

BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

Pengujian indeks alir lelehan polietilena densitas rendah linier atau yang biasa disingkat LLDPE (*Linear Low Density Polyethylene*) pada percobaan ini dilakukan dengan memakai 3 variabel waktu pemanasan awal dan 4 variabel massa sampel, 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 12 kelompok, sebagaimana terlihat pada Tabel 4.1. Selain variabel waktu pemanasan awal dan massa sampel, semua parameter disesuaikan dengan ASTM D1238, yaitu temperatur 190°C, beban 2.16 kg, dan interval waktu *cut-off* adalah 60 s.

Tabel 4.1. Pengelompokan sampel berdasarkan variabel

| Nomor Sampel | Waktu Pemanasan Awal | Massa Sampel |
|--------------|----------------------|--------------|
| 1 | 6 menit | 4 gram |
| 2 | 5 menit | 4 gram |
| 3 | 4 menit | 4 gram |
| 4 | 6 menit | 3 gram |
| 5 | 5 menit | 3 gram |
| 6 | 4 menit | 3 gram |
| 7 | 6 menit | 2.85 gram |
| 8 | 5 menit | 2.85 gram |
| 9 | 4 menit | 2.85 gram |
| 10 | 6 menit | 2.75 gram |
| 11 | 5 menit | 2.75 gram |
| 12 | 4 menit | 2.75 gram |

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

$$MFI = \frac{10W}{T} \quad (2.15)$$

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 ada 36 kali pengujian. Setiap pengujian menghasilkan 15 keluaran ekstrudat yang ditimbang massanya, kecuali ekstrudat yang cacat, misalnya terdapat gelembung udara. Data-data dan grafik hasil pengujian pada 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 3.

4.1. HASIL UJI SAMPEL 1, 2, DAN 3

4.1.1. Tabel Data Pengujian

Data pengujian untuk sampel dengan massa 4 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* 6 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1053 | 1.0525 | 0.0342 | 3.2514 |
| 2 | 0.1058 | 1.0581 | 0.0284 | 2.6874 |
| 3 | 0.1043 | 1.0426 | 0.0191 | 1.8356 |

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

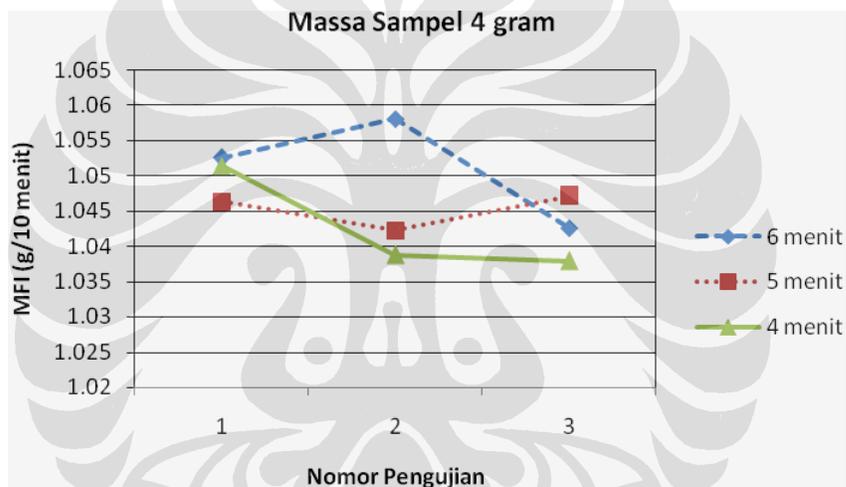
| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1046 | 1.0464 | 0.0066 | 0.6271 |
| 2 | 0.1042 | 1.0423 | 0.0079 | 0.7600 |
| 3 | 0.1047 | 1.0471 | 0.0077 | 0.7390 |

Tabel 4.4. Data Pengujian Sampel 3 (waktu *pre-heat* 4 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1051 | 1.0514 | 0.0206 | 1.9562 |
| 2 | 0.1039 | 1.0388 | 0.0277 | 2.6698 |
| 3 | 0.1038 | 1.0379 | 0.0075 | 0.7224 |

