

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1.1 Hasil Pengujian Termal

Pada pengujian termal menggunakan metode DSC, ABS Original + ABS *Recycle* mendapatkan hasil yang bervariasi pada nilai Tg dan nilai Tm. Didapatkannya Tg dan Tm yang bervariasi pada pengujian termal tersebut disebabkan karena kondisi material yang bervariasi pula.

Tabel 4.1 Kondisi Uji Pada Sample

No	Jenis Pengujian	Alat	Kondisi Pengujian	
1	Analisa <i>Glass Transition Temperature (Tg)</i> dan <i>Melting Temperature (Tm)</i>	DSC	Nama Sample	1. ABS Original 2. ABS Original 85% +ABS <i>Recycle</i> 15% 3. ABS Original 70% +ABS <i>Recycle</i> 30% 4. ABS Original 55% +ABS <i>Recycle</i> 45%
			Berat Sample	5.4 – 7.2 mg
			Program Temperatur	<u><i>Heating-cooling-heating</i></u> • <i>Heating</i> : 50°C – 150°C (30°C/menit) • <i>Cooling</i> : 150°C - -100°C (30°C/menit) • <i>Hold</i> : -100°C (4 menit) • <i>Heating</i> : -100°C – 150°C (30°C/menit)
			<i>Pure Gas</i>	N <sub>2</sub> (20 ml/menit)

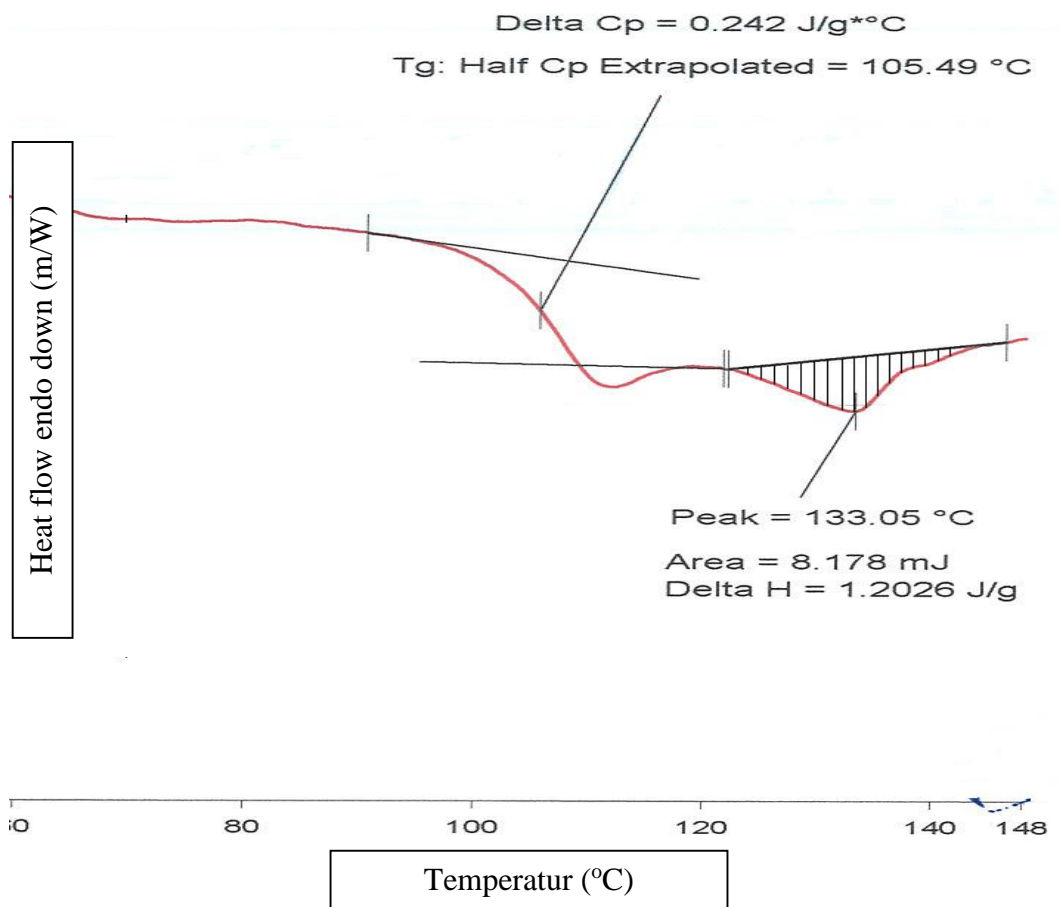
Keterangan tabel :

Pada pengujian ABS original, akan dianalisa temperatur *glass temperature* (Tg) dan *melting temperature* (Tm). Proses pengujian merujuk ke standart ASTM D3418-15 yang mana proses penentuan Tg dan Tm sudah dituliskan pada bab sebelumnya (BAB III, sub bab 3.4.3). Temperatur diatur 3 tahap yaitu pemanasan pertama, pendinginan, dan pemanasan kedua. Pemanasan kedua dilakukan untuk menghilangkan *thermal history*. *Thermal history* adalah perjalanan termal yang pernah dialami material pada saat dipanaskan. *Thermal history* dapat dihilangkan dengan memanaskan material sedikit di atas suhu leleh dan kemudian didinginkan secara cepat ke bawah suhu transisi gelasnya.

