



**JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING,
MANUFACTURES, MATERIALS AND ENERGY**

Doi: 10.31289/jmemme.v5i2.4816

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme>

**Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Termal dan Gugus
Fungsi Proses Thermoforming Material Polivinil Klorida**

***Analysis of The Effect of Temperature on Thermal Properties and
Functions of Thermoforming Process of
Polyvinyl Chloride Materials***

Budiarto Djono Siswanto^{1)*}, Bayu Fajar Saputro²⁾, Melya Dyanasari Sebayang³⁾

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia

Diterima: 23-01-2021 ; Disetujui: 02-09-2021 ; Diterbitkan: 30-12-2021

*Corresponding author: E-mail: budidamaz@gmail.com

Abstrak

Membentuk plastik lembaran menjadi bermacam bentuk baru dan aplikasinya, plastik ini disesuaikan dengan desain yang kita inginkan dengan bantuan panas, tekanan dan cetakan. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan energi dan nilai panas yang dilepas material PVC dengan variasi suhu *heating* dan *cooling* pada *forming unit*, mengetahui pengaruh temperature proses PVC terhadap sifat termal dengan alat DSC dan mengetahui pengaruh temperature proses PVC terhadap gugus fungsi dengan alat FTIR. Hasil perhitungan menunjukkan panas yang dilepas oleh material A.1 sebesar 1,740 Watt dan A.2 sebesar 1,938 Watt. Energi yang diterima air pendingin pada menit ke 30 pada spesimen A.1 sebesar 5,571 Watt dan A.2 sebesar 14,857 Watt dengan kenaikan temperatur masing-masing sebesar 0,5°C. Hasil uji DSC sample A.1 (cacat) dan A.2 (bagus) menunjukkan bahwa temperatur leleh dari keduanya hampir sama yaitu sekitar 78°C tetapi terdapat perbedaan pada T_g (temperature *glass*) sebesar 0,013 J/g°C lebih cepat *spesimen* uji A.2 115°C (Bagus). Hasil uji FTIR sample A.1 (cacat) dan A.2 (bagus) menunjukkan adanya perbedaan panjang gelombang paling tinggi sampai dengan 8,4% pada nilai gelombang 3749.77cm^{-1} dan 3740.90cm^{-1} .

Kata Kunci : Thermoforming ; mesin UPS 1070 ; temperatur ; heating,; DSC dan FTIR

Abstract

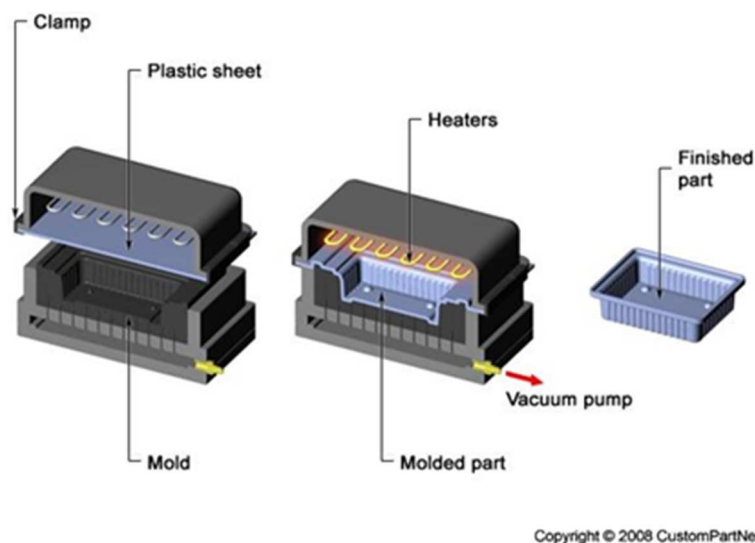
*Forming sheet plastic into various new shapes and applications, this plastic is adjusted to the design we want with the help of heat, pressure and molding. The purpose of this study was to determine the energy and heat value released by PVC material with variations in heating and cooling temperatures in the forming unit, to determine the effect of PVC process temperature on thermal properties with DSC tools and to determine the effect of PVC process temperature on functional groups using FTIR tools. The calculation results show that the heat released by the A.1 material is 1,740 Watt and A.2 is 1,938 Watt. The energy received by the cooling water in the 30th minute on specimen A.1 is 5.571 Watt and A.2 is 14,857 Watt with each temperature increase of 0.5°C. The results of the DSC test samples A.1 (defective) and A.2 (good) show that the melting temperature of the two is almost the same, which is around 78°C but there is a difference in T_g (temperature *glass*) of 0.013 J/g°C faster than the A.2 test specimen 115°C (Very nice). The results of the FTIR test samples A.1 (disabled), A.2 (good) showed the highest difference in wavelength up to 8.4% at the wave values of 3749.77cm^{-1} and 3740.90cm^{-1} .*

Keywords: Thermoforming; UPS 1070 engine; temperature; heating; DSC and FTIR

How to Cite: Siswanto, B.D., Analisis pengaruh temperature terhadap sifat termal dan gugus fungsi proses thermoforming material polivinil klorida, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), 5 (2): 134-150.