4.1.2. Grafik Pengujian

Gambar 4.1 di bawah 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 3 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* 6 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1057 | 1.0571 | 0.0443 | 4.1871 |
| 2 | 0.1061 | 1.0609 | 0.0335 | 3.1618 |
| 3 | 0.1059 | 1.0590 | 0.0376 | 3.5465 |

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

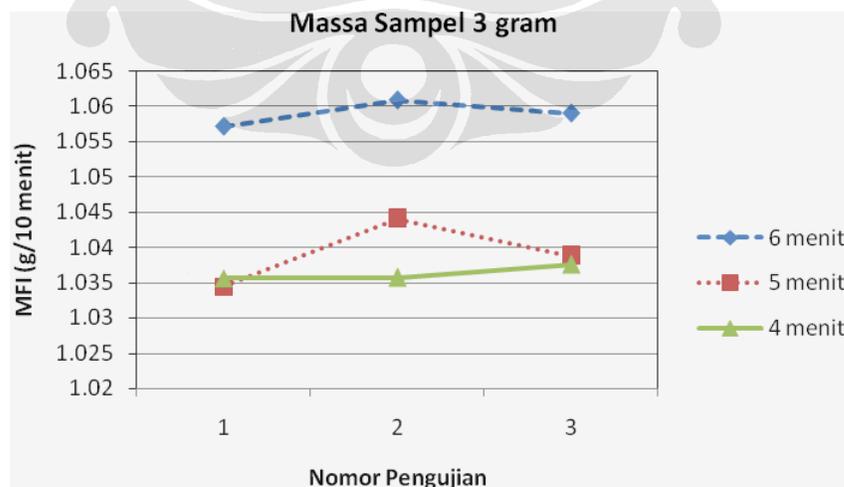
| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1035 | 1.0345 | 0.0348 | 3.3608 |
| 2 | 0.1044 | 1.0440 | 0.0247 | 2.3651 |
| 3 | 0.1039 | 1.0388 | 0.0238 | 2.2947 |

Tabel 4.7. Data Pengujian Sampel 6 (waktu *pre-heat* 4 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1036 | 1.0356 | 0.0203 | 1.9593 |
| 2 | 0.1036 | 1.0357 | 0.0220 | 2.1202 |
| 3 | 0.1038 | 1.0375 | 0.0175 | 1.6877 |

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 2.85 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* 6 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1053 | 1.0533 | 0.0304 | 2.8846 |
| 2 | 0.1051 | 1.0511 | 0.0254 | 2.4179 |
| 3 | 0.1046 | 1.0465 | 0.0223 | 2.1295 |

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

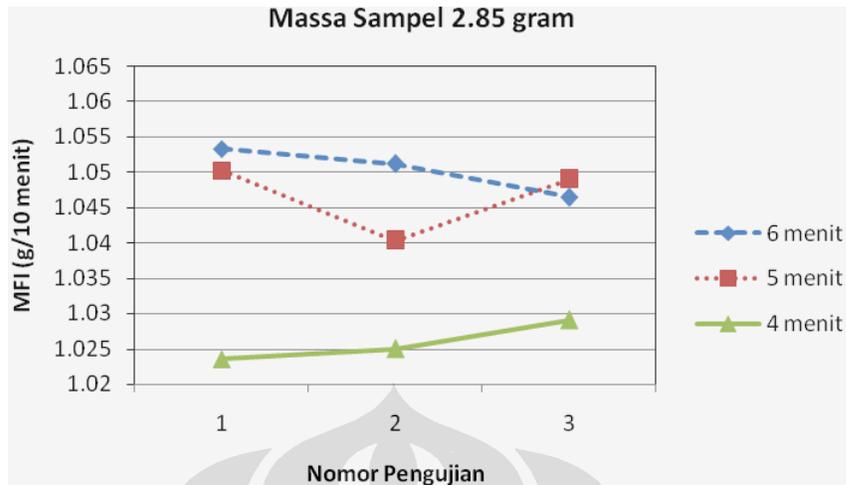
| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1050 | 1.0502 | 0.0308 | 2.9344 |
| 2 | 0.1040 | 1.0403 | 0.0311 | 2.9921 |
| 3 | 0.1049 | 1.0490 | 0.0215 | 2.0522 |

