

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Menurut *American Standard for Testing and Material D 1238 – 04* (ASTM D 1238 – 04), terdapat 2 prosedur dalam melaksanakan pengujian *Melt Flow Rate* (MFR) yaitu prosedur A, dan B. Prosedur A adalah operasi pemotongan sampel secara manual berdasarkan waktu yang digunakan kecepatan alir plastik melawati die, umumnya kecepatan alirnya berada diantara 0,50 sampai 50 g/10 menit. Prosedur B pengukur kecepatan alir dengan menggunakan waktu otomatis, pengukuran ini digunakan untuk material yang mempunyai kecepatan alir antara 0.50 sampai 900 g/10 menit. Dari kedua prosedur, piston menempuh jarak yang sama pada saat pengukuran yaitu antara 46 mm sampai 20.6 mm diatas *die*.

Menurut ASTM D 1238 – 10, terdapat 4 prosedur dalam melaksanakan pengujian *Melt Flow Rate* (MFR) yaitu prosedur A, B, C dan D. Prosedur A digunakan untuk menentukan *Melt Flow Rate* (MFR) dari material termoplastik. Hasil dari pengukuran tersebut adalah gram material /10 menit. Itu berdasarkan pengukuran massa material yang terekstrusi dari *die* dengan jangka waktu tertentu. Umumnya digunakan untuk material yang mempunyai kecepatan alir diantara 0.15 dan 50 g/10 menit. Prosedur B adalah pengukuran waktu otomatis untuk menentukan *Melt Flow Rate* (MFR) dan *Melt Volume Rate* (MVR) dari material termoplastik. Pengukuran MFR menggunakan prosedur B dilaporkan dalam g/10 menit, pengukuran MVR dilaporkan dalam centimeter kubik/10 menit ($\text{cm}^3/10$ menit). Pengukuran prosedur B berdasarkan penentuan dari volume material yang terekstrusi dari *die* dalam jangka waktu tertentu. Volume dikonversi ke perhitungan massa dari perkalian hasil dari nilai *melt density* material. Prosedur ini umumnya digunakan untuk kecepatan alir dari 0.50 sampai 1500 g/10 menit. Prosedur C adalah pengukuran waktu otomatis untuk menentukan *Melt Flow Rate* (MFR) dari material *polyolefin*. Pengujian ini umumnya digunakan untuk kecepatan alir yang lebih tinggi dari 75 g/10 menit. Prosedur C menggunakan *die*

yang dimodifikasi, biasanya berhubungan dengan “*half-die*”, dimana tinggi dan diameter dalam *die* menggunakan setengah dari ukuran standar dari prosedur A dan B. Cara pengujian sama seperti pengujian B, tetapi hasil yang didapat dari prosedur C tidak dapat di asumsikan dari setengah hasil pengujian prosedur B. Prosedur C adalah pengujian beban ganda (*multy-wight test*) yang berhubungan dengan *Flow Rate Ratio* (FRR). Prosedur D dirancang untuk dapat menentukan MFR menggunakan dua beban atau tiga beban yang berbeda (termasuk peningkatan atau penurunan beban pada saat pengujian) dalam sebuah material. FRR didapat dari membagi MFR pada hasil pengujian tertinggi yang dilakukan pada saat pengujian beban paling rendah. Hasil pengujian *multy-weight test* tidak bisa langsung dibandingkan dengan hasil prosedur A dan B.

Menurut ISO 1133 : 1997, *Melt Flow Rate* (MFR) dan *Melt Volume Rate* (MVR) dari material termoplastik dibawah kondisi temperatur dan beban yang ditentukan. MFR dan MVR dari material termoplastik tergantung dari nilai pemotongan. Nilai pemotongan pengujian ini lebih kecil dari penggunaan dibawah kondisi fabrikasi normal, dan kemungkinan data yang didapat dari metode untuk material termoplastik yang bervariasi tidak saling berhubungan dengan penggunaannya. Kedua metode tersebut berguna untuk kontrol kualitas. Metode pertama atau metode A dapat mencari nilai MFR. Nilai MFR didapat dari meleburkan 3 g sampai 8 g sampel di dalam tabung silinder. Sebelum melakukan pengujian, tabung silinder dipanaskan terlebih dahulu (*preheating*) selama 4 menit. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam tabung silinder dan ditekan menggunakan piston dengan beban yang sudah ditentukan. Sampel yang sudah melebur akan terekstrusi melalui *die*. Hasil ekstrusi tersebut dipotong dengan panjang 10 mm dan dalam interval waktu yang sudah ditentukan. Hentikan proses pemotongan ketika tanda bagian atas piston sudah sampai bagian atas tabung silinder. Hitung rata-rata massa sampel yang sudah dipotong, jika perbedaan antara massa maksimum dan massa minimum melebihi 15 % dari rata-rata maka perlu dilakukan pengujian ulang dengan sampel baru. Rata-rata massa selanjutnya dimasukkan dalam persamaan untuk mencari nilai MFR dengan hasil gram per 10 menit. Metode kedua atau Metode B digunakan untuk mencari nilai MVR. Untuk

