

KELAKUAN SAMBUNGAN Sambat BERSAMA BAR PILIN DAN BAR
MEMANJANG DALAM DINDING KONKRIT PRATUANG

SHUHAIMI BIN SHAEDON

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

KELAKUAN SAMBUNGAN SAMBAT BERSAMA BAR PILIN DAN BAR
MEMANJANG DALAM DINDING KONKRIT PRATUANG

SHUHAIMI BIN SHAEDON

Tesis ini dikemukakan sebagai
memenuhi syarat penganugerahan ijazah
Sarjana Kejuruteraan (Struktur)

FAKULTI KEJURUTERAAN AWAM
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

DISEMBER 2012

*Untuk isteri tersayang, Zulhaimah Mohd Isa,
Ayahanda dan bonda serta anak-anak,
terima kasih atas segala sokongan dan dokongan yang diberikan oleh
kalian selama ini.
Moga Allah sahaja yang membalas jasa baik kalian semua.*

PENGHARGAAN

Alhamdulillah syukur kepada Illahi di atas kekuatan yang diberikan kepada saya untuk menyelesaikan pengajian di peringkat sarjana ini. Terima kasih yang tidak terhingga juga kepada penyelia saya, P.M. Dr. Ahmad Baharuddin Abd Rahman dan Dr. Izni Syahrizal Ibrahim atas bantuan dan sokongan yang berterusan serta idea-idea dan cadangan yang bernas untuk saya menambah baik penulisan tesis ini.

Saya juga ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada pihak CREAM untuk bantuan dana melalui Vot 73713 serta kerjasama yang diberikan selama ini. Tidak dilupakan juga kepada staf-staf dan juruteknik Makmal Struktur dan Bahan Fakulti Kejuruteraan Awam, UTM atas bantuan yang diberikan sepanjang saya menjalankan ujikaji di makmal seterusnya secara tidak langsung membantu saya dalam menyiapkan tesis ini.

Akhir sekali, penghargaan yang tidak terhingga kepada ayahanda dan bonda, isteri, serta ahli keluarga kerana tidak jemu-jemu memberikan sokongan dan dokongan ketika saya senang atau susah. Moga Allah memberikan ganjaran yang terbaik atas kebaikan kalian semua. InsyAllah.

ABSTRAK

Kekuatan sambungan elemen struktur konkrit pratuang adalah faktor utama yang memainkan peranan penting dalam Sistem Binaan Berindustri. Pelbagai jenis sambungan telah dihasilkan oleh pengkaji-pengkaji terdahulu untuk memperbaiki sambungan yang sedia ada di pasaran. Kajian ini dijalankan untuk membangunkan penyambung lengan sambat baru, menggunakan bar pilin dan bar memanjang, yang boleh menghasilkan kekuatan ikatan setanding dengan kapasiti tegangan bar yang diperkukuhkan. Dalam fasa pertama kajian, 52 spesimen telah diuji dibawah beban tegangan sehingga mencapai kegagalan. Berdasarkan kajian yang dijalankan, spesimen ES-65-4-200 dengan panjang tambatan bar 200 mm, diameter dalaman bar pilin 65 mm, empat batang bar memanjang Y10 di dalam bar pilin, dan menggunakan bahan pengisi turap telah dipilih. Dalam fasa ke-2, penyambung lengan sambat terpilih digunakan dalam sistem panel dinding konkrit pratuang. Kemudian, penyambung diuji di bawah beban ricih untuk mengkaji prestasi sambungan. Dalam fasa ini, tiga spesimen monolitik, tiga spesimen dengan sambungan Nisso Master Builders (NMB), dan tiga spesimen dengan penyambung yang dicadangkan telah diuji. Prestasi yang ditunjukkan oleh sambungan dibawah beban tegangan dan ricih dinilai berdasarkan kapasiti beban muktamad, sesaran, terikan, tegasan dan mod kegagalan. Keputusan menunjukkan bahawa spesimen dinding yang menggunakan penyambung bar pilin dan bar memanjang, ES-65-4-200 telah mencapai kelakuan struktur yang memuaskan dengan kapasiti ricih muktamad 28% lebih tinggi daripada dinding monolitik dan dinding sambungan NMB. Keputusan ini menunjukkan bahawa gabungan bar pilin dan bar memanjang berupaya meningkatkan prestasi sambungan lengan sambat dalam struktur dinding konkrit pratuang.

ABSTRACT

The strength of connections in precast concrete structure elements is the main factor that plays an important role in the Industrialised Building System. Various types of connections have been developed by previous researchers to improve the existing connections in the market. This study was conducted to develop a new splice sleeve connector, using spiral and elongated bar, which can produce comparable bond strength with the tensile capacity of reinforced bars. In the first phase of the study, 52 specimens were tested under tensile loads until all specimens reached their ultimate failure state. Based on the study conducted, ES-65-4-200 specimens with bar embedment length of 200 mm, spiral inner diameter of 65 mm, four elongated bars of Y10 inside the spiral bar, and use of grout was selected. In phase 2, the selected splice sleeve connector was used in the precast concrete wall panel system. Then, the connector was tested under shear loads to study the connection's performance. In this phase, three monolithic specimens, three specimens with Nisso Master Builders (NMB) connectors, and three specimens with the proposed connector were tested. The performance of connections under tensile and shear loads was evaluated based on the ultimate loading capacity, displacement, strain, stress and failure mode. The results show that the wall specimens using spiral and elongated bar connectors, ES-65-4-200 achieve satisfactory structural performance with the ultimate shear capacity 28 % higher than monolithic wall and NMB wall connection. These results indicate that the combination of spiral and elongated bar is able to improve the performance of the splice sleeve connections in precast concrete wall structures.

