μ dengan pertambahan beban.

Graf juga turut memuatkan dua garisan putus-putus menegak yang mewakili nilai teori terikan alah. Pengiraannya dapat dilihat menerusi persamaan (3.1) ini.

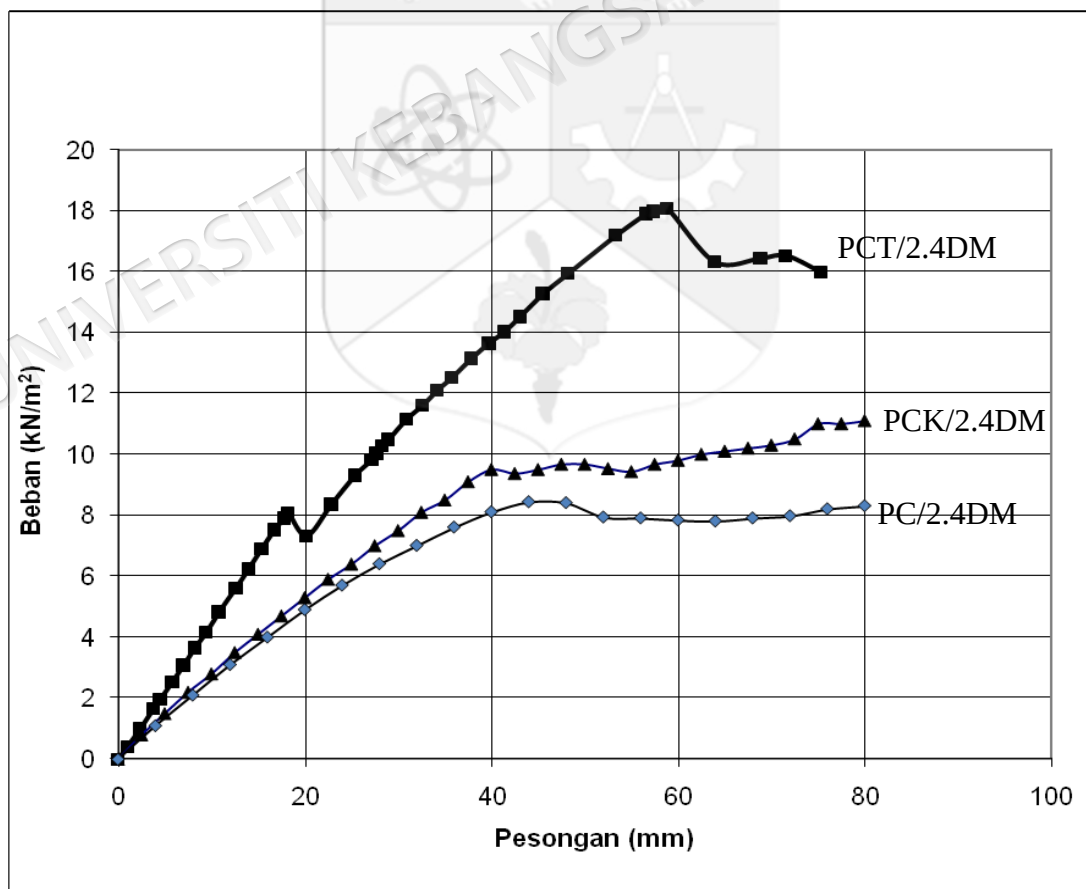
$$\frac{f_y}{E} = \frac{350MPa}{210GPa} = 1666\mu \quad (3.1)$$

Graf menunjukkan bahawa terikan yang didapati telah melampaui nilai teori terikan alah tanpa memperlihatkan kesan-kesan alahan. Dalam kata lain, graf tersebut masih berkeadaan lurus walau setelah melewati had terikan alah secara teori. Ini mungkin disebabkan oleh kehadiran papan kering yang membantu mengukuhkan kawasan mampatan lalu menyebabkan alah berlaku pada beban yang lebih tinggi. Satu lagi alasan adalah nilai terikan alah didapati melalui pengiraan yang menggunakan

nilai *minima* kekuatan ialah spesifikasi pengeluar kepingan keluli berprofil. Terdapat kemungkinan nilai sebenarnya adalah lebih tinggi dari 350 MPa seperti yang dinyatakan itu.

b. Kes B - Kesan sambungan bertanggam berbanding jalur kayu dan tanpa jalur kayu.

Rajah 3.35 di bawah menunjukkan graf hubungan beban melawan pesongan pada panel PCT/2.4DM, PCK/2.4DM dan PC/2.4DM. PCT/2.4DM, mempunyai kekukuhan sebanyak 192.24 kNm²/m berbanding sampel PCK/2.4DM dengan nilai 117.72 kNm²/m dan PC/2.4DM dengan nilai 108.22 kNm²/m. Kehadiran sambungan bertanggam telah meningkatkan kekukuhan sebanyak 63.3% berbanding panel yang diperkukuh dengan jalur kayu, dan bertambah sebanyak 77.6% berbanding panel yang tidak diperkukuh. Sampel PCT/2.4DM juga mampu menanggung secara purata 63.1% lebih banyak beban dari sampel PCK/2.4DM dan 114.1% dari sampel PC/2.4DM.

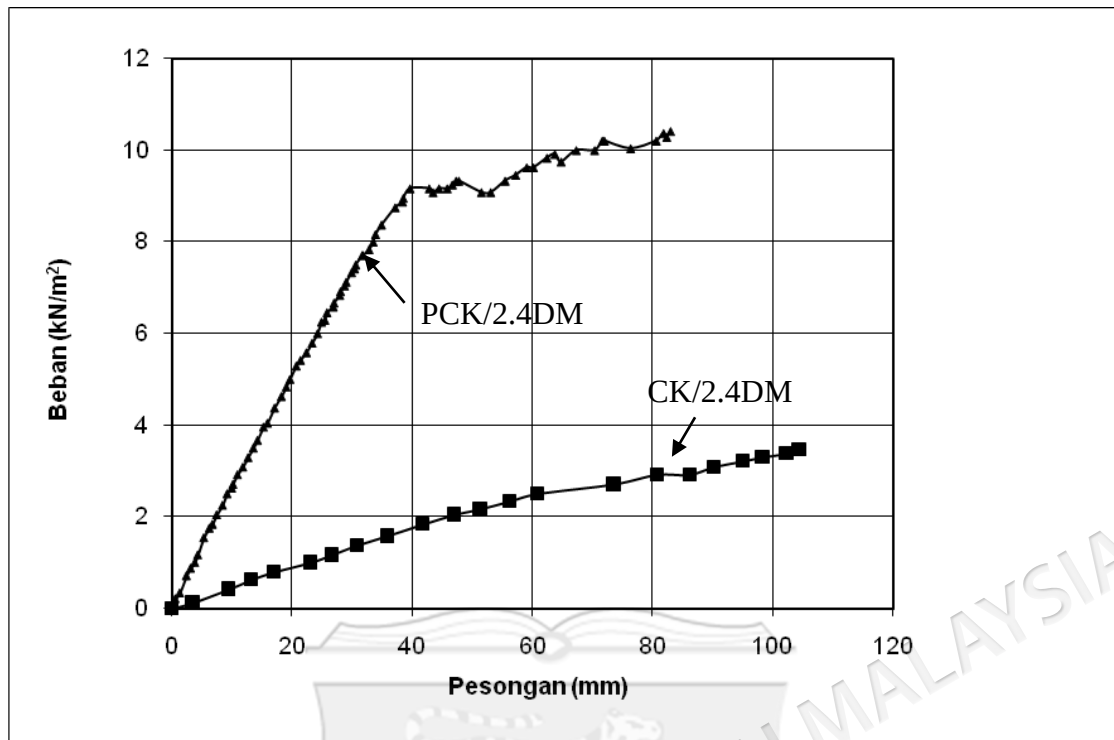


Rajah 3.22 Graf beban melawan pesongan PCK/2.4DM, PCT/2.4DM dan PC/2.4DM

Ikatan kayu bertanggam membolehkan dua bahagian kayu menggelincir di antara satu sama lain di bahagian tengah memanjang di bawah beban yang berserenjang. Walau bagaimanapun, di dalam jalur kayu, kegelinciran mudah ini tidak dapat berlaku. Sebaliknya, dengan meningkatnya beban, tegasan ricih juga semakin bertambah dan nilai maksimanya terjadi pada bahagian tengah keratan rentas hingga akhirnya wujud kegagalan pada urat-urat kayu dan jalur kayu patah secara tiba-tiba.

c. Kes C - Kesan Kehadiran Kepingan Keluli

Perbandingan kelakuan di antara PCK/2.4DM dan CK/2.4DM boleh dilihat daripada graf bebanan melawan pesongan di dalam Rajah 3.23. Kehadiran kepingan keluli dalam PCK/2.4DM telah menyebabkan kekukuhan bertambah sebanyak 512 % manakala beban maksima pula meningkat sebanyak 221%. Seperti yang dijangka, sampel PCK/2.4DM menunjukkan kelakuan yang lebih mulur berbanding panel CK/2.4DM disebabkan pengaruh kepingan keluli berprofil. Bermula dengan hubungan yang lurus pada bebanan sehingga 9.5 kN/m^2 , PCK/2.4DM kemudiannya mempamerkan hubungan yang tak lurus setelah kepingan keluli berprofil dikesan mengalami lengkokan tempatan. Namun panel masih mampu menampung pertambahan beban dan pesongan sebelum gagal secara mendadak apabila kayu patah di sekitar beban 10 kN/m^2 .



Rajah 3.23 Graf perbandingan kelakuan sampel PCK/2.4DM dan CK/2.4DM.

CK/2.4DM pula telah menunjukkan hubungan yang agak lurus pada keseluruhan pembebanan tapi pada tahap beban yang jauh lebih rendah daripada PCK/2.4DM. Panel ini, yang terdiri daripada papan kering Cemboard yang dipasangkan jalur kayu di sisinya, bersifat rapuh apabila gagal secara tiba-tiba pada beban di sekitar 3.5 kN/m².

3.8 SIRI UJIKAJI 3 – PANEL BERCIRI SELANJAR

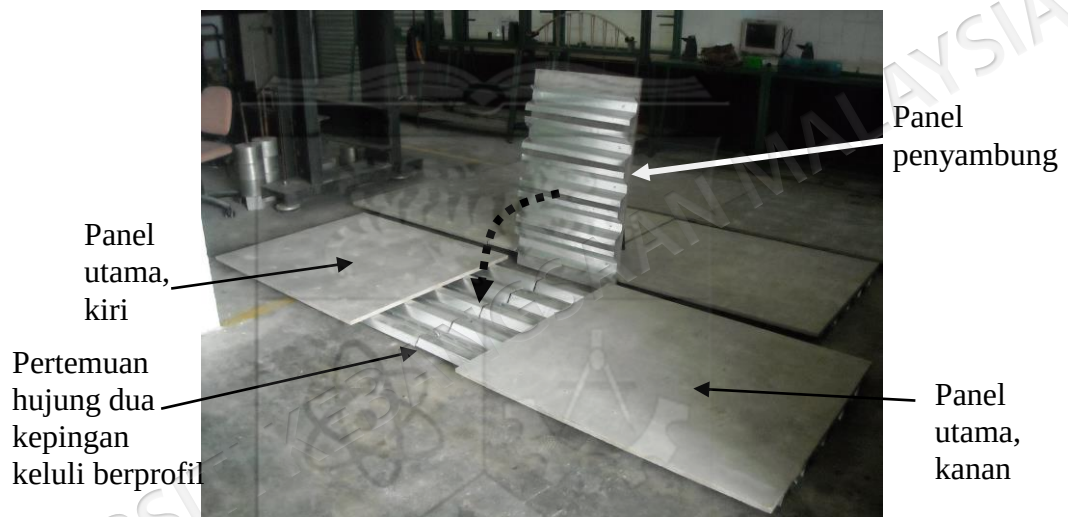
Siri ujikaji ini melibatkan sampel sepanjang 3 meter PC/3.0SSj – panel Peva Cemboard selanjar dan PC/3.0Sj – panel Peva Cemboard separa selanjar.

3.8.1 Ujikaji dan Pemerhatian

a. PC/3.0SSj - Panel Separa Selanjar

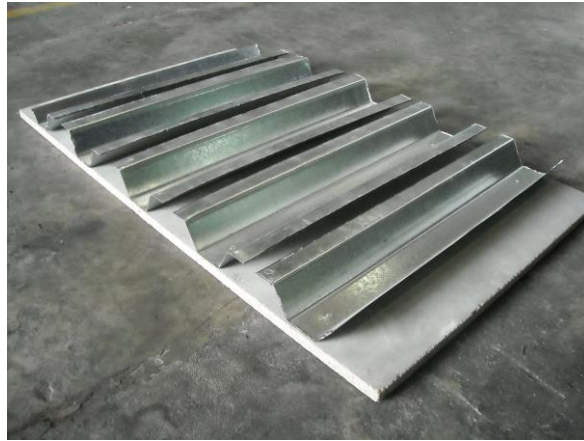
PC/3.0SSj ini terdiri dari tiga bahagian, iaitu dua panel PSSDB utama sepanjang 1.5 m dan satu panel lagi (panel penyambung) sepanjang 0.6 m. Panel utama 1.5 m ini, walau bagaimanapun, terdiri dari kepingan keluli berprofil sepanjang 1.5 m dan diskru

kepada papan kering yang lebih pendek, iaitu 1.2 m. Dua panel ini kemudiannya diletakkan di atas tiga sokongan lantai, dua sokongan di hujung adalah sokongan rola dan pin manakala sokongan tengah terdiri dari keratan geronggang segiempat. Dengan ini, panjang keseluruhan panel adalah 3.0 m kerana kerangka penguji di makmal sedia ada hanya boleh memuatkan panel sepanjang 3.2 m sahaja. Setelah itu, panel penyambung diletakkan di bahagian tengah dan barulah diskru di setiap jarak 100 mm kepada kepingan keluli berprofil di bawah. Dalam kata lain, pada bahagian panel penyambung yang telah siap diskru ini, terdapat dua lapisan keluli berprofil dan satu lapisan papan kering. Susun atur ini dapat dilihat di dalam Gambar 3.14 di bawah.



Gambar 3.14 Susun atur panel lantai separa selangar dengan panel penyambung di tengahnya

Panel penyambung, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.15, adalah bahagian penting yang mengikat dua panel lantai dan bertindak menjadikan dua panel yang disokong mudah, bersifat seperti sebuah panel selangar separa tegar (*semi-rigid continuous panel*). Panjangnya dalam ujikaji ini adalah 0.6 m, manakala lebarnya adalah sama dengan kelebaran panel iaitu 1.0 m.



Gambar 3.15 Panel penyambung di dalam PC/3.0SSj

Penyediaan bermula dengan pemotongan kepingan keluli berprofil dalam saiz yang berkenaan dan pembuangan semua rabung pengukuh pada bebibir bawahnya. Lima lurah yang telah terpisah-pisah, dipakukan ke papan kering dengan mengekalkan jarak yang sama dengan jarak lurah-lurah kepingan keluli berprofil yang asal. Ini membolehkan mereka bertindan rapat dengan bahagian terdedah kepingan keluli berprofil panel asas dan mampu diskrukan dengan baik. Jika rabung pengukuh tidak dibuang, dua keping keluli berprofil tidak dapat bertindan rapat seperti mana keadaannya di dalam Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Rabung pengukuh menghalang keluli berprofil dari bertindan rapat bila disusun di atas satu sama lain

Dua panel yang telah siap, disusun hujung ke hujung di atas lantai makmal sebelum panel penyambung diskrukan bersama. Di dalam situasi sebenar di tapak, panel-panel akan diletakkan dahulu di atas rasuk sebelum panel penyambung diskrukan.

Walau bagaimanapun, langkah ini tidak dapat dibuat di makmal kerana adalah sukar untuk memasang skru ketika panel sudah berada di atas penyokong yang tinggi dan berada dekat di bawah selinder penjana beban. Panel juga dikhuatiri boleh jatuh tergelincir dari penyokong tengah yang agak sempit, sewaktu diskru.

Panel yang telah bersambung itu diangkat oleh cabang trak angkat susun secara perlahan-lahan ke atas tiga penyokong pada kerangka penguji untuk mengelakkan ia melentur secara mendadak ke bawah. Ini adalah kerana panel kiri dan kanan adalah agak berat dan mereka dicantumkan oleh hanya 25 skru yang mengikat keluli berprofil dan panel penyambung di tengah.

Pembebanan seragam dikenakan terhadap PC/3.0SSj dan maklumat bebanan dan tolok pesongan dicatat pada sela beban 1.0 kN pada peringkat awal lurus ujikaji dan dikurangkan kepada sela 0.5 kN pada peringkat tak lurus. Pada sebahagian besar pembebanan berlangsung, tolok pesongan merekodkan bacaan pesongan yang seimbang untuk panel yang berada di kanan dan kiri penyokong tengah.

Namun pada bebanan di sekitar 14 kN/m^2 , iaitu berhampiran beban muktamad, kedengaran bunyi besi berkeriut dan susunan *whiffle tree* keratan geronggang segiempat mula condong ke satu bahagian. Pembebanan tidak lagi kelihatan seimbang dan lengkukan tempatan dikesan berlaku di bawah keratan geronggang segiempat. Penambahan beban seterusnya menyebabkan kepingan keluli berprofil panel terlerai dari panel penyambung dan menemui kegagalan seperti di Gambar 3.17. Walau bagaimanapun, tiada keretakan dikesan pada semua bahagian papan kering.



Gambar 3.17 PC/3.0SSj ketika kegagalan

b. PC/3.0Sj – Panel Selangar

PC/3.0Sj adalah sama dengan PC/3.0SSj kecuali kepingan kelulunya terdiri dari satu bahagian yang padu. Pembebanan seragam (Gambar 3.18 (a)) dikenakan sama seperti PC/3.0SSj. Pada sebahagian besar pembebanan berlangsung, tolok pesongan merekodkan bacaan pesongan yang seimbang untuk panel yang berada di kanan dan kiri penyokong tengah.



Gambar 3.18 (a) Panel di bawah pembebanan dan (b).papan kering retak di bahagian tengah panel

Pada bebanan di sekitar 13 kN/m^2 , web kepingan keluli berprofil yang berada di atas penyokong tengah dilihat mula remuk ke bawah. Setelah itu pembebanan terus meningkat tetapi dengan pertambahan pesongan yang lebih banyak berbanding dengan keadaan sebelum remukan web berlaku. Pada bebanan di sekitar 20 kN/m^2 ,

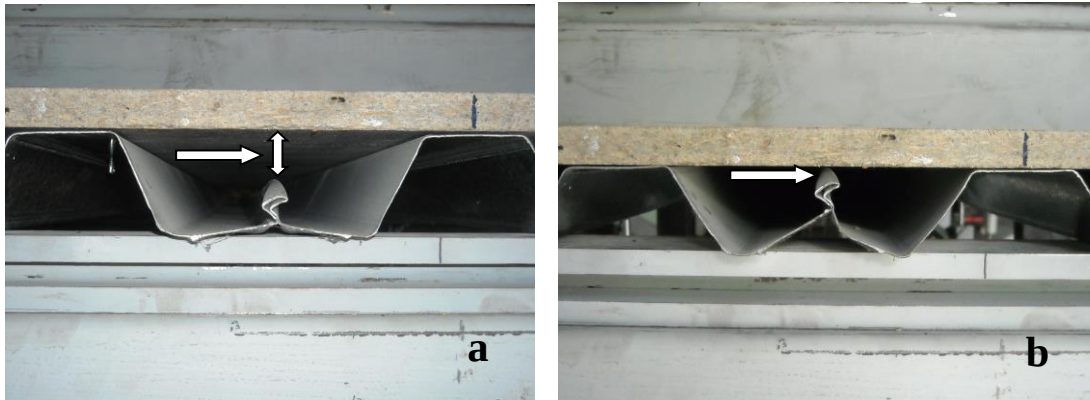
papan kering yang berada di atas penyokong tengah, retak dan boleh dilihat di dalam Gambar 3.18 (b).

Sejurus kemudian, susuan *whiffle tree* keratan geronggang segiempat mula menjadi senget sebelah dan tolok pesongan pula mencatatkan bacaan yang tidak seimbang di antara panel di bahagian kanan dan kiri, penyokong tengah. Bahagian panel yang mencatatkan bacaan tolok pesongan yang semakin besar akhirnya turut menjadi bahagian terjadinya kegagalan lengkokan tempatan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.19. Lengkokan tertumpu di bahagian bawah keratan geronggang segiempat yang paling hujung. Ujikaji diberhentikan apabila pembebanan tidak boleh lagi dilakukan.



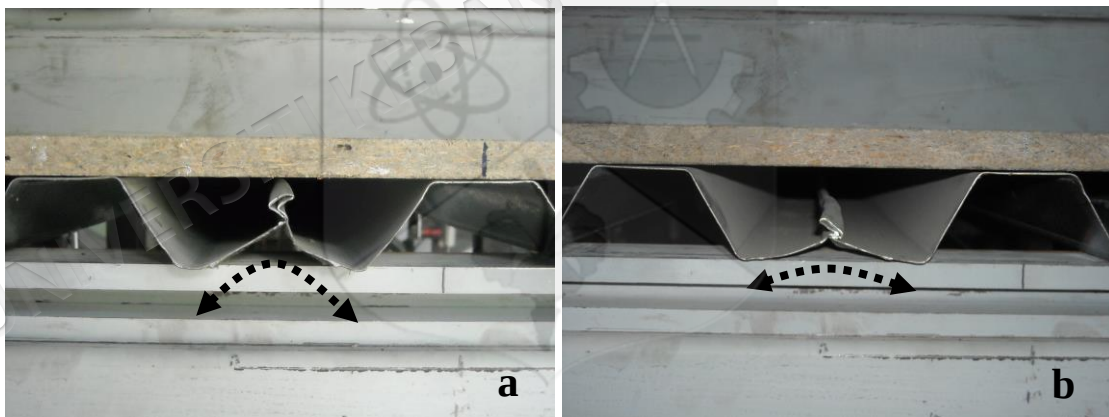
Gambar 3.19 Kegagalan tertumpu di bawah keratan geronggang segiempat yang paling hujung

Pemerhatian turut dibuat ke atas bibir bawah panel dan perbandingan sebelum ujikaji dimulakan dengan setelah kegagalan berlaku dipaparkan oleh Gambar 3.20 (a) dan (b). Web yang remuk di bahagian tengah panel telah mengakibatkan bibir bawah hujung kepingan keluli berprofil turut naik ke atas sehingga rabung pengukuh mencecah papan kering.