massa sampel yang digunakan dan proses *preheating*, caranya sama dengan pengujian MFR. Nilai MVR ditentukan dengan prinsip mengukur perpindahan jarak piston dalam waktu yang sudah ditentukan. Pada saat tanda bagian atas piston sudah sejajar dengan bagian atas tabung silinder, pengukuran dimulai. Ukur jarak perpindahan piston pada waktu yang sudah ditentukan. Selanjutnya masukkan kedalam persamaan sehingga didapat nilai MVR dalam centimeter kubik per 10 menit.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Moseley, dkk (2011) dalam pengujian *Melt Flow Rate* (MFR) tentang “*Reliability Study of thermoplastic Encapsulation Materials in Photovoltaic Modules*”. Pada pengujian ini digunakan material *ethylene-co-vinyl acetate* (EVA), *polyvinyl butyral* (PVB), *thermoplastic polyurethane* (TPU) dan tiga *thermoplastic polyolefins*, “PO1”, “PO3” dan “PO4”. Pengujian yang dilakukan adalah membandingkan analisis teori sebelumnya dengan eksperimen *Melt Flow Rate* (MFR) data untuk termoplastik yang sama. Sebelum digunakan, *melt flow indexer* dipanaskan terlebih dahulu selama 15 menit. Beban akan di masukkan setelah 5 menit material mencair didalam tabung. Pemotongan hasil ekstrusi dilakukan secara manual dengan hasil tinggi 10 – 20 mm. Selama membersihkan piston, tabung, dan *die* dengan kain katun dan pembersih pipa untuk bagian dalam *die*. Seringkali menaikkan temperatur alat dari 125°C sampai 185°C untuk memudahkan proses pembersihan. Beban terberat juga (19,46kg) juga dimasukkan untuk membersihkan alat. Untuk meminimalisir kemungkinan material *cross – contamination*, masing-masing pengujian dilakukan dengan sebuah material dalam berbagai variasi temperatur. Permasalahan pada pengukuran MFR adalah tekanan yang tidak konsisten pada saat pengujian, tabung, piston atau *die* dalam keadaan kotor, variasi potongan pada saat terekstrusi, pemakaian piston dan *die* dan variasi temperatur yang digunakan. Hasil tes dari EVA dengan temperatur 125°C dan beban 2.17 kg menghasilkan ukuran yang berbeda-beda. Hasil pengujian MFR berkisar antara 5.19 – 5.37 g/10 menit dengan standar deviasi 0.07 g/10 menit. Selama 37 hari pengujian EVA, *creep displacement* (~2,3 mm) pada modul Mesa lebih besar dari pada modul Golden (0,21 mm). Pada pengujian

MFR dengan beban 9,91 kg dan pada temperatur 105°C hasilnya adalah 24 g/10 menit. Sedangkan untuk PO1, pengujian dilakukan dengan menggunakan beban 9,91 kg dan pada temperatur 105°C hasilnya adalah 1,9 g/ 10 menit.

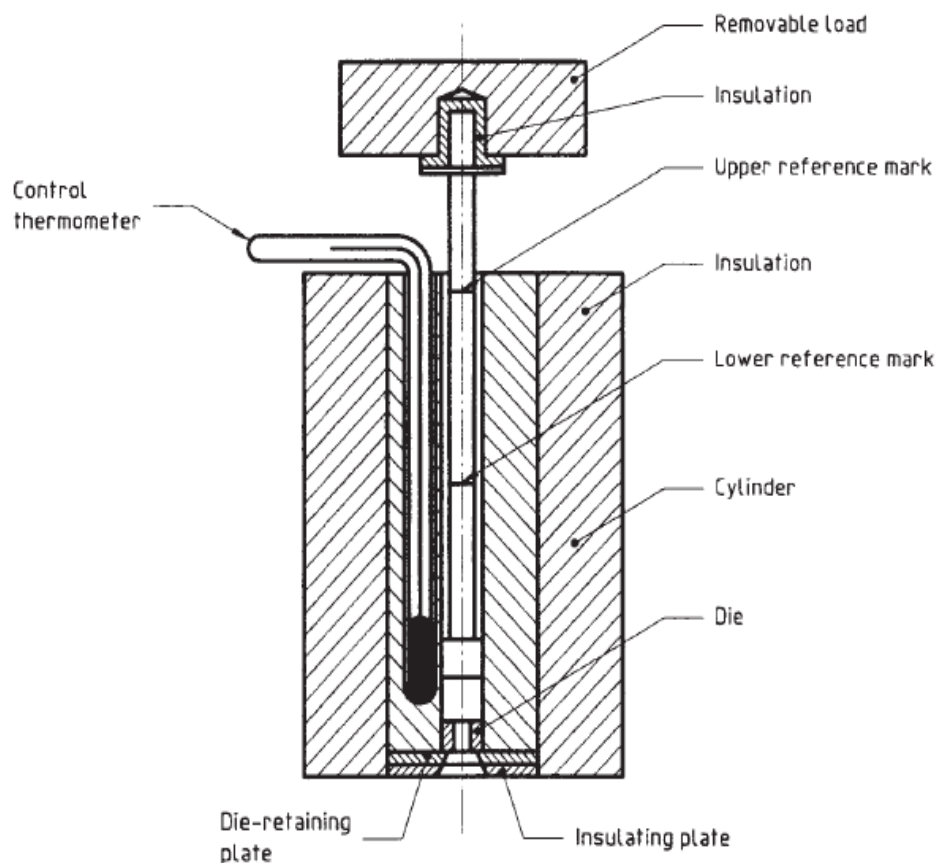
Menurut penelitian Wezcka dkk (2013) mengenai aplikasi alat *melt flow indexer* dalam judul penelitian “*Determining the Melt Flow Index of Polypropylene : Vistalon 404*”. Pada pengujian ini dijelaskan bahwa salah satu yang dibutuhkan untuk mengontrol kualitas termoplastik dapat ditentukan dari volume dan laju aliran massa. Untuk memastikan kualitas produk, industri yang menggunakan produk daur ulang bahan termoplastik perlu mengontrol volume dan laju aliran massa. *Melt flow indexer* dapat digunakan untuk menentukan *Melt Flow Rate* (MFR) dan *Melt Volume Rate* (MVR). Pengetahuan tentang kualitas material yang dikenalkan kedalam industri manufaktur membuat lebih mudahnya dalam memilih parameter proses (khususnya pada *injection molding* dan *extrusion*), mengurangi waktu produksi dan meminimalisir biaya persiapan produksi. Pada saat pengujian dengan temperatur 170°C, waktu material mengalir melalui *orifice* cukup panjang dan pada saat ditambahkan beban 2,16 kg terdapat buih (*bubble*) pada material. Sampel *polypropylene:Vistalon 404* pada suhu 180°C dan dengan beban 0,325 kg memiliki nilai *topography* paling banyak pada permukaannya. Nilai MFR dari *Polypropylene : Vistalon 404* adalah 1.234 g / 10 menit, sedangkan nilai MVRnya adalah 1.67 cm³/ 10 menit. Untuk mendapatkan bentuk maksimal, waktu dan biaya produksi, dianjurkan mempersiapkan material pada temperatur *molding* 175°C.

