

Pengaruh Tekanan Injeksi terhadap Flow Length Material Polypropylene (PP) dengan Ketebalan Produk 1 mm

Hartono Widjaya, Mochammad Fauzan

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Email: m.fauzan1211@gmail.com

Informasi Artikel:

Received:
30 Januari 2023

Accepted:
1 April 2023

Available:
15 Mei 2023

ABSTRAK

Injection moulding adalah penyuntikan atau injeksi material plastik lumer ke dalam cetakan untuk membentuk produk. Formulasi yang baik dari proses injeksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor yang mempengaruhi proses injeksi diantaranya suhu lumer plastik, *design* produk, kecepatan injeksi (*injection speed*) serta tekanan injeksi (*injection pressure*). Penelitian ini mengkaji parameter yang berpengaruh terhadap *flow length* dari material *polypropylene* (PP). Material ini dipilih dikarenakan umum digunakan dalam kehidupan, seperti wadah makanan dan minuman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh kemampuan alir plastik PP dengan tebal produk 1 mm berdasar pada Tabel *reasonable design values for the L/t ratio* pada buku *Molding Simulation : Theory and Practice*. Tahapan penelitian ini adalah membuat *layout* untuk mencetak specimen penelitian, analisis cetakan specimen, *trial mould* dengan parameter yang sudah dihitung dan mengubah parameter *injection pressure* secara bertahap, mengukur dan mengkaji *flow length* yang dihasilkan dari proses *trial* injeksi, dan menyimpulkan hasil percobaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan pertimbangan ketika merancang sebuah produk yang berbahan PP sehingga dapat meminimalisir kegagalan dalam perancangan dan pembuatan *mold*.

Kata Kunci:

Polypropylene
Injection pressure
Flow length
Parameter injeksi
mould

ABSTRACT

Injection molding is the injection of melted plastic material into a mold to form a product. A good formulation of the injection process is affected by several factors, factors that affect the injection process include the plastic melt temperature, product design, injection speed and injection pressure. This study examines the parameters that affect the flow length of the polypropylene (PP) material. This material was chosen because it is commonly used in life, such as food and beverage containers. This study aims to determine how far the flowability of PP plastic with a product thickness of 1 mm is based on the table of reasonable design values for the L/t ratio in the book Molding Simulation: Theory and Practice. This research method goes through several steps including, creating a cavity layout to form the research specimens, analysis of specimen molds, trial molds with calculated parameters and changing injection pressure parameters gradually, measuring and assessing the resulting flow length of the injection trial process, concluding the experimental results. The results of this study are expected to be taken into consideration when designing a product made from PP so as to minimize failures in the mold making process.

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor dalam pembuatan produk yang membuat produk plastic menjadi baik adalah mengetahui mengenai sifat material plastk dan mengetahui parameter injeksi yang akan digunakan. Mengetahui hal tersebut akan membuat *design* produk dan cetakan menjadi optimal. Tabel penunjang penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Reasonable Design Values for the L/t ratio*

Abbreviation	Material	Flow:Wall thickness
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene	100-200:1
ASA	Acrylate styrene acrylonitrile	180-230:1
EVA	Ethylene vinyl acetate	200-300:1
HIPS	High impact polystyrene	250-340:1
HDPE	High density polyethylene	200-270:1
LDPE	Low density polyethylene	200-300:1
LLDPE	Linear low density polyethylene	180-250:1
PA6	Nylon (polyamide) 6	160-300:1
PA66	Nylon (polyamide) 66	180-300:1
PA 11/PA12	Nylon (polyamide)11 & 12	180-220:1
PBT	Polybutylene terephthalate	140-220:1
PC	Polycarbonate	30-110:1
PEI	Polyetherimide	70-140:1
PES	Polyether sulfone	60-140:1
PETP	Polyethylene terephthalate	220-350:1
PETG	Polyethylene terephthalate glycol	50-90:1
PMMA	Polymethyl methacrylate	110-170:1
POM-CO	Acetal copolymer	100-250:1
POM-HO	Acetal homopolymer	100-250:1
PP	Polypropylene	230-340:1
PPO-M	Polyphenylene oxide	100-200:1
PPS	Potyphenylene sulfide	120-185:1
PS/GPPS	Polystyrene (general purpose)	150-200:1
PSU	Sulfone polymers	60-120:1
PVC (flex) (PPVC)	Plasticized polyvinyl chloride	200-250:1
PVC (rigid) (UPVC)	Unplasticized polyvinyl chloride	80-190:1
SAN	Styrene acrylonitrile	170-200:1

Pada Tabel 1, disebutkan bahwa perbandingan *flow length* material PP ketika tebal produk 1 mm adalah 230mm-340 mm, tetapi pada tersebut tidak dijelaskan mengenai kondisi dan parameter seperti apa agar *flow length* yang didapat adalah 230 mm-340 mm. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukanlah suatu penelitian untuk mengkaji kondisi dan parameter seperti apa yang memengaruhi *flow length* material PP tersebut.

