

## KOMPARASI PARAMETER INJEKSI OPTIMUM PADA LDPE *RECYCLED* DAN *VIRGIN* MATERIAL

Raihan Ghanim<sup>1,a</sup>, Cahyo Budiyanoro<sup>1,b</sup>, Harini Sosiati<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

[raihanganim@gmail.com](mailto:raihanganim@gmail.com), [cahyo\\_budi@umy.ac.id](mailto:cahyo_budi@umy.ac.id), [harini@umy.ac.id](mailto:harini@umy.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai cacat *sink mark* produk plastik *low density polyethylene* (LDPE) murni dengan LDPE daur ulang dengan meningkatkan mutu kualitas menggunakan proses *injection molding*. Metode *design of experiment* (DOE) Taguchi digunakan untuk mendapatkan variasi parameter proses paling optimal, parameter proses yang berpengaruh terhadap cacat *sink mark* adalah *injection pressure*, *melting pressure*, *holding pressure*, dan *cooling time*. Penelitian ini mendapatkan hasil nilai *sink mark near* dan *far gate* pada produk plastik LDPE murni sebesar 0,04 mm dan LDPE daur ulang 0,08 mm.

**Kata kunci:** LDPE, DOE, *injection molding*.

### 1. Pendahuluan

#### Latar Belakang

Perkembangan industri plastik saat ini sangat pesat, yang disebabkan oleh teknologi dizaman modern berkembang sangat cepat sehingga produk plastik sangat mudah untuk dioptimalkan. Dalam perkembangan industri plastik peningkatan kualitas produk plastik adalah faktor paling penting. Optimalisasi parameter proses digunakan untuk memperbaiki kualitas produk dalam industri manufaktur plastik (Kavade, 2012). (Naik, 2014) meneliti tentang meminimalkan cacat *sink mark* dengan *injection molding* menggunakan metode Taguchi. Variasi parameter yang berpengaruh pada cacat *sink mark* adalah temperatur leleh, tekanan injeksi, kecepatan injeksi, dan waktu pendinginan. Penelitian yang dilakukan Naik diatas hanya variasi parameter saja yang berpengaruh pada cacat *sink mark* sedangkan parameter yang paling berpengaruh belum ditambahkan. Penelitian (Lal, 2013) tentang optimalisasi parameter *injection molding* pada material LDPE menghasilkan persentase *shrinkage* optimum 1,25%, dengan temperatur leleh 190 °C, tekanan injeksi 55 Mpa, *refilling presurre* 85 Mpa, dan waktu pendinginan 11 detik. Waktu pendinginan dan *refilling pressure* menjadi parameter yang paling berpengaruh terhadap *shrinkage* LDPE. Penelitian Lal untuk analisa cacat *shrinkage* material LDPE saja sebagai kecacatan yang diaplikasikan sedangkan untuk analisa cacat *sink mark* material LDPE murni dan daur ulang belum dilakukan lebih lanjut. Maka dari itu penelitian tentang komparasi parameter proses paling optimum pada material LDPE murni dan daur ulang perlu dilakukan lebih lanjut untuk mengetahui perbandingan cacat *sink mark* dengan variasi parameter yang sama menggunakan material LDPE murni dan daur ulang dengan parameter proses paling optimum. Penelitian dilakukan untuk memberikan informasi lebih mendalam tentang

perbandingan analisa cacat *sink mark* pada material LDPE murni dan daur ulang, dengan mengatur dan mengkombinasikan variasi parameter dengan level yang ditentukan. *Melting temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, dan *cooling time* adalah variasi parameter yang digunakan. Penelitian ini diharapkan menjadi rekomendasi atau acuan tambahan untuk membandingkan produk plastik LDPE murni dan daur ulang dengan variasi parameter proses yang paling optimal dengan *injection molding* agar mengetahui material LDPE daur ulang apakah dapat menyamai kualitas dari material LDPE murni.

### 2. Dasar Teori

#### LDPE

Polietilena berdensitas rendah *low density polyethylene* (LDPE) adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Pertama kali diproduksi oleh *Imperial Chemical Industries* (ICI) pada tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal bebas. LDPE dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang. LDPE dicirikan dengan densitas antara 0.910-0.940 g/cm<sup>3</sup> dan tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali oleh oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan. LDPE dapat bertahan pada temperatur 90 °C dalam waktu yang tidak terlalu lama (Moerbani, 1999). Jenis dan tipe material LDPE yang digunakan penelitian ini adalah *Cosmothene F410-1 low lensity polyethylene* (LDPE). Material ini banyak digunakan untuk pembuatan produk tas, kantong plastik, plastik pengepak, dan banyak aplikasi lainnya. Sifat khusus yang dimiliki material plastik *cosmothene F410-1* LDPE adalah warna yang transparan keputih – putihan, kejelasan warna yang tinggi kekakuan yang tinggi, kekasaran yang lumayan tinggi. Temperatur leleh LDPE ini tidak terlalu tinggi yaitu 130 °C–160 °C, temperatur leleh ini harus terkontrol secara konstan. Temperatur yang melebihi temperature yang ditetapkan material

dapat terbakar didalam barrel (*The Polyolefin Company Singapore, 2009*).