Tabel 4.10. Data Pengujian Sampel 9 (waktu *pre-heat* 4 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1024 | 1.0236 | 0.0330 | 3.2207 |
| 2 | 0.1025 | 1.0250 | 0.0282 | 2.7494 |
| 3 | 0.1029 | 1.0291 | 0.0360 | 3.5013 |

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. HASIL UJI SAMPEL 10, 11, DAN 12

4.4.1. Tabel Data Pengujian

Data pengujian untuk sampel dengan massa 2.75 gram, yaitu sampel 10, 11, dan 12, diberikan pada Tabel 4.11, 4.12, dan 4.13.

Tabel 4.11. Data Pengujian Sampel 10 (waktu *pre-heat* 6 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1044 | 1.0437 | 0.0220 | 2.1123 |
| 2 | 0.1057 | 1.0575 | 0.0143 | 1.3506 |
| 3 | 0.1048 | 1.0479 | 0.0143 | 1.3683 |

Tabel 4.12. Data Pengujian Sampel 11 (waktu *pre-heat* 5 menit)

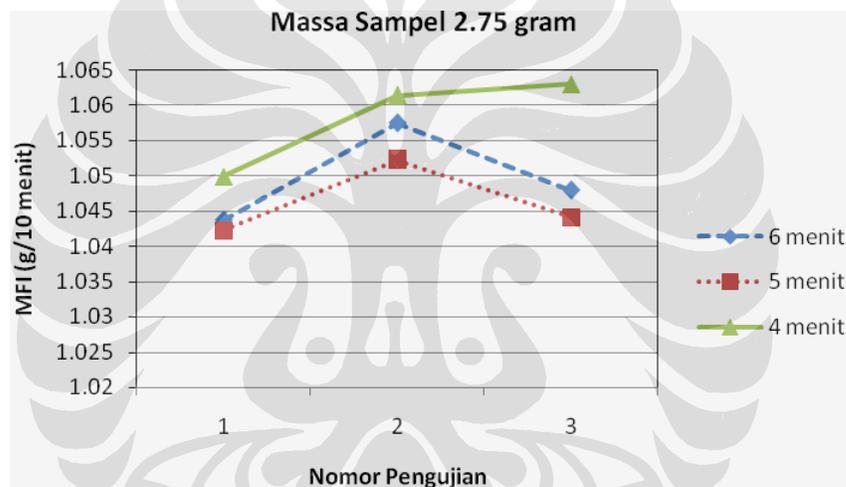
| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1042 | 1.0423 | 0.0181 | 1.7355 |
| 2 | 0.1052 | 1.0522 | 0.0195 | 1.8561 |
| 3 | 0.1044 | 1.0441 | 0.0171 | 1.6378 |

Tabel 4.13. Data Pengujian Sampel 12 (waktu *pre-heat* 4 menit)

| No. Tes | Massa Ekstrudat Rata-Rata (g) | MFI Rata-Rata (g/10 menit) | Standar Deviasi | Kesalahan Relatif (%) |
|---------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 0.1050 | 1.0499 | 0.0139 | 1.3258 |
| 2 | 0.1061 | 1.0613 | 0.0065 | 0.6130 |
| 3 | 0.1063 | 1.0630 | 0.0275 | 2.5824 |

4.4.2. Grafik Pengujian

Gambar 4.4 di bawah memberikan grafik perbandingan nilai MFI ketiga sampel pada 3 kali pengujian.



Gambar 4.4. Grafik nilai MFI pada 3 kali pengujian sampel 10, 11, dan 12

4.5. ANALISIS GRAFIK PENGUJIAN TIAP MASSA SAMPEL

Pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 ditunjukkan grafik perbandingan nilai MFI pada tiap waktu pemanasan awal tiap sampel. Pada grafik-grafik tersebut hanya terlihat pengaruh waktu pemanasan awal pada nilai MFI dan tidak dapat terlihat pengaruh massa sampel pengujian. Berdasarkan literatur, nilai MFI akan bertambah jika waktu pemanasan bertambah [9], hal ini karena jika waktu pemanasan ditambah, polimer akan semakin encer/leleh sehingga volum polimer

leleh yang keluar tiap waktu *cut-off* akan semakin banyak dan massa ekstrudatnya juga pasti bertambah.