Uji coba dilakukan dengan mengubah parameter injeksi secara bertahap dengan acuan yaitu pada buku "Dasar-Dasar Perancangan Cetakkan Injeksi Plastik", berdasar pada buku tersebut dikatakan bahwa *injection pressure* material plastic PP adlaah 730 kgf/cm-1410 kgf/cm. Pada penelitian ini dilakukan dua percobaan (posisi) *gate* yang berbeda, posisi pertama *gate* berada pada ujung *cavity*, dan posisi kedua *gate* berada pada tengah *cavity*. Hal tersebut dilakukan untuk melihat pakah posisi *gate* berpengaruh pada *flow length*.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka diperlukanlah suatu pembatasan masalah. Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah tidak membahas mengenai perancangan *mould*, tidak membahas mengenai pembuatan *mould*, konstruksi *mould* yang digunakan adalah *two plate mould* dengan tipe FTBSA 3040 (PT. Suryamas Akurasi) dengan ukuran 300 mm×400 mm×250 mm, ketebalan produk 1 mm dengan lebar produk 30 mm, material plastik yang digunakan adalah PP, mesin injeksi yang digunakan adalah mesin injeksi Demag Ergotech 200-840 Dragon, dan mesin injeksi harus sudah dilakukan kalibrasi terlebih dahulu.

Tujuan karya tulis ini adalah mengetahui nilai *flow length* arah memanjang dan melebar, mengetahui kesesuaian nilai *flow length* hasil uji coba terhadap Tabel referensi, dan mengetahui kondisi serta parameter yang memengaruhi *flow length* material *polypropylene*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 *Mould*

Mould adalah cetakan yang dipergunakan untuk mencetak material plastik. *Mould* terbagi menjadi dua bagian, yaitu *fixed side* dan *moving side*. Inti cetakan plastik adalah *cavity* dan *core*, dimana bagian luar produk plastik dibentuk oleh *cavity* yang berada pada *fixed side*, sedangkan bagian dalam produk dibentuk oleh *core* yang berada pada *moving side*.

Pertemuan antara *fixed side* dan *moving side* disebut *parting line*, sedangkan jarak antara *cavity* dan *core* ketika *mould* tertutup merupakan ketebalan produk. Bentuk *core* dan *cavity* sangat beragam dapat berbentuk pelat utuh atau diberi sisipan (*insert*).

2.2 Proses Injeksi

Proses injeksi plastik berlangsung ketika *mould* dalam keadaan tertutup (*mould close*). Granulat plastik dari *hopper* masuk ke dalam *barrel*, lalu granul plastik dipanaskan di *barrel* secara bertahap hingga lumer sambil didorong oleh *screw* menuju *mould*. Produk terbentuk akibat plastik lumer yang diinjeksikan ke ruang cetakan *mould* dengan kontur yang diinginkan. Untuk menahan *injection pressure* pada *mould*, mesin injeksi harus memberikan gaya cekam (*clamping force*) lebih besar dari *injection pressure*.

2.3 Faktor yang Memengaruhi Proses Injeksi

2.3.1 Volume Injeksi

Volume injeksi merupakan volume yang dibutuhkan untuk mengisi penuh rongga cetakan pada *mould* untuk mencetak produk.

2.3.2 *Injection Pressure*

Tekanan Injeksi adalah jumlah tekanan yang dibutuhkan untuk menyuntikkan lelehan plastik ke dalam cetakan. Amplitudo dari tekanan maksimum ditentukan atas dasar spesifikasi untuk setiap jenis plastik. Lelehan plastik menghasilkan hambatan (tekanan di rongga cetakan) dalam proses aliran, dengan adanya hambatan tekanan internal di rongga cetakan, mesin harus memberikan daya yang lebih besar atau sama dengan hambatan ini (tekanan hidrolik) selama injeksi untuk memaksa aliran material cair ke dalam rongga cetakan. Tekanan yang tinggi akan mengakibatkan *overpack* atau *flashing*, bahkan bisa mengakibatkan *mould* rusak. Sebaliknya jika terlalu rendah akan membuat produk *shot short* produk tidak penuh.

2.3.3 Clamping Force

Gaya cekam (*clamping force*) adalah gaya yang dibutuhkan mesin untuk menahan kedua bagian cetakan agar tidak membuka pada saat pembentukan dan menahan tekanan injeksi yang dihasilkan, sehingga mesin harus mampu menerapkan tekanan berlawanan yang cukup untuk menahannya agar tetap tertutup selama fase pengisian dan pendinginan. Besarnya gaya pembentukan yang terjadi sangat dipengaruhi tekanan spesifik bahan, tebal dinding produk, luas proyeksi rongga cetakan dan posisi *gate* terhadap sisi terjauh aliran yang dicapai dalam pembentukan produk.

2.3.4 Temperatur Mould

Temperatur *mould* yaitu pemanasan awal cetakan sebelum cetakan dialiri oleh bahan plastik yang melumer. Apabila temperatur cetakan tidak mencapai suhu yang dibutuhkan maka biasanya aliran plastik akan terhambat. Rekomendasi temperatur *mould* berdasar jenis plastik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 ini.

