

KAJIAN AWAL TERHADAP KESESUAIAN PLASTIK ABS DALAM PENGHASILAN RADAS MAKMAL YANG BERBENTUK UNIK DAN RUMIT MELALUI PROSES PENCONTOH SULUNGAN PANTAS

M. N. MOHAMAD IBRAHIM¹, M. ABDUL GHANI² & J. ABDULLAH³

Abstrak: Kajian ini dijalankan untuk mengkaji kesesuaian penghasilan radas makmal yang berbentuk unik lagi rumit melalui proses Pencontoh Sulungan Pantas (PSP) dengan menggunakan Model Pengendapan Terlakur (MPT). Dalam teknologi ini, bahan termoplastik seperti plastik ABS, ABSi, elastomer, polikarbonat, poliester atau polifenilsulfon digunakan sebagai bahan mentah utamanya untuk penghasilan objek tiga-dimensi tanpa menggunakan acuan. Penyelidikan ini dijalankan untuk mendapatkan maklumat awal terhadap sifat-sifat fizik produk ABS yang dihasilkan dengan kaedah MPT. Antara ujian yang dijalankan ialah analisis Termogravimetri (TGA) dan Kalorimeter Pengimbasan Perbezaan (DSC), kadar resapan terhadap air dan juga analisis penembusan. Daripada analisis TGA didapati, sampel ABS hanya mengalami satu tahap penguraian iaitu pada suhu antara 240–500°C. Manakala suhu peralihan kaca bagi sampel tersebut yang diperoleh daripada analisis DSC ialah 102.5°C. Sampel ABS juga didapati menyerap air sebanyak lima peratus setelah direndam pada suhu bilik selama 10 jam. Manakala ujian penembusan menunjukkan bahawa sampel ABS mesti mempunyai ketebalan yang agak tinggi (lebih daripada 4 mm) agar ia dapat menampung larutan atau cecair. Melalui keputusan ujian ini, beberapa kelemahan plastik ABS dikenal pasti di samping beberapa cadangan untuk mengatasi kelemahan-kelemahan ini dibentangkan.

Kata kunci: Plastik ABS, Pencontoh Sulungan Pantas, radas makmal, bentuk unik

Abstract: This research is carried out in order to find out the suitability of producing apparatus having unique shape and complex geometry through Rapid Prototyping (RP) process using Fused Deposition Modeling (FDM). In this technology, thermoplastics materials such as ABS, ABSi, elastomer, polycarbonate, polyester or polyphenylsulfone is used as a main raw material in producing three-dimensional object without molding. This study was performed in order to obtain preliminary information of the physical properties of ABS product that goes through FDM process. Several tests included Thermogravimetric Analyzer (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC), water absorption rate and penetration test were performed. From TGA result, the ABS sample undergone only one level of degradation which was at the range of 240–500°C. Whereas the glass transformation stage obtained from DSC result was 102.5°C. The ABS sample can absorb five percent of water when it is immersed at room temperature for 10 hours. While in penetration experiment, the ABS sample must have relatively high thickness (more than 4 mm) so that it can properly contained the solution or

^{1&2} Pusat Pengajian Sains Kimia, Universiti Sains Malaysia, 11800 Pulau Pinang. Tel: 04-6577888 Fax: 04-6574854. E-mail: mnm@usm.my

³ Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, Universiti Sains Malaysia, Kampus Kejuruteraan Transkrian, 14300 Nibong Tebal, Seberang Prai Selatan, Pulau Pinang. Tel : 04-5941024 Fax : 5941025

Penulis Yang Perlu Dihubungi : M. N. Mohamad Ibrahim (Mohamad Nasir Mohamad Ibrahim)

liquid. Several weaknesses of ABS plastic were identified from this preliminary study and suggestions to overcome these weaknesses are also presented.