PENDAHULUAN

Plastik didesain dengan banyak variasi properti yang dapat tahan terhadap panas, keras, ketahanan, derajat kekristalan, dan lain-lain. Plastik salah satu bentuk komposit yang mampu adaptasi saat diaplikasikan, karena komposisi yang umum dan beratnya yang ringan. Untuk itu plastik digunakan hampir di seluruh bidang industri, terutama industri rumah tangga. Plastik merupakan suatu polimer yang memiliki sifat – sifat yang fleksibel. Plastik yang digunakan untuk kemasan memiliki berbagai kelebihan, diantaranya yaitu fleksibel, bentuk laminasi (aneka warna, tidak mudah rusak, dan harga yang relatif murah) dan transparan [1]. Proses *thermoforming* mencakup tiga tahap yaitu: memanaskan, menghisap (vacuum) untuk menjadikan bentuk sesuai dengan cetakan, mendinginkan plastik setelah dicetak. Bagian terpenting adalah pendinginan karena berpengaruh terhadap kualitas cetakan. Dengan sirkulasi pendinginan yang baik maka akan diperoleh hasil cetakan yang sempurna [2]. Ilustrasi proses *thermoforming* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses *Thermoforming*

Thermoforming adalah proses mengambil selembar bahan plastik, memanaskannya sampai lentur, dan membentuknya menjadi bentuk tiga dimensi, kemudian memangkas dan menyelesaikannya menjadi produk yang dapat digunakan [3]. Thermoforming terdiri dari dua langkah utama: pemanasan dan pembentukan. Pemanasan biasanya dilakukan dengan pemanas listrik pancaran, yang terletak di satu atau kedua sisi lembaran plastik awal pada jarak kira-kira 125 mm (5 in.). Durasi siklus pemanasan yang diperlukan untuk cukup melunakkan lembaran tergantung pada polimer, ketebalan dan warnanya. Metode dimana langkah pembentukan dicapai dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori dasar:

(1) thermoforming vakum, (2) thermoforming tekanan, dan (3) thermoforming mekanis. Dalam diskusi kami tentang metode ini, kami menggambarkan pembentukan stok lembaran; dalam industri pengemasan, sebagian besar operasi thermoforming dilakukan pada film tipis.

Metode paling awal adalah thermoforming vakum (disebut hanya pembentukan vakum ketika dikembangkan pada 1950-an), di mana tekanan negatif digunakan untuk menarik lembaran yang dipanaskan ke dalam rongga cetakan. Prosesnya dijelaskan di bawah ini dalam bentuk yang paling dasar. Lubang-lubang untuk menggambar ruang hampa di dalam cetakan berdiameter sekitar 0,8 mm (0,031 inci), jadi pengaruhnya pada permukaan plastik kecil.

Plastic Thermoforming adalah proses pembuatan plastik yang menerapkan gaya (vakum atau tekanan) untuk meregangkan selembar bahan termoplastik yang dipanaskan (thermo) di atas cetakan yang direkayasa untuk membuat bentuk atau bagian 3 dimensi (pembentukan) [4, 5]. Setelah dibentuk, bagian yang dibentuk kemudian dapat dipangkas dan diselesaikan sesuai spesifikasi untuk memenuhi kebutuhan pengguna akhir. Proses dan bahan termoplastik sangat serbaguna dan dapat digunakan untuk memproduksi suku cadang untuk berbagai aplikasi yang sangat luas.

Fleksibilitas dan efektivitas biaya proses thermoforming plastik menjadikannya pilihan ideal untuk beragam aplikasi industri. Bagian termoform plastik biasanya digunakan untuk menggantikan komponen lembaran logam fabrikasi dan juga menawarkan beberapa keunggulan unik dibandingkan suku cadang yang dibuat dengan proses manufaktur FRP (plastik yang diperkuat serat) dan RTM (resin transfer moulded) [6, 7]. Desain baru atau konversi proses dari yang sudah ada, thermoforming komponen dengan Produktif Plastik dapat menjadi solusi ideal untuk aplikasi dan industri yang tak terhitung jumlahnya.

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan energi panas yang dilepas material PVC dengan variasi suhu *heating* dan *cooling* pada *forming unit*, menentukan nilai panas yang diserap oleh air pendingin dengan variasi suhu *heating* dan *forming* pada mesin dan menentukan temperatur proses *thermoforming* material PVC [8, 9, 10]. Berdasarkan penelitian Bordonaro dkk (2008) dikatakan bahwa temperatur mold dan sheet memiliki pengaruh yang tinggi terhadap kualitas produk [11]. Permasalahan umum yang sering terjadi pada industri injeksi plastik adalah adanya penyusutan pada produk hasil proses

injeksi. Dalam proses injection molding terdapat banyak parameter yang dapat mempengaruhi hasil injeksi [12, 13]. Ditemukan beberapa permasalahan pada proses *thermoforming* yaitu hasil poket tidak sempurna atau dangkal seperti diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. *Pocke blister*: (a) poket sempurna (b) cacat