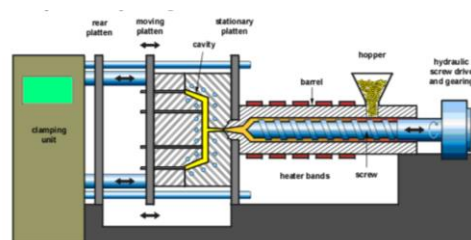
Tabel 1. *Cosmothene F410-1 LDPE (The Polyolefin Company Singapore, 2009)*

General properties	Nilai	Satuan	Test method
Melt flow rate	5	g/10min	ASTM D123B
Specific gravity	0,923	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Melting point	111	°C	Internal Method
Mechanical properties	Nilai	Satuan	Test method
Tensile strength at break	13,7	MPa	ASTN D638
Elongation at break	550	%	ASTM D638
Film thickness	5	µm	
Apparent bending modulus	240	MPa	ASTM D747
Gloss (30.0 µm)	120		ASTM D2457
Haze (30.0 µm)	4.0	%	ASTM D1003
Blocking (30.0 µm)	30.0	g/100 cm <sup>3</sup>	ASTM D3354
Slip (30.0 µm)	0.140	Tan θ	Internal Method

### Injection Molding

*Injection molding* adalah metode pembentukan material termoplastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh barrel ke dalam cetakan kemudian didinginkan oleh air sehingga mengeras. Secara umum pengertian *injection molding* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik yang dipanaskan dan diinjeksikan kedalam cetakan atau  *mold*, pada prinsipnya adalah suatu alat yang digunakan untuk membuat komponen-komponen dari material plastik dengan mesin injeksi plastik. Faktor yang paling berpengaruh dalam proses *injection molding* yaitu luas penampang, ketebalan, *insert* yang panjang, tuntutan ukuran toleransi yang sesuai dan pemilihan material (Didit, 2013). Adapun bagian-bagian pada mesin *injection molding* di bagi menjadi tiga garis besar yaitu : 1. Clamping Unit : Merupakan tempat untuk menyatukan molding. *Clamping system* mempunyai bagian yang sangat kompleks, dan diantaranya terdapat  *mold*, lalu ada *injection* untuk memasukan resin melalui  *sprue*, sesudah di injeksi material ditekan  *ejector* untuk mengeluarkan produk plastik dari  *molding*. Ada empat macam  *clamping unit* namun yang dipakai pada umumnya hanya dua macam, yaitu  *toggle clamp*, dan  *hydrolic clamp* (Ajis, 2010), berikut

adalah macam-macam  *clamping unit* : a. *Toggle clamp* yaitu  *clamping system* yang menggunakan tenaga mekanis dari  *linkage* untuk menghasilkan gaya yang dibutuhkan saat menahan cetakan selama injeksi. B. *Hydraulic clamp* yaitu  *clamping system* yang menggunakan tenaga hidrolis untuk menghasilkan  *clamp force* secara langsung. 2. Proses  *injection moulding* : Proses  *injection moulding* merupakan proses pembentukan benda kerja dari material  *thermoplastic* berbentuk butiran yang ditempatkan kedalam suatu  *hopper* dan masuk kedalam silinder  *barrel* injeksi yang kemudian didorong oleh mekanisme  *screw* melalui  *nozzle* mesin dan  *sprue* masuk kedalam rongga ( *cavity*) cetakan yang sudah pada kondisi tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan,  *mold* akan dibuka dan produk akan dikeluarkan dengan mekanisme  *ejector*. Material yang sangat sesuai adalah material  *thermoplastik*, hal ini di sebabkan karena pemanasan material ini dapat melunak dan sebaliknya akan mengeras lagi bila di dinginkan. Perubahan-perubahan yang terjadi hanya bersifat fisik, jadi bukan perubahan secara kimiawi sehingga memungkinkan daur ulang material sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan (Wahyudi, 2015).

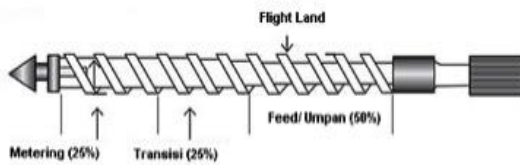


Gambar 1. *Injection Unit* (Gutowski, 2002)

Beberapa bagian  *injection unit*:

- a. *Motor dan transmission gear unit*  
 Bagian ini berfungsi untuk menghasilkan daya yang digunakan untuk memutar  *screw* pada  *barrel*, sedangkan transmisi unit berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran motor ke dalam  *screw*, selain itu  *transmission unit* juga berfungsi untuk mengatur tenaga yang di salurkan sehingga pembebanan tidak terlalu besar.
- b. *Hopper*  
*Hopper* adalah tempat untuk menempatkan material plastik, sebelum masuk ke  *barrel*. Biasanya untuk menjaga kelembapan material plastik, digunakan tempat penyimpanan khusus yang dapat mengatur kelembapan, sebab apabila kandungan air terlalu besar pada udara, dapat menyebabkan hasil injeksi yang tidak bagus.
- c. *Barrel*  
 Di dalam barrel terdapat  *screw* yang memiliki dua fungsi utama. Berputar untuk mencampur dan pemanasan polimer, berfungsi sebagai piston untuk memasukan plastik cair kedalam rongga cetak.
- d. *Screw*  
*Screw* berfungsi untuk mencampur material

polimer berfungsi sebagai pendorong material plastik cair ke dalam  *mold* .  *Screw*  pada  *barrel*  dibagi menjadi tiga zona yaitu pengisian ( *metering* ), kompresi, dan pengumpan ( *feeding* ) (Yuswinanto, 2016).

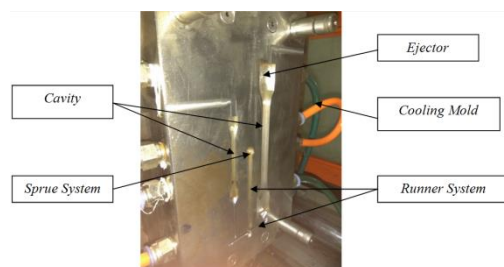


Gambar 2. 3 Zona didalam  *screw*  (indopolimer.com)

- e.  *Nonreturn valve*  ini berfungsi untuk menghambat atau mencegah aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali ke  *screw* .
- f.  *Nozzle*  ini berfungsi sebagai penghubung antara  *mold*  dengan unit injeksi, penahan kebocoran/ *sealing* , dan penyempitan pada nozel untuk mempertinggi kecepatan.