Gambar 3.20 PC/3.0Sj - Keadaan hujung kepingan keluli (a) sebelum dan (b) selepas dikenakan beban hingga kegagalan

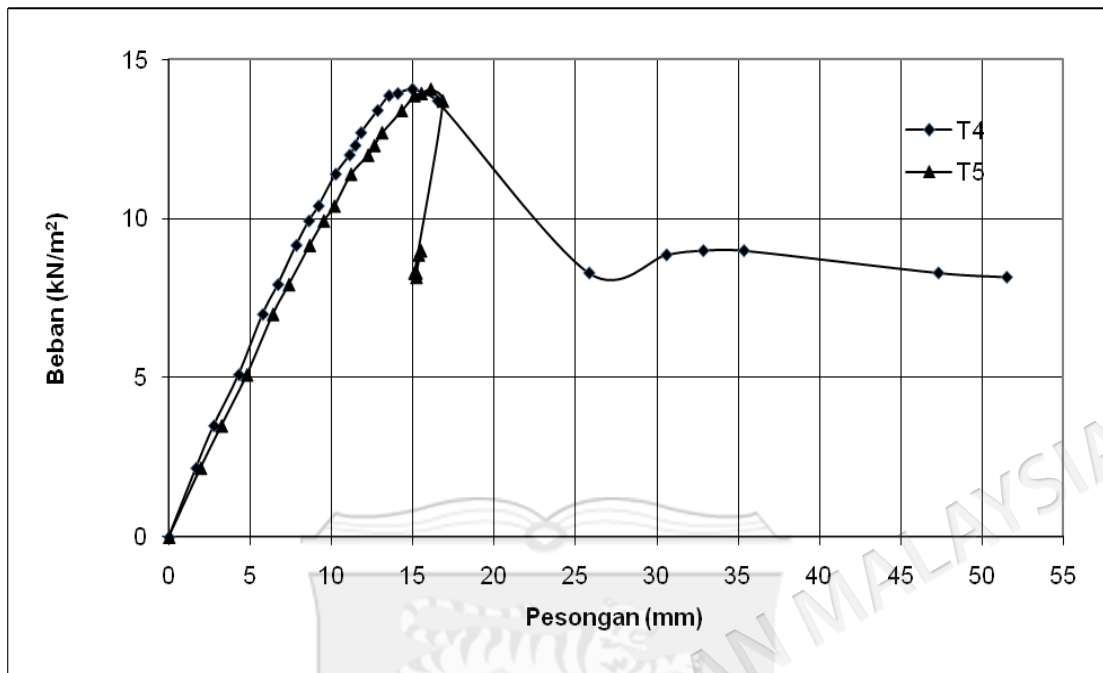
Kelakuan bebibir hujung PC/3.0Sj turut dibandingkan dengan PC/3.0SSj di dalam Gambar 3.21 (a) dan (b). Bebibir hujung PC/3.0SSj masih melengkung ke atas tetapi tidak sebanyak lengkungan PC/3.0Sj. Ini disebabkan oleh tiada berlakunya keremukan web berdekatan hujung PC/3.0SSj.



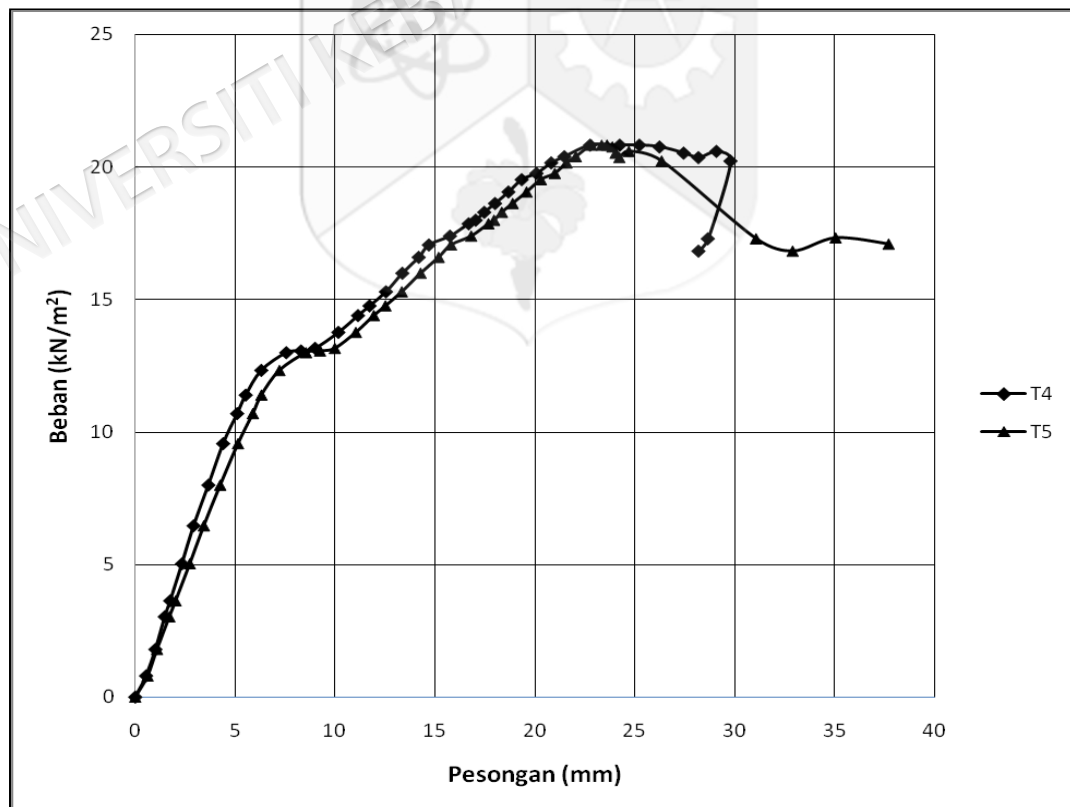
Gambar 3.21 Perbandingan kelakuan bebibir bawah semasa kegagalan di antara (a) PC/3.0SSj dan (b) PC/3.0Sj.

3.8.2 Keputusan, Analisa dan Perbincangan

Nilai pesongan pada jarak satu perempat rentang (T4) dan tiga perempat rentang (T5) diplotkan pada beban yang sama untuk sampel PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj. Graf perbandingan simetri pembebanan untuk PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj ditunjukkan oleh Rajah 3.24 dan 3.25.



Rajah 3.24 Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat (T5) rentang PC/3.0SSj.

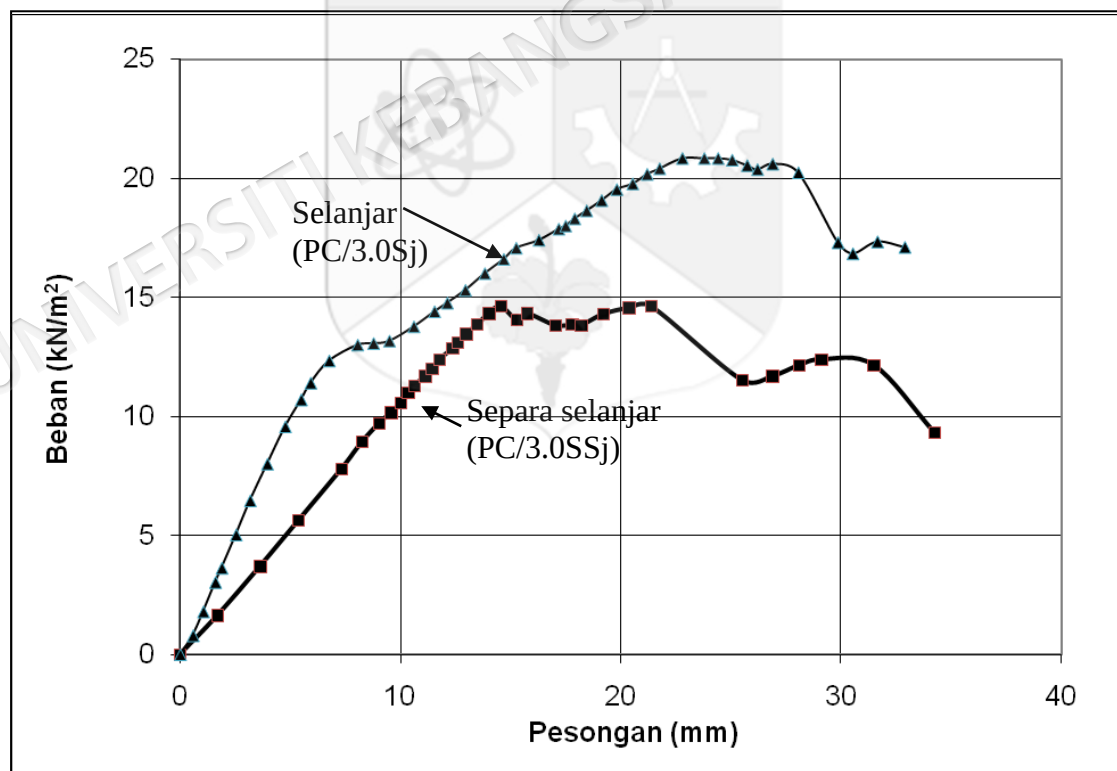


Rajah 3.25 Pesongan di satu (T4) dan tiga perempat (T5) rentang PC/3.0Sj.

Graf-graf tersebut membuktikan bahawa nilai pesongan dua tempat yang sama jaraknya dari tengah rentang adalah hampir sama di dalam julat lurus dan boleh dianggap bukti bahawa bebanan yang dikenakan adalah simetri di dalam julat ini. Walau bagaimanapun, panel PC/3.0SSj tidak menunjukkan lenturan yang simetri setelah beban muktamad dicapai. Fenomena ini akan dibincangkan di dalam bahagian seterusnya ini.

a. Kelakuan panel separa selanjar (PC/3.0SSj) berbanding selanjar (PC/3.0Sj)

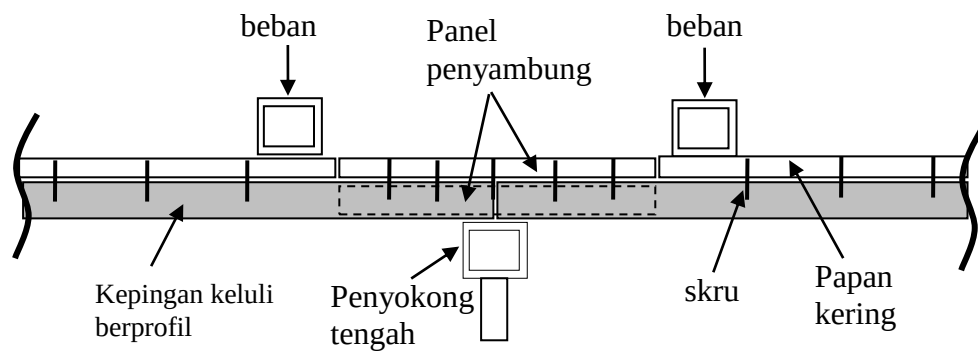
Perbandingan kelakuan PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj dapat dilihat melalui graf beban melawan pesongan yang ditunjukkan oleh Rajah 3.26. PC/3.0Sj mempunyai kekukuhan yang lebih besar berbanding PC/3.0SSj kerana nilai kecerunan graf beban melawan pesongannya adalah lebih tinggi.



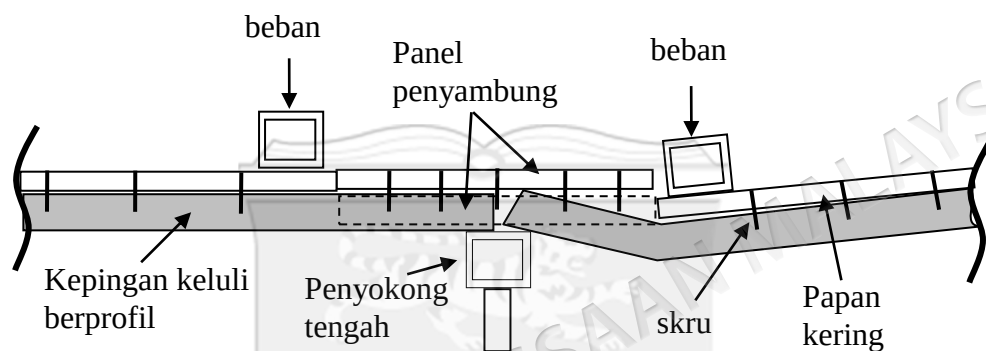
Rajah 3.26 Perbandingan kelakuan PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj.

Kelakuan PC/3.0SSj boleh dihuraikan dalam dua fasa. Fasa pertama adalah fasa hubungan lurus dan ia berlaku dari bebanan 0 hingga 14 kN/m^2 . Fasa kedua pula berlaku dari bebanan muktamad hingga kegagalan. Pada pembebanan di sekitar 14 kN/m^2 , berhampiran beban muktamad, berlaku ketidakseimbangan pada susunan pembebanan *whiffle-tree* dan ia mula condong pada satu bahagian. Ketakseimbangan ini boleh dicetuskan oleh dua faktor. Faktor pertama adalah keseimbangan susunan keratan geronggang segiempat yang menjadi perantara bebanan pada panel. Kesukaran menyusun dan mengimbangi 11 batang keluli ini di atas panel mungkin tidak dapat menghasilkan bebanan yang seimbang di kedua belah penyokong tengah. Rajah 3.24 menunjukkan graf beban melawan pesongan hasil bacaan dua tolok pesongan yang diletakkan masing-masing di satu perempat dan tiga perempat rentang. Perbezaan yang didapati antara keduanya adalah tidak ketara pada bebanan fasa lurus. Boleh disimpulkan bahawa cara susunan pembebanan *whiffle-tree* bukan pencetus ketidakseimbangan ini.

Faktor kedua pula dapat dilihat pada kejadian yang berlaku pada beban di sekitar beban muktamad. Bacaan dua tolok pesongan menjadi sangat berbeza bermula pada bebanan ini, iaitu ketika kepingan keluli berprofil 1.5 m terlerai dari skru panel penyambung seperti yang dilakarkan oleh Rajah 3.27. Kegagalan skru yang secara mendadak ini telah menyebabkan terjadinya lengkukan tempatan kepingan keluli berprofil di tempat pertemuan dengan panel penyambung. Ini mengakibatkan pergerakan pada susunan pembebanan *whiffle-tree* kerana beban tidak lagi seimbang di mana ia telah meningkat pada bahagian yang telah gagal itu.



a. Sebelum kegagalan.



b. Selepas kegagalan.

Rajah 3.27 Pandangan sisi skematik PC/3.0SSj.

Kelakuan PC/3.0Sj pula boleh dihuraikan kepada tiga fasa utama. Fasa pertama adalah fasa hubungan yang lurus dan ia berlaku di dalam lingkungan beban 0 hingga ke 13 kN/m². Dalam fasa kedua, iaitu dalam anggaran bebanan 14 hingga 20 kN/m², berlaku remukan web pada sokongan tengah dan kecerunan graf menurun. Dalam fasa terakhir, papan kering Cemboard pada panel penyambung retak dan pembebanan menjadi berkurangan dan panel seterusnya gagal. Ketiga-tiga sampel ujikaji mempamerkan bentuk graf yang hampir sama dalam fasa pertama dan kedua dan boleh disimpulkan bahawa panel dan pembebanan adalah agak seragam. Perbezaan yang ketara berlaku hanya dalam fasa ketiga di mana berlakunya lengkokan tempatan pada kepingan keluli berprofil dan keretakan pada papan kering di bawah keratan geronggang segiempat yang paling hujung. Ini menyebabkan pergerakan pada susunan pembebanan *whiffle-tree* dan pembebanan tidak lagi seimbang.

Nilai kekukuhan dan beban maksima kedua-dua panel dipamerkan di dalam Jadual 3.7 di bawah.

Jadual 3.7 Perbandingan kelakuan PC/3.0SSj dan PC/3.0Sj

Sampel	Kekukuhan (kNm ² /m)	Beban Maksima (kN/m ²)
PC/3.0SSj	28.08	14.7
PC/3.0Sj	54.02	21.03

Kekukuhan dan beban maksima PC/3.0SSj adalah masing-masing 52% dan 70% dari PC/3.0Sj. Nilai kekukuhan didapati dari kecerunan graf beban melawan pesongan di dalam julat lurus. Di dalam julat ini, pembebanan masih seimbang di antara bahagian panel di kiri dan kanan penyokong tengah. Walau bagaimanapun, dalam fasa kedua pembebanan, PC/3.0Sj mengalami remukan web pada sokongan tengahnya dan ini telah mengakibatkan keupayaannya menerima beban berkurangan dan akhirnya merendahkan beban maksimanya.

PC/3.0SSj sebenarnya terdiri dari dua bahagian kepingan keluli dan tiga bahagian papan kering yang bersambung. Walaupun pada panel penyambung, jarak skru dirapatkan kepada 100 mm berbanding 200 mm pada tempat-tempat lain, bahagian panel yang terpisah-pisah itu telah mengurangkan keselanjarnya. Keadaannya semakin runcing dengan kelebaran panel penyambung yang kecil dan terletak pula di kawasan kritikal iaitu betul-betul di atas sokongan tengah. Apabila beban dikenakan, berlaku momen melengkok (*hogging moment*) di kawasan itu di mana panel penyambung terpaksa menanggung beban lengkokan ke atas. Ia cuma bergantung kepada kekuatan 25 skru di situ untuk memegang dan mengikat kepingan keluli berprofil dengan papan kering dan ini ternyata tidak memadai.

Dapat dirumuskan bahawa keadaan kepingan keluli berprofil yang terputus di bahagian tengah sama sekali telah mengurangkan kekukuhan panel. Sifat keselajaran panel banyak bergantung kepada kemampuan skru panel penyambung untuk

memegang dua kepingan keluli yang bertindan dan ini terbukti kurang berkesan kerana keluli panel penyambung 1.5 m itu mudah terbolos keluar dari skru apabila dikenakan beban melebihi beban muktamad.

3.9 KESIMPULAN

Bab ini telah membincangkan tentang ujian lenturan yang dijalankan di makmal. Ia dimulakan dengan penerangan tentang semua panel dan seterusnya huraian ujikaji lenturan terhadap tiga jenis siri ujikaji termasuk keputusan dan analisisnya. Dapatan ujikaji panel yang disokong mudah disenaraikan di dalam Jadual 3.8 yang turut menampilkan keputusan ujikaji beberapa penyelidik terdahulu.

Jadual 3.8 Perbandingan kekukuhan panel disokong mudah

Penyelidik	Jenis keluli berprofil dan ketebalan (mm)	Jenis papan kering dan ketebalan (mm)	Jarak skru (mm)	Kekukuhan (kNm ² /m)
Wright et al. 1989	PMF 60 (1.2)	Papan lapis (18)	150	254.00
Ahmad 1996	Bondek II (1.0)	Cemboard (16)	200	142.0
Akhand 2001	Bondek II (1.0)	Cemboard (16)	150	215.8
Harsoyo 2004	Peva(1.0)	Cemboard (16)	200	132.0
Hanizam 2008	Cliplok (0.48)	Cemboard (12)	100	46.3
	Peva 45 (0.8)	Cemboard (18)	200	108.2
	Peva 45 (0.8)	Papan Lapis (18)	200	100.9
	Peva 45 (0.8)	Cemboard (18)	200	117.7
		+ sisi jalur kayu		
Norhaiza 2014	Peva 45 (0.8)	Cemboard (18)	200	192.2
		+ kayu tanggam		
	Tiada	Cemboard (18)	200	19.2
		+ sisi jalur kayu		

Perbandingan ini menunjukkan, dapatan kajian ini berada di dalam lingkungan keputusan penyelidik-penyelidik terdahulu dan dapat diterima kesahihannya. Ketebalan kepingan keluli berprofil banyak memberi kesan terhadap kekukuhan panel yang mempunyai jarak skru yang sama.

Kesimpulan yang dapat dibuat daripada Bab III adalah seperti berikut;

- Panel PSSDB yang menggunakan papan kering Cemboard (PC/2.4DM) mempunyai kekukuhan dan beban maksima yang lebih tinggi iaitu masing-masing $108.22 \text{ kNm}^2/\text{m}$ dan 8.43 kN/m^2 dari panel yang menggunakan papan lapis (PPI/2.4DM) ($100.92 \text{ kNm}^2/\text{m}$ dan 7.73 kN/m^2).
- Kehadiran jalur kayu telah menambah keupayaan panel untuk menanggung beban, walaupun setelah terbentuknya lengkokan tempatan pada keluli berprofil. Penambahan jalur kayu telah menyebabkan kenaikan nilai kekukuhan sebanyak 8.8% dan beban muktamad pula sebanyak 31.7%. Ia juga telah memperbaiki kelakuan panel di dalam julat tak lurus.
- Panel yang disambung dengan panel bersebelahan dengan kaedah tanggam mampu menanggung lebih banyak beban, iaitu 19.8% dari panel individu yang dipasang dengan jalur kayu sahaja dan 57.8% berbanding panel yang tidak diperkukuh. Sambungan tanggam membolehkan kegelinciran berlaku dan ini mengelakkan tegasan ricih daripada mengumpul dan mengakibatkan kegagalan di tengah keratan rentas jalur kayu. Kekukuhan panel disambung bertanggam turut bertambah sebanyak 63.1% dan 114.1% berbanding sampel yang sama itu.
- Kehadiran kepingan keluli dalam gabungan papan kering Cemboard dan kayu jalur (CK/2.4DM) telah menambah kekukuhan sebanyak 512% manakala beban maksima pula meningkat sebanyak 221%. Sampel Cemboard-Peva-Jalur Kayu (PCK/2.4DM) menunjukkan kelakuan yang lebih mulur berbanding panel Cemboard-Jalur Kayu (CK/2.4DM) disebabkan pengaruh kepingan keluli berprofil.
- Panel separa selangar (PC/3.0SSj) hanya mempunyai 52% kekukuhan panel selangar (PC/3.0Sj). Keadaan kepingan keluli berprofil yang terputus di bahagian tengah panel separa selangar telah mengurangkan kekukuhan panel. Sifat keselangaran panel banyak bergantung kepada kemampuan skru panel penyambung untuk memegang dua kepingan keluli yang bertindan dan ini terbukti kurang berkesan kerana keluli panel penyambung 1.5 m itu mudah terbolos keluar dari skru apabila dikenakan beban melebihi 14 kN/m^2 .

BAB IV

KAJIAN SKRU PENYAMBUNG

4.1 PENGENALAN

Bab III telah menyentuh tentang ujikaji lenturan yang dijalankan ke atas 21 sampel panel lantai pasang siap PSSDB. Panel-panel yang terdiri daripada kepingan keluli berprofil dan papan kering itu digabungkan menjadi panel komposit dengan pengantara penyambung ricih. Penyambung ricih yang digunakan di dalam penyelidikan PSSDB adalah skru gerudi dan ulir sendiri. Skru-skru penyambung ini berjarak di antara 100 hingga 300 mm dan untuk panel lantai PSSDB bersaiz 2.4 m x 1.0 m, bilangan skru penyambung boleh mencecah sehingga 92 batang. Sambungan skru ini akan mengagihkan daya ricih mendatar dan daya tegangan pugak di antara dua lapisan apabila berlaku ubahbentuk pada sistem (Hanizam 2008). Kelakuan sambungan ini adalah penting untuk dikaji kerana ia akan menentukan darjah tindakan komposit dan tahap kekukuhan panel PSSDB tersebut.

Kekukuhan skru penyambung juga perlu diketahui menerusi ujikaji tolak keluar. Nilai kekukuhan ini kelak akan dimasukkan ke dalam model unsur terhingga panel lantai di dalam Bab V.