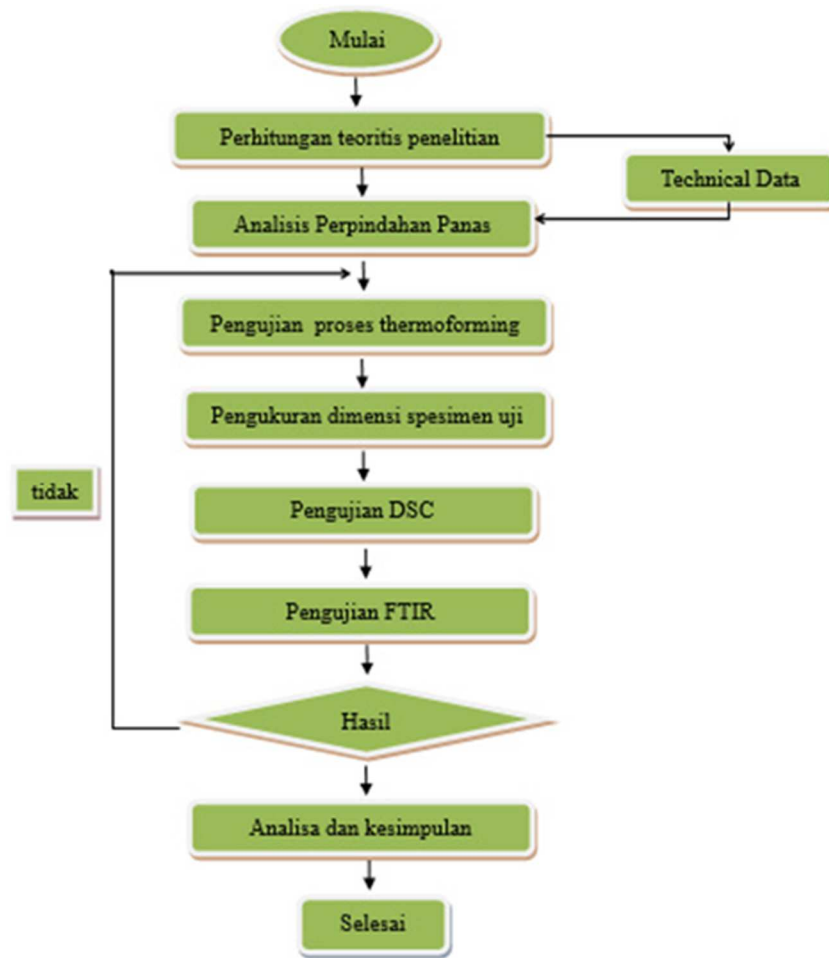
Tujuan Penelitian ini adalah menentukan energi dan nilai panas yang dilepas material PVC dengan variasi suhu *heating* dan *cooling* pada *forming unit*, mengetahui pengaruh temperature proses PVC terhadap sifat termal dengan alat DSC (*Differential Scanning Calorimetry*), dan mengetahui pengaruh temperature proses PVC terhadap gugus fungsi dengan alat FTIR (*Fourier-transform Infrared Spectroscopy*).

METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian ini diperlihatkan pada gambar 3. Dalam penelitian ini dimulai dengan perhitungan teoritis penelitian teknikal data serta analisis perpindahan panasnya, setelah itu mulai pengujian dengan proses thermoforming di mesin UPS1070 dan pengukuran dimensi specimen uji, setelah selesai pengukuran kita lakukan pengujian dengan alat DSC di BPPT serpong dan pengujian FTIR di Balai laboratorium Bea dan Cukai.

Data analisis perpindahan aliran panas

Data analisis meliputi data dimensional dari komponen yang akan digunakan dalam penelitian dan material lain yang terkait. Berikut data dari air pendingin, material PVC, Spesifikasi forming unit hingga parameter settingan mesin untuk menentukan besar energi pada mesin UPS 1070.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Data dari air pendingin yang meliputi spesifikasi saluran pendingin diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air pendingin (*cooling*)

Karakteristik	Nilai Besaran
Debit air pendingin (Q_h)	0,00016 m ³ /s
<i>Dynamic viscosity</i>	0,00000152 Kg'm.s
Media pendingin	Air
<i>Density (ρ)</i>	1000 Kg/m ³
Panjang saluran pendingin	5 m
Diameter saluran pendingin	0,008 m
Tebal <i>forming unit</i>	0,05 m

Pada pengujian tersebut menggunakan material PVC dengan spesifikasi seperti diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat fisik material Polivinnil Clorida

Sifat-sifat Fisik	Nilai Besaran
Tebal bahan PVC	0,75 mm
<i>Density (ρ)</i>	1630 Kg/m ³ K
Konduktifitas termal (K)	0,13 W/m K
Panas jenis (Cp)	1,259 J/kg K
Volume plastik	4,819.10 ⁻⁸ m ³
Massa plastik	15,709 . 10 ⁻³ Kg/s

Spesifikasi forming unit hingga pamameter settingan mesin untuk menentukan besar energy mesin UPS1070 diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *forming unit* mesin

Parameter	Jenis / Nilai
Bahan material	Alumunium
Panjang <i>forming</i>	230 mm > 0,23 m
Lebar <i>forming</i>	210 mm > 0,21 m
Diameter dalam <i>forming</i>	5 mm > 0,05 m
<i>Thermal conductivity</i>	237 W/m ^{°k}

Persiapan lembar Polyvinnil Clorida

Persiapan dimulai dengan menentukan jenis plastik yang akan digunakan yaitu lembar PVC ukuran lebar 238 mm dan ketebalan 0,75 mm. Dimensi didapat dari spesifikasi pembelian material PVC Film pada tabel 4.

Batch 0088918200	Materian description OP-M176/01- 51/9000-100_0-222-250-238			Major 51/9000	Thickn 250 mm	Material 2250	Pcs 1
Cust batch	Cust order no P122113-19	Cust material 231558_880	winding	Core 76 mm	Orc/cut/pos/obj 602426460/1/E/23		
Order 1595596/10	Length 800m	Width 238 mm	Weight 64,2kg	Splices 0	Recom processing by 06.11.2020	Prod 07.11.2019	

Tabel 4. Spesifikasi Material PVC

Budiarto Djono Siswanto, Analisis pengaruh temperature terhadap sifat termal...

Proses pembuatan pocket

Proses forming pembuatan spesimen uji dilakukan pada mesin UPS 1070. Tahapan proses pembuatannya adalah menyiapkan material plastik yaitu (PVC), melakukan setting temperatur forming pada 17 °C, melakukan setting temperatur dengan 3 variasi yang berbeda yaitu : 105 °C, 115 °C, menjalankan mesin selama 30 menit kemudian ambil 1 produk sebagai spesimen uji, dan memberi penanda pada spesimen sesuai dengan temperatur forming dan heating.

