Jurnal Mekanikal
Jun 2004, Bil. 17, 15 - 35

KESAN BAHAN MANGKIN KE ATAS PROSES PENGAWETAN RESIN ISOPOLIESTER DALAM PENGHASILAN KOMPOSIT MATRIK POLIMER

Norhayati Ahmad
Munirah Hussin

Jabatan Kejuruteraan Bahan
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia

ABSTRAK

Penggunaan bahan mangkin yang berbeza jenis dan peratus akan mempengaruhi tempoh dan suhu pengawetan resin isopoliester yang digunakan sebagai bahan matrik bagi penghasilan komposit polimer bertetulang gentian kaca (GFRP). Ujian gel dilakukan ke atas campuran resin dan bahan tiga mangkin jenis peroksida organik. Sifat setiap mangkin dan kesan ke atas proses pengawetan resin ditentukan dari ujian gel peringkat pertama dan komposisi bahan mangkin yang sesuai juga dikenalpasti bagi menentukan suhu dan tempoh pengawetan resin bagi proses penarikan. Analisis ke atas beberapa sampel dari ujian gel peringkat kedua pula boleh digunakan untuk mendapatkan parameter proses penarikan iaitu kelajuan penarik, suhu pada zon pertama dan zon kedua acuan. Data yang diperolehi boleh digunapakai kerana menghampiri parameter yang digunakan dalam proses penarikan yang sebenar di kilang membuat komposit khususnya bagi profil komposit berterusan.

1.0 PENGENALAN

Bahan matrik yang digunakan dalam penghasilan komposit matrik polimer bertetulang gentian kaca (GFRP) akan mempengaruhi kualiti dan sifat mekanik komposit tersebut. Bahan matrik yang digunakan adalah campuran resin dan bahan tambahan seperti mangkin, pigmen pewarna serta pengisi. Mangkin ialah bahan yang mengubah kadar tindakbalas kimia tanpa dirinya sendiri tidak menglami perubahan dari segi komposisi atau menjadi sebahagian daripada struktur molekul produk. Tujuan mangkin digunakan adalah untuk meningkatkan kadar tindakbalas kimia dalam proses pengawetan komposit. Campuran resin dan bahan mangkin yang berbeza komposisi memberi pengaruh yang besar kepada proses pengawetan komposit. Penghasilan GFRP melalui kaedah penarikan dipengaruhi oleh kelajuan penarik dan suhu pada zon pertama serta kedua acuan yang digunakan. Kawalan proses pengawetan yang baik membolehkan komposit mengeras dengan baik dan membentuk ikatan antara fasa matrik dan tetulang. Ikatan yang terbentuk ini akan mempengaruhi kualiti komposit yang dihasilkan [1].

Objektif kajian ini adalah:

1. mengkaji sifat dan pengaruh tiga jenis bahan mangkin yang dicampur dalam bahan matrik resin isopoliester.
2. menentukan komposisi bahan mangkin yang sesuai untuk proses penarikan bagi menghasilkan komposit matrik polimer bertetulang kaca.
3. mengkaji parameter proses penarikan yang mempengaruhi pengawetan resin iaitu kelajuan penarik, suhu pada zon pemanas pertama dan zon pemanas kedua acuan.

2.0 KAJIAN LITERATUR

Kajian ini menggunakan bahan mangkin sebagai agen pengawetan resin dalam proses penghasilan komposit matrik polimer. Mekanisma pengawetan dipengaruhi oleh kelikatan resin, suhu di dalam acuan, masa ketika haba dikenakan dan jenis tindakbalas kimia bagi proses pempolimeran [1]. Penggunaan bahan mangkin dalam campuran resin adalah terlalu sedikit iaitu dalam lingkungan 0.1 – 2.0 % sahaja [1]. Seandainya mangkin yang digunakan melebihi jumlah yang disyorkan, kadar tindakbalas menjadi terlalu cepat manakala proses pengawetan mungkin langsung tidak akan berlaku jika sebaliknya. Komponen komposit yang terawet terlalu cepat dari masa yang disyorkan akan menghasilkan struktur yang rapuh dan menyebabkan retak pada komponen.

Peranan mangkin juga turut telibat dalam menentukan ciri-ciri fizikal sesuatu campuran resin, kualiti profil dan sifat mekanik komposit iaitu:

a) Suhu dan tempoh masa untuk terawet dengan sempurna

Ujian gel digunakan untuk menentukan puncak eksoterma suatu campuran resin. Daripada data inilah diketahui masa dan tempoh pengawetan yang sesuai untuk suatu campuran resin [1].

b) Kelikatan

Campuran resin yang terlalu pekat menyebabkan gentian kaca menjadi terlalu berat dan menyerap resin lebih banyak dari yang sepatutnya. Apabila gentian kaca terpaksa membawa resin dengan banyak, tegangan akan terhasil pada kedua-dua hujung acuan dan menyebabkan gentian kaca terputus. Perjalanan proses akan terhenti kerana gentian kaca yang terputus dalam acuan. Kelikatan campuran resin juga dipengaruhi oleh penggunaan bahan tambah lain dalam bentuk serbuk terutamanya dan juga berbentuk cecair tetapi mempunyai kelikatan yang lebih tinggi berbanding resin itu sendiri.

c) Kebendaliran

Kebendaliran mempunyai kaitan dengan kelikatan sesuatu campuran resin. Campuran resin yang likat menyebabkan kebendalirannya menjadi kurang dan

sebaliknya. Apabila kebendaliran sesuatu resin terlalu cair, resin seolah-olah tidak melekat pada gentian kaca. Ini akan menjejaskan kualiti produk. Serapan resin tidak berlaku dengan sempurna semasa melalui tangki resin, maka kecacatan seperti gelembung dan "blister" akan berlaku. Seandainya kebendaliran terlalu pekat, resin akan bergumpal atau terkumpul di setengah tempat pada gentian kaca dan akan menimbulkan masalah kepada proses pengeluaran.

d) Kualiti profil

Kecacatan yang biasa berlaku ialah permukaan profil mengalami benjolan dan kedutan. Masalah ini disebabkan pengawetan lapisan gel yang tidak berlaku sepenuhnya [2]. Apabila terdapat gelembung udara terperangkap pada permukaan profil, lubang-lubang halus akan terhasil. Kelikatan resin dan penggunaan bahan mangkin yang tidak sesuai dengan jenis resin adalah antara penyebab masalah ini berlaku. Adakalanya bentuk gentian jelas kelihatan pada permukaan profil dan ini juga adalah antara kesan penggunaan sistem bahan mangkin yang tidak sesuai dengan proses penghasilan sesuatu profil komposit.

e) Sifat mekanik

Pengawetan yang tidak sempurna menyebabkan kekerasan dan kekakuan profil komposit berkurangan. Jumlah bahan mangkin yang digunakan dalam campuran resin mungkin terlalu sedikit mengakibatkan resin tidak dapat terawet dalam tempoh waktu yang dijangkakan [2]. Sebagai contoh bagi suatu komponen komposit "*transverse direction of 0° oriented laminate*" , yang tidak terawet mempunyai modulus tegangan sebanyak 7 kPa sahaja. Manakala jika komponen tersebut mengalami proses pengawetan yang sempurna akan mempunyai modulus sebanyak 19.9 GPa [1].

3.0 KAEDAH KAJIAN

3.1 Bahan

Bahan yang digunakan ialah resin isopoliester dan tiga jenis mangkin A, B dan C (Jadual 1). Penggunaan jumlah resin adalah konsisten untuk semua sampel dan peratusan bahan mangkin yang berbeza digunakan untuk melihat kesannya ke atas masa pengawetan resin dengan menjalankan ujian gel.