Tabel 2. Temperatur leleh dan nilai *thermal*/bahan

Material	Temperatur Leleh °C	Temperatur Dinding Kaviti °C	Temperatur Sentak Rata-Rata °C	α_{eff} [mm ² /s]	Masa Jenis Rata-Rata saat Pendinginan [g/cm ³]	Masa Jenis pada Temperatur ruang [g/cm ³]
ABS	200 – 270	50 – 80	60 – 100	0,084	1,03	1,06
HDPE	200 – 300	40 – 60	60 – 100	0,078	0,82	0,95
LDPE	170 – 245	20 – 60	50 – 90	0,087	0,79	0,92
PA 6	235 – 275	60 – 95	70 – 110	0,089	1,05	1,13
PA 6.6	260 – 300	60 – 90	80 – 140	0,089	1,05	1,14
PBTP	230 – 270	30 – 90	80 – 140	0,089	1,05	1,31
PC	270 – 320	85 – 120	90 – 140	0,112	1,14	1,20
PMMA	180 – 260	10 – 80	70 – 110	0,074	1,14	1,18
POM	190 – 230	40 – 120	90 – 150	0,059	1,30	1,41
PP	200 – 300	20 – 100	60 – 100	0,067	0,83	0,90
PS	160 – 280	10 – 80	60 – 100	0,086	1,01	1,05
PVC KERAS	150 – 280	20 – 70	60 – 100	0,073	1,35	1,40
PVC LUNAK	120 – 190	20 – 55	60 – 100	0,072	1,23	1,28
SAN	200 – 270	40 – 80	60 – 110	0,086	1,05	1,08

2.3.5 Temperatur Leleh

Temperatur injeksi adalah temperatur leleh plastik saat diinjeksikan kedalam cetakan melalui *nozzle*. Suhu leleh dapat mempengaruhi viskositas plastik dan berat molekul produk akhir, dan jika suhu leleh tidak konsisten atau tidak seragam selama injeksi, dapat mengakibatkan cacat bagian. Setiap jenis material plastik memiliki titik leleh yang berbeda-beda hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2** temperatur leleh dan nilai *thermal* bahan.

2.3.6 Cooling Time

Cooling time adalah jumlah waktu yang diperlukan oleh plastik leleh untuk memadat. *Cooling time* atau waktu pendinginan adalah bagian penting dari proses injeksi, saat pendinginan tidak dilakukan dengan benar bagian plastik yang belum cukup mengeras dapat rusak ketika proses *ejection*. Sistem pendingin yang memadai dibutuhkan untuk memindahkan panas dari cetakan.

2.3.7 Injection Speed

Kecepatan injeksi mengacu pada kecepatan *screw* bergerak selama injeksi. Besarnya sangat dipengaruhi putaran ulir transportir dan dibatasi oleh kapasitas alir mesin / *injection rate* mesin serta diameter *nozzle* mesin. ketika *screw* bergerak cepat maka aliran plastik akan mengalir lebih cepat. Semakin cepat aliran plastik maka waktu yang dibutuhkan untuk mengisi rongga cetakan akan semakin cepat dan mempersingkat *cycle time*.

2.4 Plastik

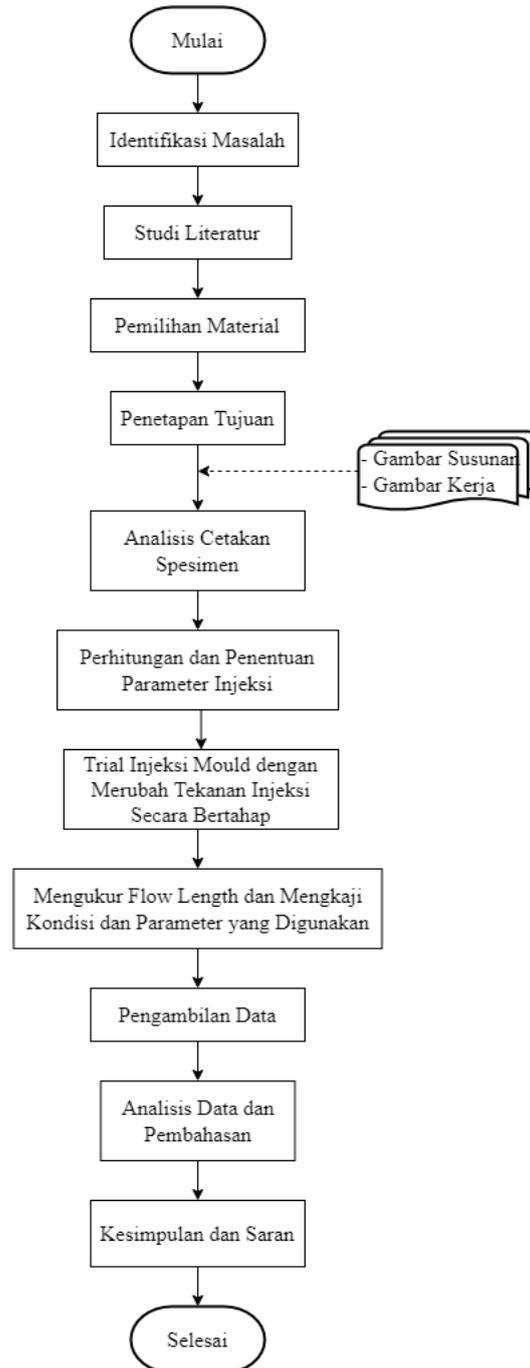
Plastik merupakan molekul besar atau makromolekul yang terdiri dari banyak sub-unit berulang, serta merupakan hasil penyulingan atau filterisasi dari minyak bumi. Unsur utama pembentuk plastik adalah C, H, O, dan N. Molekul-molekul plastik bergabung menjadi sebuah rangkaian panjang yang disebut polimer yang artinya "suku-suku yang amat panjang". Suatu rangkaian polimer biasanya terdiri dari beribu-ribu rantai.

