

PENGARUH *SETTING* PARAMETER MESIN INJEKSI TERHADAP *MECHANICAL PROPERTIES* PRODUK MATERIAL *ACRYLONITRIL* *BUTADIENE STYRENE* (ABS) DENGAN MENGGUNAKAN METODE 3^k *FACTORIAL DESIGNS*

Eduardus Dimas Arya Sadewa¹, Fadhel Muhammad², Elita Pusparini²

¹Politeknik Manufaktur Astra, Departemen Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Jakarta Indonesia, ²Universitas Indonesia, S2 Departemen Teknik Industri, Depok, Indonesia.

*eduardus.dimas@polman.astra.ac.id

Abstrak--Proses cetak injeksi merupakan salah satu metode pembentukan produk plastik yang banyak digunakan. Parameter injeksi merupakan faktor yang penting dalam proses cetak injeksi. Parameter yang berpengaruh dalam proses injeksi antara lain temperatur material leleh, tekanan injeksi, kecepatan injeksi dan tekanan *holding*. *Polymer* yang digunakan dalam proses injeksi beragam, salah satu yang banyak digunakan adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Perubahan dari parameter dapat mempengaruhi *mechanical properties* dari material seperti *tensile strength*; *stress@yield*, *elongation @yield*, dan *impact strength*. *Tensile strength* mengukur kekuatan material terhadap beban tarikan dan perubahan panjangnya. Kemampuan untuk menahan beban tarikan dilihat dari angka *stress@yield*. Dengan menggunakan metode 3^k *factorial design* dicari signifikansi dari empat faktor *setting* parameter dengan 3 level dan 3 replikasi diperoleh 243 data. Hasil yang didapat, temperature merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap *stress@yield* dengan besaran 200° C dan dibuktikan dengan dengan *F-value* 48,66 diikuti dengan tekanan injeksi yang terbaik adalah 70% dibuktikan dengan dengan *F-value* 6,85. Kombinasi terbaik untuk mendapatkan *stress@yield* untuk *polymer* ABS yang optimal, *setting* parameter injeksi menggunakan temperatur 200° C, *injection speed* 57%, *injection pressure* 90% dan *holding pressure* 40%

Kata kunci : Parameter injeksi, *polymer* ABS, *mechanical properties*, *stress@yield*, 3^k *factorial design*.

I. PENDAHULUAN

Polymer saat ini digunakan pada berbagai aplikasi produk karena memiliki keunggulan pada kemudahan dalam proses pembentukan, tidak korosif dan dapat didaur ulang. Dengan titik leleh yang relatif rendah dan sifat perubahan molekul, *polymer* dapat di proses dengan mudah serta dapat di proses ulang. Salah satu proses yang banyak digunakan untuk proses pembentukan produk adalah injeksi molding dengan menggunakan tekanan untuk menginjeksikan material leleh ke dalam cetakan.

Dalam proses cetak injeksi, ada beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk mendapatkan kualitas produk dan *mechanical properties* yang optimal. Secara umum pembagian parameter ada pada temperatur leleh material, proses injeksi dan *charging* serta proses *holding*. Temperatur berpengaruh terhadap kekentalan dan laju alir dari material leleh. Pada proses injeksi, *setting* tekanan dan kecepatan injeksi berpengaruh terhadap proses pengisian material leleh ke dalam cetakan. Saat *charging* atau pengumpanan butiran material mentah untuk dilelehkan, kecepatan putaran *screw* dan tekanan pengumpanan berpengaruh terhadap kepadatan dari material leleh yang akan diinjeksikan. *Holding* adalah penekanan akhir dari material yang sudah mengisi dari rongga cetakan saat sudah menjadi bentuk produk. Tekanan *holding* akan berpengaruh terhadap kepadatan dari produk.

Mechanical properties yang secara umum menjadi pertimbangan dari sebuah material antara lain *Tensile strength* untuk mengetahui kemampuan material terhadap kekuatan tarik serta penambahan panjang dari material saat mengalami penarikan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan keterkaitan faktor *setting* parameter terhadap *mechanical properties* dengan menggunakan material *polymer acrylonitrile butadiene styrene (ABS)* sehingga dapat menjadi pertimbangan pada saat akan melakukan *setting* parameter sesuai dengan kebutuhan dari *mechanical properties* yang dibutuhkan pada produk.

II. LITERATURE REVIEW

Salah satu proses yang banyak digunakan untuk proses pembentukan produk adalah *injection molding* dengan menggunakan tekanan untuk menginjeksikan material leleh ke dalam cetakan [1]. Untuk menginjeksikan material ke dalam cetakan ada parameter yang berpengaruh terhadap hasil produk termasuk didalamnya adalah *properties* materialnya.

Pada penelitian mengenai sifat mekanik dan termal untuk cetakan HDPE pada suhu cetakan dan kecepatan injeksi, ditemukan bahwa kekuatan tarik, tegangan hasil, modulus tarik dan kekerasan yang lebih tinggi diperoleh ketika suhu cetakan itu meningkat [2]. Sifat mekanik dari komposit yang terbuat dari HDPE daur

ulang dalam beberapa kasus lebih baik dari komposit yang terbuat dari PP daur ulang, namun ketika menambahkan konten serat rendah, komposit mereka menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik daripada ketika non komposit digabungkan [3]. Efek dari parameter proses pencetakan injeksi termasuk *flow rate injection*, temperatur, *packing pressure* menggunakan serat komposit yang diperkuat *polystyrene* dapat mempengaruhi elastisitas dan modulus tarik dari produk [4]. *Mechanical properties* produk injeksi dapat ditentukan dari *setting* parameter *injection rate*, suhu leleh material dan putaran *screw* pada saat proses pelelehan [5]. Faktor jenis material mold juga berpengaruh terhadap optimalisasi hasil parameter injeksi [6].

Optimalisasi *mechanical properties* dari plastik daur ulang dengan dapat dilakukan dengan mengoptimalkan parameter proses [7]. Penelitian *mechanical properties* dari *polymer ABS* juga dilakukan namun lebih terfokus pada campuran yang tepat antara material murni dengan daur ulang [8].

Untuk mengetahui *mechanical properties* dari material dibutuhkan pengujian diantaranya pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan terhadap beban tarik dan penambahan panjangnya dan uji *impact* untuk mengetahui kemampuan penyerapan energi dari material. Penelitian perilaku pengujian tarik terhadap *polymer polystyrene* dan *polypropylene* menyebutkan perbedaan hasil pengujian karena aliran material yang tidak merata saat proses produksi [9]. Aliran yang tidak merata ini dapat terjadi karena *setting* parameter dari proses injeksinya.

Dari beberapa tulisan diatas, dapat dilihat *setting parameter* memiliki korelasi terhadap *mechanical properties* dari produk yang dihasilkan. Penelitian tentang *mechanical properties* yang bisa didapatkan dari *setting* parameter proses cetak injeksi [7,8,9] dan penelitian pengaruh dari material cetakan terhadap *setting parameter* [6] telah dilakukan, namun belum ada eksperimen yang bertujuan untuk mencari faktor *setting parameter* yang memiliki pengaruh signifikan terhadap *mechanical properties* terutama *stress @ yield* dari *polymer acrylonitrile butadiene styrene (ABS)*.

III. METODE PENELITIAN

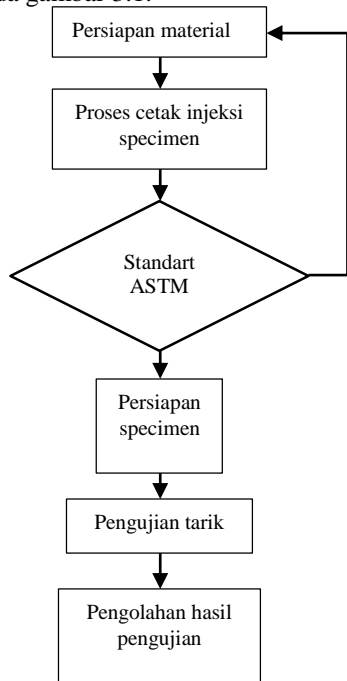
3.1 Data

Untuk mendapatkan data dari pengujian, diperlukan tahapan mulai dari persiapan material sampai dengan pengujian hasil cetak injeksi. Persiapan *specimen* uji tarik dengan proses injeksi cetak injeksi, ukuran sesuai dengan standar pengujian ASTM D638 type 1 seperti ditunjukkan gambar 3.2. Kecepatan penarikan pada saat pengujian tarik sebesar

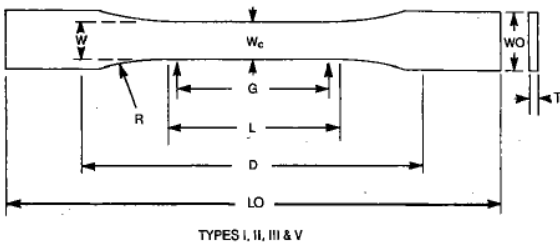
10mm/menit. Dimensi penting pada benda uji diuraikan sebagai berikut:

1. Lebar (W) = $13 \pm 0,5$ mm
2. Panjang (L) = $57 \pm 0,5$ mm
3. Lebar keseluruhan (Wo) = $19 \pm 6,4$ mm
4. Panjang keseluruhan (Lo) = 165 mm
5. Panjang ukur (G) = $50 \pm 0,25$ mm
6. Jarak antar grip (D) = 115 ± 1 mm

Material yang digunakan adalah *polymer* ABS LG H1 100 diproses dengan menggunakan mesin injeksi Hwa Chin 160 SE dengan mold pengujian tarik dan hasil proses cetak injeksi di uji *mechanical properties* dengan mesin uji *tensile* Galdabini 2500. *Flow process* pembuatan *specimen* dan pengolahan data dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Flow process* mendapatkan data dan hasil analisa



Gambar 3.2. Bentuk dan dimensi dari specimen uji tarik material plastik ASTM D638

3.2 Prosedur

Pada tahapan cetak injeksi, parameter yang dimasukkan sebagai variabel adalah temperatur,

kecepatan injeksi, tekanan injeksi dan tekanan *holding*. *Level* yang digunakan pada *variable* ini dapat dilihat pada table 3.1.

Tabel 3.1. *Variable* Faktor dan *Level* dari *Setting* Parameter.

| Faktor | Level | | |
|----------------------------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Temperatur (°C) | 200 °C | 210 °C | 220°C |
| Kecepatan injeksi (%) | 57% | 70% | 80% |
| Tekanan injeksi (%) | 70% | 80% | 90% |
| Tekanan <i>holding</i> (%) | 20% | 40% | 60% |

Dari *setting* parameter dengan *level* yang ada dilakukan eksperimen dengan kombinasi $3^4 = 81$ kombinasi dan replikasi sebanyak 3 kali, sehingga total data 243. Gambar 3.3 menunjukkan mold *specimen* uji tarik dengan acuan dimensi ASTM D638 type 1 [10]. Gambar 3.4 menunjukkan *specimen* hasil injeksi yang sudah dipersiapkan. Gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan mesin dan hasil dari pengujian tarik *polymer* ABS.



Gambar 3.3. Mold specimen uji tarik



Gambar 3.4. Bentuk jadi *polymer* ABS



Gambar 3.5. Mesin pengujian tarik



Gambar 3.6. Polymer ABS sebelum dan setelah proses pengujian

IV. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Uji tarik dilakukan pada material *polymer ABS* dengan 4 *setting* parameter yaitu, temperatur, *injection speed*, *injection pressure*, dan *holding pressure*. Masing-masing dari parameter tersebut diatur 3 level berbeda yang dikelompokkan menjadi *low*, *mid*, dan *high level*. Berdasarkan kondisi tersebut maka dapat dilakukan pengolahan data menggunakan 3^4 *factorial design*, yang berarti bahwa terdapat 4 faktor yang masing-masing mempunyai 3 level yang berbeda [11].

Pengolahan data dilakukan menggunakan uji dua ujung dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Dalam hal ini direfleksikan dalam dua *statistical hypothesis*; $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ dan $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$. Notasi μ_1 , μ_2 , dan μ_3 menyatakan level 1, 2, dan 3 dari keempat faktor dan interaksi antar faktor. Data yang diperoleh berjumlah $3^k \times n = 3^4 \times 3 = 243$

Dengan menggunakan program Minitab 17, hasil yang diperoleh dari uji tarik *polymer ABS* dengan 3^4 *factorial design* dan 3 replikasi dapat dilihat pada tabel 4.1. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.1, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa faktor dan interaksi antar faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan *polymer ABS* terhadap tarikan sehingga hipotesis H_1 diterima.

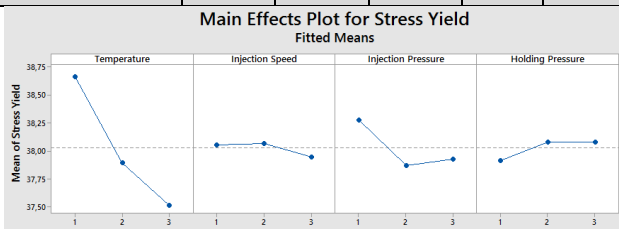
Faktor yang paling berpengaruh adalah temperatur dengan nilai F yang paling besar. Faktor kedua adalah *Injection Pressure*. Sedangkan *Holding Pressure* dan *Injection Speed* dapat dikatakan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan karena mempunyai *P-Value* $> \alpha$.

Pada bagian interaksi antar faktor, sebagian besar dari faktor-faktor tersebut tidak menunjukkan pengaruh interaksinya, hanya interaksi antara temperatur dan *holding pressure* yang cukup berpengaruh. Interaksi antara temperatur dan *injection pressure* hampir dapat dikatakan berpengaruh karena mempunyai nilai *P-value* yang mendekati α . Grafik yang menunjukkan pengaruh faktor-faktor dan interaksi antar faktor ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2.

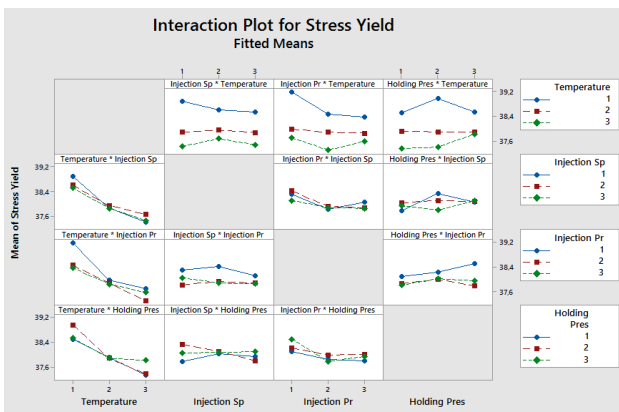
Tabel 4.1. Hasil pengolahan dengan Minitab17 dengan metode 3^4 *factorial design*.

| Analysis of Variance | Degree of Freedom | Sum of Square | Mean Square | F-Value | P-Value |
|-------------------------------------|-------------------|---------------|-------------|---------|---------|
| Source | 80 | 109.132 | 1.3642 | 2.38 | 0.000 |
| Linear | 8 | 65.819 | 8.227 | 14.34 | 0.000 |
| Temperature | 2 | 55.854 | 27.9271 | 48.66 | 0.000 |
| Injection speed | 2 | 0.715 | 0.3573 | 0.62 | 0.538 |
| Injection Pressure | 2 | 7.858 | 3.9289 | 6.85 | 0.001 |
| Holding Pressure | 2 | 1.393 | 0.6963 | 1.21 | 0.300 |
| 2-Way Interactions | 24 | 20.827 | 0.8678 | 1.51 | 0.070 |
| Temperature * Injection speed | 4 | 2.145 | 0.5364 | 0.93 | 0.445 |
| Temperature * Injection Pressure | 4 | 5.414 | 1.3536 | 2.36 | 0.056 |
| Temperature * Holding Pressure | 4 | 5.974 | 1.4935 | 2.60 | 0.038 |
| Injection speed*Injection Pressure | 4 | 1.359 | 0.3398 | 0.59 | 0.669 |
| Injection speed*Holding Pressure | 4 | 3.742 | 0.9356 | 1.63 | 0.169 |
| Injection Pressure*Holding Pressure | 4 | 2.192 | 0.5479 | 0.95 | 0.434 |
| 3-Way Interactions | 32 | 9.822 | 0.3069 | 0.53 | 0.980 |
| Temperature * Injection | 8 | 2.733 | 0.3416 | 0.60 | 0.781 |

| | | | | | |
|---|-----|-------------|------------|------|-------|
| speed*Injection Pressure | | | | | |
| Temperature * Injection speed*Holding Pressure | 8 | 3.097 | 0.387 2 | 0.67 | 0.713 |
| Temperature *Injection Pressure*Holding Pressure | 8 | 2.823 | 0.352 8 | 0.61 | 0.765 |
| Injection speed*Injection Pressure*Holding Pressure | 8 | 1.169 | 0.146 1 | 0.25 | 0.979 |
| 4-Way Interactions | 16 | 12.66 4 | 0.791 5 | 1.38 | 0.158 |
| Temperature * Injection speed*Injection Pressure*Holding Pressure | 16 | 12.66 4 | 0.791 5 | 1.38 | 0.158 |
| Error | 162 | 92.97 1 | 0.573 9 | | |
| Total | 242 | 201.1 02 | | | |



Gambar 4.1. Pengaruh faktor-faktor tanpa interaksi terhadap *stress @ yield*



Gambar 4.2. Pengaruh interaksi antar faktor terhadap *stress @ yield*

Berdasarkan data uji tarik yang diperoleh, dapat ditemukan kombinasi faktor untuk *setting* parameter dalam pembuatan *polymer* ABS yang memiliki nilai

Stress @ Yield yang optimal. Gambar 4.3 menunjukkan 5 kombinasi terbaik yang dapat menghasilkan nilai rata-rata yang optimal.

Response Optimization: Stress @ Yield

Parameters

| | | | | | | |
|--------------|---------|--------|--------|-------|--------|------------|
| Response | Goal | Lower | Target | Upper | Weight | Importance |
| Stress Yield | Maximum | 35,682 | 44,695 | | 1 | 1 |

Solutions

| Solution | Temperature | Injection Speed | Injection Pressure | Holding Pressure | Stress Yield Fit | Composite Desirability |
|----------|-------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 40,3377 | 0,516550 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 39,9507 | 0,473612 |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 39,8323 | 0,460483 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 3 | 39,4627 | 0,419468 |
| 5 | 1 | 3 | 1 | 3 | 39,4247 | 0,415252 |

Gambar 4.3. Optimalisasi nilai respon (*Stress @ Yield*)

Jadi, kombinasi terbaik adalah *setting Temperatur level 1, Injection Speed level 1, Injection Pressure level 3, dan Holding pressure level 2.*

V. KESIMPULAN

Paper ini menyajikan analisis mengenai faktor apa saja yang berpengaruh pada kekuatan material *polymer* ABS terhadap uji tarik. Dari serangkaian proses analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah temperatur dengan *F-value* 48,66. Berdasarkan grafik pengaruh faktor tanpa interaksi, temperatur yang paling baik adalah 200° C. *Injection pressure* merupakan faktor kedua yang berpengaruh dengan *F-value* 6,85. Berdasarkan grafik pengaruh faktor tanpa interaksi, *injection pressure* yang terbaik adalah 70%. Sedangkan *injection speed* dan *holding pressure* memiliki pengaruh yang kurang signifikan terhadap nilai *stress@yield*. Berdasarkan data uji tarik, untuk mendapatkan *stress@yield* yang optimal didapat kombinasi terbaik *setting* parameter injeksi untuk *polymer* ABS dengan temperatur 200° C, *injection speed* 57%, *injection pressure* 90% dan *holding pressure* 40%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wick C. 1984. *Tool and manufacturing engineering handbook. Volume II Forming. Fourth edition.*
- [2] E. Bociaga. 2000. *The effect of mold temperature and injection velocity on selected properties of polyethylene moldings.* Polimery 45, pp 830–836.
- [3] Ashori, A., Nourbakhsh, A. 2009. *Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials.* Waste Manag. 29, pp 1291–1295.
- [4] H. Sadabadi, M. Ghasemi. 20017. *Effects of some injection molding process parameters on fiber*

- orientation tensor of short glass fiber polystyrene composites (SGF/PS)*. Journal of Reinforced Plastics and Composites 26, pp 1729–1741.
- [5] G. Guerrica-Echevarria, J.I. Eguiazabal, J. Nazabal. 2001. *Influence of the preparation method on the mechanical properties of a thermotropic liquid crystalline copolyester*. Polymer Testing 20, pp 403–408.
- [6] Babur Ozcelik, Alper Ozbay, Erhan Demirbas. 2010. *Influence of injection parameter and mold materials on mechanical properties of ABS in plastic injection molding*. International Communications in Heat and Mass Transfer 37, pp 1350-1365.
- [7] Nik Mizamzul Mehat, Shahrul Kamaruddin. 2011. *Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameter using the Taguchi method*. Journal of Material Processing Technology 211, pp 1989-1994.
- [8] Mohammad Rahimi, Mohsen Esfahanian, Mehran Moradi. 2014. *Effect of reprocessing on shrinkage and mechanical properties of ABS and investigating the proper blend of virgin and recycled ABS in injection molding*. Journal of Materials Processing Technology 214, pp 2359-2365.
- [9] Sumaryono, S., 2014. *Perilaku pengujian tarik pada polimer polistiren dan polipropilen*. e-journal.ikip-veteran.ac.id.
- [10] 2014. *The 10 Annual Book of ASTM Standard* Vol. 08.02.
- [11] Douglas C. Montgomery. 2012. *Design and analysis of experiments*. Eight editions