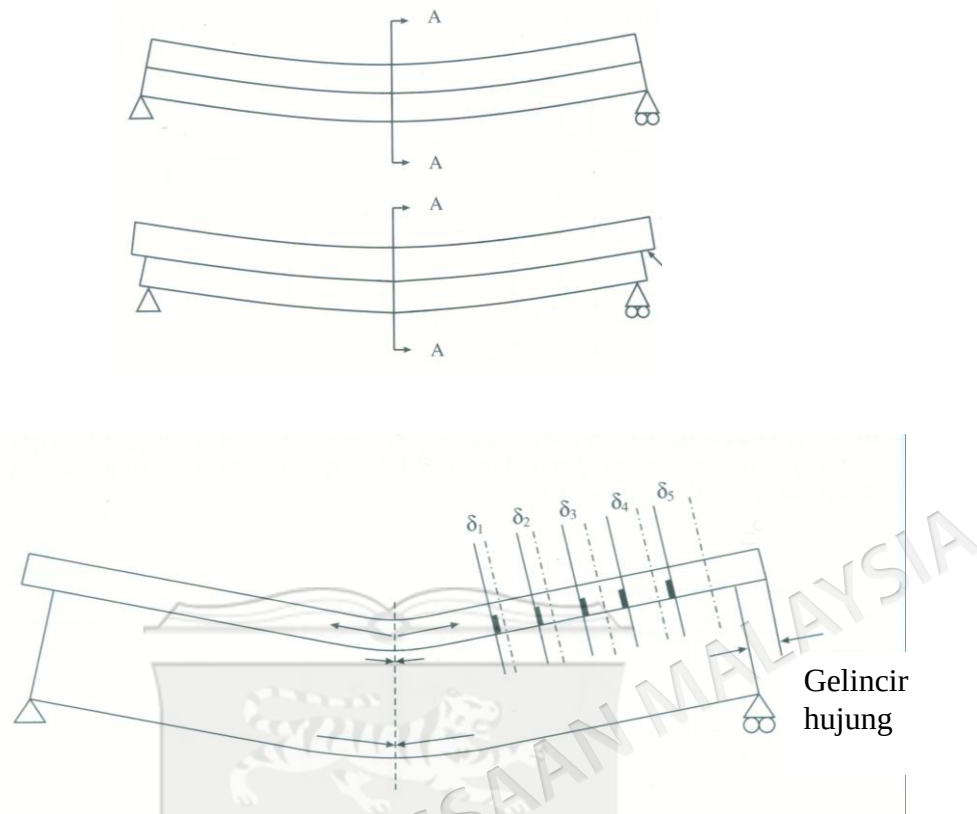
Bab IV ini dimulakan dengan penerangan terhadap ujikaji tolak keluar dan mod-mod kegagalan skru penyambung. Seterusnya, huraian diberikan terhadap matlamat ujikaji iaitu mencari kekukuhan tiga jenis sambungan panel yang telah diuji di dalam makmal (Bab III) dan juga menjalankan satu kajian parametrik terhadap kesan ketebalan kepingan keluli berprofil terhadap kekukuhan skru penyambung

tersebut. Seterusnya, maklumat dan pemerhatian terhadap ujikaji empat jenis kombinasi yang melibatkan 16 sampel diberikan dan keputusan dan analisisnya dibincang di penghujung bab.

4.2 MENGAJI KELAKUAN SKRU PENYAMBUNG

Apabila dua lapisan komposit dikenakan daya berserenjang, kedua-dua lapisan itu akan mengelongsor atau mericih. Tahap kegelongsoran itu bergantung kepada kaedah penyambungan. Jika tiada sebarang penyambung maka situasi ini dinamakan sebagai tiada interaksi. Jika wujud pula satu bentuk penyambungan yang sangat kukuh seperti penggunaan glu yang sangat kuat atau skru penyambung yang rapat, maka situasi ini akan menghasilkan interaksi penuh. Situasi pertengahan, iaitu interaksi separa pula terjadi apabila dua lapisan disambung menerusi kaedah skru namun masih boleh mengakibatkan kegelinciran kecil berlaku. Lantai PSSDB lazimnya tergolong di dalam situasi interaksi separa ini.

Apabila lantai PSSDB dikenakan beban, skru penyambung mengalami daya ricih yang berbeza darjahnya dan apabila kepingan keluli berprofil dan papan kering menyerpih dan mengoyak di sekeliling acinya, gelinciran di antara dua lapisan ini terjadi seperti yang diperlihatkan oleh Rajah 4.1. Untuk menghasilkan satu model analisis untuk mengambil kira kesan interaksi separa ini, nilai ricih penyambungan perlu didapati terlebih dahulu dan cara yang paling berkesan adalah menerusi ujian makmal yang dinamakan ujian tolak keluar (Akhand 2001).



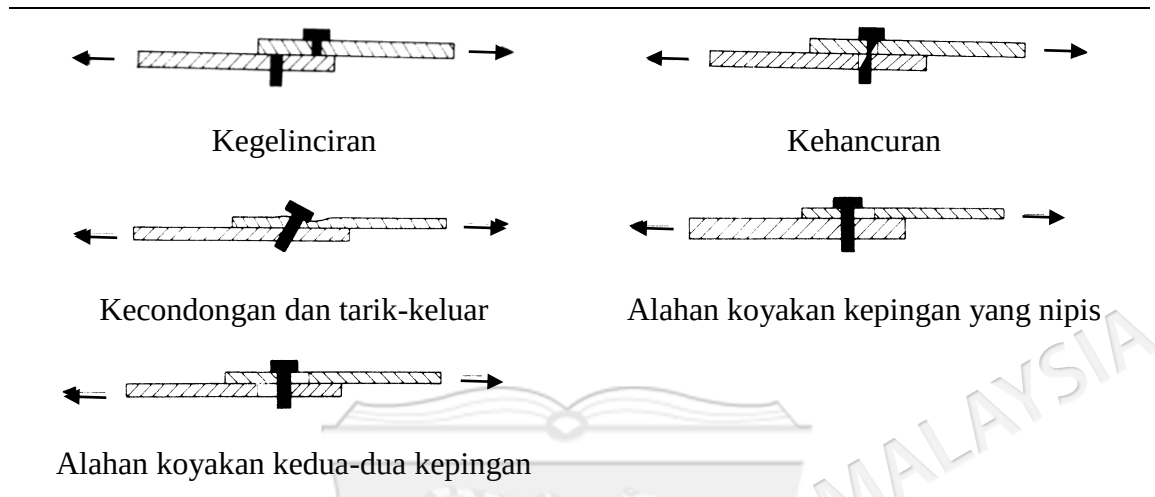
Rajah 4.1 Kelakuan rasuk yang disambung sepenuhnya dan yang tidak disambung.

Walaupun beberapa ujikaji tolak keluar telah dijalankan oleh penyelidik terdahulu (Wright et al. 1989; Ahmed 1996; Akhand 2001; Harsoyo 2004; Hanizam 2008) namun nilai yang didapati adalah berbeza bergantung kepada jenis unsur PSSDB yang digunakan. Dalam kata lain, perbezaan dalam jenis dan ketebalan kepingan keluli berprofil, papan kering dan skru akan memberikan nilai kekukuhan skru penyambung yang berbeza. Dari itu, ujikaji tolak keluar yang baru perlu dijalankan sekiranya membabitkan penggunaan bahan-bahan yang baru.

4.2.1 Mod-Mod Kegagalan

Mod kegagalan adalah penting untuk diketahui kerana kekuatan dan kebolehlenturan skru penyambung adalah bergantung kepada mod kegagalannya (Rogers et al. 1999). Rajah 4.2 di bawah menunjukkan beberapa mod kegagalan skru

penyambung yang dikenakan beban ricih dan beberapa darinya adalah merupakan mod kegagalan pada sampel PSSDB terdahulu. Adalah dijangkakan beberapa jenis kegagalan ini akan didapati dari ujian tolak keluar penyelidikan ini.



Rajah 4.2 Beberapa jenis mod kegagalan dalam ujian gelincir.

4.3 MATLAMAT UJIKAJI TOLAK KELUAR

Matlamat ujikaji tolak keluar ini dijalankan adalah untuk mengetahui kekukuhan skru penyambung tiga jenis panel yang telah diuji di dalam makmal dan akan dimodelkan di dalam analisa unsur terhingga. Di samping itu kajian parametrik juga dijalankan untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas, secara khususnya, tentang kesan;

- ketebalan kepingan keluli
- papan kering berbeza
- gandingan kayu dan keluli dengan Cemboard

terhadap kekukuhan dan beban muktamad skru penyambung sampel-sampel terbabit. Aspek kegagalan skru juga akan dikaji dan nilai kekukuhan skru penyambung ini juga akan dibandingkan dengan nilai kekukuhan panel lantai untuk melihat hubungan di antara keduanya.

4.4 PERSAMPELAN

Duabelas sampel telah disediakan untuk ujian tolak keluar dan ciri-ciri masing-masing adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 4.1. Pemilihan jenis bahan yang digunakan adalah berdasarkan kepada penggunaan bahan sebenar oleh lantai utama kajian iaitu kepingan keluli jenis Peva 45 dengan ketebalan 0.8 mm dan kepingan papan kering jenis Cemboard setebal 18 mm. Gandingan ini turut diulang dengan ketebalan 1.0 mm kepingan keluli berprofil Peva 45. Sampel seterusnya adalah gandingan kepingan keluli berprofil 0.8 mm dengan papan kering berbeza iaitu papan lapis. Selain dari itu, kekukuhan sambungan lantai kajian yang dipasang dengan jalur kayu Meranti di sisinya turut diselidiki menerusi sampel Cemboard-kayu.

Semua saiz sampel adalah berbeza sedikit daripada saiz sampel para pengkaji terdahulu kerana beberapa pengubahsuaian perlu dilakukan kerana ia membabitkan penggunaan gabungan bahan-bahan yang baru. Beberapa saiz sampel telah dicuba terlebih dahulu sebelum mendapat saiz sampel yang sesuai yang boleh dimuatkan ke dalam rangka penguji di makmal dan memberikan keputusan yang baik.

Skrus penyambung yang digunakan di dalam semua sampel adalah dari jenis skru gerudi dan ulir sendiri DS-FH 432 keluaran Menara Kerjaya *Fasteners* Sdn. Bhd (MK) berukuran 32 mm panjang dan 4.2 mm diameter seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1. Panjang kepala dan aci berulir skru ini adalah 26 mm dan cukup untuk menembusi dan memegang gabungan papan kering dan kepingan keluli berprofil yang jumlah ketebalannya ialah 19 mm.

Jadual 4.1 Maklumat sampel untuk ujian tolak keluar

Sampel	Kepingan keluli	Papan kering	Bilangan
Peva-Cemboard	Peva 45 (0.8 mm tebal)	Cemboard (18 mm tebal)	3
Peva-Cemboard	Peva 45 (1.0 mm tebal)	Cemboard (18 mm tebal)	3
Peva-Papan lapis	Peva 45 (0.8 mm tebal)	Papan lapis (18 mm tebal)	3
Cemboard-Kayu	tiada	Cemboard (18 mm tebal) Kayu (45 mm tebal)	3



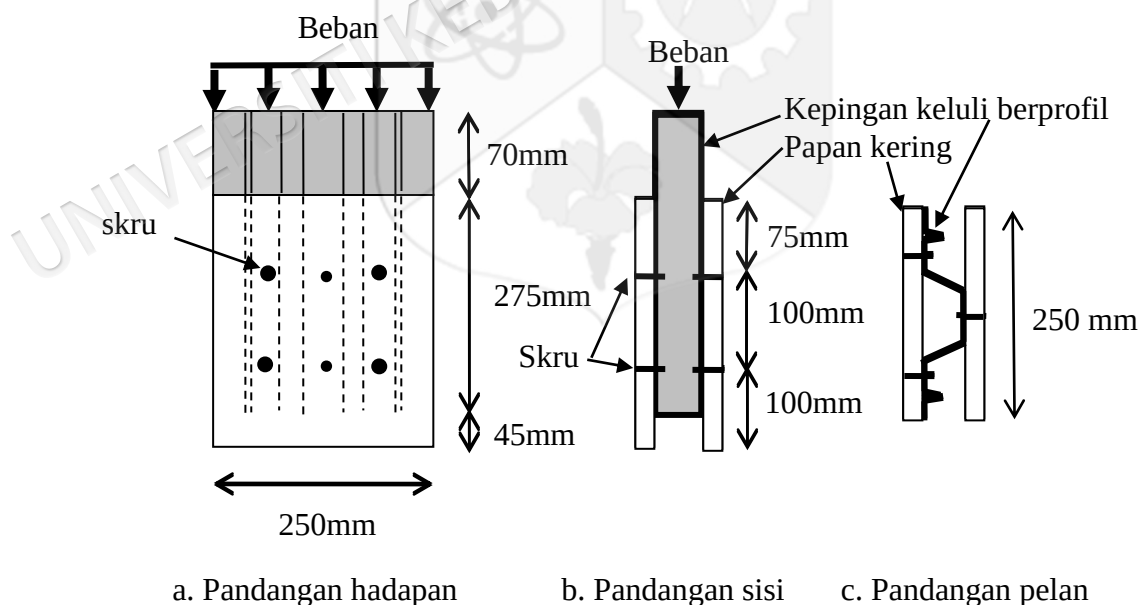
Gambar 4.1 Skru yang digunakan.

Skru penyambung ini mempunyai kepala yang berbentuk kon dari jenis kepala benam (*countersunk*) dan beralur palang. Ia membolehkan skru tersebut terbenam dengan baik ke dalam papan kering tanpa bonjolan untuk mengekalkan permukaan lantai yang rata. Enam batang skru digunakan di dalam setiap sampel dan disusun berdua-dua di dalam tiga barisan. Susunan ini berbeza dari sampel Akhand (2001) dan Hanizam (2008) di mana empat skru diletakkan pada bahagian tengah, manakala dua di setiap bahagian tepi. Namun penulis merasakan skru perlu disusun sebolehnya menghampiri keadaan sebenar skru di panel lantai, iaitu diagihkan secara

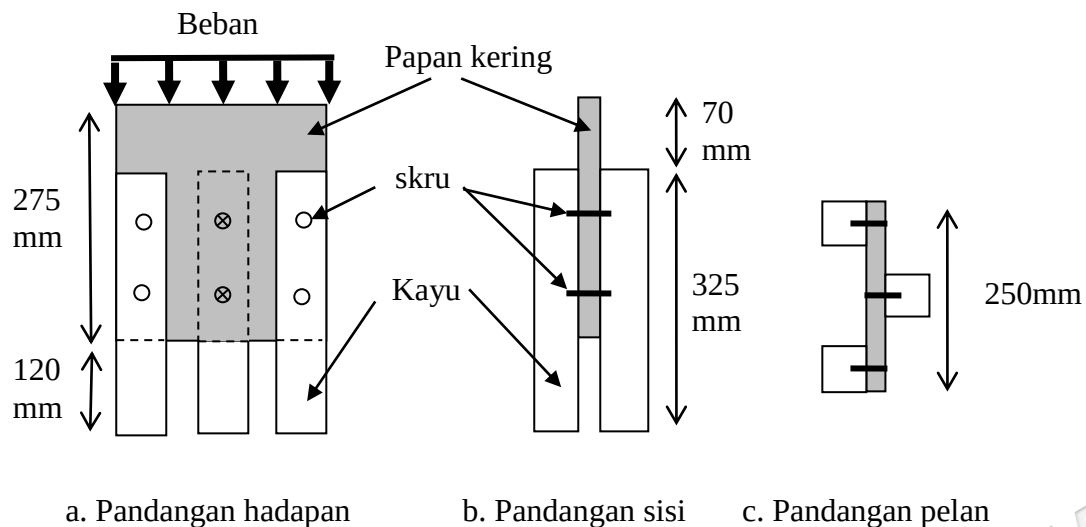
sekata. Walau bagaimanapun, beban yang dicatat masih berupa purata beban per skru iaitu jumlah beban dibahagi dengan bilangan skru.

Setelah kepingan keluli berprofil, papan kering dan kayu siap dipotong, kepingan-kepingan tersebut disambungkan pada pasangan masing-masing dalam keadaan berselisih. Sebagai contohnya sampel Peva-Cemboard mempunyai selisih 70 mm di bahagian atas dan 45 mm di bahagian bawah di antara kepingan keluli berprofil Peva dan papan kering Cemboard. Ini adalah untuk memberi ruang pada gerakan mericih yang bakal terhasil apabila beban dikenakan pada kepingan keluli berprofil Peva. Panjang ruang yang dipilih juga adalah berdasarkan beberapa percubaan awal yang dilakukan dan ia adalah mencukupi untuk mengkaji kegelinciran hingga ke tahap kegagalan.

Sampel ujian tolak keluar ini boleh dilihat di dalam Rajah 4.3 dan 4.4 melalui pandangan hadapan, sisi dan pelan.



Rajah 4.3 Sampel Peva-Cemboard dan Peva-Papan lapis.



Rajah 4.4 Sampel Cemboard-kayu.

4.5 PERALATAN UJIKAJI

Peralatan yang telah digunakan dalam ujikaji tolak keluar ini terdiri dari rangka Enerpac, pam tangan hidraulik berjenama OTC 4002 berkapasiti 25 ton yang disambungkan kepada silinder bebanan Enerpac RC 106 yang berkapasiti 10 ton dan sel bebanan. Sel bebanan kemudiannya diletakkan ke atas sampel dengan perantaraan beberapa kepingan besi mendatar untuk menghasilkan susunan yang sendat. Pesongan pula diukur menggunakan dua tolok pesongan (*transducer*) jenis Kyowa DTH-A-30, yang dapat mengukur pesongan sehingga 30 mm yang diletakkan pada jarak yang sama dari tengah sampel. Tolok kecil ini sudah memadai kerana kegelinciran yang berlaku dijangka tidak akan melepasi nilai 30 mm berdasarkan kepada beberapa siri ujian percubaan yang telah dilakukan sebelumnya. Maklumat data dari tolok pesongan dan sel bebanan disalurkan terus kepada pengellog data jenis mudah alih Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd Model TDS 302 buatan Jepun. Susun atur segala kelengkapan ini dan contoh sampel yang diuji ditunjukkan dalam Gambar 4.2 di sebelah.



Gambar 4.2 Peralatan yang digunakan.

4.6 UJIKAJI DAN PEMERHATIAN

Semua sampel diletakkan menegak dalam kerangka Enerpac dan beban akan dikenakan pada hujung kepingan keluli yang terjulur pada sampel Peva-Cemboard dan Papan lapis. Pada sampel Cemboard-Kayu pula, beban akan dikenakan pada unjuran papan kering. Sel beban diletakkan sebaik mungkin di garisan paksi neutral sampel untuk meminimalkan pembebanan sipi (*eccentricity loading*). Sedikit beban dikenakan menerusi pam tangan hidrolik supaya sampel dapat ditegakkan. Setelah itu, sedikit bacaan beban dan tolak pesongan yang telah mula tercatat pada pengellog data disetkan kembali menjadi kosong. Keadaan ini dianggap mewakili keadaan permulaan sampel yang belum dikenakan beban. Ujikaji dimulakan dengan penghasilan beban dari pam hidrolik tangan dan bacaan gelincir dari dua tolak pesongan diambil pada setiap sela beban 200 N. Pemerhatian khusus bagi ujikaji pada setiap sampel yang berbeza, dijelaskan di bawah ini.

4.6.1 Sampel Peva-Cemboard

Sampel Peva-Cemboard diuji melalui dua siri iaitu Cemboard berketebalan 18 mm yang diskru pada Peva berketebalan 0.8 mm dan 1.0 mm. Sampel jenis pertama adalah sebagai mewakili panel asas PSSDB manakala sampel jenis kedua adalah untuk melihat kesan ketebalan kepingan keluli berprofil terhadap kekukuhan penyambungan ricih.

Namun kedua-dua jenis sampel menunjukkan kelakuan yang hampir serupa. Penambahan beban pada kepingan keluli berprofil Peva menekan aci skru di dalamnya menyebabkan skru yang berkedudukan mengufuk mula menegak. Kepala skru yang berada di dalam Cemboard pula semakin mengiring dan menyebabkan papan kering di sekitarnya melekat dan menyerpih seperti yang ditunjukkan oleh anak panah dalam Gambar 4.3(a) di bawah. Penambahan beban seterusnya menghasilkan bunyi skru menggesel pada kepingan keluli Peva dan kepingan Cemboard semakin meregang dari Peva. Kegagalan akhirnya terjadi secara mendadak di sekitar 3 kN/skru apabila skru patah berhampiran dengan bahagian kepala. Gambar 4.3(a) menunjukkan bagaimana sebahagian besar aci skru masih terlekat pada kepingan keluli berprofil Peva, manakala bahagian kepala pula masih terbenam di dalam papan kering Cemboard (Gambar 4.3(b)). Kegagalan ini menyebabkan salah satu kepingan Cemboard jatuh terpisah dari cantuman Peva dan Cemboard yang di sebelah lagi, seperti yang dipamerkan oleh Gambar 4.4(a) dan (b).



Gambar 4.3 Sampel setelah gagal (a) kepingan keluli dan (b) papan kering



Gambar 4.4 Sampel Peva-Cemboard pada (a) awal ujikaji dan (b) selepas kegagalan.

4.6.2 Sampel Peva-Papan Lapis

Sampel Peva-Papan lapis mewakili satu lagi jenis panel lantai PSSDB yang sering digunakan. Sampel ini juga akan dibandingkan dengan sampel Peva-Cemboard untuk melihat kesan menggunakan papan kering berbeza pada kepingan keluli yang sama. Pada permulaan ujikaji sehingga ke bebanan sekitar 1 kN/skru, kelakuan sampel Peva-Papan lapis tidak banyak berbeza dari sampel Peva-Cemboard. Walau bagaimanapun, bebanan seterusnya menunjukkan kelakuan Peva-Papan lapis yang lebih mulur, di mana penambahan beban yang sama menghasilkan lebih banyak pesongan dari sampel Peva-Cemboard.

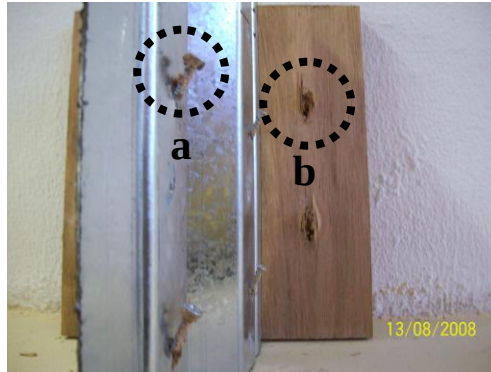
Seperti mana yang terjadi pada sampel Peva-Cemboard, kepala skru yang berada di dalam Papan lapis semakin mengiring ditekan beban dan menyebabkan papan kering tersebut terkoyak dan gentian-gentian kayu patah di sekitarnya. Sampel dapat menampung tambahan bebanan hingga ke tahap maksima 3.8 kN/skru. Setelah itu beban semakin berkurangan secara beransur-ansur tetapi pesongan terus bertambah hingga ke 25 mm. Kegagalan berlaku setelah salah satu papan lapis terlejang dari cantuman Peva dan papan lapis yang di sebelah lagi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 (a) dan (b).



Gambar 4.5 Sampel Peva-Papan lapis pada (a) awal ujikaji dan (b) selepas kegagalan.

Skru didapati telah terbolos keluar dari papan lapis tetapi berbeza dengan sampel Peva-Cemboard, tiada kepatahan dan keseluruhannya kekal terlekat pada kepingan keluli Peva seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 4.6 di sebelah.

Kelihatan skru masih terlekat pada kepingan keluli (a) dan lubang bolos (b) pada kepingan papan lapis.



Gambar 4.6 Pandangan sisi kepingan keluli yang diletakkan berserenjang dengan papan kering papan lapis.

4.6.3 Sampel Cemboard-Kayu

Sampel Cemboard-kayu (Rajah 4.11(a)) adalah sampel yang bukan tergolong dalam kumpulan panel lantai biasa PSSDB. Ini kerana ia adalah gabungan dua jenis papan kering dan bukannya gabungan keluli berprofil dan papan kering seperti mana lazimnya. Ujian ini dijalankan untuk mengkaji kekukuhan sambungan skru bahagian lantai PSSDB yang diperkukuhkan sisi tepinya dengan jalur kayu.

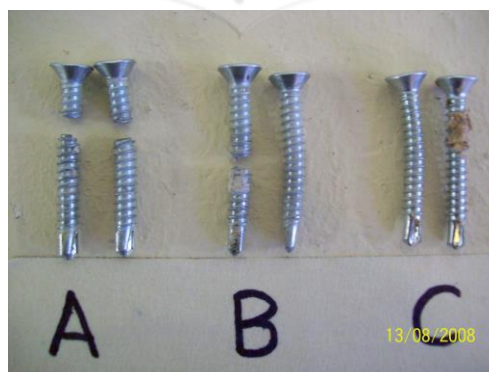
Kelakuan awal sampel Cemboard-Kayu iaitu di sekitar 0.75 kN/skru, menunjukkan kelakuan yang tidak banyak bezanya dengan kelakuan sampel Peva-Cemboard dan Peva-Papan lapis. Namun pembebanan seterusnya bertambah setakat 1.33 kN/skru sahaja, menjadi agak malar pada pesongan 5 mm hingga 10 mm sebelum berkurangan secara beransur-ansur. Salah satu kepingan kayu terlejang dari kepingan Cemboard (Gambar 4.7(b)) sebelum sampel gagal pada beban 0.5 kN/skru dan pesongan 22 mm. Skru pula, sama ada patah ataupun terbolos keluar dari Cemboard tapi kekal terlekat keseluruhannya pada kayu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7(c).