#### 4.1.1 Hasil pengujian ABS original

Tabel 4.1.1 Kondisi uji pada sample ABS Original

No	Jenis Pengujian	Alat	Kondisi Pengujian	
1	Analisa <i>Glass Transition Temperature</i> (Tg) dan <i>Melting Temperature</i> (Tm)	DSC	Nama Sample	ABS Original
			Berat Sample	5.4 – 7.2 mg
			Program Temperatur	<p><u><i>Heating-cooling-heating</i></u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Heating</i> : 50°C – 150°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Cooling</i> : 150°C - -100°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Hold</i> : -100°C (4 menit)</li> <li>• <i>Heating</i> : -100°C – 150°C (30°C/menit)</li> </ul>
			<i>Pure Gas</i>	N <sub>2</sub> (20 ml/menit)



Gambar 4.1.1 Termogram DSC ABS original

Interpretasi :

Pada pengujian DSC dengan menggunakan ABS original yang mana ini sebagai referensi material pada penelitian kali ini didapatkan nilai *glass transition temperature* (Tg) sebesar 105°C dan nilai *melting point* (Tm) sebesar 133.05°C. Kedua nilai tersebut dapat dilihat langsung pada termogram DSC untuk material ABS original diatas.

Area dibawah kurva (yang diarsir) merupakan proses pelelehan material. Proses pelelehan ini merupakan proses endotermik karena energi yang dikeluarkan oleh tungku yang terdapat dalam mesin DSC diserap oleh material. Ketika sebuah material mulai meleleh, ikatan antar molekulnya menyerap energi dan mulai melonggar yang kemudian ikatan antar molekul tersebut lepas. Karena pencairan melibatkan penyerapan energi, maka pada kurva DSC sebagai penurunan aliran

panas yang besar dan sementara. Setelah material benar-benar meleleh, aliran panas kembali ke nilai awal aslinya. Bentuk dari kurva ini tergantung seberapa besar dan seberapa lama material membutuhkan energi untuk melepaskan ikatan antar molekulnya.

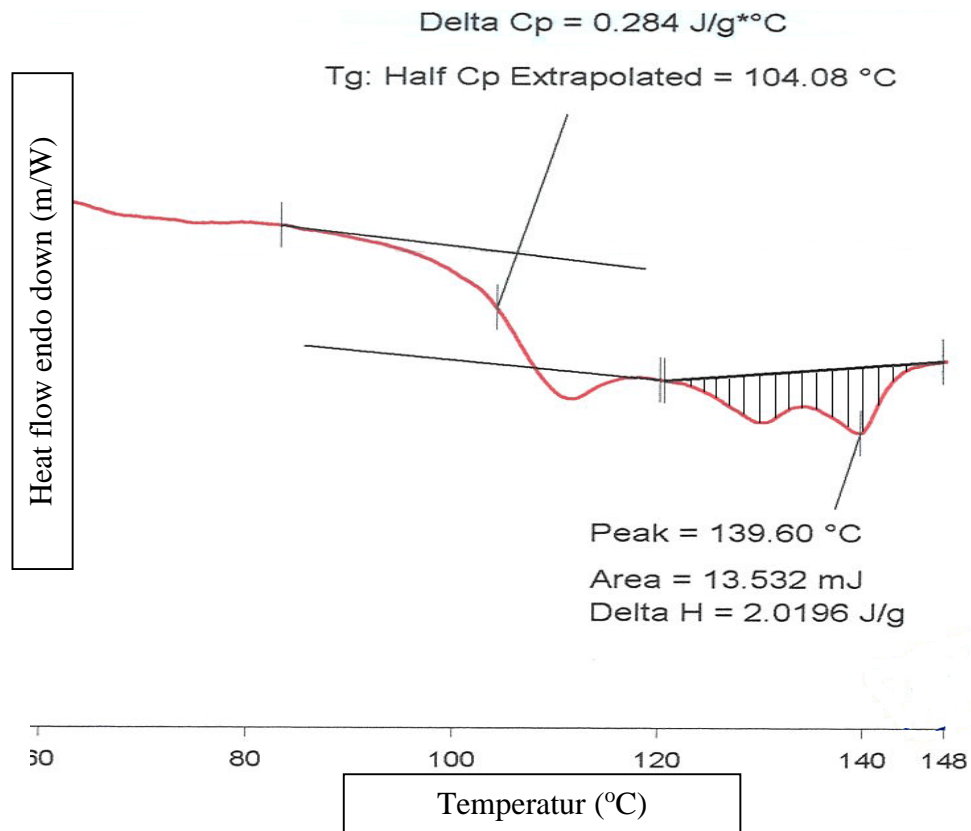
$\Delta H$  pada termogram DSC material ABS original merupakan perubahan entalpi yang sudah dihitung oleh software dari mesin DSC. Entalpi merupakan energi yang dilepas atau diserap pada saat berlangsungnya suatu reaksi, entalpi tidak dapat dihitung, tetapi perubahan entalpi  $\Delta H$  dapat dihitung dengan menetapkan titik referensi. Nilai  $\Delta H$  yang positif merupakan reaksi endoterm, jika nilai  $\Delta H$  negatif, maka terjadi reaksi eksoterm.