2.4.1 Plastik *Polypropylene*

Polypropylene (PP) adalah "polimer adisi" termoplastik yang terbuat dari kombinasi monomer propilena. *Polypropylene* pertama kali dipolimerisasi pada tahun 1951 oleh sepasang ilmuwan minyak Phillips bernama Paul Hogan dan Robert Banks dan kemudian oleh ilmuwan Italia dan Jerman Natta dan Rehn. Profesor Giulio Natta, menyempurnakan dan mensintesis resin *polypropylene* pertama di Spanyol pada tahun 1954. Pada 1957 *polypropylene* dilemparkan pertama kali ke pasar oleh *Hoechst AG*. *Polypropylene* adalah termoplastik yang keras, kaku dan kristal yang dihasilkan dari monomer propena (atau propilena). Ini adalah resin hidrokarbon linier. Rumus kimia *polypropylene* adalah $(C_3H_6)_n$.

3. METODE PENELITIAN

Diagram alir untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flow Chart* Penelitian

3.1 Perhitungan dan Penentuan Parameter Injeksi

Perhitungan dan penentuan parameter injeksi dilakukan mengikuti rumus dan hitungan dari referensi-referensi yang dikumpulkan. Variabel dari penelitian juga ditentukan disini.

3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang memengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah parameter tekanan injeksi yang dirubah secara bertahap.

3.2.1 Tekanan Injeksi

Tekanan injeksi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3 ini.

Tabel 3. Tekanan Injeksi yang Digunakan

JIS testing method	A.S.T.M. testing method	1	Resin	Multiphase resin (Acrylic resin)		Polyacetal		Polypropylene			
				PMMA	POM	General	General	General	Glass fiber 40%		
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
3			4			Glass fiber 25% or less		Glass fiber 40%			
4			Abbreviation			POM		PP			
Moldability		5	Drying temperature (°C)	70~100	10	110	-	-	-		
		6	Drying time (hr)	2~5	2	2	-	-	-		
		7	Injection cycle time (hr)	100~200	100~200	100~200	200~300	200~300	200~300		
		8	Injection mold temperature (°C)	40~90	60~120	60~120	20~90	20~90	20~90		
		9	Injection pressure (kgf/cm ²)	703~1410	703~1410	730~1410	703~1410	703~1410	703~1410		
		10	Compression temperature (°C)	149~218	-	-	171~288	171~288	171~288		
		11	Compression pressure (kgf/cm ²)	141~703	-	-	0.35~0.70	0.35~0.70	0.35~0.70		
		12	Molding contraction coefficient	0.1~0.4	2~2.5	0.4	1.0~2.5	0.2~0.8	0.2~0.8		
		13	Specific gravity (density)	1.17~1.20	1.41~1.42	1.61	0.90~0.91	1.22~1.23	1.22~1.23		
		Mechanical property	K720B, K7203, K7110, K7111, K7202	D638, D785	14	Tensile strength (kgf/cm ²)	470~770	580~800	1250~1300	210~400	560~1000
					15	Elongation factor (%)	2~10	25~75	3	100~800	2~4
					16	Compression strength (kgf/cm ²)	844~1370	1270	1200	260~562	387~492
					17	Bending strength (kgf/cm ²)	914~1340	991	1970	352~492	492~773
18	Impact strength (kgf/cm ²)				1.6~2.7	5.4~13	10	2.2~110	7.6~11		
Heat resistance	K7206, K7207	D648	20	Heat resistance (continuous) (°C)	59.8~93	90	104	88~115	121~138		
			21	Deforming temperature (°C)	73.7~99	124	110	45.9~59.8	59.8~93		
						Motor fans		Washer, Rotary			
						Pump		wings and sink			
						Lighting equipments		Cell case			
						Bearings		Housing of TV set and tape recorder			
						Decorative shells		Terminal block			
						Magnets		Switch			
						White cases		Wiring accessories			
						Connectors					
						Buttons					
						Clear covers					
						Gears and cams					
						Gears					
						Switch					
						Uses					

Berdasarkan pada Tabel 2, maka *range* dari tekanan injeksi untuk material PP adalah 703 – 1410 Kgf/cm². Tekanan injeksi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

$$P_{sf} = 703 \text{ Kgf/cm}^2 = 689,6 \text{ bar} \rightarrow \mathbf{690 \text{ bar}}$$

$$P_{sf} = 1056,5 \text{ Kgf/cm}^2 = 1036,4 \text{ bar} \rightarrow \mathbf{1036 \text{ bar}}$$

$$P_{sf} = 1410 \text{ Kgf/cm}^2 = 1383,2 \text{ bar} \rightarrow \mathbf{1383 \text{ bar}}$$

3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat atau variabel dependen merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah ukuran dimensi spesimen hasil percobaan injeksi, seberapa jauh kemampuan pengisian saat proses injeksi dengan parameter tekanan injeksi yang diubah-ubah.