Resin isopoliester (sejenis plastik termoset) dipilih kerana penggunaannya yang meluas untuk komposit matrik polimer selain kos yang lebih murah berbanding plastik termoset yang lain. Resin dalam bentuk cecair dengan ketumpatan 1.11 g/cm^3, kelikatannya melebihi 2 poise dan suhu didih 145°C. Resin ini tidak larut dalam air dan berwarna kuning ke merah jambu. Ia mengandungi unsur stirena sebanyak 25 hingga 50% yang mana kandungan stirena ini membolehkan monomer poliester untuk membentuk silang paut dengan lebih mudah.

Jadual 1 Bahan mangkin yang digunakan untuk ujian gel

BAHAN	MANGKIN A	MANGKIN B	MANGKIN C
NAMA KIMIA	ter-butyl peroxybenzoate	1,1-Bis(ter-butyl peroxy)-3,3,5-trimethylclohexane	dibenzoyl peroxide
NAMA KOMERSIAL	Trigonox C	Trigonox 29 B50	Lucidol CH 50X
KETUMPATAN, kg/m^3	1040	970	640
LAIN-LAIN	Tidak larut dalam air tetapi larut dalam bahan kimia phthalates	Boleh diperolehi dalam bentuk cecair jernih berwarna kuning. Takat lebur sangat rendah iaitu –20 °C.	Boleh diperolehi dalam bentuk serbuk berwarna putih. Tidak larut dalam air.

3.2 Peralatan

Radas yang digunakan dalam ujian gel ialah relau suhu tinggi, termogandingan, jam randik, termometer digital, acuan logam, penimbang elektronik, rod kaca dan bikar. Acuan yang digunakan berbentuk selinder dengan diameter dan ketinggian masing-masing adalah 70 dan 100 mm. Selinder ini dibentuk pada logam yang berbentuk kiub dengan ukuran 120 x 120 x 120 mm. Pemilihan keluli alat untuk membuat acuan berdasarkan kepada pembuatan acuan sebenar dalam proses penarikan kerana medium pemindahan haba dalam kajian ini adalah faktor yang sangat penting untuk tujuan analisis.

3.3 Ujian Gel

Ujian gel dilakukan untuk mengkaji sifat bahan mangkin dan kesannya terhadap proses pengawetan komposit. Ujian gel dilakukan dengan memanaskan relau suhu tinggi pada 200°C. Resin dan bahan mangkin dengan komposisi tertentu dicampur sebati dalam bikar kaca. Campuran ini kemudian dituang ke dalam acuan dan dimasukkan ke dalam relau suhu tinggi. Termogandingan diletakkan dalam acuan dan suhu pada acuan dan resin dicatat pada sela masa yang tertentu. Graf suhu melawan masa diplotkan dan dari graf tersebut suhu mula terawet, suhu terawet sepenuhnya dan tempoh pengawetan bagi setiap sampel boleh ditentukan.

3.3.1 Ujian Gel Peringkat Pertama

Resin dicampurkan dengan sejenis bahan mangkin dengan lima komposisi yang berbeza iaitu 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% dan 2.5%. Ujian ini diulang untuk ketiga-tiga jenis mangkin A, B dan C untuk mengenal pasti sifat setiap jenis bahan mangkin secara individu.

3.3.2 Ujian Gel Peringkat Kedua

Ujian gel pada peringkat kedua memerlukan campuran ketiga-tiga bahan mangkin bersama resin dalam satu sampel mengikut peratusan tertentu, dengan syarat campuran bahan mangkin tersebut ~2.0% [3] seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2. Nilai peratusan yang dipilih untuk kombinasi sampel pertama adalah berdasarkan analisis data peringkat pertama. Kombinasi bahan mangkin seterusnya bergantung kepada kedua-dua faktor iaitu analisis peringkat pertama dan pemerhatian semasa ujian gel peringkat kedua.

Jadual 2 Campuran bahan mangkin dalam setiap sampel

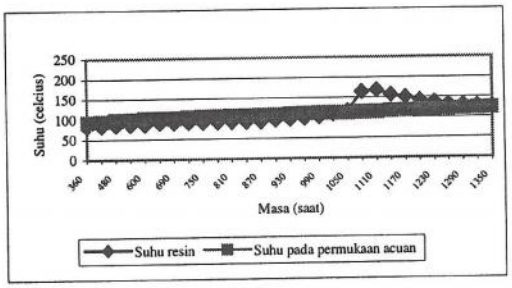
Sampel	% Campuran Mangkin			Jumlah
	A	B	C	
1	0.7	0.7	0.35	1.75
2	1.0	0.35	0.7	2.05
3	0.35	0.35	0.7	1.40
4	0.35	0.7	0.7	1.75
5	0.7	0.35	0.7	1.75
6	0.35	0.35	1.04	1.74
7	0.35	0.21	0.7	1.26

4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

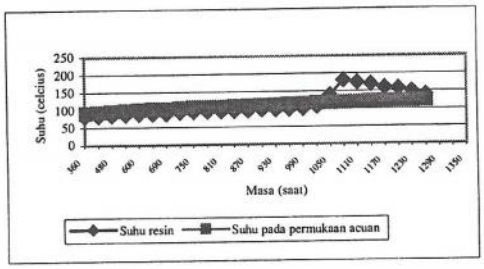
4.1 Campuran Resin Isopoliester Dan Bahan Mangkin A,B dan C Secara Berasingan

Ujian gel peringkat pertama menunjukkan suhu dan tempoh pengawetan bagi setiap jenis mangkin A, B dan C dengan pelbagai peratusan iaitu 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 dan 2.5 % (Rajah 1). Bentuk graf yang sama diperolehi bagi kelima-lima peratusan komposisi mangkin. Perbezaan yang boleh dilihat antara kesemua graf ialah titik garis suhu pada acuan dan resin bersilang, titik suhu puncak serta jarak antara kedua-duanya dan kesemua data tersebut dicatatkan dan graf diplotkan (Rajah 2).