### 3. *Mold Unit*

*Mold unit*  adalah bagian terpenting untuk mencetak produk plastik, bentuk benda/produk plastik sangat tergantung dari bentuk  *mold* , karena setelah material plastik mencair kemudian akan diinjeksikan ke dalam cetakan atau  *mold* , setelah itu didinginkan maka terbentuklah produk plastik sesuai dengan bentuk  *mold* , ada berbagai tipe  *mold* , di sesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat (Oktaviandi, 2012). Contoh untuk  *mold*  standart.



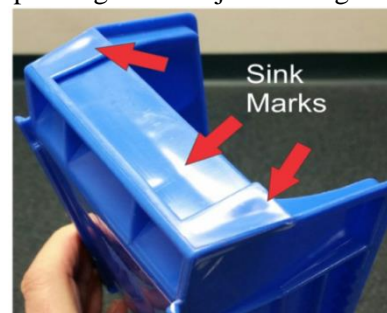
Gambar 3.  *Mold*

- a.  *Sprue*  dan  *runner system*   
 *Sprue*  dan  *runner system*  berfungsi menerima cairan plastik dari  *nozzle*  dan kemudian  *runner*  akan mengalirkan cairan plastik ke dalam  *cavity mold* .
- b.  *Cavity*   
 *Cavity*  merupakan salah satu sisi  *mold*  yang bergerak berfungsi untuk membentuk produk plastik,  *cavity*  terletak pada  *stationary plate*
- c.  *Ejector system*   
 Setiap jenis  *mold*  selalu mempunyai sistem untuk melepas produk yang selesai di cetak dari  *cavity mold* , bagian inilah yang disebut dengan ejektor. Penggerak utama ejektor

adalah mesin hidrolis pada bagian  *clamping unit* .

### *Sink Mark*

*Sink mark*  adalah cacat yang membentuk lekukan pada produk, yang timbul pada dinding produk yang tebal atau pertemuan antara dinding dan sirip yang membentuk bagian yang menebal pada daerah tersebut (Sutiawan, 2013). Penyebabnya adalah temperatur  *barrel*  terlalu tinggi, sehingga penyerapan panas oleh dinding cetakan terlalu besar dan mengakibatkan meningkatnya daerah yang kosong antar molekul plastik. Pada saat pendinginan, bagian permukaan akan mengeras dan molekul plastik yang berada dibawahnya akan mengisi kekosongan dan menarik kulit permukaan tersebut kearah dalam semakin besar. Kekosongan yang terjadi, semakin besar derajat penyusutannya dan  *sink mark*  terbentuk semakin besar. Tekanan yang rendah atau waktu injeksi yang kurang, sehingga menyebabkan terbentuknya kekosongan yang berlebihan antar molekul dan menarik material yang telah dingin dan menyebabkan penyusutan berlebih. Pembukaan cetakan terlalu cepat sehingga waktu pendinginan menjadi kurang.



Gambar 4. Kecacatan  *sink mark*  yang terlihat pada suatu produk plastik (media.licdn.com)

### 3. Metodologi

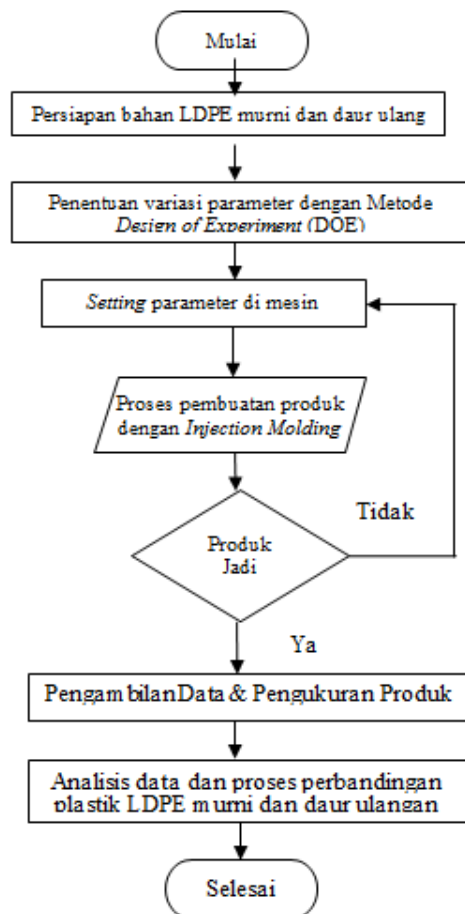
**Metode ( *design of experiment* ) DOE Taguchi**  
 Metode Taguchi adalah sebuah metode statistik yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dari hasil produksi  *manufacture, engineering* . Metode Taguchi melibatkan reduksi variasi dari proses melalui desain  *robust*  dari eksperimen. Tujuan utama dari metode ini adalah memproduksi produk yang  *high quality*  dengan  *cost*  yang rendah. Taguchi mengembangkan sebuah metode untuk mendesain eksperimen agar dapat menginvestigasi secara bersamaan pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses dan karakteristik produk dengan level yang divariasikan, hasil dari kombinasi variasi parameter akan dianalisa untuk menentukan seberapa besar pengaruh daei peningkatan atau penurunan kualitas dari parameter yang digunakan (Soejanto, 2009). DOE menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut  *orthogonal array* . Matriks ini merupakan langkah untuk mengelompokkan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses dan level-level yang diberi variasi sehingga diharapkan dapat memperoleh kualitas yang baik, serta

menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter (Soejanto, 2009). DOE ini melibatkan parameter-parameter yang berpengaruh pada proses dan tingkatan-tingkatan yang perlu diberi variasi. Dengan metode DOE dapat mengkombinasikan antara faktor-faktor dan variabel yang berpengaruh untuk meningkatkan kualitas produk. Hal ini dikarenakan DOE dapat mengumpulkan beberapa faktor dan variabel untuk mendapatkan komposisi parameter yang paling tepat, sehingga dengan menggunakan metode DOE dan metode taguchi dapat mendapatkan variasi parameter proses yang paling optimal untuk meningkatkan kualitas produk (Oktaviandi, 2012).

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah LDPE *Cosmothene F401-1*. Alat yang digunakan adalah mesin *injection Molding*, *software minitab*, *mold release*, *dial gauge*, *mini thermo infrared*, kunci Inggris dan kunci L.

### Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

### Metode Design Of Experiment (DOE)

Pengoptimalan produk plastik LDPE menggunakan metode *design of experiment* (DOE) dengan menentukan desain faktorial dan

data variasi parameter proses injeksi yang dapat menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter, empat variasi yang berpengaruh terhadap cacat *sink mark*, diantaranya yaitu *melt temperature*, *holding pressure*, *injection pressure*, dan *cooling time* dan tiga level perubahan. Secara teoritis setting parameter di mesin terdapat perhitungan untuk menentukan variasi parameter. Berikut adalah *typical injection molding condition* material LDPE pada tabel 2.

Tabel 2. *Typical injection molding LDPE*

<i>Typical Injection Molding Conditions LDPE</i>	
<i>Barrel Temperatures :</i>	
<i>Rear</i>	135 °C
<i>Middle</i>	145 °C
<i>Front</i>	155 °C
<i>Nozzle</i>	160 °C
<i>Melt Temperature</i>	160 °C
<i>Mold Temperatur</i>	20 °C–40 °C
<i>Injection Pressure</i>	600-1350 bar
<i>Holding Pressure</i>	50-75% dari <i>jection pressure</i>

*Cosmothene F410-1*

### Perhitungan hydraulic pressure

Untuk mengetahui perhitungan *hydraulic pressure* yang akan digunakan pada *setting* parameter dilakukan perhitungan parameter *injection pressure* secara teoritis dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$Ph = \frac{Ps \times As}{Ah} \dots\dots\dots (1)$$

Ph : *Pressure hydraulic* (bar)  
 Ps : *Pressure screw* (bar)  
 As : *Luas screw* (mm<sup>2</sup>)  
 Ah : *Luas hydraulic* (mm<sup>2</sup>)

Diketahui

$$Ph = \frac{600 \text{ bar} \times 28 \text{ mm}^2}{140 \text{ mm}^2} = 120 \text{ bar}$$

Ps : 600 bar  
 As : 28 mm<sup>2</sup>  
 Ah : 140 mm<sup>2</sup>

Berdasarkan perhitungan nilai minimal *hydraulic pressure* secara teoritis didapatkan hasil sebesar 120 bar, sedangkan pada saat penelitian dilakukan trial material didapatkan nilai *hydraulic pressure* sebesar 130 bar, sehingga nilai *hydraulic pressure* yang digunakan untuk penelitian yaitu sebesar 120 sampai 130 bar.

### Perhitungan holding pressure

Dapat diketahui besarnya *holding pressure* pada

mesin injeksi, dari spesifikasi material yang digunakan yaitu 50–75 % (*Cosmothene F410-1*) dari *hydraulic pressure*, hasil perhitungan diperoleh 84 bar, *holding pressure* yang dapat digunakan 60–90 bar.

**Perhitungan cooling time**

Perhitungan *cooling time* yang akan digunakan pada setting parameter dilakukan secara teoritis dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$S = \frac{-t^2}{2 \times \pi \times \alpha} \text{Log}_e \left[ \frac{\pi}{4} \times \frac{(Tr - Tm)}{(Tc - Tm)} \right] \dots \dots \dots (2)$$

- S : *Cooling time* minimum (sec)
- t : Tebal part (mm)
- α : *Thermal diffusivity* Bahan (mm<sup>2</sup>/s)
- Tr : *Ejection* temperatur dari part (°C)
- Tm : Suhu mold (°C)
- Tc : Suhu silinder (°C)

Diketahui :

- t : 4 mm
- α : 0,1585 mm<sup>2</sup>/s
- Tr : 80 °C
- Tm : 35 °C
- Tc : 145 °C

$$S = \frac{-4^2 \text{ mm}^2}{2 \times \pi \times 0,1585 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}} \text{Log}_e \left[ \frac{\pi}{4} \times \frac{(80^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})}{(145^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})} \right] = 18,24 \text{ sec}$$

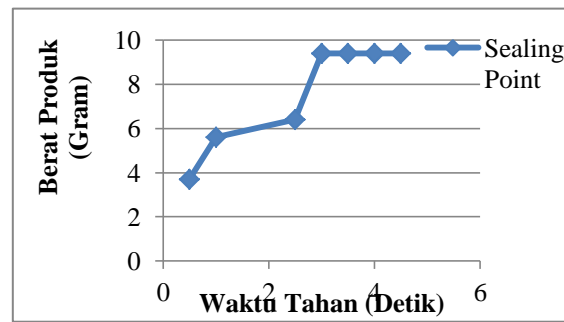
Perhitungan *cooling time* didapatkan hasil sebesar 18,24 sec, sedangkan pada waktu penelitian *cooling time* yang dipakai sebesar 20 sec, dikarenakan tidak adanya *cooling tower* pada mesin injeksi yang mengakibatkan sistem *cooling* pada mesin tidak bekerja secara maksimal.

**Penentuan Holding Time**

*Holding time* untuk parameter setting yang digunakan bisa didapatkan dengan melakukan *trial*. Berikut adalah penentuan *holding time* dengan *trial*.

Tabel 3. *Trial* produk untuk parameter *holding time*

Berat Produk	Gram	<i>Holding Time</i>	Sec
M1	3,7	t <sub>1</sub>	0,5
M2	5,6	t <sub>2</sub>	1
M3	6,4	t <sub>3</sub>	2,5
M4	9,4	t <sub>4</sub>	3
M5	9,4	t <sub>5</sub>	3,5
M6	9,4	t <sub>6</sub>	4
M7	9,4	t <sub>7</sub>	4,5



Gambar 6. Grafik *sealing point holding time*

Dengan *trial* yang telah dilakukan pada parameter *holding time* didapatkan *sealing point* pada waktu 3 detik dengan berat produk 9,4. Penentuan parameter *holding time* adalah 3 detik. Pemilihan parameter proses yang tepat didapatkan dari literatur data *sheet LDPE cosmothene F410-1* dan dari buku *Arburg Practical to Injection Moulding* (Vannessa, 2004) serta dengan mendiskusikan ke salah satu industri plastik di Yogyakarta, pembicaraan secara personal dengan *setter* mesin, dan serangkaian percobaan (*trial*) pada saat melakukan *setting* parameter di mesin injeksi. Pemilihan parameter proses dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Parameter variabel

Faktor	Parameter	Satuan	Level		
			1	2	3
A	<i>Temperature melting</i>	°C	155	150	145
B	<i>Injection pressure</i>	Bar	120	125	130
C	<i>Holding pressure</i>	Bar	80	85	90
D	<i>Cooling time</i>	s	15	20	25

**Desain Faktorial**

Penelitian ini menggunakan penetapan desain tiga *level* dan empat variabel sehingga didapat 9 percobaan yang berarti terdapat tiga perubahan variabel dalam setiap faktor. Penelitian ini juga tidak terlepas dari faktor *noise* dalam penetapan faktorial seperti, *cooling* tidak bekerja secara maksimal, penyimpangan pada *thermocouple* pada sepanjang segmen *barrel*, tidak adanya pengaturan suhu pada  *mold*, posisi *nozzel barrel* tidak *center* dengan  *mold* pada mesin. Faktor *noise* diabaikan pada penelitian ini karena metode DOE menggunakan pengolahan data variasi parameter proses terdiri dari beberapa faktor dan level yang telah ditentukan. Faktor *noise* pada mesin diabaikan atau indikator yang divariasikan dalam parameter proses untuk meningkatkan kualitas selama pembuatan produk plastik. Desain faktorial dalam penelitian ini adalah sebagai berikut pada tabel 5.

Tabel 5. Desain faktorial

Faktor Percobaan	Level parameter proses			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

### Pembuatan Produk Plastik

Prosedur pengoprasian dan pembuatan produk plastik dengan mesin injeksi plastik adalah sebagai berikut :

- Menyiapkan material plastik LDPE murni dan daur ulang yang akan digunakan dalam penelitian.
- Menghidupkan mesin injeksi dan menekan tombol *ON* pada *heater* terlebih dulu kemudian barulah menekan tombol motor listrik pada *control panel* pada mesin injeksi.
- Setelah menghidupkan semua komponen tersebut, masukkan data variasi parameter yang sudah disiapkan sesuai dengan material plastik LDPE dengan variasi parameter suhu leleh material tekanan injeksi, tekanan holding, dan waktu pendinginan. Berikut adalah variasi parameter proses dengan memasukkan variabel yang berpengaruh dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Parameter proses *injection molding*

Faktor Percobaan ke	Level parameter proses			
	A	B	C	D
	Melt temperature (°C)	Injection pressure (bar)	Holding pressure (bar)	Cooling time (s)
1	155	120	80	15
2	155	125	85	20
3	155	130	90	25
4	150	120	85	25
5	150	125	90	15
6	150	130	80	20
7	145	120	90	20
8	145	125	80	25
9	145	130	85	15

- Setelah memasukkan data variasi parameter, hal yang perlu dilakukan adalah memasukkan material biji plastik yang digunakan ke dalam *hopper*.

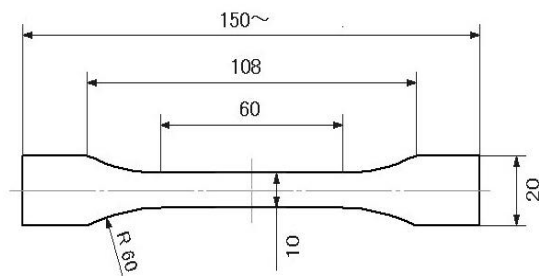
- Selanjutnya *charging* material plastik agar material plastik dapat mencair dan siap di injeksikan ke dalam cetakan.
- Setelah material plastik mencair dan suhu lelehnya sesuai maka proses injeksi siap dilakukan.
- Kemudian tekan tombol *manual*, *semi-auto* atau *full auto injection* pada *control panel* untuk memulai proses injeksi plastik.
- Setelah mesin beroperasi tunggu sampai proses berlangsung sampai proses injeksi berhenti, ketika *mold* injeksi terbuka kemudian produk plastik dilepaskan oleh *ejector*.

### Tahap Pengukuran Spesimen

Pengukuran dilakukan dengan alat ukur kerataan (*dial gauge*) secara *transversal*, *longitudinal*, *near gate*, dan *far gate* berdasarkan produk plastik yang dihasilkan dari mesin injeksi yang berupa *multipurpose specimen* DIN 527-2. Berikut adalah gambar produk *multipurpose specimen* gambar 7 dan 8:



Gambar 7. Produk plastik



Gambar 8. Gambar produk plastik

Pengukuran untuk mengetahui besarnya *sink mark* atau kecekungan permukaan spesimen dibagi menjadi 3. Berikut adalah pengukuran yang dilakukan antara lain :

#### 1. Pengukuran *longitudinal*

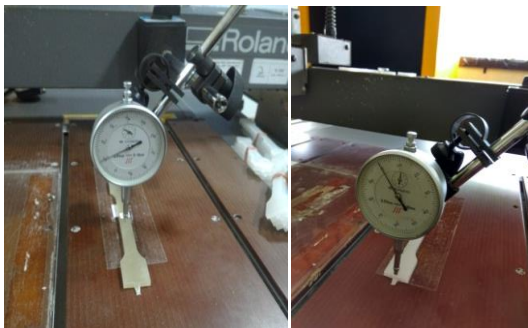
Pengukuran *longitudinal* adalah proses mengukur pada permukaan pada sepanjang spesimen dengan menggunakan alat ukur *dial gauge*. Pengukuran *longitudinal* terlihat pada gambar 9.



Gambar 9 Pengukuran *longitudinal*

### 2. Pengukuran *transversal*

Pengukuran *transversal* adalah proses mengukur pada permukaan pada sepanjang spesimen dengan menggunakan alat ukur *dial gauge*. Pengukuran secara *transversal* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Pengukuran *transversal*

### 3. Pengukuran *near gate* dan *far gate*

Pengukuran dekat dengan masuknya cairan plastik (*near gate*) dan ujung produk (*far gate*) diukur untuk mengetahui kecacatan *sink mark* di daerah tersebut. Berikut dapat dilihat pengukuran *near* dan *far gate* pada gambar 11.



Gambar 11. Pengukuran *near* dan *far gate*

## 4. Hasil dan Analisa Penelitian

### Hasil Pengukuran *Near* dan *Far Gate*

Tabel 7 Hasil perhitungan *near* dan *far gate* LDPE murni maksimal

No	Percobaan 2	
	Kerataan permukaan (mm)	
	<i>Near gate</i>	<i>Far gate</i>
1	0,07	0,11
2	0,05	0,14
3	0,03	0,05
4	0,02	0,07
5	0,05	0,06
Rata-rata	0,0472	0,0908

Dari hasil perhitungan rata-rata pada *near gate* nilai *sink mark* yang paling minimal sebesar 0,0472 mm, sedangkan untuk *far gate* sebesar 0,09 mm.

Tabel 8 Hasil perhitungan *near* dan *far gate* LDPE murni maksimal

No	Percobaan 3	
	Kerataan permukaan (mm)	
	<i>Near gate</i>	<i>Far gate</i>
1	0,1	0,2
2	0,09	0,18
3	0,08	0,15
4	0,05	0,14
5	0,07	0,13
Rata-rata	0,078	0,16

Dari hasil perhitungan rata-rata pada *near gate* nilai *sink mark* yang paling maksimal sebesar 0,078 mm, sedangkan untuk *far gate* sebesar 0,16 mm.

Tabel 9 Hasil perhitungan *near* dan *far gate*

No	Percobaan 5	
	Kerataan permukaan (mm)	
	<i>Near gate</i>	<i>Far gate</i>
1	0,09	0,175
2	0,055	0,195
3	0,037	0,063
4	0,021	0,14
5	0,046	0,09
Rata-rata	0,049	0,132

LDPE recycled minimal

Dari hasil perhitungan rata-rata pada *near gate* nilai *sink mark* yang paling minimal sebesar 0,049 mm, sedangkan untuk *far gate* sebesar 0,13 mm.

Tabel 10 Hasil perhitungan *near* dan *far gate* LDPE recycled maksimal

No	Percobaan 6	
	Kerataan permukaan (mm)	
	<i>Near gate</i>	<i>Far gate</i>
1	0,03	0,21
2	0,08	0,1
3	0,06	0,15
4	0,05	0,23
5	0,1	0,15
Rata-rata	0,064	0,168

Dari hasil perhitungan rata-rata pada *near gate* nilai *sink mark* yang paling maksimal sebesar 0,064 mm, sedangkan untuk *far gate* sebesar 0,16 mm.

### Hasil Pengukuran Nilai Sink Mark Paling Minimal LDPE Murni

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil nilai *sink mark* paling minimal pada material HDPE murni terdapat pada percobaan ke 2 dengan nilai rata-rata *sink mark near* dan *far gate* sebesar 0,065 mm.

Rata-rata *sink mark* LDPE murni dapat dilihat di tabel 11.

Tabel 11 Nilai *sink mark* minimal LDPE murni

No	Nilai <i>Sink mark</i> minimal LDPE murni (mm)		
	<i>Near gate</i>	<i>Far gate</i>	Rata-rata
2	0,04	0,09	0,065

### Hasil Pengukuran Nilai Sink Mark Paling Optimal LDPE Daur Ulang

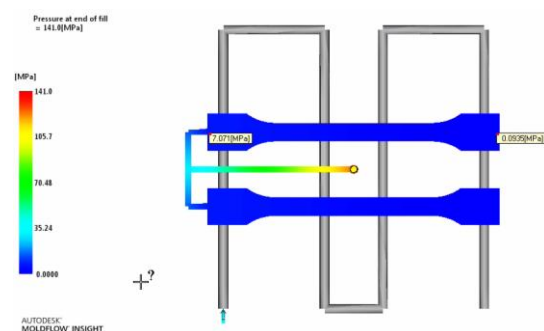
Berdasarkan pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil nilai *sink mark* paling optimal pada material HDPE daur ulang terdapat pada percobaan ke 5 dengan nilai rata-rata *sink mark near* dan *far gate* sebesar 0,08 mm. Rata-rata *sink mark* LDPE daur ulang dapat dilihat di tabel 12.

Tabel 12 Nilai *sink mark* optimum LDPE daur ulang

No	Nilai <i>Sink mark</i> optimum LDPE daur ulang (mm)		
	<i>Near gate</i>	<i>Far gate</i>	Rata-rata
5	0,06	0,1	0,08

### Analisa Perbandingan *Near & Far Gate*

Hasil perhitungan dan pengukuran didapatkan nilai *sink mark near gate* lebih kecil daripada *far gate*. Hal ini dikarenakan *holding pressure* yang kurang tinggi, menyebabkan *sink mark* di daerah *far gate* lebih besar, tekanan sudah menurun atau hampir tidak adanya tekanan di daerah *far gate*.

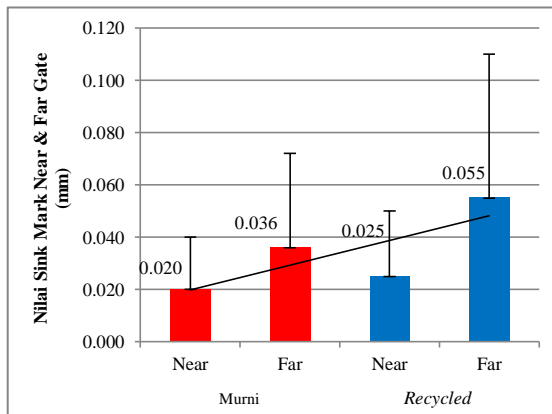


Gambar 12 Kurangnya *holding pressure* daerah *far gate*.

Tabel 13 Hasil perhitungan *sink mark near & far gate*.

Material	<i>Sink mark</i>		Standar Deviasi <i>Near Gate</i> (mm)	<i>Coefficient of Variation</i> (%)	Standar Deviasi <i>Far Gate</i> (mm)	<i>Coefficient of Variation</i> (%)
	<i>Near Gate</i> (mm)	<i>Far Gate</i> (mm)				
Murni	0,04	0,09	0,04	41,6	0,05	51,69
Daur ulang	0,049	0,1	0,05	38,78	0,05	42

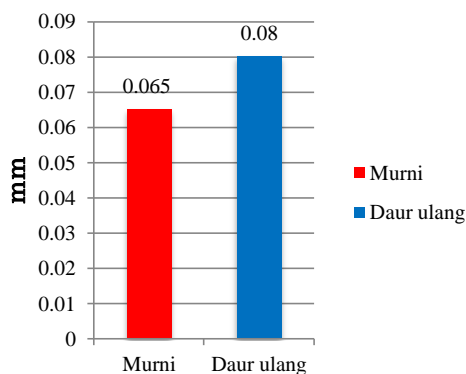




Gambar 13 Grafik perbandingan *near* dan *far gate*

### Perbandingan Hasil Pengukuran Nilai Sink Mark Paling Optimal LDPE Murni dengan Daur Ulang

Pada produk plastik LDPE murni di percobaan ke 2 dengan nilai *sink mark* sebesar 0,06 mm dan produk plastik LDPE daur ulang di percobaan ke 5 dengan nilai *sink mark* 0,08 mm didapatkan produk plastil LDPE yang paling minimal dari segi cacat *sink mark*. Hasil ini menunjukkan bahwa bila menggunakan variasi parameter yang sama produk plastik LDPE daur ulang tidak bisa menyamai kualitasnya dengan produk plastik LDPE murni. Cekungan yang berada di permukaan produk plastik daur ulang lebih besar daripada murni dikarenakan pada penelitian (Bernadeth, 2010) yang meneliti tentang “Studi Perbandingan Sifat Mekanik Polypropylene Murni dan Daur Ulang “ didapatkan hasil uji tarik naterial PP daur ulang menunjukkan uji kuat tarik lebih rendah 22,1 % daripada PP murni, hal ini dapat diketahui bahwa material daur ulang telah mengalami penurunan kualitas daripada material murni. Sehingga produk plastik yang dihasilkan kualitasnya sudah menurun dan kualitas yang dihasilkan tidak akan sama seperti pada material plastik murni. Hasil nilai *sink mark* minimal dapat dilihat pada gambar 14 sebagai berikut.



Gambar 14 Grafik perbandingan nilai *sink mark* LDPE murni dengan daur ulang

### Analisis Parameter yang Paling Optimal LDPE Murni

Dapat ditentukan untuk mengetahui variasi parameter proses yang paling optimal dari cacat *sink mark* LDPE murni adalah dengan melakukan pengukuran terhadap semua produk plastik yang mana terdapat pada percobaan ke 2 dikarenakan dari variasi parameter proses DOE (*design of experiment*) didapatkan kombinasi variasi parameter yang paling tepat dengan variasi parameter sebagai berikut :

Tabel 14 Parameter paling optimal murni

Faktor	Level parameter proses			
	A	B	C	D
Percobaan ke	<i>Melt temperature</i> (°C)	<i>Injection pressure</i> (bar)	<i>Holding pressure</i> (bar)	<i>Cooling time</i> (detik)
2	155	125	85	20