Gambar 4.7 (a) Sampel Cemboard-Kayu pada awal ujikaji, (b) pandangan sisi sesudah kegagalan dan (c) skru yang masih melekat pada kayu.

4.6.4 Kegagalan Skru

Kesemua sampel yang dibincangkan telah diuji hingga ke tahap kegagalan. Contoh-contoh skru dari sampel yang telah gagal tersebut, telah dikumpul dan ditunjukkan oleh Gambar 4.8 di bawah.



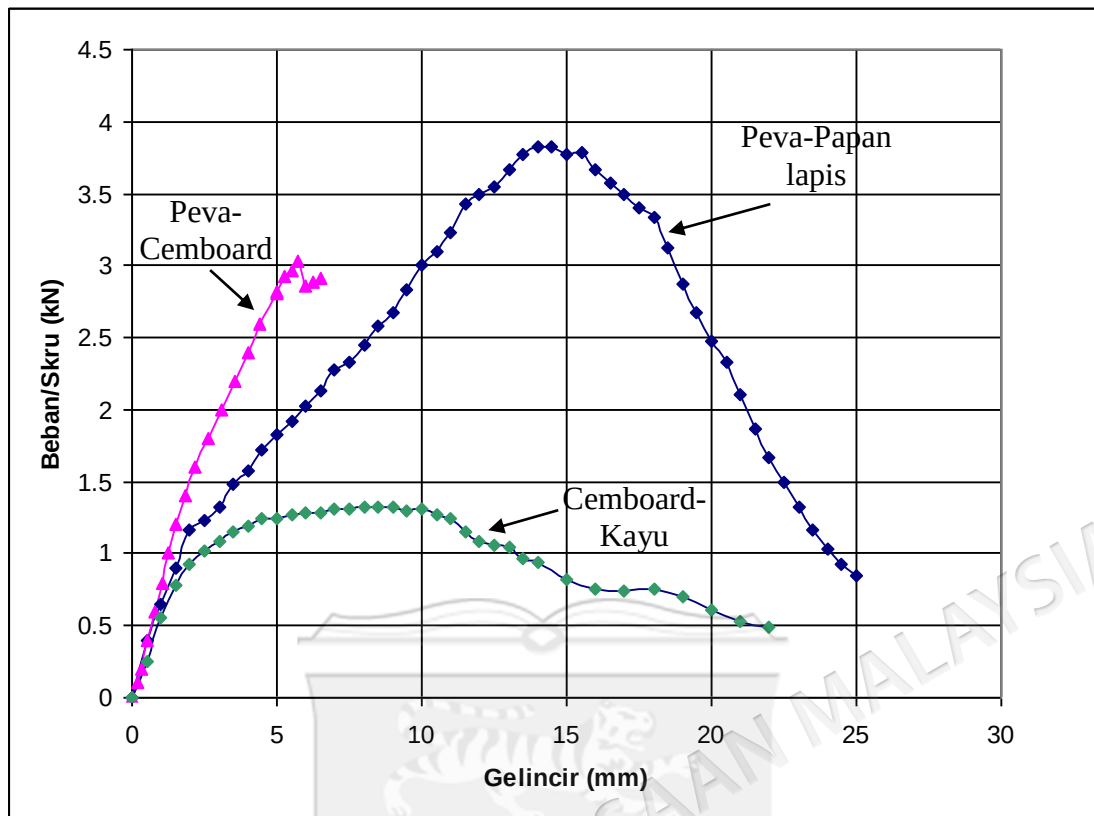
Gambar 4.8 Keadaan skru setelah kegagalan dari sampel (A) Peva-Cemboard (B) Cemboard-Kayu (C) Peva-Papan lapis

Jenis kegagalan skru adalah bergantung kepada gabungan kepingan keluli berprofil dan papan kering yang digunakan. Kesemua skru dari sampel Peva-Cemboard patah pada bahagian berhampiran kepala skru. Manakala skru dari sampel Cemboard-kayu melengkung atau patah pada bahagian tengah. Skru dari sampel Peva-Papan lapis pula sama ada kelihatan kekal seperti biasa atau melengkung sedikit.

4.7 KEPUTUSAN, ANALISA DAN PERBINCANGAN

Keputusan ujikaji yang didapati adalah berupa nilai pesongan pada tahap beban tertentu. Bacaan purata dua tolok pesongan diambil sebagai bacaan gelincir yang merujuk kepada beban yang dikenakan. Seterusnya nilai gelincir ini digunakan untuk melakar graf beban melawan gelincir. Nilai kekukuhan didapati dari kecerunan awal graf sampel masing-masing. Rajah 4.5 menunjukkan graf yang didapati manakala Jadual 4.2 menunjukkan perbandingan nilai kekukuhan sampel-sampel yang diuji.

Kelakuan sampel pada tahap awal ujikaji, iaitu sehingga beban/skru bernilai 0.6 kN/skru adalah tidak jauh berbeza di antara satu sama lain dan ini dibuktikan dengan nilai kekukuhan masing-masing di mana Peva-Cemboard mempunyai nilai kekukuhan tertinggi iaitu 0.77 kN/mm, diikuti oleh Peva-Papan lapis dan Cemboard-Kayu, masing-masing bernilai 0.61 kN/mm dan 0.53 kN/mm.



Rajah 4.5 Graf perbandingan sampel-sampel ujian tolak keluar.

Jadual 4.2 Nilai kekukuhan dan beban maksima sampel ujian tolak-keluar

Sampel	Kekukuhan (kN/mm)	Beban Muktamad (kN)
Peva-Cemboard	0.77	3.13
Peva-Papan lapis	0.61	3.82
Cemboard-Kayu	0.53	1.33

Walau bagaimanapun, prestasi ketiga-tiga sampel pada beban yang lebih tinggi adalah sangat berbeza. Graf sampel Peva-Cemboard telah mengekalkan kecerunan awalnya sehingga ke tahap beban 1 kN/skru, kemudian menurun sedikit sehingga beban mencecah 3 kN/skru, menurun pula secara mendadak sebelum gagal iaitu gambaran perlakuan yang rapuh. Sebaliknya, kecerunan sampel Peva-Papan lapis pula berkurangan setelah melepasi beban 1.2 kN/skru, namun mampu menanggung beban muktamad yang tertinggi di antara semua sampel. Kemampuan menanggung beban juga berkurangan secara beransur-ansur iaitu memperlihatkan satu perlakuan mulur yang ketara. Sampel Cemboard-Kayu pula mempunyai nilai kekukuhan dan beban

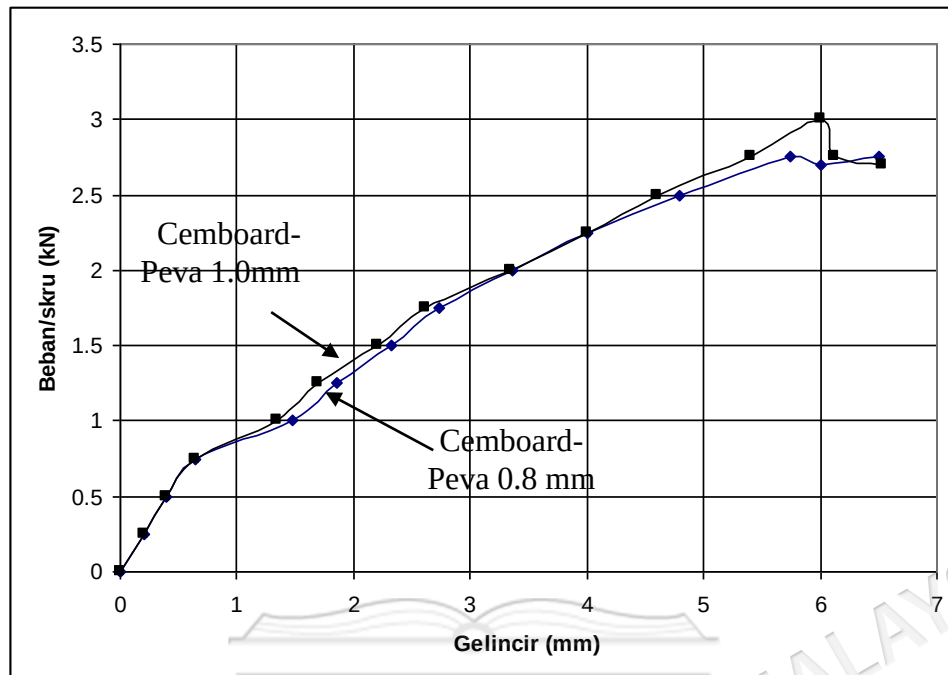
muktamad yang paling rendah di antara semua sampel. Beban muktamadnya hanyalah 42% daripada sampel Peva-Cemboard dan 35% daripada sampel Peva-Papan lapis. Tanpa kehadiran bahan yang lebih kukuh seperti kepingan keluli, gabungan Cemboard dan kayu masih mengekalkan perlakuan yang mulur tetapi pada beban yang jauh lebih rendah.

Bahagian seterusnya akan membincangkan secara lebih khusus kesan-kesan ketebalan kepingan keluli, penggunaan papan kering berbeza dan gandingan kayu dan keluli- Cemboard terhadap kekukuhan dan beban muktamad sampel ujikaji.

4.7.1 Kesan Ketebalan Kepingan Keluli

Rajah 4.6 menunjukkan graf gelincir melawan beban sampel ujian tolak keluar yang menggunakan ketebalan kepingan keluli berprofil yang berbeza. Pada awal pembebanan, kelakuan kedua-dua sampel adalah hampir serupa, namun pada beban selepas 1.0 kN/skru, sampel yang menggunakan kepingan keluli berprofil 1.0 mm didapati mempunyai kecerunan yang lebih tinggi sedikit dari kepingan keluli berprofil 0.8 mm. Keadaan ini berterusan hinggalah sampel menemui kegagalan. Sampel berketebalan 1.0 mm turut mencatatkan nilai beban muktamad yang lebih tinggi iaitu 3.0 kN/skru berbanding 2.75 kN/skru untuk sampel berketebalan 0.8 mm iaitu peningkatan sebanyak 9.1 %.

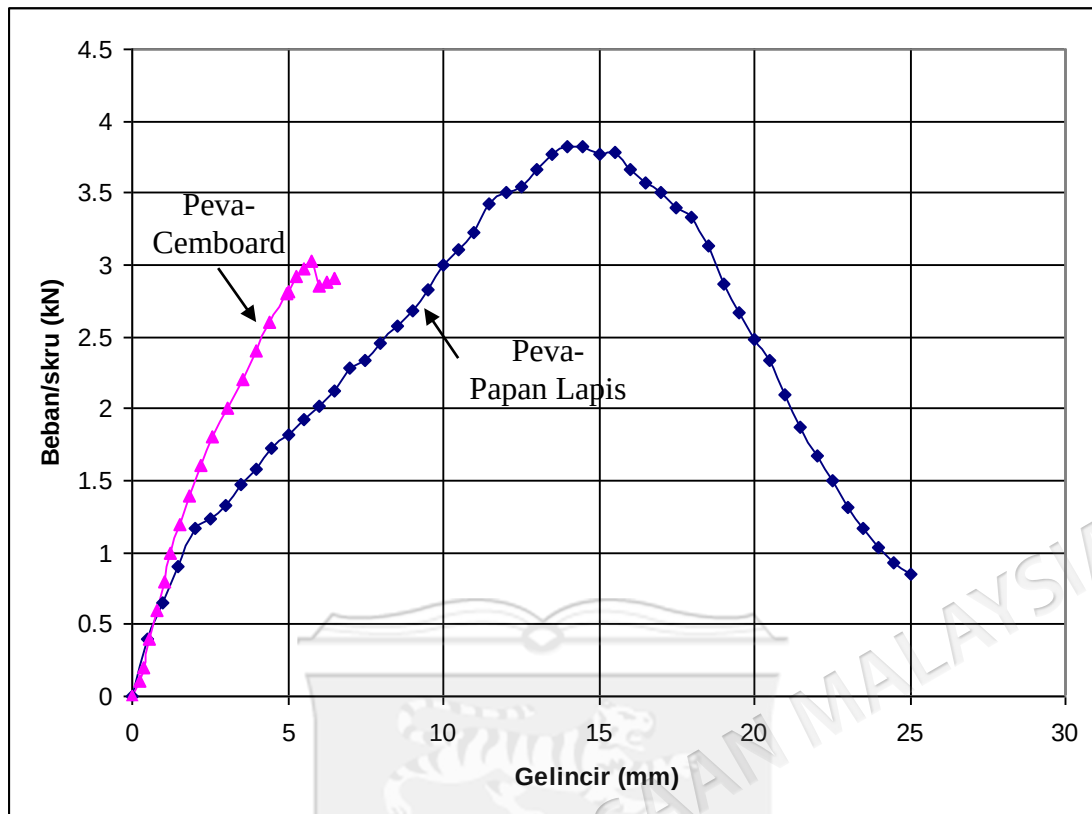
Kelakuan kedua-dua sampel ini tidak menunjukkan perbezaan yang agak ketara kerana perbezaan ketebalannya yang kecil iaitu 0.2 mm. Ini disebabkan kepingan keluli berprofil Peva 45 hanya dikeluarkan di dalam dua ketebalan sahaja, iaitu 0.8 mm dan 1.0 mm. Perbezaan prestasi yang lebih jelas mungkin dapat dilihat pada perbezaan ketebalan kepingan keluli berprofil yang lebih besar kerana wujudnya lebih banyak perbezaan tegasan galas di antaranya dan aci skru.



Rajah 4.6 Perbandingan graf sampel Cemboard yang diskru pada kepingan keluli Peva yang berlainan ketebalan.

4.7.2 Kesan Papan Kering Berbeza

Rajah 4.7 menunjukkan graf beban/skru melawan gelincir sampel kepingan keluli berprofil yang diskrukan kepada dua jenis papan kering iaitu Cemboard dan papan lapis. Pada awal pembebanan hingga ke tahap 0.6 kN/skru, kedua-dua sampel menunjukkan kelakuan yang setara, dan secara keseluruhannya, sampel Peva-Cemboard menunjukkan kelakuan yang rapuh manakala sampel Peva-papan lapis menunjukkan kelakuan yang mulur. Ini disebabkan oleh sifat rapuh Cemboard yang didapati kurang memperlahankan daya ricih, mengizinkan skru untuk condong dan menyerpih menerusinya sebelum skru patah berdekatan dengan bahagian kepala. Cemboard pada asasnya dibuat daripada serpihan kayu getah yang dicampur dengan simen dan mempunyai nilai modulus keanjalan sebanyak 4500 N/mm^2 . Manakala papan lapis, mempunyai nilai modulus keanjalan yang lebih besar iaitu 7500 N/mm^2 dan faktor ini telah membenarkan sampel Peva-Papan lapis untuk mencapai beban muktamad yang 22 % lebih tinggi.



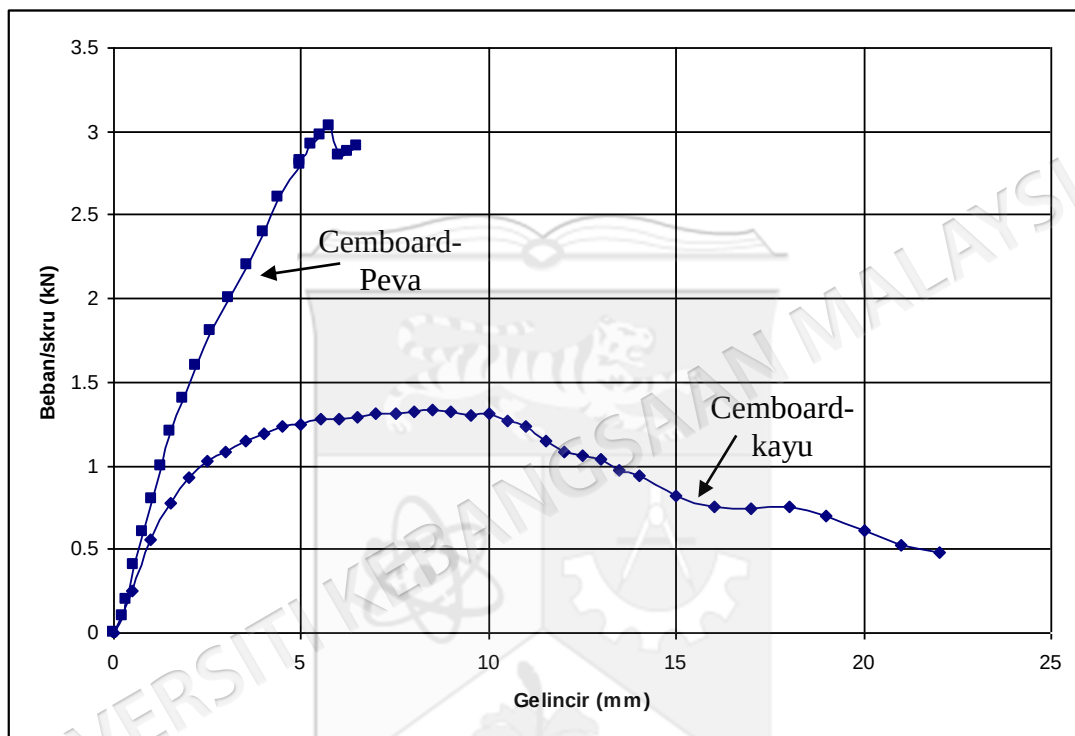
Rajah 4.7 Graf perbezaan kelakuan sampel kepingan keluli Peva yang diskru pada papan kering Cemboard berbanding Papan lapis

Papan lapis adalah suatu produk yang didapati dengan cara menyusun bersilang lembaran kayu venir yang diikat dengan perekat. Grafnya yang melengkung ke bawah membuktikan pembuatan unik ini berupaya memberi rintangan terhadap skru dengan memanjangkan proses penyondongan skru dan penyerpihan papan lapis hingga menghasilkan perlakuan keseluruhan yang mulur. Gentian kayu papan lapisnya masih dapat mencengkam skru dan melambatkan kebolsan memandangkan kayu adalah bahan yang selalunya bersifat sederhana mulur.

4.7.3 Kesan Gandingan Kepada Cemboard

Rajah 4.8 menunjukkan graf beban/skru berbanding gelincir papan Cemboard yang digandingkan dengan kepingan keluli Peva dan jalur kayu. Tanpa kehadiran anasir yang kukuh seperti kepingan keluli, gandingan sampel Cemboard-kayu memperlihatkan kelakuan yang mulur tapi pada tahap beban yang jauh lebih rendah berbanding sampel Cemboard-Peva. Gandingan Cemboard-Kayu juga mempunyai

nilai beban muktamad yang lebih rendah iaitu kurang separuh dari nilai gandingan dengan kepingan keluli. Memandangkan skru terbenam secara keseluruhan di dalam kayu dan Cemboard dan kedua-dua bahan adalah rapuh, kegelinciran berlaku secara agak seimbang dan beransur-ansur hingga dapat mencecah nilai yang tinggi. Urat-urat kayu dan campuran serpihan kayu getah dan simen Cemboard berupaya memperlambatkan pergerakan mencondong skru di bawah pembebanan.



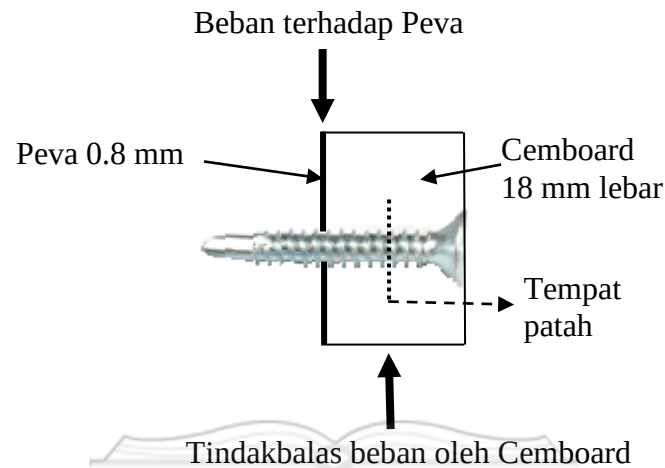
Rajah 4.8 Perbezaan kelakuan sampel kepingan Cemboard yang diskrukan pada kepingan keluli Peva (0.8 mm) berbanding kayu

Huraian lanjut tentang kelakuan ini akan dapat dilihat di dalam bahagian seterusnya iaitu, aspek kegagalan skru.

4.7.4 Aspek Kegagalan Skru

Kegagalan skru bergantung kepada perbezaan sifat dan ketebalan Peva, Cemboard dan kayu jalur Meranti serta kedudukan skru di dalamnya. Rajah 4.9 menunjukkan keratan rentas kedudukan skru di dalam kepingan keluli berprofil Peva dan papan kering

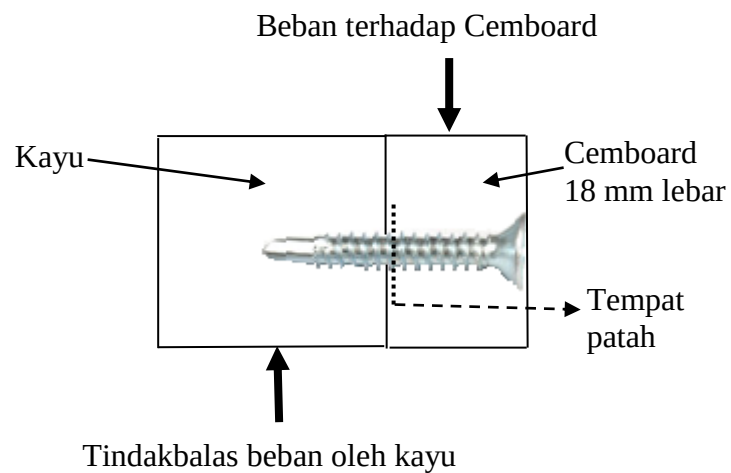
Cemboard. Apabila beban bertentangan itu dikenakan, berlaku gerakan gelincir di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering.



Rajah 4.9 Kedudukan skru di dalam Cemboard-Peva.

Sifat kepingan keluli yang agak mulur dan bahan Cemboard yang rapuh dan boleh menyerpih, membenarkan skru bergerak menyondong, selari dengan arah beban. Namun pergerakan ini dibatasi oleh alur skru yang terlekat di kepingan keluli dan akhirnya, skru patah di pertengahan bahagian skru yang terbenam di dalam Cemboard, iaitu tempat tumpuan tegasan lentur dan kelemahan paling ketara.

Berbeza keadaannya dengan sampel Cemboard-kayu, kepatahan skru berlaku di tempat pertemuan kayu bongkah dan Cemboard seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 4.10. Tumpuan tegasan ricih yang besar terbentuk di tempat kegelinciran dua bahan ini berlaku dan skru patah apabila tegasan ini menyamai nilai tegasan patah skru.



Rajah 4.10 Kedudukan skru di dalam sampel Cemboard dan kayu.

4.8 PERBANDINGAN NILAI KEKUKUHAN SKRU PENYAMBUNG DAN PANEL LANTAI

Kekukuhan skru penyambung yang didapati di dalam ujikaji tolak keluar kini dibandingkan dengan kekukuhan panel yang didapati dari ujikaji lenturan panel dalam Bab III dan dipaparkan di dalam Jadual 4.3 di bawah.