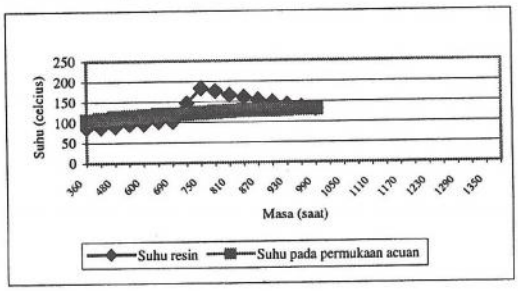
0.5% Mangkin A



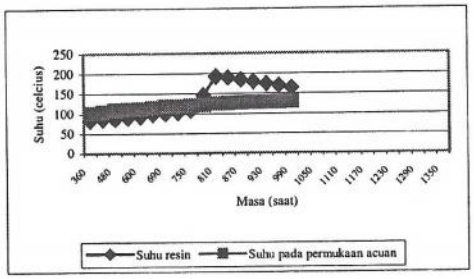
1.0% Mangkin A



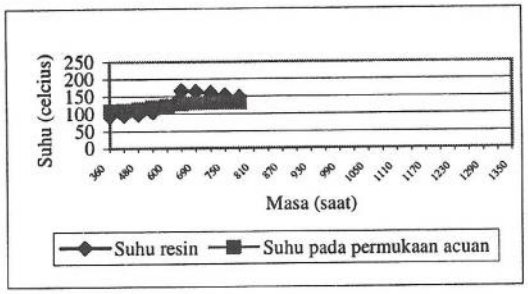
1.5% Mangkin A



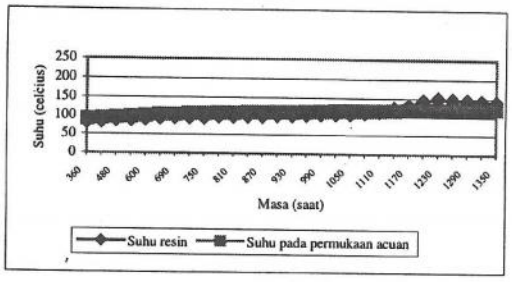
2.0% Mangkin A



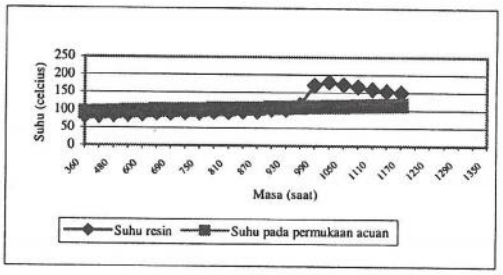
2.5% Mangkin A



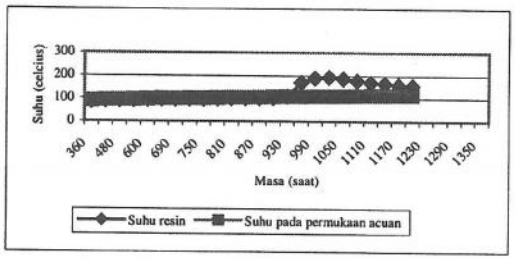
0.5% Mangkin B



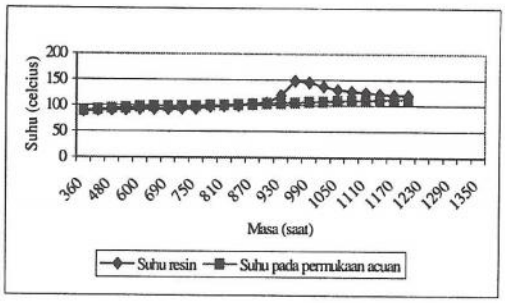
1.0% Mangkin B



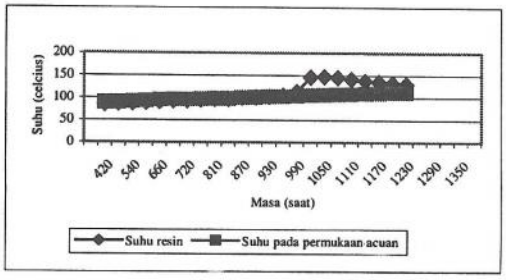
1.5% Mangkin B



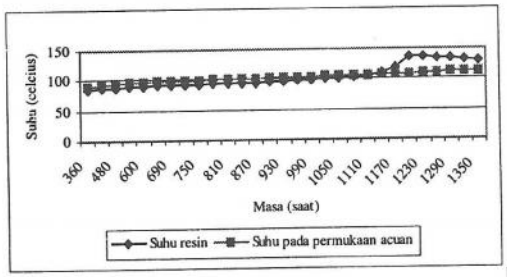
2.0% Mangkin B



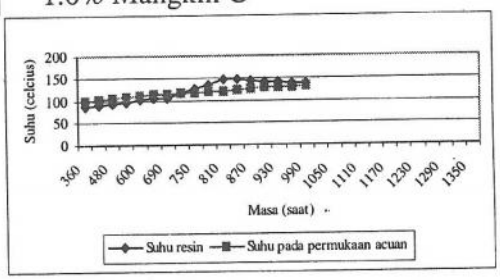
2.5% Mangkin B



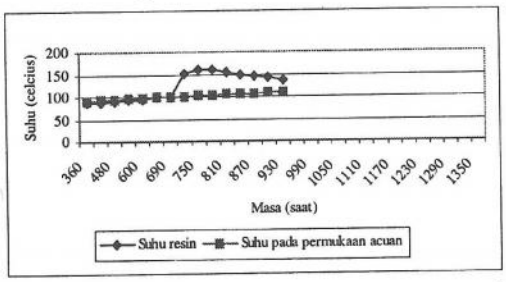
0.5% Mangkin C



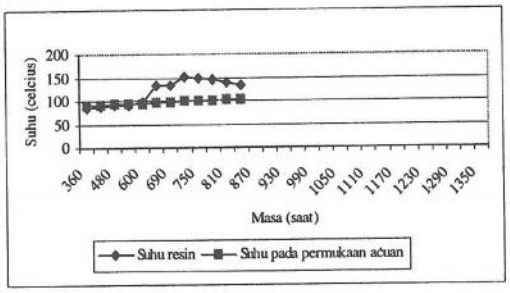
1.0% Mangkin C



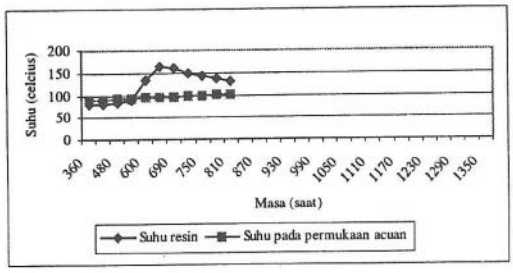
1.5% Mangkin C



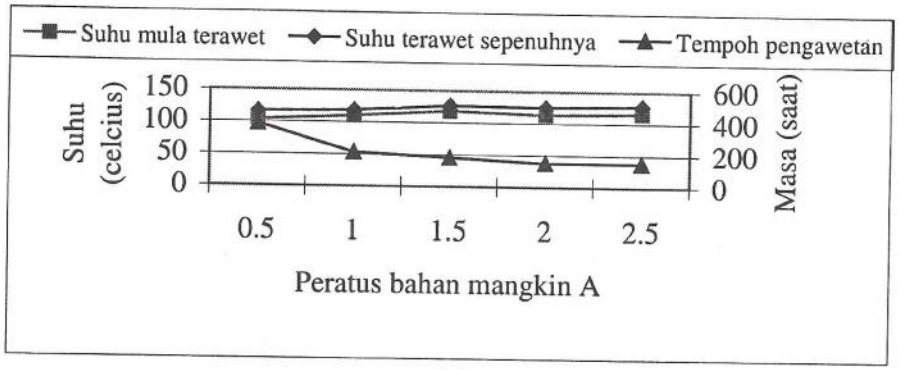
2.0% Mangkin C



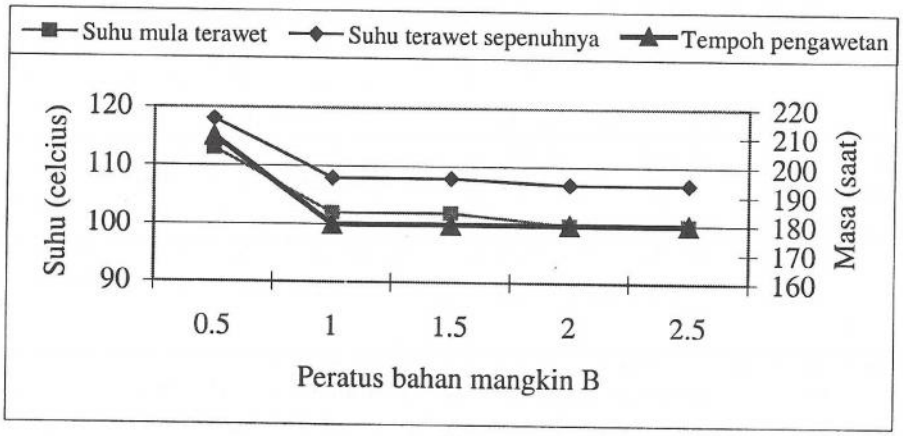
2.5% Mangkin C



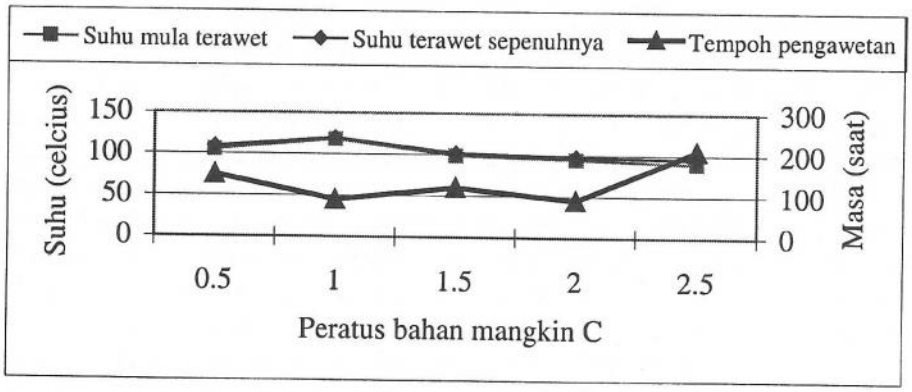
Rajah 1 Suhu pengawetan bagi campuran resin dengan bahan mangkin A, B dan C secara berasingan bagi 0.5% hingga 2.5 %



(a)



(b)



(c)

Rajah 2 Suhu pengawetan resin isopoliester dengan pelbagai peratusan bahan mangkin A, B dan C secara berasingan

Suhu dan tempoh pengawetan bagi setiap peratusan mangkin (daripada titik persilangan graf Rajah 1) ditunjukkan oleh graf pada Rajah 2. Rajah 2a menunjukan peningkatan peratusan bahan mangkin A menyebabkan suhu permulaan untuk campuran resin ini terawet turut meningkat iaitu peratusan mangkin berkadar terus dengan suhu ketika mula terawet. Manakala tempoh pengawetan resin semakin singkat apabila peratusan bahan mangkin bertambah. Namun demikian, terdapat satu keadaan di mana tempoh awetnya menjadi tetap walaupun jumlah mangkin yang digunakan semakin tinggi iaitu apabila mencapai 2.0% dan tempoh pemejalan yang setara dengannya ialah 150 saat. Maka, penggunaan bahan mangkin A terhad kepada 2% sahaja kerana pertambahan selepas itu tidak memberikan perubahan dari segi tempoh pengawetan resin. Suhu untuk resin mula terawet adalah tinggi iaitu 104°C dan boleh mencapai sehingga 116°C. Apabila resin sudah berada dalam keadaan terawet sepenuhnya, suhu yang dicatatkan adalah 116°C dan mencapai sehingga 128°C. Berbanding dengan bahan mangkin lain, mangkin A memerlukan suhu yang paling tinggi untuk proses pengawetan resin. Berdasarkan data-data serta pemerhatian dari ujian gel, mangkin A sesuai untuk profil komposit yang nipis. Memandangkan keratan rentasnya yang tidak tebal, haba dapat dipindahkan dengan cepat dan masalah dalam profil tidak terawet sepenuhnya tidak berlaku. Boleh disimpulkan bahawa kehadiran bahan mangkin jenis ini dalam campuran resin dengan peratusan tertentu boleh menyingkatkan tempoh pengawetan resin. Ini kerana mangkin ini menyebabkan tindakbalas kimia berlaku lebih cepat. Walau bagaimanapun, rupa bentuk sampel selepas terawet sepenuhnya, tidak begitu jernih dan kurang menarik.

Secara keseluruhannya, bahan mangkin B tidak memberikan perubahan yang ketara terhadap parameter-parameter yang dianalisis walaupun peratusannya bertambah (Rajah 2b). Tempoh pengawetan resin untuk semua peratusan yang digunakan adalah panjang dan agak konsisten. Tempoh pengawetan yang paling cepat berlaku ialah 3 minit dan paling lama pula 5 minit. Suhu untuk mula terawet juga agak tinggi iaitu 100°C , manakala suhu ketika resin berada dalam keadaan terawet sepenuhnya pula 1072°C. Berdasarkan perolehan data, didapati suhu bermulanya pengawetan dan ketika resin