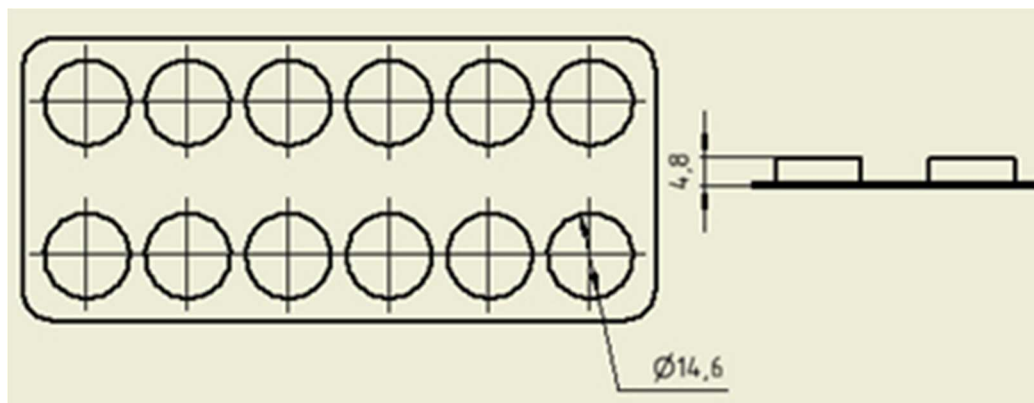
Proses pengukuran pocket

Pengukuran spesimen uji menggunakan digital caliper (gambar 4) untuk memperoleh hasil pengukuran akurat. Pengukuran dimensi dilakukan pada tebal dan diameter sesuai dengan standart ukuran dimensi.



Gambar 4. Digital Caliper

Pengukuran tebal pocket dilakukan pada 1 titik dan diameter dilakukan pada 3 titik. Kemudian diambil rata-rata dengan toleransi ukuran $\pm 0,2$ mm. Pengukuran pada dimensi tebal, dan diameter hasil pocket diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Standar pengukuran *pocket*

Pengujian dengan alat uji Differential Scanning Calorimetry

Analisis termal dalam pengertian luas adalah pengukuran sifat kimia fisika bahan sebagai fungsi suhu. Penetapan dengan metode ini dapat memberikan informasi pada kesempurnaan kristal, polimorfisma, titik lebur, sublimasi, transisi kaca, interaksi padat-padat dan kemurnian [6].



Gambar 6. Alat Uji DSC Diferensia

Pengujian dengan alat uji spektrum inframerah

Spektrum inframerah dihasilkan dari pentransmision cahaya yang melewati sampel. Pengukuran dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) [14]. Alat uji untuk mengukur Spektrum inframerah diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. alat spektroskopi FTIR

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah diketahui besaran dari masing- masing dimensi forming unit dan spesifikasi dari plastik dapat dihitung besarnya volume plastik ketika masuk dalam forming unit. Hasil perhitungan tersebut diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Data energi ya dilepas plastik

No	Spesimen Uji	Temperatur Forming (°C)	Temperatur Heating (°C)	Massa PVC (kg/s)	CP _{plastic} (J/kg°C)	Q _{plastic} (Watt)
1	A.1	17	105	15,709	1,259	1314,28
2	A.2		115			1613,03

Energi yang diserap cetakan mesin memiliki 1 cetakan maka nilai Q_{plastik} sama dengan energi yang diterima oleh cetakan. Besarnya energi yang diserapkan diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6. Energi yang diserap cetakan

No	Spesimen Uji	Q _{plastik} (Watt) = Q _{cetakan} (Watt)
1	A.1	1,740
2	A.2	1,938

Analisis total perpindahan panas yang terjadi pada cetakan dari forming unit (Q_{tot}) secara konduksi analisa total perpindahan panasnya diperlihatkan pada tabel 7.

Tabel 7. Analisis total perpindahan panas cetakan

No	Spesimen uji	Analisis total perpindahan panas (Watt)
1	A.1	24,451
2	A.2	65,204

Perpindahan panas air pendingin adalah energi yang diterima oleh air pendingin. Hasil perhitungan energi tersebut diperlihatkan pada tabel 8.

Tabel 8. Perpindahan panas air pendingin

No	Spesimen uji	Setting Temperatur Forming (°C)	Setting Temperatur Heating (°C)	Temperatur air setelah cetakan (°C)
1	A.1	17	105	17,3
2	A.2		115	17,8

Hasil Pengukuran Spesimen Uji menggunakan *digital caliper* pada unit kerja kalibrasi. Pengukuran tinggi dan lebar *pocket* spesimen dilakukan di 3 titik kemudin diambil rata-rata. Hasilnya diperlihatkan pada tabel 9.