Pada grafik-grafik tersebut, *trend* 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 pertama sampel dengan massa 4 gram dan waktu pemanasan awal 4 menit, nilai MFI-nya melebihi nilai MFI pada pengujian pertama sampel dengan massa 4 gram dan waktu pemanasan awal 5 menit, data ini terlihat pada Gambar 4.1, dan pada pengujian dengan massa sampel 2.75 gram dan waktu pemanasan awal 4 menit yang nilai MFI-nya melebihi nilai pada waktu pemanasan awal 5 menit dan 6 menit. Penyimpangan-penyimpangan seperti ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang akan dibahas di bawah ini.

Faktor pertama 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.

Faktor kedua 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 terlihat oleh pengamatan mata. Kotoran atau lemak yang menempel pada ekstrudat membuat massa ekstrudat yang ditimbang menjadi lebih besar, sedangkan adalah gelembung udara menyebabkan massa ekstrudat menjadi lebih kecil.

Faktor ketiga adalah fluktuatifnya temperatur barel pada saat pemanasan awal. Temperatur barel tidak selalu stabil berada pada temperatur $190 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$, catatan pengujian menunjukkan bahwa temperatur dapat naik hingga 195°C , tetapi itu tidak lama. Walaupun tidak lama, kenaikan temperatur tersebut dapat memberikan kontribusi penyimpangan data karena penambahan temperatur berarti

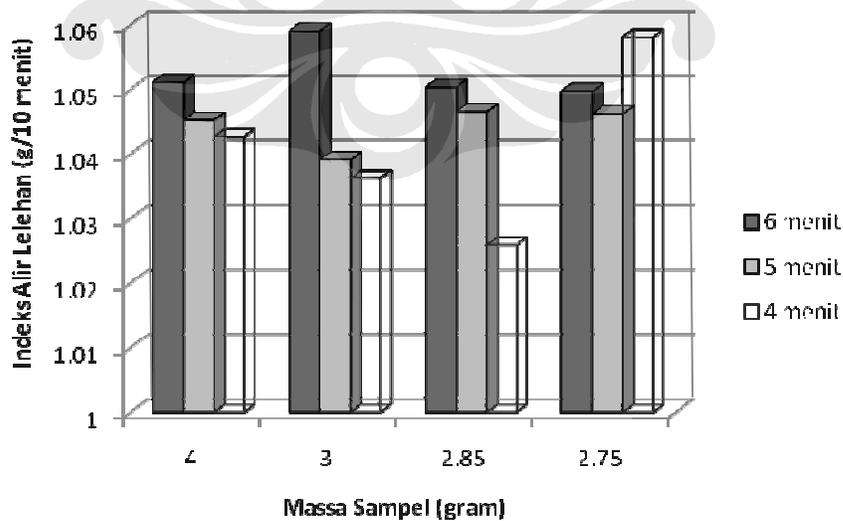
viskositas lelehan semakin menurun, hal ini terdapat dalam proses degradasi termal di mana semakin tinggi temperatur, maka rantai polimer akan semakin tercerai berai yang menyebabkan penurunan viskositas (pengenceran) [10]. Dan seperti telah dibahas di atas, semakin encer polimer dalam barel, maka volum yang keluar semakin banyak dan nilai MFI pun meningkat.