2.2.Dasar Teori

2.2.1. *Melt Flow Indexer*

Melt Flow Indexer atau *Melt Flow Index Tester* memanfaatkan pemanasan induksi magnetis dan sistem ekstrusi. Alat ini terdiri dari rangkaian piston dan tabung silinder yang dipanaskan untuk diisi sampel. Beban tertentu akan diberikan pada piston, dan lelehan sampel keluar melalui *die* kapiler berdimensi tertentu (Darojat, 2008)

Melt flow indexer adalah pengujian yang meliputi penentuan kecepatan ekstrusi dari resin termoplastik cair menggunakan ekstrusi plastomer. Setelah melakukan pemanasan terlebih dahulu (*preheating*) dengan waktu yang ditentukan, resin akan terekstrusi melewati die dengan panjang yang spesifik, dan diameter *orifice* berdasarkan kondisi temperatur yang sudah ditentukan, serta beban dan piston diatas diameter silinder. Pengujian tersebut dapat mengetahui nilai dari *Melt Flow Rate* (MFR), *Melt Volume Rate* (MVR) dan *Flow Rate Ratio* (FRR). Nilai-nilai tersebut digunakan untuk mengetahui kualitas dari suatu barang yang berbahan dasar material termoplastik (Moseley dkk, 2011; ASTM D 1238 - 04) .



Gambar 2.1 *Melt flow indexer*
(EN ISO 1133:1997)

Melt Flow Indexer (Gambar 2.1) bekerja memanfaatkan prinsip kerja *extrusion plastometer* yang beroperasi pada temperatur tetap. Material termoplastik akan dilebur di dalam tabung vertikal, hasil leburan tersebut tertekan oleh piston dan terekstrusi menjadi pelet yang selanjutnya digunakan untuk mencari nilai MFR, MVR dan FRR. Adapun bagian-bagian secara umum *Melt Flow Indexer* menurut EN ISO 1133:2005 seperti pada Gambar 2.1 adalah sebagai berikut.

a. Tabung

Tabung diletakkan secara vertikal dan tidak bergerak (*fixed*). Tabung harus terbuat dari material yang tahan lama, anti korosi, dan tahan terhadap temperatur maksimum sistem pemanasan, serta harus tidak berpengaruh terhadap sampel pengujian. Tinggi tabung harus diantara 115 mm sampai 180 mm dengan diameter dalam 0,025 mm sampai 9,550 mm. Tabung tempat sampel harus terisolasi untuk menjaga temperatur saat pengujian. Material isolasi dapat menggunakan fiber keramik (Al_2O_3) atau material lain yang cocok digunakan dengan tujuan untuk menghindari sampel melekat pada dinding tabung pada saat proses ekstrusi.

b. Piston

Piston mempunyai tinggi yang sama dengan tabung yang digunakan yaitu antara 115 mm sampai 180 mm. Kepala piston harus mempunyai panjang 0,1 mm sampai 6,35 mm dan diameternya harus kurang dari diameter dalam tabung. Selisih antara kepala piston dan diameter dalam tabung sebesar 0.01 mm sampai 0.075 mm. Diameter piston harus sebesar 9 mm. Di bagian atas terdapat kancing untuk mempermudah meletakkan beban, tetapi piston harus terisolasi dari beban. Pada tangkai piston, terdapat dua tanda yang masing-masing berjarak 30 mm dari atas piston dan 20 mm dari kepala piston. Piston dan tabung harus terbuat dari material yang mempunyai nilai kekerasan berbeda, dengan tabung lebih keras daripada piston. Piston dapat berbentuk

pejal atau berongga. Piston pejal digunakan pada saat pengujian dengan beban tinggi, sedangkan pada saat menggunakan beban terendah piston berongga sangat direkomendasikan.

c. *Temperature control system*

Temperature control system harus mempunyai kemampuan untuk memanaskan dan menjaga temperatur di dalam tabung silinder dengan persyaratan yang sudah ditentukan pada Tabel 2.1 selama proses pengujian.

Tabel 2.1 Variasi Temperatur Maksimum dengan Jarak dan Waktu Pengujian.
(DIN,1997)

Temperatur Pengujian, T (°C)	Variasi Temperatur Maksimum	
	75 mm di atas permukaan <i>die</i> (°C)	10 mm diatas permukaan <i>die</i> (°C)
$125 \leq T < 250$	$\pm 2,0$	$\pm 0,5$
$250 \leq T < 300$	$\pm 2,5$	$\pm 0,5$
$300 \leq T$	$\pm 3,0$	$\pm 1,0$

d. *Die*

Terbuat dari *tungsten carbide* atau *hardened steel*, dengan tinggi 0.025 mm sampai 8,00 mm, diameter dalam 0.005 mm sampai 2.095 mm dan diameter luar menyesuaikan dengan lubang bagian bawah tabung.

