

BAB 4

DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian indeks alir lelehan polipropilena dilakukan dengan memakai 3 variabel massa sampel dan 3 variabel waktu pemanasan awal, di mana setiap variabel (1 waktu pemanasan awal dan 1 massa sampel) dilakukan 3 kali pengujian untuk mendapatkan kemampuan uji ulang alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport*. Di sini sampel dibagi menjadi 9 kelompok, sebagaimana terlihat pada Tabel 4.1. Selain variabel waktu pemanasan awal dan massa sampel, semua parameter disesuaikan dengan ASTM D1238, yaitu temperatur 230°C, beban 2.16 kg, dan interval waktu *cut-off* adalah 15 detik.

Tabel 4.1. Pengelompokan Sampel Berdasarkan Variabel

Nomor Sampel	Massa Sampel	Waktu Pemanasan Awal
1	5 gram	4 menit
2	5 gram	5 menit
3	5 gram	6 menit
4	6.5 gram	4 menit
5	6.5 gram	5 menit
6	6.5 gram	6 menit
7	8 gram	4 menit
8	8 gram	5 menit
9	8 gram	6 menit

Dalam menghitung nilai indeks alir lelehan (MFI) dari ekstrudat yang keluar, dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$MFI = \frac{10W}{T} \quad (4.1)$$

Di mana MFI adalah indeks alir lelehan dalam gram/10 menit, W adalah massa ekstrudat dalam gram, dan T adalah waktu *cut-off* dalam menit.

Berdasarkan jumlah variabel dan pengujian secara keseluruhan terdapat 27 kali pengujian. Setiap pengujian menghasilkan 5 keluaran ekstrudat dalam interval

cincin piston yang kemudian ditimbang massanya, kecuali ekstrudat yang cacat, misalnya terdapat gelembung udara. Data-data dan grafik hasil pengujian dalam setiap variabel yang diberikan pada bab ini adalah nilai rata-rata dari keseluruhan ekstrudat setiap pengujian. Nilai massa dan MFI tiap ekstrudat diberikan pada Lampiran 1.

4.1. HASIL UJI SAMPEL 1, 2, DAN 3

4.1.1. Tabel Data Pengujian

Data pengujian untuk sampel dengan massa 5 gram, yaitu sampel 1, 2, dan 3, diberikan pada Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4.

Tabel 4.2. Data Pengujian Sampel 1 (waktu *pre-heat* 4 menit)

5 gram, 4 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	0.29	11.60	bubble	-	0.28	11.20
2	0.28	11.20	0.28	11.20	0.28	11.20
3	0.28	11.20	0.28	11.20	0.29	11.60
4	0.29	11.60	0.29	11.60	0.28	11.20
5	0.30	12.00	0.28	11.20	0.29	11.60
ave	0.29	11.52	0.28	11.30	0.28	11.36
St Dev		0.34		0.20		0.22
Kes rel		2.91		1.77		1.93
kes lit		15.20		13.00		13.60

Tabel 4.3. Data Pengujian Sampel 2 (waktu *pre-heat* 5 menit)

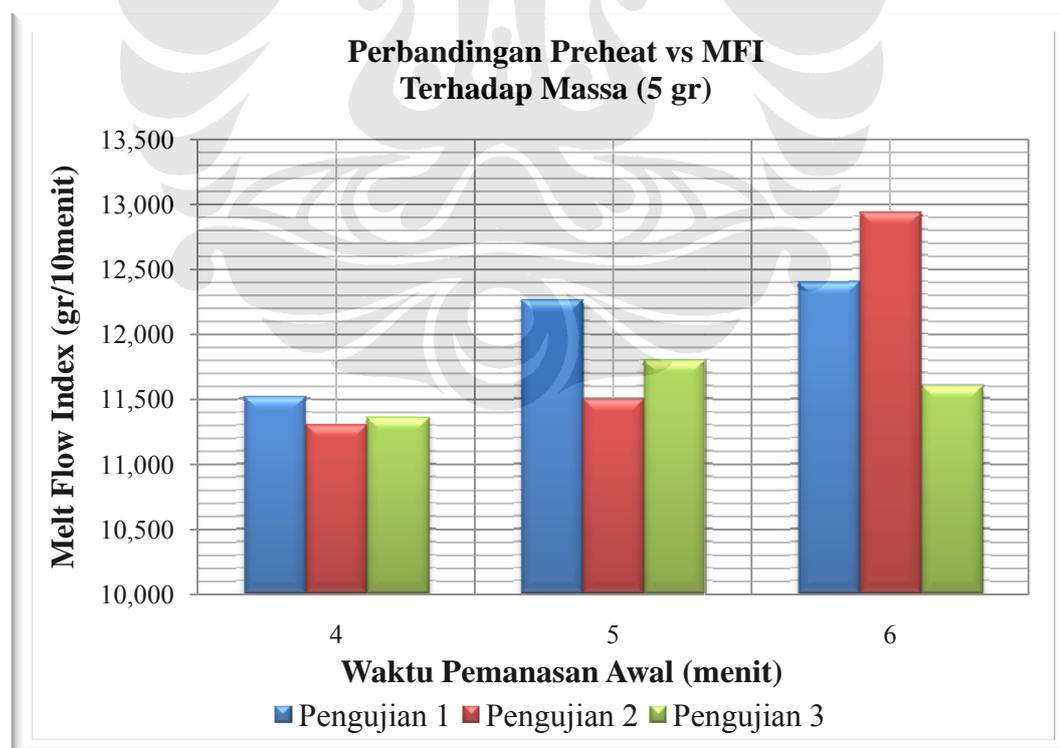
5 gram, 5 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	bubble		bubble		bubble	
2	bubble		0.29	11.60	0.30	12.00
3	0.30	12.00	0.28	11.20	0.29	11.60
4	0.31	12.40	0.29	11.60	0.29	11.60
5	0.31	12.40	0.29	11.60	0.30	12.00
ave	0.31	12.27	0.29	11.50	0.30	11.80
St Dev		0.23		0.20		0.23
Kes rel		1.88		1.74		1.96
kes lit		22.67		15.00		18.00

Tabel 4.4. Data Pengujian Sampel 3 (waktu *pre-heat* 6 menit)

5 gram, 6 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	bubble	-	bubble	-	bubble	-
2	0.30	12.00	bubble	-	0.30	12.00
3	0.30	12.00	0.32	12.80	0.29	11.60
4	0.32	12.80	0.33	13.20	0.28	11.20
5	0.32	12.80	0.32	12.80	0.29	11.60
ave	0.31	12.40	0.32	12.93	0.29	11.60
St Dev		0.46		0.23		0.33
Kes rel		3.72		1.79		2.82
kes lit		24.00		29.33		16.00

4.1.2. Grafik Pengujian

Gambar 4.1 di bawah ini memberikan grafik perbandingan nilai MFI ketiga sampel pada 3 kali pengujian.



