

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral

**KAJIAN PENGHASILAN TERAS SERAMIK BERLIANG DAN SISTEM
PEREKAT DALAM STRUKTUR SANDWIC.**

Oleh

MOHD HAFIZ BIN RAHMAT

Penyelia : Prof. Haji Zainal Arifin Ahmad

Disertasi ini diserahkan untuk memenuhi sebahagian daripada
syarat keperluan bagi ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan dengan Kepujian
(Kejuruteraan Bahan)

Universiti Sains Malaysia

MAC 2005

PENGHARGAAN

Segala pujian dan syukur kehadiran Illahi dengan limpah kurniaNya. Segala pujian khususnya kepada Nabi Junjungan Muhammad S.A.W.

Pertama sekali ucapan setinggi terima kasih dan sekalung penghargaan kepada penyelia utama, Professor Zainal Arifin Ahmad dan Encik Mohd Al Amin Bin Muhamad Nor yang banyak membantu dan memberi bimbingan serta dorongan sepanjang perjalanan projek ini.

Ucapan terima kasih diajukan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral kerana memberi peluang bagi saya menyambung pengajian ke peringkat Sarjana Muda. Ucapan terima kasih kepada Dekan, Timbalan-Timbalan Dekan, pensyarah-pensyarah serta kakitangan pusat pengajian khasnya para juruteknik yang sentiasa membantu dalam menjayakan projek.

Ucapan terima kasih juga kepada pelajar-pelajar siswazah lanjutan yang telah memberi tunjuk ajar dan sokongan serta menceriakan suasana sepanjang saya menjalani projek tahun akhir. Sokongan dan galakan kalian menjadi pendorong bagi saya menyempurnakan projek ini.

ABSTRAK

Seramik berliang mempunyai potensi untuk dimajukan berikutan kegunaannya yang meluas dalam bidang perubatan, penapis air, udara serta seramik refraktori. Namun begitu, penggunaan seramik berliang sering dihadkan oleh kekuatan yang rendah. Penggabungan seramik berliang dengan bahan kepingan logam menggunakan agen perekat membentuk struktur sandwic berupaya meningkatkan kekuatan tanpa melibatkan penambah berat yang tinggi. Kajian terbahagi kepada tiga fasa iaitu penghasilan seramik berliang, penentuan nisbah epoksi dan pengeras serta jumlah perekat yang sesuai. Fasa pertama, seramik berliang dihasilkan melalui kaedah span polimer. Slip seramik disediakan dengan mencampurkan serbuk porselin dengan air suling pada kandungan pepejal 40 % hingga 55 %. Span direndam, lebih slip dibersihkan dan dikeringkan pada suhu 110 °C selama satu hari sebelum disinter pada suhu 1250 °C. Seramik berliang yang dihasilkan dicirikan menggunakan kaedah Archimedes dan ujian kekuatan mampatan. Fasa kedua, epoksi dan pengeras diaduk pada nisbah 45 % hingga 55 % berat, pemerhatian fizikal dan ujian titisan dijalankan untuk menilai kelikatan campuran yang dihasilkan. Fasa ketiga, epoksi dan pengeras diaduk dan disapukan kepada teras seramik pada jumlah 4 g hingga 12 g. Ujian koyakan, tegasan ricih dan lenturan tiga titik dijalankan bagi menilai kekuatan perekatan yang dihasilkan. Keputusan fasa pertama menunjukkan 45 % kandungan pepejal sesuai digunakan bagi menghasilkan seramik berliang. Seramik berliang mempunyai keliangan ketara dalam julat 58 % hingga 81 % manakala ketumpatan pukal pula dalam julat 0.5 g/cm³ hingga 0.82 g/cm³. Kekuatan mampatan direkodkan dalam julat 1.01 hingga 2.01 MPa. Ketumpatan pukal dan kekuatan mampatan seramik berliang yang dihasilkan adalah berkadar terus dengan peningkatan kandungan pepejal. Keputusan ujian titisan bagi fasa kedua menunjukkan kadar titisan

meningkat dengan peningkatan jumlah epoksi. Keputusan menunjukkan nisbah epoksi 50 % memberikan kadar titisan yang baik. Fasa ketiga, keputusan ujian koyakan menunjukkan 8 g perekat memberikan kekuatan tegasan yang terbaik. Nilai tegasan diperolehi dalam julat 0.01 hingga 0.04 MPa manakala kekuatan terikan direkodkan dalam julat 2.4 hingga 8.4. Keputusan ujian lenturan tiga titik menunjukkan tegasan alah direkodkan dalam julat 0.025 hingga 0.038 MPa. Secara keseluruhannya, teras seramik berliang dengan ciri-ciri yang baik boleh dihasilkan pada 45 % kandungan pepejal. Nisbah epoksi 50 % merupakan campuran perekatan yang terbaik dan penggunaan 8 g perekat adalah sesuai untuk merekatkan struktur sandwic dengan kekuatan yang baik.

STUDY ON FABRICATION OF POROUS CERAMIC AND ADHESIVE SYSTEM IN SANDWICH STRUCTURE

ABSTRACT

Porous ceramic has a great potential to advance in the field of medical, water and air filter and refractory. However, the low strength property often limited the usage of porous ceramic in certain application. The combination of porous ceramic with the metal layer bonded with adhesive to form a sandwich structure can be used as light building materials. This research involved three phases that is the production of porous ceramic, identification ratio of epoxy to hardener and determination of the correct amount of adhesive usage. In the first phase, porous ceramic was produce by using the polymer sponge technique. Ceramic slurry was prepared by mixing the porcelain powder with distilled water at 40 to 50 % solid loading content. The sponge was dipped into the ceramic slurry and the excess slurry was removed. The dipped sponge was dried for one day at 100 °C before sent to sintering at 1250 °C. Porous ceramic produced was based on Archimedes and strength test. The second phase involved mixing epoxy with hardener at 45 to 55 % weight ratio to produce adhesive, visual inspection and viscosity determination by drop test. The third phase was to apply the adhesive to porous ceramic with 4 to 12 g amount. The tear, shear stress and Modulus of Rupture (MOR) test were conduct to observe the adhesive bonding. Result obtained from the first phase indicated the 45 % of solid loading was the suitable composition to produce porous ceramic. Porous ceramic inhibit 58 to 81 % of apparent porosity with bulk density range from 0.5 to 0.8 g/cm³. Compression strength was recorded between 1.01 to 2.01 MPa. The bulk density and compression strength of porous ceramic produced proportional to the solid loading contents. The drop test in second phase indicated the drop rate increased with the amount of epoxy. From the observation, the ratio of 50 % epoxy gave the better drop rate. The third phase, the tear test showed 8 g adhesive gave the excellent property. The value of stress strength was obtained in the range from 0.01 to 0.04 MPa, while strain strength was recorded in range 2.4 to 8.4. The result of three bend test showed that the yield stress in range of 0.025 to 0.038 MPa. As the overall, 45 % solid loading with excellent property can be applied for porous ceramic core. The ratio of 50 % epoxy

were the best mixing adhesive and the use 8 g adhesive where suitable for stick sandwich structure with excellent strength.