Dari hasil perbandingan nilai MFI terhadap waktu pemanasan awal sampel LLDPE 3120 dapat disimpulkan bahwa kondisi waktu pemanasan awal terbaik untuk pengujian sampel LLDPE 3120 adalah yang menghasilkan MFI paling dekat dengan nilai literatur (spesifikasi material) di mana MFI untuk LLDPE 3120 adalah 1 g/10 menit, yaitu waktu pemanasan awal 4 menit dengan nilai MFI rata-rata 1.0407 g/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 12), kemudian membandingkannya seperti terlihat pada grafik perbandingan nilai indeks alir lelehan keseluruhan sampel yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5. Grafik perbandingan MFI seluruh sampel

4.6.2. Analisis

Grafik pada Gambar 4.5 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 dilihat dari grafik, massa sampel tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai MFI, karena pada grafik terlihat bahwa nilai MFI naik-turun secara acak terhadap massa sampel, hal ini pun lebih disebabkan oleh pengaruh waktu pemanasan awal tiap sampel. Seharusnya, semakin banyak sampel maka nilai MFI semakin turun, ini karena semakin banyak polimer yang harus diekspos oleh panas. Namun, di sini nilai MFI lebih dipengaruhi oleh waktu pemanasan awal, karena memang interval massa sampel dari 2.75 sampai 3 gram sangat kecil, sedangkan massa 4 gram tidak dapat diperhitungkan karena nilai MFI tersebut sudah dipengaruhi oleh penekanan manual tangan. Pengaruh massa sampel akan lebih dijelaskan lagi pada sub-bab Kemunculan Gelembung Udara Pada Ekstrudat.

4.7. CONTOH PERHITUNGAN

4.7.1. Perhitungan Nilai MFI

Berikut adalah satu contoh perhitungan nilai MFI dengan menggunakan Persamaan 2.15 di atas. Untuk contoh perhitungan ini, digunakan sampel nomor 1 (massa sampel 4 gram, waktu *pre-heat* 6 menit) pada pengujian pertama.

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

$$MFI = \frac{10 \times 0.1053}{1}$$

$$MFI = 1.0525 \text{ g/10 menit}$$

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, yaitu 15 buah ekstrudat pada tiap pengujian.

Pada contoh perhitungan digunakan sampel nomor 2 (massa sampel 4 gram, waktu *pre-heat* 5 menit) pada pengujian ketiga di mana dihasilkan 10 ekstrudat yang bagus dan 5 ekstrudat cacat. Berikut adalah data sampel nomor 2 yang diberikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Data massa ekstrudat pada Sampel 2 Pengujian 3

| no. | massa ekstrudat (g) | MFI (g/10 menit) |
|-----|---------------------|------------------|
| 1 | 0.1029 | 1.029 |
| 2 | 0.1041 | 1.041 |
| 3 | 0.1045 | 1.045 |
| 4 | 0.1046 | 1.046 |
| 5 | 0.1049 | 1.049 |
| 6 | 0.1049 | 1.049 |
| 7 | 0.1051 | 1.051 |
| 8 | 0.1052 | 1.052 |
| 9 | 0.1052 | 1.052 |
| 10 | 0.1057 | 1.057 |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| ave | 0.1047 | 1.0471 |

Rumus yang digunakan untuk menghitung standar deviasi adalah sebagai berikut.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.16)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{10-1} [(1.029 - 1.0471)^2 + (1.041 - 1.0471)^2 + \dots + (1.057 - 1.0471)^2]}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{9} \times 0.00053892}$$

$$S = 0.007738073$$

4.7.3. Perhitungan Kesalahan Relatif

Dalam suatu percobaan, kesalahan merupakan suatu hal pasti. Angka-angka kesalahan harus disertakan untuk memberikan penilaian yang wajar terhadap hasil percobaan. Kesalahan relatif adalah suatu tingkat kesalahan pada suatu pengujian yang berulang, di mana hasil percobaan 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 [11]. Karena kesalahan biasanya diungkapkan dalam persen (%), maka hasil pembagian tersebut dikalikan dengan 100%.

Contoh perhitungan yang diambil di sini adalah sampel nomor 3 (massa sampel 4 gram, waktu *pre-heat* 4 menit) pada pengujian pertama.

$$\text{Kesalahan Relatif (KR)} = \frac{S}{MFI} \times 100\% \quad (2.17)$$

$$KR = \frac{0.0206}{1.0514} \times 100\%$$

$$KR = 1.9562\%$$

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 4.19%, yaitu pada pengujian pertama sampel dengan massa 3 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. Faktor pertama adalah kesalahan saat penimbangan di mana dapat menyebabkan nilai MFI lebih besar atau lebih kecil. Kedua, kondisi ekstrudat yang ditimbang di mana dapat menaikkan nilai MFI bila terdapat kotoran dan menurunkan nilai MFI bila terdapat gelembung udara. Ketiga, fluktuatifnya temperatur barel saat pengujian yang menyebabkan lelehan polimer menjadi lebih encer sehingga menaikkan nilai MFI.