Pada termogram DSC untuk material ABS original, area dibawah kurva menunjukkan nilai 8.178 mJ dengan  $\Delta H$  sebesar 1.2026 J/g. Nilai area dan  $\Delta H$  berbanding lurus, semakin besar area maka nilai  $\Delta H$  semakin besar pula.

#### 4.1.2 Hasil pengujian ABS original 85% + ABS recycle 15%

Tabel 4.1.2 Kondisi uji pada sample ABS Original 85% + ABS Recycle 15%

No	Jenis Pengujian	Alat	Kondisi Pengujian	
1	Analisa <i>Glass Transition Temperature (Tg)</i> dan <i>Melting Temperature (Tm)</i>	DSC	Nama Sample	ABS Original 85% + ABS Recycle 15%
			Berat Sample	5.4 – 7.2 mg
			Program Temperatur	<u>Heating-cooling-heating</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Heating</i> : 50°C – 150°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Cooling</i> : 150°C - -100°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Hold</i> : -100°C (4 menit)</li> <li>• <i>Heating</i> : -100°C – 150°C (30°C/menit)</li> </ul>
			<i>Pure Gas</i>	N <sub>2</sub> (20 ml/menit)



Gambar 4.1.2 Termogram DSC ABS original 85% + ABS *Recycle* 15%

Interpretasi :

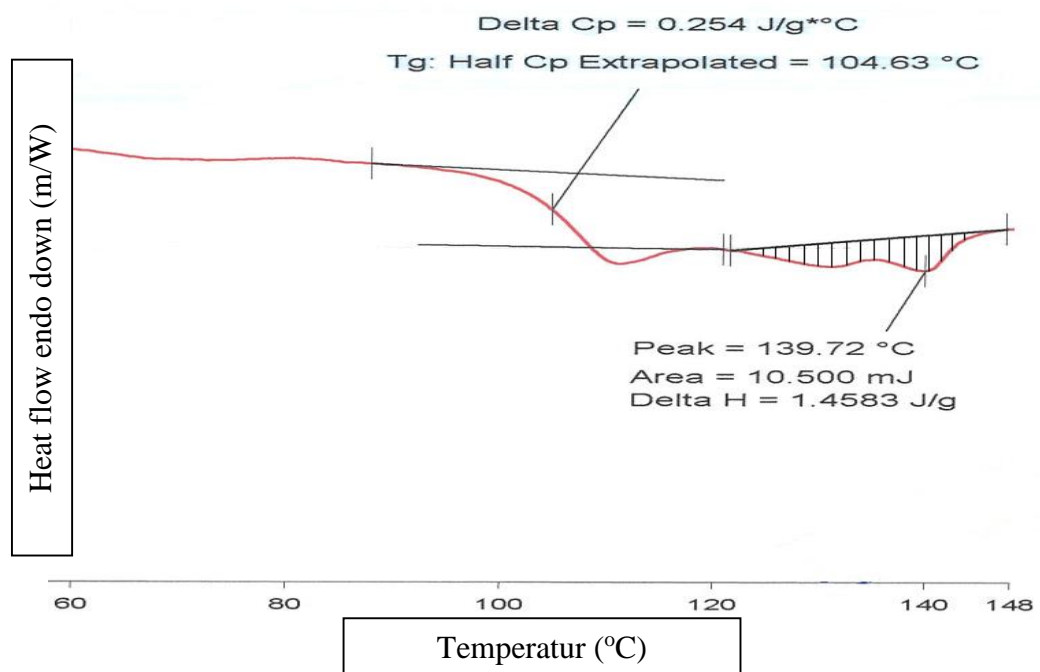
Pada pengujian DSC dengan menggunakan ABS original 85% + ABS *recycle* 15% didapatkan nilai *glass temperature* (Tg) sebesar 104.08°C dan nilai *melting point* (Tm) sebesar 139.60°C. Kedua nilai tersebut dapat dilihat langsung pada termogram DSC untuk material ABS original di atas.

Pada termogram DSC untuk material ABS original, area di bawah kurva menunjukkan nilai 13.532 mJ dengan  $\Delta H$  sebesar 2.0196 J/g. Nilai area dan  $\Delta H$  berbanding lurus, semakin besar area maka nilai  $\Delta H$  semakin besar pula.

### 4.1.3 Hasil pengujian ABS original 70% + ABS recycle 30%

Tabel 4.1.3 Kondisi uji pada sample ABS Original 70% + ABS Recycle 30%

No	Jenis Pengujian	Alat	Kondisi Pengujian	
1	Analisa <i>Glass Transition Temperature (Tg)</i> dan <i>Melting Temperature (Tm)</i>	DSC	Nama Sample	ABS Original + ABS Recycle 30%
			Berat Sample	5.4 – 7.2 mg
			Program Temperatur	<u>Heating-cooling-heating</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Heating</i> : 50°C – 150°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Cooling</i> : 150°C - -100°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Hold</i> : -100°C (4 menit)</li> <li>• <i>Heating</i> : -100°C – 150°C (30°C/menit)</li> </ul>
			Pure Gas	N <sub>2</sub> (20 ml/menit)



Gambar 4.1.3 Termogram DSC ABS original 70% + ABS Recycle 30%

Interpretasi :

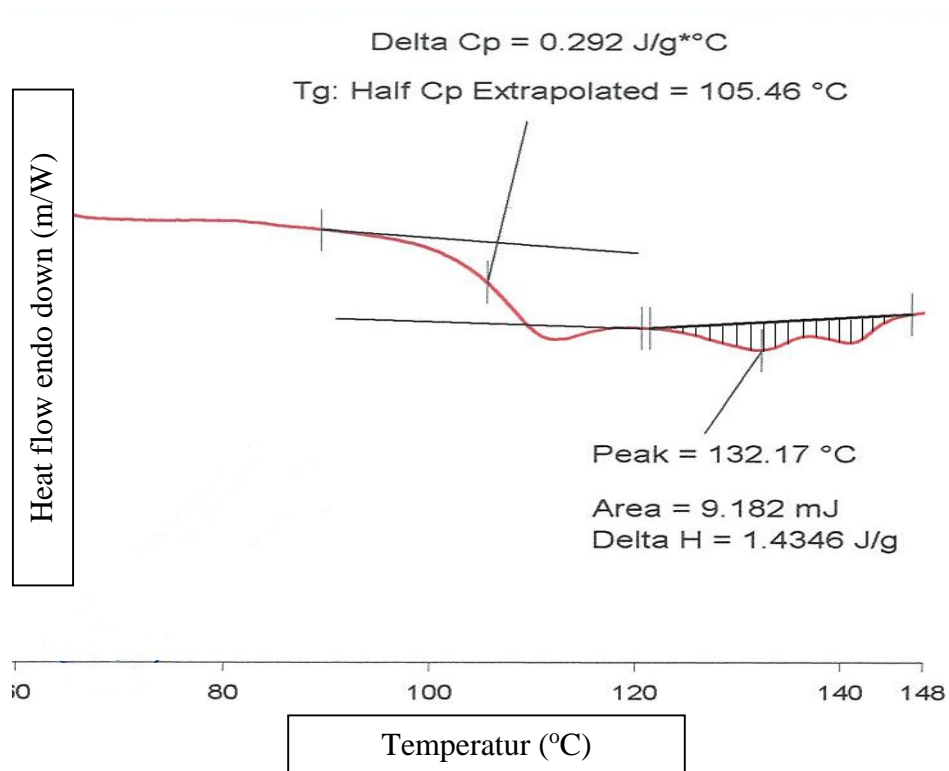
Pada pengujian DSC dengan menggunakan ABS original 70% + ABS *recycle* 30% didapatkan nilai *glass temperature* (Tg) sebesar 104.63°C dan nilai *melting point* (Tm) sebesar 139.72°C. Kedua nilai tersebut dapat dilihat langsung pada termogram DSC untuk material ABS original di atas.

Pada termogram DSC untuk material ABS original, area di bawah kurva menunjukkan nilai 10.500 mJ dengan  $\Delta H$  sebesar 1.4583 J/g. Nilai area dan  $\Delta H$  berbanding lurus, semakin besar area maka nilai  $\Delta H$  semakin besar pula.

#### 4.1.3 Hasil pengujian ABS original 70% + ABS *recycle* 30%

Tabel 4.1.4 Kondisi uji pada sample ABS Original 55% + ABS *Recycle* 45%

No	Jenis Pengujian	Alat	Kondisi Pengujian	
1	Analisa <i>Glass Transition Temperature</i> (Tg) dan <i>Melting Temperature</i> (Tm)	DSC	Nama Sample	ABS Original 55% + ABS <i>Recycle</i> 45%
			Berat Sample	5.4 – 7.2 mg
			Program Temperatur	<p><u><i>Heating-cooling-heating</i></u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Heating</i> : 50°C – 150°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Cooling</i> : 150°C - -100°C (30°C/menit)</li> <li>• <i>Hold</i> : -100°C (4 menit)</li> <li>• <i>Heating</i> : -100°C – 150°C (30°C/menit)</li> </ul>
			<i>Pure Gas</i>	N <sub>2</sub> (20 ml/menit)



Gambar 4.1.4 Termogram DSC ABS original 55% + ABS *Recycle* 45%

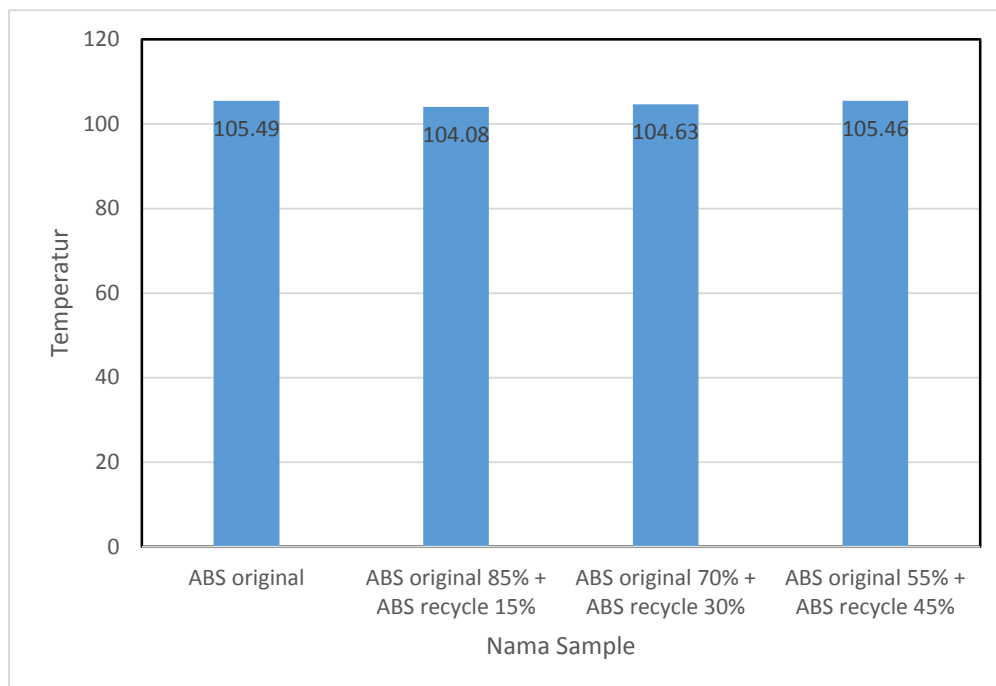
Interpretasi :

Pada pengujian DSC dengan menggunakan ABS original 55% + ABS *recycle* 45% didapatkan nilai *glass temperature* ( $T_g$ ) sebesar 105.46°C dan nilai *melting point* ( $T_m$ ) sebesar 132.17°C. Kedua nilai tersebut dapat dilihat langsung pada termogram DSC untuk material ABS original di atas.

Pada termogram DSC untuk material ABS original, area di bawah kurva menunjukkan nilai 9.182 mJ dengan  $\Delta H$  sebesar 1.4346 J/g. Nilai area dan  $\Delta H$  berbanding lurus, semakin besar area maka nilai  $\Delta H$  semakin besar pula.



## 4.2 Pembahasan



Gambar 4.2.1 Grafik Nilai Tg

Analisa :

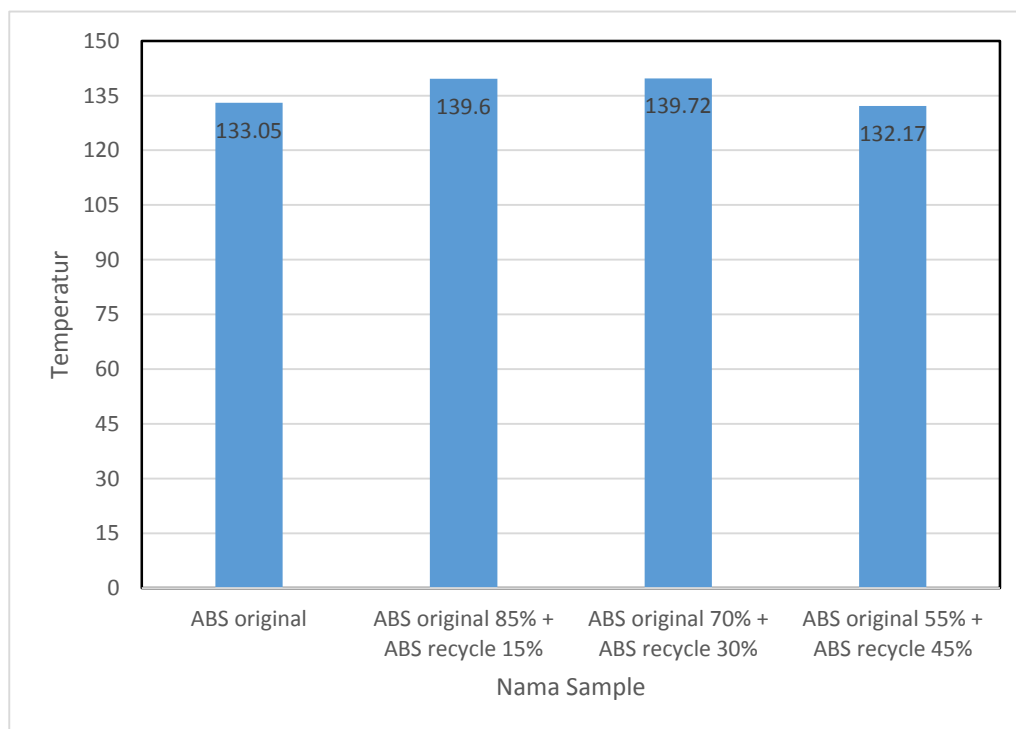
Pada grafik perbandingan nilai Tg dapat dilihat bahwa nilai Tg dari ABS original dalam hal ini sebagai referensi utama terlihat mempunyai nilai Tg paling besar. Untuk nilai ABS original yang dicampur dengan ABS *recycle*, semakin banyak perbandingan bahan *recycle*, nilai Tg nya akan sedikit mengalami perubahan. Nilai Tg bergantung pada pengolahan material, begitu pula karakteristik alami material seperti struktur, ikatan, dan berat molekul. Mengacu pada pengertian Tg dan dengan melihat kondisi yang ada pada grafik, bertambahnya persentase campuran *recycle* akan menaikkan ikatan dan berat molekul, sehingga nilai Tg akan semakin naik pula.

Nilai Tg dari ABS original 85% + ABS *recycle* 15% dan ABS original 70% + ABS *recycle* 30% mempunyai nilai yang hampir sama, nilai ABS original dengan ABS original + ABS *recycle* 45% mempunyai nilai yang hampir sama pula. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa ikatan dan berat molekul dari ABS original + ABS *recycle* 15% dan ABS original + ABS *recycle* 30% hampir sama

dan ABS original mempunyai ikatan dan berat molekul yang sama dengan ABS original + ABS *recycle* 45%.

Menurut (Zenkiewicz et. al., 2009), nilai Tg pada material ABS tidak berubah secara signifikan walaupun material ABS sudah di *recycle* secara berulang. Pada penelitian ini, perubahan nilai dari Tg tidak signifikan dikarenakan nilai Tg pada material ABS tidak begitu terpengaruh dengan kondisi material *recycle*. Penyebab nilai Tg pada ABS original 85% + ABS *recycle* 15% dan ABS original 70% + ABS *recycle* 30% dibawah nilai Tg dari ABS original dan ABS original 55% + ABS *recycle* 45% dikarenakan pada saat pencampuran material ABS original dan material ABS *recycle* tidak terjadi campuran yang homogen.

Nilai Tg dari ketiga sample ABS campuran semuanya masih berada diantara nilai Tg ABS original, yang mana nilai Tg ABS original sebesar 105.49°C. Dari hasil pengujian termal untuk variabel Tg, material ABS original dicampur dengan ABS *recycle* dengan perbandingan 85% : 15%, 70% : 30%, dan 55% : 45% dapat digunakan.



Gambar 4.2.2 Grafik Nilai Tm

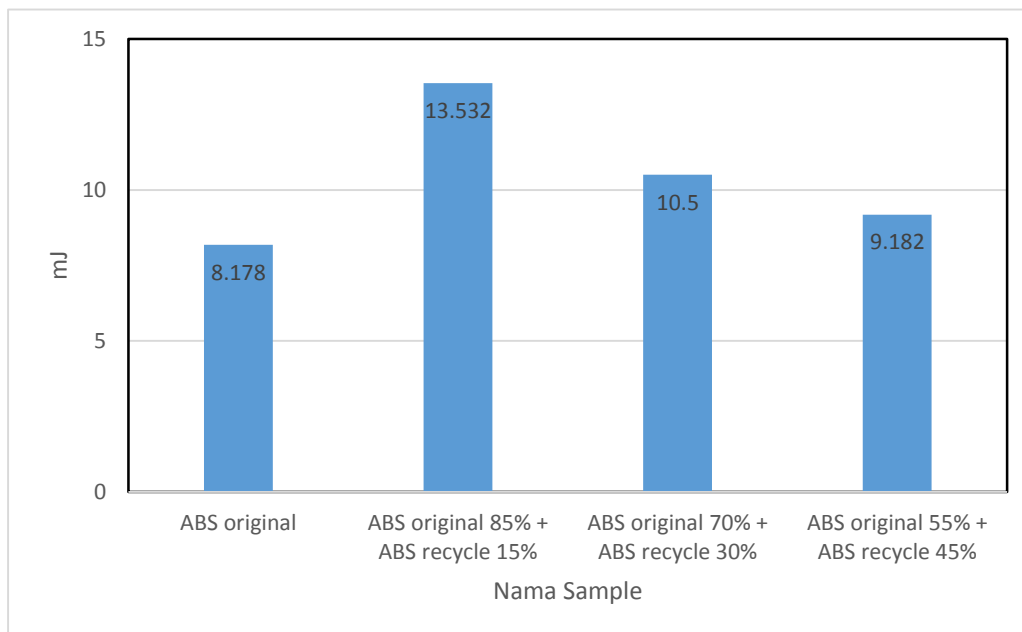
Analisa :

Pada grafik perbandingan nilai  $T_m$  terlihat nilai  $T_m$  dari ABS original maupun ABS yang dicampur dengan *recycle* mempunyai nilai  $T_m$  yang bervariasi. Nilai  $T_m$  tertinggi terdapat pada sample ABS original 70% + ABS *recycle* 30% yaitu sebesar 139.72°C. Nilai  $T_m$  terendah yaitu terdapat pada sampel ABS original 55% + ABS *recycle* 45% yaitu sebesar 450°C.

Menurut ( Araújo et. al. 2010) Nilai kemurnian dari material berbanding terbalik dengan *melting temperature*. Semakin tinggi *melting temperature* mengindikasikan semakin banyak pengotor dalam material tersebut karena pengotor mempunyai ukuran kristal yang lebih besar. Pada penelitian pencampuran ABS original + ABS *recycle* terutama pada bagian kurva *melting point* yang mempunyai dua puncak, puncak pertama merupakan *melting point* dari material ABS sedangkan puncak *melting point* yang kedua merupakan *melting point* dari pengotor. Pengotor ini kemungkinan terdapat pada material *recycle*.

Menurut (Gregorova, 2013) dalam penentuan puncak pada termogram DSC yang mempunyai dua titik puncak, yaitu dipilih puncak tertinggi yang terdapat pada kurva *melting temperature*. Nilai  $T_m$  pada suatu material tinggi karena ikatan antar molekulnya kuat sehingga energi panas yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan antar molekul tersebut besar. Bahan penyusun dalam material yang mempunyai ketahanan panas yang baik juga akan menaikkan nilai dari  $T_m$ . Material yang memiliki ikatan antar molekul tidak terlalu kuat maka lebih mudah terlepas apabila ada energi panas yang masuk.

Pada gambar diatas, nilai  $T_m$  dari ABS original 85% + ABS *recycle* 15% dan ABS original 70% + ABS *recycle* 30% mempunyai nilai  $T_m$  yang tinggi dibandingkan dengan nilai  $T_m$  ABS original yaitu sebesar 139.6°C dan 139.72°C. Nilai  $T_m$  pada ABS original 85% + ABS *recycle* 15% dan ABS original 70% + ABS *recycle* 30% tinggi karena yang terdeteksi oleh mesin DSC merupakan  $T_m$  dari pengotor. Nilai  $T_m$  material ABS terdapat pada kurva yang pertama yaitu berkisar 130°C-132 °C. Pada hasil ini relevan pada penelitian yang dilakukan oleh Żenkiewicz et. al., yang mana penambahan material *recycle* menurunkan nilai  $T_m$  tetapi tidak terlalu besar.



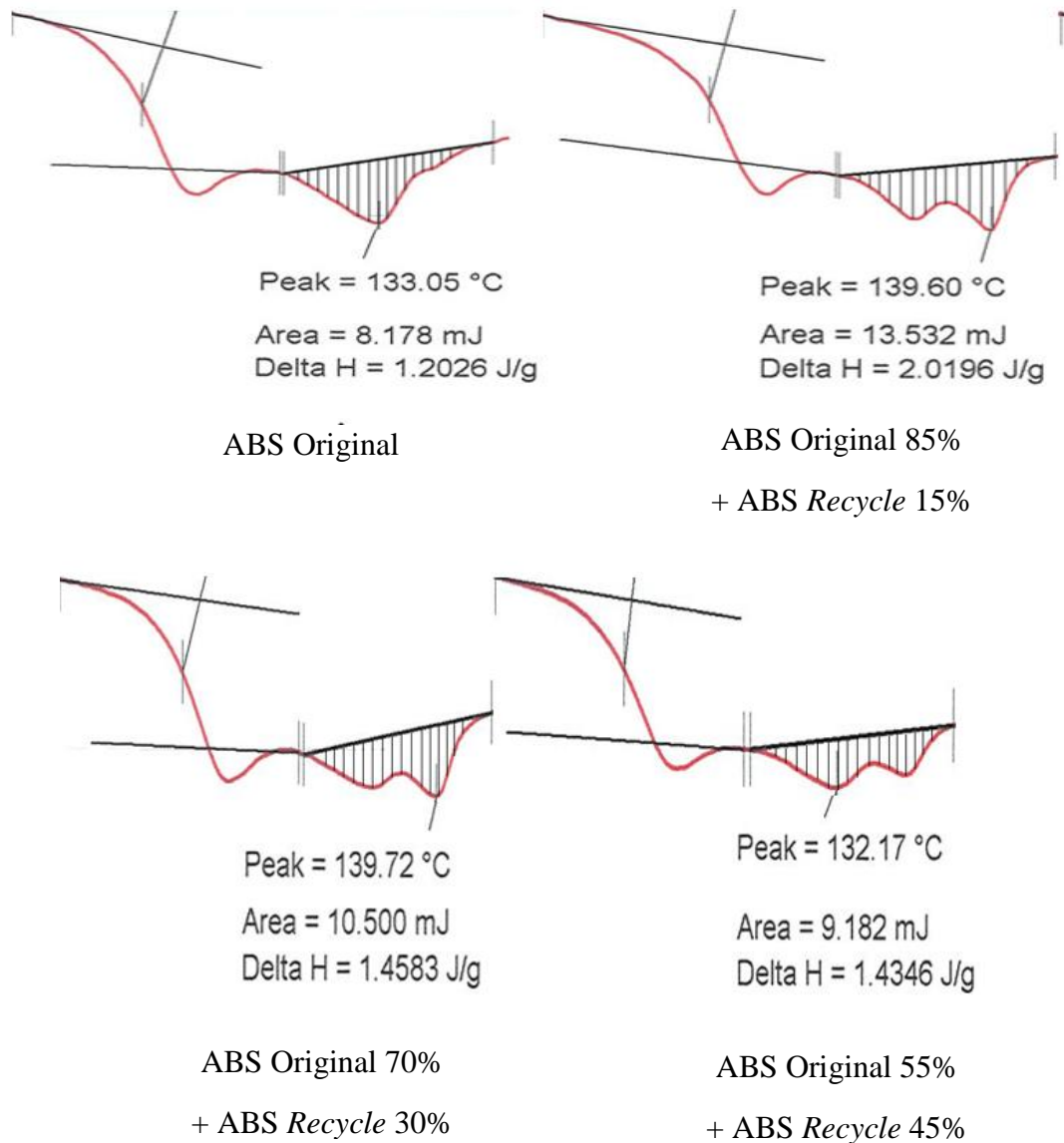
Gambar 4.2.3 Grafik Nilai Area di Bawah Kurva

Interpretasi :

Pada gambar diatas dapat dilihat nilai dari area yang terbentuk dibawah kurva. Nilai area tertinggi berada pada ABS original 85% + ABS *recycle* 15% dengan nilai 13.532 mJ. Nilai area terendah terdapat pada ABS original yaitu dengan nilai 8.178 mJ.

Nilai area ini terbentuk dari energi yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan suatu material sampai material benar-benar terlepas dari ikatan molekulnya, nilai area berbanding lurus dengan nilai  $\Delta H$ . Yang mempengaruhi besar atau kecil nilai area pada suatu material yaitu terdapat pada material penyusunnya dan kuat atau lemahnya ikatan antar molekul pada material tersebut. Semakin kuat ikatan antar molekul maka nilai area akan semakin besar. Semakin besar energi yang dapat diserap oleh material penyusun pada suatu material, ini juga akan menambah

besar nilai dari area. Pada gambar diatas terlihat nilai area pada ABS original yang dicampur dengan ABS *recycle* mempunyai nilai area yang lebih besar daripada nilai area dari ABS original. Dengan demikian, penambahan material ABS *recycle* akan menaikkan nilai dari area.



Gambar 4.2.4 Area di Bawah Kurva

Analisa :

Pada ABS original, area dibawah kurva terbentuk dari satu titik puncak. Kurva ini terbentuk karena material ABS original menyerap energi panas secara konstan. Penyerapan energi panas secara kontan ini terjadi karena pada proses pembentukan material ABS original hanya ada satu bahan yaitu biji plastik ABS original.

Pada ABS original dan ABS *recycle* 15%, 30%, dan 45% Kurva ini terbentuk karena proses penyerapan energi panas terjadi dua kali. Penyerapan panas terjadi dua kali karena pada material ABS campuran terdiri dari dua material penyusun yaitu ABS original dan ABS *recycle*. Penyebab kurva mempunyai dua puncak yaitu disebabkan oleh fenomena bersamaan dari pencairan dan rekristalisasi yang diikuti pelelehan akhir pada suhu yang lebih tinggi. Proses ini merupakan konsekuensi dari distribusi ukuran kristal, dan suhu leleh berbanding lurus dengan ukuran kristal. Pada kurva, puncak yang pertama menunjukkan nilai  $T_m$  dari ABS sedangkan puncak yang kedua merupakan  $T_m$  dari pengotor. Material pengotor ini dapat berupa minyak ataupun sisa  *mold release* yang terdapat pada material *recycle* (Fabri 1997).

Nilai area ini terbentuk dari energi yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan suatu material sampai material benar-benar terlepas dari ikatan molekulnya, nilai area berbanding lurus dengan nilai  $\Delta H$ . Pada material campuran terutama pada perbandingan 15% : 85% dan 30% : 70%, mempunyai nilai area yang besar, ini terjadi karena energi yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan antar molekul pada perbandingan tersebut cukup besar (Fabri, 1997).