Jadual 4.3 Perbandingan nilai kekukuhan skru penyambung dan panel

Sampel	Kekukuhan skru penyambung (kN/mm)	Kekukuhan panel lantai (kNm ² /m)
Peva-Cemboard	0.77	108.22
Peva-Papan Lapis	0.61	100.92
Cemboard-Kayu	0.53	19.22

Dapat disimpulkan bahawa nilai kekukuhan skru penyambung adalah berkait dengan nilai kekukuhan panel masing-masing. Kekukuhan skru penyambung yang tinggi didapati akan menghasilkan kekukuhan panel lantai yang juga tinggi. Walau bagaimanapun, nilai kekukuhan panel lantai untuk sampel Cemboard-Kayu adalah sangat rendah dan kurang sesuai dikaitkan dengan nilai kekukuhan skru

penyambungannya kerana sambungan kedua bahan ini hanyalah pada dua jalur kayu di kedua tepi panel. Manakala di tengah-tengah panel pula, hanya terdapat kepingan Cemboard sahaja. Namun, pada dua sampel yang lain, penyambungan ricih berlaku pada sebahagian besar panel.

Kesimpulan ini berlainan dari hasil ujikaji Ahmed (1996, 1999) yang mendapati nilai kekukuhan skru penyambung yang berbeza telah menghasilkan nilai kekukuhan panel yang hampir sama seperti yang ditunjukkan oleh Jadual 4.4 di bawah.

Jadual 4.4 Perbandingan kekukuhan

Penyelidik	Bahan Komponen	Kekukuhan skru penyambung (kN/mm)	Kekukuhan panel lantai (kNm ² /m)
Norhaiza 2014	Peva45 0.8 mm Cemboard 18 mm	0.77	108.22
Norhaiza 2014	Peva45 0.8 mm Papan lapis 18 mm	0.61	100.92
Ahmed 1996	Bondek II 1.0 mm Cemboard 16 mm	0.625	141
Ahmed 1996	Bondek II 1.0 mm Papan lapis 18 mm	0.73	142

Namun kajian penulis memberikan keputusan yang dijangkakan kerana skru-skru penyambunglah yang memindahkan beban ricih di antara lapisan papan kering dan kepingan keluli berprofil dan kekukuhan skru penyambung ini tentunya memberi kesan kepada kekukuhan panel lantai.

4.9 KESIMPULAN

Bab ini telah membincangkan tentang ujian tolak keluar yang dijalankan di makmal. Ia dimulakan dengan keterangan ringkas akan kepentingan ujian tersebut dan disusuli dengan penjelasan terhadap sampel-sampel ujikaji, kaedah ujian dan seterusnya

keputusan dan analisa ujikaji. Kesan beberapa kajian parametrik juga turut dibincangkan.

Rumusan daripada ujikaji tolak keluar ini adalah seperti berikut;

- Sampel Peva-Cemboard mempunyai nilai kekukuhan (0.77 kN/mm) yang lebih tinggi iaitu 26% berbanding sampel Peva-Papan lapis (0.61 kN/mm) dan 45% berbanding sampel Cemboard-kayu (0.53 kN/mm).
- Sampel Peva-Papan lapis mempunyai nilai beban muktamad (3.82 kN) yang lebih tinggi iaitu 22% berbanding sampel Peva-Cemboard (3.13 kN) dan 187% berbanding sampel Cemboard-kayu (1.33 kN).
- Sampel Peva-Cemboard memperlihatkan kelakuan yang rapuh manakala sampel Peva-Papan lapis dan Cemboard-kayu adalah lebih mulur.
- Jenis kegagalan skru adalah bergantung kepada gabungan jenis kepingan keluli berprofil dan papan kering yang digunakan.
- Kepingan keluli yang lebih tebal menghasilkan kecerunan graf beban melawan gelincir sampel yang lebih tinggi sedikit sahaja secara purata. Peningkatan ketebalan sebanyak 0.2 mm telah menambah beban muktamad sebanyak 9.1%.
- Penggunaan papan kering Cemboard menghasilkan kelakuan sampel yang rapuh manakala papan lapis pula adalah lebih mulur disebabkan oleh sifat struktur bahan masing-masing.
- Tanpa kehadiran unsur yang kukuh seperti kepingan keluli, gandingan Cemboard-kayu memperlihatkan kelakuan yang mulur tapi pada tahap beban yang jauh lebih rendah berbanding Cemboard-Peva.
- Kekukuhan skru penyambung berkait rapat dengan kekukuhan panel lantai yang didapati menerusi ujian lenturan. Panel lantai yang mempunyai kekukuhan yang tinggi turut mempunyai kekukuhan skru penyambung yang tinggi.

Akhir sekali, nilai kekukuhan yang didapati melalui ujikaji tolak keluar daripada bab ini akan digunakan sebagai masukan nilai kekukuhan skru penyambung dalam analisa permodelan unsur terhingga di dalam bab seterusnya iaitu Bab V.

BAB V

PERMODELAN UNSUR TERHINGGA

5.1 PENGENALAN

Bab IV sebelumnya telah menyentuh tentang ujikaji tolak keluar yang telah menghasilkan nilai kekukuhan penyambung skru. Nilai kekukuhan ini akan digunakan di dalam analisa permodelan unsur terhingga di dalam Bab V ini.

Permodelan unsur terhingga adalah satu kaedah alternatif yang kini sudah meluas digunakan di mana sampel-sampel ujikaji dapat dimodel dan dianalisa dengan lebih mendalam tanpa melibatkan kos, masa, ruang dan tenaga yang tinggi. Bab V ini dimulakan dengan membincang perihal permodelan unsur terhingga menggunakan perisian LUSAS versi 13.6 dan penggunaannya di dalam penyelidikan panel PSSDB. Penelitian khusus diberikan terhadap aspek pemilihan unsur dalam memodelkan komponen-komponen panel PSSDB. Lenturan yang diramalkan model ini akan dibandingkan dengan sebahagian keputusan ujikaji lenturan dari Bab III. Model juga diperbaiki hingga keputusannya menghampiri keputusan ujikaji tersebut. Setelah itu, model tersebut digunakan untuk melakukan kajian parametrik dan seterusnya beberapa jadual ramalan beban melawan rentang, ketebalan unsur kepingan keluli berprofil dan papan kering dihasilkan. Akhir sekali satu jadual rentang melawan beban maksima diberikan berdasarkan kepada gabungan beberapa unsur panel lantai PSSDB yang sering digunakan.

5.2 PRA-PERMODELAN

Kaedah unsur terhingga adalah kaedah penghampiran di mana keseimbangan dan /atau keadaan keserasian (*compatibility conditions*) boleh dianggarkan (Sarawit et al. 2003). Menurut Bakker & Pekoz (2003), permodelan struktur sebenarnya memerlukan kefahaman yang mendalam terhadap kelakuan sesuatu struktur untuk mengelakkan kesilapan dalam mengunggulkan struktur sebenar, beban dan sokongan di dalam sebuah model mekanikal. Tambah beliau lagi, matlamat permodelan bukanlah untuk menjelaskan keadaan sebenar setepat yang mungkin tetapi untuk mencari model yang paling ringkas yang dapat menjelaskan keadaan sebenar secara mencukupi.

Permodelan panel PSSDB yang pernah dijalankan para penyelidik terdahulu telah dibincangkan di Bab II bahagian 2.4.4. Permodelan tesis ini telah dibuat berdasarkan kepada penambahbaikan model penyelidik terdahulu menerusi beberapa ujian perbandingan pemilihan unsur, jenis pembebanan dan jarak di antara lapisan kepingan keluli dan papan kering seperti yang akan dibincangkan di dalam bahagian seterusnya.

5.2.1 Pemilihan Unsur

Permodelan komponen-komponen panel PSSDB iaitu kepingan keluli berprofil, papan kering dan skru penyambung bermula dengan langkah pemilihan unsur dari himpunan yang disediakan oleh perisian LUSAS seperti yang ditunjukkan oleh Jadual 5.1.

Unsur-unsur yang boleh dipertimbangkan untuk memodel panel PSSDB adalah unsur-unsur kelompang, plat dan sambungan. Unsur plat digunakan untuk memodel struktur rata yang mana ubahbentuk utamanya boleh dianggap sebagai lenturan. LUSAS mempunyai unsur plat nipis, tebal, berbentuk segitiga dan segiempat. Unsur plat berusuk juga disediakan untuk memodel struktur dua dimensi yang kelakuannya berbentuk lenturan dan selaput. Unsur kelompang pula digunakan untuk memodel struktur tiga dimensi yang mana kelakuannya bergantung kepada kesan lenturan dan selaput. Sama seperti plat, LUSAS turut juga menyediakan

kelompang rata dan melengkung yang berbentuk segitiga dan segiempat, yang nipis dan tebal.

Unsur sambungan pula digunakan untuk memodel sambungan boleh lentur di antara unsur-unsur. LUSAS menyediakan beberapa pilihan unsur sambungan yang menyamai kebebasan nod unsur yang disambungkan. Unsur sambungan boleh juga digunakan untuk memodel titik jisim, engsel elasto-plastik atau sentuhan unsur yang licin atau bergeseran (LUSAS 2003).

Jadual 5.1 Beberapa jenis unsur pilihan dalam LUSAS

Jenis Unsur	Nama unsur	Kod Lusas
Plat	<i>Isoflex</i>	TF3, QF4
Plat	<i>Mindlin</i>	TTF6, QTF8
Plat	Berusuk	TRP3, RPI4
Kelompang	Simetri sepaksi	BXS3
Kelompang	Nipis rata	TS3, QSI4
Kelompang	Kotak rata	SHI4
Kelompang	<i>Semiloof</i>	TSL6, QSL8
Kelompang	Tebal	TTS3, TTS6, QTS4, QTS8
Sambungan	2-D	JNT3, JPH3, JF3, JRP3, JAX3, JXS3
Sambungan	3-D	JNT4, JL43, JSH4, JL46, JSL4

a. Kepingan keluli berprofil dan papan kering

Unsur yang sering dipilih untuk memodelkan kepingan keluli berprofil dan papan kering adalah unsur kelompang nipis rata QSI4 atau *semiloof* QSL8. Unsur-unsur kelompang digunakan untuk memodelkan struktur tiga dimensi yang kelakumannya

bergantung kepada kedua-dua kesan lenturan dan selaput. Kelompok nipis rata sesuai digunakan untuk struktur kelompok nipis yang rata atau melengkung yang mempamerkan ubah bentuk ricih melintang yang boleh diabaikan. Manakala unsur kelompok nipis *semiloof* adalah untuk analisis geometri kelompok yang dilengkung secara sembarangan. Kelompok tebal pula sama sifatnya seperti kedua di atas namun ia turut mengambilkira ubah bentuk ricih (LUSAS 2003).

Perbandingan unsur kelompok nipis, *semiloof* atau tebal pernah dibuat oleh Hanizam (2008). Walau bagaimanapun, komponen panel PSSDB yang digunakan adalah berbeza dan jauh lebih nipis dari apa yang digunakan di dalam penyelidikan tesis ini. Dari itu perbandingan baru telah dibuat di antara unsur kelompok nipis *semiloof* yang diwakili oleh QSL8 dengan kelompok tebal QTS4, terhadap dua jenis panel yang telah diuji di makmal. Perbandingan ini dibuat menggunakan 4,031 unsur untuk kepingan keluli berprofil dan 8,891 unsur untuk kepingan papan dan berjejaring dua. Pemilihan ini berdasarkan ujian penumpuan yang dibincangkan pada Bahagian 5.4. Keputusan perbandingan nilai leturan tengah panel dapat dilihat di dalam Jadual 5.2.

Jadual 5.2 Perbandingan nilai lenturan tengah panel sampel

Jenis elemen	Jenis sampel	Ujikaji (mm)	Analisa Unsur Terhingga (mm)	% Perbezaan
Kelompok nipis <i>semiloof</i>	Peva-Cemboard	16	17.25	+7.8
Kelompok nipis <i>semiloof</i>	Peva-Papan Lapis	17.2	19.10	+11.05
Kelompok tebal	Peva-Cemboard	16	17.3	+8.12
Kelompok tebal	Peva-Papan Lapis	17.2	19.0	+10.5

Dari keputusan di atas, penggunaan kedua-dua unsur memperlihatkan analisa unsur terhingga telah memberikan nilai lenturan yang lebih besar berbanding ujikaji. Ini bermakna analisa unsur terhingga telah menganggar kurang (*underestimate*) kekukuhan panel tetapi masih di dalam lingkungan yang rendah. Penggunaan unsur kelompang nipis memberikan perbezaan yang paling sedikit iaitu +7.8% di antara keputusan ujikaji dan analisa unsur terhingga untuk sampel Peva-Cemboard. Namun untuk sampel Peva-Papan lapis, penggunaan unsur kelompang tebal didapati lebih baik dengan perbezaan +10.5% berbanding unsur kelompang nipis iaitu +11.3%. Walau bagaimanapun, perbezaan dua unsur ini tidaklah ketara, maka unsur kelompang nipis dengan keseluruhan perbezaan yang lebih baik, akan digunakan dalam memodelkan kedua-dua komponen lantai PSSDB.

b. Skru penyambung

Unsur penyambung digunakan untuk memodelkan penyambungan boleh lentur di antara unsur-unsur LUSAS yang lain. Ia mengandungi pelbagai jenis unsur penyambung yang direkabentuk untuk menyamai kebebasan nod unsur yang berkenaan (LUSAS 2003). Unsur untuk skru penyambung yang serasi (*compatible*) dengan unsur kelompang nipis di dalam perisian LUSAS adalah JL43. Manakala unsur penyambung yang serasi dengan unsur kelompang tebal adalah JSH4.

5.2.2 Jenis pembebanan

Pembebanan yang akan digunakan adalah pembebanan seragam sebagaimana yang disarankan oleh BS 5950: Bahagian 6 :1995, Seksyen 7.2.3. Pembebanan seragam adalah mudah untuk dimodelkan di dalam mana-mana perisian unsur terhingga. Namun adalah menjadi satu cabaran untuk menghasilkan pembebanan yang seragam semasa ujikaji. Antara kaedah yang pernah dilaksanakan adalah menerusi penggunaan beban pemberat selinder keluli oleh Harsoyo (2004) dan pasir oleh Hanizam (2008). Namun pembebanan melalui kaedah ini melibatkan penggunaan pemberat selinder keluli atau pasir yang banyak, yang menjadikan ia kurang praktikal dan hanya sesuai untuk beban yang rendah sahaja.

Kaedah yang lebih berkesan adalah dengan menggunakan beg udara seperti yang dilakukan di dalam ujikaji Wright et al. (1989). Menerusi kaedah ini, panel diletakkan secara terbalik di atas beg udara yang bertindakbalas terhadap kerangka yang kukuh. Tekanan di dalam beg udara tersebut boleh dikawal dan ia disukat menggunakan manometer raksa. Tekanan yang semakin bertambah di dalam beg udara akan mengakibatkan panel melentur ke atas dan ini menyerupai situasi ia dikenakan beban luaran yang seragam. Walau bagaimanapun kemudahan beg udara ini tidak dapat disediakan di makmal penyelidikan tesis ini.

Sebaliknya satu kaedah simulasi yang digunapakai adalah penggunaan susunan "*whiffle tree*". Kaedah ini mengenakan beban ke atas sebilangan keratan geronggang besi segiempat yang akhirnya menekan panel dalam empat garis menumpu dalam jarak yang tertentu. Kaedah ini telah dihuraikan secara terperinci di dalam Bab III, bahagian 3.5.

Keberkesanan kedua-dua jenis beban, iaitu beban seragam dan juga beban empat garis menumpu kepada nilai lenturan, akan diuji di dalam permodelan unsur terhingga. Keputusan perbandingan ini boleh dilihat di dalam Jadual 5.3 di bawah.

Jadual 5.3 Perbandingan nilai lenturan pembebanan seragam dan beban empat garis menumpu.

Jenis beban	Jenis sampel	Ujikaji (mm)	Unsur Terhingga (mm)	% Perbezaan
Seragam	Peva-Cemboard	16	17.25	+7.8
Seragam	Peva-Papan Lapis	17.2	19.15	+11.3
Empat garis menumpu	Peva-Cemboard	16	18.8	+17.5
Empat garis menumpu	Peva-Papan Lapis	17.2	20.9	+21.5

Dari keputusan di atas, pembebanan seragam didapati menghasilkan nilai lenturan yang lebih hampir kepada nilai lenturan ujikaji dari pembebanan empat garis menumpu. Kedua-dua jenis panel mempunyai peratus perbezaan yang lebih kecil di bawah pembebanan seragam berbanding empat garis menumpu. Dari itu permodelan lantai kelak akan menggunakan kaedah pembebanan seragam.

5.2.3 Kesan Jarak Di Antara Kepingan Keluli Berprofil dan Papan Kering

Jarak di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering adalah ruang yang wujud setelah kedua komponen utama panel PSSDB ini diskru bersama. Di dalam LUSAS, permodelan dibuat dengan melakar papan kering berada di atas kepingan keluli berprofil tetapi dijarakkan di antara keduanya. Setelah itu, arahan diberi agar kedua-duanya dirapatkan di dalam jarak tertentu. Ini adalah untuk memodelkan keadaan di makmal di mana skru sebenarnya tidaklah mencantumkan kepingan keluli berprofil dan papan kering dengan rapat kerana masih terdapat ruang di antaranya disebabkan alur skru yang menyending dan tidak mendatar sepenuhnya. Ia juga boleh disebabkan oleh perubahan lembapan papan kering yang mengurangkan sedikit ketebalan papan kering seperti yang dinyatakan oleh Agus (2005), di mana jarak ini dianggarkan sebanyak 0.23 mm. Di dalam penyelidikan ini jarak yang telah dipilih adalah 0.01 mm, 0.1 mm, 1.0 mm. Keputusannya mendapati ketiga-tiga jarak ini tidak memberi sebarang perubahan terhadap nilai lenturan panel. Dari itu, kesannya boleh diabaikan dan kepingan keluli berprofil dan papan kering akan dimodelkan secara rapat tanpa ada ruang di antara keduanya di dalam penyelidikan ini.

5.3 PERMODELAN

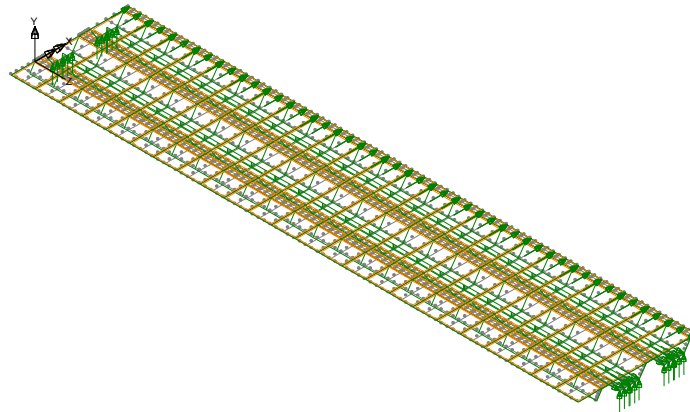
Berdasarkan kepada dapatan beberapa kajian yang dijalankan di atas, permodelan sampel akhirnya telah dibuat dan ciri-ciri utamanya dinyatakan pada bahagian berikut.

5.3.1 Unsur

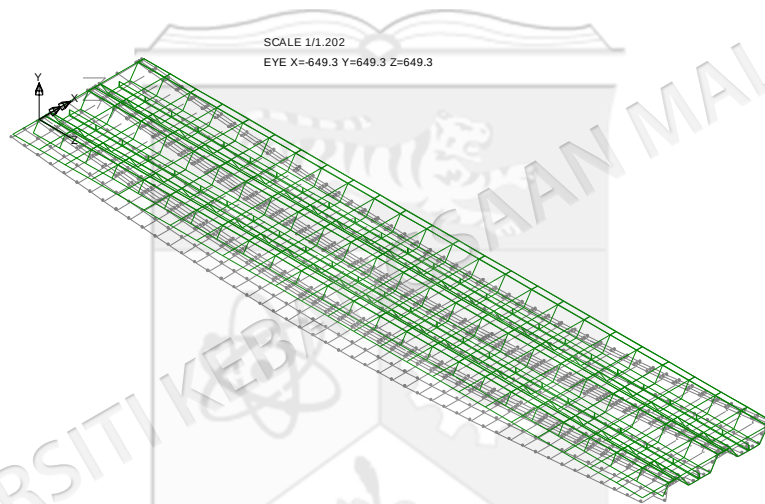
Sepertimana yang dibincangkan di dalam Bahagian 5.2.1 di atas, unsur yang dipilih untuk memodelkan kedua-dua papan kering dan kepingan keluli berprofil adalah unsur kelompang nipis QSL8. Penggunaan kelompang ini adalah untuk komponen papan kering Cemboard berketebalan 18 mm dan kepingan keluli berprofil Peva berketebalan 0.8 mm. Unsur penyambung pula adalah JL43 yang serasi dengan QSL8. Nilai kekukuhan 770 N/mm (panel Peva-Cemboard) dan 610 N/mm (panel Peva-papan lapis) yang didapati dari ujian tolak keluar dimasukkan sebagai nilai kekukuhan unsur penyambung di paksi X dan Z manakala nilai yang besar iaitu 10^3 N/mm dimasukkan untuk paksi menegak Y. Unsur penyambung JL43 ini adalah model bagi skru penyambung. Jarak di antara skru pula adalah 200 mm. Di pertengahan jarak antara dua skru, diletakkan unsur penyambung *dummy*. Unsur penyambung *dummy* ini diberi nilai kekukuhan yang sangat kecil iaitu 10^{-3} N/mm di paksi X dan Z manakala nilai yang besar iaitu 10^3 N/mm dimasukkan untuk paksi menegak Y.

5.3.2 Keadaan Sempadan, Simetri dan Beban

Keadaan sempadan adalah mengikut ujikaji di makmal iaitu sokongan mudah dan ia dimodelkan menerusi penggunaan aplikasi pin dan rola LUSAS di hujung panel. Memandangkan wujud keadaan simetri di arah memanjang panel, maka hanya separuh panel memanjang sahaja yang digunakan untuk menjimatkan masa memproses dan ingatan komputer. Keadaan ini dikecapi melalui penggunaan aplikasi rola di sepanjang tebing tengah panel. Kesemua pemilihan ini ditunjukkan di dalam permodelan LUSAS dalam Rajah 5.1 di bawah.



(a) Model lantai dengan sokongan mudah.



(b) Model di ketika melentur di bawah bebanan.

Rajah 5.1 Model unsur terHINGGA panel.

5.4 UJIAN PENUMPUAN

Ujian penumpuan di dalam analisis unsur terHINGGA diperlukan bagi menghasilkan satu keputusan yang tepat tanpa terlalu membazirkan ingatan komputer dan masa penyelesaiannya. Ketepatan keputusan yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh nisbah aspek setiap elemen (Hanizam 2008). Jejaring 1 bermaksud terdapat satu pembahagian dalam arah x dan y manakala, jejaring 2 pula bermaksud dua pembahagian dalam arah x dan y dan begitu pula seterusnya hingga ke jejaring 5. Di

dalam Jadual 5.4, nilai pesongan maksima pada jejaring 1 dan 2 adalah 17.2 mm berbanding 16.0 mm mengikut nilai yang didapati menerusi ujikaji. Ini adalah merupakan perbezaan sebanyak 7.5 %. Manakala jejaring 3 hingga 5 memberikan nilaian 17.3 mm, iaitu 8.13 % lebih dari nilai ujikaji. Jejaring 1 dan 2 juga mencatatkan masa memproses yang kurang dari 1 minit berbanding jejaring 3 hingga 5. Perbandingan terhadap masa memproses menunjukkan hubungan yang berkadar terus di antara bilangan unsur dan masa memproses.