2.2.2. Melt Flow Rate (MFR)

Melt Flow Rate (MFR) adalah ukuran kecepatan ekstrusi dari material termoplastik yang melewati *die* dengan temperatur dan beban yang sudah ditentukan. Semakin tinggi nilai MFR maka material akan semakin encer sehingga temperatur proses yang dibutuhkan semakin rendah. Pada industri plastik, MFR berguna dalam menentukan jenis proses dan kondisi proses (berkaitan dengan pengaturan temperatur). MFR juga dapat digunakan untuk mengetahui tingkat penurunan kualitas

plastik akibat proses molding. Kecepatan alir untuk resin dalam bentuk cetakan sudah ditentukan sehingga persentase perbedaan dapat dihitung (ASTM Internasional, 2010).

Untuk mencari *Melt Flow Rate* (MFR) dibutuhkan sekitar 7 gram material yang akan diuji. Material tersebut dimasukkan ke dalam tabung pemanas yang sebelumnya sudah dipanaskan terlebih dahulu. Beban yang sudah ditentukan diletakkan di atas piston dan material yang sudah dicairkan akan terdorong melalui *die*. *Melt Flow Rate* (MFR) mempunyai hasil ukuran dalam g/10 menit (ASTM Internasional, 2010).

Melt Flow Rate (MFR) atau *Melt Flow Index* (MFI) adalah ukuran kemudahan alir dari suatu lelehan polimer termoplastik. Ukuran tersebut didefinisikan sebagai massa polimer dalam gram per 10 menit yang keluar melalui lubang kapiler dengan diameter dan panjang tertentu dan didorong oleh tekanan dari beban alternatif pada temperatur alternatif. *Melt Flow Rate* (MFR) merupakan ukuran tidak langsung dari berat molekul (Darajat, 2008).

Secara umum, *Melt Flow Rate* (MFR) bisa digunakan sebagai spesifikasi penerimaan material oleh produsen dan juga sebagai alat untuk membandingkan resin-resin dari sumber yang berbeda. Tidak hanya variasi pada polimerisasi dan pencampuran dapat mempengaruhi MFR dari resin, tapi juga sebagai indikator degradasi resin yang disebabkan oleh kondisi transportasi, penyimpanan dan pengeringan yang kurang bagus. Pengujian MFR secara teratur setelah pencetakan atau ekstrusi dapat membantu menunjukkan kondisi proses yang kurang tepat. MFR juga dapat menjadi indikator sederhana bagaimana penambahan bahan daur ulang mempengaruhi kemampuan proses pada performa akhir dari resin asli (Darajat, 2008).

Melt Flow Rate (MFR) bisa digunakan untuk *polyolefin*, *polyethylena* yang diukur pada temperatur 190°C dan polipropilena pada temperatur 230°C. Pembuat plastik harus memilih material dengan MFR yang tinggi sehingga dapat dengan mudah membentuk polimer dalam

bentuk leleh menjadi bentuk yang diinginkan. Sebaliknya, pemilihan nilai MFR rendah menghasilkan kekuatan mekanis dari bentuk akhir polimer sesuai penggunaannya (Darojat, 2008).

Pengukuran *melt flow rate* bertujuan untuk mengukur kualitas dan proses produksi lanjutan material berbahan dasar termoplastik. Pengukuran dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari mesin *melt flow indexer*. Sampel akan dicairkan selama 600 detik (10 menit) di dalam silinder yang sebelumnya sudah dipanaskan terlebih dahulu (*preheating*). Selanjutnya sampel akan terekstrusi oleh *die* menjadi pelet. Hasil ekstrusi dipotong menjadi beberapa sampel, jarak waktu pemotongan antara satu sampel dengan yang lain sudah ditentukan sesuai dengan temperatur dan jenis material termoplastik yang digunakan. Nilai *melt flow rate* didapat dari waktu pemanasan dikalikan dengan berat rata-rata sampel yang diperoleh lalu dibagi dengan jarak perbedaan waktu pemotongan pelet. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada persamaan (2.1) (DIN,2005).

Melt Flow Rate (MFR) dinyatakan dalam gram per 10 menit didapat dari persamaan :

$$MFR_{(\theta, m_{nom})} = \frac{t_{ref} \times m}{t} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- θ = Temperatur pengujian (°C)
- m_{nom} = Beban (Kg)
- m = berat rata-rata setelah dipotong (gram)
- t_{ref} = waktu referensi (600 detik)
- t = perbedaan waktu pemotongan (detik)

2.2.3 Melt Volume Rate (MVR)

Melt Volume Rate (MVR) adalah kecepatan resin yang telah dicairkan mengalir melalui *die* dengan tinggi dan diameter yang sudah ditentukan, kondisi temperatur yang sudah diketahui, serta beban dan

piston didalam tabung silinder. Kecepatan ditentukan dari volume resin yang telah terekstrusi dengan waktu yang ditentukan (DIN, 2005; Chen dkk, 2011).