KANDUNGAN

Tajuk	Muka Surat
Penghargaan	ii
Abstrak	iii
Abstract	v
Isi kandungan	vii
Senarai jadual	xii
Senarai rajah	xiv

Bab 1 : Pengenalan

1.1 Pendahuluan	1
1.2 Struktur sandwic	3
1.3 Penyataan masalah	4
1.4 Ciri-ciri seramik berliang	5
1.5 Objektif penyelidikan	6
1.6 Skop penyelidikan	6

Bab 2 : Kajian Persuratan

2.1 Sejarah bahan berliang	9
2.2 Keperluan seramik berliang	10
2.2.1 Kaedah span polimer	14
2.3 Struktur sandwic	18
2.3.1 Definasi	18
2.3.2 Komponen-komponen struktur sandwic	19
2.3.2.(a) Kulit	19

2.3.2.(b) Teras	22
2.4 Proses pembentukan struktur sandwic	27
2.5 Ikatan perekatan	28
2.5.1 Keperluan bagi ikatan perekatan	30
2.5.1(a) Penyediaan permukaan kulit	30
2.5.1(b) Pelarut	30
2.5.1(c) Pengewapan semasa pengawetan.	30
2.5.1(d) Tekanan pengikatan	31
2.5.1(e) Kelikatan perekat.	32
2.5.1(f) Ketebalan ikatan.	32
2.5.1(g) Kekuatan.	32
2.5.1(h) Tegasan terma	33
2.5.1(i) Sifat-sifat viskoelastik	33
2.5.1(j) Pengecutan ketika pengawetan.	33
2.5.1(k) Pengawetan eksoterma.	33
2.5.2 Jenis-jenis agen perekatan	34
2.5.2(a) Resin epoksi	34
2.5.2(b) Epoksi termodifikasi	35
2.5.2(c) Fenolik	35
2.5.2(d) Poliuretina (PUR)	35
2.5.2(e) Uretina akrilat	36
2.5.2(f) Poliester dan resin vinilester	37
2.6 Kriteria asas untuk rekabentuk struktur sandwic	37
2.7 Aplikasi struktur sandwic	40

Bab 3 : Tatacara Eksperimen

3.1 Pengenalan	41
3.2 Bahan mentah	41
3.2.1 Bahan mentah porselin	41
3.2.2 Air suling	43

3.2.3	Span polimer	43
3.2.4	Kulit	43
3.2.5	Bahan perekatan	44
3.3	Rekabentuk eksperimen	46
3.3.1	Eksperimen A: Penentuan jumlah kandungan pepejal terbaik bagi menghasilkan seramik berliang melalui kaedah span polimer	48
3.3.2	Eksperimen B: Penentuan nisbah resin dan pengeras yang sesuai untuk menghasilkan perekatan yang baik	51
3.3.3	Eksperimen C: Penentuan jumlah perekat yang sesuai untuk menghasilkan perekatan yang baik	55
3.4	Pencirian seramik berliang	56
3.4.1	Ujian kecut bakar (ASTM C326-82)	56
3.4.2	Ujian ketumpatan, keliangan ketara (ASTM C373-88).	57
3.4.2.1	Keliangan ketara	58
3.4.2.1(a)	Tatacara ujian keliangan ketara dan ketumpatan pukal	58
3.4.3	Analisis mikroskop imbasan elektron (SEM)	59
3.4.4	Analisis penyerapan agen perekatan	60
3.4.5	Analisis mikroskop optik	60
3.4.6	Ujian koyakan untuk mengetahui kekuatan ikatan perekatan (ASTM D903-98)	61
3.4.7	Ujian kekuatan lenturan tiga titik bagi perekat	62
3.4.8	Ujian kekuatan ricih	63

Bab 4 : Keputusan dan perbincangan

4.1 Analisis span polimer	65
4.2 Eksperimen A : Analisis keputusan penentuan kandungan pepejal yang sesuai bagi menghasilkan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer	66
4.2.1 Keputusan pemerhatian fizikal dan analisis kelikatan slip seramik	66
4.2.2 Keputusan analisis seramik berliang yang dihasilkan melalui kaedah span polimer	68
4.2.2.1 Ujian kecut bakar	68
4.2.2.2 Keputusan ujian keliangan ketara dan ketumpatan pukal	69
4.2.2.3 Keputusan analisis mikrostruktur seramik berliang menggunakan SEM.	70
4.2.2.4 Keputusan ujian kekuatan mampatan	77
4.3 Eksperimen B: Keputusan analisis penentuan nisbah resin dan pengeras yang sesuai untuk menghasilkan perekatan yang baik.	72
4.3.1 Keputusan analisis kaedah titisan	73
4.3.2 Keputusan analisis kaedah pengacauan secara berterusan	75
4.3.3 Keputusan analisis kaedah pengacauan pada permulaan.	76
4.4 Eksperimen C: Analisis penentuan jumlah perekat yang sesuai digunakan untuk menghasilkan perekatan yang baik di antara kulit dan teras seramik berliang	76
4.4.1 Pemerhatian fizikal	77
4.4.2 Analisis keputusan ujian koyakan	78
4.4.3 Ujian kekuatan ricih	80
4.4.4 Ujian kekuatan lenturan tiga titik	81

Bab 5 : Kesimpulan dan Cadangan

5.1 Kesimpulan	84
5.2 Cadangan	85
Rujukan	86
Lampiran	89

SENARAI JADUAL

- Jadual 2.1** : Aplikasi seramik berliang di dalam pelbagai bidang industri (Roy, 1998)
- Jadual 3.1** : Maklumat mengenai komposisi porselin yang dibekalkan oleh Kulim High Tech Sdn. Bhd.
- Jadual 3.2** : Sifat-sifat fizikal porselin
- Jadual 3.3** : Sifat fizikal span polimer dengan kod daftar PX15 (Pexafoam Sdn Bhd)
- Jadual 3.4** : Komposisi kimia aloi aluminium 1100.
- Jadual 3.5** : Sifat-sifat aloi aluminium 1100
- Jadual 3.6** : Sifat-sifat tipikal bagi resin Epoksi D.E.R.* 331
- Jadual 3.7** : Sifat-sifat tipikal bagi pengeras Ancamide® 260A
- Jadual 3.8** : Ringkasan rekabentuk eksperimen yang dijalankan bagi mengkaji kesan kandungan pepejal porselin terhadap ciri-ciri seramik berliang yang dihasilkan melalui kaedah polimer span dan penentuan nisbah resin dan pengeras serta jumlah perekat yang sesuai untuk menghasilkan perekatan yang baik.
- Jadual 3.9** : Komposisi slip porselin yang digunakan untuk menghasilkan seramik berliang.
- Jadual 3.10** : Nisbah bahagian pencampuran agen perekatan untuk ujian titisan
- Jadual 3.11** : Nisbah bahagian pencampuran agen perekatan untuk ujian pengacauan.

Jadual 4.1 : Pemerhatian yang dilakukan terhadap nisbah epoksi dan pengeras yang berbeza.

Jadual 4.2 : Pemerhatian terhadap perubahan kepekatan dengan tindakan yang dikenakan.

Jadual 4.3 : Pemerhatian terhadap perubahan kepekatan dengan tindakan yang dikenakan.

SENARAI RAJAH

- Rajah 1.1** : Carta proses penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer.
- Rajah 1.2** : Carta alir proses penghasilan struktur sandwich
- Rajah 2.1** : Kaedah penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer. (Schwartzwalder K., 1963).
- Rajah 2.2** : Carta alir kaedah span polimer yang lebih terperinci setelah dimodifikasi (Jeannine & Curtis, 1992).
- Rajah 2.3** : Mikrograf liang PU (Stuart, 1990).
- Rajah 2.4** : Beban mampatan pada struktur sandwich
- Rajah 2.5** : Beban kenaaan pada struktur sandwich.
- Rajah 2.6** : Tegasan ricihan dalam teras
- Rajah 2.7** : Pengancingan yang berlaku dalam struktur sandwich.
- Rajah 2.8** : Permukaan beralun pada kulit struktur sandwich.
- Rajah 2.9** : Cawakan intrasel pada kulit struktur sandwich.
- Rajah 2.10** : Pelenturan yang telah berlaku pada struktur sandwich.
- Rajah 2.11** : Pelindungan yang mesti diambil kira sewaktu struktur sandwich direka bentuk.

