

KOMPARASI PARAMETER INJEKSI OPTIMUM PADA HDPE RECYCLED DAN VIRGIN MATERIAL

Muhammad Khadliq^{1,a}, Cahyo Budiyanoro^{1,b}, Harini Sosiati^{1,c}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jalan

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

^amuhammadkhadliq@gmail.com, ^bcahyo_budi@umy.ac.id, ^chsosiati@ft.umy.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan kualitas produk plastik dengan analisis cacat *sink mark* menggunakan variasi parameter yang optimal untuk membandingkan material plastik murni (*virgin*) dengan plastik daur ulang (*recycled*) jenis *high density polyethylene* (HDPE) menggunakan proses *injection molding*. Penelitian ini menggunakan metode *design of experiment* (DOE) untuk mendapatkan variasi parameter proses yang paling optimal seperti *melting temperature*, *holding pressure*, *injection pressure*, dan *cooling time*. Hasil dari penelitian ini adalah nilai *sink mark transversal*, *near gate* dan *far gate* pada material plastik HDPE murni sebesar 0,045 mm dan daur ulang 0,06 mm.

Kata kunci : HDPE, DOE, *injection molding*

1. Pendahuluan

Peningkatan kualitas produk dalam bidang industri manufaktur plastik terus berkembang sejalan dengan meningkatnya kualitas produk yang terus bersaing di bidang pemasaran industri manufaktur plastik. Oleh karena itu, peningkatan kualitas produk plastik merupakan faktor penting untuk mendapatkan produk plastik dengan kualitas yang lebih baik. Optimalisasi parameter proses merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kualitas yang dilakukan dalam industri manufaktur plastik dengan melakukan variasi parameter proses produk yang tepat (Kavade, 2012).

Naik dkk, (2014) memberikan informasi mengenai cara meminimalkan cacat *sink mark* dengan proses *injection molding* menggunakan metode Taguchi. Penelitian ini menghasilkan variasi parameter yang paling berpengaruh terhadap *sink mark* seperti temperatur leleh, kecepatan injeksi, tekanan injeksi, dan waktu pendinginan untuk mengurangi terjadinya cacat *sink mark*. Penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Kale dkk, (2013) mengenai optimalisasi parameter proses dengan *injection molding* untuk meminimalkan *shrinkage* pada material *high density polyethylene* (HDPE) dengan hasil nilai *shrinkage* sebesar 0,515 %, dengan variasi parameter yang digunakan seperti temperatur leleh, tekanan injeksi, tekanan pengepakan, dan waktu pendinginan, yang berpengaruh untuk mengurangi terjadinya *shrinkage*.

Berdasarkan hasil penelitian diatas, penelitian tentang cacat *shrinkage* hanya pada material plastik HDPE saja, sedangkan cacat *sink mark* dengan material plastik HDPE

belum dilakukan lebih lanjut, sehingga penelitian tentang material HDPE murni dan daur ulang perlu dilakukan untuk mengetahui perbandingan cacat *sink mark* dengan variasi parameter yang sama.

Penelitian ini dilakukan untuk menambahkan informasi tentang perbandingan analisis cacat *sink mark* pada material HDPE murni dan daur ulang titanvene HD5218EA dengan metode DOE Taguchi untuk mendapatkan variasi parameter proses, dengan variabel parameter yang paling berpengaruh terhadap cacat *sink mark* seperti *melting temperature*, *holding pressure*, *injection pressure*, dan *cooling time*. Pada penelitian ini diharapkan kualitas material HDPE daur ulang dapat menyamai kualitas material HDPE murni, dan variasi parameter proses yang optimal dapat digunakan sebagai acuan untuk pembuatan produk plastik dengan proses *injection molding*.

2. Dasar Teori

Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

HDPE adalah polimer termoplastik *linear* yang terbentuk dengan proses katalitik, proses katalitik yaitu sebuah proses yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya suatu reaksi atau dalam hal ini disebut polimerisasian (pembentukan molekul plastik). HDPE dengan sedikit cabang menghasilkan struktur yang lebih rapat dengan densitas yang lebih tinggi dan mempunyai ketahanan kimia yang lebih tinggi dari pada LDPE. HDPE juga lebih kuat dan lebih tahan terhadap temperatur yang lebih tinggi. Banyak yang memilih HDPE dalam penelitian karena mempunyai kelebihan dibandingkan dengan LDPE.

Kebanyakan aplikasi HDPE dipadukan dengan zat aditif yang diperlukan untuk

mempertahankan sifat-sifat HDPE. Bahan aditif tersebut berupa zat-zat dengan berat molekul rendah yang dapat berfungsi sebagai *filler*, pewarna, antioksidan, penyerap sinar ultraviolet, anti lekat dan lain-lain (Yatim, 2009). HDPE mempunyai densitas 950 kg/m^3 yang biasa dan sering dipakai untuk kemasan jerigen minyak pelumas, botol susu yang berwarna putih, kursi lipat, dan lain-lain (Suyadi, 2010).

Penelitian ini menggunakan resin material HDPE dari lotte chemical titan tipe *Titanvane HD5218EA*, material plastik ini sering digunakan untuk membuat produk peralatan rumah tangga seperti piring, gelas, stoples, dan juga beberapa mainan plastik dikarenakan plastik ini termasuk dalam kategori yang ramah lingkungan. *Polietilen high density* (HDPE) termasuk dalam kategori *crystalline material*.

HDPE dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 2 pada simbol daur ulang seperti pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Simbol daur ulang plastik HDPE (al-atsariyyah.com)

Tabel 1. General properties (lotte chemical titan, 2015)

General properties	Nilai	Satuan	Test method
Melt flow rate (90°C/2.16 kg)	18	g/10min	ISO 1133
Nominal density	0,950	g/cm ³	ISO 1183
Melting point	130	°C	ISO 3146

Tabel 2. Mechanical properties (lotte chemical titan 2015)

Mechanical properties	Nilai	Satuan	Test method
Tensile stress at yield	25	MPa	ISO/R 527
Elongation at break	250	%	ISO/R 527
Charpy impact strength	5	kJ/m ²	ISO 179
Flexural modulus	1300	MPa	ISO 178
Hardness	65		ISO 868

Injection Molding

Injection molding adalah metode pembentukan material termoplastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh *plunger* 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*. *Mold* plastik pada prinsipnya adalah suatu alat (*tool*) 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 (Oktaviandi, 2013).

Bagian-bagian mesin injection molding

Pada mesin *injection molding* terdapat beberapa bagian utama yang berperan penting pada saat proses pembuatan produk plastik, adapun pada mesin *injection molding* di bagi menjadi tiga garis besar yaitu :

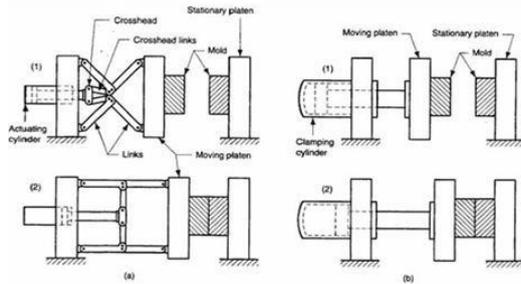
1. Clamping unit

Clamping unit berfungsi untuk memegang dan mengatur gerakan dari *mold unit*, serta gerakan *ejector* saat melepas benda/produk dari *molding unit*, pada *clamping unit* bisa mengatur berapa panjang gerakan *mold* saat di buka dan berapa panjang *ejector* harus bergerak (Ajis, 2010).

Ada empat macam *clamping unit* namun yang dipakai pada umumnya hanya dua macam, yaitu *toggle clamp*, dan hidrolis *clamp*, 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.
- c. *Hydromechanical clamp* yaitu *clamping system* yang menggunakan penggabungan tenaga *Toggle clamp* dengan *Hydraulic clamp* untuk meningkatkan kecepatan kerja mesin.
- d. *Hydroelectrical clamp* yaitu *clamping system* yang menggunakan penggabungan antara system hidrolis dan elektrik.

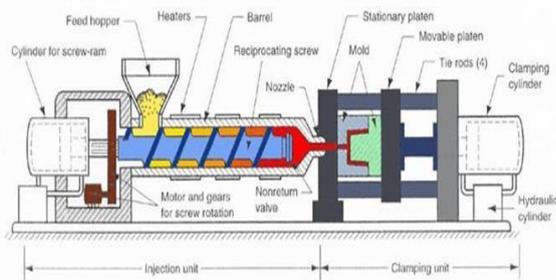
Pada Gambar 2 a dan b berikut adalah jenis dari *clamping unit*.



Gambar 2. Clamping unit toggle clamp dan hydraulic clamp (sinotech.com)

2. Injection Unit

Injection unit berfungsi melelehkan dan memasukkan material plastik ke dalam cetak. Injection unit terdiri dari beberapa bagian, yaitu : Pada Gambar 3 berikut disebutkan gambar injection unit

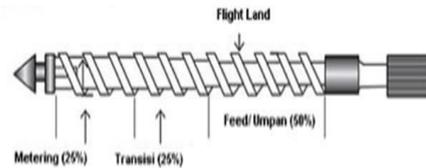


Gambar 3. Injection unit (sinotech.com)

Berikut adalah 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 transmisi 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 mengalirkan plastik dari hopper ke nozzle, ketika screw berputar material dari hopper akan tertarik mengisi screw yang

selanjutnya dipanaskan lalu didorong ke arah nozzle. Adapun terdapat standard screw dengan 3 zona yaitu zona pengisian, zona kompresi, dan zona pengisian. zona transisi (kompresi) dimana area ini merupakan tempat pelet plastik meleleh. Energi yang dibutuhkan untuk melelehkan plastik dari pergeseran (friksi) dan kompresi yang berasal dari putaran screw, dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:

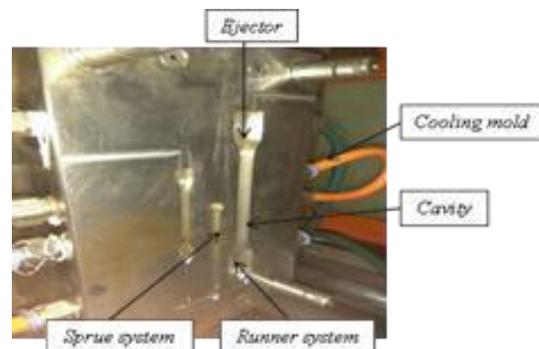


Gambar 4. Standar screw dengan 3 zona (Yuswinanto, 2016)

- e. Nonreturn valve
 Nonreturn Valve ini berfungsi untuk menghambat atau mencegah aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali ke screw.
- f. Nozzle
 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, dan dinginkan maka terbentuklah produk plastik sesuai dengan bentuk mold, ada berbagai tipe mold, di sesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat (Oktaviandi, 2012). Berikut adalah contoh Gambar 5 mold unit.

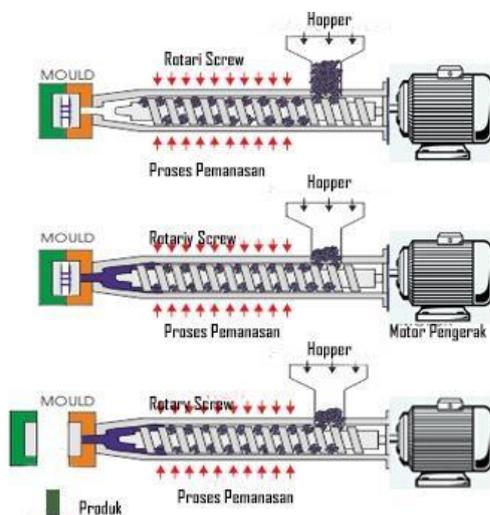


Gambar 5. Mold unit

Pada mold unit, secara umum terdiri dari beberapa bagian diantaranya adalah sebagai berikut :

- 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 side*
Cavity side merupakan salah satu sisi *mold* yang bergerak berfungsi untuk membentuk produk plastik, *cavity side* terletak pada *stationary plate*, yaitu *plate* yang tidak bergerak saat proses *ejecting* produk plastik
- 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 hidrois pada bagian *clamping unit*

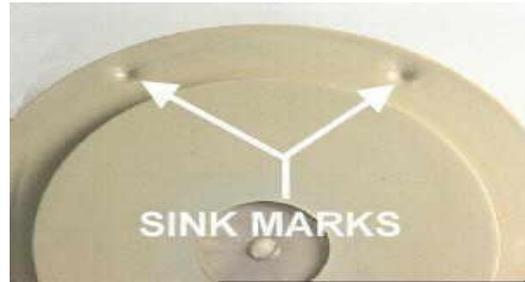
Prinsip kerja mesin injection molding



Gambar 6 Prinsip kerja mesin injection molding (wikikomponen.com)

Dari Gambar 6 diatas dapat dilihat di atas prinsip kerja *injection molding* yaitu material plastik dimasukkan ke dalam *hopper* akan terbawa oleh *screw* yang berputar kedalam *barrel*, kemudian material plastik akan dicairkan di dalam *barrel* oleh pemanas atau *heater* dengan suhu yang sudah disesuaikan. Material plastik akan mencair dan siap diinjeksi kedalam cetakan, sebelum proses injeksi *mold* akan menutup dengan tekanan tertentu dan cairan plastik diinjeksikan kedalam cetakan atau *mold*, kemudian terjadi proses *holding* untuk menyempurnakan produk dan menahan tekanan balik, setelah itu terjadi proses *charging* dan *cooling* yang berguna untuk pengisian material dan pendinginan produk plastik yang berada pada cetakan. Produk plastik yang sudah didinginkan akan dikeluarkan oleh *ejector* setelah cetakan atau *mold* membuka (Wijaya, 2009).

Sink mark



Gambar 7. Cacat sink mark (plastictroubleshooter.com)

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).

Penyebab :

- a. 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
- b. Kekosongan yang terjadi, semakin besar derajat penyusutannya dan *sink mark* terbentuk semakin besar.
- c. 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.
- d. Pembukaan cetakan terlalu cepat sehingga waktu pendinginan menjadi kurang.

3. Metodologi

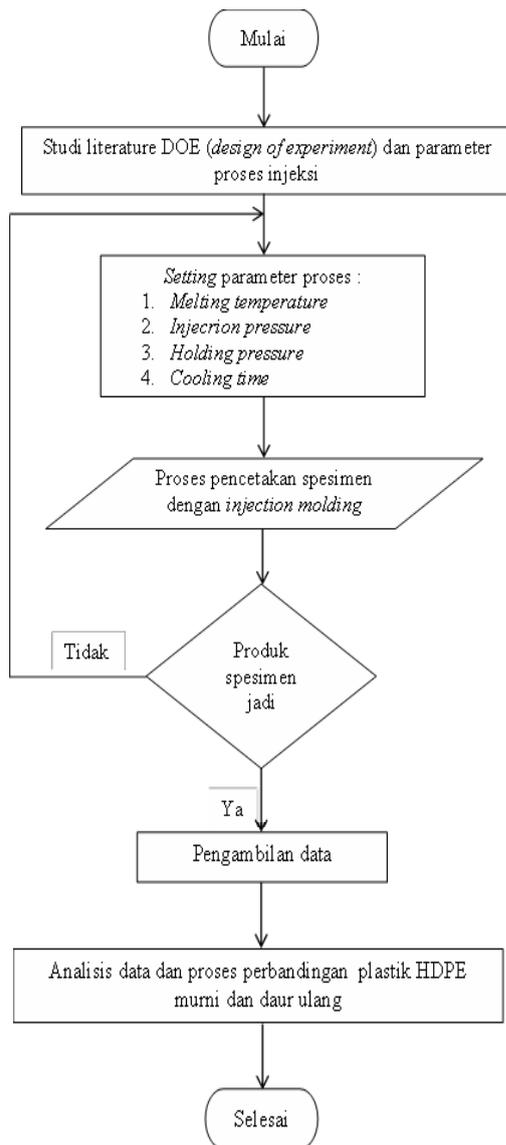
Metode (design of experiment) DOE

Penelitian ini menggunakan metode DOE untuk mendapatkan variasi parameter proses yang berpengaruh untuk meminimalkan cacat sink mark seperti, *melting temperature*, *holding pressure*, *injection pressure*, dan *cooling time*. Parameter proses yang didapatkan digunakan untuk setting parameter pada mesin injeksi.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin *Injection molding*, *software minitab*, *mold release*, *thermo infrared*, *dial gauge*, mikroskop *olympus sz 61*, kunci *inggris*, dan kunci *L*.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.1 Diagram alir

Menentukan Variasi Parameter

Untuk menentukan variasi parameter proses yang digunakan yaitu dengan menggunakan metode DOE didapatkan empat variasi dan tiga level perubahan. Berikut ini adalah parameter yang digunakan diantaranya yaitu temperatur material (*melting temperature*), tekanan tahan (*holding pressure*), tekanan injeksi (*injection pressure*), dan waktu pendinginan (*cooling time*).

Besarnya nilai pada setiap level parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data *sheet* material HDPE tipe HD5218EA dan dari perhitungan secara teoritis:

1. Berikut adalah data *sheet* material yang digunakan dalam penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Data *sheet* resin HDPE tipe titanvene HD5218EA (lotte chemical titan, 2015)

Data sheet lotte chemical resin HDPE tipe titanvene HD5218EA	
<i>Barrel Temperature :</i>	
<i>Rear</i>	140°C
<i>Middle</i>	160°C
<i>Front</i>	180°C
<i>Nozzle</i>	200°C
<i>Melt Temperature</i>	200-240°C
<i>Mold Temperatur</i>	20 °C-40°C
<i>Injection Pressure</i>	600-1350 bar
<i>Holding Pressure</i>	50-75 % dari min. injection pressure

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* (mm²)
- Ah = *Luas Hydraulic* (mm²)

Diketahui :
 Ps = 600 bar
 As = 28 mm²
 Ah = 140 mm²

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

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 130 sampai 136 bar.

2. Perhitungan *holding pressure*

Besarnya *holding pressure* pada mesin injeksi plastik dapat diketahui dari spesifikasi material yang digunakan yaitu 50 – 75 % dari *hydraulic pressure* (Lotte chemical titan HD5218EA, 2015), sehingga dari hasil perhitungan diperoleh 84 bar, maka *holding pressure* yang dapat digunakan sebesar 60 – 90 bar.

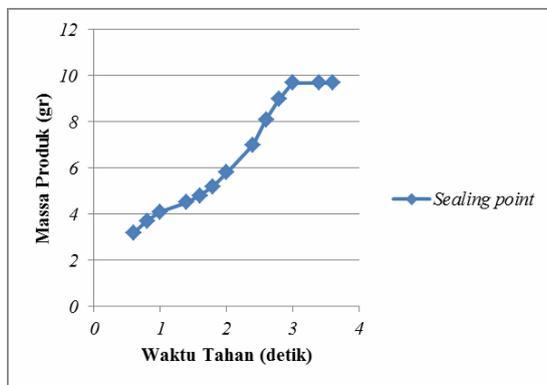
3. Penentuan level *holding time*

Untuk menentukan parameter *holding time* yang dapat digunakan pada penelitian ini, dilakukan *trial* produk. Berikut ini adalah Tabel 4 data *trial holding time* yang dilakukan:

Tabel 2.2 Data *trial* produk untuk parameter *holding time*

Massa Produk	Gram	<i>Holding Time</i>	Detik
M1	3,2	t ₁	0,6
M2	3,7	t ₂	0,8
M3	4,1	t ₃	1
M4	4,5	t ₄	1,4
M5	4,8	t ₅	1,6
M6	5,2	t ₆	1,8
M7	5,8	t ₇	2
M8	7	t ₈	2,4
M9	8,1	t ₉	2,6
M10	9	t ₁₀	2,8
M11	9,7	t ₁₁	3
M12	9,7	t ₁₂	3,4
M13	9,7	t ₁₃	3,6

Gambar 4. Grafik *sealing point*



Berdasarkan *trial* parameter produk pada *holding time*, didapatkan nilai *sealing point holding time* pada 3 detik. Maka dari itu pada penelitian yang dilakukan menggunakan *holding time* 3 detik.