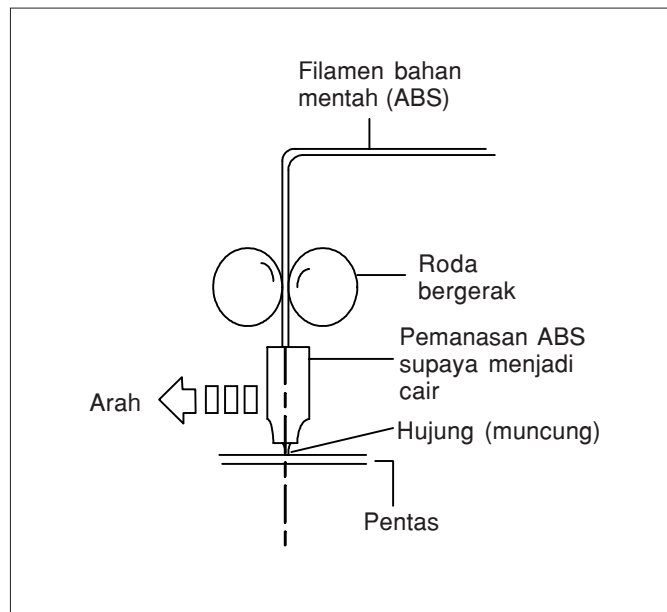
Keywords: ABS plastic, Rapid Prototyping, laboratory apparatus, unique shape

1.0 PENGENALAN

Pada masa ini, banyak barangan yang asalnya diperbuat daripada besi, kayu, kaca dan timah telah ditukar kepada barangan yang berasaskan plastik. Ini kerana, plastik bukan sahaja mudah diperolehi malah ia tahan lasak, murah dan lebih ringan [1]. Kopolimer Akrilonitril-Butadiena-Stirena (ABS) adalah bahan yang amat popular digunakan dalam teknologi Pencontohan Sulungan Pantas (PSP) yang menggunakan Model Pengendapan Terlatur (MPT) [2]. Bagaimanapun selain daripada ABS, mesin PSP juga boleh menggunakan ABSi, elastomer, polikarbonat, poliester, polifenilsulfon atau beberapa lagi bahan lain dalam pembuatan objek. PSP adalah salah satu teknologi terkini yang boleh menghasilkan sesuatu objek dengan pantas, cepat dan jitu walaupun ia mempunyai geometri yang kompleks secara langsung daripada perisian tiga dimensi iaitu Reka Bentuk Berbantu Komputer (*Computer Aided Design-CAD*) [3-5]. PSP merupakan satu kaedah pembuatan bentuk bebas yang digunakan secara meluas dalam reka bentuk polimer [5]. Teknologi PSP ini telah diperkenalkan oleh Stratasys Inc. yang beroperasi sejak tahun 1988 iaitu sebuah syarikat yang terletak di Eden Prairie, pinggir kota barat daya Minneapolis, Minnesota [6].

PSP membina objek tiga dimensi melalui kaedah titik demi titik atau lapisan demi lapisan yang dikenali sebagai kaedah Pembuatan Lapisan (*Layer Manufacturing*) dan kaedah Pembinaan Pepejal Berbentuk Bebas (*Solid Freeform Fabrication*). Pembuatan PSP dimulai dengan mereka bentuk geometri objek dalam komputer menggunakan perisian CAD. Kemudian fail ini dipindahkan kepada format data lapisan yang banyak. Data lapisan ini ditukarkan kepada kod kawalan berangka untuk mengawal pergerakan muncung PSP dalam arah paksi X - Y - Z . Muncung PSP bergerak secara relatif kepada pentas datar X - Y , lapisan pertama dibentuk dengan mengagihkan bahan ABS daripada muncung dan dicurahkan ke atas permukaan pentas. Selepas lapisan pertama siap, muncung bergerak pada arah paksi- Z . Kemudian lapisan kedua pula akan dibentuk di atas lapisan pertama tadi. Langkah ini diulangi sehingga objek yang dikehendaki selesai [2]. Proses PSP ini menggunakan bahan sokongan objek untuk memudahkan proses pembuatan. Kemudian, bahan sokongan objek ditanggalkan. Gambar rajah proses FDM dalam teknologi PSP diringkaskan dalam Rajah 1 [7].

Dalam makmal penyelidikan terutamanya makmal kimia dan biologi banyak radas kaca digunakan untuk menjalankan eksperimen. Seperti yang diketahui umum, kaca merupakan bahan yang mudah retak dan pecah. Oleh itu, amat sukar bagi para penyelidik mendapatkan alat ganti radas kaca mereka yang pecah dengan kadar yang segera lebih-lebih lagi radas kaca yang berbentuk unik dan kompleks yang memerlukan ketepatan dan kejitian yang tinggi. Radas kaca yang berbentuk unik memerlukan