Melt Volume Ratio (MVR) dinyatakan dalam centimeter kubik per 10 menit, didapat dari persamaan :

$$MVR_{(\theta, mnom)} = \frac{A \times t_{ref} \times l}{t} = \frac{427l}{t} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

A = *Cross sectional area*, dalam centimeter persegi dari piston dan tabung (=0,711 cm²)

2.2.4. Flow Rate Ratio (FRR)

Flow Rate Ratio (FRR) didapat dari dua nilai *Melt Flow Rate* (MFR) bukan hanya satu MFR yang biasa diukur pada saat ini. MFR adalah penentuan nilai jumlah material yang sudah dicairkan selama 10 menit yang di tekan melalui *die* oleh piston dengan beban yang konstan. Material yang digunakan terdiri dari level *polyethylene* (Nordtest, 1996). Metode ini juga dapat digunakan untuk material termoplastik yang lain berdasarkan kondisi yang sama pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Standard Tes Condition, Temperature and Load for Flow Rate Ratio (FRR) (DIN, 1997)*

Conditions (no)	Tes Temperature (T) °C	Nominal Load (M) Kg
4	190	2,16
18	190	5
7	190	21,6

Selama FRR, MFR yang sebelumnya dilanjutkan dengan dua pengukuran dengan beban yang berbeda. Hal ini digunakan untuk mendapat nilai akurasi yang lebih tinggi pada pengukuran kualitas plastik. Perbaikan akurasi didapat dari perbandingan antara dua nilai indikasi

shear-thinning properties MFR. Nilai MFR diperoleh dari nilai indikasi beban terendah *zero shear viscosity* yang terhubung dengan berat rata-rata *Molecular weight* (M_w). Pada saat pengujian MFR, pergeseran tingkat rendah (*low rates shear*) tidak sama dengan tingkat pergeseran (*shear rates*) pada kondisi normal (Nordtest, 1996).

Flow Rate Ratio (FRR) dinyatakan dalam gram per 10 menit, didapat dari persamaan :

$$FRR = \frac{MFR\left(\frac{190}{21,6}\right)}{MFR\left(\frac{190}{2,16}\right)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

MFR = *Melt Flow Ratio*

Persamaan di atas digunakan sebagai indikasi dimana tingkah laku reologikal dipengaruhi oleh penyebaran massa molekul dari material.

2.2.5. Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul monomer berulang. Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terbentuk dengan menggunakan zat lain untuk menghasilkan plastik yang ekonomis (Dwiputri, 2015).

Plastik biasanya *high-molecular-wight polymers* yang beberapa tingkat di dalam eksistensinya mempunyai kemampuan untuk mengalir, tetapi ada juga yang berbentuk *non-fluids* dengan kekuatan dan ketangguhan yang cukup untuk digunakan sebagai bahan pendukung tunggal. Walaupun plastik mampu digunakan sebagai bahan pendukung tunggal, tidak menutup kemungkinan plastik dapat diperkuat dengan serat atau bahan pengisi lainnya. Plastik juga bisa dilapisi dengan material yang lain. Kadang-kadang baja dilapisi dengan plastik, tetapi biasanya pada

ketebalan yang lebih bagus dari pada umumnya dengan pelapisan permukaan seperti *paint films* (Hourston, 2010).

Istilah plastik dan polimer seringkali dipakai secara sinonim. Namun tidak berarti semua polimer adalah plastik. Plastik merupakan polimer yang dapat dicetak menjadi berbagai bentuk yang berbeda. Plastik dapat digolongkan berdasarkan :

A. Sifat Fisiknya

1) Termoplastik

Termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan jika didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk yang baru (Dwiputri, 2015).

2) Termosetting

Termosetting adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak akan meleleh sehingga tidak dapat dibentuk ulang. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali. Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Contoh plastik termosetting adalah bakelit atau asbak, fitting lampu listrik, dan peralatan fotografi (Dwiputri, 2015).

B. Kinerja dan Penggunaannya

1) Plastik komoditas

Plastik komoditas adalah plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Plastik ini memiliki sifat mekanis yang tidak terlalu bagus dan tidak tahan panas. Plastik ini banyak digunakan dan dimanfaatkan oleh masyarakat, seperti pembungkus makanan dan botol minuman. Contoh plastik komoditas adalah polietilena (PE).

2) Plastik teknik

Plastik teknik adalah plastik yang mempunyai sifat tahan panas dengan temperatur penggunaan di atas 100°C dan mempunyai sifat mekanis yang bagus. Jenis plastik ini banyak digunakan dalam komponen otomotif dan elektronik. Contoh plastik teknik adalah *polybutylene terephthalate* (PBT).

C. Berdasarkan Sumbernya

- 1) Polimer alami : kayu, kulit binatang, kapas, karet alam dan rambut.
- 2) Polimer sintesis : nylon, poliester, polipropilen, dan polistiren.
- 3) Polimer alami yang dimodifikasi : seluloid, *cellophane* (bahan dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi secara radikal sehingga kehilangan sifat-sifat kimia dan fisik asalnya).