3.4 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga hubungan variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Dalam penelitian ini variabel kontrolnya adalah volume injeksi, *clamping force*, temperatur *mould*, temperatur leleh, *cooling time*, *injection speed*, tipe mesin injeksi yang digunakan dan jenis material yang digunakan.

3.4.1 Volume Injeksi

Perhitungan volume injeksi adalah sebagai berikut :

$$V = \pi r^2 t \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$t = \frac{V}{\pi r^2} \text{ (mm)}$$

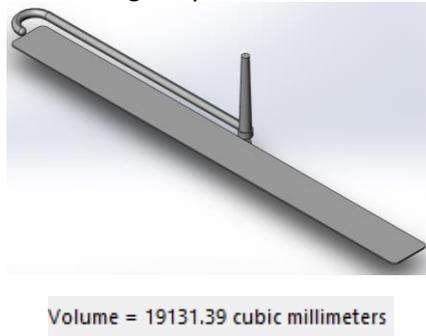
Keterangan :

V = Total volume injeksi (mm³) t

= Langkah *screw* (mm)

r = Jari-jari *screw* (mm) (25mm pada mesin *Demag Ergotech 200-840 Dragon*) p = Nilai konstanta (3,14)

Untuk volume produk spesimen dibantu dengan aplikasi *solidworks* dapat dilihat pada Gambar 2 ini.



Gambar 2. *Specimen Runner* Panjang

Setelah mengetahui volume maka langkah *screw* dapat dihitung.

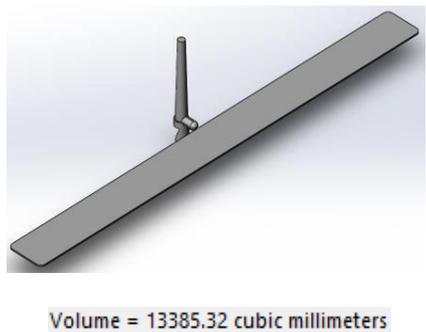
$$t = \frac{v \text{ produk} + v (\text{runner} + \text{gate} + \text{sprue})}{3,14 \times (25 \text{ mm})^2}$$

$$t = \frac{19131,39 \text{ mm}^3}{3,14 \times (25 \text{ mm})^2}$$

$$t = 9,74 \text{ mm} \sim 9,7 \text{ mm}$$

maka parameter langkah *screw* yang dimasukkan pada mesin adalah 9,7 mm.

Untuk volume spesimen dibantu dengan aplikasi *solidworks* dapat dilihat pada Gambar 3 ini.



Gambar 3. *Specimen Runner* Pendek

$$t = \frac{v \text{ produk} + v (\text{runner} + \text{gate} + \text{sprue})}{3,14 \times (25 \text{ mm})^2}$$

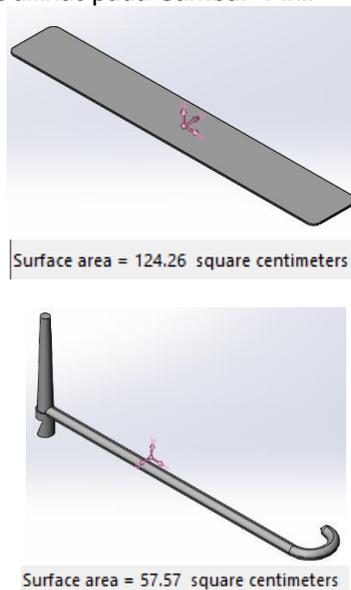
$$t = \frac{13385,32 \text{ mm}^3}{3,14 \times (25 \text{ mm})^2}$$

$$t = 6,82 \text{ mm} \sim 6,8 \text{ mm}$$

maka parameter langkah *screw* yang dimasukkan pada mesin adalah 6,8 mm.

3.4.2 Clamping Force

- *Runner*1 (Panjang)
Luas proyeksi isian (*Aproj*) diketahui dengan dibantu oleh aplikasi *solidworks*.
Luas proyeksi dapat dilihat pada Gambar 4 ini.



