

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengujian termal plastik daur ulang dengan plastik original menggunakan metode DSC pada penelitian sebelumnya sudah pernah dilakukan. Pengujiannya yaitu menggunakan sample plastik ABS murni yang dicampur dengan plastik PMMA *regrind* (daur ulang) dengan komposisi ABS : PMMA *regrind* = 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, dan 60 : 40. Pengujian plastik jenis ABS yang dicampur dengan plastik jenis PMMA dengan metode DSC ini diamati pada *glass transition temperature* (T_g). Hasil dari pengamatan T_g pada penelitian ini mendapatkan hasil bahwa pencampuran ABS dengan PMMA *regrind* pada semua perbandingan yaitu ABS dan PMMA *regrind* tidak dapat menyatu karena mempunyai dua T_g . Pada ABS : PMMA *regrind* 90 : 10 didapatkan T_g 107,29° C dan 177,91° C, 80 : 20 didapatkan T_g 111,54° C dan 171,69° C, 70 : 30 didapatkan T_g yaitu 107,34°C dan 173,41°C dan 60 : 40 didapatkan T_g yaitu 105,33°C dan 175,55°C (Roziafanto, 2010).

Pengujian termal material plastik yang lain dengan menggunakan metode DSC adalah pengujian material nanokomposit PVC/LDPE/*flame reterdant* dengan perbandingan 100 : 30 : 30 dan 100 : 20 : 35. Spesimen dibuat dengan mencampurkan semua material dengan perbandingan tertentu, kemudian material tersebut dimasukkan kedalam laboplastomil yang sudah mencapai suhu 215°C dengan putaran 50 rpm, waktu komponding selama 10 menit dan kemudian hasil dari pencampuran dimasukkan kedalam *pelletizing* agar menjadi pellet dan kemudian pellet akan dimasukkan ke mesin hidrolis pres dengan suhu 215 °C dengan waktu 10 menit. Pada pengujian ini telah didapatkan T_m , T_c , dan T_g pada material tersebut. Hasil dari pembacaan metode DSC dengan perbandingan material PVC/LDPE/ *flame reterdant* sebanyak 100 : 30 : 30 yaitu didapatkan T_m 260°C, T_c 250°C, dan T_g 60°C. Hasil dari perbandingan material PVC/LDPE/ *flame reterdant* sebesar 100/20/35 didapatkan T_m , T_c , dan T_g yang sama dengan

perbandingan 100/30/30. Dari pengujian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan *flame retardant* dan pengurangan LDPE tidak mempengaruhi T_m , T_c , dan T_g (Yuniari. 2014).

Pengujian termal plastik menggunakan metode DSC yang selanjutnya yaitu menggunakan sample ABS yang dicampur dengan HIPS dengan perbandingan 50 : 50 untuk dicari T_g nya. Mesin DSC yang digunakan menggunakan Mettler-Toledo 821 (Mettler-Toledo Inc., Schwerzenbach, Switzerland). Berat sample yaitu 6-7 mg. Pemanasan pertama dilakukan dari temperatur 30°C - 120°C pada 5°C min⁻¹ diikuti dengan proses pendinginan dari suhu 120°C - 75°C pada 5°C min⁻¹ untuk menghilangkan *thermal history*, dan diselesaikan dengan pemanasan kedua yaitu dari temperatur 75°C - 120°C. Nilai T_g ditentukan dari proses pemanasan kedua. Pengujian dilakukan pada atmosfer nitrogen. Hasil dari pengujian material ABS/HIPS dengan perbandingan 50 : 50 dengan menggunakan metode DSC didapatkan nilai T_g 106.00°C dan 91.96°C, dari hasil yang telah didapatkan dapat disimpulkan bahwa penggabungan antara ABS dan HIPS dengan perbandingan 50/50% tidak kompatibel karena masih terdapat dua titik T_g (Peydro et al, 2013).