berada dalam keadaan terawet sepenuhnya adalah berkadar songsang dengan penambahan bahan mangkin. Bermula dengan 0.5%, tempoh pengawetan resin adalah 210 saat dan konsisten pada 180 saat apabila peratusan bahan mangkin yang digunakan ditambah sehingga 2.5%. Apabila dihubungkaitkan dengan proses penghasilan komposit, penambahan bahan mangkin jenis ini dalam campuran resin membantu mengurangkan berlakunya pengecutan pada profil komposit yang dihasilkan. Profil mengecut apabila penyejukan berlaku dengan pantas iaitu penurunan suhunya adalah tinggi. Apabila proses pempolimeran berlaku dengan cepat, gas atau udara akan mudah terperangkap dalam struktur komposit yang boleh membawa kepada terbentuknya keliangan. Penambahan bahan mangkin jenis ini juga dapat mengurangkan risiko berlakunya keliangan akibat daripada tempoh pengawetan yang agak panjang berbanding mangkin yang lain. Bahan mangkin

jenis ini sangat sesuai untuk profil komposit berkeratan rentas tebal. Tempoh pengawetan yang lama memberi peluang kepada pemindahan haba yang lengkap di dalam profil komposit berlaku. Ujian gel menunjukkan campuran resin ini memberikan kualiti permukaan yang lebih baik iaitu licin, menarik serta lutsinar.

Berdasarkan Rajah 2c, bahan mangkin C memberikan kesan yang ketara terhadap proses pengawetan resin. Pertambahan jumlah mangkin yang digunakan dalam campuran resin menyebabkan proses pengawetannya lebih cepat berlaku dan suhu pemejalan juga menjadi lebih rendah. Secara amnya, penambahan peratusan bahan mangkin adalah berkadar songsang dengan suhu campuran resin mula terawet dan juga ketika resin terawet sepenuhnya. Walau bagaimanapun, tempoh pengawetan resin adalah tidak konsisten dengan penambahan resin dan tempohnya bergantung kepada peratusan yang digunakan. Resin mula terawet pada suhu 90°C apabila resin tersebut dicampurkan dengan bahan mangkin C sebanyak 2.5%. Bagi jumlah bahan mangkin yang sama, resin terawet sepenuhnya pada suhu 96°C. Data ini menunjukkan tindakbalas proses pengawetan resin berlaku pada suhu yang lebih rendah berbanding bahan mangkin A dan B. Penggunaan bahan mangkin C sebanyak 1.0% menunjukkan proses pengawetan berlaku pada suhu 118°C dan pertambahan seterusnya menyebabkan suhu resin mula terawet semakin rendah sehingga mencapai 90°C. Berdasarkan kepada data daripada ujian gel, campuran resin dengan bahan mangkin C sebanyak 0.5% memberikan suhu mula yang lebih rendah berbanding campuran resin yang menggunakan 1.0% iaitu 105°C. Berbanding dengan bahan mangkin A dan B, graf bagi mangkin C menunjukkan perubahan yang tidak konsisten. Anggapan yang dibuat sama ada terdapat ralat semasa ujian gel dilakukan atau sememangnya bahan mangkin jenis ini menunjukkan ciri-ciri parameter yang tidak konsisten. Walaupun proses pengawetan resin berlaku pada suhu rendah, tetapi tempoh pengawetannya bukanlah yang paling singkat. Berdasarkan kepada data yang diperolehi, penambahan jumlah mangkin C sehingga 2.5% turut memanjangkan tempoh pengawetan resin iaitu selama 210 saat. Namun begitu, resin yang dicampurkan dengan 1.0 dan 2.0% dapat mengurangkan tempoh pengawetan resin sehingga 90 saat, dua kali ganda lebih cepat berbanding dengan penggunaan bahan mangkin B dalam jumlah yang sama. Jenis bahan mangkin ini tidak sesuai untuk profil yang berkeratan rentas tebal. Suhu ketika resin mula terawet adalah rendah menyebabkan pengunaannya terhadap profil yang tebal melambatkan proses penghasilan profil itu sendiri.