Gambar 4.1. Grafik nilai MFI pada 3 kali pengujian sampel 1, 2, dan 3.

4.2. HASIL UJI SAMPEL 4, 5, DAN 6

4.2.1. Tabel Data Pengujian

Data pengujian untuk sampel dengan massa 6,5 gram, yaitu sampel 1, 2, dan 3, diberikan pada Tabel 4.5, 4.6, dan 4.7.

Tabel 4.5. Data Pengujian Sampel 4 (waktu *pre-heat* 4 menit)

6.5 gram, 4 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	bubble		bubble		bubble	
2	0.29	11.60	0.28	11.20	0.29	11.60
3	bubble		0.28	11.20	0.29	11.60
4	0.31	12.40	0.28	11.20	0.29	11.60
5	0.31	12.40	0.29	11.60	0.30	12.00
ave	0.30	12.13	0.28	11.30	0.29	11.70
St Dev		0.46		0.20		0.20
Kes rel		3.81		1.77		1.71
kes lit		21.33		13.00		17.00

Tabel 4.6. Data Pengujian Sampel 5 (waktu *pre-heat* 5 menit)

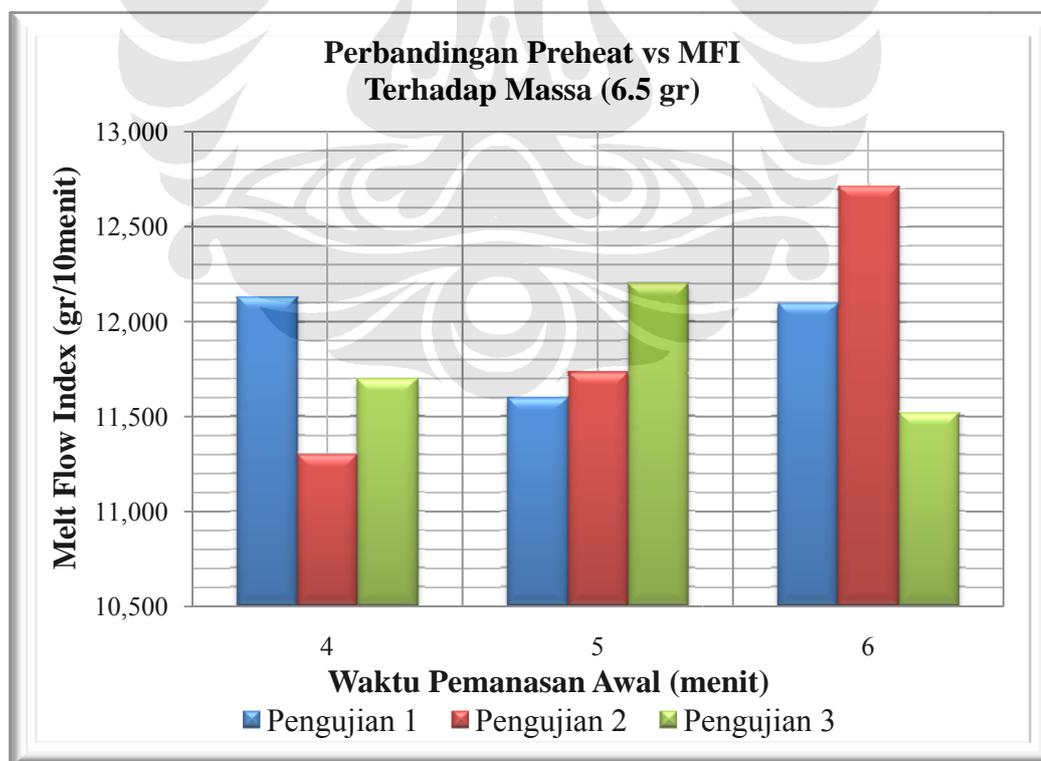
6.5 gram, 5 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	0.29	11.60	bubble	-	bubble	-
2	0.30	12.00	bubble	-	0.31	12.40
3	0.28	11.20	0.29	11.60	0.30	12.00
4	0.29	11.60	0.29	11.60	0.30	12.00
5	0.29	11.60	0.31	12.40	0.31	12.40
ave	0.29	11.60	0.30	11.87	0.31	12.20
St Dev		0.28		0.46		0.23
Kes rel		2.44		3.89		1.89
kes lit		16.00		18.67		22.00

Tabel 4.7. Data Pengujian Sampel 6 (waktu *pre-heat* 6 menit)

6.5 gram, 6 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	bubble	-	0.32	12.80	0.29	11.60
2	0.31	12.40	0.32	12.80	0.29	11.60
3	0.30	12.00	0.31	12.40	0.28	11.20
4	0.30	12.00	0.32	12.80	0.29	11.60
5	0.30	12.00	0.32	12.80	0.29	11.60
ave	0.30	12.10	0.32	12.72	0.29	11.52
St Dev		0.20		0.20		0.18
Kes rel		1.65		1.57		1.55
kes lit		21.00		27.20		15.20

4.2.2. Grafik Pengujian

Gambar 4.2 di bawah memberikan grafik perbandingan nilai MFI ketiga sampel pada 3 kali pengujian.



Gambar 4.2. Grafik nilai MFI pada 3 kali pengujian sampel 4, 5, dan 6.