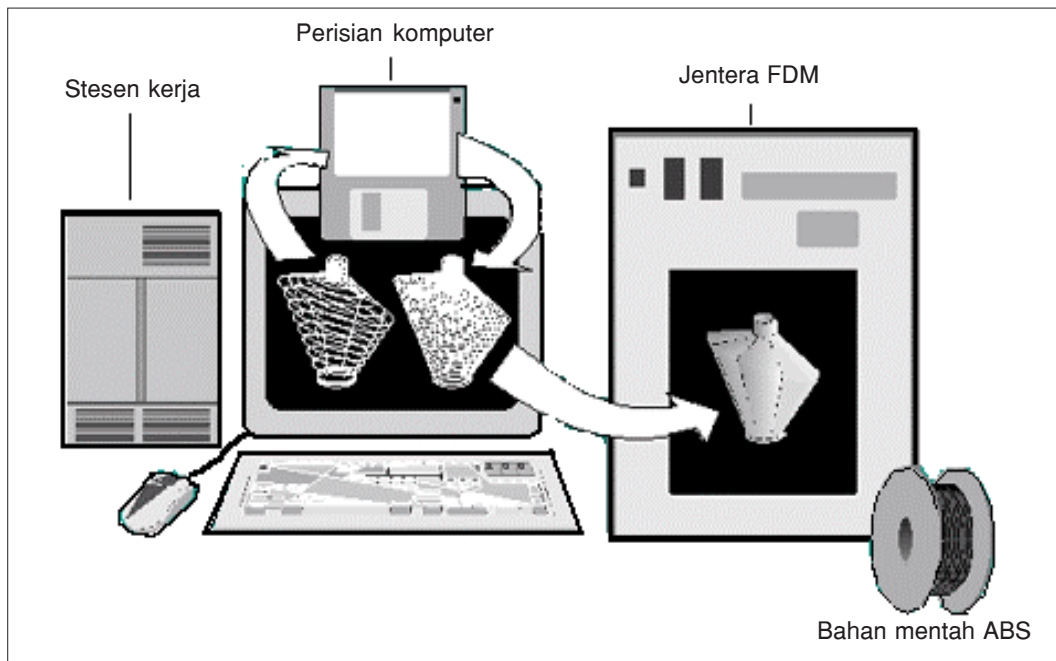
Rajah 1 Proses FDM dalam teknologi RP [7]

ketepatan dan kejituan yang tinggi sukar dihasilkan oleh tenaga manusia kerana ia terdedah kepada kesilapan manusia seperti kadar tiupan tidak malar dan bergantung kepada saiz bahan kaca yang digunakan. Selain itu, ia mengalami masalah sepuh lindap iaitu pemanasan tidak seimbang lalu menghasilkan pengembangan kaca yang tidak sekata. Oleh itu, PSP dilihat dapat menawarkan suatu alternatif kerana ia dapat menghasilkan objek yang dikehendaki dengan lebih tepat, jitu serta cepat lagi mudah kerana ia dihasilkan dengan bantuan CAD.

Sebarang reka bentuk yang dihasilkan melalui komputer tersebut akan dicetak keluar dalam bentuk tiga dimensi tanpa sebarang kekurangan. Bagaimanapun pengubahsuaian terhadap sifat kimia dan fizik objek yang dihasilkan itu perlu dilakukan terlebih dahulu memandangkan sifat umum plastik yang tidak lengai terhadap kebanyakan pelarut serta alah pada suhu yang tinggi. Skema sistem PSP diringkaskan seperti Rajah 2 [8].

Bagi penyelidikan ini, hanya ABS yang dikaji kerana kemudahan PSP yang terdapat di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, Kampus Kejuruteraan Universiti Sains Malaysia terbatas kepada bahan mentah ABS. Beberapa kajian untuk mengenal pasti kesesuaian atau kelemahan radas ABS yang dihasilkan melalui teknologi PSP telah dijalankan. Antaranya ialah ujian analisis Termogravimetri (TGA) dan Kalorimeter Pengimbasan Perbezaan (DSC), penyerapan air dan ujian penembusan.

Analisis TGA dan DSC dijalankan masing-masing untuk menentukan tahap penguraian dan suhu peralihan kaca produk ABS yang dihasilkan. Eksperimen penyerapan air dilakukan untuk mendapatkan peratus air yang menyerap ke dalam



Rajah 2 Sistem pengendapan terlarut (FDM) dalam teknologi RP [8]

produk ABS setelah direndam bagi tempoh tertentu. Manakala ujikaji penembusan pula dijalankan untuk menentukan ketebalan ABS yang minimum agar objek yang dihasilkan kelak tidak bocor sekiranya diletakkan cecair atau larutan di dalamnya.

Hasil daripada ujian-ujian ini diharap dapat dijadikan titik permulaan untuk membantu penyelidik mengatasi kelemahan-kelemahan yang telah dikenal pasti. Ia juga diharap dapat dijadikan asas dalam sebarang cadangan pengubahsuaian objek yang dihasilkan kelak.

2.0 BAHAN DAN KAEDAH

2.1 Analisis Termogravimetri (TGA) dan Kalorimeter Pengimbasan Perbezaan (DSC)

Kehilangan jisim dan takat penguraian sampel ABS dianalisis dengan menggunakan Penganalisis Termogravimetri (Perkin Elmer, model TGA7) dari Amerika Syarikat. Analisis ini dijalankan daripada suhu 30 sehingga 900°C dengan kadar 20°C seminit di bawah keadaan nitrogen dengan sampel ABS sebanyak 6.82 mg digunakan.

Takat peralihan kaca pula dianalisis dengan menggunakan Kalorimeter Pengimbasan Perbezaan (Perkin Elmer, model DSC7) juga dari Amerika Syarikat. Penganalisan dilakukan pada julat suhu 50 hingga 250°C dengan kadar 20°C seminit. Jisim yang digunakan ialah sebanyak 8.60 mg.

2.2 Analisis keserapan air oleh sampel ABS

Ujikaji dijalankan pada suhu bilik dan tekanan atmosfera. Sampel ABS yang berbentuk kepingan bulat seperti cakera padat berdiameter 80 mm dan tebal 2 mm digunakan. Kajian awal terhadap keserapan ini tidak memerlukan bentuk sampel yang rumit. Hal ini kerana, faktor yang diuji dalam ujian ini adalah keserapan ABS.

Jisim awal sampel ABS dicatatkan. Kemudian sampel tersebut direndamkan di dalam 500 ml air suling dan memastikan bahawa ia tenggelam sepenuhnya. Bacaan jisim dicatatkan bagi setiap sela masa 30 minit. Sebelum sampel ABS ditimbang ia dilapkan dengan menggunakan tisu dwi-lapis. Peratus keserapan air dihitung. Berat awal sampel ialah 9,348.93 mg. Keputusan analisis dirumuskan seperti di dalam Jadual 1.

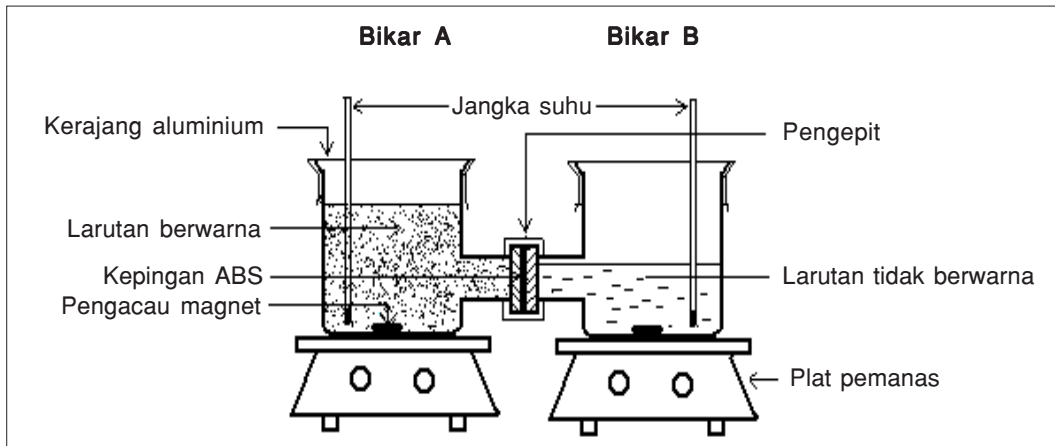
Jadual 1 Peratus purata berat air dalam sampel selepas tempoh rendaman

Tempoh rendaman	Jisim ABS (mg)	Jisim air (mg)	Jisim air dalam sampel, %
0 minit	9348.93	–	–
30 minit	9721.98	373.05	3.990
60 minit	9765.55	416.62	4.456
90 minit	9778.18	429.25	4.591
150 minit	9804.48	455.55	4.872
1260 minit	9844.13	495.20	5.297

2.3 Analisis penembusan melalui sampel yang berbeza ketebalan

Dengan menggunakan sepasang bikar yang terubah suai (bikar A dan B) dan kepingan ABS dikepitkan di tengah-tengahnya (sebagai membran) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3, tiga sampel ABS berbentuk cakera padat berdiameter 60 mm dengan ketebalan berbeza iaitu 2, 3 dan 4 mm digunakan secara berasingan. Dengan alasan yang sama seperti di atas, kajian awal terhadap keserapan ini tidak memerlukan bentuk sampel yang rumit kerana faktor yang diuji penembusan ABS.

Kresol merah digunakan sebagai penunjuk. Sedikit sampel larutan di dalam bikar B diambil dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer Ultralembayung Nampak (Hitachi, model U 2000) bagi sela masa tertentu. Seterusnya kedua-dua larutan di dalam bikar tersebut dipanaskan sehingga suhu 75°C iaitu suhu selepas takat didih metanol dan ditutup dengan menggunakan kerajang aluminium agar wap metanol tidak terkeluar.



Rajah 3 Analisis penembusan larutan berwarna melalui kepingan sampel plastik ABS yang berbeza ketebalan

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

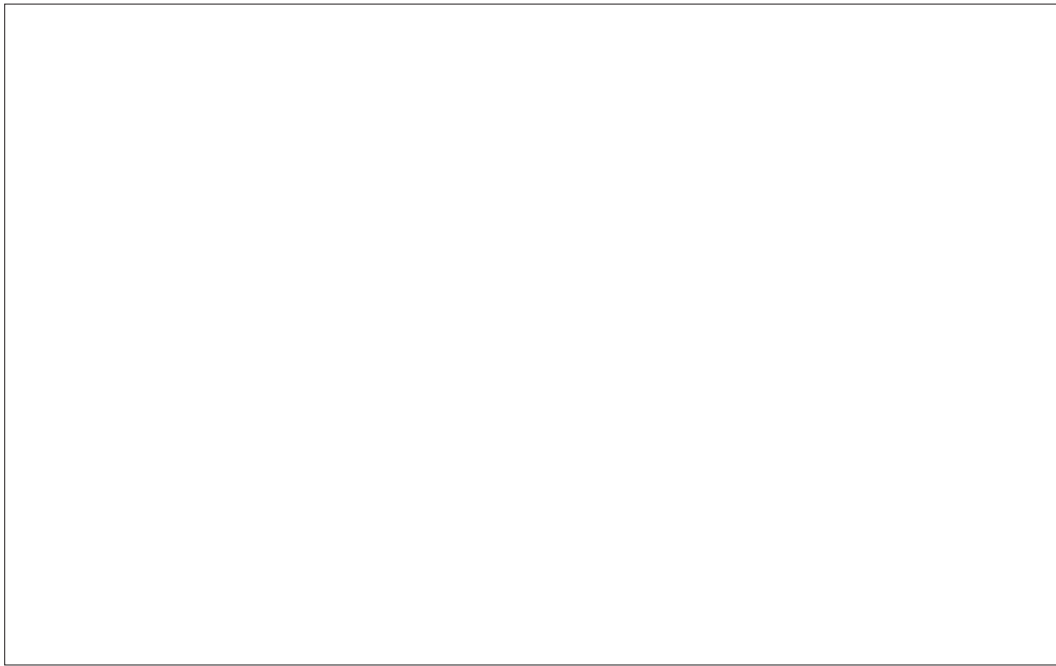
Ujian TGA dan DSC penting kerana pemilihan terpolimer ABS bagi sebarang aplikasi bukan sahaja bergantung kepada sifat mekanikal bahan, malah ia juga bergantung kepada keadaan termalnya [9]. Walaupun sifat-sifat termal bagi plastik ABS boleh diperoleh dari pihak pembekal, ujian ini dijalankan untuk mengetahui dengan lebih dekat perubahan sifat fizik produk ABS apabila dikenakan haba. Tambahan pula maklumat yang diberikan oleh pembekal biasanya tidak lengkap.

Daripada Rajah 4, jelas menunjukkan hanya satu tahap penguraian yang berlaku iaitu antara 240–500°C. Sampel ABS mula mengurai secara perlahan pada suhu lebih kurang 240 hingga 380°C dengan penguraian sebanyak 2.00% pada selang suhu tersebut. Sampel ABS mengalami penguraian sepenuhnya pada suhu 450°C iaitu apabila unsur-unsur seperti nitrogen dan hidrogen hilang daripada sampel ABS. Walaupun demikian, ia masih meninggalkan residu sebanyak 0.44% atau 0.03 mg pada suhu 800°C.

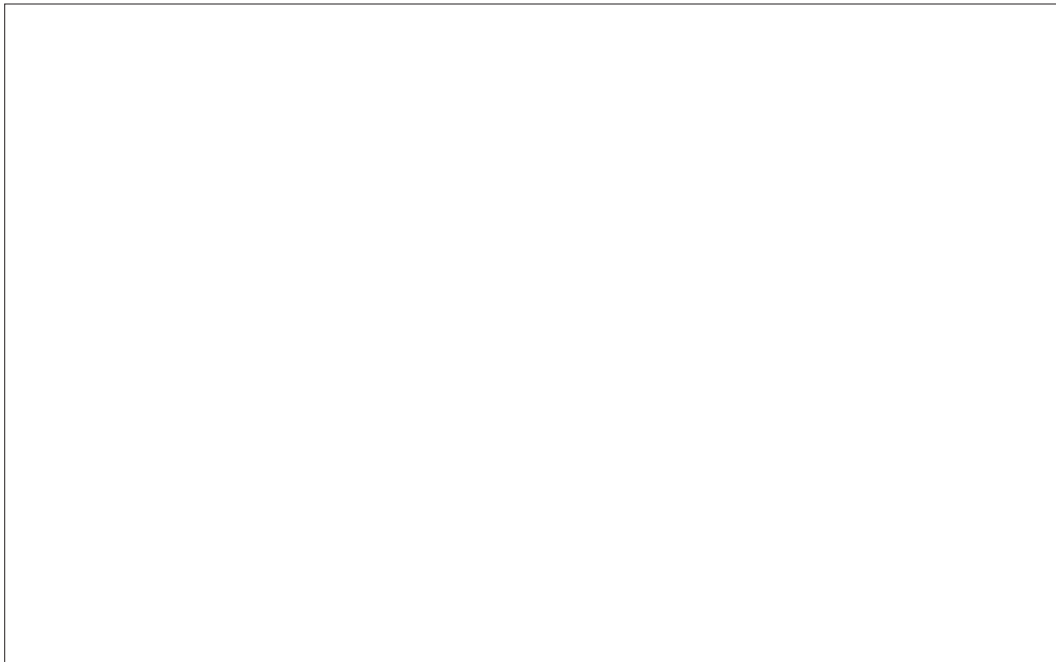
Merujuk kepada penggunaan ABS dalam PSP pula, ABS dipanaskan sehingga suhu 270°C supaya ia menjadi cair dengan sempurna, iaitu sebelum ABS mengalami penguraian jisim yang banyak. Penguraian ABS yang berlaku pada suhu tersebut terlalu sedikit dan ia boleh diabaikan.

Merujuk kepada keputusan analisis DSC yang diperoleh (Rajah 5), aliran haba menaik dan mula mendatar pada suhu 60°C dengan muatan haba tentunya pada tekanan tetap, $C_p = 0.29 \text{ J/g}^\circ\text{C}$. Ia mula mengalami perubahan bentuk permukaan pada suhu 96.92°C. Daripada analisis DSC tersebut sampel ABS mula mengalami suhu peralihan kaca pada 102.46°C.

Analisis keserapan air oleh sampel ABS pula dijalankan untuk mendapatkan peratus keserapan air oleh plastik ABS melawan masa [10]. Keputusan yang diperoleh ini adalah lebih besar berbanding dengan keputusan daripada kajian lepas [10,11] iaitu



Rajah 4 Keputusan analisis TGA



Rajah 5 Keputusan analisis DSC

penyerapan airnya hanyalah antara 0.20 hingga 0.45%. Hal ini kerana terdapat air yang terperangkap di dalam sampel yang disebabkan oleh sifat fizik sampel. Sampel yang dihasilkan melalui RP ini iaitu dibentuk melalui garisan demi garisan seterusnya lapisan demi lapisan yang sudah pasti mempunyai banyak ruang kosong di dalam sampel tersebut. Air yang terdapat di antara ruang tersebut tidak dapat dikeluarkan sepenuhnya dengan menggunakan hanya tisu dwi-lapis.

Analisis penembusan dijalankan untuk mendapatkan ketebalan ABS yang minimum supaya ia dapat menampung cecair atau larutan di dalamnya. Daripada hasil ujian yang dijalankan didapati ABS yang berketebalan 2 dan 3 mm tidak dapat digunakan untuk menampung cecair atau larutan kerana cecair tersebut berjaya menembusi kepingan ABS tersebut walaupun pada suhu bilik. Manakala bagi sampel ABS yang berketebalan 4 mm, didapati pada suhu bilik penembusan larutan tidak berlaku walaupun setelah 5 jam dibiarkan. Hal ini disahkan dengan nilai keserapannya masih sifar. Namun apabila haba dibekalkan, terdapat bacaan pada nilai keserapan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2. Walaupun kepingan ABS yang digunakan agak tebal, namun molekul kresol merah daripada bikar A masih dapat menembusinya ke bikar B apabila dipanaskan. Penembusan berlaku kerana molekul kresol merah dapat memasuki ruang kosong di antara molekul polimer ABS akibat gelongsoran molekul ABS yang berlaku dan halaju molekul kresol merah yang semakin tinggi apabila dipanaskan. Konformasi molekul-molekul polimer atau plastik akan berubah apabila ia dikenakan haba dan menghasilkan ruang kosong (*free space*) di antara molekul polimer di dalam sampel ABS akibat daripada proses pengenduran [12]. Ruang kosong yang wujud ini membolehkan molekul kresol merah melaluinya dengan mudah.

Jadual 2 Nilai keserapan larutan di dalam bikar B pada suhu 75°C bagi kes pembauran melalui kepingan ABS yang berketebalan 4 mm

Masa (minit)	Keserapan
0	0
5	0.004
10	0.005
20	0.006
30	0.007
60	0.010
90	0.013
120	0.015
180	0.021
240	0.023

Analisis ini dijalankan dengan menggunakan konsep osmosis berbalik untuk mengira tekanan kerana konsep ujikaji yang dijalankan hampir sama. Osmosis ialah pemindahan spontan pelarut berlaku daripada zat terlarut cair kepada zat terlarut pekat melalui membran separuh telap. Membran membenarkan pelarut melaluinya. Aliran zat terlarut cair dapat dikurangkan dengan mengenakan tekanan pada larutan tersebut sehingga pada suatu tekanan tertentu yang disebut tekanan osmosis, p iaitu keseimbangan tercapai apabila jumlah pelarut melalui arah bertentangan dan keupayaan kimianya adalah sama [13].

Dalam ujikaji ini, nilai tekanan osmosis diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\pi = \frac{nRT}{V_m} \quad (1)$$

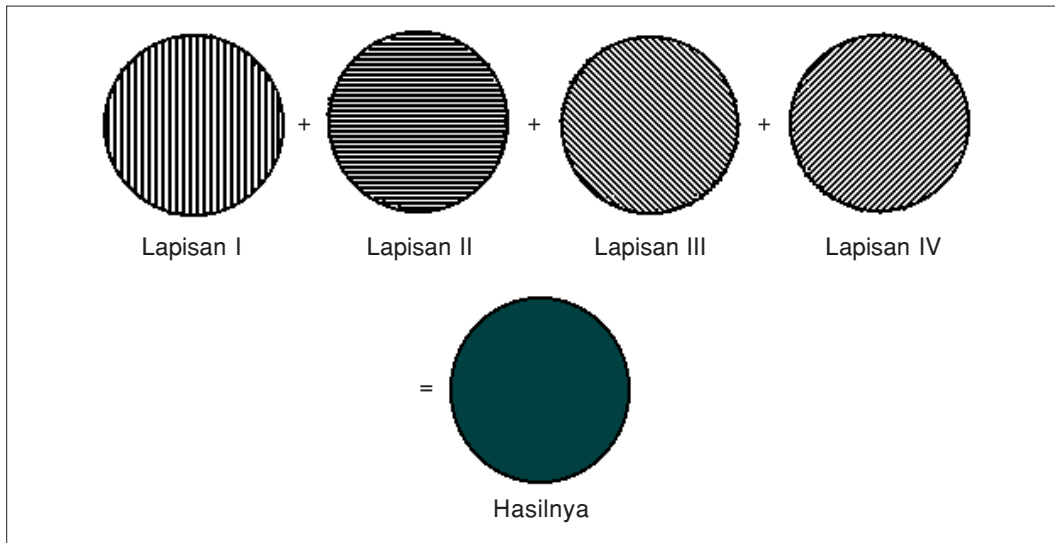
Isipadu pelarut air tulen, V_m yang digunakan ialah $4.473 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Bilangan mol kresol merah, n ialah $9.146 \times 10^{-4} \text{ mol}$ ($0.3 \text{ g}/328 \text{ gmol}^{-1}$). Pemalar $R = 82.057 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ atm/kg mol K}$. Daripada persamaan (1), tekanan osmosis pada suhu bilik (27°C) dan 75°C masing-masing ialah $50.838 \text{ atm kg}^{-1}$ dan $58.388 \text{ atm kg}^{-1}$.