4.2 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengawetan

4.2.1 Tempoh Pengawetan

Mangkin C menunjukkan tempoh pengawetan yang paling singkat untuk kesemua peratusan yang digunakan kecuali apabila mencapai 2.5% . Ketiga-tiga jenis mangkin tidak menunjukkan perbezaan tempoh pengawetan yang ketara apabila mencapai peratusan yang paling tinggi iaitu 2.5. Secara am, mangkin B memberikan tempoh pengawetan resin yang tinggi dan konsisten. Andaian yang

dibuat sekiranya menggunakan campuran resin dan mangkin B sahaja akan memanjangkan tempoh pengawetan resin. Mangkin A menunjukkan hanya penggunaan dalam peratusan yang tinggi sahaja dapat mengurangkan tempoh pengawetan.

4.2.2 Suhu Pengawetan

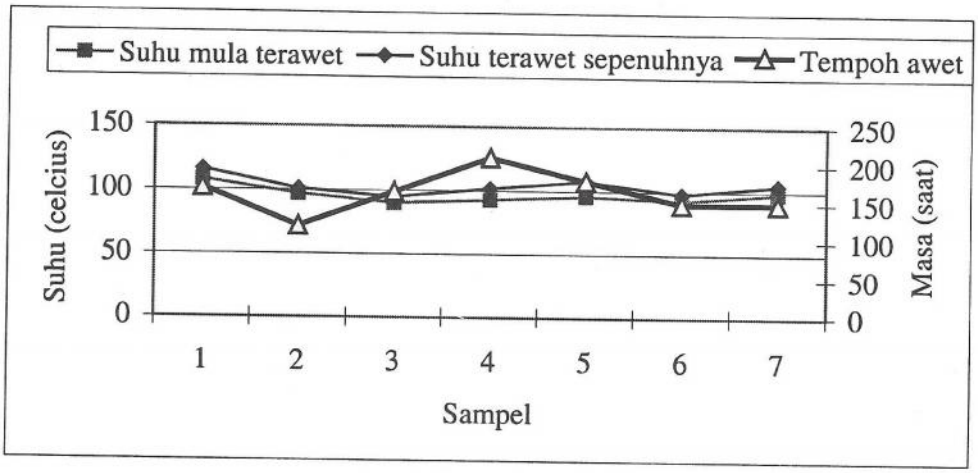
Ketiga-tiga jenis mangkin tidak menunjukkan perbezaan yang ketara dari segi suhu ketika resin mula terawet apabila digunakan dalam peratusan yang rendah. Peratus penggunaan yang tinggi menyebabkan suhu mula terawet bagi mangkin A adalah paling tinggi dan mangkin C pula adalah paling rendah. Mangkin B menunjukkan catatan suhu yang hampir konsisten berbanding mangkin A dan C. Peningkatan peratusan mangkin B dalam campuran resin tidak memberikan perubahan yang ketara pada data yang diambil. Perubahan hampir sama juga diperolehi bagi suhu pada permukaan acuan apabila resin terawet sepenuhnya. Mangkin B menunjukkan peningkatan suhu apabila peratus bahan mangkin bertambah dan mangkin C adalah paling rendah. Mangkin B menunjukkan catatan suhu yang konsisten. Kesemua titik yang mewakili mangkin B berada dalam julat garis suhu 100 - 120°C. Mangkin A memberikan suhu untuk terawet sepenuhnya yang tinggi di mana terdapat lebih daripada tiga titik berada di atas garis suhu 120°C. Penggunaan suhu yang tinggi untuk resin terawet sepenuhnya ada kaitan dengan proses pempolimeran resin tersebut. Suhu yang tinggi menunjukkan haba lebih banyak dibekalkan pada resin untuk proses pempolimeran berlaku, bermakna lebih banyak haba diperlukan untuk membentuk silang paut dalam struktur molekul resin tersebut.

Jadual 3 Ciri-ciri bahan mangkin berdasarkan ujian gel peringkat pertama

	Mangkin A	**Mangkin B**	**Mangkin C**
Tempoh pengawetan paling cepat	150 s (2.0 dan 2.5 %)	180 s (1.0% - 2.5%)	90 s (1.0% dan 2.0%)
Tempoh pengawetan paling lama	390 s (0.5%)	210 s (0.5%)	210 s (2.5%)
Suhu mula terawet paling rendah	104°C (0.5%)	100°C (2.0% dan 2.5%)	90°C (2.5%)
Suhu mula terawet paling tinggi	118°C (1.5%)	113°C (0.5%)	118°C (1.0%)
Suhu terawet sepenuhnya paling rendah	116°C (0.5%)	107°C (2.0% dan 2.5%)	96°C (2.5%)
Suhu terawet sepenuhnya paling tinggi	128°C (2.5%)	118°C (0.5%)	120°C (1.0%)

4.3 Campuran Resin Isopoliester Dengan Ketiga-tiga Bahan Mangkin (Ujian Gel Peringkat Kedua)

Seperti ujian peringkat pertama, graf suhu lawan masa yang diplot bagi semua sampel berbeza pada titik persilangan di antara suhu pada acuan dan suhu pada resin, titik suhu puncak dan jarak antara keduanya. Kesemua data tersebut direkodkan oleh graf pada Rajah 3.



Rajah 3 Ujian gel peringkat kedua untuk semua sampel

Hubungan antara parameter yang dikaji dengan saiz profil adalah sangat penting untuk menghasilkan profil yang berkualiti tinggi di samping mengelakkan masalah semasa pengeluaran. Berdasarkan Rajah 4, graf ketika suhu terawet sepenuhnya adalah selari dengan suhu ketika mula terawet, peningkatan mahupun penurunan suhu ketika resin mula terawet menyebabkan catatan suhu ketika resin terawet sepenuhnya mengalami fenomena yang sama. Manakala tempoh awet lama berlaku jika suhu mula terawet rendah dan sebaliknya. Kepelbagaian ciri (iaitu tempoh pengawetan yang lama atau singkat dan suhu mula terawet rendah atau tinggi) yang bagi setiap sampel dikaitkan dengan parameter penting proses penarikan dalam penghasilan komposit. Jadual 4 menunjukkan kesesuaian dan kualiti profil komposit yang dihasilkan dan Jadual 5 menunjukkan kesesuaian setiap jenis sampel terhadap jenis profil.