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. Parameter pengujian yang dipakai adalah sama seperti pada sampel nomor 4, yaitu dengan waktu pemanasan awal dan massa sampel 3 gram, selebihnya juga disesuaikan dengan ASTM D1238, yaitu temperatur 190°C, beban 2.16 kg, dan interval waktu *cut-off* 60 s.

Dalam uji banding ini juga dilakukan 3 kali pengujian. Dan berikut adalah data hasil pengujian yang diberikan pada Tabel 4.38.

Tabel 4.15. Data hasil uji banding

| Nomor Pengujian | Nilai MFI (g/10 menit) |
|-----------------|------------------------|
| 1 | 1.153 |
| 2 | 1.121 |
| 3 | 1.104 |

Jika data tersebut dibandingkan dengan data hasil pengujian dengan alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport*, maka data pembandingan adalah sampel dengan parameter pengujian yang sama dengan kondisi pengujian di atas, yaitu sampel

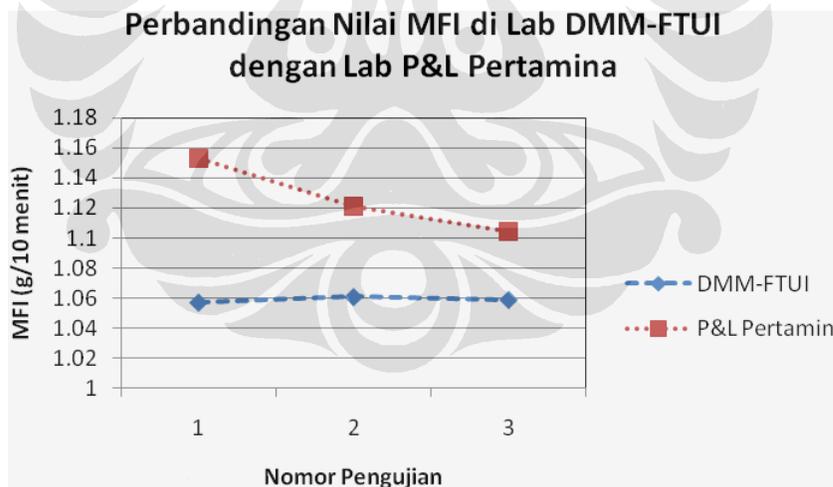
nomor 4 (massa sampel 3 gram, waktu *pre-heat* 6 menit). Data hasil pengujian sampel nomor 4 dapat dilihat pada Tabel 4.5 dengan rincian dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.16 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 4.16. 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 | 1.0571 | 1.153 |
| 2 | 1.0609 | 1.121 |
| 3 | 1.059 | 1.104 |
| rata-rata | 1.059 | 1.126 |

Dari Tabel 4.16 di atas, dapat dibentuk grafik perbandingan hasil uji kedua laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6. Grafik perbandingan nilai MFI antara laboratorium di DMM-FTUI dengan P&L Pertamina

Dari grafik terlihat bahwa pada kondisi pengujian dengan massa sampel 3 gram dan waktu pemanasan awal 6 menit, nilai MFI hasil uji alat *Melt Flow*

Indexer 9 Davenport berada di bawah nilai hasil uji alat Tinius Olsen di P&L Pertamina.

Dari grafik tersebut terlihat bahwa alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport* di Laboratorium Polimer DMM-FTUI memiliki tingkat kepresisian yang lebih tinggi karena grafik ketiga pengujian memiliki kemiringan yang kecil.