Gambar 4. Luas Proyeksi *Runner* Panjang

Semakin bertambahnya *injection pressure* maka *clamping force* juga ikut bertambah. Berikut adalah perhitungan *clamping force* yang dibutuhkan tiap tahap pada *runner* panjang:

a. *Injection pressure* terendah

$$F_c = P_{sf} \cdot A_{proj} \text{ (kg.f)}$$

$$= 690 \text{ kg/cm}^2 \times (124,26 \text{ cm}^2 + 57,57 \text{ cm}^2)$$

$$= 125462,7 \text{ Kg.f}$$

$$= 1230,36 \text{ kN}$$

b. *Injection pressure* tengah

$$F_c = P_{sf} \cdot A_{proj} \text{ (kg.f)}$$

$$= 1036 \text{ kg/cm}^2 \times (124,26 \text{ cm}^2 + 57,57 \text{ cm}^2)$$

$$= 188375,88 \text{ Kg.f}$$

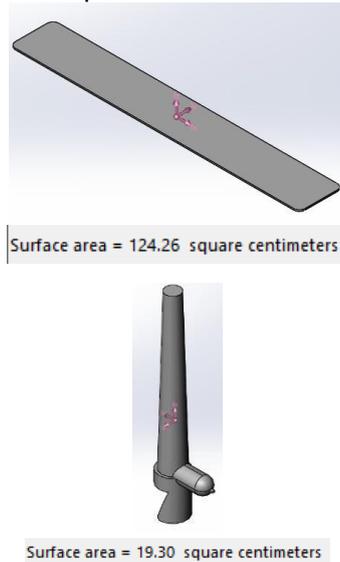
$$= 1847,33 \text{ kN}$$

c. *Injection pressure* tertinggi

$$\begin{aligned} F_c &= \text{Psf. Aproj (kg.f)} \\ &= 1383 \text{ kg/cm}^2 \times (124,26 \text{ cm}^2 + 57,57 \text{ cm}^2) \\ &= 251470,89 \text{ Kg.f} \\ &= 2466,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

• *Runner 2* (Pendek)

Luas proyeksi isian (*Aproj*) diketahui dengan dibantu oleh aplikasi *solidworks*.
Luas proyeksi dapat dilihat pada Gambar 5 ini.



Gambar 5. Luas Proyeksi *Runner* Pendek

a. *Injection pressure* terendah

$$\begin{aligned} F_c &= \text{Psf. Aproj (kg.f)} \\ &= 690 \text{ kg/cm}^2 \times (124,26 \text{ cm}^2 + 19,30 \text{ cm}^2) \\ &= 99056,4 \text{ Kg.f} \\ &= 971,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. *Injection pressure* tengah

$$\begin{aligned} F_c &= \text{Psf. Aproj (kg.f)} \\ &= 1036 \text{ kg/cm}^2 \times (124,26 \text{ cm}^2 + 19,30 \text{ cm}^2) \\ &= 148728,16 \text{ Kg.f} \\ &= 1458,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. *Injection pressure* tertinggi

$$\begin{aligned} F_c &= \text{Psf. Aproj (kg.f)} \\ &= 1383 \text{ kg/cm}^2 \times (124,26 \text{ cm}^2 + 19,30 \text{ cm}^2) \\ &= 198543,48 \text{ Kg.f} \\ &= 1947,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.4.3 Temperatur Mould

Berdasarkan **Tabel 2.** dapat dilihat bahwa rekomendasi temperatur *mould* untuk material jenis *polypropylene* adalah $20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$

3.4.4 Temperatur Leleh

Temperatur Leleh dapat dilihat pada **Tabel 2.** untuk material jenis *polypropylene* adalah $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$

3.4.5 Cooling Time

Cooling time dapat dihitung dengan cara :

$$t_{KU} = \frac{s^2}{\alpha_{\text{eff}}} \times \frac{4}{\pi^2} \times \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \times \frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \text{ (detik)}$$

Keterangan :

t_{KU} = Waktu pendinginan (detik)

s = Tebal produk (mm)

α_{eff} = *Thermal diffusivity* efektif plastik ($\text{mm}^2/\text{detik}/10^{-4}$) (pada Tabel 2.) T_m
= Temperatur leleh ($^{\circ}\text{C}$)

T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}\text{C}$) T_e

Maka : = Temperatur sentak ($^{\circ}\text{C}$)

$$t_{KU} = \frac{1^2}{0,067} \times \frac{4}{\pi^2} \times \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \times \frac{250 - 60}{80 - 60} \right) \text{ (detik)}$$

$$t_{KU} = 12,34 \text{ detik}$$

Sehingga *cooling time* untuk produk spesimen adalah 12,34 detik

3.4.6 Injection Speed

Kecepatan material untuk material *polypropylene* (PP) adalah cepat. Spesifikasi mesin injeksi yang digunakan mempunyai kemampuan sebesar 1 mm/s – 119 mm/s. Kecepatan injeksi pada mesin yang digunakan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu lambat pada *range* 1mm/s – 40 mm/s, sedang pada *range* 40 mm/s – 80 mm/s, dan cepat pada *range* 80 mm/s – 119 mm/s. Kecepatan injeksi material *polypropylene* (PP) yang digunakan pada pengujian ini adalah 110 mm/s.

3.4.7 Tipe Mesin

Tipe mesin yang digunakan adalah *Demag Ergotech 200-840 Dragon* dapat dilihat pada *Gambar 6.*



Gambar 6. Mesin Injeksi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter

Parameter injeksi menggunakan data-data yang sudah dihitung sebelumnya. Namun, *Clamping force* digunakan 900kN dikarenakan operator mesin injeksi yang tidak menyarankan untuk menggunakan parameter lebih dari 900kN. data parameter dapat dilihat pada Tabel 4 ini.