Jadual 4 Pengaruh parameter yang dikaji terhadap profil komposit

Profil	Parameter yang mempengaruhi analisis		Kesan pada profil dan kecekapan pengeluaran
	Tempoh awet	Suhu mula terawet	
Tebal (berkeratan rentas 5 mm dan ke atas)	Lama	Rendah	▪ Terawet sempurna ▪ Pengeluaran lancar
	Lama	Tinggi	▪ Kecacatan pada profil ▪ Profil *overheat* ▪ Pengeluaran bermasalah
	Singkat	Tinggi	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kecacatan pada profil ▪ Pengeluaran bermasalah
	Singkat	Rendah	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kecacatan pada profil ▪ Pengeluaran bermasalah
Nipis (berkeratan rentas kurang 5 mm)	Singkat	Tinggi	▪ Terawet sempurna ▪ Pengeluaran tinggi dan lancar
	Singkat	Rendah	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kecacatan pada profil ▪ Pengeluaran bermasalah
	Lama	Tinggi	▪ Profil *overheat* ▪ Kecacatan pada profil ▪ Pengeluaran rendah dan bermasalah
	Lama	Rendah	▪ Terawet sempurna ▪ Pengeluaran rendah

Petunjuk:

Tempoh awet lama – 151 saat dan ke atas
Tempoh awet singkat – 150 saat dan ke bawah
Suhu tinggi – 96 darjah celcius dan ke atas
Suhu rendah – 95 darjah celcius dan ke bawah

Jadual 5 Kesesuaian sampel terhadap jenis profil

Sampel	Kesan pada profil dan pengeluaran		Kesesuaian penggunaan
	Tebal	Nipis	
1	▪ Profil *overheat* ▪ Dai tersumbat ▪ Kecacatan profil	▪ Profil *overheat* ▪ Dai tersumbat ▪ Produktiviti rendah	▪ Tidak sesuai untuk kedua-dua profil
2	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kekerasan Barcol rendah ▪ Kecacatan profil	▪ Terawet sempurna ▪ Produktiviti tinggi	▪ Sesuai untuk profil nipis
3	▪ Terawet sempurna ▪ Tidak ada masalah pengeluaran	▪ Terawet sempurna ▪ Risiko kecacatan pada profil ▪ Produktiviti rendah	▪ Sesuai untuk profil tebal
4	▪ Terawet sempurna ▪ Tidak ada masalah pengeluaran	▪ Terawet sempurna ▪ Risiko kecacatan pada profil ▪ Produktiviti rendah	▪ Sesuai untuk profil tebal
5	▪ Profil *overheat* ▪ Dai tersumbat ▪ Kecacatan profil	▪ Profil *overheat* ▪ Dai tersumbat ▪ Produktiviti rendah	▪ Tidak sesuai untuk kedua-dua profil

Sampel	Kesan pada profil dan pengeluaran		Kesesuaian penggunaan
	Tebal	Nipis	
6	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kekerasan Barcol rendah ▪ Kecacatan profil ▪ Pengeluaran bermasalah	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kecacatan profil ▪ Pengeluaran bermasalah	▪ Tidak sesuai untuk kedua-dua profil
7	▪ Tidak terawet sempurna ▪ Kekerasan Barcol rendah ▪ Kecacatan profil	▪ Terawet sempurna ▪ Produktiviti tinggi	▪ Sesuai untuk profil nipis

4.4 Parameter Proses Penarikan

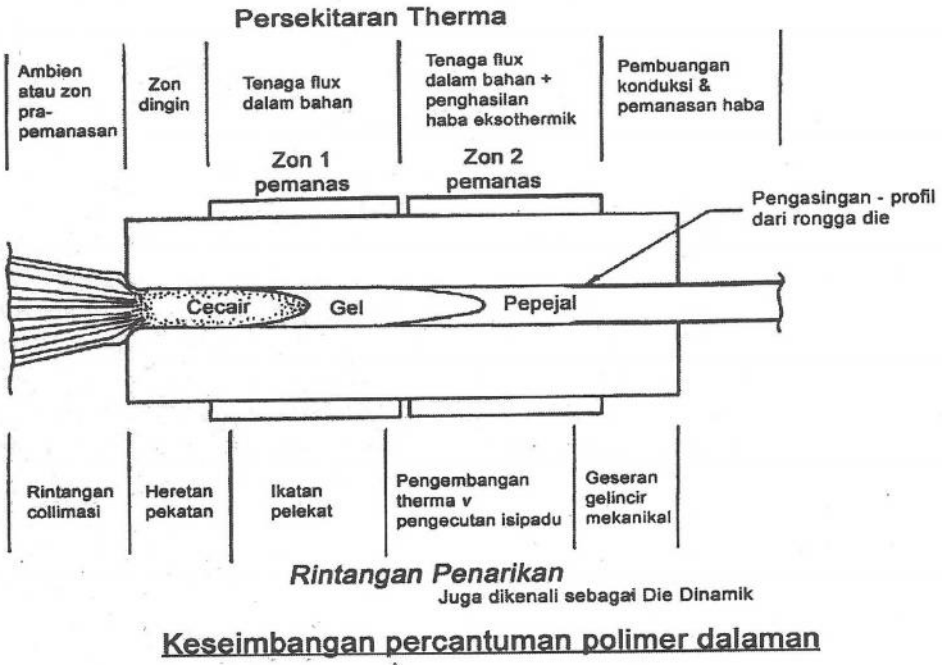
Parameter proses penarikan yang diperolehi dari ujian gel adalah suhu mula terawet, suhu terawet sepenuhnya dan tempoh pengawetan. Kesemua parameter ini akan mempengaruhi penyediaan acuan dan kelajuan penarik.

Suhu Resin Mula Terawet ialah apabila campuran resin dan bahan mangkin tersebut mula berbentuk jeli. Apabila terlihat ketulan-ketulan yang berwarna kelabu atau keruh berbanding warna asal resin, suhu ketika keadaan ini dicatat sebagai suhu resin mula terawet. Pada ketika ini, proses pempolimeran resin mula berlaku. Rantai molekul berusaha untuk membentuk rangkaian molekul baru yang dikenali sebagai pautsilang. Proses penarikan pula menggambarkan keadaan ini setara dengan fenomena yang berlaku pada bahagian tengah acuan. Komposit memasuki acuan dengan matriks berada dalam fasa cecair. Berdasarkan ujian gel, anggapan yang boleh dibuat semasa komposit melalui satu pertiga acuan ialah matrik mula membentuk ketulan dan bergabung fasa tetulang (gentian kaca) untuk membentuk ikatan. Lokasi pertukaran fasa daripada fasa cecair kepada gel adalah merupakan titik permulaan untuk proses pengawetan komposit. Zon pemanas pertama terletak antara fasa cecair dan gel komposit pada acuan. Suhu yang dikenakan pada pemanas adalah bergantung kepada ujian gel yang dilakukan. Maka suhu ketika resin mula terawet yang diambil catatannya semasa ujian gel adalah untuk mendapatkan suhu yang akan dikenakan pada pemanas.

Suhu Resin Terawet Sepenuhnya dicatat apabila ia kelihatan jernih semula walaupun tidak sejernih sebelum pemanasan dilakukan. Fasa gel juga sudah tidak kelihatan dan terdapat sedikit rekahan pada permukaan. Tidak ada lagi buih yang keluar di bahagian permukaan sampel. Pada ketika inilah catatan suhu diambil dan dikenal pasti sebagai suhu semasa resin terawet sepenuhnya. Bagi proses penarikan, komposit akan terawet sepenuhnya sesudah melalui dua pertiga daripada acuan. Oleh yang demikian, zon pemanas kedua terletak antara fasa gel dan pepejal. Tujuannya adalah untuk memastikan komposit yang terhasil terawet sepenuhnya termasuklah bahagian dalam profil terutama bagi profil yang mempunyai keratan rentas tebal (melebihi 5 mm). Semasa proses pempolimeran berlaku, haba pendam tentu dibebaskan. Anggapan yang dibuat ialah haba pendam tentu ini dibebaskan dengan banyaknya semasa komposit berada di antara fasa gel dan pepejal.