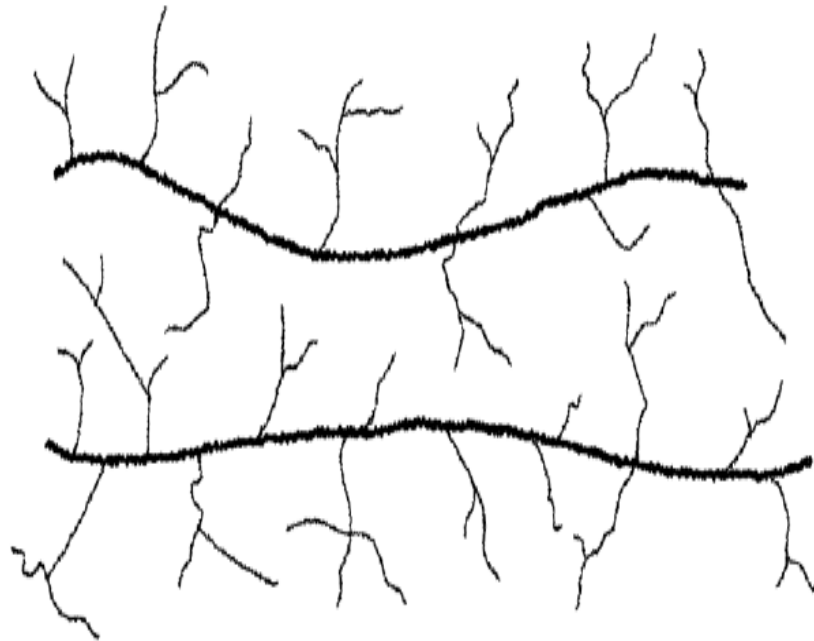
2.2.6. Termoplastik

Termoplastik adalah plastik yang akan menjadi cair bila menerima pemanasan dan menjadi keras bila suhu turun kembali. Karena itu termoplastik mudah dibentuk dan didaur ulang beberapa kali dengan melakukan pemanasan setiap kali membentuknya (Okatama, 2016).

Material yang menjadi lunak ketika dipanaskan di atas temperatur *glass transition* atau temperatur peleburan dan menjadi keras setelah didinginkan disebut dengan termoplastik. Termoplastik dapat menjadi berubah menjadi cair ketika dipanaskan dan menjadi solid ketika didinginkan dalam perubahan yang terbatas tanpa pengaruh dari sifat mekanik. Untuk meningkatkan angka perubahan termoplastik dapat dihasilkan dalam warna degradasi, dengan demikian akan mempengaruhi bentuk dan sifat termoplastik. Dalam bentuk cair, termoplastik menjadi cairan dan dalam bentuk lembek termoplastik berbentuk seperti kaca (*glassy*) atau mengkristal. Molekul bergabung *end-to-end* menjadi rantai panjang, tiap rantai tidak bersangkutan dengan rantai yang lain. Diatas

temperatur didih, semua struktur Kristal menghilang dan rantai panjang menjadi tersebar secara acak (klein, 2011).

Struktur molekul termoplastik (gambar 2.2) mempengaruhi ketahanan terhadap zat kimia dan tahan terhadap efek lingkungan seperti sinar Ultra Violet (UV). Sifatnya juga dapat bervariasi dari transparan sampai buram, tergantung struktur molekulnya. Sifat penting dari termoplastik adalah mempunyai kekuatan dan ketangguhan yang tinggi, kekerasan yang bagus, tahan zat kimia, ketahanan yang bagus, transparan dan tahan air (Klein, 2011).



Gambar 2.2 Struktur molekul termoplastik

(www.nptel.ac.in, 2016)

Termoplastik adalah polimer dengan berat molekul tinggi yang tidak terikat secara networking. Bahan termoplastik banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang mudah dibentuk dan mempunyai ketahanan yang bagus terhadap zat kimia dan air. Tidak semua material termoplastik dapat diuji menggunakan alat *melt flow indexer*, dikarenakan keterbatasan temperatur maksimal dan pembebanan yang di

berikan. Alat uji kekentalan plastik ini hanya mampu mencairkan material termoplastik sampai temperatur maksimal 300°C dan beban maksimal 5.16 kg. Tabel 2.3 menjelaskan jenis-jenis termoplastik yang dapat diuji dengan alat uji kekentalan plastik.

Tabel 2.3 Kondisi Pengujian dari Beberapa Material
(ASTM Internasional, 2010)

No	Material	Temperatur (°C)	Beban (kg)
1	<i>Acetal</i>	190	1,05/ 2,16
2	<i>Acrylics</i>	230	1,2/ 3,8
3	<i>Polycaprolactone</i>	125	2,16
4	<i>Polystyrene</i>	230	1,2
5	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	230	3,8
6	<i>Nylon</i>	235	2.16
7	<i>Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer</i>	297	5
8	<i>Polyethylene</i>	125	2,16
		190	2,16
9	<i>Polypropylene</i>	230	2,16
10	<i>Polyether sulfone (PES)</i>	343	2,16
		380	2,16
11	<i>Polycarbonates</i>	300	1,2
12	<i>Polyetheretherketone (PEEK)</i>	343	2,16

2.2.7. Viskositas

Kekentalan (viskositas) diartikan sebagai tahanan internal terhadap aliran. Kekentalan adalah nilai yang diukur dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah suatu fluida dapat bergerak. Fluida ideal adalah fluida yang tidak memiliki

tahanan gesekan terhadap tegangan geser, atau biasanya disebut juga dengan *inviscid fluid*, sedangkan fluida normal selalu mempunyai tahanan gesekan terhadap tegangan geser disebut dengan *viskos fluid*. (Khamdani, 2013).