- Rajah 2.12** : Contoh aplikasi yang biasa digunakan dalam struktur sandwic.
- Rajah 3.1** : Carta alir proses penghasilan seramik berliang dengan menggunakan kaedah span polimer.
- Rajah 3.2** : Jadual pensinteran jasad anam seramik berliang yang mempunyai dua peringkat, proses pembakaran (penyingkiran pengikat) pada suhu 400 °C dan pensinteran (penumpatan porselin) pada suhu 1250 °C.
- Rajah 3.3** : Susunan radas untuk ujian titisan perekat.
- Rajah 3.4** : Carta alir proses penghasilan struktur sandwic berteraskan seramik berliang.
- Rajah 3.5** : Rekabentuk sampel untuk ujian koyakkan
- Rajah 3.6** : Rekabentuk sampel untuk ujian kekuatan lenturan
- Rajah 3.7** : Rekabentuk sampel untuk ujian kekuatan ricih.
- Rajah 4.1** : Mikrograf SEM bagi span polimer (PUR) yang mempunyai liang berbentuk sfera dan bertabur secara seragam.
- Rajah 4.2** : Kelikatan slip seramik pada kandungan pepejal porselin berbeza yang diukur menggunakan viskometer model Brookfield RVT.
- Rajah 4.3** : Seramik berliang yang dihasilkan dalam kandungan pepejal yang berbeza (40%, 45%, 50%, 55%).

- Rajah 4.4** : Kesan jumlah kandungan pepejal berbeza terhadap kecut bakar seramik berliang yang dihasilkan menggunakan kaedah span polimer.
- Rajah 4.5** : Kesan jumlah kandungan pepejal berbeza terhadap ketumpatan pukal seramik berliang yang dihasilkan menggunakan kaedah span polimer.
- Rajah 4.6** : Kesan jumlah kandungan pepejal berbeza terhadap keliangan ketara seramik berliang yang dihasilkan menggunakan kaedah span polimer.
- Rajah 4.7** : Mikrograf SEM bagi seramik berliang dengan 45 % kandungan pepejal yang menunjukkan bentuk dan taburan liang yang menyerupai struktur span polimer.
- Rajah 4.8** : Mikrostruktur seramik berliang yang dihasil menggunakan span polimer dengan kepekatan slip 45 % pada pembesaran 50X.
- Rajah 4.9** : Kesan jumlah kandungan pepejal berbeza terhadap kekuatan mampatan seramik berliang yang dihasilkan menggunakan kaedah span polimer.
- Rajah 4.10** : Graf masa (minit) melawan titisan dengan nisbah epoksi dan pengeras.
- Rajah 4.11** : Pemerhatian terhadap perekatan pada struktur sandwic untuk ujian koyakkan.
- Rajah 4.12** : Perbezaan tegasan pada nilai berat perekat yang berbeza untuk ujian koyakkan.
- Rajah 4.13** : Perbezaan modulus elastik melawan berat perekat untuk ujian koyakkan.
- Rajah 4.14** : Susun atur ujian koyakkan bagi bahan perekat.

Rajah 4.15 : Perbezaan tegasan pada berat perekat yang berbeza untuk ujian kekuatan ricih.

Rajah 4.16 : Perbezaan modulus elastik pada berat perekat yang berbeza untuk ujian kekuatan ricih.

Rajah 4.17 : Perbezaan tegasan pada nilai berat perekat yang berbeza untuk ujian kekuatan lenturan tiga titik.

Rajah 4.18 : Perbezaan modulus elastik pada nilai berat perekat yang berbeza dengan 50 % nisbah epoksi untuk ujian kekuatan lenturan tiga titik.

Rajah 4.19 : Susun atur ujian kekuatan lenturan tiga titik.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Penyelidikan ini bertujuan untuk menghasilkan struktur sandwich supaya memenuhi sifat – sifat tertentu seperti ringan, mempunyai kekuatan dan rintangan haba yang tinggi agar sesuai dengan aplikasinya. Oleh yang demikian, pemilihan sesuatu bahan pada setiap komponen amat penting dalam menentukan kebolehan bahan itu digunakan dalam kerja, tempoh bekerja dan beban yang ditanggung supaya mencapai keperluan pada permintaan yang tinggi.

Sejarah pembangunan struktur sandwich bermula di Eropah dengan menggunakan sejenis kayu ringan iaitu ‘balsa’ sebagai bahan teras. Walau bagaimanapun, penggunaan bahan ini dihadkan oleh masalah degradasi akibat tindakan kulat yang memusnahkan struktur kayu serta mengeluarkan bau busuk setelah terdedah kepada kelembapan dan cahaya matahari. Keadaan ini menyebabkan penyelidik mencari alternatif lain untuk mengatasi masalah–masalah tersebut sebagai contoh penggunaan busa polimer sebagai bahan teras. Namun begitu, busa polimer yang digunakan hanya terhad kepada suhu kerja yang rendah sekitar 120 hingga 180 °C. Busa polimer mudah terbakar dan menghasilkan gas beracun yang merbahaya kepada manusia. Seterusnya penghasilan bahan teras dimajukan lagi dengan penghasilan teras logam seperti struktur indung madu yang mempunyai suhu kerja yang lebih tinggi berbanding bahan polimer sebagai contoh aluminium pada suhu 400 hingga 500 °C (Callister, 2000). Namun begitu, kos penyelengarannya adalah lebih mahal dan proses pembuatannya perlu

dilakukan dengan teliti. Bagi mengatasi permasalahan yang timbul, maka idea baru diwujudkan untuk mengatasi dan memperbaharui bahan teras struktur sandwic dengan menghasilkan bahan teras seramik yang lebih murah, mudah dan tahan pada suhu tinggi sebagai contoh porselin pada 1250 °C.

Beberapa pemerhatian telah dijalankan terhadap penggunaan seramik berliang dalam pelbagai komponen industri, perubatan dan kegunaan am seperti penapis air, alat tambahan dalam ekzos motor sebagai penebat haba dan gas beracun. Ini memberikan idea yang baru sebagai bahan alternatif untuk menggantikan bahan teras yang telah digunakan secara komersial kepada struktur sandwic. Seramik berliang dihasilkan daripada tanah liat yang telah dipilih dan dianalisis berikutan sifatnya yang mampu menahan suhu lebih tinggi sekitar 1200 °C berbanding dengan busa polimer yang hanya dapat bertahan pada suhu sekitar 130 °C. Seramik berliang boleh dihasilkan dengan pelbagai ketumpatan bergantung kepada jumlah kandungan pepejal dan span polimer yang digunakan. Selain itu, seramik berliang memberikan sifat rintang terhadap degradasi dan lengai terhadap kebanyakan bahan kimia. Bahan mentah yang digunakan (tanah liat) juga mudah diperolehi dan murah. Setelah bahan teras dikulitkan dengan aloi aluminium, julat suhu kerjanya ialah antara 400 hingga 500 °C.

Penyelidikan ini dapat memperluaskan pengetahuan dalam bidang kejuruteraan bahan dengan menghasilkan produk yang berpontensi tinggi. Penyelidikan ini juga dapat membuka peluang yang luas kepada jurutera dalam penyelesaian masalah bahan kejuruteraan semasa proses pengeluaran produk dilakukan. Selain itu, bagi pereka bentuk produk dapat mengaplikasikan hasil ini kepada komponen-komponen tertentu supaya dapat digunakan dengan lebih baik dan sesuai.

1.2 Struktur sandwic

Struktur sandwic merupakan bahan kejuruteraan istimewa yang berbentuk komposit berlapis dan terdiri daripada kombinasi bahan-bahan berlainan jenis yang terikat di antara satu sama lain. Ini bertujuan mengeksplotasi sifat-sifat bahan yang dimiliki setiap komponen.

Struktur sandwic tipikal biasanya terdiri daripada dua keping bahan kulit yang nipis. Struktur sandwic juga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi dan diapit di antara struktur teras yang lebih tebal tetapi ringan dan memiliki kekakuan mencukupi pada arah normal terhadap bahan kulit. Komponen-komponen dalam bahan sandwic diikat dengan bahan perekat, agar sistem tersebut dapat bertindak sebagai satu unit komposit beban terarah. Mengikut konsep asas bagi struktur sandwic, bahan kulit akan menerima tegasan lenturan dan bahan teras pula menanggung tegasan ricihan.