Jadual 5.4 Jumlah unsur mengikut jejaring

Jejaring	Jumlah Unsur			Pesongan maksima (mm)	Masa Memproses (minit : saat)
	Kepingan keluli	Kepingan papan	Sambungan Skru		
1	1,663	3,623	12	17.2	00:04
2	4,031	8,891	12	17.2	00:27
3	7,935	17,615	12	17.3	01:42
4	13,375	29,795	12	17.3	04:36
5	20,351	45,431	12	17.3	10:25

Dari itu jejaring 1 dan 2 menjadi calon pilihan untuk digunakan di dalam analisa. Memandangkan jejaring 2 mempunyai jumlah unsur tiga kali ganda daripada jejaring 1 (ini dijangka boleh menambah ketepatan model) dan perbezaan masa memproses yang tidak banyak dari jejaring 1, maka jejaring 2 telah dipilih di dalam permodelan penyelidikan ini.

5.5 PENGESAHAN MODEL DENGAN DATA UJIKAJI

Jadual 5.3 sebelum ini telah membandingkan nilai lenturan tengah di antara dapatan dari ujikaji lenturan di makmal dan ramalan model unsur terhingga. Perbezaan yang didapati adalah ramalan unsur terhingga menghasilkan perbezaan +7.8% dengan keputusan ujikaji. Berdasarkan model unsur terhingga ini, nilai beban (w) dimasukkan untuk mendapat nilai ramalan lenturan (δ). Kedua-dua nilai ini dimasukkan ke dalam Persamaan 5.1 untuk mendapatkan nilai kekukuhan EI pada rentang tertentu (L).

$$\delta = \frac{5 w L^4}{384 EI} \quad (5.1)$$

Menerusi kaedah ini, nilai EI permodelan unsur terHINGGA didapati dan dibandingkan dengan nilai EI ujikaji panel seperti di dalam Jadual 5.5.

Jadual 5.5 Perbandingan nilai kekukuhan (EI)

Sampel	EI ujikaji (kNm ² /m)	EI permodelan unsur terHINGGA (kNm ² /m)
Peva-Cemboard	108.22	100.17
Peva-Papan Lapis	100.92	90.47

Didapati EI dari permodelan unsur terHINGGA berkurang sebanyak 7.4% untuk sampel Peva-Cemboard manakala ia berkurang sebanyak 10.4% bagi sampel Peva-Papan Lapis. Secara umumnya, ramalan kekukuhan permodelan unsur terHINGGA memberikan nilai yang lebih rendah sedikit dari kekukuhan sebenar.

5.6 KAJIAN PARAMETRIK

Di antara kelebihan analisa unsur terHINGGA adalah kemudahan untuk menjalankan kajian parametrik tanpa melibatkan kos, masa dan ruang yang banyak. Ramalan dapat dibuat untuk menentukan parameter-parameter yang boleh mempengaruhi keputusan ujikaji. Berdasarkan model unsur terHINGGA yang telah disahkan dengan ujikaji lenturan di makmal, beberapa kajian parametrik telah dijalankan untuk mengkaji kesan rentang, ketebalan papan kering dan kepingan keluli berprofil pada pesongan tengah rentang panel PSSDB.

5.6.1 Kesan Rentang Berbeza

Nilai beban dimasukkan ke dalam model unsur terhingga untuk mendapatkan ramalan pesongan tengah rentang. Ramalan ini dapat digunakan untuk mengetahui kesan rentang berbeza pada nilai pesongan tengah rentang untuk papan kering dan kepingan keluli berprofil tertentu. Jadual 5.6 menunjukkan ramalan pesongan tengah rentang untuk Cemboard berketebalan 18 mm dan kepingan keluli berprofil Peva berketebalan 0.8 mm. Barisan terakhir menunjukkan lenturan maksima yang dibenarkan ($L/200$) untuk setiap rentang, manakala nilai pesongan yang dibenarkan adalah nilai pesongan yang masih berada di bawah tahap had kebolehhidmatan ini.

Jadual 5.6 Ramalan pesongan tengah rentang dalam mm pada rentang berbeza

Beban (kN/m ²)	Rentang (mm)				
	2000	2500	3000	3500	4000
0.5	1.05	2.68	5.475	9.92	16.63
1.0	2.10	5.35	10.95	19.83	33.25
1.5	3.14	8.03	16.43	29.75	49.88
2.0	4.19	10.70	21.90	39.66	66.50
2.5	5.24	13.38	27.38	49.58	83.13
3.0	6.29	16.05	32.85	59.49	99.75
3.5	7.33	18.73	38.33	69.41	116.38
4.0	8.38	21.40	43.80	79.30	133.00
<i>L/200</i>	<i>10.00</i>	<i>12.50</i>	<i>15.00</i>	<i>17.50</i>	<i>20.00</i>

5.6.2 Kesan Ketebalan Kepingan Keluli Berprofil

Seterusnya, model unsur terhingga digunakan melihat kesan ketebalan kepingan keluli berprofil terhadap pesongan tengah rentang. Untuk kajian ini, panel ditetapkan pada rentang 2.4 m dan menggunakan papan kering Cemboard berketebalan 18 mm. Ketebalan kepingan keluli berprofil Peva pula adalah sebanyak lima nilai yang bermula daripada 0.8 mm hingga ke 1.2 mm. Ini merupakan julat ketebalan biasa yang dikeluarkan oleh pengilang Peva.

Ramalan pesongan tengah rentang dapat dilihat di dalam Jadual 5.7 dan nilai pesongan yang ditebalkan adalah nilai pesongan yang masih berada di bawah tahap had kebolehhidmatan.

Jadual 5.7 Ramalan pesongan tengah rentang dalam mm untuk ketebalan Peva yang berbeza

Beban (kN/m ²)	Ketebalan kepingan keluli berprofil Peva (mm)				
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.5	2.16	2.01	1.88	1.74	1.63
1.0	4.31	4.02	3.76	3.46	3.25
1.5	6.47	6.01	5.64	5.19	4.88
2.0	8.66	8.02	7.52	6.92	6.50
2.5	10.76	10.02	9.40	8.65	8.13
3.0	12.93	12.03	11.28	10.38	9.75
3.5	15.06	14.04	13.17	12.11	11.38
4.0	17.25	16.00	14.90	13.90	13.00

5.6.3 Kesan Ketebalan Papan Kering

Kesan ketebalan papan kering pula dapat dilihat pada Jadual 5.8. Di dalam kajian ini, panel ditetapkan pada rentang 2.4 m dan kepingan keluli berprofil Peva pula berketebalan 0.8 mm. Ketebalan papan kering Cemboard bertambah setiap 2.0 mm bermula dari 14 mm hingga ke 22 mm. Nombor yang ditebalkan adalah nilai pesongan yang masih berada di bawah tahap had kebolehhidmatan.

Jadual 5.8 Ramalan pesongan tengah rentang dalam mm untuk ketebalan Cemboard yang berbeza

Beban (kN/m ²)	Ketebalan papan kering Cemboard (mm)				
	14	16	18	20	22
0.5	2.40	2.28	2.16	2.04	1.92
1.0	4.79	4.55	4.31	4.08	3.84
1.5	7.19	6.83	6.47	6.11	5.76
2.0	9.58	9.10	8.63	8.15	7.68
2.5	11.98	11.38	10.78	10.19	9.59
3.0	14.37	13.63	12.94	12.23	11.51
3.5	16.77	15.92	15.09	14.26	13.43
4.0	19.15	18.20	17.25	16.30	15.35

5.7 JADUAL RENTANG MELAWAN BEBAN MAKSIMA

Bahagian sebelum ini telah menyentuh tentang permodelan unsur terhingga dan melalui model yang telah ditentusah dengan keputusan ujikaji, nilai lenturan pada komponen-komponen yang baru berjaya diramalkan. Nilai lenturan ramalan ini seterusnya digunakan untuk mencari nilai kekukuhan panel tersebut. Nilai kekukuhan pula akan digunakan untuk meramal beban maksima untuk rentang tertentu berdasarkan kepada had lenturan maksima. Pada satu-satu rentang, nilai lenturan maksima dapat dikira melalui persamaan $\text{rentang}/200$. Nilai lenturan dan rentang ini bersama-sama dengan nilai kekukuhan dimasukkan ke dalam persamaan 5.1 untuk memberikan nilai beban maksima untuk rentang tersebut.

Sebagai contoh, untuk kepingan papan kering Cemboard 18 mm dan kepingan keluli berprofil Peva 0.8 mm, kekukuhan ramalan yang didapati dari model unsur terhingga adalah $100.17 \text{ kNm}^2/\text{m}$. Pada rentang 3.5 m, lenturan maksima had kebolehhidmatan adalah $L/200$ iaitu 0.0175 m . Ini adalah nilai pesongan δ . Kesemua nilai ini dimasukkan ke dalam persamaan 5.2 iaitu persamaan 5.1 yang telah disusun semula untuk mendapatkan nilai beban maksima yang boleh ditanggung, w , di dalam kN/m^2 .

$$w = \frac{384 \delta EI}{5 L^4} \quad (5.2)$$

Berdasarkan kaedah yang sama, jadual yang mempamerkan hubungan rentang berbanding beban dapat dihasilkan. Jadual 5.9, 5.10, 5.11 dan 5.12 adalah jadual-jadual yang meramalkan beban maksima yang dapat ditanggung kombinasi tertentu kepingan keluli berprofil Peva dengan kepingan papan kering Cemboard dan papan lapis.

Jadual 5.9 Beban maksima panel Cemboard 18 mm dan Peva 0.8 atau 1.0 mm

Rentang (m)	Beban Maksima (kN/m ²)	
	Cemboard 18 mm dan Peva 0.8 mm	Cemboard 18 mm dan Peva 1.0 mm
3.5	0.897	1.039
3.4	0.979	1.133
3.3	1.070	1.239
3.2	1.174	1.359
3.1	1.291	1.495
3.0	1.425	1.649
2.9	1.577	1.826
2.8	1.752	2.029
2.7	1.954	2.262
2.6	2.189	2.534
2.5	2.462	2.850
2.4	2.783	3.221
2.3	3.161	3.660
2.2	3.612	4.182
2.1	4.153	4.809
2.0	4.808	5.567

Jadual 5.10 Beban maksima panel Cemboard 16 mm dan Peva 0.8 mm atau 1.0 mm

Rentang (m)	Beban Maksima (kN/m ²)	
	Cemboard 16 mm dan Peva 0.8 mm	Cemboard 16 mm dan Peva 1.0 mm
3.5	0.850	1.005
3.4	0.928	1.096
3.3	1.014	1.199
3.2	1.113	1.315
3.1	1.224	1.446
3.0	1.350	1.596
2.9	1.495	1.767
2.8	1.661	1.963
2.7	1.852	2.189
2.6	2.074	2.452
2.5	2.333	2.758
2.4	2.637	3.117
2.3	2.996	3.541
2.2	3.424	4.047
2.1	3.937	4.653
2.0	4.557	5.386

Jadual 5.11 Beban maksima panel papan lapis 18 mm dan Peva 0.8 mm atau 1.0 mm

Rentang (m)	Beban Maksima (kN/m ²)	
	Papan lapis 18 mm dan Peva 0.8 mm	Papan lapis 18 mm dan Peva 1.0 mm
3.5	0.810	0.967
3.4	0.884	1.055
3.3	0.967	1.154
3.2	1.060	1.266
3.1	1.166	1.392
3.0	1.287	1.536
2.9	1.424	1.700
2.8	1.583	1.889
2.7	1.765	2.107
2.6	1.977	2.360
2.5	2.223	2.654
2.4	2.513	3.000
2.3	2.855	3.409
2.2	3.263	3.895
2.1	3.751	4.478
2.0	4.343	5.184

Jadual 5.12 Panel Papan lapis 16 mm dan Peva 0.8 mm dan 1.0 mm

Rentang (m)	Beban Maksima (kN/m ²)	
	Papan lapis 16 mm dan Peva 0.8 mm	Papan lapis 16 mm dan Peva 1.0 mm
3.5	0.802	0.955
3.4	0.875	1.042
3.3	0.957	1.140
3.2	1.049	1.250
3.1	1.154	1.375
3.0	1.273	1.517
2.9	1.410	1.679
2.8	1.566	1.866
2.7	1.747	2.081
2.6	1.956	2.331
2.5	2.200	2.622
2.4	2.487	2.963
2.3	2.826	3.367
2.2	3.229	3.847
2.1	3.712	4.423
2.0	4.297	5.120

Daripada Jadual 5.9 sehingga Jadual 5.12 yang dibentangkan di atas, sekiranya nilai beban hidup diambil sebagai 2 kN/m^2 , iaitu beban kenaan untuk rumah dan pejabat, maka rentang maksima bagi panel gabungan adalah seperti yang ditunjukkan oleh Jadual 5.13.

Jadual 5.13 Rentang maksima bagi gabungan tertentu

Jenis papan kering dan ketebalan (mm)	Jenis kepingan keluli berprofil dan ketebalan (mm)	Rentang maksima (m)
Cemboard, 18	Peva 0.8	2.6
Cemboard, 18	Peva 1.0	2.8
Cemboard, 16	Peva 0.8	2.6
Cemboard, 16	Peva 1.0	2.7
Papan Lapis, 18	Peva 0.8	2.5
Papan Lapis, 18	Peva 1.0	2.7
Papan Lapis, 16	Peva 0.8	2.5
Papan Lapis, 16	Peva 1.0	2.7

5.10 KESIMPULAN

Bab ini telah membincangkan analisa unsur terhingga yang telah digunakan untuk memodelkan panel lantai pasang siap PSSDB. Ciri-ciri model yang telah digunakan adalah kelompang nipis QSL8 untuk kepingan keluli berprofil dan papan kering, penyambung JL43 untuk skru penyambung dan pembahagian jejaring adalah sebanyak dua. Jenis pembebanan pula adalah seragam.

Dari kajian analisa unsur terhingga ini, adalah didapati;

- Penggunaan unsur kelompang nipis *semiloof* QSL8 untuk sampel Peva-Cemboard memberikan perbezaan terbaik (nilai terendah) di antara nilai ujikaji dan analisa unsur terhingga untuk nilai lenturan tengah panel sampel iaitu sebanyak 7.8%.

- Penggunaan beban seragam didapati menghasilkan nilai lenturan yang lebih hampir kepada nilai lenturan ujikaji dari pembebanan empat garis menumpu. Perbezaan terendahnya adalah 7.8% berbanding 17.5% untuk beban empat garis menumpu.
- Jarak yang kecil (0 hingga 2 mm) di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering tidak memberi kesan kepada nilai lenturan panel.
- Berdasarkan nilai lenturan, nilai kekukuhan panel hasil dari analisa unsur terhingga berkurang sebanyak 7.4 % dari nilai ujikaji untuk sampel Peva-Cemboard dan berkurang sebanyak 10.4 % untuk sampel Peva-papan lapis. Ramalan permodelan unsur adalah selamat kerana ia memberikan nilai lenturan yang lebih besar daripada nilai yang sebenar.
- Untuk sampel Peva (0.8 mm) - Cemboard (18 mm) beban maksima yang dibenarkan adalah masing-masing 2.0 kN/m^2 , 1.0 kN/m^2 , 0.5 kN/m^2 dan 0.5 kN/m^2 untuk rentang 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m dan 4.0 m.
- Untuk sampel panel Peva berentang 2.4 m menggunakan papan kering Cemboard berketebalan 18 mm, beban maksima yang dibenarkan adalah masing-masing 2.5 kN/m^2 , 2.5 kN/m^2 , 3.0 kN/m^2 , 3.0 kN/m^2 dan 3.5 kN/m^2 untuk ketebalan Peva 0.8 mm, 0.9 mm, 1.0 mm, 1.1 mm dan 1.2 mm.
- Untuk sampel panel Peva berketebalan 0.8 mm dan berentang 2.4 m, beban maksima yang dibenarkan adalah 2.5 kN/m^2 untuk ketebalan Cemboard 14 mm, 16 mm, 18 mm, 20 mm dan 3.0 kN/m^2 untuk ketebalan Cemboard 22 mm.
- Dari jadual gabungan beberapa unsur, rentang maksima yang tertinggi 2.8 m adalah panel hasil gabungan Peva 1.0 mm dan Cemboard 18 mm, manakala rentang maksima terendah (2.5 m) adalah panel hasil gabungan Peva 0.8 mm dan papan lapis 16 atau 18 mm.

BAB VI

APLIKASI SISTEM PASANG SIAP PSSDB DALAM PEMBINAAN KABIN SEKOLAH

6.1 PENGENALAN

Bab V sebelumnya telah membincangkan tentang permodelan unsur terhingga panel pasang siap PSSDB dan ia turut menyenaraikan beberapa jadual beban melawan rentang sebagai panduan umum rekabentuk. Bab VI ini pula akan menerangkan latarbelakang projek kabin sekolah Malaysia dan menghuraikan satu kes khusus pembinaan kabin yang menggunakan sistem panel pasang siap PSSDB. Lantai yang digunakan adalah yang disokong mudah terdiri daripada kepingan keluli berprofil Peva 45 berketebalan 0.8 mm, panjang 2.4 m; kepingan papan kering Cemboard berketebalan 18 mm dan skru ulir sendiri berjarak 200 mm seperti yang diuji di makmal kajian ini.

6.2 PROJEK KABIN BILIK DARJAH

Kementerian Pelajaran Malaysia telah merangka satu pembangunan pendidikan negara dengan menghasilkan satu dokumen perancangan yang dikenali sebagai Pelan Induk Pembangunan Pendidikan (PIPP) 2006-2010: 'Merintis Pembaharuan- Satu Misi Nasional.' Matlamat PIPP adalah untuk menghasilkan pendidikan berkualiti untuk semua rakyatnya secara adil dan saksama. PIPP meliputi tiga aspek utama iaitu infrastruktur, pengisian dan tenaga manusia. PIPP turut membentangkan enam teras strategik di mana teras keempatnya adalah untuk merapatkan jurang pendidikan.

Jurang pendidikan di antara kawasan bandar dan pedalaman merujuk kepada ketaksamarataan daripada segi penyediaan infrastruktur dan penempatan guru terutama di Sekolah Kurang Murid (SKM), sekolah Orang Asli dan sekolah di pedalaman. Hingga kini masih wujud jurang yang besar di antara kemudahan sekolah di bandar dan di pedalaman. Contoh pembangunan dan infrastruktur yang daif di kawasan pedalaman boleh dilihat pada Gambar 6.1. Untuk merapatkan jurang ini, kerajaan telah memfokuskan pada pembangunan infrastruktur dan kemudahan pendidikan luar bandar.



Gambar 6.1 (a) Rumah lama guru di Sarawak (b) bangunan sekolah di pedalaman.
Sumber: PIPP

Selaras dengan fokus itu, YAB Perdana Menteri Malaysia telah melancarkan Program Lonjakan Perdana Pendidikan Luar Bandar di Pulau Bum-Bum, Sabah pada awal 2007, di mana tambahan peruntukan sebanyak RM2.6 bilion telah diberikan di bawah Projek Berimpak Tinggi untuk merapatkan jurang pendidikan di kawasan luar bandar dan pedalaman terutamanya di Sabah dan Sarawak (Anon. 2007a). Sebahagian dari peruntukan ini adalah untuk membangunkan infrastruktur dan Kementerian Pelajaran akan melaksanakan projek-projek ini dengan kerjasama Badan Bertindak Pelaksanaan Negara (BBPN) dan agensi pelaksanaan berpusatnya, Direktorat Pelaksanaan Negara (DPN). Seramai 2.2 juta orang pelajar dan 14,000 orang guru di kawasan pedalaman dijangka akan meraih manfaat daripada pembangunan infrastruktur ini (Kad Report 1 PIPP). Program Pembangunan Pendidikan Luar Bandar Sabah dan Sarawak ini, antara lainnya, merancang untuk membina 805

sekolah dan 5,138 bilik darjah, asrama dengan kapasiti 2,800 penghuni dan 414 projek dengan 841 unit rumah guru. (PIPP)

Dalam usaha untuk menangani keperluan segera bilik darjah di kawasan pedalaman, Kementerian Pelajaran telah memperkenalkan konsep Sistem Pembinaan Mudah Alih (SPM) atau kabin. Berbeza dengan sistem pembinaan konvensional, sistem kabin ini adalah sistem pembinaan yang cepat, ringkas, tidak memerlukan penggunaan mesin berat dan sesuai untuk pembinaan di kawasan pedalaman yang mencabar. Rekabentuk kabin juga adalah lebih luas, selesa dan lebih bercirikan binaan mesra pengguna; berbeza dengan kabin yang biasa digunakan di tapak-tapak pembinaan yang rata-ratanya berbentuk persegi, sempit dan tidak sesuai digunakan sebagai bilik darjah (Anon. 2007a).

Projek sulung bagi bangunan kabin dimulakan pada 2008 dan telah dibina di sekolah di negeri Johor bagi mengatasi kekurangan bilik darjah yang kritikal. Pembinaan lengkap bagi enam bilik darjah hanya mengambil masa kurang dari satu bulan. Justeru itu, pihak Kementerian Pelajaran Malaysia telah bersetuju untuk mengguna pakai sistem kabin bagi mengatasi masalah kekurangan bilik darjah dan makmal komputer yang kritikal di Malaysia (Anon. 2009).

Sehingga April 2009, terdapat 219 buah sekolah yang terlibat dalam pembinaan projek kabin ini. Di Melaka, Pulau Pinang, Johor, Terengganu, Selangor, Kedah, Perak dan Sabah, sebanyak 170 buah bilik darjah pelajar dan 12 bilik *mock class* guru-guru pelatih yang telah siap digunakan. Penggunaan kabin ini akan turut diperluaskan kepada pembinaan rumah guru dan asrama serta makmal komputer di kawasan pedalaman (Anon. 2009).

6.3 PENGGUNAAN SISTEM PSSDB DALAM PEMBINAAN KABIN BILIK DARJAH

Pada tahun 2007, dua kabin bilik darjah sementara yang menggunakan sistem pasang siap PSSDB, telah dibina di Sekolah Kebangsaan Telok Mas, Melaka. Sekolah ini dikategorikan sebagai sebuah sekolah pedalaman. Projek ini adalah di bawah seliaan

Kementerian Pelajaran dan merupakan satu projek perintis dalam pembinaan yang berkonsepkan kabin oleh UKM Perunding Kejuruteraan dan Arkitek Sdn. Bhd., sebuah anak syarikat UKM Holdings Sdn. Bhd.

6.3.1 Ciri-ciri Kabin Untuk Kawasan Pedalaman

Pembinaan kabin sementara di kawasan pedalaman memerlukan beberapa ciri-ciri yang perlu dipatuhi yang berbeza dari pembinaan biasa seperti lantai konkrit bertetulang. Sebagai contohnya, pembinaan kabin seringkali dikaitkan dengan pembinaan yang segera, maka panel-panel asasnya mestilah ringkas dan kabinnya pula mudah untuk didirikan. Sebagai satu binaan yang bersifat sementara, kabin ini juga harus mudah dipasang, dilarai, dialih ke tempat lain dan kemudian dipasangkan kembali. Pembinaan di kawasan pedalaman pula memerlukan agar panel-panel kabin itu cukup ringan untuk diangkat dan dialih oleh pekerja kerana penggunaan jentera berat seperti kren dan lori treler mungkin terhalang. Kerja-kerja di tapak mestilah pada tahap minima dan tidak menggunakan peralatan besar dan berat seperti mesin pembancuh konkrit dan menggunakan tenaga elektrik seperti gerudi dan sebagainya kerana kemudahan dan ruang kerjanya yang terhad. Panel-panel juga seharusnya dapat ditindan untuk menjimatkan tempat dan dimuatkan ke dalam kenderaan yang sederhana besar malah kenderaan udara sekalipun, untuk memudahkannya dihantar ke kawasan yang tiada kemudahan pengangkutan darat yang moden.