4.3. HASIL UJI SAMPEL 7, 8, DAN 9

4.3.1. Tabel Data Pengujian

Data pengujian untuk sampel dengan massa 8 gram, yaitu sampel 7, 8, dan 9, diberikan pada Tabel 4.8, 4.9, dan 4.10.

Tabel 4.8. Data Pengujian Sampel 7 (waktu *pre-heat* 4 menit)

8 gram, 4 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	0.26	10.40	Bubble	-	0.28	11.20
2	0.28	11.20	0.27	10.80	0.28	11.20
3	0.27	10.80	0.28	11.20	0.27	10.80
4	0.27	10.80	0.27	10.80	0.28	11.20
5	0.28	11.20	0.27	10.80	0.28	11.20
ave	0.27	10.88	0.27	10.90	0.28	11.12
St Dev		0.34		0.20		0.18
Kes rel		3.08		1.84		1.61
kes lit		8.80		9.00		11.20

Tabel 4.9. Data Pengujian Sampel 8 (waktu *pre-heat* 5 menit)

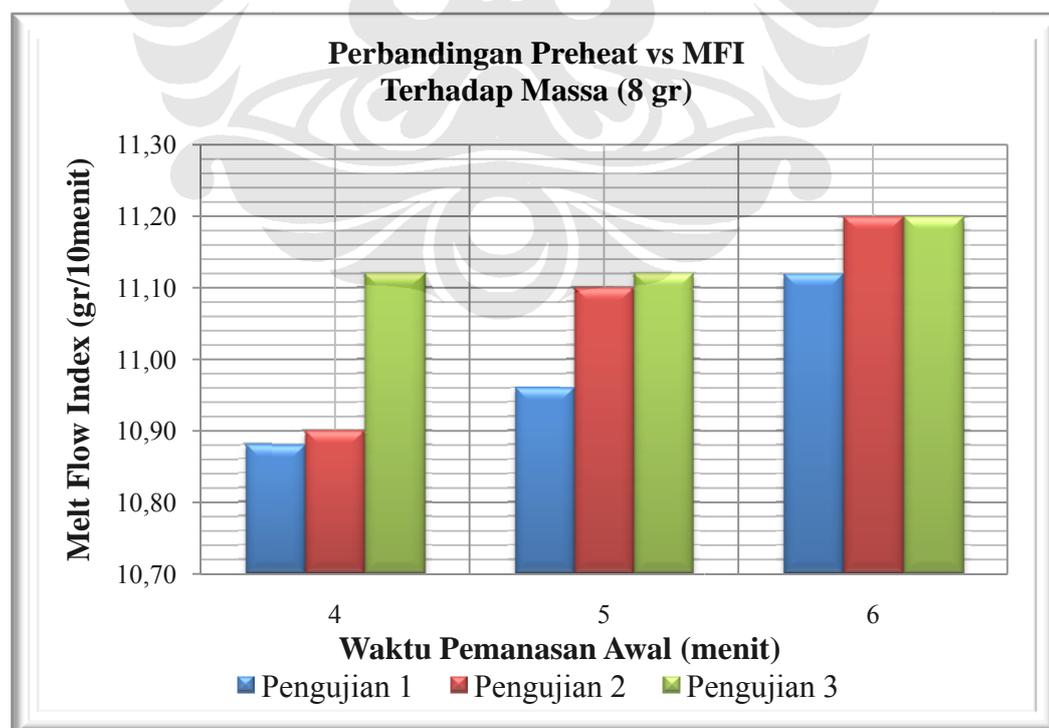
8 gram, 5 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	0.27	10.80	Bubble	-	0.28	11.20
2	0.28	11.20	0.27	10.80	0.28	11.20
3	0.28	11.20	0.27	10.80	0.27	10.80
4	0.27	10.80	0.29	11.60	0.28	11.20
5	0.27	10.80	0.280	11.20	0.28	11.20
ave	0.27	10.96	0.28	11.10	0.28	11.12
St Dev		0.22		0.38		0.18
Kes rel		1.20		3.45		1.61
kes lit		9.60		11.00		11.20

Tabel 4.10. Data Pengujian Sampel 9 (waktu *pre-heat* 6 menit)

8 gram, 6 menit						
Pengujian pertama			Pengujian kedua		Pengujian ketiga	
No.	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)	Massa extrudate (g)	MFI (g/10min)
1	0.29	11.60	Bubble	-	Bubble	-
2	0.28	11.20	0.28	11.20	0.28	11.20
3	0.26	10.40	0.27	10.80	0.28	11.20
4	0.28	11.20	0.29	11.60	0.28	11.20
5	0.28	11.20	0.28	11.20	0.28	11.20
ave	0.28	11.12	0.28	11.20	0.28	11.20
St Dev		0.44		0.33		0.00
Kes rel		3.94		2.92		0.00
kes lit		11.20		12.00		12.00

4.3.2. Grafik Pengujian

Gambar 4.3 di bawah memberikan grafik perbandingan nilai MFI ketiga sampel pada 3 kali pengujian.

**Gambar 4.3.** Grafik nilai MFI pada 3 kali pengujian sampel 7, 8, dan 9

4.4. ANALISIS GRAFIK PENGUJIAN TIAP MASSA SAMPEL

Pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3, menunjukkan grafik perbandingan nilai MFI terhadap waktu pemanasan awal tiap sampel. Pada grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa pemanasan awal mempengaruhi nilai MFI, sedangkan massa sampel tidak mempengaruhi nilai MFI. Berdasarkan literatur, nilai MFI akan bertambah jika waktu pemanasan bertambah [5], hal ini karena jika waktu pemanasan ditambah, polimer akan semakin encer/leleh akibat dari tercerai-berainya rantai molekul sehingga volume polimer leleh yang keluar tiap waktu *cut-off* akan semakin banyak dan massa ekstrudatnya juga pasti bertambah.

Berdasarkan data masing-masing sampel menunjukkan hasil standar deviasi yang sangat kecil dibawah 0.46, bahkan ada yang nilai deviasinya 0.00. hal ini menunjukkan bahwa alat uji memiliki nilai kepresisian yang tinggi dalam setiap pengujiannya.