Pada kebanyakan kes, struktur sandwic yang cekap diperolehi apabila berat bahan teras adalah hampir sama apabila dicantumkan dengan berat kedua-dua kepingan kulit (Allen, 1969). Pemisahan di antara kedua-dua bahan kulit dengan bahan teras yang tumpat, menyebabkan momen inersia bagi struktur meningkat dan kekakuan lenturan turut mengalami peningkatan. Oleh itu, kekakuan lenturan bagi struktur sandwic adalah tinggi apabila struktur teras memiliki jumlah berat dan bahan yang sama dengan kulit.

Bahan sandwic biasanya mempamerkan beberapa sifat-sifat yang menarik seperti :

- i) Penebat haba yang baik.
- ii) Rintangan air dan wap yang baik.

- iii) Kedudukan kapasiti atau jumlah beban yang tinggi pada jisim ringan.
- iv) Tempoh khidmat yang lama pada kos pembiayaan yang rendah.
- v) Sifat-sifat penyerapan akustik yang cemerlang.

Walaupun bagaimanapun, terdapat beberapa kelemahan pada struktur sandwich iaitu :

- i. Rayapan yang boleh berlaku pada teras.
- ii. Kapasiti haba yang rendah.
- iii. Bagi bahan teras yang berasaskan polimer, rintangan terhadap nyalaan api adalah rendah.
- iv. Ubahbentuk yang berlaku apabila salah satu bahagian kulit terdedah kepada tumpuan haba.

1.3 Penyataan masalah

Bahan binaan berasaskan seramik pada umumnya adalah rapuh dan penggunaannya akan terdedah kepada pelbagai kejadian hentaman. Kejadian hentaman dan seumpamanya menghasilkan retakan makro dan mikro yang menyebabkan kegagalan pada bahan tersebut. Sebagai suatu alternatif, penghasilan panel sandwich menggunakan kulit aluminium atau logam lain atau polimer berteraskan seramik berliang dapat mempertingkatkan keupayaan menyerap tenaga hentaman serta beban galas tanpa melibatkan penambahan berat struktur. Struktur komposit sandwich yang dihasilkan adalah lebih tegar, mempunyai modulus spesifik serta kekuatan yang tinggi

1.4 Ciri-ciri seramik berliang

Penyelidikan terhadap bahan selular atau berliang semulajadi seperti kayu, tulang dan batu karang telah mencetuskan idea kepada penyelidik untuk menghasilkan bahan berliang sintetik yang boleh diaplikasikan dalam kegunaan struktur kejuruteraan. Seramik berliang merupakan salah satu bahan kejuruteraan yang telah dibangunkan dengan pemrosesan dan pembentukan dalam penyelidikan untuk digunakan dalam pelbagai tujuan. Seramik berliang mempunyai rongga dan laluan atau liang yang membenarkan cecair dan gas untuk mengalir dan berpindah. Seramik berliang mempunyai ciri-ciri yang unik seperti ketumpatan rendah, pengaliran terma yang rendah, kebolehtelapan yang tinggi. Bahan berliang tersenarai di antara bahan yang terbaik untuk digunakan sebagai penebat haba dan elektrik, komponen pesawat ringan, penapis air, pemangkin dan penyerap udara.

Sifat-sifat bahan berliang dipengaruhi oleh ketumpatan relatif dan morfologinya. Sifat keliangannya boleh dipelbagaikan kepada julat yang lebih luas bergantung kepada kaedah pemrosesannya.

Seramik berliang merupakan salah satu bahan berliang sintetik termaju yang banyak digunakan dalam pelbagai aplikasi struktur. Menurut penyelidikan terdahulu seramik berliang adalah rapuh, ringan, keras, kekuatan tinggi, lengai dan bersifat penebat kepada haba dan arus elektrik (Callister, 2000). Seramik berliang telah digunakan sebagai ubin pada lantai pesawat angkasa lepas, bahan pencegah api, perabot relau berjirim rendah dan tempat pembakaran gas.

Penyelidikan dilakukan untuk melihat reaksi seramik berliang terhadap aplikasinya dalam binaan struktur sandwic. Hasil pemerhatian yang dijalankan, tidak ada penggunaan seramik berliang sebagai bahan teras struktur sandwic. Oleh itu, penyelidikan ini boleh dijadikan perintis kepada pembangunan penggunaan seramik berliang yang boleh dipelbagaikan dan bagi struktur sandwic dapat diperluaskan.

1.5 Objektif penyelidikan

Objektif penyelidikan ini ialah:-

- (i). Menghasilkan bahan teras seramik berliang melalui kaedah span polimer serta menciriknya.
- (ii). Mengkaji kesan penggunaan bahan perekat jenis epoksi terutamanya nisbah antara resin dan pengeras.
- (iii). Mengkaji kesan penggunaan jumlah perekat yang sesuai untuk menghasilkan perekatan yang baik.

1.6 Skop penyelidikan

Kajian yang dijalankan terbahagi kepada tiga bahagian iaitu;

(a). Bahagian pertama: Analisis bahan mentah

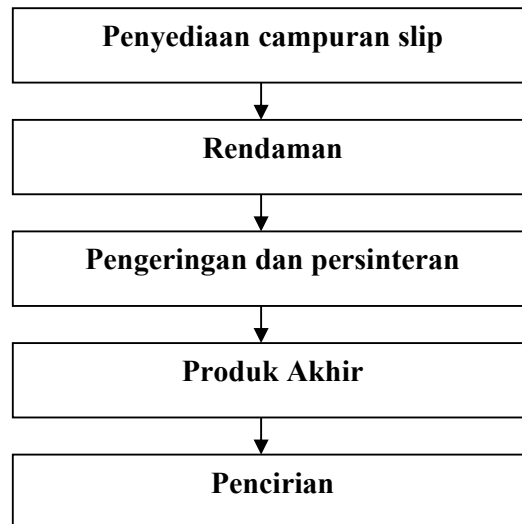
Bahan mentah dianalisis menggunakan kaedah berikut:

- (i). Penentuan bentuk dan saiz sel span polimer mikroskop imbasan elektron (SEM).

(b). Bahagian kedua: Kajian penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer.

Kajian menjurus kepada kesan jumlah kandungan pepejal porselin dalam peratus berat terhadap ciri-ciri seramik berliang yang dihasilkan.

Urutan proses penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer ditunjukkan dalam Rajah 1.1.



Rajah 1.1 : Carta alir proses penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer.

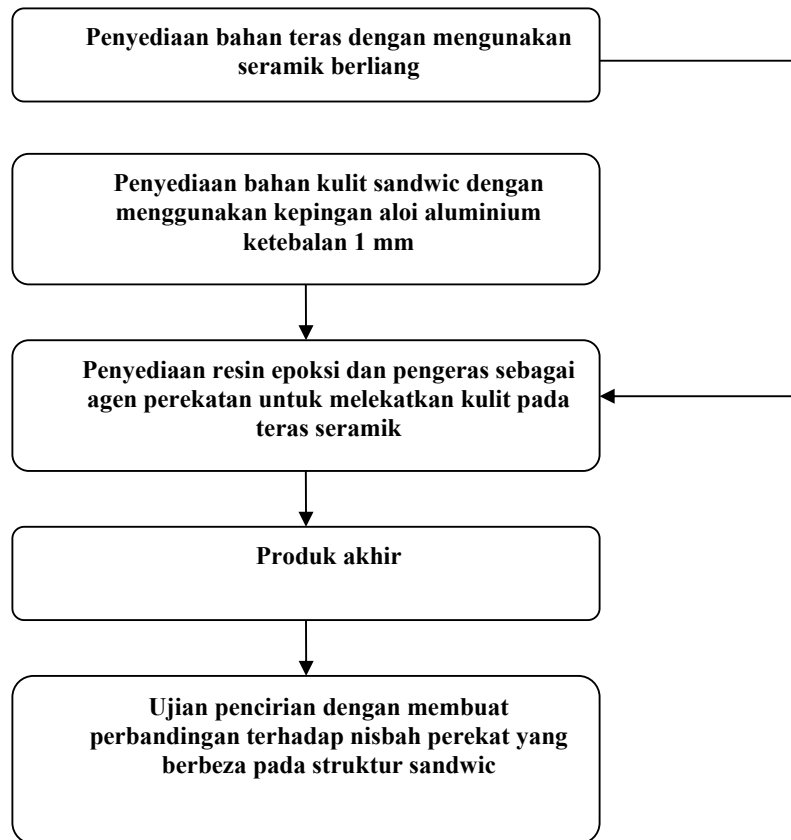
(c). Bahagian ketiga: Kajian terhadap kesan penggunaan bahan perekat jenis epoksi.