Panel PSSDB menepati ciri-ciri yang diperlukan seperti di atas. Panel PSSDB yang siap diskru kepingan keluli berprofil dan papan keringnya merupakan panel pasang siap yang digunakan untuk membina kabin bilik darjah. Panel-panel hanya perlu diangkat dan disusun membentuk lantai, dinding dan bumbung. Ia secara relatifnya ringan dan mampu diangkat oleh dua orang pekerja seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Dua pekerja mengangkat panel lantai PSSDB yang seberat 73 kg.

Satu jadual perbandingan berat panel lantai PSSDB yang terdiri daripada beberapa ketebalan dan panjang rentang yang ditunjukkan di dalam Jadual 6.1 dibawah.

Jadual 6.1 Perbandingan berat panel lantai PSSDB

Ketebalan kepingan keluli Peva 45 (mm)	Ketebalan papan kering Cemboard (mm)	Berat panel PSSDB 1.0 m x 2.4 m (kg)	Berat panel PSSDB 1.0 m x 3.6 m (kg)
0.8	16.0	67.2	100.8
0.8	18.0	73.2	109.8
0.8	20.0	79.2	118.8
1.0	16.0	84.0	108.0
1.0	18.0	90.0	117.0
1.0	20.0	96.0	126.0

Ahmed et al. (2005) telah menjalankan kajian ke atas panel PSSDB yang digunakan sebagai binaan perlindungan bencana yang mempunyai ciri-ciri keperluan yang sama dengan binaan kabin sekolah. Beberapa keistimewaan panel PSSDB ini yang sesuai untuk binaan kabin adalah seperti berikut:

- Ringan
- Mudah alih
- Cepat didirikan
- Kurang pencemaran bunyi
- Kurang kerosakan persekitaran – tiada penggunaan jentera berat
- Kurang sisa buangan
- Kos pembinaan yang dijangka lebih murah dari pembinaan konvensional pada masa hadapan.

Kabin PSSDB juga mesra alam kerana pengudaraan dan pencahayaan semulajadi yang diterapkan di dalam rekabentuknya yang bercirikan rumah Melayu lama seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 6.1 di bawah.



Rajah 6.1 Lakaran kabin menunjukkan (a) pandangan perspektif dan (b) sistem pengudaraan yang baik.

Sumber: Surat et al. 2008

6.4 PROSES PEMBINAAN

Proses pembinaan bermula dengan penghantaran bahan-bahan asas pembinaan panel iaitu beberapa jenis kepingan keluli berprofil dan papan kering ke kilang di kawasan industri kecil dan sederhana di Telok Mas, Melaka. Di situ, kerja-kerja pemotongan mengikut panel saiz yang tertentu dan pencantuman kepingan keluli berprofil dan papan kering dengan skru dijalankan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.3. Panel-panel pasang siap untuk lantai, dinding dan bumbung mempunyai kepingan keluli berprofil, kepingan papan kering dan skru yang tersendiri dan berbeza di antara satu sama lain.



Gambar 6.3 (a) Tindanan bahan asas dan (b) kerja pemasangan panel di kilang.

Seterusnya, panel-panel yang telah siap, dihantar secara berperingkat-peringkat ke tapak pembinaan dan disusun secara bertindan dan kemas agar tidak memerlukan ruang yang besar seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.4. Kawasan kerja juga dipastikan berada di dalam keadaan teratur dan selamat dan tidak mengganggu ketenteraman warga sekolah kerana ia berada berhampiran dengan bangunan sekolah yang sedia ada.



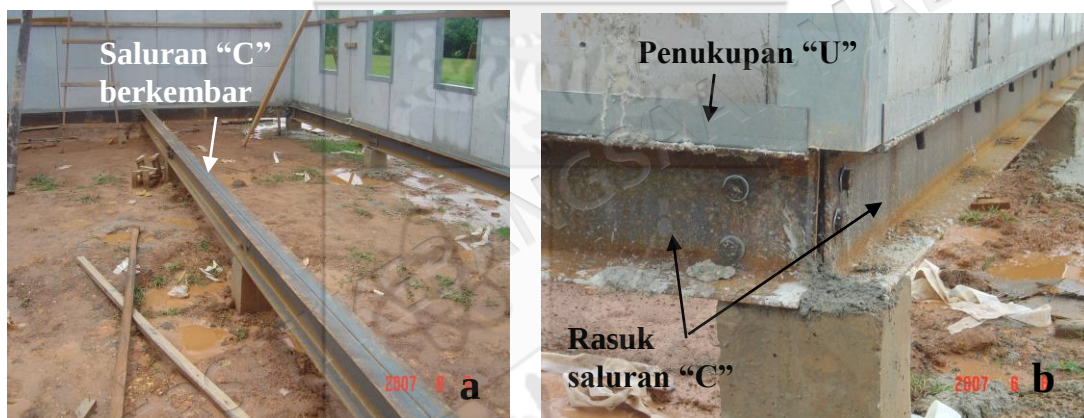
Gambar 6.4 (a) Panel lantai dan (b) dinding pasang siap diletakkan di tapak projek

Pada masa yang sama, kerja-kerja tapak sudahpun dimulakan terlebih awal dengan pembersihan kawasan dan pembinaan puntung yang akan menjadi penyokong asas kepada kabin tersebut. Rasuk dari jenis saluran “C” (*channel*) kemudiannya diskru kepada kepingan keluli yang dipacakkan ke dalam puntung seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 6.5 dan 6.6. Di bahagian tengah lantai pula, saluran “C” ini diletakkan secara berkembar kerana ia adalah tempat pertemuan dua hujung panel

lantai. Dari itu, setiap bebibir saluran “C” akan dapat menyokong satu hujung panel lantai di dalam kelebaran yang mencukupi.



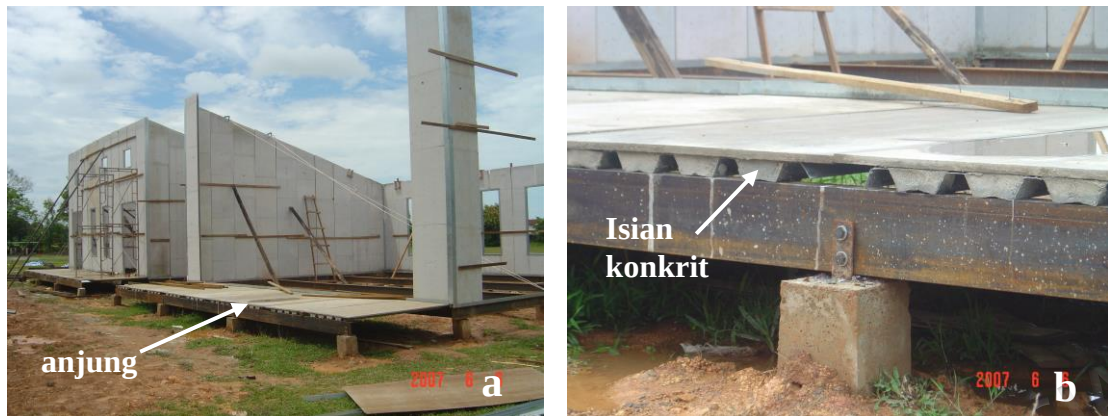
Gambar 6.5 (a) Pembinaan puntung dan (b) pemasangan rasuk kabin



Gambar 6.6 (a) Rasuk saluran “C” yang disusun dan (b) diskru pada puntung

Seterusnya, penukupan “U” (*capping*) disusun di atas bebibir saluran C untuk menyokong panel dinding. Memandangkan dinding kabin adalah dari jenis penggalas beban dan tiada tiang, maka panel dinding di bahagian penjuru didirikan terlebih dahulu diikuti oleh panel dinding di bahagian tengah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.7 (a). Walau bagaimanapun, dinding hadapan kabin yang merupakan panel yang paling tinggi dan mempunyai tumpuan beban yang besar, akan disokong oleh bahagian panel lantai yang agak lemah iaitu pada jarak seperlima rentang lantai (sila lihat lukisan pelan lantai di Lampiran A). Tumpuan beban momen dan tegasan ricih yang besar dijangka berlaku pada bahagian panel lantai ini. Dari itu, sebagai langkah keselamatan, kesemua panel lantai bahagian anjung kabin telah diperkukuhkan dengan

mengisi semua lurah kepingan kelulunya dengan konkrit seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 6.7 (b).



Gambar 6.7 Pemasangan panel (a) dinding dan (b) lantai

Setelah itu, kerja-kerja pemasangan bumbung dijalankan dan diikuti pula oleh kerja pengemasan lantai dan dinding seperti yang ditunjuk oleh Gambar 6.8. Pengemasan lantai dibuat dengan memasang kepingan papan kering dari jenis Primaflex yang nipis manakala untuk bahagian dinding pula, bahan sisian (*siding*) ditambah supaya tampak lebih menarik.



Gambar 6.8 Kerja-kerja pengemasan (a) lantai dan (b) dinding kabin

Bahagian anjung lantai kabin adalah bahagian yang akan kerap digunakan, dari itu ia telah diturap dengan lepa untuk menutup sebarang rekahan agar lebih selamat dan nampak lebih kemas. Akhirnya dua buah kabin bilik darjah telah berjaya

disiapkan dalam tempoh masa hampir tiga bulan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.9.



Gambar 6.9 Dua buah kabin bilik darjah yang telah siap dibina.

Jangka waktu ini adalah lebih panjang dari yang dijangkakan kerana sebagai satu projek perintis, terdapat beberapa masalah teknikal yang timbul seperti kurangnya pengalaman dan kemahiran pihak kontraktor untuk mengendalikan teknik dan bahan sistem pembinaan yang baru. Tempoh pembinaan dijangka akan dapat dipendekkan pada masa hadapan apabila pihak-pihak yang terbabit lebih mendapat pendedahan dan memahami selok belok pembinaan yang melibatkan sistem PSSDB secara khusus.

6.5 ISU LANTAI SEMASA PEMBINAAN

Isu yang dihadapi dalam pembinaan struktur lantai boleh dikategorikan dalam tiga bahagian iaitu;

- a. ketakrataan
- b. bucu panel yang berisiko untuk patah
- c. ayunan

Masalah ketakrataan dan bucu panel yang berisiko untuk patah adalah kerana keadaan kepingan papan kering yang lebih lebar dari kepingan keluli berprofil dan membuatnya terjulur dan ini boleh dilihat di dalam Gambar 6.10. Keadaan ini menambahkan risikonya untuk patah dan kadangkala permukaannya juga tidak dapat

untuk diselaraskan dengan panel yang bersebelahan akibat mutu pemasangan panel yang kurang memuaskan. Kepingan keluli berprofil dan papan kering adakalanya didapati tidak diskru dengan rapat dan kemas dan terdapat tinggalan cebisan konkrit di antara ruang keduanya.



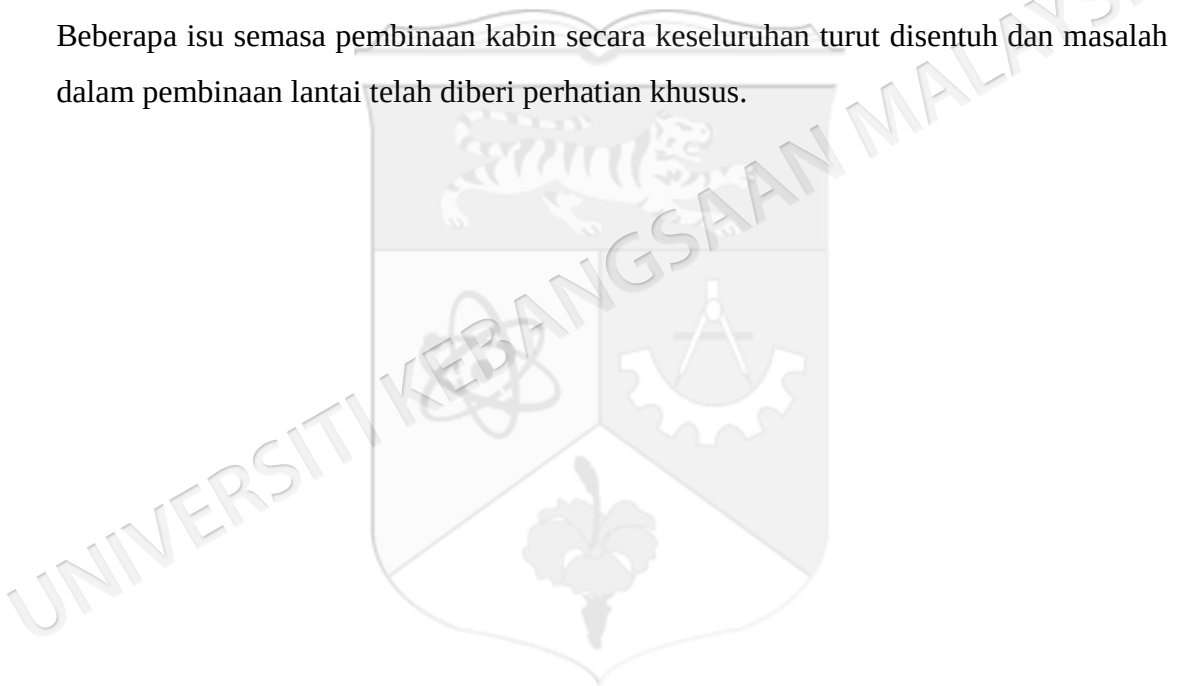
Gambar 6.10 Papan kering yang terjulur memungkinkan (a) ketakrataan lantai dan (b) kepatahan di bucu panel.

Isu ayunan lantai pula berlaku apabila terdapat gerakan di atasnya kerana hujung panel tidak diikat pada rasuk saluran “C” di bawah. Ini ditambah pula dengan ketiadaan apa-apa bentuk penyambungan di antara sisi panel yang bersebelahan. Pendek kata, setiap panel lantai berupaya untuk bergerak secara sendirian apabila dikenakan beban statik ataupun dinamik oleh individu atau kumpulan. Walaupun lenturan panel lantai telah dipastikan memenuhi kriteria kebolehhidmatan berdasarkan ujian statik di makmal, namun ayunan lantai yang dirasai boleh menimbulkan rasa ketakselesaan dan kebimbangan pengguna. Ini disebabkan oleh sifat semulajadi panel yang langsing dan mudah lentur, maka berkemungkinan getaran frekuensi tabiinya juga rendah. Frekuensi yang lebih rendah dari 7 hz sering dianggap boleh menimbulkan rasa ketakselesaan pengguna (Wright et al. 1989). Walau bagaimanapun isu ini adalah di luar skop penyelidikan tesis ini dan perbincangan lanjut boleh didapati dalam penerbitan lain seperti Zheng et al. (2010) dan Gandomkar (2012).

Masalah lantai tersebut boleh diatasi dengan menggunakan kaedah pengukuhan panel iaitu dengan meletakkan jalur kayu di kedua belah sisinya dan menggunakan sambungan tanggam di antara panel bersebelahan seperti yang dikaji di dalam tesis ini.

6.6 KESIMPULAN

Bab ini telah menerangkan latarbelakang projek kabin sekolah kerajaan Malaysia dan membincangkan tentang proses pembinaan dua kabin bilik darjah di sebuah sekolah pedalaman di Melaka yang menggunakan sistem pasang siap PSSDB. Proses pembinaan telah dihuraikan menerusi prosedur kerja yang telah dilaksanakan. Beberapa isu semasa pembinaan kabin secara keseluruhan turut disentuh dan masalah dalam pembinaan lantai telah diberi perhatian khusus.



BAB VII

RUMUSAN DAN CADANGAN KAJIAN LANJUT

7.1 PENGENALAN

Matlamat kajian tesis ini adalah untuk membangunkan sistem PSSDB sebagai sistem panel lantai pasang siap (*prefabricated*) yang memenuhi ciri-ciri pembinaan IBS yang lebih menyeluruh. Ini menuntut agar sistem PSSDB yang dipraktikkan sebelum ini dirombak menjadi sistem pasang siap yang dapat meminimalkan kerja-kerja di tapak. Panel pasang siap PSSDB telah disiapkan dengan menyambung kepingan keluli berprofil dengan papan kering melalui sambungan skru terlebih dahulu sebelum dipasang di tapak untuk membentuk lantai.

Tesis ini telah mengkaji kesesuaian sistem panel PSSDB sebagai sistem panel pasang siap. Untuk memenuhi matlamat kajian, beberapa objektif telah disusun dan dicapai melalui kaedah ujikaji makmal, permodelan unsur terHINGGA dan pembinaan kabin bilik darjah. Bab ini memberikan rumusan kepada penyelidikan tesis ini dan penemuan yang didapati dengan memfokuskan terhadap pencapaian objektif-objektif tersebut. Seterusnya, sumbangan kajian terhadap peningkatan ilmu disenaraikan dan cadangan untuk kajian lanjut turut dibentangkan. Akhirnya, satu catatan rumusan keseluruhan diberikan di dalam bahagian penutup.

7.2 RUMUSAN DAN PENEMUAN KAJIAN

Seperti mana yang telah dinyatakan, objektif kajian tesis ini adalah seperti berikut:

- a. membangunkan sistem panel lantai yang lebih kukuh.
- b. menyiasat dan mendapatkan ciri-ciri kekukuhan skru penyambung panel lantai PSSDB.
- c. membangunkan model unsur terhingga untuk meramalkan kekukuhan dan menghasilkan jadual panduan rekabentuk panel lantai PSSDB.
- d. membangunkan sistem lantai pasang siap PSSDB secara praktikal.

Objektif-objektif tersebut kini dihuraikan pencapaiannya secara satu persatu.

7.2.1 Membangunkan sistem panel lantai yang lebih kukuh

Objektif ini tercapai melalui tiga siri ujikaji di dalam ujian lenturan terhadap panel disokong mudah, panel disokong mudah yang diperkukuh dan panel berciri selangar. Ujikaji panel disokong mudah adalah untuk menyiasat kelakuan panel biasa PSSDB yang tidak diperkukuh untuk dibandingkan dengan panel yang diperkukuh. Penggunaan papan kering berbeza turut dikaji untuk melihat kesannya terhadap kekukuhan panel lantai. Panel disokong mudah yang diperkukuh adalah melalui penambahan jalur kayu di kedua-dua belah tepi memanjang panel dan sambungan bertanggung di antara dua panel bersebelahan. Turut dikaji adalah pengaruh kepingan keluli berprofil terhadap kekukuhan panel yang diperkukuh dengan jalur kayu. Panel berciri selangar pula adalah panel separa selangar yang dibandingkan dengan panel selangar. Berdasarkan hasil ujikaji lenturan dapat disimpulkan bahawa;

- Panel lantai pasang siap Peva-Cemboard mempunyai kekukuhan dan beban muktamad melebihi sampel Peva-papan lapis sebanyak 7.2% dan 9.1% masing-masing.
- Panel yang diperkukuhkan dengan kehadiran jalur kayu telah menambah kekukuhan panel sebanyak 8.8% dan beban muktamad pula sebanyak 31.7%.
- Panel yang disambung dengan panel bersebelahan dengan kaedah tanggam mempunyai kekukuhan yang lebih sebanyak 63.3% dari panel individu yang dipasang dengan jalur kayu sahaja dan bertambah sebanyak 77.6% dari panel individu yang tidak diperkukuh. Beban muktamad pula bertambah sebanyak

63.1% dan 114.1% berbanding dengan sampel-sampel yang sama tadi. Sambungan tanggam membolehkan kegelinciran berlaku dan ini mengelakkan tegasan ricih daripada mengumpul dan mengakibatkan kegagalan di tengah keratan rentas jalur kayu.

- Kehadiran kepingan keluli di dalam gabungan papan kering Cemboard dan kayu jalur telah menambah kekukuhan sebanyak 512% manakala beban maksima pula meningkat sebanyak 221%.
- Panel separa selanjar lantai pasang siap PSSDB hanya mempunyai 52% kekukuhan panel selanjar. Sifat keselantaran panel banyak bergantung kepada kemampuan skru panel penyambung untuk memegang dua kepingan keluli yang bertindan.

7.2.2 Menyiasat dan mendapatkan ciri-ciri kekukuhan skru penyambung panel lantai PSSDB

Objektif ini tercapai melalui perlaksanaan ujian penyambung skru iaitu ujian tolak keluar. Ujian ini adalah ujian gelincir ke atas skru yang menyambung kepingan keluli berprofil kepada kepingan papan kering. Melalui ujian ini, nilai beban muktamad dan kekukuhan skru telah diperolehi, beberapa ujian parametrik turut dilaksanakan dan aspek kegagalan skru dibincangkan. Kesimpulannya;

- Penggunaan papan kering berbeza mempengaruhi kekukuhan skru penyambung panel PSSDB. Sampel papan kering Peva-Cemboard mempunyai nilai kekukuhan melebihi sampel Peva-papan lapis sebanyak 26% dan melebihi sampel Peva-kayu sebanyak 45%, namun sampel Peva-papan lapis mempunyai nilai beban muktamad yang mengatasi sampel Peva-Cemboard sebanyak 22% dan sampel Cemboard-kayu sebanyak 187%.
- Sampel Peva-Cemboard memperlihatkan kelakuan yang rapuh manakala sampel Peva-Papan lapis dan Cemboard-kayu adalah lebih mulur.
- Kehadiran kepingan keluli berprofil Peva menambahkan kekukuhan penyambung skru sebanyak 45% iaitu apabila kekukuhan sampel Peva-Cemboard dibandingkan dengan sampel Cemboard-kayu.

- Perbezaan ketebalan kepingan keluli berprofil yang kecil (0.2 mm) tidak menampakkan kesan yang ketara kepada kekukuhan penyambung skru.
- Jenis kegagalan skru adalah bergantung kepada gabungan jenis kepingan keluli berprofil dan papan kering yang digunakan. Kegagalan skru sampel Peva-Cemboard adalah lebih ketara berbanding sampel Peva-papan lapis dan Cemboard-kayu.
- Kekukuhan skru penyambung berkadar terus dengan kekukuhan panel lantai.

7.2.3 Membangunkan model unsur terhingga untuk meramalkan kekukuhan dan menghasilkan jadual panduan rekabentuk panel lantai PSSDB

Objektif ini tercapai melalui permodelan analisa unsur terhingga yang disahihkan dengan keputusan ujikaji makmal lenturan. Analisa unsur terhingga dijalankan menggunakan LUSAS dan ciri-ciri model yang telah digunakan adalah kelompang nipis QSL8 untuk kepingan keluli berprofil dan papan kering dan penyambung JL43 untuk skru penyambung. Pembebanan adalah daripada jenis seragam. Di sini dapat disimpulkan;

- Penggunaan unsur kelompang nipis *semiloof* QSL8 untuk sampel Peva-Cemboard memberikan perbezaan terbaik (nilai terendah) di antara nilai ujikaji dan analisa unsur terhingga untuk nilai lenturan tengah panel sampel iaitu sebanyak 7.8%.
- Penggunaan beban seragam didapati menghasil nilai lenturan yang lebih hampir kepada nilai lenturan ujikaji dari pembebanan empat garis menumpu. Perbezaan terendahnya adalah 7.8% berbanding 17.5% untuk beban empat garis menumpu.
- Jarak yang kecil (0 hingga 2 mm) di antara kepingan keluli berprofil dan papan kering tidak memberi kesan kepada nilai lenturan panel.
- Berdasarkan nilai lenturan, nilai kekukuhan panel hasil dari analisa unsur terhingga berkurang sebanyak 7.4 % dari nilai ujikaji untuk sampel Peva-Cemboard dan berkurang sebanyak 10.4 % untuk sampel Peva-papan lapis. Ramalan permodelan unsur adalah selamat kerana ia memberikan nilai lenturan yang lebih dari nilai yang sebenar.