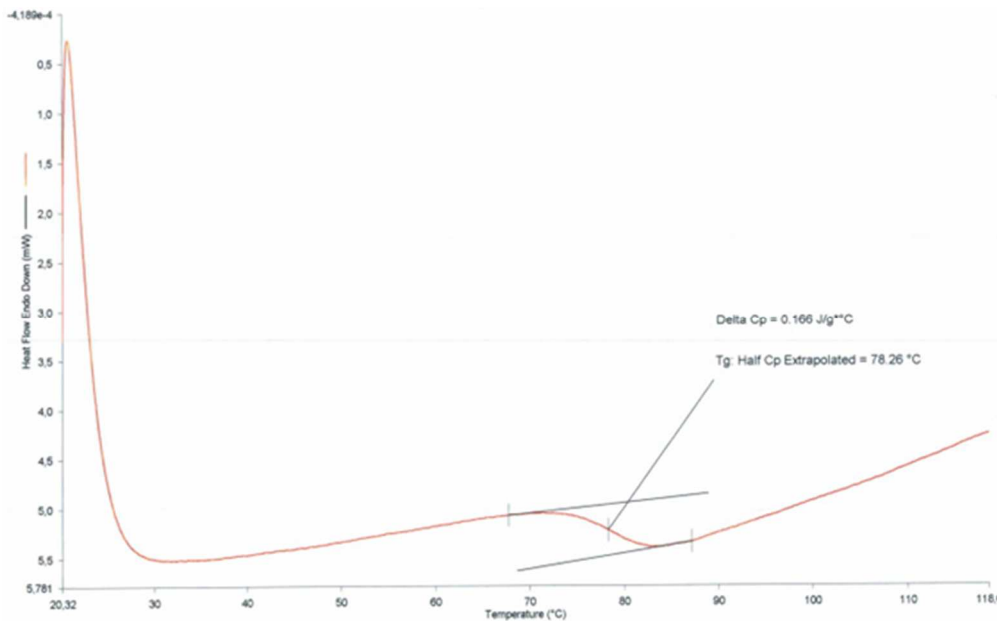
Tabel 9. Hasil Pengukuran Spesimen Uji

Spesimen Uji	Standart Pengukuran (mm)		Hasil Pengukuran (mm)	
	Tebal	Diameter Pocket	Tebal	Diameter Pocket
A.1 (Cacat)	4.8	14.8	4.7	14.6
A.2 (Bagus)	4.8	14.8	4.8	14.8

Dari data diatas bentuk *pocket* yang tidak sempurna disebabkan karena material PVC *sheet* belum mencapai titik temperatur optimal pembentukan. Hal ini berpengaruh pada keuletan material PVC *sheet* untuk proses *forming*.

Hasil Pengujian sifat termal spesimen

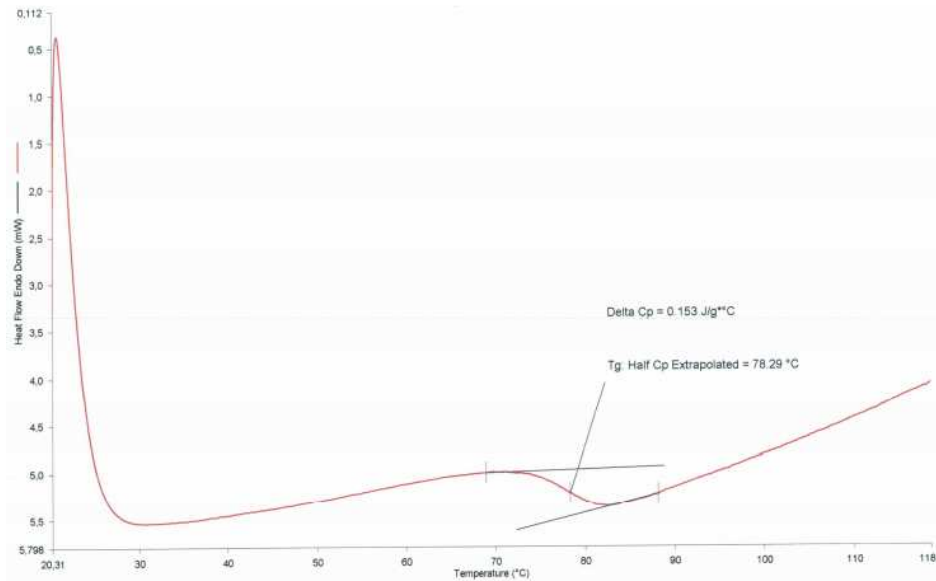
Analisis ini menggunakan dua wadah sampel dan pembanding yang identik dan umumnya terbuat dari aluminium. Setelah proses pengujian, *spesimen* diamati sifat termal. Data hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengujian DSC spesimen uji A.1 105°C

Budiarto Djono Siswanto, Analisis pengaruh temperature terhadap sifat termal...

Berdasarkan grafik pengujian DSC *spesimen* uji A.1 105°C menunjukkan termogram untuk *spesimen* cacat menunjukkan adanya sebuah puncak yaitu pada suhu 78,26°C dengan entalphi sebesar 0,166 J/g°C. Dimana suhu tersebut diidentifikasi sebagai temperatur leleh *spesimen* cacat. Sedangkan entalphi adalah energi yang dibutuhkan untuk mengubah *spesimen* cacat dari wujud padat menjadi cair. Reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermal yang ditunjukkan dengan bentuk yang landai kebawah seperti diperlihatkan pada gambar 9.