Kajian diarahkan kepada penentuan nisbah resin dan pengerasnya serta jumlah perekat yang sesuai bagi menghasilkan perekatan yang baik. Pemerhatian fizikal dilakukan bagi menilai kelikatan campuran yang terhasil (pada nisbah resin dan pengeras yang berbeza) serta menentukan masa pengawetannya. Selain itu, pencirian fizikal juga turut

dijalankan bagi menilai kekuatan perekatan yang terhasil. Urutan proses penghasilan struktur sandwic ditunjukkan dalam Rajah 1.2.

Pencirian fizikal yang dijalankan adalah seperti berikut:

- (i). Ujian pengumpulan
- (ii). Ujian koyakan
- (iii). Ujian lenturan tiga titik



Rajah 1.2 : Carta alir proses penghasilan struktur sandwic.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1 Sejarah bahan berliang

Bahan berliang ditakrifkan sebagai bahan yang mempunyai rongga, saluran atau laluan untuk menyerap dan membuang bendalir yang berada di dalamnya (Jeannine & Curtis, 1992). Bahan berliang boleh wujud secara semulajadi dari persekitaran alam atau dalam bentuk sintetik hasil daripada pemprosesan bahan. Pelbagai jenis bahan berliang berjaya dihasilkan berikutan kegigihan ahli sains menjalankan kajian dengan usahasama pengguna teknologi. Hasilnya banyak penemuan baru dihasilkan daripada cubaan memproses bahan dengan kaedah pemprosesan baru untuk memperbaiki sifat-sifat bahan dan mempelbagaikan penggunaan bahan yang sedia ada.

Bahan berliang boleh terdiri daripada seramik, polimer dan logam yang boleh dibezakan melalui kebolehtelapan air dan struktur liang. Merujuk kepada kebolehtelapan air, bahan berliang boleh dikelaskan kepada dua iaitu bahan berliang hidrofobik dan hidrofilik. Bahan berliang hidrofobik memiliki liang dan laluan namun bahan ini tidak mempunyai permukaan yang membenarkan air memasukinya akibat tindakan kapilari. Bahan berliang jenis ini diperbuat daripada rangkaian panjang molekul-molekul organik yang mempunyai permukaan daya tarikan yang lemah. Bahan berliang hidrofilik pula merupakan bahan berliang yang mempunyai kebolehan semulajadi menyerap air akibat tindakan kapilari. Bahan jenis ini terdiri daripada seramik dan logam berliang. Bahan ini mempunyai daya tarikan permukaan keliangan yang tinggi untuk menarik dan mengikat molekul-molekul berpola pada air dan cecair.

Merujuk kepada struktur liang pula, bahan berliang boleh dikategorikan kepada dua iaitu bahan berliang dengan liang terbuka dan liang tertutup. Liang terbuka membenarkan bendalir berpindah atau mengalir dari satu permukaan ke permukaan yang bertentangan atau yang berlainan melalui laluan yang terdiri daripada sambungan jaringan laluan. Bahan berliang dengan liang tertutup pula merupakan bahan yang berongga tetapi tidak memiliki saluran yang membenarkan bendalir melaluinya.

2.2 Keperluan seramik berliang

Seramik berliang telah menunjukkan keupayaannya sebagai bahan kejuruteraan yang sangat berjaya berikutan pontensinya untuk dibangunkan dan diaplikasikan dalam pelbagai sektor perindustrian dan bidang-bidang yang lain.

Seramik berliang boleh dikategorikan kepada dua kumpulan iaitu busa seramik dan seramik berselirat. Seramik berselirat merupakan bahan berliang yang mengandungi liang-liang bersambung yang dikelilingi oleh jaringan seramik, manakala busa seramik pula memiliki liang-liang yang tertutup dalam lingkungan matrik seramik yang berkesinambungan. Struktur jaringan berliang ini menghasilkan jasad yang terbentuk berketumpatan jisim rendah dan pengaliran haba yang rendah. Kebolehtelapan busa seramik dan seramik berselirat adalah berbeza. Seramik berselirat mempunyai kebolehtelapan yang tinggi, manakala busa seramik mempunyai kebolehtelapan yang rendah (Jeannine & Curtis, 1992). Perbezaan ini adalah merujuk kepada struktur liang sama ada terbuka atau tertutup.

Terdapat beberapa jenis tanah liat yang telah dibangunkan untuk dijadikan seramik berliang di antaranya ialah alumina, mulit, zeolit, porselin dan kaolin. Namun begitu, disebabkan permintaan dan keperluan terhadap penggunaan yang lebih khusus, julat pemilihan bahan seramik yang lain telah diperluaskan sebagai contoh korderit, silikon karbida, zirkonia diperliat dan beberapa sistem komposit seperti silikon karbida-alumina, alumina-mulit dan zirkonia-mulit (Montanaro, et. al., 1998).

Seramik berliang digunakan dengan meluas sebagai penapis bagi pembersihan gas pada suhu tinggi, penapis partikulat bagi memerangkap kepulan asap diesel, penapis bagi leburan logam, jaringan yang bersifat lengai terhadap bahan atau persekitaran kimia dan bahan telap yang diperlukan pada suhu tinggi, membran pemisahkan atau penapis molekular bagi pemprosesan kimia, pengesan, pembawa katalis bagi loji kimia, automobil dan menyediakan luas permukaan yang besar untuk penukaran bagi ion dan katalis. Selain itu juga, seramik berliang digunakan sebagai bahan refraktori, bahan penebat haba, pelapisan relau elektroseramik, pengesan kelembapan, pengesan gas dan termistor (Karlsson & Astrom, 1997).

Sifat-sifat bagi seramik berliang dipengaruhi oleh ketumpatan relatif dan struktur morfologinya seperti taburan dan saiz liang. Sifat-sifat keliangan boleh diperluaskan nilainya bergantung kepada kaedah penghasilan yang digunakan (Jeannine & Curtis, 1992). Terdapat beberapa kaedah penghasilan seramik berliang antaranya ialah kaedah span polimer dengan liang terbuka (menghasilkan seramik berselirat), penggabungan fasa sementara yang akan hilang semasa pembakaran, proses replikasi yang mengandungi penyerapan substrat natrium klorida, pra-peniupan bagi larutan yang mengandungi pra seramik polimer, tindak balas persinteran, pengawalan terhadap

keadaan pensinteran untuk mendapatkan pemadatan berperingkat, pembinaan buih–buih sabun ke dalam slip atau pada peringkat jasad anum semasa rawatan haba yang spesifik, pertindihan granul–granul atau pra-persinteran, ‘aerogel’, kaedah ‘sol-gel’ dan pirolisis bagi beberapa jenis bahan tambah organik (Montanaro, et. a.l., 1998).