4.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN

Walaupun kos penghasilan dan bahan ABS agak mahal, namun ia tahan lasak dan tidak mudah pecah berbanding dengan kaca. Proses ini bagaimanapun dicadangkan hanya untuk menghasilkan radas-radas yang berbentuk unik dan amat rumit dihasilkan oleh tenaga manusia serta memerlukan kejituan yang tinggi.

Daripada kajian ini, beberapa kelemahan ABS telah dikenal pasti. Kelemahan-kelemahan ini dipercayai dapat diatasi sekiranya dapat dilakukan pengubahsuaian kimia dalam penyediaan plastik ABS seperti menambahkan ikatan silang molekul polimer ABS agar ia lebih tahan terhadap haba. Selain daripada itu, penyaduran produk ABS yang dihasilkan dengan logam melalui proses penyaduran tanpa elektrik juga difikirkan dapat membantu mengatasi masalah keserapan cecair. Akhir sekali, dengan menggabungkan beberapa lapisan dengan corak yang berbeza pada setiap lapisan akan menghasilkan suatu corak yang lebih kompleks juga harus dikaji dalam penyelidikan seterusnya. Proses ini ditunjukkan dalam Rajah 6.

Sesungguhnya kajian awal ini diharapkan akan mengundang lebih banyak sumbangan daripada pelbagai pihak seperti pakar polimer, pakar penyaduran tanpa elektrik serta jurutera pembuatan ke arah merealisasikan penghasilan radas-radas makmal kimia yang berbentuk unik serta kompleks lagi tahan hentaman dalam masa yang singkat.



Rajah 6 Pengabungan beberapa lapisan untuk menghasilkan corak yang lebih kompleks

PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Universiti Sains Malaysia kerana memberi sokongan kewangan terhadap penyelidikan ini.

RUJUKAN

- [1] Rosato, D. V., D. P. Di Mattia, dan D. V. Rosato. 1991. *Designing with Plastics and Composites: A Handbook*. New York: Chapman & Hall.
- [2] Zhong, W., F. Li, Z. Zhang, L. Song dan Z. Li. 2001. Short Fiber Reinforced Composites For Fused Deposition Modeling. *Journal Of Material Science And Engineering A*. 301: 125 – 130.
- [3] King, D. dan T. Tansey. 2002. Alternative Materials for Rapid Tooling. *Journal Of Processing Technology*. 121: 313 – 317.
- [4] Cheng, W., F. Y. H. Fuh, A. Y. C. Nee, Y. S. Wong, H. T. Loh dan T. Miyazawa. 1995. Multi-objective Optimization of Part-building Orientation in Stereolithography. *Rapid Prototyping Journal*. 1: 12 – 23.
- [5] Laman Web Accelerated Technologies Inc. <http://www.atirapid.com> dilayari pada 18 Julai 2002.
- [6] Laman Web Stratasys Inc. <http://www.stratasys.com> dilayari pada 18 Julai 2002.
- [7] Laman Web efunda. <http://www.efunda.com> dilayari pada 18 Julai 2002.
- [8] Laman Web Red River College. <http://www.rrc.mb.ca> dilayari pada 18 Julai 2002.
- [9] Yen, H. Y., F. S. Lee dan M. H. Yang. 2003. Thermal Degradation of Polysulfones. VI: Evaluation Of Thermal Pyrolysis of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Terpolymer. *Journal of Polymer Testing*. 22: 31 – 36.
- [10] Harper, C. A. 1975. *Handbook of Plastics and Elastomers*. New York: Mc-Graw Hill Inc.
- [11] R. V. Milby. 1973. *Plastics Technology*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- [12] R. J. Young dan P. A. Lovell. 1991. *Introduction to Polymers - Second Edition*. London: Chapman & Hall.
- [13] Geankoplis, C. J. 1995. *Transport Processes and Unit Operations – Third Edition*. New York :Prentice Hall.