Pada grafik-grafik tersebut, kecenderungan nilai MFI pada tiap waktu pemanasan awal hampir sesuai dengan literatur yaitu meningkat seiring penambahan waktu pemanasan awal. Hanya ada beberapa nilai MFI pada nomor pengujian tertentu yang sedikit menyimpang dari literatur.

Contoh nilai yang menyimpang tersebut adalah pada pengujian ketiga dengan sampel massa 5 gram dan waktu pemanasan awal 6 menit memiliki nilai MFI lebih rendah dari nilai MFI pada pengujian pertama dan ketiga dengan sampel massa 5 gram dan waktu pemanasan awal 5 menit, data ini terlihat pada Gambar 4.1, kemudian pada pengujian pertama dengan massa sampel 6.5 gram dan waktu pemanasan awal 4 menit memiliki nilai MFI melebihi nilai pada waktu pemanasan awal 5 menit.

Penyimpangan-penyimpangan seperti ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang akan dibahas di bawah ini:

1. Faktor pertama adalah kondisi ekstrudat yang ditimbang. Kondisi ekstrudat yang ditimbang harus bersih dari kotoran, lemak, dan terutama tidak boleh ada gelembung udara di dalamnya (*bubble*). Pada saat menimbang ekstrudat, tidak tertutup kemungkinan bahwa ekstrudat tersebut kotor, karena secara tidak sengaja terpegang oleh tangan, debu-debu yang

menempel, dan adanya gelembung-gelembung udara kecil yang luput dari pengamatan mata. Kotoran atau lemak yang menempel pada ekstrudat membuat massa ekstrudat yang ditimbang menjadi lebih besar, sedangkan gelembung udara menyebabkan massa ekstrudat menjadi lebih kecil.

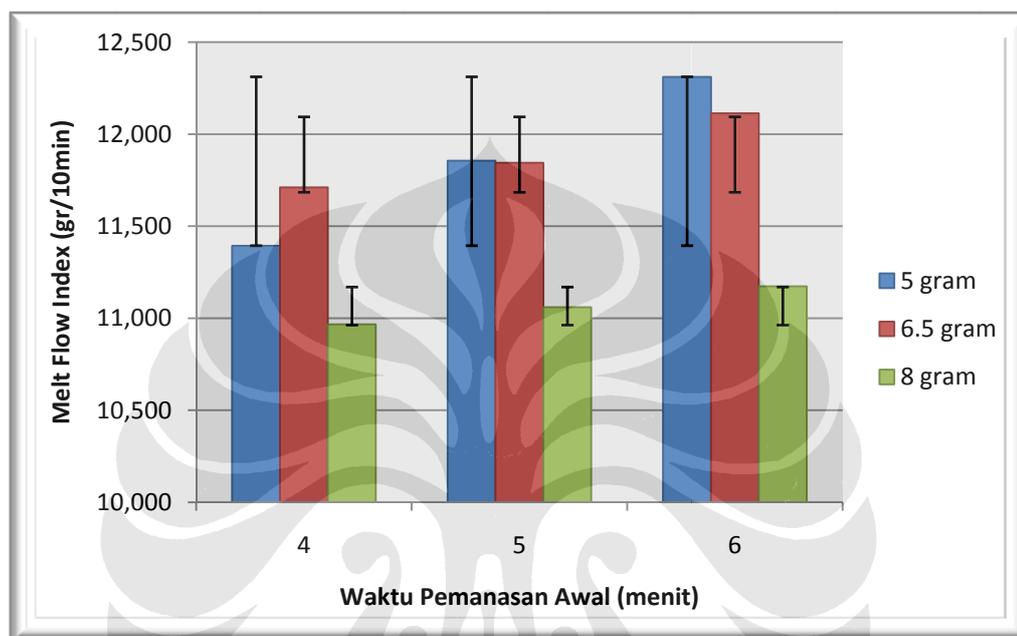
2. Faktor kedua adalah kesalahan saat penimbangan massa. Kesalahan penimbangan dapat berupa timbangan digital yang belum sepenuhnya ke posisi nol, tetapi sudah diletakkan ekstrudat untuk ditimbang, maka hasil penimbangan pun kurang tepat, misalnya menjadi lebih besar atau lebih kecil.
3. Faktor ketiga adalah fluktuatifnya temperatur barel pada saat pemanasan awal. Temperatur barel tidak selalu stabil berada pada temperatur $230 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$, catatan pengujian menunjukkan bahwa temperatur dapat naik hingga 233°C , tetapi itu tidak lama. Walaupun tidak lama, kenaikan temperatur tersebut dapat memberikan kontribusi penyimpangan data karena penambahan temperatur berarti viskositas lelehan semakin menurun, hal ini terdapat dalam proses degradasi termal di mana semakin tinggi temperatur, maka rantai polimer akan semakin tercerai berai yang menyebabkan penurunan viskositas (pengenceran) [18]. Dan seperti telah dibahas di atas, semakin encer polimer dalam barel, maka volume yang keluar semakin banyak dan nilai MFI pun meningkat.
4. Faktor keempat adalah jenis mesin Melt Flow Indexer 9 Davenport merupakan mesin dengan metode perhitungan MFI manual. Hal ini menyebabkan seorang penguji dalam menentukan waktu cut-off keluaran lelehan hanya berdasarkan perkiraan dari lamanya rentang alarm cut-off. Sehingga tingkat akurasi massa lelehan berfluktuasi dan tidak mendekati/sama dengan MFI literatur yaitu 10 gr/10menit.

Dari hasil perbandingan nilai MFI terhadap waktu pemanasan awal sampel Polipropilena HF 1000 dapat disimpulkan bahwa kondisi waktu pemanasan awal terbaik untuk pengujian sampel Polipropilena HF 1000 adalah yang menghasilkan MFI paling dekat dengan nilai literatur (spesifikasi material) di mana MFI untuk Polipropilena HF 1000 adalah 10 g/10 menit, yaitu pada massa sampel 8 gram dan waktu pemanasan awal 4 menit dengan nilai MFI rata-rata 10.880 gr/10 menit.