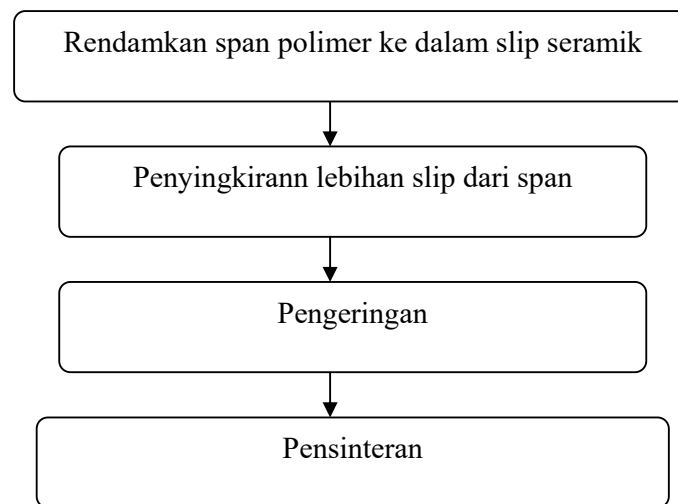
Kombinasi pemilihan bahan seramik dan kaedah pemprosesan yang tepat, seramik berliang yang mempunyai kekuatan tinggi, rintangan terhadap persekitaran kimia yang hebat, rintangan terhadap kejut terma yang mantap kestabilan struktur yang maksima boleh dihasilkan. Aplikasi seramik berliang dalam pelbagai bidang industri (Roy, 1998) dapat ditunjukkan pada Jadual 2.1

Jadual 2.1 : Aplikasi seramik berliang di dalam pelbagai bidang industri (Roy, 1998)

Aplikasi	Fungsi Asas	Keperluan teknikal/Isu	Status	Potensi	Persaingan
Pemisah Bateri/ Sel Minyak	Penebatan elektrik, penstabil kimia dan kebolehtelapan	Tahan lasak secara kimia, penebatan elektrik	Kemunculan pembangunan	Sederhana	Plastik komposit
Media Biologi	Pertumbuhan bakteria yang berkesan	Kesesuaian-bio / nutrien terhad. Impak bendasing yang berubah – ubah	Komersial terhad	Kebanyakan	Plastik semulajadi, bahan berkarbon
Penunu Pembakar	Mengurangkan pemancaran NOX, pemanasan seragam	Kebolehtelapan, rintangan kejut terma, tahan lasak	Pengaplikasian komersial yang berlainan	Sederhana hingga kebanyakan	Skrin logam, kain jalinan
Penyokong Katalis	Kesesuaian kimia dan fizikal	Luas permukaan yang luas, kebolehtelapan	Isipadu bahan terbesar	Termasuk kemunculan, aplikasi baru (reaktor membran)	Logam, teknologi baru
Penapis	Menapis partikel, bakteria dan bendasing lain dari bendalir	Keliangan seragam, kebolehtelapan	Beberapa partikulat (jus, leburan logam misalnya Al) dan penapis bakteria (contoh industri minuman)	Sederhana kepada peningkatan kebanyakan	Polimer, logam serbuk, batu kelikir

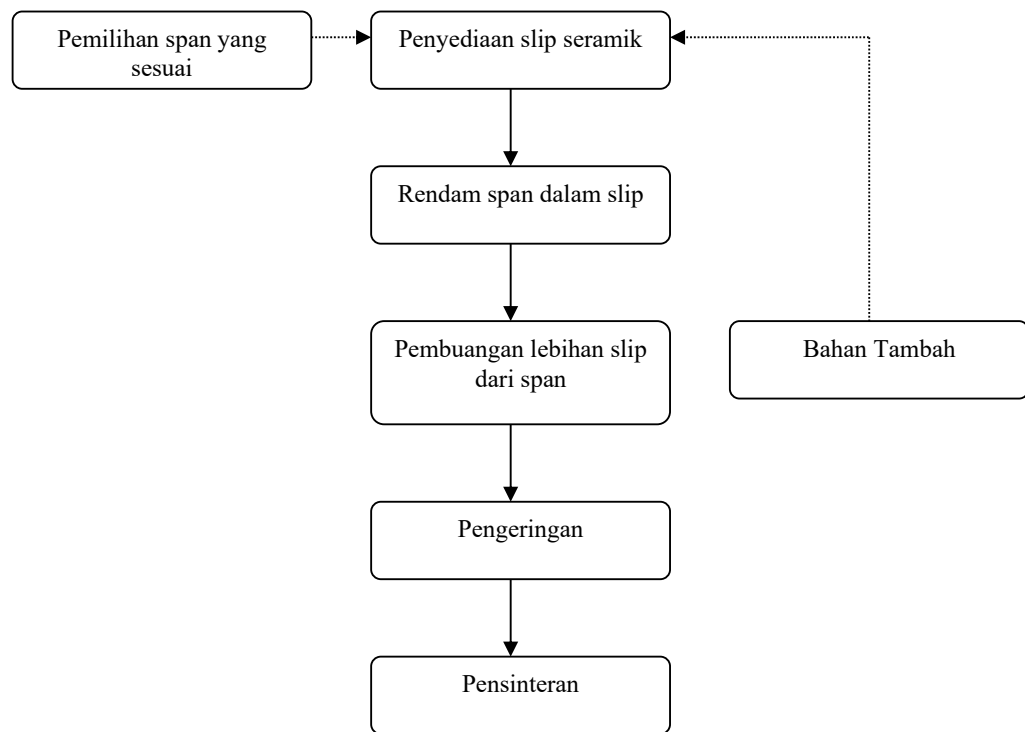
2.2.1 : Kaedah span polimer

Kaedah span polimer pertama yang telah dipatenkan ialah pada tahun 1963 oleh seorang ahli saintis Eropah, Schwartzwalder (Jeannine & Curtis,1992). Urutan kaedah penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Kaedah span polimer melibatkan proses merendamkan span polimer ke dalam slip seramik diikuti penyingkiran lebih slip, pengeringan dan proses pensinteran yang membakar kesemua bahagian organik dengan menghadkan kecut bakar untuk menyamai struktur span (Montanaro, et. al., 1998).



Rajah 2.1 : Kaedah penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer.
(Schwartzwalder K., 1963)

Terdapat beberapa langkah yang perlu dipertimbangkan dengan teliti untuk menghasilkan produk akhir yang dapat mempamerkan pencirian yang dikehendaki. Antara langkah– langkah tersebut ialah pemilihan span yang bersesuaian, penyediaan slip, proses rendaman atau permulaan pembentukan, kitaran haba yang digunakan semasa pengeringan dan suhu pensinteran. Urutan kaedah penghasilan seramik berliang menggunakan kaedah span polimer yang lebih terperinci setelah dimodifikasi (Jeannine & Curtis, 1992) ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



Rajah 2.2 : Carta alir kaedah span polimer yang lebih terperinci setelah dimodifikasi (Jeannine & Curtis, 1992).

Span yang terpilih mestilah meruap pada suhu rendah dan terbakar–hapus, tanpa menghasilkan tegasan baki yang mengganggu pembentukan jaringan seramik yang masih diperingkat awal proses pensinteran. Memiliki kebingkasan, kelakuan

hidrofobik dan kebolehan untuk mengisi secara seragam merupakan sifat-sifat penting yang mesti dimiliki oleh span polimer.

Pelbagai jenis span polimer yang terdapat di pasaran yang boleh memenuhi keperluan di atas, misalnya poliuretina, selulosa, polivinilklorida, polistirena dan lateks. Contoh penggunaan span polimer untuk pembentukan seramik berliang ialah span polisilan dan polikarbosilan menghasilkan seramik berliang daripada silikon karbida oleh pirolisis, jaringan berliang yang telah dipirolisis (Montanaro, et. al., 1998).