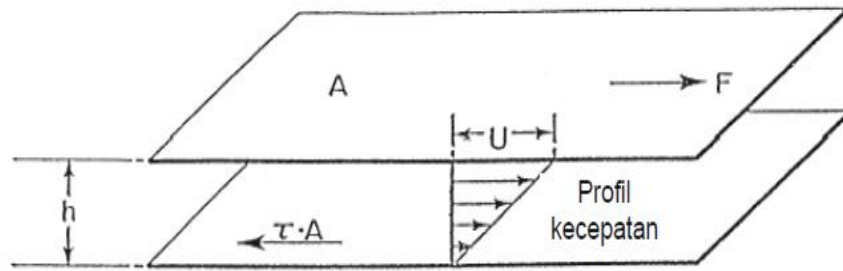
Fluida yang berbeda juga memiliki viskositas. Suatu cairan dikatakan memiliki koefisien viskositas yang sangat besar apabila cairan tersebut sangat sukar untuk mengalir. Oleh sebab itu, koefisien viskositas disebut sebagai angka kekentalan yang disimbolkan dengan η (dibaca “eta”) yaitu dari abjad Yunani yang didefinisikan sebagai satu lapisan tipis fluida ditempatkan antara dua lempeng yang rata, satu lempeng diam dan lempeng yang lainnya bergerak dengan kelajuan konstan. Fluida yang langsung bersentuhan dengan setiap lempeng ditahan pada permukaan oleh gaya adhesi antara molekul zat cair dan lempeng (Hasim, 2014). Pergerakan lempengan tadi dapat diketahui dari persamaan di bawah ini :

$$F = \eta \times A \frac{v}{h} \quad \text{sehingga didapat} \quad \eta = \frac{F \times h}{A \times v} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- F = gaya
- A = luas penampang
- v = kelajuan
- h = jarak

Untuk aliran yang melalui tabung silinder atau antara dua plat datar, tegangan geser bervariasi secara linear dari nol disepanjang sumbu tengah sampai nilai maksimum disepanjang dinding. Laju geser bervariasi tidak secara linear dari nol sepanjang sumbu tengah sampai maksimum di sepanjang dinding. Profil kecepatannya adalah kuasi-parabolik dengan nilai maksimum di bidang tengah dan nol di dinding, seperti ditunjukkan Gambar 2.3, untuk aliran diantara dua plat datar (Darajat, 2008).



Gambar 2.3 Aliran geser sederhana
(Darojat, 2008)

2.2.8. Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan *watt*, yang merupakan perkalian dari tegangan (*volt*) dan arus (*amphere*). Daya dinyatakan dalam *P*, tegangan dinyatakan dalam *V* dan arus dinyatakan dalam *I* (Jamali, 2014), sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- P = Daya (*watt*)
- V = Tegangan (*volt*)
- I = Arus (*amphere*)

2.2.9. Heat Transfer

Heat (kalor) adalah energi yang diangkut. Transfer energi sebagai panas terjadi pada level molekular hasil dari perbedaan temperatur. *Heat* dapat disalurkan melalui benda padat oleh konduksi, fluida oleh konveksi dan udara oleh radiasi. Simbol untuk *heat* adalah *Q*. *Heat* dapat disalurkan ke dalam atau ke luar sistem, tetapi sistem tidak dapat menciptakan *heat* (Rohsenow dkk, 1998).

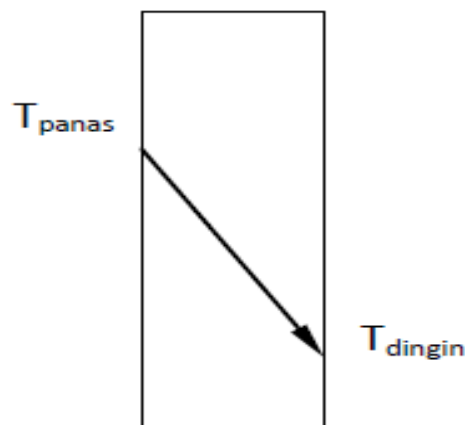
Ketika terdapat perbedaan temperatur pada suatu sistem, maka berlaku hukum termodinamika dua yang mengindikasikan bahwa aliran energi

berasal dari bagian yang lebih panas ke bagian yang lebih dingin. Hukum termodinamika dua menyangkal bahwa bisa dilakukannya usaha konversi panas ke sistem dalam operasi berputar. Hukum termodinamika dua diciptakan oleh Max Planck pada tahun 1903, yang berbunyi “tidak mungkin membuat mesin bekerja, menerima kalor dari sebuah reservoir dan mengubah seluruhnya menjadi energi atau usaha” (Rohsenow dkk, 1998).

Heat selalu terjadi ketika terjadi perbedaan temperatur antara dua bagian. Perbedaan temperatur tersebut bisa melalui zat perantara, seperti fluida atau tanpa melalui zat perantara. Terdapat 3 macam *heat transfer*, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

A. Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum (Muttaqin, 2012).



Gambar 2.4 Perpindahan panas konduksi pada dinding
(Muttaqin, 2012)

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan

isothermal dan gradien yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum fourier.

Persamaan dasar konduksi yang diterapkan dalam hukum fourier adalah sebagai berikut :

$$q_k = \frac{kA}{L}(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- q = Laju perpindahan panas (j/ det, W)
- k = Konduktifitas termal (W/(m.°C))
- A = Luas penampang (m²)
- L = Panjang batang (m)

Persamaan diatas hanya digunakan untuk laju perpindahan pada bidang datar, sedangkan untuk benda berbentuk silinder dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln(\frac{D_o}{D_i})} \dots\dots\dots(2.7)$$

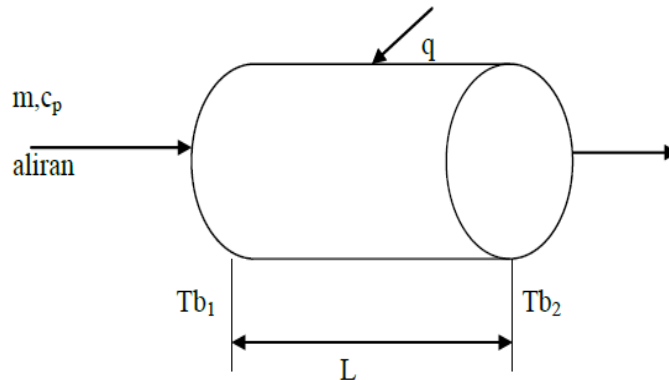
Keterangan :

- q = Laju perpindahan panas (j/det, W)
- k = Konduktifitas termal (W/(m.°C))
- L = Panjang batang (m)
- T_i = Temeperatur silinder dalam (.°C)
- T_o = Temperatur silinder luar .(°C)
- D_i = Diameter dalam silinder (m)
- D_o = Diameter luar silinder (m)

B. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan dari bagian panas ke bagian yang dingin. Ada dua macam konveksi ditinjau dari pergerakan alirannya, yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas adalah fluida bergerak disebabkan oleh adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan temperatur.