4.6. PERBANDINGAN SELURUH SAMPEL

4.6.1. Grafik Pengujian

Data keseluruhan diambil dari nilai indeks alir lelehan rata-rata 3 kali pengujian tiap sampel (1 sampai 9), kemudian membandingkannya seperti terlihat pada grafik perbandingan nilai indeks alir lelehan keseluruhan sampel yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4. Grafik perbandingan MFI seluruh sampel

4.6.2. Analisis

Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan nilai MFI tiap sampel secara keseluruhan, di mana dapat terlihat pengaruh pemanasan awal dan massa sampel terhadap nilai MFI. Karena pengaruh waktu pemanasan awal telah dibahas di atas, maka di sini akan dibahas pengaruh massa sampel terhadap nilai MFI.

Jika mengacu pada grafik diatas, maka dengan penambahan waktu pemanasan dapat mempengaruhi nilai MFI polipropilena. Hal ini didukung oleh hasil pengujian ketiga sampel yaitu 5 gram, 6.5 gram, dan 8 gram yang menunjukkan bahwa setiap penambahan waktu pemanasan awal mengakibatkan peningkatan nilai MFI secara berturut-turut. Dengan demikian hasil pengujian tersebut membenarkan teori dasar polimer bahwa nilai MFI semakin meningkat seiring dengan peningkatan lamanya waktu pemanasan awal sampai batas tertentu, agar tidak terjadi degradasi material.

Pada grafik diatas juga menerangkan bahwa setiap penambahan massa sampel dapat mempengaruhi nilai MFI polipropilena. Dalam setiap peningkatan massa sampel ketiga pengujian baik itu 5 gram, 6.5 gram dan 8 gram dapat mengakibatkan penurunan nilai MFI polipropilena secara berturut-turut. Dengan demikian hasil pengujian tersebut membenarkan teori dasar polimer bahwa setiap penambahan massa sampel mengakibatkan penurunan nilai MFI sampel polipropilena. Penurunan ini lebih disebabkan karena semakin banyak jumlah material polipropilena yang harus diekspos oleh panas, sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk melelehkan dan menceraiberaikan rantai polimer agar memudahkan material mengalir dalam mesin MFI

4.7. CONTOH PERHITUNGAN

4.7.1. Perhitungan Nilai MFI

Berikut adalah satu contoh perhitungan nilai MFI dengan menggunakan Persamaan 2.16 di atas. Untuk contoh perhitungan ini, menggunakan data sampel 8 saat pengujian pertama (massa sampel 8 gram, waktu *pre-heat* 4 menit) dengan waktu *cut-off* 15 detik (0.25 menit).

$$MFI = \frac{10W}{T}$$

$$MFI = \frac{10 \times 0.272}{0.25}$$

$$MFI = 10.88 \text{ g}/10 \text{ menit}$$

4.7.2. Perhitungan Standar Deviasi

Nilai standar deviasi pada pengujian ini digunakan untuk mengetahui nilai penyimpangan data pada setiap pengujian. Data yang digunakan pada perhitungan ini adalah nilai massa ekstrudat yang keluar dari barel tiap pengujian dengan waktu *cut-off* 15 detik.

Pada contoh perhitungan digunakan sampel nomor 7 (massa sampel 8 gram, waktu *pre-heat* 4 menit) pada pengujian pertama di mana dihasilkan 5 ekstrudat yang bagus dan 5 ekstrudat cacat. Berikut adalah data sampel nomor 7 yang diberikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Data massa ekstrudat pada Sampel 7 Pengujian pertama

no.	massa ekstrudat (g)	MFI (g/10 menit)
1	0.26	10.40
2	0.28	11.20
3	0.27	10.80
4	0.27	10.80
5	0.28	11.20
ave	0.27	10.88

Rumus yang digunakan untuk menghitung standar deviasi adalah sebagai berikut.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(10.4 - 10.88)^2 + (11.2 - 10.88)^2 + \dots + (11.2 - 10.88)^2]}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{4} \times 0.448}$$

$$S = 0.34$$

4.7.3. Perhitungan Kesalahan Relatif

Dalam suatu pengujian, kesalahan merupakan suatu hal pasti. Angka-angka kesalahan harus disertakan untuk memberikan penilaian yang wajar terhadap hasil pengujian. Kesalahan relatif adalah suatu tingkat kesalahan pada suatu pengujian yang berulang, di mana hasil pengujian pada tiap nomor pengujian tidak mungkin akan selalu berada pada garis lurus atau nilai tetap, melainkan pasti ada suatu penyimpangan hasil pengujian atau dengan nama lain adalah standar deviasi. Kesalahan relatif didapat dari pembagian antara standar deviasi dengan nilai rata-rata [19]. Karena kesalahan biasanya diungkapkan dalam persen (%), maka hasil pembagian tersebut dikalikan dengan 100%.

Contoh perhitungan yang diambil di sini adalah sampel nomor 7 (massa sampel 8 gram, waktu *pre-heat* 4 menit) pada pengujian pertama.

$$\text{Kesalahan Relatif (KR)} = \frac{S}{MFI} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$KR = \frac{0.335}{10.88} \times 100 \%$$

$$KR = 3.08 \%$$

Kesalahan relatif pengujian menunjukkan nilai kepresisian dalam satu pengujian, semakin tinggi nilai kesalahan relatif maka pengujian semakin tidak presisi. Pada pengujian MFI dengan alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport*, nilai kesalahan relatif terbesar adalah sebesar 3.94 %, yaitu pada pengujian pertama sampel dengan massa 8 gram dan waktu pemanasan awal 6 menit.

Faktor-faktor penyebab kesalahan relatif ini adalah sama seperti faktor-faktor yang menyebabkan penyimpangan nilai-nilai MFI terhadap waktu pemanasan awal di atas, yaitu:

1. Faktor pertama, kondisi ekstrudat yang ditimbang di mana dapat menaikkan nilai MFI bila terdapat kotoran dan menurunkan nilai MFI bila terdapat gelembung udara.
2. Kedua adalah kesalahan saat penimbangan di mana dapat menyebabkan nilai MFI lebih besar atau lebih kecil.
3. Ketiga, fluktuatifnya temperatur barel saat pengujian yang menyebabkan lelehan polimer menjadi lebih encer sehingga menaikkan nilai MFI.
4. Keempat adalah kesalahan penguji dalam menentukan waktu *cut-off* extrudate secara manual saat keluar dari die yang menyebabkan massa lelehan fluktuatif.