Mengenai perbedaan hasil di mana nilai MFI dengan alat uji Tinius Olsen lebih tinggi dapat disebabkan oleh ketiga faktor seperti pada pembahasan perbedaan nilai MFI tiap waktu pemanasan awal di atas, yaitu kesalahan penimbangan, kondisi ekstrudat yang ditimbang, dan fluktuatifnya temperatur barel.

4.8.2. Perhitungan Kesalahan Relatif Terhadap Lab. 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 literatur

$$\text{Kesalahan Literatur (KL)} = \left| \frac{MFI - MFI_{lit}}{MFI_{lit}} \right| \times 100\% \quad (2.18)$$

$$KL = \left| \frac{1.059 - 1.126}{1.126} \right| \times 100\%$$

$$KL = 5.950266\%$$

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 5.95%, tetapi bila kedua hasil uji di dua laboratorium tersebut dibandingkan dengan literatur spesifikasi material LLDPE

3120, maka alat uji *Melt Flow Indexer 9 Davenport* memiliki keakuratan yang lebih baik. Alasan mengapa hasil uji dengan alat Tinius Olsen lebih besar adalah karena kondisi alat uji yang sudah lama tidak dikalibrasi menurut operatornya, dan kebersihan alat yang kurang, sehingga ekstrudat yang keluar terkotori oleh kotoran yang menempel dan otomatis menaikkan nilai MFI.

4.9. KEMUNCULAN GELEMBUNG UDARA PADA EKSTRUDAT

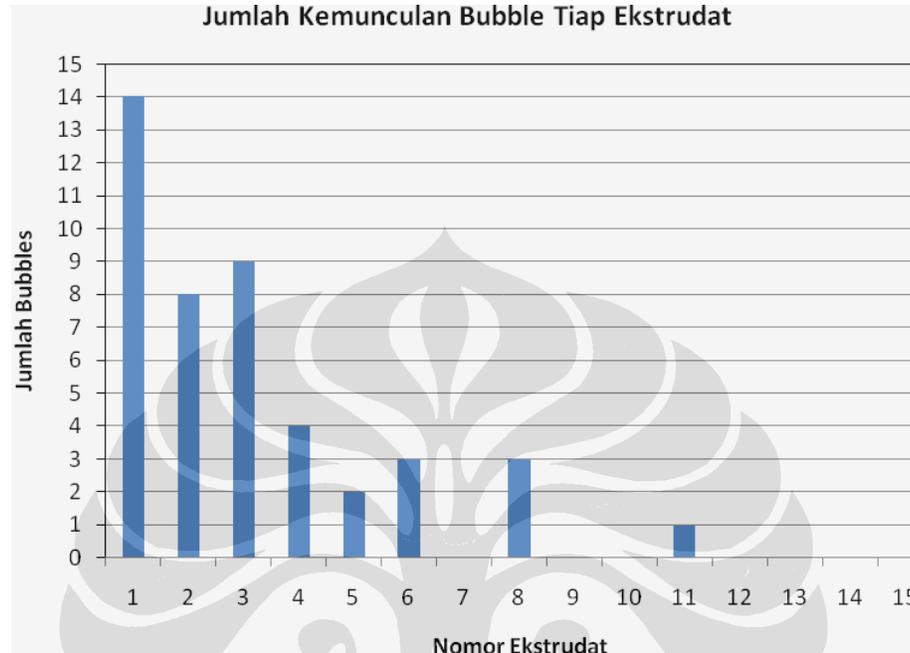
Cacat pada ekstrudat adalah suatu hal yang hampir pasti terjadi pada pengujian indeks alir lelehan atau MFI. Cacat yang paling sering muncul adalah adanya gelembung udara atau *bubbles* pada ekstrudat yang disebabkan oleh udara yang terperangkap dalam barel yang tidak keluar pada saat penekanan sampel.

Tabel 4.17 berikut menunjukkan data kemunculan *bubbles* pada penelitian ini.

Tabel 4.17. Data kemunculan gelembung udara pada pengujian indeks alir lelehan LLDPE 3120

| nomor sampel | nomor ekstrudat dengan gelembung udara | | |
|--------------|--|-------------|---------------|
| | pengujian 1 | pengujian 2 | pengujian 3 |
| sampel 1 | - | 1 | - |
| sampel 2 | 1, 2, 4, 8 | 1, 2, 4 | 1, 2, 3, 5, 6 |
| sampel 3 | 4 | - | 1 |
| sampel 4 | - | - | - |
| sampel 5 | - | 1, 3 | 1, 2 |
| sampel 6 | - | 3 | 3, 6 |
| sampel 7 | 1 | 3 | 1, 2 |
| sampel 8 | 2, 8 | 1, 2, 3 | 1, 9, 11 |
| sampel 9 | 2, 3 | 5, 8 | 1, 2, 3, 4, 6 |
| sampel 10 | - | - | 1 |
| sampel 11 | - | 1 | 1 |
| sampel 12 | - | 1 | 3 |

Gambar 4.7 di bawah ini menunjukkan grafik jumlah gelembung udara yang muncul tiap nomor ekstrudat.



Gambar 4.7. Grafik jumlah kemunculan gelembung udara pada tiap ekstrudat

Grafik tersebut menunjukkan jumlah gelembung udara yang timbul tiap nomor ekstrudat. Pada grafik jelas terlihat bahwa gelembung udara muncul lebih banyak pada nomor-nomor awal ekstrudat atau pada awal pengujian, yaitu pada ekstrudat nomor 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 8.

Kemunculan gelembung udara ini yang 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 ada gelembung udara adalah daerah di bawah barel yang paling kecil menerima pengaruh penekanan sampel. Hal ini yang menjadi alasan mengapa ekstrudat yang paling sering terdapat gelembung udara di dalamnya adalah ekstrudat nomor-nomor awal. Walaupun demikian, gelembung udara tidak selalu muncul. Ini dibuktikan pada beberapa pengujian yang sama sekali tidak ditemukan gelembung udara pada

ekstrudatnya, contohnya adalah pengujian pertama sampel dengan massa 3 gram dengan waktu pemanasan awal 6, 5, dan 4 menit. Tidak munculnya gelembung udara menandakan sudah sempurnanya penekanan sehingga udara terperangkap dapat dikeluarkan dari barel dengan baik.

Dari grafik pada Gambar 4.7 juga dapat ditentukan rata-rata kemunculan gelembung udara tiap nomor ekstrudat, yaitu 2.867. Dengan kata lain, rata-rata ada 3 buah ekstrudat yang mengandung gelembung udara pada tiap pengujian. Dari rata-rata tersebut, maka ekstrudat yang bagus yang diperoleh tiap pengujian adalah 12 buah ekstrudat, jumlah tersebut jauh di atas standar minimum jumlah ekstrudat pada satu kali pengujian yaitu 5 buah ekstrudat yang bagus [12].

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 karena piston masih berada di atas dan menekan keluar kelebihan sampel dalam barel sampai 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.

Oleh sebab itu, sampel dengan massa 2.75 gram, yang merupakan batas minimum sampel dalam barel di mana tidak akan ada kelebihan polimer di dalam barel untuk dikeluarkan, sangat rawan terhadap gelembung udara bila penekanan sampel kurang sempurna. Sampel dengan massa 2.85 dan 3 gram lebih aman karena masih punya kelebihan sampel untuk dikeluarkan bersama dengan gelembung udara hasil penekanan sampel yang kurang sempurna. Sampel dengan massa 4 gram sebenarnya punya lebih banyak kelebihan polimer untuk membawa gelembung udara keluar sebelum pengujian, hanya saja kelebihan polimer tersebut terlalu banyak sehingga tidak ada cukup waktu untuk mengeluarkan kelebihan itu sampai batas topangan *piston support* dengan pembebanan normal dalam waktu pemanasan awal yang disediakan. 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 [4]. 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.

Dari pengujian ini, maka dapat disimpulkan bahwa massa sampel yang paling optimal untuk pengujian MFI LLDPE 3120 adalah 3 gram. Massa 3 gram dipilih dan bukan 2.85 gram karena hasil pengujian kedua sampel tersebut tidak begitu jauh, sedangkan pada praktiknya massa 3 gram lebih mudah untuk mempersiapkannya.