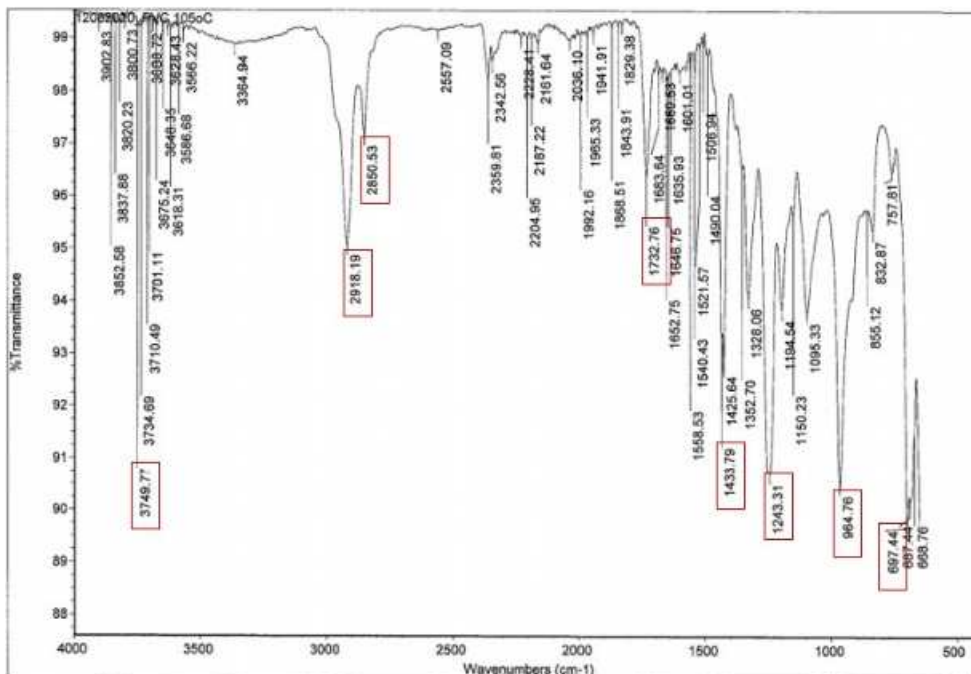


Gambar 9. Grafik pengujian DSC *spesimen* uji A.1 115°C

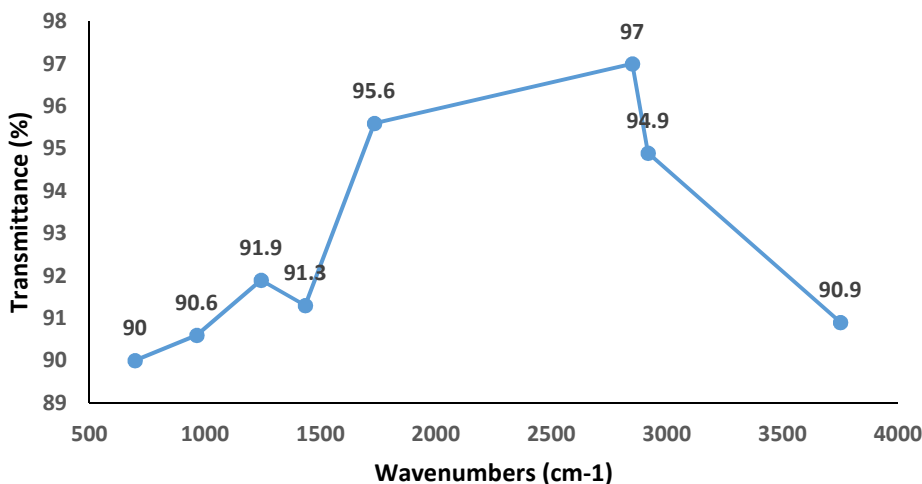
Berdasarkan grafik pengujian DSC *spesimen* uji A.2 115°C menunjukkan termogram untuk *spesimen* bagus menunjukkan adanya sebuah puncak yaitu pada suhu 78,29°C dengan entalphi sebesar 0,153 J/g°C. Dimana suhu tersebut diidentifikasi sebagai temperatur leleh *spesimen* bagus sedangkan entalphi adalah energi yang dibutuhkan untuk mengubah *spesimen* bagus dari wujud padat menjadi leleh. Dan reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermal yang ditunjukkan dengan bentuk yang landai kebawah. Berdasarkan study Todingbua dkk (2018) suhu transisi gelas (T_g) tidak bisa dipastikan karena memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi [15]. Untuk oligomer, T_g diamati di 86°C bersama dengan T_m , menandakan adanya sejumlah besar fase kristal. Berdasarkan kedua grafik termogram DSC diatas menunjukkan bahwa temperatur leleh dari keduanya hampir sama yaitu sekitar 78°C tetapi terdapat perbedaan pada T_g (temperature *glass*) sebesar 0,013 J/g°C lebih cepat *spesimen* uji A.2 115°C.

Hasil Pengujian spectrum inframerah

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk gugus fungsi seperti diperlihatkan pada gambar 10 dan 11.



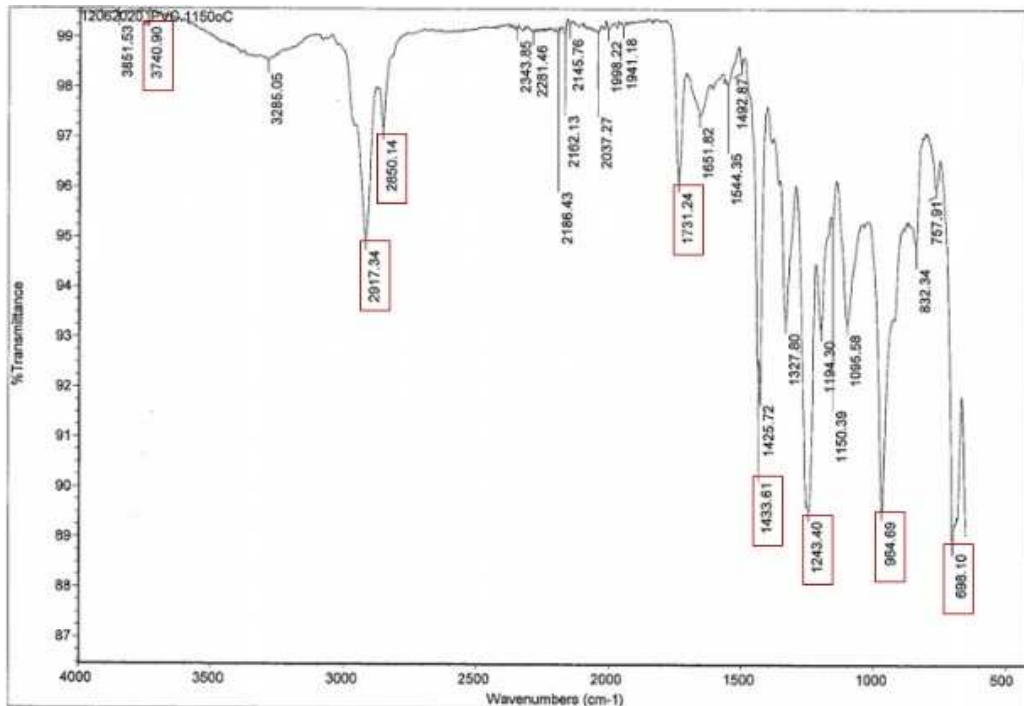
Gambar 10. Data hasil pengujian FTIR spesimen uji A.1 105°C