4.7.4. Perhitungan Kesalahan Literatur

Dalam suatu percobaan, kesalahan data yang melenceng dari literatur merupakan hal yang pasti terjadi. Angka – angka kesalahan pengujian harus disertakan dalam memberikan penilaian yang wajar terhadap hasil percobaan. Kesalahan literatur adalah suatu penilaian seberapa besar data hasil percobaan tersebut presisi terhadap data literatur yang seharusnya. Contoh perhitungan yang diambil di sini adalah sampel nomor 7 (massa sampel 8 gram, waktu *pre-heat* 4

menit) pada pengujian pertama. Berikut ini adalah contoh perhitungan kesalahan literatur tersebut:

$$\text{Kesalahan Literatur (KL)} = \frac{|\overline{MFI} - MFI_{lit}|}{MFI_{lit}} \times 100\% \quad (4.4)$$

$$KL = \frac{|10.88 - 10|}{10} \times 100\%$$

$$KL = 8.8 \%$$

Kesalahan literatur pengujian menunjukkan nilai kepresisian dalam satu pengujian. Berdasarkan perhitungan, membuktikan bahwa hasil percobaan MFI melenceng sebesar 8,8%. Angka ini merupakan nilai kesalahan literatur terendah. Sedangkan kesalahan literatur tertinggi sebesar 27%, dan nilai kesalahan literatur dari nilai MFI keseluruhan sebesar 16.03%.

Kesalahan literatur yang besar ini disebabkan oleh penentuan waktu cut-off yang singkat sebesar 15 detik dan penentuan saat pemotongan ketika alarm cut-off berbunyi. Padahal ketentuan berdasarkan user manual alat uji *MFI-9 Davenport* tertera bahwa untuk nilai MFI antara 3.5-10 gr/10menit dianjurkan menggunakan interval waktu pemotongan 30 detik. Sedangkan bila didasarkan pada ASTM D1238 pada rentang MFI antara 3.5-10 gr/10menit dianjurkan menggunakan interval waktu pemotongan 60 detik. Penggunaan interval waktu pemotongan 15 detik berdasarkan user manual alat uji MFI-9 umumnya digunakan pada nilai MFI diatas 10 gr/10menit.

Alasan mengapa penguji menentukan interval waktu pemotongan 15 detik adalah karena memudahkan mobilisasi penyimpanan ekstrudat ke dalam plastik penyimpanan dan memudahkan penimbangan. Hal ini karena hasil ekstrudat yang dihasilkan dalam setiap pemotongan 15 detik berukuran pendek dan mudah mobilisasi penyimpanannya.

Kemudian dalam hal saat pemotongan ketika bunyi alarm pemotongan berlangsung, penguji melakukan pemotongan ketika bunyi alarm menjelang usai. Sebaiknya adalah ketika alarm berbunyi di awal, saat itulah pemotongan langsung dilakukan.

4.8. DATA HASIL UJI BANDING DI PERTAMINA

4.8.1. Data Pengujian

Pengujian di laboratorium lain dalam penelitian ini dilakukan di Penelitian & Laboratorium Pertamina, Pulogadung, dengan alat uji Tinius Olsen. Kondisi pengujian untuk uji banding mengambil parameter yang sama dengan sampel nomor 3 di laboratorium DMM FTUI, yaitu massa sampel 5 gram dan waktu *pre-heat* 6 menit, dengan parameter lainnya sesuai dengan ASTM D1238, yaitu temperatur 230°C, beban 2.16 kg, tetapi waktu *cut-off* 1 menit.

Dalam uji banding ini juga dilakukan 3 kali pengujian. Dan berikut adalah data hasil pengujian yang diberikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Data hasil uji banding

Nomor Pengujian	Berat extrudate	Nilai MFI (g/10 menit)
1	1.1254	11.254
2	1.1012	11.012
3	1.0875	10.875

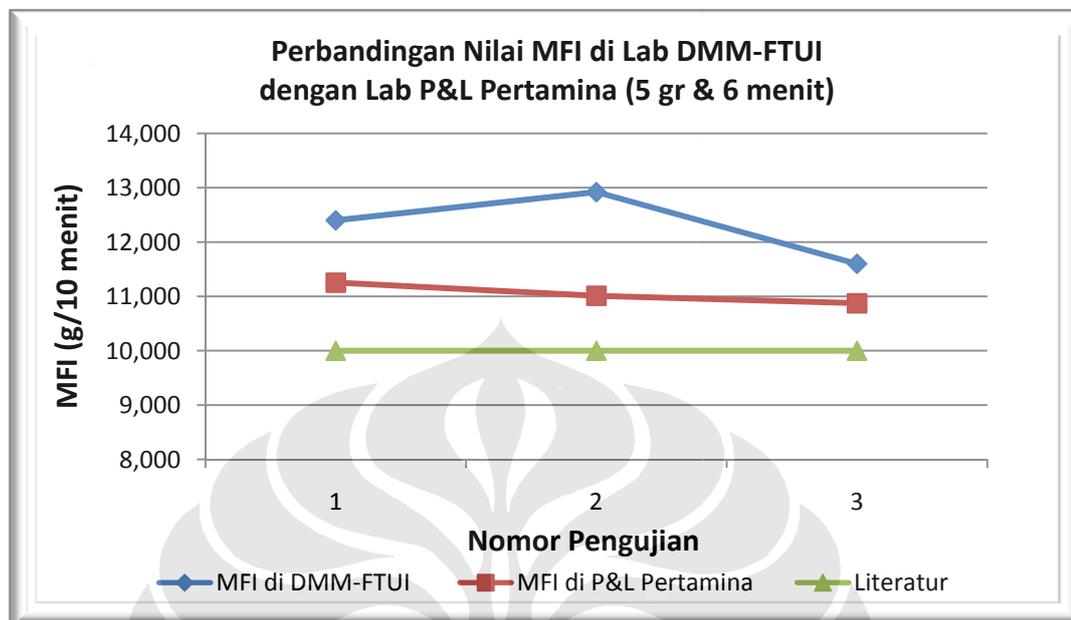
Jika data tersebut dibandingkan dengan data hasil pengujian menggunakan alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport*, maka data pembandingan adalah sampel dengan parameter pengujian yang sama dengan kondisi pengujian di atas, yaitu sampel nomor 3 (massa sampel 5 gram, waktu *pre-heat* 6 menit). Data hasil pengujian sampel nomor 3 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.13 berikut memberikan perbandingan nilai MFI pada tiap nomor pengujian antara pengujian dengan alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport* di Laboratorium Polimer Departemen Metalurgi Dan Material (DMM-FTUI) dengan alat uji Tinius Olsen di Penelitian & Laboratorium Pertamina.

Tabel 4.13. Perbandingan Nilai MFI di DMM-FTUI dan P&L Pertamina

No.	MFI di DMM-FTUI (g/10 menit)	MFI di P&L Pertamina (g/10 menit)
1	12.400	11.254
2	12.920	11.012
3	11.600	10.875
rata-rata	12.310	11.047

Dari Tabel 4.13 di atas, dapat dibentuk grafik perbandingan hasil uji kedua laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5. Grafik perbandingan nilai MFI antara laboratorium di DMM-FTUI dengan P&L Pertamina

Dari grafik terlihat bahwa pada kondisi pengujian dengan massa sampel 5 gram dan waktu pemanasan awal 6 menit, nilai MFI hasil uji alat *MFI-9 Davenport* berada di atas nilai hasil uji alat Tinius Olsen di P&L Pertamina. Alat uji di Laboratorium Polimer DMM-FTUI memiliki tingkat kepresisian hasil MFI yang lebih rendah karena grafik ketiga pengujian memiliki fluktuatif yang cukup besar. Tetapi berdasarkan Tabel 4.4, alat uji MFI-9 memiliki tingkat presisi yang tinggi dengan standar deviasi dibawah 0.5% dalam setiap pengujian.

Mengenai perbedaan hasil di mana nilai MFI dengan alat uji Tinius Olsen lebih rendah dapat disebabkan oleh keempat faktor seperti pada pembahasan perbedaan nilai MFI tiap waktu pemanasan awal di atas, yaitu kesalahan penimbangan, kondisi ekstrudat yang ditimbang, dan fluktuatifnya temperatur barel. Hanya saja yang berbeda adalah penguji di laboratorium Pertamina adalah pegawai Pertamina yang bekerja di laboratorium tersebut, sehingga hasil yang didapat pun berbeda. Selain itu, penentuan waktu cut-off pun berbeda di tiap mesin MFI, sehingga menyebabkan masing – masing penguji berbeda dalam memprediksi waktu pemotongan.

4.8.2. Perhitungan Kesalahan Relatif Terhadap Hasil P&L Pertamina

Perhitungan kesalahan relatif terhadap laboratorium P&L Pertamina dapat dilakukan dengan perhitungan kesalahan relatif terhadap literatur, di mana hasil uji di laboratorium P&L Pertamina diasumsikan sebagai literatur.

Berikut adalah rumus yang digunakan dalam perhitungan kesalahan relatif terhadap hasil pengujian di Pertamina.

$$\text{Kesalahan Relatif (KR)} = \left| \frac{\overline{MFI} - MFI_{lit}}{MFI_{lit}} \right| \times 100 \% \quad (4.5)$$

$$KR = \left| \frac{12.31 - 11.047}{11.047} \right| \times 100 \%$$

$$KR = 11.433 \%$$

Nilai kesalahan relatif terhadap hasil uji di laboratorium P&L Pertamina tersebut menunjukkan tingkat keakuratan alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport*. Bila dibandingkan dengan alat uji Tinius Olsen di P&L Pertamina, alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport* di Laboratorium Polimer DMM-FTUI memiliki tingkat kesalahan yang cukup besar yaitu 11.433%, tetapi bila kedua hasil uji di dua laboratorium tersebut dibandingkan dengan literatur spesifikasi material polipropilena PF 1000, maka alat uji Tinius Olsen di P&L Pertamina memiliki keakuratan yang lebih baik walaupun kondisi alat uji yang sudah lama tidak dikalibrasi menurut operatornya. Selain itu kondisi ruangan laboratorium Pertamina yang tertutup dan bersih, kemudian sebelum menggunakan alat uji dibersihkan dahulu dan dikalibrasi, serta ruangan penimbangan yang bersih pula membuat hasil laboratorium Pertamina lebih akurat.

Alasan mengapa hasil uji dengan alat *Melt Flow Indexer 9 Davenport* berbeda cukup besar dari literatur adalah karena faktor interval waktu pemotongan ekstrudat dan waktu pemotongan saat alarm berbunyi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Oleh sebab itu, sebaiknya melakukan pengaturan interval waktu pemotongan 30 detik sesuai user manual alat atau 60 detik sesuai ASTM. Hal ini bertujuan untuk mengurangi besarnya kesalahan yang terjadi, sehingga hasil pemotongan memiliki massa ekstrudat yang lebih kecil, dan jika diubah kedalam nilai indeks alir lelehan akan memiliki nilai MFI mendekati literatur. Dengan demikian, hasil pengujian selain menjadi presisi juga akan menjadi akurat.