Penelitian yang sudah dilakukan pada saat menguji sifat termal material polimer menggunakan DSC, kebanyakan dari mereka hanya membahas nilai T_g . Seperti yang dilakukan oleh Roziyanto, Yuniari dan Peydro, ketiga peneliti tersebut hanya membahas nilai T_g saja. Simpulan dari ketiga peneliti tersebut sama yaitu sample polimer campuran yang mereka teliti mempunyai dua nilai T_g . Menurut mereka, jika terdapat 2 nilai T_g pada material campuran, berarti material tersebut tidak kompatibel.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Polimer Acrylonitrile Butadiene Styrene

Polimer Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) dengan rumus kimia $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$ merupakan polimer dari keluarga resin serbaguna yang mudah dalam proses produksi. ABS mempunyai ketangguhan, stabilitas dimensi,

dan ketahanan kimia yang baik. Pada produk khusus, ABS juga dapat dibuat transparan, mempunyai efek warna yang unik, ketahanan terhadap termal yang tinggi dan sifat tahan api (Mark, 2005). ABS termasuk kedalam material plastik dengan jenis termoplast, material plastik dengan jenis termoplast ini saat dipanaskan melunak dan meleleh, yang memungkinkan untuk dibentuk. Saat didinginkan kembali ke struktur semula. Siklus dapat dilakukan berulang sehingga material dengan jenis termoplast dapat dilakukan proses daur ulang.

ABS merupakan blok *copolymer* yang terdiri dari 3 monomer yaitu acrylonitrile, butadiene, dan styrene. Proporsi dapat bervariasi dari 15 – 35% acrylonitrile, 5 – 30% butadiene dan 40 – 60% styrene. Acrylonitrile memberikan sifat stabil terhadap panas dan tahan terhadap bahan kimia. Butadiene memberi perbaikan terhadap sifat ketahanan terhadap benturan dan sifat liat. Sedangkan styrene memberikan sifat kaku dan kemudahan sewaktu proses. ABS juga mempunyai beberapa tingkatan yang mempunyai karakterisasi yang berbeda. ABS dengan tingkat mengkilap yang rendah sampai yang tinggi, ketangguhan yang rendah sampai dengan yang tinggi. Berbagai sifat yang lainnya juga dapat diperoleh dengan menambahkan aditif sehingga diperoleh tingkatan ABS yang bersifat menghambat nyala api, tahan panas tinggi, transparan, dan tahan terhadap sinar UV (Roziyanto, 2010).

Material ABS *resin typical toyolac 700 314* digunakan dalam produk otomotif, produk media, produk hiburan dan aplikasi lainnya. Adapun sifat khusus yang dimiliki material ABS *resin typical toyolac 700 314* adalah warna yang konsisten dan stabil, tahan terhadap pelapukan, dapat mempertahankan transparansi terhadap kelembaban dan suhu tinggi, keseimbangan aliran yang baik, berkurangnya berat saat pemanasan, *impact strength* yang baik, dan baik pada kondisi cahaya tinggi (Toray plastics malaysia, 2017).

Material ABS memiliki sifat *higroskopis* dan menyerap kelembaban dalam proporsi kelembaban lingkungan. Kadar air yang terdapat pada resin ABS tergantung pada ukuran *pellet*, bentuk dari resin, kelembaban relatif udara, dan berapa lama waktu penyimpanan resin pada kondisi lembab. Pada resin ABS

toyolac dapat menyerap kelembaban lingkungan sekitar 0,2 ~ 0,3% pada 23°C, RH 50%, dan 0,5 ~ 0,6% pada 40°C, RH 95%. Kandungan kelembaban yang direkomendasikan pada material ABS kurang dari 0,1%, lebih diinginkan adalah 0,05%. Waktu pengeringan yang dianjurkan pada kondisi udara panas pada suhu 80°C selama 3 – 5 jam, atau pada suhu 90°C selama 2 – 4 jam (Toray plastics malaysia, 2017) .

Temperatur leleh resin ABS ini antara 230°C - 250°C, temperatur leleh ini harus sering diperiksa dan dikontrol agar tidak melebihi suhu yang telah direkomendasikan. Pengontrolan temperatur leleh bertujuan untuk mencegah terjadinya cacat penampilan dan sifat mekanik pada sebuah produk plastik yang dihasilkan. Berikut ini adalah karakteristik resin *acrylonitriell butadiene styrene* (ABS) *toyolac* tipe 700 341 (Toray plastics malaysia, 2017).