- Jadual panduan rekabentuk berjaya dihasilkan dan didapati:
 - Untuk sampel Peva (0.8 mm) - Cemboard (18 mm) beban maksima yang dibenarkan adalah masing-masing 2.0 kN/m², 1.0 kN/m², 0.5 kN/m² dan 0.5 kN/m² untuk rentang 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m dan 4.0 m.
 - Untuk sampel panel Peva berentang 2.4 m menggunakan papan kering Cemboard berketebalan 18 mm, beban maksima yang dibenarkan adalah masing-masing 2.5 kN/m², 2.5 kN/m², 3.0 kN/m², 3.0 kN/m² dan 3.5 kN/m² untuk ketebalan Peva 0.8 mm, 0.9 mm, 1.0 mm, 1.1 mm dan 1.2 mm.
 - Untuk sampel panel Peva berketebalan 0.8 mm dan berentang 2.4 m, beban maksima yang dibenarkan adalah 2.5 kN/m² untuk ketebalan Cemboard 14 mm, 16 mm, 18 mm, 20 mm dan 3.0 kN/m² untuk ketebalan Cemboard 22 mm.
 - Dari jadual gabungan beberapa unsur, rentang maksima yang tertinggi 2.8 m adalah panel hasil gabungan Peva 1.0 mm dan Cemboard 18 mm, manakala rentang maksima terendah (2.4 m) adalah panel hasil gabungan Peva 0.8 mm dan papan lapis 16 atau 18 mm.

7.2.4 Membangunkan sistem lantai pasang siap PSSDB secara praktikal

Objektif ini tercapai dengan penggunaan sistem panel pasang siap PSSDB di dalam pembinaan dua buah kabin bilik darjah sementara. Proses pembinaan telah dihuraikan menerusi prosedur kerja yang telah dilaksanakan. Isu yang dihadapi dalam pembinaan struktur lantai boleh dikategorikan dalam tiga bahagian iaitu ketakrataan lantai, bucu panel yang berisiko untuk patah dan masalah ayunan. Masalah lantai tersebut boleh diatasi dengan menggunakan kaedah pengukuhan panel iaitu dengan meletakkan jalur kayu di kedua belah sisinya dan menggunakan sambungan tanggam di antara panel bersebelahan seperti yang dikaji di dalam tesis ini.

7.3 SUMBANGAN KAJIAN

Sumbangan tesis ini dalam peningkatan ilmu adalah seperti berikut:

- Mengupas kelakuan panel lantai pasang siap PSSDB yang mempunyai papan kering yang berbeza.
- Menghasilkan panel lantai yang lebih kukuh dengan
 - a. menambah jalur kayu pada sisi panel
 - b. menyambungkan panel-panel lantai dengan jalur kayu tanggam
 - c. menghasilkan panel separa selangar
- Mengupas kelakuan dan mendapatkan nilai kekukuhan skru penyambung panel lantai pasang siap PSSDB menerusi ujian tolak keluar.
- Memperbaiki ramalan unsur terhingga kelakuan panel lantai di dalam julat lurus.
- Menghasilkan jadual ramalan pesongan tengah kajian parametrik panel.
- Menghasilkan jadual beban melawan rentang sebagai panduan rekabentuk lantai pasang siap PSSDB.
- Mengaplikasikan panel lantai pasang siap PSSDB secara praktikal.
- Memberi kefahaman kepada kelakuan sebenar lantai pasang siap PSSDB.

7.4 CADANGAN KAJIAN LANJUT

Cadangan untuk lanjutan penyelidikan tesis ini adalah seperti berikut;

- Menguji panel yang disambungkan dengan tanggam dengan meletakkan tiga panel dan mengenakan beban pada panel tengah.
- Mengambil kira berat batang geronggang segiempat yang diletakkan di atas panel di dalam pembebanan.
- Memodelkan ujian tolak keluar dengan kaedah unsur terhingga untuk menghasil ramalan kekukuhan dan kelakuan skru penyambung.
- Membuat model unsur terhingga panel yang diperkukuh dengan jalur kayu dan melaksanakan kajian parametrik terhadapnya.
- Mengkaji kepingan keluli berprofil yang direka khas untuk PSSDB dengan mengujudkan pengukuh di kawasan mampatan untuk melambatkan lengkukan tempatan.

7.5 PENUTUP

Tesis ini telah mengkaji sistem panel PSSDB sebagai sistem panel lantai pasang siap yang lebih menepati ciri-ciri pembinaan IBS. Objektif-objektif di dalam tesis ini telah berjaya dicapai melalui penemuan-penemuan yang juga merupakan sumbangan kepada peningkatan ilmu. Berdasarkan kepada hasil penyelidikan ini, sistem lantai PSSDB dengan berbagai kelebihannya, sesuai dan selamat digunakan sebagai lantai pasang siap. Sistem panel lantai pasang siap PSSDB berpotensi dibangunkan sebagai sebuah lagi produk IBS yang inovatif dan diharapkan dapat membantu meningkatkan lagi penerimaan IBS di kalangan pemain industri tempatan.



SENARAI RUJUKAN

- Allen, H.G. & Bulson, P. S. 1980. *Background to Buckling*. Bershire, England McGraw Hill.
- Agus Parwito Rahmadi. 2005. Sistem bangunan berindustri berasaskan panel komposit kepingan keluli berprofil papan kering. Tesis Dr Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Ahmed, E. 1996. Behaviour of profiled steel sheet dryboard panel. Tesis Sarjana Sains. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Ahmed, E. 1999. Behaviour of profiled steel sheet dryboard folded plate structures. Tesis Dr. Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Ahmed, E. & Wan Badaruzzaman, W.H. 2003. Finite element prediction of the behaviour of profiled steel sheet dry board folded plate structures – an improved model. *International Journal of Engineering* 16(1): 21-32.
- Ahmed, E. & Wan Badaruzzaman. W.H. 2005. Finite element prediction on the structural performance of profiled steel sheet dry board structural composite system proposed as a disaster relief shelter. *Journal of Construction and Building Materials* (19): 285-295.
- Ahmed, E., Wan Badaruzzaman, W.H. & Wright, H.D. 2000. Experimental and finite element study of profiled steel sheet dry board folded plate structures. *Thin-Walled Structures* 38: 125-143.
- Ahmed, E., Wan Badaruzzaman, W.H. & Wright, H.D. 2002. Two-way bending behaviour of profiled steel sheet dry board composite panel system. *Thin-Walled Structures* 40(11):971-990.
- Akhand, A.M. 2001. Non-linear finite element modelling and partial plastic analysis of composite PSSDB continuous floor, Tesis Dr. Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Akhand, A.M., Wan Badaruzzaman, W.H. & Wright, H.D. 2004. Combined flexure and web crippling strength of a low-ductility high strength steel decking: experiment and a finite element model. *Thin-Walled Structures* 42 :1067-1082.
- Anon. 2007a. Konsep kabin sekolah pedalaman, kurang murid. *Utusan Malaysia*, 11 April.
- Anon. 2007b. Sekolah Kurang Murid Akan Digantikan Dengan Sekolah Kabin. *Bernama*, 20 Julai.
- Anon. 2009. Bilik darjah berkonsepkan kabin. *Titian, Utusan Malaysia*, 30 Mei

- Bakker, M.C.M., Pekoz, T. 2003. The finite element method for thin-walled members-basic principles. *Thin-Walled Structures* 41: 179-189.
- Benayoune, A.G. 1998. Behaviour of profiled steel sheeting dry board panel as wall units. Tesis Sarjana Sains. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Bernard, E.S., Coleman, R., & Bridge, R.Q. 1999. Measurement and assessment of geometric imperfections in thin-walled panels. *Thin-Walled Structures* 33: 103-126.
- Biegus, A. & Czepizak, D. 2006. Research on the interactive resistance of corrugated sheets under combined bending and contact pressure. *Thin-Walled Structures* 44: 825-831.
- BS 5950: Part 4. 1994. Structural use of steelwork in building: Code of practice for design of composite slabs with profiled steel sheeting. London: British Standard Institution
- BS 5950: Part 6. 1995. Structural use of steelwork in building. Code of practice for design of light gauge profiled steel sheeting. London: British Standard Institution
- Chin Boon Woi, Wan Hamidon Wan Badaruzzaman & Abdul Khalim Rashid. 2002. Economic potential of BCCFS/steel-based design for 4 stories school building. *Proceedings of 2nd World Engineering Congress*, Sarawak, Malaysia.
- CIDB. 1999. IBS Strategic Plan 1999-2003, Construction Industry Development Board (CIDB), Kuala Lumpur.
- CIDB. 2003. IBS Roadmap 2003-2010, Kuala Lumpur.
- CIDB. 2010. IBS Roadmap 2011-2015, Kuala Lumpur.
- CIDB. 2007. Laporan tahunan, Teras strategik 5, ms 75.
- CIMP. 2007. Construction Industry Master Plan 2006 - 2015 (CIMP 2006 - 2015), Kuala Lumpur.
- CP 117: Part 1, 1965. Composite construction in structural steel and concrete: simply supported beams in building. London: British Standards Institution.
- Cândido-Martins, J.P.S., Costa-Neves, L.F. & da S. Vellasco P.C.G. 2010. Experimental evaluation of the structural response of Perfobond shear connectors *Engineering Structures* 32(8): 1976–1985.
- Crisinel, M. & Marimon, F. 2004. A new simplified method for the design of composite slabs. *Journal of Constructional Steel Research* 60: 481–491.

- Davies, J. M. & Jiang, C. 1997. Design Procedures for Profiled Metal Sheeting and Decking. *Thin-Walled Structures* 27 (1): 43-53.
- Davies, J.M. 2000. Recent research advances in cold-formed steel structures. *Journal of Constructional Steel Research* 55: 267-288.
- Davison, J.B. 2002. Composite floors. Dlm. Nethercot, D.A. (pnyt.). *Composite construction*, hlm 121-160. London: Spoon Press.
- de Kleinea, D., Hofmeyer, H. & Bakker, M.C.M. 2006. Rigid-link and FE models for first-generation sheet-section failure. *Thin-Walled Structures* 44(12): 1240-1249.
- Dubina, D. & Ungureanu, V. 2002. Effect of imperfections on numerical simulation of instability behaviour of cold-formed steel members. *Thin-Walled Structures* 40 : 239-262.
- Ellobody, E. & Young, B. 2006. Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting. *Journal of Constructional Steel Research* 62: 682-694.
- EN 1994-1-1:2004 Annex B. Design of Composite steel and concrete structures. General rules for building. Eurocode 4.
- Fan, L., Rondal, J. & Cescotto, S. 1997. Finite Element Modelling of Single Lap Screw Connections in Steel Sheeting under Static Shear *Thin-Walled Structures* 27(2): 165-185.
- Ferrera, M., Marimon, F. & Crisinel, M. 2006. Designing cold-formed steel sheets for composite slabs: An experimentally validated FEM approach to slip failure mechanics *Thin-Walled Structures* 44: 1261–1271.
- Guzelbey, I.H., Cevik, A. & Erklig, A. 2006. Prediction of web crippling strength of cold-formed steel sheetings using neural networks. *Journal of Constructional Steel Research* 62: 962-973.
- Gandomkar, F.A. 2012. Determining comfort level of profiled steel sheeting dry board floor system. Tesis Dr. Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Haas, C.T., O'Connor, J., Tucker, R., Eickmann, J. & Fangerlund, W. 2000. Prefabrication and preassembly trends and effects on the construction workforce. A report of center for construction industry studies. The University of Texas at Austin, May.
- Hancock, G.J. 2003. Cold-formed steel structures. *Journal of Constructional Steel Research* 59: 473-487.

- Hanizam Awang. 2008. Pembangunan sistem panel bumbung kepingan keluli berprofil papan kering (PSSDB) Tesis Dr. Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Hanizam Awang, Norhaiza Nordin, Wan Hamidon Wan Badaruzzaman. 2008. The Application of Profiled Steel Sheeting Dry Board System as School Classroom Modules, *Proceedings of ICBEDC*, Penang.
- Hanizam Awang, Wan Hamidon Wan Badaruzzaman, Norhaiza Nordin. 2009a. The Application of Profiled Steel Sheeting Dry Board (PSSDB) Industrialised Building System. *Proceedings of 7th Asia Pasific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2009) 2nd European Asian Civil Engineering Forum (EACEF 2009)*. Awana Porto Malai, Langkawi, Kedah Darul Aman, Malaysia.
- Hanizam Awang, Wan Hamidon Wan Badaruzzaman, Norhaiza Nordin. 2009b. Development of a New Composite Roofing panel based on Profiled Steel Sheet Dry Board System. *Proceedings of International Symposium on Construction in Developing Countries: Communalities among Diversities. (CIBW107)* Penang, Malaysia.
- Harsoyo Mohamad Shodiq. 2004. Kelakuan sistem keluli berprofil papan kering dengan bahan isian. Tesis Dr. Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Hofmeyer, H. 2000. Combined web crippling and bending moment failure of first-generation trapezoidal steel sheeting. PhD thesis. Eindhoven University Press.
- Hofmeyer, H. 2005a. Cross-section crushing behaviour of hat-sections (part I: numerical modelling). *Thin-Walled Structures* 43: 1143–1154.
- Hofmeyer, H. 2005b. Cross-section crushing behaviour of hat-sections (Part II: Analytical modelling) *Thin-Walled Structures* 43: 1155–1165.
- Hofmeyer, H., Kerstens, J.G.M., Snijder, H.H. & Bakker, M.C.M. 2001. New prediction model for failure of steel sheeting subject to concentrated load (web crippling and bending moment). *Thin-Walled Structures* 39: 773–96.
- Hofmeyer, H., Kerstens, J.G.M., Snijder, H.H. & Bakker, M.C.M. 2002. Combined web crippling and bending moment failure of first-generation trapezoidal steel sheeting. *Journal of Construction Steel Research* 58: 1509–29.
- Hume Cemboard Berhad. 2002. Cemboard product catalogue. Malaysia.
- Idrus Din. 2012. IBS Roadmap – Status towards 2015. *Proceedings of the international constructional steel conference (ICSC)*. Palace of The Golden Horses, Seri Kembangan Selangor.

- Jeong, Y.J., Hyeong-Yeol Kim & Sang-Hyo Kim. 2005. Partial-interaction analysis with push-out tests. *Journal of Constructional Steel Research* 61: 1318–1331
- Kamarul Anuar Mohamad Kamar. 2011. Critical success factors to Industrialised Building System (IBS) contractor. Tesis Dr Falsafah. School of the Built Environment, Faculty of Business, Law and the Built Environment, University of Salford, UK.
- Kamarul Anuar Mohamad Kamar, Alshawhi M., Zuhairi Abd Hamid, Mohd Rofdzi Abdullah, Mohd Nasrun Nawawi and Ahmad Tarmizi Haron. 2009. Industrialised Building Systems (IBS): Revisiting the issues of definition, classification and degree of industrialisation. *Proceedings of 2nd Construction Industry Research Achievement International Conference (CIRAIC)*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Katalog IBS (bagi Projek Bangunan IBS). 2009. Cetakan Pertama Siri 1 Komponen struktur konkrit Pra-tuang Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan Malaysia.
- Kementerian Pendidikan Malaysia. 2006. Pelan Induk Pembangunan Pendidikan (PIPP) 2006-2010 (RMK-9).
- Kim, H.Y. & Jeong, Y.J. 2009. Steel concrete composite bridge deck slab with profiled sheeting. *Journal of Constructional Steel Research* 65(8-9): 1751-1762.
- Kremer, T. & Schürmann, H. 2008. Buckling of tension-loaded thin-walled composite plates with cut-outs. *Composites Science and Technology* 68: 90–97.
- Lechner, B. & Pircher, M. 2005. Analysis of imperfection measurements of structural members. *Thin-Walled Structures* 43: 351–374.
- Lee, L.H., Quek, S.T. & Ang, K.K. 2001. Negative moment behaviour of cold-formed steel deck and concrete composite slabs. *Journal of Constructional Steel Research* 57: 401–415.
- Liang, Q.Q. & Uy, B. 2000. Theoretical study on the post-local buckling of steel plates in concrete-filled box columns. *Computers and Structures* 75: 479-490.
- LUSAS 2003. LUSAS Finite Element System. FEA Ltd. United Kingdom.
- Macdonald M., Heiyantuduwa M.A. & Rhodes, J. 2008. Recent developments in the design of cold-formed steel members and structures. *Thin-Walled Structures* 46: 1047– 1053.
- MK Fasteners. 2011. Malaysia.
- Mahendran, M. 1997a. Local plastic mechanisms in thin steel plates under in-plane compression. *Thin-Walled Structures* 27(3): 245-261.

- Mahendran, M. 1997b. Review of current test methods for screwed connections *Journal of Structural Engineering* 123(3): 321-325.
- Machado, S.P. 2008. Non-linear buckling and postbuckling behavior of thin-walled beams considering shear deformation. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 5: 345-365.
- Mañkelañinen, P. & Sun, Y. 1999. The longitudinal shear behaviour of a new steel sheeting profile for composite floor slabs. *Journal of Constructional Steel Research* 49: 117–128.
- Malaysia. 2006. *Rancangan Malaysia Kesembilan 2006-2010*.
- Marčiukaitis, G., Jonaitis, B., Valivonis, J. 2006. Analysis of deflections of composite slabs with profiled sheeting up to the ultimate moment *Journal of Constructional Steel Research* 62: 820–830.
- Mastor Surat. 2009. *Tanggam. Sains dan teknologi alam Melayu*. Institut Alam dan Tamadun Melayu. UKM, Bangi.
- Mohd Idrus Din, Noraini Bahri, Mohd Azmi Dzulkifly, Mohd Rizal Norman, Kamarul Anuar Mohamad Kamar and Zuhairi Abd Hamid. 2013. The adoption of Industrialised Building System (IBS) construction in Malaysia: The history, policies, experiences and lesson learned. *Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Mining and Petroleum (ISARC)*, Montreal, Canada.
- Murray, N.W. 1984. *Introduction to the theory of thin-walled structures*. Oxford: Clarendon Press.
- Powerdrive. 1991. *Fastening Systems*. Malaysia.
- Queiroz, F.D., Vellasco, P.C.G.S. & Nethercot, D.A. 2007. Finite element modelling of composite beams with full and partial shear connection. *Journal of Constructional Steel Research* 65: 505–521.
- Qureshi, J., Lam, D. & Ye, J. 2011. The influence of profiled sheeting thickness and shear connector's position on strength and ductility of headed shear connector. *Engineering Structures* 33(5): 1643–1656.
- Rahmadi, A.P., Wan Badaruzzaman, W.H. & Arifin, A.K. 2013. Prediction of deflection of the composite profiled steel sheet MDF-board (PSSMDFB) floor system. *Procedia Engineering* 54: 457–464.
- Rahman, A. B. A. & Omar, W. 2006. Issues and Challenges in the Implementation of IBS in Malaysia. *Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (ASPEC 2006)* Kuala Lumpur, Malaysia.

- Rogers, C.A. & Hancock, G.J. 1999. Screwed connection tests of thin G550 and G300 sheet steels. *Journal of Structural Engineering* 125(2): 128–36.
- Rupa Damodaran. 2013. Construction sector gains. *Business Times* 16 Februari.
- Rusch, A. & Lindner, J. 2001. Remarks to the Direct Strength Method. *Thin-Walled Structures* 39: 807-820.
- Sarawit, A.T., Kim, Y., Bakker, M.C.M. & Pekoz, T. 2003. The finite element method for thin-walled members-applications. *Thin-Walled Structures* 41: 191-206.
- Schafer, B.W. 2008. Review: The direct strength method of cold-formed steel member design. *Journal of Constructional Steel Research* 64: 766-778.
- Schafer, B.W. & Pekoz, T. 1998. Computational modelling of cold-formed steel : characterizing geometric imperfections and residual stress. *Journal of Constructional Steel Research* 47: 193-210.
- Shaari, S. N. & Ismail, E. 2003. Promoting the usage of industrialised building system (IBS) and modular coordination (MC) in Malaysia construction industry. *Jurutera (Board of Engineer Malaysia)* April: 14-16.
- Siti Hawa Hamzah. 2006. Kelakuan struktur dinding sistem komposit keluli berprofil papan kering (PSSDB) dengan bukaan. Tesis Dr. Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Smith, A.L. & Couchman, G.H. 2010. Strength and ductility of headed stud shear connectors in profiled steel sheeting. *Journal of Constructional Steel Research* 66: 6748–754.
- Surat, M., W. Badaruzzaman, W.H., Tahir, M.M. & Abdullah, N.A.G. 2008. Current Application of Pressed Steel Sheet Dry Board (PSSDB) Modulation Panels for Annex Classroom Blocks in Melaka, Malaysia. *Proceedings of ICCBT 2008*.
- Sputo, T. & Tovar, J. 2005. Application of direct strength method to axially loaded perforated cold-formed steel studs: Longwave buckling. *Thin-Walled Structures* 43: 1852–1881.
- Tatum, C.B. 1986. Constructability improvement using pre-fabrication, pre-assembly and modularisation. *Technical Report No. 297*, Stanford University, California, U.S.
- Te Chei Yean. 2006. Load carrying capacity of dry floor panel system. Tesis Sarjana. Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor.
- Thomas, W. H. 2004. Test-piece size for uniformly distributed and concentrated load performance assessment of wood floor panel. *Materials and Structures / Matdriaux et Constructions* 37: 732-739.

- Tovar, J. & Sputo, T. 2005. Application of direct strength method to axially loaded perforated cold-formed steel studs: distortional and local buckling. *Thin-Walled Structures* 43: 1882–1912.
- Valente, I.B. & Cruz, P.J.S. 2009. Experimental analysis of shear connection between steel and lightweight concrete. *Journal of Constructional Steel Research* 65(10-11): 1954-1963.
- Wan Badaruzzaman, W.H., Djerajani, M.H., Nordin, N. & Wan Mohtar, W.H.M. 2007a. Profiled steel sheeting dryboard flooring system with double-skinned plywood. *Proceedings of World Housing Congress*, Terengganu.
- Wan Badaruzzaman, W.H., Mohamad, M.Z.F., Wan Mohtar, W.H.M. & Nordin, N., 2007b. Natural frequency of profiled steel sheet dryboard floor panel. *Proceedings of World Housing Congress*, Terengganu.
- Wan Badaruzzaman, W.H., Awang, H., Nordin, N. & Shaini, A.B. 2009a. Development of a New Composite Flooring System based on Improved Profiled Steel Sheet Dry Board System. *Proceedings of Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V)* Istanbul, Turkey.
- Wan Badaruzzaman, W.H., Nordin, N., Hamid, M.H. & Awang, H. 2009b. Prediction of the Behaviour of Profiled Steel Sheeting Dry Board through the Finite Element. *Proceedings of 9th International Conference on Steel Concrete Composite and Hybrid Structures*. Leeds, UK.
- Wan Badaruzzaman, W.H., Zain, M.F.M., Akhand, A.M. & Ahmed, E. 2003a. Dry boards as load bearing element in profiled steel sheet dry board floor panel system – structural performance and applications. *Journal of Construction and Building Material*. 17: 289-297.
- Wan Badaruzzaman, W. H., Zain, M.F.M., Shodiq, H. M., Akhand, A. M. & Sahari, J. 2003b. Fire resistance performance of profiled steel sheet dry board (PSSDB) flooring panel system. *Building and Environment* 38: 7907-912.
- Wright. H.D., Evans, H.R. & Burt, C.A. 1989. Profiled steel sheet / dryboarding composite floors. *The Structural Engineer* 67(7/4): 114-129.
- Wright. H.D., Evans, H.R. & Harding, P.W. 1987. The use of profiled steel sheeting in floor construction. *Journal of Constructional Steel Research* 7: 279-295.
- Yu, C. & Schafer, B.W. 2007. Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method. *Journal of Constructional Steel Research* 63(5): 81–590.
- Yu, C. & Schafer B.W. 2003. Local buckling tests on cold-formed steel beams. *Journal of Structural Engineering* 129 (12): 1596–606.

Zheng Y., Ji, T. & Brian, R.E. 2010. The significance of continuity in a multi-panel composite floor. *Engineering Structures* 32(1): 184-194.