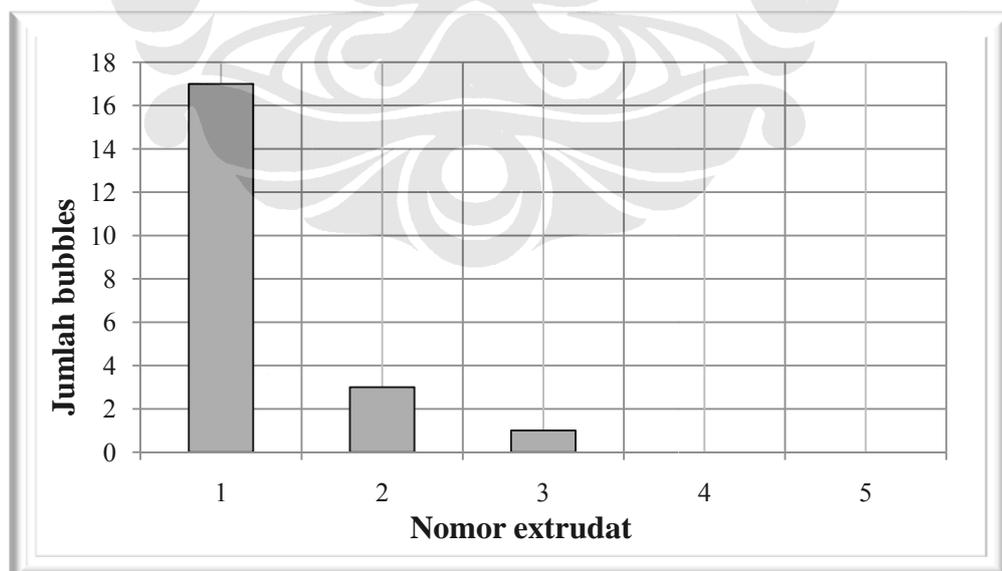
4.9. KEMUNCULAN GELEMBUNG UDARA PADA EKSTRUDAT

Kehadiran cacat pada ekstrudat adalah hal yang hampir pasti terjadi pada pengujian indeks alir lelehan atau MFI. Cacat yang paling sering muncul adalah adanya gelembung udara atau *bubbles* pada ekstrudat yang disebabkan oleh udara yang terperangkap dalam barrel yang tidak dapat keluar pada saat penekanan sampel. Tabel 4.14 berikut menunjukkan data kemunculan *bubbles* pada penelitian:

Tabel 4.14. Data kemunculan bubbles pada pengujian MFI Polipropilena PF 1000

nomor sampel	nomor ekstrudat dengan gelembung udara		
	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 3
sampel 1	-	1	-
sampel 2	1, 2	1	1
sampel 3	1	1, 2	1
sampel 4	1, 3	1	1
sampel 5	-	1, 2	1
sampel 6	1	-	-
sampel 7	-	1	-
sampel 8	-	1	-
sampel 9	-	1	1

Gambar 4.6 di bawah ini menunjukkan grafik jumlah gelembung udara yang muncul tiap nomor ekstrudat.



Gambar 4.6. Grafik jumlah kemunculan gelembung udara pada tiap ekstrudat

Grafik tersebut menunjukkan jumlah gelembung udara yang timbul tiap nomor ekstrudat. Pada data jelas terlihat bahwa gelembung udara muncul lebih

banyak pada nomor-nomor awal ekstrudat atau pada awal pengujian, yaitu pada ekstrudat nomor 1, 2, dan 3.

Kemunculan gelembung udara lebih utama disebabkan oleh penekanan sampel saat pengisian yang kurang maksimal. Penekanan sampel bertujuan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap. Penekanan dilakukan dari mulut atas barel sehingga dapat dikatakan bahwa daerah yang paling rawan memiliki gelembung udara adalah daerah di bawah barel yang paling kecil menerima pengaruh penekanan sampel.

Hal yang menjadi alasan mengapa ekstrudat yang paling sering terdapat gelembung udara di dalamnya adalah ekstrudat pada nomor-nomor awal. Akan tetapi, gelembung udara tidak selalu muncul. Pada beberapa pengujian membuktikan sama sekali tidak ditemukan gelembung udara pada ekstrudat, contohnya adalah pengujian pertama sampel dengan massa 8 gram dengan waktu pemanasan awal 4 menit. Tidak munculnya gelembung udara menandakan sudah sepenuhnya penekanan sehingga udara terperangkap dapat dikeluarkan dari barel dengan baik.

Massa sampel yang dimasukkan ke dalam barel dapat mempengaruhi kemunculan gelembung udara pada ekstrudat. Setelah sampel dalam barel ditekan untuk mengurangi gelembung udara dan piston dimasukkan, *piston support* belum menopang piston beserta pemberatnya, karena piston masih berada di atas dan menekan ekstrudat keluar. Lebih sampel dalam barel bagian bawah yang banyak mengandung gelembung udara terus keluar hingga batas, yaitu piston tertopang oleh *piston support*. Proses pengeluaran kelebihan ekstrudat inilah yang membantu mengeluarkan ekstrudat dengan gelembung udara di dalamnya sebelum pengujian dimulai. Proses ini diperlukan untuk mengantisipasi kekurangsempurnaan penekanan sampel pada barel yang dapat meninggalkan gelembung udara di dalam lelehan polimer.

Pada massa sampel 8 gram terdapat kelebihan keluaran lelehan yang banyak sebelum *piston support* dilepas. Lebih keluaran yang banyak ini, walaupun telah diberi beban piston dan pemberat tetap membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan waktu otomatis mesin MFI. Maka dari itu perlu dilakukan penekanan manual piston untuk mempercepat pengeluaran kelebihan polimer

tersebut. Penekanan manual tersebut berpotensi mengubah viskositas polimer karena tegangan geser akibat penekanan tersebut jadi bertambah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel dengan massa 4 gram tidak efisien untuk pengujian, karena selain boros material dan perlu penekanan manual, hasil uji juga berpotensi tidak akurat karena viskositas yang berubah.

Jumlah gelembung udara yang terjadi dapat dikurangi dengan melakukan penekanan manual secara bertahap menggunakan *charging tool*, caranya yaitu memasukkan sampel pellet sedikit demi sedikit dan diselingi dengan penekanan manual menggunakan *charging tool*. Hal ini dapat membantu mengurangi jumlah kemunculan gelembung udara terutama pada bagian bawah barel.

Dari pengujian ini, maka dapat disimpulkan bahwa massa sampel yang paling optimal untuk pengujian MFI Polipropilena PF 1000 adalah 5 gram. Massa 5 gram dipilih dan bukan 6.5 gram karena hasil pengujian kedua sampel tersebut tidak begitu jauh, sedangkan pada praktiknya massa 5 gram lebih mudah untuk mempersiapkannya.