KANDUNGAN

BAB	TAJUK	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xiii
	SENARAI RAJAH	xv
	SENARAI SIMBOL	xxi
	SENARAI LAMPIRAN	xxii
1	Pengenalan	
	1.1 Latar Belakang Kajian	1
	1.2 Pernyataan Masalah	4
	1.3 Objektif Kajian	5
	1.4 Skop Kajian	6
	1.5 Kepentingan Kajian	7
	1.6 Aturan Bab di dalam Tesis	8

2	KAJIAN LITERATUR	
2.1	Pengenalan	9
2.2	Definisi Ikatan	11
2.3	Teori Ikatan	11
2.4	Peruntukan Kod Rekabentuk	13
2.5	Kesan Terkurung	15
2.6	Sambungan Bar Sambat	20
	2.6.1 BarSplice Double Barrel Zap Screwlok [®] dan Lenton Quick Wedge [®]	20
	2.6.2 Lenton Interlok [®] dan NMB Splice Sleeve [®]	22
2.7	Ujian Tegangan	24
	2.7.1 Penemuan Kajian yang Berkaitan	24
	2.7.2 Piawai Ujian	27
2.8	Ujian Ricih	28
2.9	Ringkasan	31
3	METODOLOGI KAJIAN	
3.1	Pengenalan	32
3.2	Rangka Operasi	33
	3.2.1 Carta Alir Metodologi Keseluruhan Kajian	33
	3.2.2 Carta Alir Terperinci Ujian Fasa 1	35
3.3	Rekabentuk dan Prosedur Kajian	37
3.4	Spesifikasi Bahan	37
	3.4.1 Keluli	38
	3.4.1.1 Bar Tetulang Kekuatan Tinggi (Y16)	38
	3.4.1.2 Bar Pilin dan Bar Memanjang	39
	3.4.1.3 Tetulang BRC	40
	3.4.2 Paip PVC	41
	3.4.3 Bahan Pengisi	41
	3.4.3.1 Turap : Sika Grout-215	42
	3.4.3.2 SS Mortar	44
	3.4.3.3 Mortar	46
	3.4.3.4 Konkrit	46

3.5	Fasa 1: Sambungan SambatBar Pilin dan Bar	
	Memanjang	48
3.5.1	Perincian Spesimen Sambungan	48
	3.5.1.1 Spesimen Kawalan	49
	3.5.1.2 Siri AC	50
	3.5.1.3 Siri BC	52
	3.5.1.4 Siri DS	54
	3.5.1.5 Siri ES	56
3.5.2	Penyediaan Spesimen Sambungan	58
3.6	Fasa 2 : Spesimen Dinding Konkrit Pratuang	61
3.6.1	Perincian Spesimen Dinding	62
	3.6.1.1 Spesimen Dinding Monolitik	64
	3.6.1.2 Spesimen Dinding Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang	65
	3.6.1.3 Spesimen Dinding Sambungan Sambat Mekanikal NMB	66
3.6.2	Penyediaan Spesimen Dinding Konkrit Pratuang	67
3.6.3	Kerja Konkrit	74
3.6.4	Kerja Penyambungan Panel Dinding	77
	3.6.4.1 Spesimen Panel Dinding Monolitik	77
	3.6.4.2 Spesimen Panel Dinding Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang	79
	3.6.4.3 Spesimen Panel Dinding Sambungan Sambat Mekanikal NMB	81
3.7	Peralatan dan Instrumentasi	84
3.7.1	Ujian Mampatan (Fasa 1 dan 2)	84
3.7.2	Ujian Tegangan Spesimen Sambungan (Fasa 1)	86
3.7.3	Ujian Ricih Spesimen Dinding Konkrit Pratuang (Fasa 2)	87

4

**KELAKUAN SAMBUNGAN SAMBAT BAR PILIN
DAN BAR MEMANJANG DI BAWAH BEBAN
TEGANGAN**

4.1	Pendahuluan	94
4.2	Ujian Tegangan Spesimen Kawalan	95
4.2.1	Spesimen Bar Keluli Y16	95
4.2.2	Spesimen Sambungan Sambat	98
4.3	Ujian Tegangan Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang	100
4.3.1	Kriteria Pemilihan Sambungan	101
4.3.2	Spesimen Siri AC	101
4.3.2.1	Keputusan Ujian	102
4.3.2.2	Mod Kegagalan	107
4.3.3	Spesimen Siri BC	112
4.3.3.1	Keputusan Ujian	112
4.3.3.2	Mod Kegagalan	118
4.3.4	Spesimen Siri DS	123
4.3.4.1	Keputusan Ujian	124
4.3.4.2	Mod Kegagalan	127
4.3.5	Spesimen Siri ES	129
4.3.5.1	Keputusan Ujian	130
4.3.5.2	Mod Kegagalan	136
4.4	Kesan Perbezaan Parameter	141
4.4.1	Kesan Diameter Sambungan	141
4.4.2	Kesan Bahan Pengisi	143
4.4.3	Kesan Panjang Tambatan	145
4.4.4	Kesan Kedudukan Bar Memanjang	147
4.4.5	Kesan Bilangan Bar Memanjang	149

5	KELAKUAN SPESIMEN DINDING KONKRIT PRATUANG DI BAWAH BEBAN RICIH	
5.1	Pendahuluan	152
5.2	Kriteria Pemilihan Spesimen Terbaik	153
5.3	Keputusan Ujian Ricih	153
5.3.1	Spesimen SLT-FRB (Monolitik)	154
5.3.2	Spesimen SLT-NMB (Sambungan Sambat Mekanikal NMB)	155
5.3.3	Spesimen SLT-SVR (Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang)	156
5.4	Graf Beban melawan Sesaran	157
5.4.1	Spesimen SLT-FRB (Monolitik)	157
5.4.2	Spesimen SLT-NMB (Sambungan Sambat Mekanikal NMB)	159
5.4.3	Spesimen SLT-SVR (Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang)	161
5.5	Graf Beban melawan Terikan	163
5.5.1	Spesimen SLT-FRB (Monolitik)	163
5.5.2	Spesimen SLT-NMB (Sambungan Sambat Mekanikal NMB)	166
5.5.3	Spesimen SLT-SVR (Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang)	169
5.6	Mod Kegagalan	171
5.6.1	Spesimen SLT-FRB (Monolitik)	171
5.6.2	Spesimen SLT-NMB (Sambungan Sambat Mekanikal NMB)	174
5.6.3	Spesimen SLT-SVR (Sambungan Sambat Bar Pilin dan Bar Memanjang)	177
5.7	Perbandingan Parameter Ujian	179
5.7.1	Perbezaan Jenis Sambungan	179
5.7.2	Perbezaan Bilangan Sambungan	181

6	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
6.1	Kesimpulan	183
6.2	Cadangan	184
	RUJUKAN	186
	LAMPIRAN A-C	190-195

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
3.1	Data terperinci Sika-Grout-215(dibekalkan oleh pengeluar)	43
3.2	Data terperinci SS Mortar(dibekalkan oleh pengeluar)	45
3.3	Gred Mortar mengikut Piawai BS 5628-3	46
3.4	Rekabentuk campuran konkrit G40 @28 hari (dibekalkan oleh pengeluar)	47
3.5	Campuran bahan per m ³	47
3.6	Ukuran terperinci setiap sambungan Siri AC	51
3.7	Ukuran terperinci setiap sambungan Siri BC	53
3.8	Ukuran terperinci setiap sambungan siri DS	55
3.9	Ukuran terperinci setiap sambungan siri ES	57
3.10	Perincian spesimen dinding yang diuji	63
4.1	Data terperinci ujian tegangan bar keluli Y16	96
4.2	Data terperinci ujian tegangan spesimen kawalan	98
4.3	Kriteria pemilihan spesimen sambungan	101
4.4	Keputusan ujian tegangan spesimen sambungan Siri AC	103
4.5	Perbandingan data ujian berdasarkan piawai	106
4.6	Perincian mod kegagalan	108
4.7	Kelakuan tegangan spesimen siri BC	113
4.8	Perbandingan data ujian berdasarkan piawai	118
4.9	Perincian mod kegagalan	119
4.10	Kelakuan tegangan spesimen siri DS	124
4.11	Perbandingan data ujian berdasarkan piawai	126
4.12	Kelakuan tegangan spesimen siri ES	131

4.13	Perbandingan data ujian berdasarkan piawai	135
4.14	Perincian mod kegagalan	133
4.15	Perbandingan keputusan spesimen dengan diameter berbeza	141
4.16	Perbandingan keputusan untuk sambungan dengan bahan pengisi berbeza	143
4.17	Perbandingan keputusan sambungan dengan panjang tambatan berbeza	146
4.18	Perbandingan keputusan sambungan dengan kedudukan bar memanjang berbeza	148
4.19	Perbandingan keputusan sambungan dengan bilangan barmemanjang berbeza	150
5.1	Perbandingan keputusan ujian ricih spesimen dinding	154

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Penggunaan sambungan sambat di dalam struktur konkrit pratuang.	10
2.2	Kesan (a) kurungan terhadap luas tetulang dan (b) kekuatan mampatan konkrit terhadap kelakuan ikatan	16
2.3	Spesimen ujian oleh Einea et al. (1995)	19
2.4	Gambarajah jasad bebas spesimen Jenis 3 (Einea et al., 1995)	17
2.5	Sambungan yang diuji oleh Coogler (2006)	21
2.6	Ujian sedang dijalankan oleh Coogler (2006)	21
2.7	Keputusan ujian tegangan : tegasan melawan terikan (Coogler, 2006).	22
2.8	Produk sambungan yang diuji oleh Jansson (2008); (a) Lenton Interlok, dan (b) NMB Splice.	23
2.9	Ujian yang dijalankan oleh Jansson (2008)	23
2.10	Geometri bar tetulang utama yang digunakan (Jenis H dan L)(Ichinose <i>et al.</i> , 2004).	24
2.11	Spesimen sambungan tanpa bar pilin dan dengan bar pilin : (a) keratan rentas (A-A & B-B); (b) sistem beban (Ichinose <i>et al.</i> , 2004).	25
2.12	Corak keretakan spesimen sambungan : (a) Siri PC (dengan rakap); (b) Siri PS (tanpa rakap) (Ichinose <i>et al.</i> , 2004).	26
2.13	Ujian tegangan oleh Einea (1995)	26

2.14	Tatarajah spesimen ujian ricih di Fasa I, II dan III oleh Rizkalla, Soudki, dan West (1986a)	28
2.15	Kelakuan beban melawan gelinciran spesimen dinding ricih konkrit pratuang (Rizkalla, Soudki, dan West, 1986a).	29
2.16	Dimensi keseluruhan spesimen dan kedudukan tolok terikan kajian oleh Rizkalla, Serrette dan Heuvel (1986b)	30
3.1	Carta alir metodologi keseluruhan kajian.	34
3.2	Carta alir metodologi kajian di Fasa 1.	36
3.3	Bar tetulang Y16 dan ukuran sudut permukaan rusuk	39
3.4	Spesimen sambungan yang disediakan melalui cara kimpalan dan ikatan.	40
3.5	Tetulang BRC yang digunakan	40
3.6	Paip PVC yang digunakan.	41
3.7	Bahan pengisi turap yang digunakan (Sika Grout-215).	43
3.8	Pam tekanan	44
3.9	SS Mortar yang digunakan	45
3.10	Dimensi spesimen sambungan kawalan.	49
3.11	Dimensi spesimen sambungan siri AC.	50
3.12	Spesimen siri AC di dalam makmal	51
3.13	Dimensi spesimen sambungan Siri BC	52
3.14	Sambungan siri BC di dalam makmal	53
3.15	Dimensi spesimen sambungan siri DS	54
3.16	Spesimen siri DS di dalam makmal	55
3.17	Dimensi spesimen sambungan Siri ES	56
3.18	Spesimen Siri ES di dalam makmal	57
3.19	Rangka kayu dan spesimen sambungan siap untuk diikat.	59
3.20	Spesimen sambungan telah siap diikat pada rangka kayu	59
3.21	Spesimen sambungan sedia untuk dimasukkan bahan pengisi	60
3.22	Keadaan spesimen sambungan setelah dituangkan Sika-Grout 215 sebagai bahan pengisi.	60
3.23	Spesimen sambungan untuk siri ES sedia untuk diuji di makmal	60

3.24	Spesimen sambungan siri ES-65-4-200 yang telah dipilih untuk digunakan di Fasa 2.	62
3.25	Jenis sambungan yang digunakan di Fasa 2.	64
3.26	Susun-atur bar tetulang utama dan BRC spesimen dinding monolitik	65
3.27	Susun-atur bar tetulang utama dan BRC spesimen dinding	66
3.28	Susun-atur bar tetulang utama dan BRC spesimen dinding	67
3.29	Kotak acuan untuk spesimen dinding.	68
3.30	Besi tetulang BRC yang akan digunakan	69
3.31	Besi tetulang BRC di dalam kotak acuan.	69
3.32	Kedudukan dan jumlah bar tetulang Y16 di dalam kotak acuan.	70
3.33	Kaedah pemasangan saluran tambahan dan besi peruang pada spesimen sambungan.	71
3.34	Pemasangan tolok terikan pada bar tetulang Y16	72
3.35	Kedudukan tolok terikan pada spesimen dinding dengan dua sambungan sambat.	72
3.36	Pemasangan spesimen sambungan di dalam kotak acuan selesai.	73
3.37	Pemasangan selesai untuk spesimen dinding monolitik	74
3.38	Keseluruhan kotak acuan yang disediakan	74
3.39	Kerka-kerja konkrit sedang dijalankan	75
3.40	Kerja konkrit telah selesai	76
3.41	Proses pengawetan konkrit menggunakan karung guni basah	76
3.42	Spesimen panel dinding konkrit pratuang di dalam makmal	77
3.43	Kerja-kerja penyambungan panel dinding monolitik.	78
3.44	Panel dinding monolitik di dalam makmal.	78
3.45	Proses penyambungan panel dinding sambungan ES	79
3.46	Spesimen sambungan sambat di dalam panel dinding	80
3.47	Kerja memasukkan grout ke dalam sambungan sambat dan sambungan antara panel.	80
3.48	Spesimen panel dinding di dalam makmal.	81
3.49	Proses penyambungan panel dinding sambungan NMB	82

3.50	Spesimen sambungan sambat di salam panel dinding	82
3.51	Kerja memasukkan bahan pengisi ke dalam sambungan sambat dan sambungan antara panel.	83
3.52	Spesimen panel dinding di dalam makmal.	84
3.53	Ujian mampatan	85
3.54	Ujian tegangan untuk spesimen sambungan sedang dijalankan.	87
3.55	Permandangan dari hadapan pemasangan spesimen dinding di tempat ujian.	89
3.56	Permandangan dari sisi pemasangan spesimen dinding di tempat ujian.	90
3.57	Keadaan spesimen dinding di tempat ujian.	90
3.58	Pengelog data dan komputer yang digunakan di tempat ujian.	91
3.59	Dimensi spesimen dinding dan kedudukan LVDT.	92
3.60	Pemasangan LVDT semasa ujian ricih dijalankan di makmal ujian	93
4.1	Graf beban-sesaran untuk ujian tegangan bar keluli Y16	96
4.2	Graf tegasan-terikan untuk ujian tegangan bar keluli Y16	97
4.3	Graf beban-sesaran untuk ujian tegangan bar keluli Y16 dan spesimen sambungan	99
4.4	Mod kegagalan spesimen sambungan kawalan; turap putus	100
4.5	Graf beban melawan sesaran spesimen siri AC	103
4.6	Mod kegagalan bar gelincir	108
4.7	Mod kegagalan turap/konkrit gelincir	109
4.8	Corak keretakan spesimen sambungan	110
4.9	Corak keretakan jejarian pada spesimen sambungan	111
4.10	Graf beban melawan sesaran spesimen siri BC	114
4.11	Graf tegasan melawan terikan untuk bar tetulang Y16	115
4.12	Graf tegasan melawan terikan untuk bar tetulang Y10	117
4.13	Mod kegagalan bar putus siri BC	120
4.14	Mod kegagalan bar gelincir siri BC	121
4.15	Corak keretakan spesimen sambungan	122

4.16	Corak keretakan jejarian pada spesimen sambungan	122
4.17	Graf beban melawan sesaran spesimen siri DS	125
4.18	Mod kegagalan turap gelincir siri DS	128
4.19	Graf beban melawan sesaran spesimen siri ES (Diameter = 45mm)	132
4.20	Graf beban melawan sesaran spesimen siri ES (Diameter = 55mm)	133
4.21	Graf beban melawan sesaran spesimen siri ES (Diameter = 65mm)	133
4.22	Mod kegagalan bar patah siri ES	138
4.23	Mod kegagalan bar gelincir siri ES	139
4.24	Mod kegagalan turap putus siri ES	139
4.25	Corak keretakan spesimen sambungan	140
4.26	Graf beban melawan sesaran spesimen siri ES (diameter berbeza).	142
4.27	Keputusan yang ditunjukkan oleh sebahagian spesimen siri AC	144
4.28	Keputusan yang ditunjukkan oleh sebahagian spesimen siri BC	146
4.29	Keputusan yang ditunjukkan oleh spesimen siri DS dan ES	148
4.30	Keputusan yang ditunjukkan oleh spesimen siri DS dan ES	150
5.1	Graf beban melawan sesaran (L2) spesimen dinding monolitik	157
5.2	Graf beban melawan sesaran (L2) spesimen dinding SLT-NMB	159
5.3	Graf beban melawan sesaran spesimen dinding SLT-SVR	161
5.4	Graf beban melawan terikan spesimen monolitik; (a) SLT-FRB-04), (b)(SLT-FRB-05), (c) (SLT-FRB-06)	163
5.5	Kedudukan tolok terikan untuk spesimen dinding dengan dua bar tetulang.	164
5.6	Graf beban melawan terikan spesimen dinding; (a) SLT-NMB-01, (b) SLT-NMB-02, (c) SLT-NMB-03	166

5.7	Kedudukan tolok terikan untuk spesimen dinding dengan dua sambungan	167
5.8	Graf beban melawan terikan spesimen dinding; (a) SLT-SVR-01, (b) SLT-SVR-02, (c) SLT-SVR-03	169
5.9	Kedudukan tolok terikan untuk spesimen dinding dengan dua sambungan.	170
5.10	Spesimen dinding monolitik menunjukkan kegagalan ricih	172
5.11	Kegagalan bar gelincir spesimen dinding monolitik.	173
5.12	Spesimen dinding menunjukkan kegagalan ricih	175
5.13	Kegagalan bar gelincir dan bar putus spesimen dinding SLT-NMB.	176
5.14	Spesimen dinding menunjukkan kegagalan ricih.	177
5.15	Kegagalan bar gelincir spesimen dinding SLT-SVR	178
5.16	Kelakuan graf spesimen dinding	180
5.17	Jarak antara bar tetulang di dalam sambungan	181
5.18	Kelakuan graf spesimen dinding SLT-SVR	182

SENARAI SIMBOL

f_{bu}	-	Tegasan ikatan
β	-	Pekali bergantung kepada jenis bar
f_{cu}	-	Kekuatan mampatan bahan pengisi
P	-	Mod kegagalan
φ_e	-	Diameter bar namaan
L_d	-	Panjang tambatan
U	-	Kekuatan ikatan konkrit
f_n	-	Tekanan kurungan sisi
f'_c	-	Kekuatan mampatan konkrit
T_s	-	Daya tangen dalam panjang kecil Δl paip
ε_s	-	Terikan tangen di dalam paip
t	-	Ketebalan dinding paip
Δl	-	Panjang kecil membujur paip
E	-	Modulus keanjalan paip
d_i	-	Diameter dalam paip
γ_m	-	Faktor keselamatan
L_d	-	Embedment length
D	-	Diameter dalam paip PVC (acuan sambungan)
d	-	Diameter dalam bar pilin
L	-	Panjang keseluruhan sambungan sambat
F_u	-	Daya tegasan muktamad (ACI 318)
P_y	-	Beban alah
P_u	-	Beban muktamad
δ_u	-	Sesaran
T_s	-	Daya tangent dalam panjang paip yang kecil, Δl

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Senarai Penerbitan Kajian	191
B1	Piawai BS 8110-1:199 (Jadual 3.27)	192
B2	Piawai BS 8110-1:199 (Klausa 3.12.8.2, Klausa 3.12.8.3, Jadual 3.26)	193
C1	Keputusan Ujian Beban Ricih Spesimen SLT-FRB-05 di Fasa 2	194
C2	Keputusan Ujian Beban Ricih Spesimen SLT-FRB-05 di Fasa 2	195
C3	Keputusan Ujian Beban Ricih Spesimen SLT-FRB-05 di Fasa 2	196

BAB I

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Industri pembinaan di Malaysia pada abad ini semakin berkembang maju selaras dengan perkembangan ekonomi negara dan teknologi pembinaan di peringkat antarabangsa. Kejayaan ini dibuktikan dengan banyaknya syarikat-syarikat pembinaan dari Malaysia yang berpengalaman telah diberi kepercayaan untuk membina bangunan dan kemudahan-kemudahan infrastruktur terutama di negara-negara seperti India, Kemboja, Qatar, Bahrain dan lain-lain. Selaras dengan perkembangan ini juga, Kementerian Kerja Raya (KKR) membawa Malaysia untuk melangkah lebih jauh lagi dengan meletakkan matlamat semua projek pembinaan di negara ini menggunakan Sistem Binaan Berindustri (IBS) seperti yang diamalkan oleh negara-negara maju lain menjelang tahun 2015.

Sistem Binaan Berindustri (IBS) merupakan satu sistem atau kaedah pembinaan yang mana komponennya dihasilkan di dalam keadaan terkawal (di kilang atau di tapak

bina), diangkut dan dipasang dalam kerja pembinaan dengan menggunakan pekerja yang minimum di tapak. Sebenarnya, di Malaysia, sistem IBS telah lama wujud cuma tidak mempunyai pasaran disebabkan tidak ditonjolkan selain tiada pemantauan dan jaminan bagi membolehkan kontraktor menggunakan sistem tersebut. Selain itu juga, penemuan oleh Patrick *et al.* (2011) di dalam kajian literatur mereka menunjukkan bahawa tahap penerimaan sistem pembinaan ini juga adalah rendah di kalangan kontraktor tempatan berbanding dengan negara-negara lain seperti Jerman, Singapura, Jepun dan United Kingdom. Kajian beliau juga mendapati kontraktor tempatan di Malaysia lebih menyukai cara pembinaan konvensional berbanding sistem IBS. Sebenarnya, penggunaan sistem IBS ini mampu menyelesaikan beberapa masalah di dalam sektor pembinaan iaitu mengurangkan kebergantungan negara kepada pekerja asing, aliran wang ke luar negara oleh pekerja, dan juga meningkatkan kualiti serta produktiviti dalam industri pembinaan. Oleh itu, para pemain dalam industri pembinaan ini sepatutnya mengambil peluang untuk bertukar kepada sistem pembinaan IBS yang berasaskan teknologi ini. Antara teknologi yang terlibat di dalam sistem ini adalah sistem konkrit pratuang iaitu kerangka, panel dan kekotak konkrit pratuang yang merangkumi struktur tiang, papak lantai, rasuk dan juga dinding pratuang.

Struktur dinding konkrit pratuang merupakan salah satu struktur di bawah IBS dan banyak digunakan di dalam industri pembinaan. Keberkesanan dinding konkrit pratuang ini sangat bersandar pada sambungan panel ke panel yang merupakan komponen yang penting dalam keseluruhan sistem. Sambungan yang digunakan ini akan mempengaruhi prestasi struktur dan kelakuan beban pada dinding konkrit pratuang terutama dari segi kebolehinaan, kestabilan, kekuatan, fleksibiliti dan juga daya yang terhasil di dalam struktur.

Oleh kerana timbul banyak masalah disebabkan oleh sistem pertindihan bar konvensional, sambungan sambat merupakan jenis sambungan yang sesuai dan boleh digunakan untuk menyambat bar tetulang dari struktur dinding lain dalam memastikan

kesinambungan di antara kedua-dua panel dinding tersebut (Einea *et al.*, 1995). Sambungan sambat juga merupakan sambungan yang direka khas untuk mengikat turap yang digunakan sebagai bahan ikatan bar tetulang sambat di dalam sambungan. Menurut McDermott (1999), sambungan sambat ini akan memudahkan proses pemasangan dan menyelesaikan masalah kesesakan bar, khususnya untuk struktur yang memerlukan banyak pemasangan. Sambungan sambat yang digunakan biasanya dimasukkan terlebih dahulu ke dalam panel dinding sebelum proses penuangan konkrit dijalankan di bawah kawalan persekitaran sebelum diangkut ke tapak pembinaan untuk proses pemasangan. Di tapak pembinaan, bar tetulang tegak daripada panel dinding dengan panjang sambatan tertentu dimasukkan ke dalam sambungan di dalam panel dinding bawah. Konsep asas hubungan ini adalah dua batang bar keluli dimasukkan ke dalam penyambung daripada kedua-dua hujung dan ditemukan di pertengahan sambungan sebelum bahan pengikat dengan kekuatan tinggi dituangkan ke dalam sambungan dan seterusnya menjadi medium pemindahan beban di dalam sambungan. Tujuan bar keluli digunakan adalah untuk menyediakan kesinambungan daya tegangan di dalam sambungan tersebut.

Oleh kerana itu, kajian ini akan memfokuskan kepada penyediaan dan pengujian spesimen sambungan sambat melalui ujian tegangan. Rekabentuk yang dipilih untuk sambungan sambat ini adalah dengan menggunakan bar pilin dan bar memanjang sebagai tetulang utama di dalam sambungan. Beberapa parameter sambungan telah dipilih untuk mengkaji kesan perbezaan parameter tersebut terhadap kekuatan sambungan sambat yang disediakan. Sambungan sambat ini juga diaplikasikan di dalam struktur dinding konkrit pratuang serta diuji melalui ujian ricih untuk mengkaji kelakuan sambungan sambat yang digunakan.

1.2 Pernyataan Masalah

Salah satu konsep penting teknologi konkrit pratuang adalah semua komponen konkrit pratuang mesti disambungkan secukupnya untuk mencapai kestabilan dan kekukuhan. Sebagai perbandingan dengan sistem konvensional, kebanyakan kes menunjukkan sistem tindihan bar yang merupakan amalan sistem konvensional banyak menimbulkan masalah kerana tetulang bar yang panjang, terutamanya bagi bar keluli berdiameter besar yang tertanam dalam struktur konkrit. Masalah lain yang juga timbul adalah kesesakan pada sambungan dan wujud masalah indung madu serta ruang udara jika kerja-kerja penyambungan atau kemasukan konkrit tidak dilakukan dengan baik. Maka atas sebab-sebab tersebut, sambungan sambat dipilih untuk menggantikan sistem konvensional ini.

Selain itu, disebabkan kekurangan pengetahuan saintifik, banyak kegagalan pramatang pada spesimen sambungan sambat berlaku iaitu kegagalan bar gelincir atau turap gelincir serta spesimen sambungan tidak dapat menanggung daya tegangan yang dikenakan. Maklumat mengenai tingkahlaku tindakbalas diantara bahan ikatan, bar tetulang dan penyambung juga sangat terhad dan belum meluas. Kegagalan yang berlaku kepada penyambung menyebabkan berlaku kegagalan struktur dan membahayakan keseluruhan bangunan. Selain itu, kebanyakan sambungan di pasaran sedia ada juga memerlukan proses pembuatan khusus untuk membentuk acuan spesimen supaya mendapatkan prestasi terbaik. Untuk mendapatkan sambungan di pasaran pula, kebanyakannya dimiliki oleh syarikat antarabangsa dan tidak digunakan secara meluas di Malaysia serta melibatkan kos yang tinggi. Oleh itu, kajian lanjut ke atas aspek-aspek asas sambungan sambat perlu dilakukan untuk menyediakan prestasi terbaik sambungan tersebut.

Seterusnya, untuk spesimen sambungan yang diaplikasikan di dalam struktur konkrit pratuang, bukti yang menunjukkan sambungan tersebut sesuai digunakan adalah diperlukan. Bukti yang cukup tidak akan diperolehi jika hanya melakukan ujian tegangan untuk spesimen dengan skala yang kecil seperti yang dilakukan oleh pengkaji-pengkaji terdahulu seperti Einea *et al.* (1995) dan Jansson (2008), tetapi meluaskan lagi skop kajian dengan melakukan ujian-ujian lain terhadap spesimen tersebut. Ini kerana, tindakbalas dan kelakuan yang ditunjukkan adalah berbeza jika diuji dengan ujian yang berbeza seperti ujian tegangan dan beban ricih. Oleh kerana itu, melalui kajian ini, spesimen sambungan sambat diuji dengan ujian tegangan dan ujian beban ricih setelah diaplikasikan di dalam struktur dinding konkrit pratuang.

1.3 Objektif Kajian

Objektif yang digariskan di dalam kajian ini adalah seperti berikut :

- a) Untuk menghasilkan cadangan rekabentuk spesimen sambungan sambat dengan menggunakan bar pilin dan bar memanjang melalui ujian tegangan.
- b) Untuk mengkaji kelakuan dan tindak balas spesimen sambungan sambat tersebut melalui ujian ricih di dalam struktur dinding konkrit pratuang
- c) Untuk melakukan perbandingan kelakuan sambungan sambat yang direkabentuk dengan bar tetulang penuh dan sambungan mekanikal Nisso Master Builders (NMB) di dalam struktur dinding konkrit pratuang.

1.4 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan dengan skop atau batasan berikut :

- (a) Dua fasa ujian dijalankan iaitu kajian terhadap 52 sambungan sambat dalam Fasa 1 dan sembilan spesimen sambungan dinding konkrit pratuang dalam Fasa 2.
- (b) Rekabentuk sambungan hanya melibatkan penggunaan bar pilin dan bar memanjang sebagai tetulang.
- (c) Bar pilin yang digunakan adalah dari jenis keluli sederhana berdiameter 6 mm (R6), manakala bar memanjang adalah dari jenis keluli alah tinggi berdiameter 10 mm (Y10).
- (d) Hanya sebatang bar tetulang sambat keluli alah tinggi berdiameter 16 mm (Y16) sahaja digunakan di dalam setiap spesimen sambungan.
- (e) Bar memanjang yang digunakan di dalam sambungan adalah dua, tiga dan empat batang Y10.
- (f) Berbagai diameter dalaman bar pilin digunakan iaitu dari 26 mm hingga 65 mm.
- (g) Spesimen sambungan sambat diuji dengan beban tegangan dan beban ricih.
- (h) Kekuatan mampatan konkrit bagi spesimen dinding ketika ujian dijalankan adalah dari 46.75 N/mm^2 hingga 50.86 N/mm^2 .
- (i) Bahan turap yang digunakan untuk sambungan bagi ujian beban ricih adalah dalam *keadaan boleh mengalir* dengan kekuatan mampatan dari 58.98 N/mm^2 hingga 75.63 N/mm^2 .
- (j) Spesimen-spesimen dinding disediakan dan diuji dengan satu, dua, atau tiga bilangan penyambung.
- (k) Kajian juga dilakukan terhadap spesimen dinding monolitik dan spesimen dinding yang menggunakan sambungan Nisso Master Builders (NMB).

- (1) Keputusan yang direkodkan dari ujian tegangan adalah beban alah, beban muktamad, sesaran dan mod kegagalan, manakala untuk ujian beban ricih pula adalah beban muktamad, sesaran dan mod kegagalan sahaja.

1.5 Kepentingan Kajian

Kajian ini dilakukan terhadap prestasi dan kelakuan sambungan bar sambat yang direkabentuk serta diuji melalui ujian tegangan dan ujian ricih di makmal. Prestasi dan kelakuan yang ditunjukkan melalui kedua-dua ujian ini boleh dijadikan sebagai asas rujukan oleh industri pembinaan untuk disesuaikan di tapak pembinaan. Selain itu, sambungan sambat yang dihasilkan boleh dijadikan sebagai alternatif kepada sistem sambungan yang biasa digunakan di tapak bina dan dapat menggantikan penggunaan tambatan bar yang panjang serta menjimatkan kos pembinaan. Kajian ini secara tidak langsung memberikan gambaran kepada pemilihan bahan yang lebih menjimatkan dan seterusnya menjadi penyumbang kepada pembangunan sistem sambungan untuk Sistem Binaan Berindustri (IBS) di Malaysia khususnya. Selain itu juga, kelebihan menggunakan sambungan sambat di dalam industri pembinaan dapat mempercepatkan lagi tempoh pembinaan dan memberikan kualiti pembinaan yang lebih tinggi dan terjamin.

1.6 Aturan Bab di dalam Tesis

Bab 2 membentangkan kajian semula yang dilakukan terhadap literatur sedia ada berkaitan dengan kajian yang dijalankan serta membentangkan maklumat mengenai sambungan sambat mekanikal.

Bab 3 menerangkan tentang metodologi kajian termasuk dimensi terperinci spesimen, tatarajah sambungan, spesifikasi bahan, peralatan pengujian, pengendalian ujian dan juga prosedur-prosedur yang digunakan.

Bab 4 menerangkan tentang keputusan ujian, mod kegagalan, analisis dan perbincangan terhadap kelakuan spesimen sambungan dibawah beban tegangan.

Bab 5 menerangkan tentang keputusan ujian, mod kegagalan, analisis dan perbincangan terhadap kelakuan spesimen dinding konkrit pratuang yang disambung dengan menggunakan sambungan sambat di bawah beban ricih.

Bab 6 membentangkan kesimpulan keseluruhan kajian serta cadangan penambahbaikan untuk pembangunan kajian pada masa hadapan.

RUJUKAN

- ASTM International (2005). *ASTM A1034/A 1034M-05b. Standard Test Methods for Testing Mechanical Splices for Steel Reinforcing Bars*. United States : ASTM International.
- ASTM International (2006). *Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings*. ASTM E564-06.
- British Standards, BSI (2001). *BS 5628. Code of practice for use of masonry - Part 3 : Materials and components, design and workmanship*. London : BSI.
- British Standards Institution (1997). *Structural Use of Concrete-Part 1:Code of Practice for Design and Construction*. London, BS 8110.
- Coogler, K. L. (2006). *Investigation of The Behavior of Offset Mechanical Splices*. MSc, University of Pittsburgh.
- Einea, A., Yamane, T. and Tadros, M. K. (1995). Grout-Filled Pipe Splices for Precast Concrete Construction. *Precast/Prestressed Concrete Institute Journal*. 40 (No. 1): 82-93.
- Foerster, H. R., Rizkalla, S. H. and Heuval, J. S. (1989). Behaviour and Design of Shear Connections for Load Bearing Wall Panels. *PCI Journal*. 34 (1): 102 - 119.

- Goto and Yukimasa (1971). Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars. *ACI Journal*. 68 (4): 244-251.
- Hutchinson, R. L., Rizkalla, S. H., Lau, M. and Heuval, J. S. (1991). Horizontal Post-Tensioned Connections for Precast Concrete Loadbearing Shear Wall Panels. *PCI Journal*. 36 (6): 64 - 76.
- ICC Evaluation Service, Inc. (2008). *AC-133. Acceptance Criteria for Mechanical Connector Systems for Steel Reinforcing Bars*. ICC Evaluation Service, Inc.
- Ichinose, T., Kanayama, Y., Inoue, Y., Bolander Jr, J.E. (2004). Size effect on bond strength of deformed bars. *Construction and Building Materials*. 18 : 549–558.
- Jansson, P. O. (2008). Evaluation of Grout-Filled Mechanical Splices for Precast Concrete Construction. TI-2094.
- Ling, J. H., Abd. Rahman, A. B., Ibrahim, I. S. (2010). Tensile performance of grouted splice connectors in precast concrete structures. *Concrete Plant International Journal*. Volume (5), 2-8.
- Lutz, L. A. (1966). The Mechanics of Bond and Slip of Deformed Reinforcing Bars in Concrete. 324.
- Ling, J. H., Abd. Rahman, A. B., Ibrahim, I. Z., Abd. Hamid, Z., (2009). Tensile Performance of Modified Hollow section Splice Sleeve Connector under Direct Tensile load. *Proceedings of 2nd Construction Industry Research Achievement International Conference (CIRAIC 2009)*. 3-5 Nov. The Legend Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lancelot, H. B., (1985). Mechanical Splices of Reinforcing Bars. *Concrete Construction Magazine*.

- Manap, N. (2009). *The Behaviour of Sleeve Connection with Spiral Reinforcement and Additional Longitudinal bar under Direct Tensile Load*. Sarjana, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai.
- McDermott. (1999). Mechanical Connections of Reinforcing Bars. ACI 439.3R-91 (reapproved).
- Moosavi, M., Jafari, A., Khosravi, A. (2003). Bond of cement grouted reinforcing bars under constant radial pressure. *Cement & Concrete Composites*. 27 : 103–109.
- Othman, R. (2007). *Performance of Connection in Precast Concrete Wall Panel Subject to Shear Load*. Sarjana, Universiti Teknologi Mara, Shah Alam.
- Patrick, T. L. Y., Adnan, A., Mirasa, A. K., Abd. Rahman, A. B. (2011). Performance of IBS Precast Beam-Column Connections Under Earthquake Effects : A Literature Review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 4(1) : 93-101.
- Rizkalla, S. H., Soudki, K. A., West, J. (1986a). *Precast Concrete Shear Wall Connections Used for Medium and Highrise Structures*. University of Manitoba.
- Rizkalla, S. H., Serrette, R. Heuvel, J. S. (1986b). *Shear Resistance of Various Connections used for Precast Concrete Load-Bearing Shear Wall Panels*. University of Manitoba.
- Splice Sleeve North America, Inc. (2003). *NMB Splice Sleeve[®] Systems*. [Brochure]. Irvine, California: SSNA.
- Soroushian, P., Choi, K. B., Park, G.H., Aslani, F. (1991). Bond of Deformed Bars to Concrete: Effects of Confinement and Strength of Concrete. *ACI Material Journal*. 227-232.

Sato, Y., Shima, H., Kanakubo, T. (2012). Japan Concrete Institute TC Activities on Bond Behavior and Constitutive Laws in RC (Part 1: Research Survey on Bond Problems). *Bond in Concrete 2012 – General Aspects of Bond*. ISBN: 978-88 - 907078-1-0 : 89-96.

Thompson, M. K., Jirsa, J. O., Breen, J. E., Klingner, R. E. (2002), Anchorage Behaviour of Headed Reinforcement: Literature Review.

Untrauer, R. E., Henry, R. L. (1965). Influence of Normal Pressure on Bond Strength. *ACI Journal*. May : 577-586.

Untrauer, R. E. and Henry, R. L. (1965). Influence of Normal Pressure on Bond Strength. *ACI Journal*. 65 (5): 577-585.

Zuo, J., Darwin, D., (2000). Splice strength of conventional and high relative rib area bars in normal and high-strength concrete. *ACI Structural Journal*. 97(4):630–41.