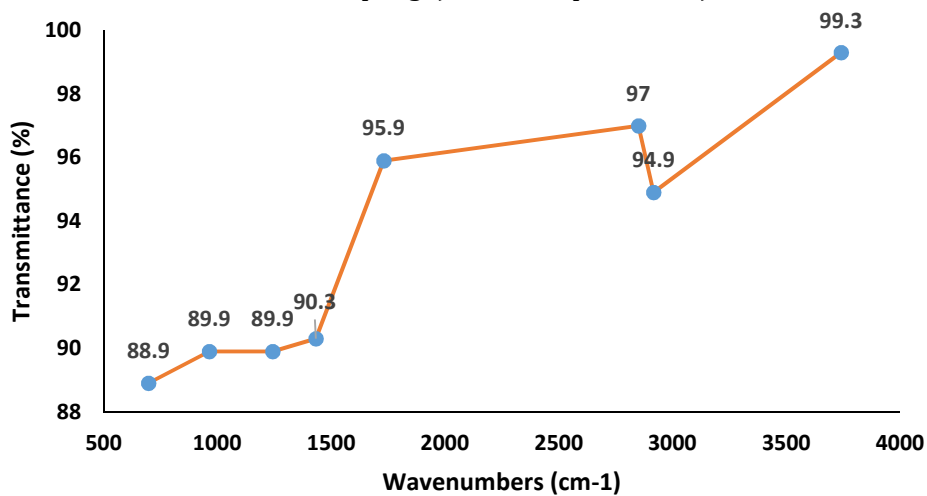
Gambar 11. Grafik panjang gelombang 105 °C

Berdasarkan Gambar 12 dan 13, grafik intensitas serapan gugus fungsi panjang gelombang pada material PVC menunjukkan panjang gelombang pada sample cacat dengan nilai gelombang 697.44 cm⁻¹ - 1243.31 cm⁻¹ mengalami kenaikan panjang gelombang, mulai penurunan panjang gelombang pada nilai gelombang 1433.79 cm⁻¹ naik

lagi pada nilai gelombang 1732.76^{-1} - 2850.53 cm^{-1} dan mulai turun lagi pada nilai 2918.19 cm^{-1} - 3749.77 cm^{-1} .

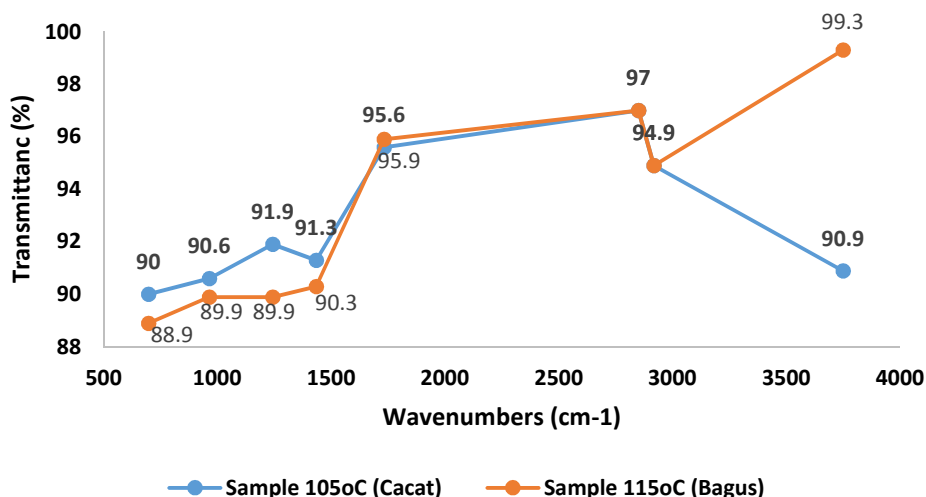


Gambar 12. Data hasil pengujian FTIR spesimen uji A.2 115°C



Gambar 13. Grafik panjang gelombang 115°C

Berdasarkan gambar 13, grafik intensitas serapan gugus fungsi panjang gelombang pada material PVC menunjukkan panjang gelombang pada sample bagus dengan nilai gelombang 698.10 cm^{-1} - 1731.24 cm^{-1} mengalami kenaikan panjang gelombang, mulai penurunn panjang gelombang pada nilai gelombang 2917.44 cm^{-1} dan setelah itu mengalami kenaikan panjang gelombang sampai dengan nilai 3740.90 cm^{-1} .



Gambar 14. Grafik perbedaan sample

Berdasarkan Gambar 14, intensitas serapan gugus fungsi pada material PVC hasil sample 105°C (cacat) dan sample 115°C (bagus) menunjukkan perbedaan panjang gelombang sebesar 8,4% panjang gelombang sample 105°C (cacat) dengan puncak gelombang puncak 90,9% dengan nilai gelombang 3749.77 cm⁻¹ mengalami penurunan pada akhir jika dilihat pada grafik dan sample 115°C (bagus) dengan puncak gelombang 99,3% dengan nilai gelombang 3740.90 cm⁻¹ mengalami kenaikan pada akhir gelombang jika dilihat pada grafik.

Pada spektrum hasil analisis FT -IR, menunjukkan OH tekuk pada nilai gelombang 3749.77 cm⁻¹ dan 3740.90 cm⁻¹. Sedangkan berdasarkan study sebelumnya (Susi Nurdayat, Tetty Kemala, Sudirman, dan Aloma karo karo 2004) menjelaskan bahwa pita-pita serapan pada nilai gelombang 2962 cm⁻¹ – 2851 cm⁻¹ merupakan vibrasi dari ulur CH. Pada penelitian (Arum Yuniari, Emiliana Kasmujiastuti 2014) serapan C-H muncul pada nilai gelombang 2973cm⁻¹ – 2816 cm⁻¹ dan 2824 cm⁻¹. Sedangkan vibrasi ulur CH PVC sample cacat ditemukan pada nilai gelombang 2918.19 cm⁻¹, 2917.34 cm⁻¹. Apabila dibandingkan dengan PVC sample bagus vibrasi ulur CH ditemukan pada nilai gelombang 2850.53 cm⁻¹, 2850.314 cm⁻¹. Sedangkan vibrasi CO sample PVC cacat terdapat pada nilai gelombang 1732.76 cm⁻¹ dan sample PVC bagus vibrasi CO terdapat pada nilai gelombang 1731.24 cm⁻¹. Sedangkan vibrasi tekuk CC terdapat pada nilai gelombang 1433.79 cm⁻¹ dan 1243.31 cm⁻¹ sample cacat dan ada pada nilai gelombang 1433.61 cm⁻¹ dan 1243.40 cm⁻¹ sample bagus. Spektrum vibrasi pada penelitian sample cacat CCI nilai gelombangnya 697.44 cm⁻¹ dan CCI pada sample bagus dengan nilai gelombang 698.10 cm⁻¹.

KESIMPULAN

Energi yang dilepas menunjukkan semakin besar selisih temperatur heating, semakin besar energi yang dilepas. Energi paling besar dilepas adalah sebesar 1,938 Watt pada temperatur *cooling* 17°C dan heating 115°C. Selanjutnya dapat dilihat selisih antara suhu heating 105°C dan 115°C sebesar 0,198 Watt. Energi panas yang di serap oleh air pendingin menunjukkan semakin besar temperatur heating, semakin besar energi yang di serap. Energi di lepas sebesar 14,857 Watt pada temperatur *cooling* 17°C dan heating 115°C. Semakin tinggi kenaikan temperatur, semakin tinggi energi yang dilepas air pendingin. Hasil pengujian DSC sample A.1 dan A.2 Hasil pengujian DSC sample A.1 dan A.2 menunjukkan bahwa temperatur leleh dari keduanya hampir sama yaitu sekitar 78°C tetapi terdapat perbedaan pada T_g (temperature *glass*) sebesar 0,013 J/g°C lebih cepat *spesimen* uji A.2 115°C. Hasil pengujian FTIR sample A.1 dan A.2 menunjukkan adanya perbedaan panjang gelombang paling tinggi sampai dengan 8,4% pada nilai gelombang 3749.77cm⁻¹ dan 3740.90cm⁻¹.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada Ketua Prodi Teknik Mesin dan hal-hal yang sangat membantu penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Akbarzadeh and M. Sadeghi, "Parameter Study in Plastic Injection Molding Process using Statistical Methods and IWO Algorithm," *International Journal Modeling And Optimization*, vol. 1, no. 2, pp. 44-57, 2011.
- [2] W. Chenetal, *Packaging Pharmaceuticals Hand Book*, New York: Informa, 2005.
- [3] J. P. Holman, *Heat Transfer*, New York: Mc-Graw Hill, 2010.
- [4] M. Y. Yuhazri, A. J. Zulfikar and A. Ginting, "Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures : A Review," in *Materials Science and Engineering*, Medan, 2020.
- [5] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 334-340, 2020.
- [6] A. J. Zulfikar and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 83-90, 2021.
- [7] A. J. Zulfikar, A. Sofyan and M. Y. Siahaan, "Numerical Simulation on The Onion Dryer Frame Capacity of 5 kg/hour," *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy)*, vol. 2, no. 2, p. 86-92, 2018.

- [8] D. Antonius, S. D. Budiarto and B. P. Tito, "Analisis Laju Aliran Panas Proses Thermoforming Blister Packing Mesin Uhlmann UPS B1240 pada Material PVC," *Jurnal METTEK*, vol. 6, no. 1, pp. 26-36, 2020.
- [9] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat Transfer*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [10] M. D. Sebayang, S. Gideon and J. L. Panjaitan, "PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP KABEL PVC," *Majalah Polimer Indonesia*, vol. 18, no. 1, pp. 9-13, 2015.
- [11] K. Bordonaro, "STUDI PENGARUH PARAMETER PROSES TERHADAP KUALITAS PRODUK," *Petra*, vol. 4, no. 2, pp. 50-62, 2008.
- [12] G. M. Artama, , *Proses Injection Molding Cycle Pada Injection Molding Machine dan Molding Defect*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press, 2004.
- [13] M. D. Sebayang, "The microstructure of the radiation effect of the heat on the complete cable NYM," *Perhimpunan Polimer Indonesia (HPI)*, vol. 3, no. 1, pp. 34-41, 2016.
- [14] C. Anam, K. S. Firdausi and S. Sirojudin, "ANALISIS GUGUS FUNGSI PADA SAMPEL UJI, BENSIN DAN SPIRITUS MENGGUNAKAN METODE SPEKTROKOPI FTIR," *QC Physics*, vol. 10, no. 1, pp. 79-85, 2009.
- [15] A. Todingbua, R. Thahir, I. Saka, M. Dase and P. Pabbenteng, "SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIELEKTROLIT KOMPLEKS (PEC) KITOSAN-PEKTIN SEBAGAI MATRIKS FILM INDIKATOR PH," in *SEMINAR NASIONAL HASIL PENELITIAN 2018*, Makassar, 2018.