Tabel 4. Data Parameter

No	Parameter Mesin Injeksi	Nilai
1	<i>Clamping force</i>	900 kN
2	Temperatur <i>Mould</i>	20 ⁰ C - 30 ⁰ C
3	Temperatur Leleh	250 ⁰ C
4	<i>Cooling time</i>	12,34 detik
5	<i>Injection Speed</i>	110 mm/s

Nilai injection pressure yang digunakan dapat di lihat pada Tabel 5 ini.

Tabel 5. Nilai *Injection Pressure*

690 bar	1036 bar	1383 bar
---------	----------	----------

4.2 Hasil Rata-Rata Injeksi pada *Runner* Panjang

Penambahan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 6 ini.

Tabel 6. Penambahan Rata-Rata *Runner* Panjang

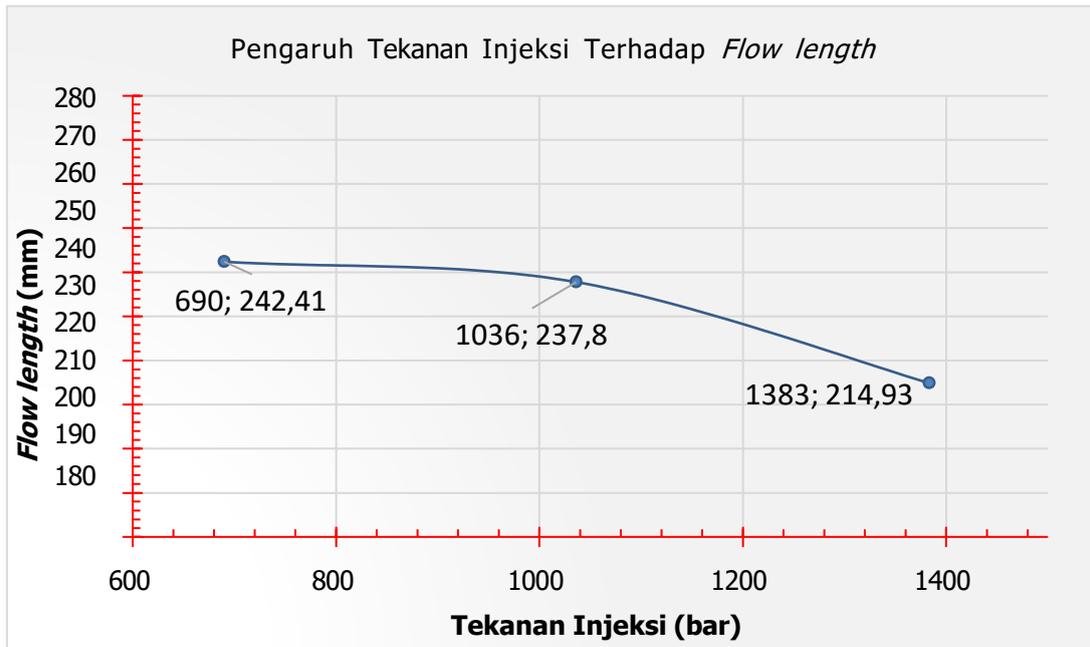
No	Penambahan Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Terendah 690 bar)	Penambahan Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tengah 1036 bar)	Penambahan Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tinggi 1383 bar)
1	4,28 mm	2,31 mm	0,52 mm

Hasil panjang rata-rata pada *runner* panjang dapat dilihat pada Tabel 7 ini.

Tabel 7. Hasil Panjang Rata-Rata pada *Runner* Panjang

No	<i>Screw back</i>	Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Terendah 690 bar)	Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tengah 1036 bar)	Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tinggi 1383 bar)
1	22,6 mm	242,41 mm	237,8 mm	214,93 mm

Nilai tersebut disajikan dalam bentuk grafik agar terlihat perbedaan pengaruh dari tiap nilai *injection pressure*, grafik dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Tekanan Injeksi Terhadap *Flow length* (*Runner* Panjang)

4.3 Hasil Rata-Rata Injeksi pada *Runner* Pendek

Penambahan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 8 ini.