### Analisis Parameter yang Paling Optimal LDPE Daur Ulang

Dapat ditentukan untuk mengetahui variasi parameter proses yang paling optimal dari cacat *sink mark* LDPE daur ulang terdapat pada percobaan ke 5 dikarenakan dari variasi parameter proses DOE (*design of experiment*) didapatkan kombinasi variasi parameter yang paling tepat dengan variasi parameter sebagai berikut :

Tabel 15 Parameter paling optimal daur ulang

Faktor	Level parameter proses			
	A	B	C	D
Percobaan ke	<i>Melt temperature</i> (°C)	<i>Injection pressure</i> (bar)	<i>Holding pressure</i> (bar)	<i>Cooling time</i> (detik)
5	150	125	90	15

## 5. Kesimpulan

Didapatkan variasi parameter yang berpengaruh terhadap cacat *sink mark* adalah *melt temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, dan *cooling time*. Tetapi parameter yang paling berpengaruh adalah *holding pressure*, dikarenakan tingginya *holding pressure* akan menentukan pemampatan secara merata cairan plastik ke cetakan. Apabila semakin tinggi *holding pressure* nilai *sink mark* akan semakin berkurang. Dari penelitian ini didapatkan hasil variasi parameter proses optimum LDPE murni yaitu dengan *melt temperature* 155 °C, *injection pressure* 125 bar, *holding pressure* 85 bar, dan *cooling time* 20 detik dengan rata-rata nilai *sink mark* 0,06 mm lebih baik dari segi kualitas dibandingkan LDPE daur ulang yang menggunakan variasi parameter optimum yaitu dengan *melt temperature* 150 °C, *injection pressure* 125 bar, *holding pressure* 90 bar, dan *cooling time* 15 detik dengan rata-rata 0,8 mm.

### Daftar Pustaka

Bernadeth, J H J. 2010 *Studi Perbandingan Sifat Mekanik Polypropylene Murni Dan Daur Ulang*. International Journal of Science and Research (IJSR), 4(5):722-725.

- Budiyantoro, C. 2016. *Teknologi Plastik.. Perkuliahan program studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta* tanggal 06 Oktober 2016.
- Cahyadi, D 2010. *Analisis Parameter Operasi pada Proses Plastik Injection Molding untuk Pengendalian Cacat Produk*. Jurnal Sintek 8 2 8-16.
- DKM Manufacturing. 2014. *Custom Insert & Injection Molding* [dkmmfg.com](http://dkmmfg.com). Diakses pada 20 Maret, pukul 13. 00 WIB.
- Dwidedi, A, Kumar, Nasihun, Dharmendra 2015. *Practical application of Taguchi method for optimization of process parameters in Injection Molding Machine for PP material*. 2 4 264-268.
- Goodship, V. 2004. *Arburg Practical to Injection Moulding*. United Kingdom: Rapra Technology. 154-155.
- Hakim, AR 2015. *Pengaruh Suhu, Tekanan dan Waktu Pendinginan Terhadap Cacat Warpage Produk Berbahan Plastik*. 1-12.
- Hartono, M. 2012 “Meningkatkan Mutu Produk Plastik Dengan Metode Taguchi. 13 1 93-100.
- Kavade, M. V., dan S.D. Kadam. 2012. *Parameter Optimization of Injection Molding of Polypropylene by using Taguchi Methodology*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 4(4):49-58.
- Lal, K, Vasudevan 2013. *Optimization of Injection Moulding Process Parameters in the Moulding of Low Density Polyethylene (LDPE)*. 7 5 35-39.
- Maulana, L Z. Agus Y, & Sulhadi 2013. *Aplikasi Low Density Polyethylene (LDPE) pada Pembuatan Magnet Ferrite Komposit*. 2(1):72-78.
- Naik, L, Chikmeti, Gaviyappa, Utthanoor, Shivaraj, Vishwanath 2014. *A Study on Reducing the Sink mark in Plastic Injection Moulding-Taguchi Technique*. *International Journal of Engineering Research and Development* 10 3 40-43.
- Nurminah, M. 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas Serta Pengaruhnya Terhadap Bahan yang Dikemas*. 1-15.
- Oktaviandi, S D. 2012. *Analisis Pengaruh Parameter Tekan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene*. Skripsi Progam Strata-1 Universitas Sultan Agung Tirtayasa.
- Pujari, V, Naik 2015. *Meminimalkan Cacat Sink Mark di Mesin Injeksi Molding Menggunakan Metode Taguchi*. 3 1 95-101.
- Sugondo, A, Willyanto, Ian 2007. *Minimalisasi Cacat dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk pada Proses Injection Molding dengan Menggunakan Simulasi*. Jurnal Tekno Sim 34-40.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Experimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu 13-22.
- Soejito, I. 2009. *Desain Experimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu 13-22
- The Polyolefin Company 2009. *Cosmothene F410-1 LDPE*.
- Wahjudi, D, Gan, Yohan 2001. *Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi*. 3 1 24-28.
- Wahyudi, U 2015. *Studi Pengaruh Injection Time dan Backpressure Terhadap Cacat Penyusutan pada Produk Kemasan Toples dengan Proses Injection Molding Menggunakan Material Polistyrene*. 1-18.
- Yulianto, I, Rispiana H P. 2014. *Rancangan Desain Moldi Produk Knob Regulator Kompor Gas pada Proses Injection Molding*. 2(3):140-151.
- Yuswinanto. 2016. *Mendapatkan Kontrol Terhadap Penggantian Suhu Barrel* <http://www.indopolimer.com/artikel/mendapatkan-kontrol-terhadap-penggantian-suhu-barrel-zone-iii/> Diakses pada 2 April, pukul 11.11 WIB.