

**PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN PORSELIN
BERLIANG YANG DIHASILKAN MELALUI
KAEDAH REPLIKA SPAN POLIMER DAN
MENGAPLIKASIKANNYA SEBAGAI
BAHAN TERAS KOMPOSIT SANDWIC**

MOHD AL AMIN BIN MUHAMAD NOR

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
2010**

**PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN PORSELIN BERLIANG YANG
DIHASILKAN MELALUI KAEDAH REPLIKA SPAN POLIMER
DAN MENGAPLIKASIKANNYA SEBAGAI BAHAN TERAS
KOMPOSIT SANDWIC**

oleh

MOHD AL AMIN BIN MUHAMAD NOR

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Doktor Falsafah**

November 2010

PENGHARGAAN

Segala pujian dan syukur kehadiran Illahi dengan limpah kurniaanNya. Segala pujian khusus kepada Nabi Junjungan Muhammad S.A.W. dan kesejahteraan para sahabat dan para anbiya'a.

Pertama sekali ucapan setinggi terima kasih dan sekalung penghargaan kepada penyelia utama, Profesor Dr. Haji Zainal Arifin Ahmad dan penyelia bersama, Profesor Madya Dr. Hazizan Md. Akil yang banyak membantu dan memberi bimbingan serta dorongan sepanjang perjalanan projek ini.

Ucapan terima kasih juga kepada Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan Malaysia (CIDB) yang menyediakan geran penyelidikan di bawah tajuk "*Ceramic foam core sandwich composites for structural applications*" dan Universiti Malaysia Terengganu yang telah meluluskan cuti belajar saya bagi menyempurnakan projek penyelidikan ini.

Ucapan terima kasih diajukan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral kerana memberi peluang bagi saya menyambung pengajian ke peringkat Doktor Falsafah. Ucapan terima kasih kepada Dekan, Profesor Dr. Ahmad Fauzi Mohd Noor, Timbalan-Timbalan Dekan, pensyarah-pensyarah khususnya Profesor Madya Dr. Ahmad Azmin Mohamad dan Dr. Shah Rizal Kasim serta kakitangan pusat pengajian khasnya para juruteknik yang sentiasa membantu dalam menjayakan projek.

Buat isteri tercinta Dr. Wan Norisah Wan Yaakob terima kasih atas kasih sayang, sokongan serta segala pengorbanan yang telah dicurahkan. Buat anak-anak yang disayangi Hakim, Hafiz, Hazim dan Hanif, sesungguhnya perjuangan ayah meninggalkan kalian untuk menggengam segulung ijazah perlu menjadi inspirasi dan dorongan untuk kalian berjaya pada masa hadapan. Buat ayahanda Haji Muhamad Nor Said dan bonda Hajah Wan Zainab Wan Harun serta keluarga, terima kasih atas segala sokongan dan galakan yang telah diberikan. Semoga doa dan restu kalian akan diberkati oleh Yang Maha Esa.

Akhir sekali, buat rakan seperjuangan khususnya Hazman Seli, Banjuraizah Johar, Nur Azam Badruzaman, Nik Akmar Rejab, Ahmad Zahirani Ahmad Azhar, Abdul Rashid Jamaludin yang banyak menghulurkan bantuan, galakan dan sokongan sepanjang pengajian didahulukan dengan ucapan terima kasih. Sokongan dan galakan kalian menjadi pendorong bagi saya menyempurnakan projek ini.

Sekian, terima kasih.

MOHD AL AMIN BIN MUHAMAD NOR

November 2010

ISI KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI RAJAH	x
SENARAI JADUAL	xvi
SENARAI LAMPIRAN	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xx
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Latarbelakang kajian	3
1.3 Penyataan masalah	7
1.4 Objektif	9
1.5 Pendekatan kajian	9
BAB 2 KAJIAN PERSURATAN	
2.1 Pendahuluan	13
2.2 Bahan seramik	13
2.3 Bahan berliang	15
2.3.1 Bahan seramik berliang	18
2.4 Porselin	22
2.5 Poliuretana	26
2.6 Kaedah penghasilan seramik berliang	29
2.6.1 Pembentukan liang	30
2.6.2 Kaedah Pembusaan	33

2.6.3	Kaedah Tuangan Gel Busa	35
2.6.4	Kombinasi Tuangan Gel Busa dan Replika Span Polimer	38
2.6.5	Kaedah Replika Span Polimer	38
	2.6.5(a) Pemilihan pencontoh span polimer	40
	2.6.5(b) Penambahan bahan tambah	43
	2.6.5(c) Penyediaan slip	44
	2.6.5(d) Proses pengisitepuan/salutan	44
	2.6.5(e) Proses penyingkiran lebihan slip	45
	2.6.5(f) Proses pengeringan dan pensinteran	46
2.6.6	Potensi seramik berliang sebagai teras komposit sandwic	49
2.7	Komposit Sandwic	50
	2.7.1 Sejarah Penggunaan Komposit Sandwic	51
	2.7.2 Komponen-komponen Komposit Sandwic	52
	2.7.3 Bahan Kulit	54
	2.7.4 Bahan Perekat	55
	2.7.5 Bahan teras komposit sandwic	58
	2.7.5(a) Teras Busa Polimer	59
	2.7.5(b) Busa Logam	60
	2.7.5(c) Struktur Indung Madu	61
	2.7.5(d) Balsa	63
	2.7.6 Kriteria Asas Merekabentuk Komposit Sandwic	63
BAB 3 BAHAN DAN KAEDAH UJIKAJI		
3.1	Pendahuluan	67
3.2	Bahan mentah dan pencirian	68
	3.2.1 Bahan mentah porselin	68

3.2.2	Span polimer	68
3.2.3	Kepingan aloi aluminium	71
3.2.4	Bahan Perekat	72
	3.2.4(a) Dunlop™	72
	3.2.4(b) Devcon™ dan Araldite™	72
	3.2.4(c) Resin epoksi gred umum (DER 331)	73
3.2.5	Pencirian Bahan Mentah	73
	3.2.5(a) Analisa saiz partikel	74
	3.2.5(b) Analisis penentuan fasa/minerologi	74
	3.2.5(c) Analisis Mikrostruktur	74
3.3	Penghasilan porselin berliang (Eksperimen A)	75
	3.3.1 Eksperimen A1 (Kesan jumlah kandungan pepejal) dan Eksperimen A2 (ketumpatan span polimer komersil)	75
	3.3.1(a) Penyediaan slip porselin	76
	3.3.1(b) Pengisitepuan slip porselin ke dalam span	77
	3.3.1(c) Pengeringan pencontoh	77
	3.3.1(d) Pensinteran porselin berliang	78
	3.3.2 Pencirian porselin berliang	79
	3.3.2(a) Pemerhatian terhadap hasil sebelum dan selepas pensinteraan	79
	3.3.2(b) Penentuan keliangan ketara dan ketumpatan pukal	79
	3.3.2(c) Ujian kekuatan mampatan	80
	3.3.2(d) Ujian lenturan tiga titik ASTM C1161-94(1996)	81
3.4	Penghasilan komposit sandwic (Eksperimen B)	81
	3.4.1 Eksperimen B1: Pemilihan perekat yang sesuai	82
	3.4.1(a) Ujian lenturan ikatan perekatan pemasangan	83

	berlapis ASTM D 1184-98(1998)	
3.4.1(b)	Ujian ricih bahan teras komposit sandwic ASTM C 273-00(2000)	84
3.4.1(c)	Ujian kupasan atau pelucutan iikatan perekatan ASTM D 903-98(1998)	85
3.4.2	Eksperimen B2: Penentuan modulus ricih dan kekakuan lenturan komposit sandwich	87
3.4.3	Eksperimen B3: Kesan ketebalan kulit aluminium terhadap sifat komposit sandwic berteraskan porselin berliang	88
3.4.4	Eksperimen B4: Kesan ketebalan teras porselin berliang terhadap sifat komposit sandwic	90
3.5	Eksperimen C: Potensi porselin berliang sebagai bahan teras kalis api	91

BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pendahuluan	92
4.2	Pencirian bahan mentah	92
4.2.1	Analisis saiz partikel serbuk bahan mentah porselin	93
4.2.2	Analisis penentuan fasa/minerologi serbuk porselin	94
4.2.3	Analisis mikrostruktur span polimer dan kepingan aloi aluminium	95
	4.2.3(a) Mikrostruktur pencontoh span polimer	95
	4.2.3(b) Mikrostruktur kepingan kulit aloi aluminium 6061-T6 (kulit)	97
4.3	Pencirian porselin berliang (Eksperimen A)	98
4.3.1	Penyediaan dan kelikatan slip porselin	98
4.3.2	Pemerhatian semasa dan selepas pengisitepuan dan pengeringan	100
4.3.3	Pemerhatian selepas proses pensinteraan	103
4.3.4	Replika porselin berliang	109

4.3.4(a)	Analisis penentuan fasa/minerologi	109
4.3.4(b)	Mikrostruktur replika porselin berliang	110
4.3.4(c)	Kesan jumlah kandungan pepejal terhadap mikrostruktur porselin berliang (Eksperimen A1)	112
4.3.4(d)	Kesan ketumpatan pencontoh terhadap morfologi porselin berliang (Eksperimen A2)	114
4.3.5	Pencirian fizikal porselin berliang	119
4.3.5(a)	Penentuan ketumpatan pukal	119
4.3.5(b)	Penentuan keliangan ketara	121
4.3.6	Kekuatan mekanikal porselin berliang	123
4.3.6(a)	Keputusan ujian kekuatan mampatan	123
4.3.6(b)	Keputusan ujian kekuatan lenturan tiga titik	125
4.3.7	Pemilihan porselin berliang sebagai teras komposit sandwic	128
4.3.8	Perbandingan porselin berliang yang dihasilkan dengan seramik berliang yang terdapat dalam kajian persuratan	130
4.4	Bahagian B: Penghasilan dan pencirian komposit sandwic	134
4.4.1	Kajian pemilihan bahan perekat yang sesuai	134
4.4.1(a)	Ujian kekuatan lenturan tiga titik untuk perekat	135
4.4.1(b)	Ujian kekuatan lucutan untuk ikatan perekat, ASTM D 903-98(1998)	139
4.4.1(c)	Ujian ricih teras komposit sandwic ASTM C270-00(2000)	141
4.4.2	Ujian-ujian bagi menentukan sifat-sifat komposit sandwic	144
4.4.2(a)	Penentuan modulus ricih dan kekakuan lenturan	145
4.4.2(b)	Kesan ketebalan kulit berbeza pada komposit sandwic	148
4.4.2(c)	Kesan ketebalan teras berbeza pada komposit sandwic	150

4.4.3	Perbandingan nilai modulus ricih, G, dan kekakuan lenturan, D, teras porselin berliang dengan pelbagai jenis bahan teras lain	154
4.5	Bahagian C: Potensi porselin berliang sebagai bahan teras kalis api	157

BAB 5 KESIMPULAN

5.1	Kesimpulan	159
-----	------------	-----

5.2	Cadangan	159
-----	----------	-----

RUJUKAN		160
----------------	--	-----

LAMPIRAN		170
-----------------	--	-----

SENARAI RAJAH

Rajah 2.1	Gambaran kepelbagaian penggunaan bahan seramik (Somiya, 1989)	15
Rajah 2.2	Bahan-bahan berliang secara semulajadi (a) kayu gabus, (b) kayu balsa, (c) span, (d) tulang trabekular, (e) batu karang, (f) tulang sotong, (g) daun iris, dan (h) batang tumbuhan (Gibson dan Ashby, 1997)	17
Rajah 2.3	Contoh-contoh seramik (a) fiber, (b) indung madu dan (c) retikulum	20
Rajah 2.4	Mikrostruktur busa seramik dengan (a) liang terbuka (Gadalla, 2006), (b) liang tertutup (Kim et al., 2005) dan (c) kombinasi liang terbuka dan tertutup (Tomita et al., 2004)	21
Rajah 2.5	Gambarajah tiga paksi yang menunjukkan pelbagai julat bahan tembikar komersil ubahsuai daripada (William dan Udayan, 1998)	23
Rajah 2.6	Contoh bahan poliuretana berbuisa (a) berkeliangan terbuka dan (b) berkeliangan tertutup (Woods, 1990)	28
Rajah 2.7	Kepelbagaian julat bahan poliuretana beserta kegunaannya (Woods, 1990)	29
Rajah 2.8	Mikrostruktur seramik berliang yang dihasilkan dengan menggunakan (a) polivinil klorida (Liu, 1998), (b) butiran abu terbang manakala sebagai bahan pembentukan liang (c) adalah butiran abu terbang yang digunakan (Shao et al., 2009)	33
Rajah 2.9	Struktur busa seramik yang dihasilkan melalui kaedah tuangan gel busa; (a) mikrostruktur dinding sel busa seramik yang menunjukkan struktur yang padat, dan (b) mikrostruktur jasad berliang yang mempunyai liang-liang mikro yang bersambung (Sepulveda, 1997)	37
Rajah 2.10	Carta alir penghasilan seramik berliang melalui kaedah replikasi span polimer (Saggio-Woyansky dan Scott, 1992)	40
Rajah 2.11	Kaedah penentuan jumlah ppi pada pencontoh span polimer, bilangan liang-liang dikira disepanjang garisan A-B dan C-D bagi menentukan jumlah ppi sesuatu sampel (Scheffler dan Colombo, 2005)	42
Rajah 2.12	Contoh proses membuang lebihan slip secara seragam menggunakan apitan pada dua pengelek (Zhu et al., 2002)	45
Rajah 2.13	Mikrostruktur busa seramik yang dihasilkan menggunakan pencontoh dibuat khas; (a) 45, (b) 20 dan (c) 8 ppi (Moreira et	47

al. 2004)

Rajah 2.14	Korderit berliang terbuka dengan (a) retakan longitudinal pada permukaan strut dan (b) keadaan berlohong pada bucu dinding liang (strut) (Oliveira et al., 2006)	48
Rajah 2.15	Contoh sistem struktur komposit sandwic tipikal (Allen, 1969)	51
Rajah 2.16	(a) Kepingan kulit logam yang disusun mengapit teras busa poliuretana melentur apabila diletakkan pada dua pasang tiang akibat tidak mampu menanggung beratnya sendiri dan (b) komponen-komponen yang sama direkatkan dengan perekat membentuk komposit sandwic yang mempunyai kekuatan yang tinggi serta mampu menanggung beban sehingga 100kg (Koschade, 2002)	53
Rajah 2.17	Kulit tertanggal daripada teras disebabkan keupayaan bahan perekat yang lemah dalam menampung beban yang dikenakan ke atas panel komposit sandwic	56
Rajah 2.18	Tiga kelas utama bahan teras komposit sandwic; (a) teras plastik mengembang, (b) teras indung madu dan (c) teras kapas mineral (Zinkert, 1995)	59
Rajah 2.19	Jenis-jenis struktur teras indung madu; (a) heksagonal, (b) heksagon diperkuat, (c) pengembangan terlebih, (d) sel segiempat, (e) terkurang pengembangan dan (f) teras fleks	62
Rajah 2.20	Beban mampatan pada struktur sandwic	64
Rajah 2.21	Beban kenaan pada struktur sandwic	64
Rajah 2.22	Tegasan ricihan dalam teras	64
Rajah 2.23	Pengancingan yang berlaku dalam struktur sandwic	65
Rajah 2.24	Permukaan beralun pada kulit struktur sandwic	65
Rajah 2.25	Cawakan intasel pada kulit struktur sandwic	65
Rajah 2.26	Pelenturan yang telah berlaku pada struktur sandwic	66
Rajah 2.27	Peledingan yang mesti diambil kira sewaktu merekabentuk struktur sandwic	66
Rajah 3.1	Ringkasan rekabentuk eksperimen yang dijalankan bagi menghasilkan dan mencirikan seramik dan komposit sandwic.	70
Rajah 3.2	Profail pensinteran jasad anum porselin berliang yang terdiri dari dua peringkat iaitu proses pembakaran bahan organik pada	78

suhu antara 400-500°C dan pensinteran pada suhu 1250°C.

Rajah 3.3	Susun atur ujian kekuatan lenturan ikatan perekatan pemasangan berlapis panel komposit berteraskan porselin berliang	84
Rajah 3.4	Susun atur ujian kekuatan ricih panel komposit berteraskan porselin berliang	85
Rajah 3.5	Susunatur sampel untuk penentuan kekuatan kupasan atau pelucutan ikatan perekatan	86
Rajah 3.6	Plot δ/PL terhadap L^2 untuk penentuan kekukuhan ricih, AG	89
Rajah 3.7	Plot δ/PL^3 terhadap $1/L^2$ untuk penentuan kekukuhan lenturan, D	89
Rajah 4.1	Taburan saiz partikel serbuk bahan mentah porselin yang diperolehi daripada mesin penganalisis saiz partikel model HELOS.	93
Rajah 4.2	Keputusan analisis XRD serbuk porselin, q = kuarza, a = albit, m = mikroclin, k = kaolinit dan c = koesit	94
Rajah 4.3	Morfologi pencontoh span polimer pada pembesaran 30X dan 100X (gambar kecil); (a) 13.4, (b) 16.9, (c) 19.1, (d) 25.2, (e) 29.2 dan (f) 37.8kg/m ³	96
Rajah 4.4	Mikrostruktur permukaan kepingan aloi aluminium pada 100x pembesaran (a) sebelum pembagasan pasir dan (b) selepas pembagasan pasir	97
Rajah 4.5	Kelikatan slip seramik pada pelbagai jumlah kandungan pepejal	100
Rajah 4.6	Porselin berliang yang dihasilkan menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan pada jumlah kandungan pepejal (a) 20, (b) 25, (c) 30, (d) 35, (e) 40, (f) 45, (g) 50 dan (h) 55% berat serbuk porselin	106
Rajah 4.7	Skematik pembentukkan rongga akibat penusukan slip yang kurang sempurna semasa proses pengisitepuan	108
Rajah 4.8	Keputusan analisis porselin berliang yang disinter pada 1250°C selama dua jam (q = kuarza, m = mulit dan c = korundum)	109
Rajah 4.9	Perbandingan morfologi antara (a) pencontoh span polimer komersil berketumpatan 37.80kg/m ³ dan (b) porselin berliang yang dihasilkan	111

Rajah 4.10	Mikrostruktur keratan patah porselin berliang yang dihasilkan menggunakan span polimer berketumpatan 37.8kg/m^3 diperhatikan menggunakan SEM pada 30X pembesaran; (a) 25, (b) 35, (c) 45 dan (d) 55% kandungan pepejal	113
Rajah 4.11	Mikrograf fasa mulit pada 10,000X pembesaran (sampel porselin berliang yang dihasilkan pada 45% kandungan pepejal).	114
Rajah 4.12	Porselin berliang yang dihasilkan pada 20% kandungan pepejal menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan; (a) 13.40, (b) 16.9, (c) 19.10, (d) 25.5, (e) 29.20 dan (f) 37.8kg/m^3	116
Rajah 4.13	Porselin berliang yang dihasilkan pada 45% kandungan pepejal menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan; (a) 13.40, (b) 16.9, (c) 19.10, (d) 25.5, (e) 29.20 dan (f) 37.8kg/m^3	118
Rajah 4.14	Ketumpatan porselin berliang yang dihasilkan menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan pada jumlah kandungan pepejal berbeza.	120
Rajah 4.15	Pengaruh ketumpatan pencontoh terhadap ketumpatan porselin berliang yang dihasilkan pada jumlah kandungan pepejal berbeza	121
Rajah 4.16	Keliangan ketara porselin berliang yang dihasilkan menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan pada jumlah kandungan pepejal berbeza.	122
Rajah 4.17	Pengaruh ketumpatan pencontoh terhadap keliangan ketara porselin berliang yang dihasilkan pada jumlah kandungan pepejal berbeza	123
Rajah 4.18	Kekuatan mampatan porselin berliang yang dihasilkan menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan pada jumlah kandungan pepejal berbeza.	124
Rajah 4.19	Pengaruh ketumpatan pencontoh terhadap kekuatan mampatan porselin berliang yang dihasilkan pada jumlah kandungan pepejal berbeza	125
Rajah 4.20	Kekuatan lenturan porselin berliang yang dihasilkan menggunakan pencontoh pelbagai ketumpatan pada jumlah kandungan pepejal berbeza	126
Rajah 4.21	Pengaruh ketumpatan pencontoh terhadap kekuatan lenturan porselin berliang yang dihasilkan pada jumlah kandungan pepejal berbeza.	127

Rajah 4.22	Kekuatan lenturan komposit sandwic yang direkatkan dengan menggunakan bahan perekat berbeza.	136
Rajah 4.23	Mod kegagalan sandwic komposit sandwic yang direkatkan dengan menggunakan pelbagai bahan perekat; (a) Sampel sebelum diuji, (b) Dunlop TM , (c) Devcon TM , (d) Araldite TM dan (e) resin epoksi (DER 331).	138
Rajah 4.24	Corak kupasan sampel komposit sandwic yang dicirikan melalui ujian kupasan ASTM D 903-98(1998); (a) Sampel sebelum diuji, (b) Dunlop TM , (c) Devcon TM , (d) Araldite TM dan (e) resin epoksi (DER 331)	139
Rajah 4.25	Skematik peralihan tegasan yang menyebabkan kegagalan pada teras semasa ujian pelucutan	140
Rajah 4.26	Beban yang digunakan untuk mengoyakkan rekatan kulit sandwic	141
Rajah 4.27	Corak ricih bagi sampel komposit sandwic yang menunjukkan ciri-ciri perekat yang bersifat elastik dan rapuh; (a) Sampel sebelum diuji, (b) Dunlop TM , (c) Devcon TM , (d) Araldite TM dan (e) resin epoksi (DER 331)	142
Rajah 4.28	Keputusan ujian ricih sandwic komposit yang direkatkan dengan perekat komersil	143
Rajah 4.29	Skematik kegagalan perekat akibat tumpuan tegasan pada bahagian kulit hasil daripada ikatan perekatan yang baik	144
Rajah 4.30	Lengkuk beban–pemanjangan komposit sandwic berteraskan porselin berliang yang diuji melalui ujian lenturan tiga titik pada diuji pada jarak antara dua titik penyokong yang berbeza	145
Rajah 4.31	Lengkuk tegasan-terikan bagi komposit sandwic berteraskan porselin berliang yang diuji melalui ujian lenturan tiga titik pada diuji pada jarak antara dua titik penyokong yang berbeza	146
Rajah 4.32	Lengkuk δ/PL terhadap L^2 bagi komposit sandwic berteraskan porselin berliang yang diperolehi dari ujian lenturan tiga titik pada diuji pada jarak antara dua titik penyokong yang berbeza	147
Rajah 4.33	Lengkuk δ/PL^3 terhadap $1/L^2$ bagi komposit sandwic berteraskan porselin berliang yang diperolehi dari ujian lenturan tiga titik pada diuji pada jarak antara dua titik penyokong yang berbeza	147
Rajah 4.34	Tegasan ricih teras porselin berliang untuk komposit sandwic yang dihasilkan dengan ketebalan kulit berbeza	148

Rajah 4.35	Kekukuhan lenturan kulit untuk komposit sandwic yang dihasilkan dengan ketebalan kulit berbeza	149
Rajah 4.36	Plot beban terhadap pemanjangan teras porselin berliang pelbagai ketebalan yang direkodkan daripada ujian lenturan tiga titik	150
Rajah 4.37	Plot beban terhadap pemanjangan komposit sandwic berteras porselin berliang pelbagai ketebalan yang direkodkan daripada ujian lenturan tiga titik.	151
Rajah 4.38	(a) Plot tegasan-terikan komposit sandwic yang dihasilkan dengan teras berketebalan 24 mm dan (b) corak kegagalan apabila dikenakan beban secara konsisten	154

SENARAI JADUAL

Jadual 2.1	Komposisi bahan mentah dan sifat-sifat produk tembikar (Rado, 1969)	24
Jadual 2.2	Ciri-ciri utama porselin industri (http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=2056 , 4/10/2009)	26
Jadual 2.3	Sifat-sifat mekanikal bahan-bahan kulit yang digunakan dalam penghasilan komposit sandwic (Meraghani et. al., 2004)	55
Jadual 2.4	Kebaikan dan keburukan ikatan perekatan	57
Jadual 2.5	Kesan peningkatan sifat-sifat mekanikal komposit sandwic dengan penambahan ketebalan teras (http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/B4574C2C-0644-43AC-96E2-CC15967A4B05/0/4547_Sandwich_Fabrication.pdf , 22.03.2010)	59
Jadual 3.1	Ringkasan rekabentuk eksperimen yang dijalankan dalam proses penghasilan porselin berliang dan penghasilan komposit sandwic berteraskan porselin berliang	69
Jadual 3.2	Komposisi bahan mentah porselin (Kulim Hi-Tech Sdn. Bhd.)	71
Jadual 3.3	Spesifikasi span polimer komersil pelbagai ketumpatan yang dibekalkan Pexafoam Sdn. Bhd.	71
Jadual 3.4	Spesifikasi resin epoksi (DER 311)	73
Jadual 3.5	Komposisi serbuk porselin dan air yang digunakan untuk menghasilkan slip porselin dalam kajian penentuan jumlah kandungan pepejal (Eksperimen A1)	76
Jadual 3.6	Ketumpatan span berbeza dan jumlah kandungan yang digunakan dalam kajian penentuan jenis span (Eksperimen A2)	76
Jadual 4.1	Perbandingan sifat-sifat porselin berliang dengan seramik berliang lain	131
Jadual 4.2	Tempoh kerja pelbagai jenis bahan perekat komersil	135
Jadual 4.3	Sifat-sifat mekanikal komposit sandwic dengan ketebalan teras berbeza yang ditentukan menggunakan ujian lenturan tiga titik	152
Jadual 4.4	Perbandingan modulus ricih, G, dan kekakuan lenturan, D, porselin berliang yang dihasilkan dengan pelbagai jenis bahan teras yang terdapat dalam kajian persuratan.	155

SENARAI LAMPIRAN

- Lampiran 1 Senarai penerbitan
- Lampiran 2 Keputusan ujian kebakaran berdasarkan BS476: Bahagian 4: 1970 (1984)
- Lampiran 3 Keputusan ujian kebakaran berdasarkan dan BS476: Bahagian 6: (1989)

**PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN PORSELIN BERLIANG YANG
DIHASILKAN MELALUI KAEDAH REPLIKA SPAN POLIMER
DAN MENGAPLIKASIKANNYA SEBAGAI BAHAN
TERAS KOMPOSIT SANDWIC**

ABSTRAK

Porselin berliang yang berketumpatan rendah dihasilkan melalui kaedah replika span polimer. Enam span polimer komersil berbeza ketumpatan ($13.4-37.8 \text{ kg/m}^3$) telah digunakan sebagai pencontoh yang masing-masing diisitepukan dengan sebelas kandungan pepejal berbeza (10-60% berat). Sampel disinter pada suhu 1250°C selama dua jam. Pemerhatian keadaan fizikal, penentuan ketumpatan, peratus keliangan, ujian mekanikal dan pemerhatian mikrostruktur menggunakan FESEM telah dijalankan. Pemerhatian mendapati keadaan fizikal sampel selepas pensinteran sangat dipengaruhi oleh ketumpatan pencontoh dan jumlah kandungan pepejal yang digunakan. Pemerhatian keadaan fizikal menunjukkan bahawa sampel yang dihasilkan pada 20-45% kandungan pepejal berkeadaan baik untuk kesemua pencontoh yang dikaji. Mikrostruktur porselin berliang pula terdiri daripada kombinasi liang-liang terbuka dan tertutup. Ketumpatan, peratus keliangan dan kekuatan mekanikal porselin berliang kurang dipengaruhi oleh ketumpatan pencontoh pada kandungan pepejal $< 35\%$. Pada kandungan pepejal $< 35\%$, ketumpatan dan kekuatan mekanikal masing-masing kurang dari 1100 kg/m^3 dan 6 MPa manakala peratus keliangan melebihi 40%. Porselin berliang terbaik yang dihasilkan pada 45% kandungan pepejal menggunakan pencontoh berketumpatan 37.8 kg/m^3 telah digunakan sebagai bahan teras komposit sandwic dengan merekatkannya kepada bahan kulit (dua kepingan aluminium). Komposit sandwic dihasilkan pada lima panjang teras berbeza (160-350 mm), lima ketebalan teras

berbeza (14-74 mm) dan empat ketebalan kulit berbeza (0.5-2.0 mm) dan dicirikan melalui ujian lenturan tiga titik. Potensi porselin berliang sebagai teras kalis api diuji berpandukan BS476: Bahagian 4: 1970 (1984) dan BS476: Bahagian 6: (1989). Pengujian komposit sandwic pada panjang teras berbeza memberikan nilai kekakuan ricih, AG, modulus ricih, G dan kekakuan lenturan, D yang masing-masing 6097.60 N, 19.70 GPa dan 74.40 N. Tegasan ricih teras dan kekakuan lenturan kulit berkurangan masing-masing dari 2.70 kepada 1.34 MPa dan dari 135.08 kepada 66.82 MPa dengan peningkatan tebal teras daripada 24 ke 74 mm. Tegasan ricih teras meningkat dari 2073 kepada 4127 MPa manakala tegasan lenturan kulit berkurangan dari 194 kepada 182 MPa dengan peningkatan ketebalan kulit dari 0.5 kepada 2.0 mm. Keputusan ujian kebakaran menunjukkan bahawa teras porselin berliang tidak terbakar dan bersifat kalis api. Kesimpulannya, span polimer komersil boleh digunakan sebagai pencontoh dalam penghasilan porselin berliang dengan julat sifat-sifat yang luas setanding dengan penggunaan pencontoh dibuat khas. Penggunaan porselin berliang sebagai bahan teras komposit sandwic sangat berpotensi berdasarkan sifat kalis api yang mampu memberi nilai tambah dan menjadi bahan teras alternatif untuk penggunaan pada suhu tinggi.

**FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF POROUS PORCELAIN
PRODUCED VIA POLYMERIC FOAM REPLICATION METHOD
AND ITS APPLICATION AS CORE MATERIAL FOR
SANDWICH COMPOSITES**

ABSTRACT

Low density porous porcelain was produced via polymer replication method. Six different densities (13.4-37.8 kg/m³) of commercially available polymeric foam were used as template materials and each of them was impregnated with eleven different solid loadings (10-60 wt.%). Samples were sintered at 1250°C for two hours. Physical observations, density, percentage of porosity, mechanical properties were determined and microstructures were observed using FESEM. Physical appearances of sintered samples were largely influenced by the densities of templates and as well as amount of solid loadings. Physical observation shows that all samples produced at solid loading of 20-45% are in good condition for all templates. The microstructure of porous porcelain shows combinations of opened and closed cells. Density, percentage of porosity and mechanical properties of porcelain foam are slightly influenced by the templates densities for solid loadings < 35%. For solid loadings < 35%, density and mechanical properties was less than 1100 kg/m³ and 6 MPa, respectively, whereas the percentage of porosity exceed 40%. The best porous porcelain which was produced at 45% solid loading by using a 38.7 kg/m³ template density were used as sandwich composite core materials by glues it to skin material (two pieces of aluminium alloy) using adhesives. Sandwich composites were produced at five different core lengths (160-350 mm), five different thicknesses (14-74 mm) and four different skin thicknesses (0.5-2.0 mm). The sampels were characterised using flexural testing. The potential of porcelain foam as fire retardant

core were tested based on BS476: Part 4: 1970 (1984) and BS476: Part 6: (1989). Sandwich composite tested at different core length give a shear stiffness, AG, shear modulus, G and flexural stiffness, D which 6097.60 N, 19.70 GPa and 74.40 N, respectively. Core shear stress and skin flexural stiffness decreases from 2.70 to 1.34 MPa and 135.08 to 66.82 MPa, respectively with increasing core thickness from 24 to 74 mm. Core shear stress was increased while flexural stiffness decreases from 2073 to 4127 MPa and from 194 to 182 MPa respectively with increases of skin thickness from 0.5 to 2.0 mm. Fire test shows that the porcelain foam is non-combustible and does not propagate the flame. As conclusion, commercially available polymeric foam is suitable to be used as template material for producing porous porcelain with wide range of properties comparable to the used of custom made templates. There is significant potential of using porous porcelain as sandwich composite core material based on the fire retardant aspect which give a value added and become an alternative core material for high temperature applications.