Sedangkan konveksi paksa adalah fluida bergerak akibat adanya gaya dari luar.



Gambar 2.5 Perpindahan panas konveksi
(Muttaqin, 2012)

Gambar 2.5 merupakan contoh proses perpindahan panas fluida yang mengalir didalam saluran tertutup. Untuk mengetahui laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan :

$$q = -hA(T_w - T_{\infty}) \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

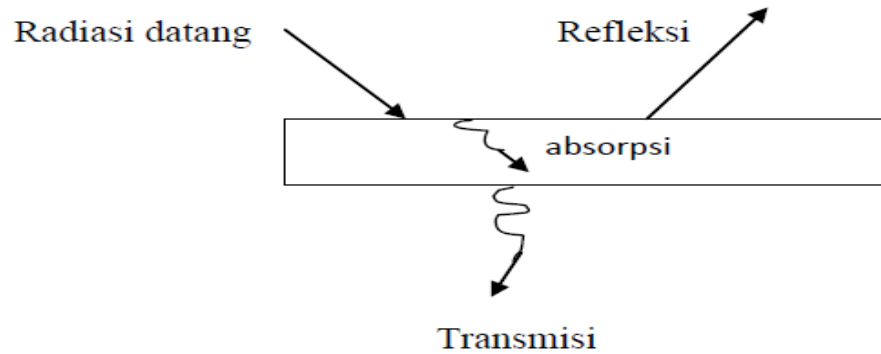
- q = Laju perpindahan panas (kj/detik atau W)
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/(m².°C))
- A = Luas bidang permukaan perpindahan panas (ft², m²)
- T_w = Temperatur dinding (°C, K)
- T_∞ = Temperatur sekeliling (°C, K)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan tanda positif (+) digunakan untuk panas yang dipindahkan.

C. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang mengalir dari suhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah tanpa melalui perantara. Energi radiasi dikeluarkan oleh benda dalam bentuk elektromagnetik. Jika energi radiasi menimpa suatu benda, maka

sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti gambar 2.6.



Gambar 2.6 Perpindahan panas radiasi (Muttaqin, 2012)

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena terjadi perbedaan temperatur yang dipindahkan antara ruang dalam bentuk elektromagnetik. Jika energi radiasi menimpa suatu benda, maka energi tersebut sebagian akan dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti gambar 2.6. Besarnya energi radiasi dapat diketahui dari persamaan berikut ini :

$$Q_{pancaran} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- $Q_{pancaran}$ = Laju perpindahan panas (W)
- σ = Konstanta boltzman ($5,669.10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$)
- A = Luas permukaan benda (m^2)
- T = Suhu mutlak (K)

2.2.10. Menghitung Kalor / Energi Listrik

Energi yang dihasilkan oleh *melt flow indexer* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.10) sebagai berikut :

$$Q = V.I.t \text{ (joule) } \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan

- Q : Kalor (Joule)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Kuat Arus (Ampere)

t : Waktu (Detik)

2.2.11. Perubahan Wujud Zat

Kalor pada beberapa fase dapat ditentukan berdasarkan proses perubahan yang dialami benda. Misalnya bila terjadi perubahan suhu, pasti tanpa terjadi perubahan wujud. Kalor yang diserap atau diterima dapat dihitung dengan rumus 2.11.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

Q = Banyaknya kalor yang diserap atau dilepaskan (J)

m = Massa zat (kg)

C = Kalor jenis zat (J/(kg °C))

ΔT = Perubahan suhu (°C)

Sebaliknya jika terjadi perubahan wujud tidak disertai dengan perubahan suhu, kalor yang diserap atau dilepas dapat dihitung dengan rumus 2.12.

$$Q = m \cdot L \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

Q = Banyaknya kalor yang diserap atau dilepaskan (J)

m = Massa zat (kg)

L = Kalor lebur (J/kg)

2.2.12. Pemuaian Zat Padat

Pemuaian pada zat padat terjadi akibat peningkatan suhu sehingga mengakibatkan panjang, luas atau volume zat bertambah. Untuk menghitung pemuaian volume zat padat yang terjadi dapat menggunakan rumus 2.13.

$$V_2 = V_1 (1 + \lambda (T_2 - T_1)) \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

V_2 = Volume akhir benda (m^3)

V_1 = Volume awal benda (m^3)

λ = Koefesien muai ruang ($10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$)

Untuk mencari nilai koefisien volume zat (λ) dapat menggunakan persamaan 2.14.

$$\lambda = 3\alpha \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

α = Koefesien muai panjang ($10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot \text{K})$)

Sedangkan untuk mengetahui pemuaian luas zat padat dapat diketahui menggunakan persamaan (2.15)

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha (T_2 - T_1)) \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

A_1 = Luas awal benda m^2

A_2 = Luas akhir benda m^2