Pemilihan bahan seramik perlu tepat supaya hasil dan penggunaan produk akhir yang diinginkan boleh diperolehi. Serbuk seramik yang tulen dan halus serta memiliki taburan saiz yang kecil biasanya diperlukan untuk kaedah pembentukan ini. Dimensi partikel yang biasa digunakan adalah dalam saiz $> 45 \mu\text{m}$ dan saiz purata partikel menghampiri kepada beberapa mikron (Montanaro, et. al., 1998). Partikel yang mempunyai banyak sudut 'equiaxed' mempunyai kadar pencampuran dan pemadatan keseluruhan pada struktur span polimer.

Kuantiti partikel-partikel yang boleh terisi di dalam span bergantung kepada struktur span tersebut misalnya daya serapan (yang dipengaruhi oleh keliangan terbuka span) dan kebolehan menahan slip dari mengalir keluar akibat tindakan graviti dan kepekatan slip yang disediakan.

Slip yang disediakan mestilah boleh mengisi keseluruhan jaringan span dengan seragam agar memudahkan pemadatan jaringan seramik berliang semasa pensinteran

dan boleh menahan beban paksaan yang digunakan semasa proses pengisian slip dalam span.

Bahan tambah boleh dicampurkan ke dalam slip untuk meningkatkan proses pengisian dan sifat-sifat produk setelah peringkat akhir pensinteran. Contoh-contoh bahan tambah yang boleh dicampurkan dengan serbuk bahan seramik dan air suling ialah pengikat, agen reologi, agen anti-pembusaan, agen penggumpalan dan agen '*air setting*' (Jeannine & Curtis, 1992). Bahan pengikat yang ditambah boleh meningkatkan kekuatan struktur seramik selepas pengeringan dan mengelakan keruntuhan berlaku semasa pemeruapan bahan organik. Agen reologi ditambah untuk mendapatkan kelikatan slip yang sesuai. Kadangkala, kelakuan tiksotropi perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan pengisian yang dikehendaki, apabila span diisi, slip mestilah sepenuhnya boleh mengalir untuk memasuki spam, memenuhi dan menyelaputi jaringan span dengan seragam.

Satu langkah yang perlu dilakukan setelah merendamkan span ke dalam slip ialah penggabungan atau proses mengurangkan liang-liang udara dengan menggunakan tegasan mampatan, rendaman ulangan span dan membiarkan span mengembang dengan sendiri dalam slip. Slip mestilah memiliki kepekatan yang sesuai supaya span dapat kembali pada bentuk asal setelah direndamkan.

Lebih slip pada span perlu dibersihkan atau mengemparkan span tadi melalui penggelek praset. Span tadi boleh dikeringkan pada suhu bilik atau dalam ketuhar. Masa yang diambil untuk pengeringan pada suhu bilik adalah sekitar 8 hingga 24 jam. Suhu pengeringan dengan ketuhar adalah pada julat 50 hingga 60 °C selama 1 jam mengikut jenis span yang digunakan (Jeannine & Curtis, 1992).

Jasad anum disinter pada suhu pembakaran 1250 °C dengan dua peringkat pada suhu 400 °C selama 1 jam 20 menit untuk menyingkirkan bahan organik yang terdapat dalam slip. Peringkat permulaan pembakaran mestilah dilakukan dengan kadar pemanasan yang rendah. Peringkat terakhir pensinteran ialah pepadatan jaringan seramik. Peringkat ini perlukan ketelitian bagi mengelakkan rangka struktur seramik dari runtuh. Suhu pensinteran yang boleh digunakan ialah sekitar 1000 hingga 1700 °C bergantung kepada bahan seramik yang digunakan.

2.3 Struktur sandwic

2.3.1 Definasi

Struktur sandwic bermaksud suatu pembentukan komposit berlapis-lapis yang istimewa yang terdiri daripada kombinasi bahan-bahan yang berlainan, terikat di antara satu sama lain agar dapat mengeksploitasikan sifat-sifat milikan komponen-komponen yang berasingan sebagai faedah keseluruhan himpunan tersebut (Edward, 1981).

Komponen – komponen yang terdapat dalam struktur sandwic ialah :

- i) kulit.
- ii) teras
- iii) agen perekatan

2.3.2 Komponen-komponen struktur sandwic

Pemilihan bahan kulit amat penting dalam penghasilan struktur sandwic bagi produk kejuruteraan. Terdapat beberapa kriteria bahan kejuruteraan yang perlu dimiliki oleh bahan kulit iaitu keliatan yang tinggi dapat memberikan kekakuan lenturan maksima, kekuatan tegangan dan mampatan yang tinggi, berkerintangan terhadap tindakan impak, kalis pada persekitaran yang menghakis, rintangan terhadap haus dan kemas permukaan yang baik.

2.3.2.(a) Kulit

Bahan untuk kulit yang biasanya telah digunakan boleh dibahagi kepada dua kategori iaitu bahan komposit dan bahan bukan komposit. Bahan kulit berasaskan bukan komposit terdiri daripada kepingan logam, papan lapis dan polimer. Biasanya bahan-bahan ini dihasilkan secara pra-pembuatan dalam satu proses dan kemudiannya dilekatkan pada teras melalui proses yang berasingan. Contohnya kepingan logam yang biasa digunakan ialah keluli, keluli nirkarat, aloi aluminium dan aloi kuprum disebabkan sifat mekanikal yang baik dan kos pemprosesan yang berpatutan. Namun begitu, bahan-bahan ini tidak dipilih dalam bahan komposit yang memerlukan berat yang rendah.

Struktur sandwic menggunakan bahan kulit yang berasaskan komposit polimer pula boleh dilekatkan terus kepada lapisan demi lapisan dengan teras atau melalui proses pra-pembuatan dalam satu proses. Kemudiannya pada bahagian teras dengan proses yang lain. Contohnya polimer yang ditetulang gentian, boleh digunakan ialah variasi

kaca, karbon dan aramid dan biasanya terdiri daripada jenis termoset dan resin termoplastik. Bahan kulit yang digunakan boleh mempamerkan sifat yang lebih baik dengan pengisitepuan yang tidak terarah dan tenunan ditetulangi prapreg. Prapreg biasanya diperbuat daripada kaca atau epoksi ditetulangi karbon (Karlsson & Astrom, 1997). Contoh-contoh bahan kulit yang telah digunakan dalam pembuatan struktur sandwic :

i. Kayu ‘Veneer’

Kayu ‘Veneer’ merupakan lapisan kulit kayu luar yang dilapisi dengan lapisan kayu halus. Penggunaan kayu ‘veneer’ sebagai kulit struktur sandwic adalah sangat berkesan, lebih-lebih lagi apabila bahan ini digabungkan dengan tenunan kaca yang ringan. Kombinasi kedua-duanya dapat menghasilkan kulit struktur sandwic yang tahan kepada rintangan impak dan kemerosotan pada kayu bukan lagi menjadi satu masalah (Stuart, 1990)

ii. Gentian Kaca

Kulit yang berasaskan gentian kaca merupakan bahan yang lebih murah, mudah untuk dikendalikan dan kuat. Gentian kaca biasanya digunakan dalam industri pembuatan bot-bot yang bersaiz kecil. Gentian kaca yang tersusun akan memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai kekuatan dan kekakuan pada bahagian yang menggunakan bahan ini. Perbezaan tipikal pada nilai kekuatan boleh dilihat melalui saiz gentian yang digunakan, susunan rawak dalam pengacuan campuran kepingan (SMC atau Sheet Moulding Compound), pengisian dalam pintalan ‘mat’ yang berkesinambungan, tenunan ‘rof’ dan kain tenunan yangiranya bersaiz halus (Stuart, 1990).

iii. Logam

Sebelum melekatkan kepingan logam pada teras struktur sandwic, terdapat dua langkah penting yang perlu dikaji dan dilakukan terlebih dahulu. Rawatan permukaan perlu dilakukan bagi memastikan bahagian teras dan kulit serta agen perekatan yang digunakan dapat berfungsi dengan baik. Kaedah rawatan permukaan perlu dipilih dengan teliti bagi mengelakkan degradasi berlaku pada antaramuka logam. Resin yang digunakan sebagai agen perekatan perlu sesuai dengan suhu dan tempoh pengawetannya kerana struktur sandwic dibina terdedah pada atmosfera yang lembap. Aluminium dan aloinya merupakan logam yang paling sesuai digunakan kerana jangka hayat servisnya panjang. Rawatan permukaan yang boleh dilakukan ialah proses penganodan asid sulfurik, asid fosforik dan asid kromik (Stuart, 1990).

Kulit komposit dipraproses dengan menggunakan pengacuan campuran dalam pengacuan penekanan. Pengacuan campuran termasuklah SMC atau pengacuan kepingan campuran, BMC (Bulk Moulding Compoud) atau pengacuan pukal campuran dan GMT (Glass-Mat-Reinforced Thermoplastic) atau termoplastik ditetulangi 'mat' kaca. Kesemua pengacuan campuran ditetulangi oleh gentian kaca sama ada secara rawak atau tersusun (Karlsson & Astrom, 1997).

2.3.2.(b) Teras

Teras memainkan peranan penting dalam sistem binaan struktur sandwic dan berperanan mengagihkan beban keana kepada keseluruhan sistem. Bahan teras yang digunakan perlulah berketumpatan rendah, modulus kekenyalan bahan teras berserenjang dengan bahan kulit mestilah tinggi bagi mengelakkan pengurangan

ketebalan bahan teras dan kekuatan lenturan berkurangan. Bahan teras terpilih tidak akan gagal di bawah beban kenaan secara melintang dan memiliki modulus ricihan optimum untuk memberi kekuatan ricihan yang mencukupi. Ringkasnya, bahan teras yang terpilih mestilah memiliki sifat-sifat seperti berketumpatan rendah, modulus ricihan, kekuatan ricihan, kekakuan berserenjang dengan kulit dan berpenyebat haba dan bunyi.

Bahan teras yang digunakan untuk binaan struktur sandwich boleh dibahagikan kepada empat kumpulan utama iaitu :

i. Bahan selular atau bersifat porous

Pembangunan bahan selular yang mempunyai kualiti dan ketumpatan yang tinggi telah memberi kesan yang besar terhadap penggunaan konsep struktur sandwich. Teras selular tidak mempunyai kekakuan dan nisbah kekuatan kepada jisim yang tinggi seperti struktur indung madu, tetapi dari segi harga jauh lebih murah. Terdapat beberapa kelebihan teras selular iaitu permukaan berliang yang memudahkan perekatan, penyediaan permukaan dan pembentukan kepada bentuk akhir yang lebih mudah. Selain itu, teras selular juga menawarkan penebatan termal yang tinggi, rintangan kelembapan tinggi dan struktur sel tertutup menghasilkan produk yang boleh terapung dan kadar penyerapan air yang minima. Terdapat beberapa contoh teras selular yang digunakan kini :

- **Busa poliuretina (PUR)**

Bahan polimer ini mempunyai sifat fizikal yang baik seperti rintangan pelepasan dan fleksibel. Polimer ini terhasil daripada tindakbalas di

antara iso-sianat, polioliol dan tri-kloro-metana atau karbon dioksida yang digunakan sebagai agen peniupan dan mengalami pengewapan apabila haba dibebaskan (tindakbalas eksotermik). Busa PUR dipasarkan dalam bentuk busa lembut (sama ada sel tertutup atau sel terbuka) dengan julat ketumpatan dari 30 hingga 500 kg/m³ (Stuart, 1990).

- **Busa polovinil klorida (PVC)**

Polimer PVC biasanya digunakan sebagai bahan untuk membuat plastik sampah, paip plastik dan filem plastik. PVC dikategorikan kepada dua jenis yang berbeza iaitu busa PVC linear yang mempunyai sifat-sifat mekanikal yang baik tetapi tidak stabil. PVC termodifikasi dengan silangan iso-sianat mempunyai kekuatan dan kekauan yang tinggi, kepekaan terhadap haba yang rendah dan lebih rapuh. Penggunaan busa PVC agak terhad berikutan perekatan yang kurang kuat oleh agen perekatan.

- **Busa polimetakrilimida (PMA)**

Plastik selular akrilimida terhasil dari proses imida yang termodifikasi dengan poliakrilat. Sifat-sifat mekanikalnya sangat baik, berbanding busa selular komersial busa PMA. Faedah utama menggunakan busa PMA ialah rintangannya terhadap suhu dan sesuai digunakan dengan epoksi prapreg dalam pembuatan autoklaf pada atmosfera sehingga mencapai 180 °C. Struktur sel busa adalah sangat kecil dengan sel-sel tertutup dan julat ketumpatannya adalah dari 30 hingga 300 kg/m³. Pengaliran terma busa PMA adalah variasi dengan suhu.

- **Busa poliimida**

Busa poliimida berasakan resin poliimida. Resin poliimida adalah kelihatan sama dengan fenolik tetapi memiliki rintangan terhadap suhu yang lebih tinggi. Bahan ini tidak akan terbakar walaupun setelah didedahkan pada suhu 816 °C pada masa yang lama. Busa poliimida yang berketumpatan 96 kg/m³ digunakan untuk membuat struktur yang dapat menahan kebakaran, seperti dinding kalis api. Versi yang boleh melentur pula digunakan dalam pembuatan penabat rintangan api yang fleksibel.

- **Busa polistirena (PS)**

Busa polistirena dihasilkan melalui proses pengembangan atau penyemperitan dalam acuan tertutup. Dalam kedua-dua proses, PS dicampurkan dengan agen peniupan dan plastik tersebut mengalami pengembangan pada suhu tinggi. Busa PS mempunyai struktur liang tertutup dan memiliki ketumpatan sekitar 15 hingga 300 kg/m³. Busa PS memiliki sifat mekanikal dan penebatan haba yang agak baik serta murah.

ii. **Struktur indung madu**

Terdapat banyak jenis struktur indung madu yang boleh dibezakan mengikut jenis bahan, bentuk struktur dan saiznya. Biasanya struktur indung madu yang digunakan berbentuk sel heksagonal. Bahan-bahan yang boleh digunakan untuk membuat struktur indung madu ialah kertas kraf terpilih, filem plastik, kain-kain tenunan terpilih dan kepingan logam. Bentuk struktur indung madu yang

heksagonal lebih digemari berikutan kekuatan dan keseimbangan yang lebih baik.

- **Struktur indung madu daripada kertas kraf**

Struktur indung madu daripada kertas merupakan struktur indung madu yang paling murah namun masih dapat memberikan sifat mekanikal yang baik pada struktur sandwic. Kertas kraf disalutkan dengan resin untuk meningkatkan rintangannya terhadap air dan kemerosotan akibat tindakan kulat. Selain itu, terdapat pengeluar mengisi busa PUR pada sel-sel struktur indung madu kertas kraf untuk meningkatkan keupayaan penebatan haba.

- **Struktur indung madu daripada gentian kaca dan plastik**

Struktur indung madu daripada gentian kaca dan plastik telah digunakan selama 40 tahun sebagai teras bagi radom dan antena tingkap tetapi kos bahan ini agak mahal. Walau bagaimanapun, bahan ini menjadi tumpuan dalam bidang kententeraan khususnya bidang perisikan yang telah menggunakannya untuk membina pesawat yang kalis radar pengesan atau bersifat halimunan (Stuart, 1990).

- **Struktur indung madu daripada gentian karbon dan Kevlar**

Teras gentian karbon telah digunakan dalam struktur pesawat angkasa lepas kerana kestabilan yang baik dan jisim yang rendah serta koefisien pengembangan terma yang menghampiri sifar. Struktur indung madu berasaskan Kevlar pula mempunyai ciri-ciri yang menghampiri sama dengan gentian karbon dan sebagai bonus kepada penggunaan bahan ini,