Tabel 2.1 Data Sheet Material dari ABS produksi TORAY

 Innovation by Chemistry		ABS Resin 		
TYPICAL PROPERTIES OF TOYOLAC 700 314				
Typical Properties	Test Method	Test Conditions	SI Unit	Typical Value
Physical				
Specific Gravity	ASTM D792		-	1.05
Water Absorption	ASTM D570	23°C x 24 hours	%	0.3
Mould Shrinkage	ASTM D955		%	0.4 - 0.6
Rheological				
Melt Flow Rate	ISO 1133	220°C / 10 kg	g/10 min	25
Mechanical				
Tensile stress at yield	ASTM D638	at 5 mm/min	MPa	49
Tensile strain at break	ASTM D638	at 5 mm/min	%	35
Flexural Strength	ASTM D790	at 3 mm/min	MPa	76
Flexural Modulus	ASTM D790	at 3 mm/min	MPa	2450
Rockwell Hardness	ASTM D785	R scale	-	116
Impact				
Izod Impact Strength, notched	ASTM D256	12.7 x 62.5 x 12.7 ^{mm} (23°C)	J/m	196
	ASTM D256	12.7 x 62.5 x 12.7 ^{mm} (0°C)	J/m	108
	ASTM D256	12.7 x 62.5 x 12.7 ^{mm} (-30°C)	J/m	80
Izod Impact Strength, notched	ASTM D256	12.7 x 62.5 x 3.2 ^{mm} (23°C)	J/m	212
	ASTM D256	12.7 x 62.5 x 3.2 ^{mm} (0°C)	J/m	157
	ASTM D256	12.7 x 62.5 x 3.2 ^{mm} (-30°C)	J/m	118
Thermal				
HDT (Unannealed) 127 x 12.7 x 12.7 ^{mm}	ASTM D648	1.82 MPa Loading, 18.56 kg/cm ²	°C	92
HDT (Unannealed) 127 x 12.7 x 6.4 ^{mm}	ASTM D648	1.82 MPa Loading, 18.56 kg/cm ²	°C	87
Thermal Conductivity	ASTM C177		W/K.m	0.15
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ASTM D696		mm/mm°C	7.1 x 10 ⁻⁵
Flammability				
Flammability	UL 94		-	HB
Electrical				
Specific Surface Resistivity	ASTM D257	at 23°C	ohm	>10 ¹⁶
Specific Volume Resistivity	ASTM D257	at 23°C	ohm.cm	>10 ¹⁶
Dielectric Strength	ASTM D149	Short Time	KV/mm	23
Dielectric Constant	ASTM D150	1000 Hz	-	3.1
Power Factor	ASTM D150	1000 Hz	-	6.1 X 10 ⁻³

Tabel 2.2 Sifat Material *Recycle* ABS TORAY (Toray, 2017)

	Units	"TOYOLAC" 700 -314				Test Method
Blend ratio of recycle material		0%	10%	30%	50%	
Tensile Strength at Yield	MPa Kg/cm ²	50 510	50 510	50 510	51 520	ASTM D 638
Tensile Elongation at Break	%	35	33	32	28	
Flexural Strength	MPa Kg/cm ²	76 770	76 770	76 770	77 780	ASTM D 790
Flexural Modulus	MPa Kg/cm ²	2,450 25,000	2,450 25,000	2,480 25,300	2,520 25,800	
Izod Impact Strength						ASTM D 256
12.7mmt, V-notched, 23°C	J/m Kgcm/cm	186 19	186 19	186 19	176 18	
3.2mmt, V-notched, 23 °C	J/m Kgcm/cm	196 20	196 20	196 20	186 19	
Distortion Temp. under Load 6.4mmt, 1.82MPa Loading	°C	87	87	87	86	ASTM D 648
Melt Flow Rate 220°C , 98N	g/10m	23	23	24	24	ISO 1133
Specific Gravity	-	1.05	1.05	1.05	1.05	ASTM D 792

2.2.2 Sifat Termal Polimer

Bahan analisa dari sifat-sifat polimer dapat mengambil referensi dari (T_m) dan (T_g), karena *melting temperature* dan *glass transition temperature* sangat khas untuk setiap polimer dapat dilihat pada Tabel 2.3. *Melting temperature* dan *glass transition temperature* bersifat endotermik. *Glass transition temperature* sangat bergantung dari kondisi proses dan struktur molekul kimia polimer tersebut dan biasanya digunakan alat uji DSC untuk menganalisa karakteristik termalnya.

Analisis termal didefinisikan oleh *International Confederation of Thermal Analysis and Calorimetry* (ICTAC) (1,2) sebagai "sekelompok teknik di mana sebuah sampel dimonitor terhadap waktu atau suhu saat suhu sampel diatur dalam suasana tertentu". Dalam prakteknya, suhu dari oven yang berisi sampel sebenarnya diatur, sedangkan suhu sampel dalam beberapa kasus mungkin berbeda dari suhu

yang sudah diatur. Eksotermis atau reaksi endotermik atau reaksi fase transisi dalam sampel endotermik mengalami variasi suhu yang sudah diatur dapat menyebabkan variasi dalam suhu antara sampel dan oven hingga beberapa derajat. Analisa termal dapat dicari dengan beberapa metode yang dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.3 Nilai Tg dan Tm (Mustofa, 2016)

Molecular Arrangement	Plastic Polymer	Tg (°C)	Tm (°C)
Semi-crystalline	Polypropylene (PP)	-10	175
Semi-crystalline	High density polyethylene (HDPE)	-125	135
Amorphous	Polystyrene (PS)	100	No true Tm. Gradually softens until melt
Amorphous	Polycarbonate (PC)	150	No true Tm. Gradually softens until melt
Semi-crystalline	Polyamide 6 (PA 6)	50	215
Semi-crystalline	<u>Polyetheretherketone (PEEK)</u>	145	335
Amorphous	<u>Polyetherimide (PEI)</u>	218	No true Tm. Gradually softens until melt
Amorphous	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	110	No true Tm. Gradually softens until melt

Tabel 2.4 Metode Analisa Termal (Mark, 2005)

Property	Technique	Acronym
Mass	Thermogravimetry	TGA, TG
Apparent mass ^b	Thermomagnetometry	TM
Volatiles	Evolved gas detection	EGD
	Evolved gas analysis	EGA
	Thermal desorption	
Radioactive decay	Emanation thermal analysis	ETA
Temperature	Differential thermal analysis	DTA
Heat ^c or heat flux ^d	Differential scanning calorimetry	DSC
Dimensions	Thermodilatometry	TD
Mechanical properties	Thermomechanical analysis	TMA
	Dynamic mechanical analysis	DMA, DMTA
Acoustical properties	Thermosonimetry (emission)	TS
Electrical properties	Thermoacoustimetry (velocity)	
	Thermoelectometry (resistance)	DETA, DEA
	(voltage) (current) (dielectric)	
Optical properties	Thermooptometry (spectroscopy) ^e	TPA
	Thermoluminescence (emission)	
	Thermomicroscopy (structure) Thermoparticulate analysis	

^aFrom Ref. 3.

^bChange induced by an imposed magnetic field gradient.

^cPower-compensated DSC.

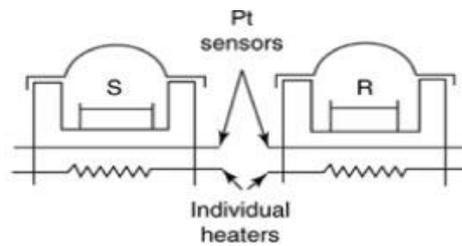
^dHeat flux DSC.

^eAbsorption, fluorescence, Raman, etc. Nonoptical forms of spectroscopy, eg, NMR, ESR, Mössbauer, etc, are also applicable.

2.2.3 Differential Scanning Calorimetry

Differential Scanning Calorimetry (DSC) dibangun dan diperkenalkan pada tahun 1964 sebagai analisa termal. Pada dasarnya ada dua macam metode DSC yaitu *power compensation DSC* dan *Heat flux mode*.

Menurut Mark (2005), konsep pengoperasian *Power Compensation DSC* didasarkan pada menjaga suhu pada R dan S yang sama (R dan S nama sampel pada Gambar 2.2). Skema dari *Power Compensation DSC* dapat dilihat pada Gambar 2.2. Hal ini dicapai dengan menempatkan sensor suhu kedalam penghubung rangkaian. Setiap perubahan suhu baik sampel atau referensi segera diimbangi dengan jumlah yang setara dengan aliran yang diperlukan untuk mendorong pemanas untuk menjaga pada suhu yang sama. Dengan demikian, integral dari input daya selama transisi atau perubahan kapasitas panas adalah sama dengan perbedaan energi (ΔH) yang dipasok ke sampel atau referensi selama waktu tertentu. Hal ini akan menjadi endotermik atau eksotermik tergantung pada saat perjalanan ke sampel atau panci referensi, masing masing. Puncak yang menunjuk kebawah dinamakan eksotermik dan puncak yang menunjuk ke atas dinamakan



endotermik. Gambar 2.1 Skematik dari instrumen *power compensation* DSC. (Mark, 2005)

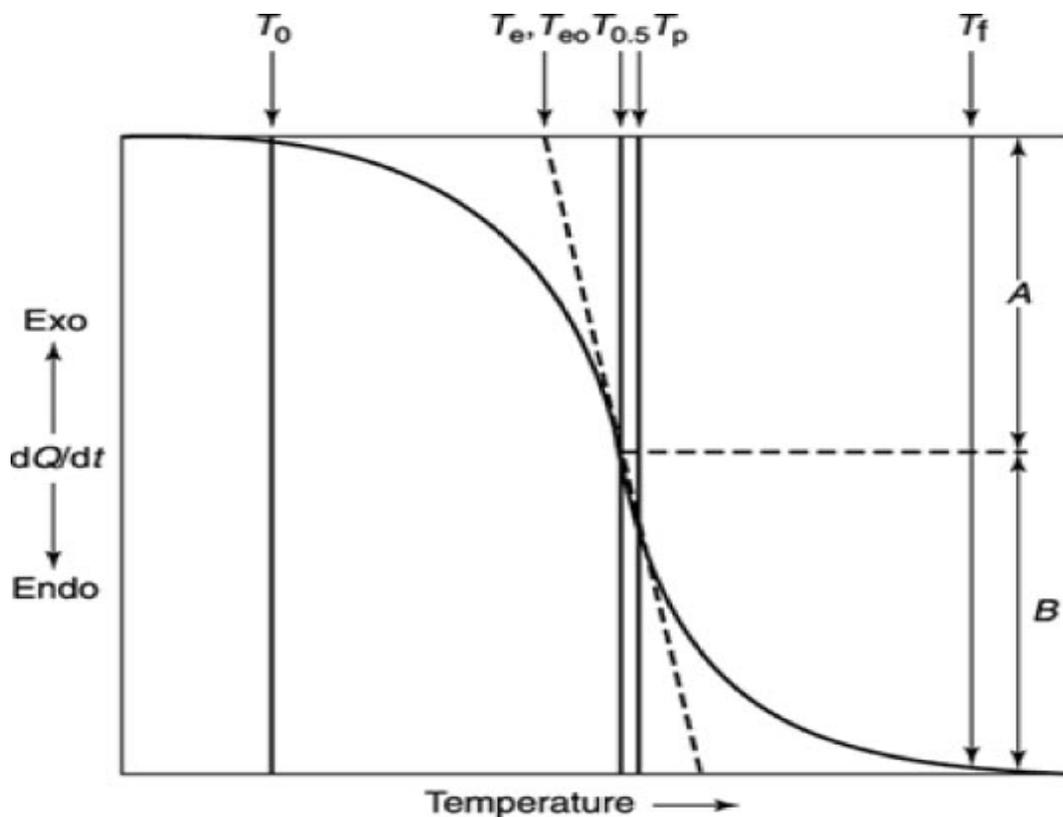
Tipe yang kedua dari DSC yaitu metode *Heat Flux*, metode ini yaitu mirip dengan DTA yang menghasilkan sinyal ΔT . Cara pengoperasiannya yaitu menghubungkan perangkat keras ke perangkat lunak, dengan hati-hati keduanya dihubungkan kedalam sistem, secara kualitatif mengkonversi dari ΔT ke ΔH dan mengkompensasi kekurangan lainnya yaitu berupa rugi-rugi aliran termal dan sensitifitas dari sensor (Mark, 2005).