Tabel 8. Penambahan Rata-Rata *Runner* Pendek

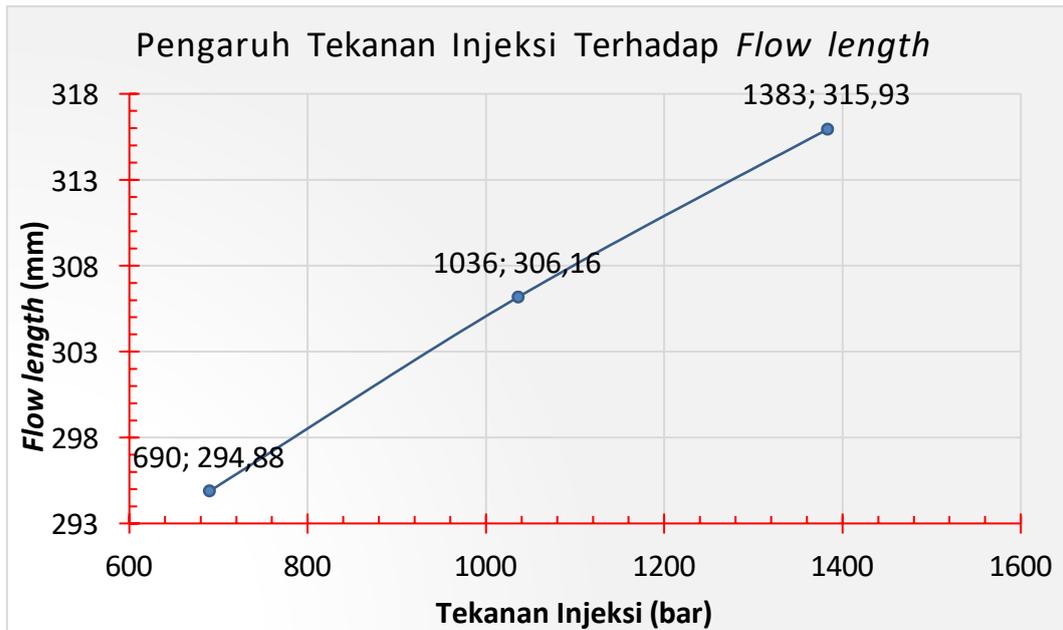
No	Penambahan Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Terendah 690 bar)	Penambahan Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tengah 1036 bar)	Penambahan Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tinggi 1383 bar)
1	1,32 mm	1,09 mm	1,22 mm

Hasil panjang rata-rata pada *runner* pendek dapat dilihat pada Tabel 9 ini.

Tabel 9. Panjang Rata-Rata *Runner* Pendek

No	<i>Screw back</i>	Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Terendah 690 bar)	Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tengah 1036 bar)	Panjang Rata-rata Produk Hasil Injeksi (<i>Injection pressure</i> Tinggi 1383 bar)
1	9,7mm	294,88 mm	306,16 mm	315,93 mm

Nilai tersebut disajikan dalam bentuk grafik agar terlihat perbedaan pengaruh dari tiap nilai *injection pressure*, grafik dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Tekanan Injeksi Terhadap *Flow length* (*Runner* Pendek)

5. KESIMPULAN

Dari proses penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari data yang didapat dari uji coba didapatkan nilai pada arah memanjang dan melebar. Adapun nilai pada arah memanjang yang terendah dengan *injection pressure* 1383 bar menghasilkan *flow length* sepanjang 214,93mm dan nilai tertinggi dengan *injection pressure* 690 bar menghasilkan *flow length* sepanjang 242,41mm. Lalu nilai pada arah melebar yang terendah dengan *injection pressure* 690 bar menghasilkan *flow length* sepanjang 294,88mm dan nilai tertinggi dengan *injection pressure* 1383 bar menghasilkan *flow length* sepanjang 315,93mm. Sehingga semakin besar tekanan injeksi tidak selalu diikuti dengan peningkatan *flow length* dari material *polypropylene*.
2. Berdasarkan hasil uji coba pada penelitian ini pengaruh dari arah aliran injeksi yaitu arah aliran injeksi melebar menghasilkan *flow length* yang lebih panjang daripada arah aliran injeksi memanjang. Mengacu pada Tabel referensi yang digunakan rata-rata semua percobaan injeksi menghasilkan *flow length* yang masuk dalam *range* yang terdapat pada Tabel. Hanya percobaan injeksi arah memanjang dengan *injection pressure* 1383 bar yang tidak masuk *range* pada Tabel.
3. Dari penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa parameter seperti *injection pressure*, *injection speed*, jenis material, arah aliran injeksi, lintasan *runner*, lebar *cavity* berpengaruh terhadap *flow length*.

6. REFERENSI

- [1] Hsu (David), Chia-Hsiang, Rong-Yeu Chang dan Maw-Ling Wang. 2018. *Molding Simulation: Theory and Practice*. Cincinnati. Hanser Publications.
- [2] Valero Lerma Jose R. 2020. *Plastics Injection Molding*. Cincinnati. Hanser Publications.
- [3] Tosello Guido. 2018. *Micro Injection Molding*. Cincinnati, Hanser Publications
- [4] R.J Crawford (1998). *Plastics Engineering Third Edition*
- [5] Georg Menges, Walter Michaeli, Paul Mohren. (1999). *How to Make Injection Molds*
- [6] Luchsinger, H.R. (1982). *Tool Design 3*. Bandung : Polyteknik Mekanik Swiss – ITB.
- [7] Malloy, A, Robert,. (2010). *Plastic Part Design for Injection Molding*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
- [8] Bryce, M , Douglas,. (1997). *Plastic Injection Molding: Material Selection and Product Design Fundamentals, Society of Manufacturing Engineers*.
- [9] Raharjo, Andika,. (2022). Pengaruh Tekanan Injeksi Terhadap *Flow length* Material Plastik ABS Dengan Tebal Produk 1mm. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung