

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

Eduardus Dimas Arya Sadewa<sup>1\*</sup>, Fadhel Muhammad<sup>2</sup>, Elita Pusparini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Astra, Departemen Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Jakarta Indonesia, <sup>2</sup>Universitas 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.

### 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 yg 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 pertambahan 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.

**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 pertambahan 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)*.

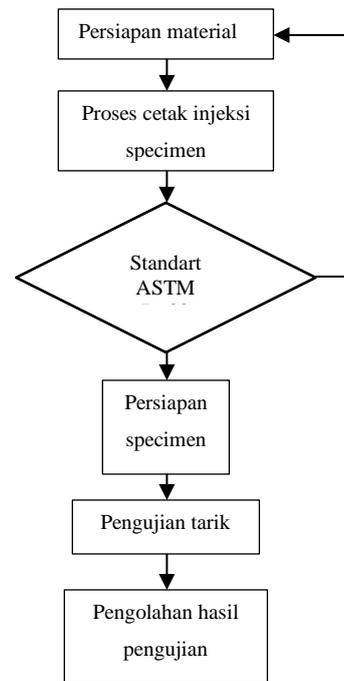
#### Metode Penelitian

**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 2. Kecepatan penarikan pada saat pengujian tarik sebesar 10mm/menit. Dimensi penting pada benda uji diuraikan sebagai berikut:

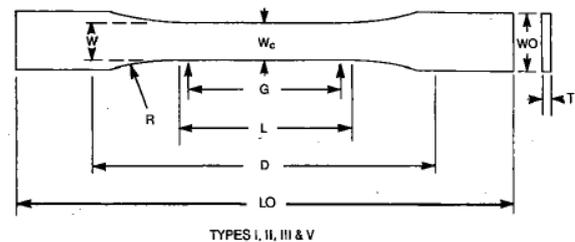
1. Lebar (W) =  $13 \pm 0,5$  mm
2. Panjang (L) =  $57 \pm 0,5$  mm
3. Lebar keseluruhan (Wo) =  $19 \pm 6,4$  mm
4. Panjang keseluruhan (Lo) = 165 mm
5. Panjang ukur (G) =  $50 \pm 0,25$  mm
6. Jarak antar grip (D) =  $115 \pm 1$  mm

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 1.



Gambar 1. Flow process mendapatkan data dan hasil analisa



Gambar 2. Bentuk dan dimensi dari specimen uji tarik material plastik ASTM D638

**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 1.

Tabel 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 holding (%)	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 menunjukkan mold specimen uji tarik dengan acuan dimensi ASTM D638 type 1 [10]. Gambar 4 menunjukkan *specimen* hasil injeksi yang sudah dipersiapkan. Gambar 5 dan 6 menunjukkan mesin dan hasil dari pengujian tarik *polymer ABS*.



Gambar 3. Mold specimen uji tarik



Gambar 4. Bentuk jadi *polymer ABS*



Gambar 5. Mesin pengujian tarik



Gambar 6. *Polymer ABS* sebelum dan setelah proses pengujian

### 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  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ , dan  $\mu_3$  menyatakan level 1, 2, dan 3 dari keempat

faktor dan interaksi antar faktor. Data yang diperoleh berjumlah  $3^k \times n = 3^4 \times 3 = 243$

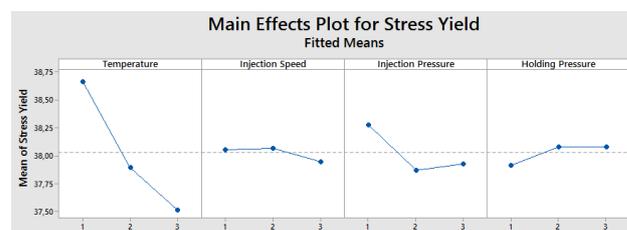
Dengan menggunakan program Minitab 17, hasil yang diperoleh dari uji tarik *polymer ABS* dengan  $3^4$  factorial design dan 3 replikasi dapat dilihat pada tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 2, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa faktor dan interaksi antar faktor yang 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  $P\text{-Value} > \alpha$ .

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  $P\text{-value}$  yang mendekati  $\alpha$ . Grafik yang menunjukkan pengaruh faktor-faktor dan interaksi antar faktor ditunjukkan pada gambar 7 dan 8.

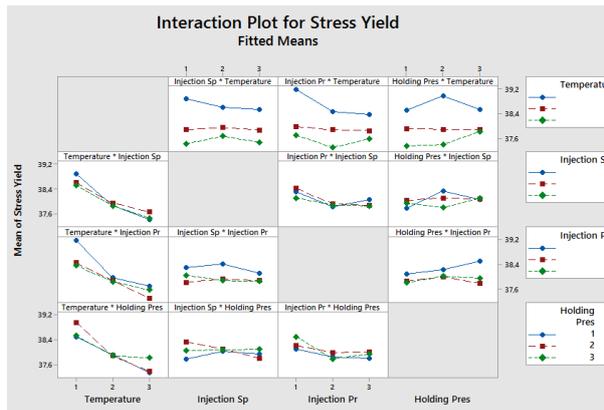
Tabel 2. Hasil pengolahan dengan Minitab17 dengan metode  $3^4$  factorial design.

Analysis of Variance	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F-Value	P-Value
<b>Source</b>	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

<b>2-Way Interactions</b>	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
<b>3-Way Interactions</b>	32	9.822	0.3069	0.53	0.980
Temperature * Injection speed*Injection Pressure	8	2.733	0.3416	0.60	0.781
Temperature * Injection speed*Holding Pressure	8	3.097	0.3872	0.67	0.713
Temperature * Injection Pressure*Holding Pressure	8	2.823	0.3528	0.61	0.765
Injection speed*Injection Pressure*Holding Pressure	8	1.169	0.1461	0.25	0.979
<b>4-Way Interactions</b>	16	12.664	0.7915	1.38	0.158
Temperature * Injection speed*Injection Pressure*Holding Pressure	16	12.664	0.7915	1.38	0.158
Error	162	92.971	0.5739		
Total	242	201.102			



Gambar 7. Pengaruh faktor-faktor tanpa interaksi terhadap *stress @ yield*



Gambar 8. 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 9 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 9. 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.*

## 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 Referensi

- [1] Wick C. Tool and manufacturing engineering handbook. Volume II Forming. Fourth edition (1984)
- [2] E. Bociaga, The effect of mold temperature and injection velocity on selected properties of polyethylene moldings, *Polimery* 45 (2000), pp 830–836.
- [3] Ashori, A., Nourbakhsh, A. Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Manag.* 29 (2009), pp 1291–1295.
- [4] H. Sadabadi, M. Ghasemi, 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 (2007), pp 1729–1741.
- [5] G. Guerrica-Echevarria, J.I. Eguiazabal, J. Nazabal, Influence of the preparation method on the mechanical properties of a

thermotropic liquid crystalline copolyester, *Polymer Testing* 20 (2001), pp 403–408.

[6] Babur Ozcelik, Alper Ozbay, Erhan Demirbas, Influence of injection parameter and mold materials on mechanical properties of ABS in plastic injection molding. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (2010), pp 1350-1365.

[7] Nik Mizamzul Mehat, Shahrul Kamaruddin, Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameter using the Taguchi method, *Journal of Material Processing Technology* 211 (2011), pp 1989-1994.

[8] Mohammad Rahimi, Mohsen Esfahanian, Mehran Moradi, 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 (2014), pp 2359-2365.

[9] Sumaryono, S., Perilaku pengujian tarik pada polimer polistiren dan polipropilen. e-journal.ikip-veteran.ac.id (2014)

[10] The 10 Annual Book of ASTM Standard Vol. 08.02 (2014)

[11] Douglas C. Montgomery, Design and analysis of experiments. Eight editions (2012)