Tempoh Pengawetan dikira dalam saat bermula resin mula terawet sehingga terawet sepenuhnya. Resin berada di dalam acuan (statik) semasa ujian gel dibuat. Semasa penghasilan komposit, resin melalui acuan dan berada dalam keadaan dinamik sepanjang proses tersebut. Tempoh pengawetan komposit dalam pengeluaran sebenar adalah bermula apabila komposit tersebut memasuki acuan dan berakhir apabila keluar daripada acuan. Kelajuan penarik boleh diprogramkan dan tempoh pengawetannya bergantung kepada saiz acuan. Kepentingan tempoh pengawetan komposit dalam proses penarikan berkait rapat dengan aktiviti pengeluaran dan penjagaan kualiti profil. Pelbagai campuran resin dan bahan mangkin yang digunakan akan memberikan tempoh pengawetan yang berbeza seterusnya mempengaruhi kelajuan penarik.

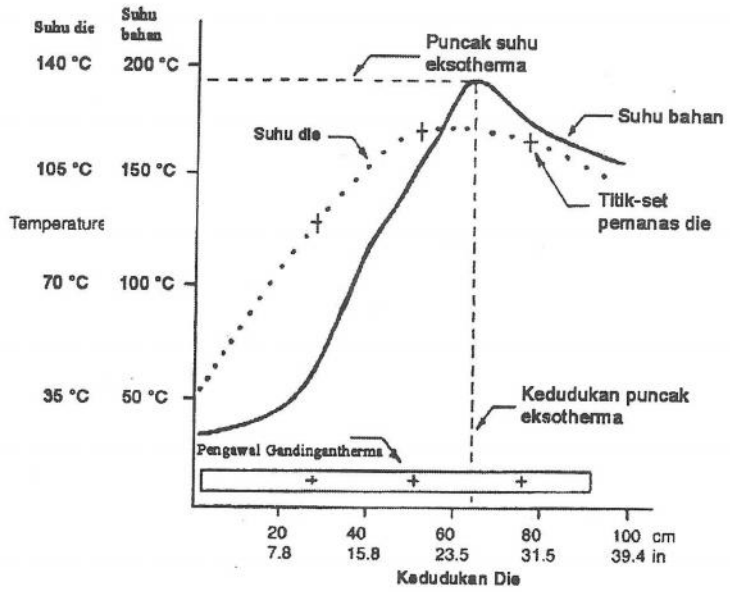
Hubungan antara ketiga-tiga parameter dengan proses penarikan terutamanya bahagian acuan ditunjukkan seperti Rajah 4 [3]. Kedudukan zon pemanas pertama dan kedua serta keadaan komposit waktu itu sama ada berada dalam fasa cecair, gel mahupun pepejal dapat dilihat dengan jelas.



Rajah 4 Rekabentuk dai dan hubungannya dengan proses pengawetan komposit

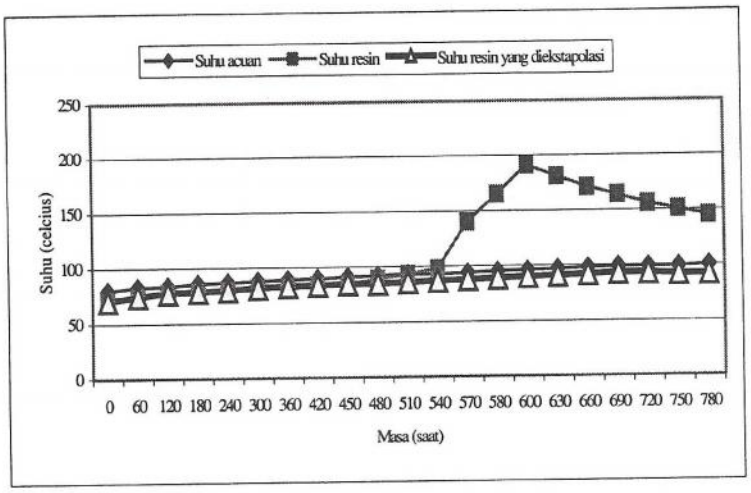
Berdasarkan kepada ujian gel yang dibuat, terdapat lima parameter yang dicatat iaitu suhu ketika campuran resin mula terawet dan resin terawet sepenuhnya pada permukaan acuan dan juga dalam resin serta tempoh pengawetan resin. Apabila kelima-lima parameter ini digabungkan dalam satu

rajah, kelakuan proses pengawetan komposit dan faktor yang mempengaruhi proses boleh diperolehi. Rajah 5 adalah andaian yang dibuat terhadap proses pengawetan komposit di dalam acuan berdasarkan kepada data dan pemerhatian serta teori yang diperolehi sebelum ini.



Rajah 5 Perkaitan antara suhu komposit dengan suhu acuan semasa proses pengawetan komposit

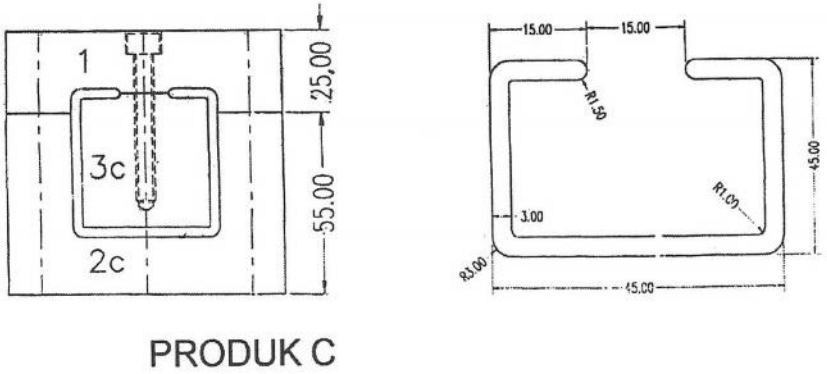
Peningkatan suhu komposit secara mendadak berlaku apabila menghampiri dua pertiga acuan. Suhu yang dicatat pada resin semasa ujian gel menggambarkan kenaikan suhu komposit semasa proses pengawetan di dalam acuan. Suhu puncak yang dicatat semasa ujian gel adalah merupakan hasil daripada percampuran haba yang dibekalkan melalui pemanas dengan haba pendam tentu yang dibebaskan semasa proses pempolimeran. Maka suhu puncak yang dicatat semasa ujian gel bukan suhu resin yang sebenar. Namun demikian, suhu resin sebenar boleh diperolehi dengan membuat analisis terhadap data yang didapati melalui ujian gel. Andaian yang dibuat ialah garis suhu pada acuan dan resin sentiasa selari antara satu sama lain. Kaedah yang digunakan ialah dengan membuat ekstrapolasi pada garis suhu resin. Oleh itu, anggaran suhu resin yang sebenar dapat diperolehi. Suhu komposit sebenar juga boleh diperolehi dengan cara yang sama iaitu dengan membuat ujian gel terhadap matrik komposit.



Rajah 6 Ekstrapolasi suhu resin

4.5 Analisis Bagi Mendapatkan Parameter Pada Proses Penarikan

Analisis dilakukan berdasarkan kepada data daripada ujian gel bagi sampel 3. Jenis acuan yang digunakan dalam pengeluaran bergantung kepada saiz dan bentuk profil yang ingin dihasilkan. Bagi tujuan analisis ini, acuan (Rajah 7) yang dipilih ialah daripada *plain carbon steel* dan mempunyai kekonduksian terma sebanyak 51.9 W/mK. Panjang acuan ialah 1 m dan mempunyai tebal serta lebar sepanjang 0.8 m. Acuan ini dipasangkan dengan 8 plat pemanas. Setiap satu plat tersebut dibekalkan dengan arus dan voltan masing-masing sebanyak 700 Watt dan 240 Volt.