Prinsip dasar dari analisa DSC adalah ketika sampel mengalami perubahan fisik seperti transisi fase, diperlukan perubahan panas yang mengalir dari referensi dan sampel untuk mempertahankan suhu referensi dan sampel agar tetap sama. Proses eksotermik atau endotermik yaitu tergantung pada lebih atau kurangnya panas yang harus mengalir ke sample. Misalnya, sampel padat yang bertransisi menuju fase cair, akan memerlukan lebih banyak panas, karena panas yang mengalir ke sampel untuk meningkatkan suhu pada tingkat yang sama sebagai referensi diserap oleh sample, ini merupakan proses endotermik karena membutuhkan banyak panas. Proses eksotermik yaitu proses pengeluaran energi panas dari sample. Efek termal berbentuk puncak, ditandai dengan perubahan entalpi dan kisaran temperatur. Contoh efek termal adalah: meleleh, kristalisasi, transisi padat-padat, reaksi kimia

a. *Glass Transition Temperature* (T_g)

Glass transition temperature (T_g) merupakan karakteristik penting dari bahan amorfus dan semikristalin, T_g adalah properti yang sangat penting dari banyak polimer umum. Pada suhu di bawah T_g , polimer amorfus dan semikristalin

cenderung keras dan rapuh karena rantai polimer terkunci dalam posisi yang tidak beraturan dan melingkar. Di atas temperatur T_g , polimer melepaskan sifat-sifat gelas yang kaku dan cenderung menjadi lebih elastis. Umumnya titik T_g bergantung pada pengolahan material, begitu pula karakteristik alami material seperti struktur, ikatan, dan berat molekul. Karena dibutuhkan energi untuk melepaskan ikatan ini, transisi gelas muncul pada kurva DSC sebagai proses endotermik. Pada termogram DSC, T_g dapat ditemukan dengan penurunan permanen pada aliran panas awal, dan T_g biasanya diambil sebagai titik belok pada kurva (Hutapea, 2008).



Gambar 2.2 Kurva aliran panas dengan suhu di daerah T_g polimer: Untuk, suhu awal dari garis dasar; T_e atau T_{eo} , memotong suhu garis dasar ekstrapolasi dan bersinggungan dengan garis menurun; $T_{0.5}$, suhu transisi 50% ($A = B$); T_p , suhu kemiringan maksimum (peak of derivative plot). (Mark, 2005).

Untuk menentukan nilai T_g , tentukan suhu "onset" terlebih dahulu. Suhu onset dapat dicari dengan menentukan di mana titik yang pertama terjadi penyimpangan dari garis dasar pada sisi suhu rendah diamati. Sangat Subjektif

dan seringkali sulit ditentukan karena kemiringan garis dasar itu tidak bisa diulang T_e atau T_{e0} (onset ekstrapolasi, juga disebut suhu fiktif) adalah suhu di persimpangan garis dasar ekstrapolasi dan garis singgung yang diambil pada titik kemiringan maksimum. Hal ini umumnya dapat diulang dan merupakan nilai yang paling banyak dikutip dalam banyak publikasi awal tentang metode termal. $T_{0.5}$, endoterm setengah tinggi atau disebut setengah perubahan menjadi *glass* adalah suhu yang disukai dalam beberapa tahun terakhir untuk menentukan T_g . Fitur autoanalisis yang tersedia dengan semua peralatan analisis termal modern membuat penentuan ini mudah dan dapat diulangi. Ini memiliki kemampuan pengulangan yang lebih baik daripada metode ekstrapolasi dan menempatkan suhu dimana transisi termal hampir mencapai titik belok. ASTM E1356 dan ASTM D3418 merekomendasikan baik T_e atau $T_{0.5}$ untuk menentukan T_g (Mark, 2005)

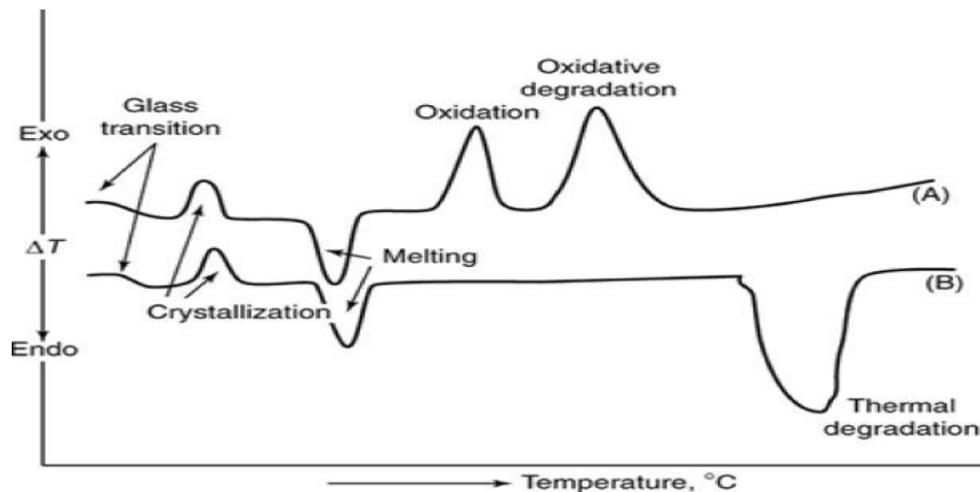
b. *Temperature Crystallization* (T_c)

Temperatur kristalisasi (T_c) adalah transisi penting lainnya yang terjadi pada beberapa bahan polimer. Pada suhu kristalisasi, polimer kehilangan susunan rantai acaknya, bentuk ikatan antarmolekul, dan molekul polimer menjadi lebih teratur. Pembentukan ikatan selama kristalisasi adalah proses eksotermik, sehingga terjadi peningkatan aliran panas (puncak pada kurva DSC) menyertai proses kristalisasi. Umumnya, T_c ditemukan dengan menemukan titik awal kurva kristalisasi (www.perkinelmer.com, 2017).

c. *Melting Temperature* (T_m)

Peleburan terjadi saat material berubah fasa dari padatan menjadi cairan. Ketika sebuah bahan mulai meleleh, ikatan antar molekulnya menyerap energi dan mulai melonggarkan dan pecah. Karena pencairan melibatkan penyerapan energi, ini adalah proses endotermik dan muncul pada kurva DSC sebagai penurunan aliran panas yang besar dan sementara. Setelah material benar-benar meleleh, aliran panas kembali ke nilai awal aslinya. Nilai T_m didapatkan langsung oleh software yang terkoneksi dengan mesin DSC. Secara otomatis nilai T_m akan

muncul ketika pengujian sampe telah selesai. Kondisi peleburan pada logam dan organik berada pada awal kurva *melting temperatur* sedangkan untuk polimer peleburan berada pada *melting peak temperature*. (<https://polymerscience.physik.hu-berlin.de/docs/manuals/DSC.pdf>, 2017).



Gambar 2.3 Skematik kurva DSC yang menunjukkan transisi dan reaksi yang berbeda dari polimer, mulai dari suhu rendah menuju suhu yang lebih tinggi. A menggunakan oksigen, B menggunakan nitrogen (Mark, 2005).

Tabel 2.5 Fungsi Tg, Tm dan Cp (<https://www.perkinelmer.com> , 2017)

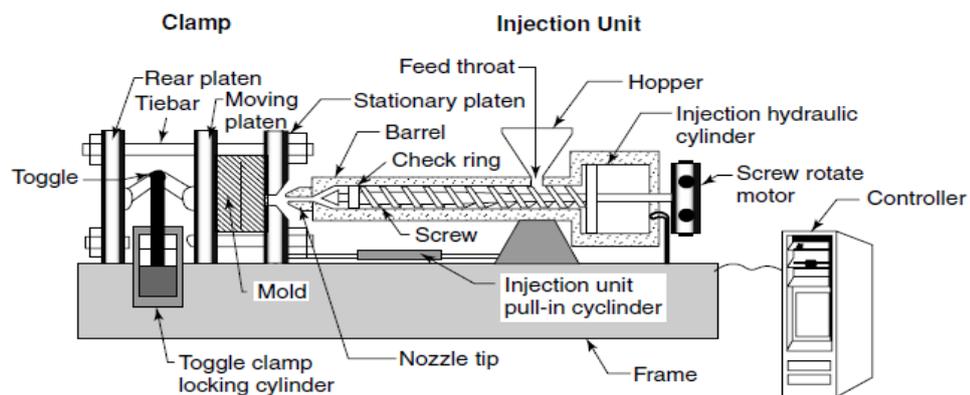
Industry	Transitions	Purpose
Polymers	Tg	Indicator of material properties, QC, effect of additives
	Tm	Polymer processing, heat history
	Exotherm	Reactions rate, curing of materials, residual cure
	Cp	Energy needed to process
	Tc	Recrystallization times, kinetics

2.2.4 Injection Molding

Injection molding adalah metode pembentukan material termoplastik yang mana material dilelehkan di dalam barrel dengan memasang pita pemanas dinding barrel dan akibat gesekan dari material itu sendiri, kemudian diinjeksikan oleh *plunger* ke dalam cetakan yang kemudian didinginkan dengan menggunakan air

ataupun oli, selanjutnya material dikeluarkan dengan cara didorong menggunakan *ejector* yang terdapat didalam sistem. Meskipun banyak variasi dari proses dasar ini, 90% *injection molding* adalah memproses material termoplastik. Teknik *injection molding* banyak diterapkan pada proses pembentukan plastik karena teknik ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya yaitu prosesnya yang cepat antara 10-30 detik sudah dapat mengeluarkan produk, menghasilkan produk yang tidak membutuhkan pengerjaan lanjutan.

Pada umumnya mesin *injection molding* terbagi menjadi 2 bagian yaitu bagian *injection unit* dan *clamping unit*. Bagian-bagian pada *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada bagian *injection unit* terjadi proses pemasukan bahan baku material berupa biji plastik, pencairan, dan kemudian diinjeksikan kedalam cetakan. Pada bagian *clamping unit* akan terjadi proses buka dan tutup cetakan yang dilanjutkan proses ejeksi.



Gambar 2.4 Skema mesin injection molding (Mark, 2005).

Proses pada teknik *injection molding* secara umum terdapat 5 urutan langkah yang dapat dilihat pada Gambar 2.11. Urutannya adalah

1. Mold close

Dalam 1 siklus kerja proses injeksi, diawali oleh proses menutup cetakan. Istilah *Mold* dalam dunia injeksi plastik adalah cetakan untuk proses injeksi plastik. *Mold* itu sendiri terdiri dari 2 bagian besar yaitu sisi “*Core*” dan sisi “*Cavity*”. Sisi *Cavity* diikat pada “*Stationery Platen*” Mesin Injeksi. Sedangkan sisi *Core* diikat pada “*Moving Platen*” mesin, bagian inilah yang bergerak membuka dan menutup.

1. *Fill Injection*

Setelah dipastikan mold tertutup dengan tekanan tinggi, maka bagian *injection unit* akan bekerja, nozzle akan maju sampai menyentuh bagian *sprue bush* kemudian material plastik yang sudah dipanaskan didalam barel akan diinjeksikan kedalam cetakan dengan tekanan tertentu dan dengan berbagai parameter tertentu yang dapat diatur pada mesin tersebut

2. *Holding*

Penyempurnaan hasil produk berada pada bagian proses ini. Sengaja harus dibuat seperti itu agar pada proses penyempurnaan nantinya hanya akan membutuhkan nilai yang benar-benar efisien. Pada proses ini tidak lagi melibatkan kecepatan di dalam setting parameternya, hanya besaran tekanan yang kita atur beserta waktu yang kita butuhkan untuk itu

3. *Charging Dan Cooling*

Isi ulang (*charging*) adalah proses memasukkan biji plastik yang terdapat pada bagian hopper kedalam barrel dengan bantuan screw yang diputar dengan menggunakan motor dengan arah dan kecepatan yang telah ditentukan. Sedangkan pendinginan (*cooling*) adalah proses pendinginan material yang terdapat didalam cetakan sehingga material akan mengeras.

Waktu pendinginan diatur lebih lama daripada waktu isi ulang, hal ini dimaksudkan agar material tidak tumpah dari *nozzle* ketika cetakan terbuka pada proses berikutnya.

4. *Mold open*

Pada tahap ini cetakan akan membuka, bagian core akan bergerak kebelakang menjauhi bagian cavity. Setelah core pada jarak jauh maksimal yang telah ditentukan, ejektor akan bergerak maju dan mendorong produk sehingga produk akan dikeluarkan dari cetakan. Ini merupakan langkah terakhir dari proses *injection molding*