Rajah 7 Keratan rentas acuan yang digunakan untuk analisis lanjutan

Persamaan termodinamik berikut digunakan untuk menganggarkan suhu pada acuan berdasarkan data yang diperolehi dari ujian gel iaitu suhu ketika resin

mula terawet dan suhu resin terawet sepenuhnya. Nilai yang diperolehi dari analisis ini boleh digunapakai untuk acuan yang dicadangkan sahaja.

$$Q_{konduksi} = Q_{bekal} - Q_{kehilangan} \quad (1)$$

$$Q_{konduksi} = kA\frac{(T_w - T_r)}{\Delta X}$$

$$Q_{bekal} = V\,I$$

$$Q_{kehilangan} = h\,A\,(T_w - T_{udara})$$

k = kekonduksian terma bahan (W/mK)
A= luas permukaan acuan (m^2)
T_w= suhu pada acuan (°C)
T_r =suhu pada resin (°C)
V = voltan (V)
ΔX = jarak di antara T_r dan T_w (m)
h = pekali pemindah haba (W/m^2 K)
T_{udara} = suhu udara sekeliling (°C)
I = arus (Watt)

Andaian yang dibuat adalah:

1. Pemanasan pada acuan adalah menyeluruh walaupun haba dibekalkan pada plat pemanas yang dipasang pada lokasi tertentu sahaja.
2. Haba yang dibekalkan pada pemanas zon pertama tidak tersebar kepada zon pemanas kedua. Kenaikan suhu pada zon pemanas kedua dipengaruhi oleh haba pendam tentu daripada proses pengawetan komposit iaitu 50% dipindahkan ke dinding dalam acuan dan 50 % lagi keluar bersama profil komposit [4].

4.5.1 Kelajuan Penarik

Kelajuan penarik boleh diperolehi melalui tempoh pengawetan yang dicatatkan semasa ujian gel. Berdasarkan Rajah 3, tempoh pengawetan resin bagi sampel 3 ialah 165 s (2.75 min). Memandangkan panjang acuan yang digunakan ialah sepanjang 1 meter, maka kelajuan penarik yang diperolehi melalui analisis ialah 100 sm ÷ 2.75 min = 36.36 sm per min. Namun kelajuan penarik yang boleh digunakan sebenarnya antara 40 hingga 50 sm per min. Kelajuan penarik yang diperolehi ini adalah ideal kerana sama dengan kelajuan penarik yang digunakan dalam pengeluaran sebenar.

4.5.2 Suhu Pada Zon Pertama Acuan

Bagi mendapatkan suhu pada zon pertama acuan data yang dirujuk ialah catatan suhu yang diambil ketika resin mula terawet. Berdasarkan kepada data yang diperolehi melalui ujian gel dan dengan menggunakan persamaan (1), suhu pada acuan diperolehi. Berdasarkan pengiraan, suhu yang perlu dikenakan pada acuan sekiranya menggunakan peratusan bahan mangkin bagi sampel 3 ialah 83.5°C.

Bagi tujuan praktikal, julat suhu yang boleh dikenakan pada acuan ialah antara 86 hingga 90°C. Anggaran julat suhu ini diperolehi dengan mengambil kira faktor ralat semasa ujian gel dan juga semasa analisis termodinamik dibuat.

4.5.3 Suhu Pada Zon Kedua Acuan

Catatan suhu yang digunakan untuk analisis ini ialah suhu ketika resin terawet sepenuhnya dan dirujuk kepada catatan yang diambil pada resin. Namun, suhu resin ketika itu adalah campuran suhu yang disebabkan oleh pembebasan haba pendam tentu selain daipada haba yang dibekalkan. Suhu sebenar resin perlu di tentukan dengan cara membuat ekstrapolasi pada graf yang diperolehi semasa ujian gel (Rajah 6). Daripada pengiraan menggunakan persamaan (1), suhu yang perlu dikenakan pada zon pemanas kedua ialah 89.5°C. Namun, dengan mengambil kira faktor-faktor lain termasuk ralat, julat suhu yang perlu dikenakan pada zon pemanas kedua ialah antara 110 hingga 120°C.

4.6 Faktor–faktor Yang Mempengaruhi Parameter Proses Penarikan

Hasil analisis menunjukkan ketiga-tiga parameter iaitu kelajuan penarik, suhu pada zon pemanas pertama dan kedua berkait antara satu sama lain. Terdapat faktor-faktor lain yang perlu diambil kira semasa menentukan ketiga-tiga parameter tersebut iaitu [4]:

1. Kelikatan matrik - dipengaruhi oleh jenis resin yang digunakan dan campuran bahan tambahan lain.
2. Nisbah isipadu matrik dan gentian kaca.
3. Bentuk profil – samaada kompleks seperti *I-beam* mempunyai titik kritikal dalam konteks pembebanan daya atau berbentuk mudah seperti tiub atau plat biasa.
4. Lain-lain seperti masalah pengecutan profil dan keadaan permukaan acuan yang tidak bersih.

KESIMPULAN

Ujian gel dapat menentukan sifat bahan mangkin dan kesannya terhadap proses pengawetan resin isopoliester yang digunakan sebagai matrik bagi komposit matrik polimer bertetulang gentian kaca. Ujian gel peringkat pertama dijalankan bagi setiap jenis mangkin A, B dan C secara berasingan dengan pelbagai komposisi dari 0.5-2.5%. Graf masa lawan suhu menunjukkan titik persilangan antara suhu acuan dan suhu resin, titik suhu puncak dan jarak antara keduanya yang berbeza bagi setiap jenis mangkin. Seterusnya suhu dan tempoh pengawetan boleh ditentukan dan pemerhatian kepada rupabentuk sampel juga dilakukan. Mangkin A membolehkan tempoh pengawetan resin yang singkat iaitu 150 saat suhu resin mula terawet sepenuhnya juga tinggi iaitu 104°C. Mangkin B pula menyebabkan tempoh pengawetan resin yang panjang iaitu 210

saat suhu resin mula terrawet yang tinggi iaitu 107°C. Penggunaan mangkin ini boleh mengurangkan pengecutan profil komposit yang berkeratan rentas tebal. Mangkin C pula menyebabkan tempoh pengawetan yang lama iaitu 210 saat dan suhu resin mula terawet paling rendah iaitu 90°C. Mangkin ini boleh bertindak sebagai *kickers* iaitu mempercepatkan proses pengawetan dan sesuai untuk profil yang berkeratan rentas tebal.

Ujian gel peringkat kedua ke atas tujuh sampel yang berbeza peratusan komposisi mangkin pula menunjukkan suhu resin mula terawet, suhu resin terawet sepenuhmya dan tempoh pengawetan yang berbeza. Perbezaan ini dikaitkan dengan proses penarikan sebenar menggunakan acuan di kilang komposit. Oleh itu kesesuaian dan kualiti profil komposit yang dihasilkan boleh ditentukan dari data ujian gel dan analisis serta pengiraan menggunakan persamaan termodinamik tertentu. Kelajuan penarik sebanyak 36.36 sm per min, suhu pada zon pertama acuan 83.5°C dan suhu pada zon pemanas kedua acuan sebanyak 89.5°C yang diperolehi boleh digunakan dalam proses penarikan yang sebenar dengan mengambil kira andaian dan ralat yang telah dibincangkan.

RUJUKAN

1. Reinheart, T.J. dan Woods, S.M, 1987,."Engineered Materials Handbook: Composites." **Jilid 1**. Ohio, USA: *ASM International*.
2. Weatherhead, R.G., 1980,. "*FRP Technology: Fibre Reinforced Resin Systems*." London: Applied Science Publishers Limited.
3. Murphy, J,. 1999,. "The Reinforced Plastics Handbook." Jilid 1. Oxford OX5 1GB, UK: *Elsevier Advanced Technology*.
4. Starr T. F. (Ed), 2000,. "*Pultrusion for Engineers*." Cambridge, England: CRC Press.