4. Perhitungan *cooling time*

Untuk mengetahui lamanya *cooling time* yang akan digunakan pada setting parameter dilakukan perhitungan parameter *cooling time* secara teoritis dengan menggunakan persamaan ke-2 sebagai 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 (mm²/s)
- Tr = *Ejection* Temperatur dari Part (°C)
- Tm = Suhu Mold (°C)
- Tc = Suhu Silinder (°C)

Diketahui :

- t = 4 mm
- α = 0,17 mm²/s
- Tr = 100 °C
- Tm = 35 °C
- Tc = 170 °C

$$S = \frac{-4^2 \text{ mm}^2}{2 \times \pi \times 0,17 \text{ mm}^2/\text{s}} \text{Log}_e \left[\frac{\pi}{4} \times \frac{(100^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})}{(170^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})} \right] = 14,57 \text{ sec}$$

Berdasarkan perhitungan *cooling time* minimum secara teoritis didapatkan hasil sebesar 14,57 sec, sedangkan dengan waktu yang sesingkat itu produk plastik yang dilepaskan dari mold masih dalam keadaan panas dan menyebabkan terjadinya pembengkokan (*bending*) apabila produk di *ejector*, sehingga menyebabkan terjadinya cacat *sink mark* pada produk bertambah besar dikarenakan produk yang dikeluarkan dari cetakan belum dalam keadaan mengeras yang mengakibatkan terdapat bekas *ejector* pada permukaan produk dan hasilnya akan mempengaruhi kualitas produk plastik. Pada penelitian nilai *cooling time* yang dipakai sebesar 20-25 sec, dikarenakan pada *cooling time* 20-25 sec produk yang dihasilkan sudah dalam keadan padat atau mengeras dan suhunya tidak terlalu panas maka dari itu pada penelitian ini nilai *cooling time* yang dipakai sebesar 20-25 sec.

Pemilihan parameter proses yang tepat didapatkan dari literatur data *sheet HDPE lotte chemical resin titanvene tipe HD5218EA*, Arburg (Goodship. V, 2004), dan (Sutriyono, 2012), serta pertimbangan nilai level parameter proses yang tepat didapatkan dari hasil diskusi dengan karyawan salah satu industri plastik di Yogyakarta, dan pembicaraan secara personal dengan *setter* mesin yang diaplikasikan dengan (*trial*) percobaan produk untuk mendapatkan komposisi parameter proses yang paling optimal, sedangkan untuk mesin injeksi pertimbangan parameter yang diperhatikan berupa kemampuan mesin injeksi yang sudah mulai menurun karena usia dari mesin injeksi, sehingga perlu melakukan *trial* mesin injeksi untuk mendapatkan parameter proses yang tepat untuk mesin injeksi plastik.

Pemilihan Variasi Parameter

Untuk menentukan variasi parameter proses yang digunakan yaitu dengan menggunakan metode (DOE) Taguchi didapatkan empat

variasi dan tiga level perubahan yang dimaksud dengan empat variasi adalah empat variable parameter sedangkan tiga level perubahan adalah tiga nilai perubahan pada setiap variabel parameter. Berikut ini adalah parameter yang digunakan diantaranya yaitu *melting temperature*, *holding pressure*, *injection pressure*, dan *cooling time* yang akan digunakan dalam pembuatan produk plastik, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah.

Tabel 5. Parameter Proses

Faktor	Parameter	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Melting temperature</i>	°C	160	165	170
B	<i>Injection pressure</i>	Bar	130	133	136
C	<i>Holding pressure</i>	Bar	85	90	95
D	<i>Cooling time</i>	Detik	20	23	26

Desain Faktorial

Penetapan desain faktorial dalam penelitian ini didapatkan dari variasi parameter menggunakan *software* minitab yaitu dengan variasi tiga level dan empat variabel sehingga didapat 9 percobaan. Tiga level artinya adalah terdapat tiga perubahan dalam setiap faktor, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah.

Tabel 6. 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

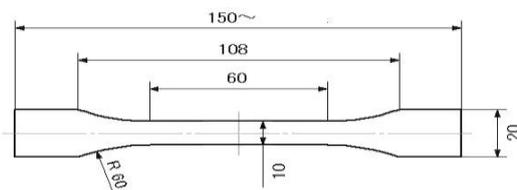
Tahapan Pengukuran Spesimen

Pengukuran *transversal*, *longitudinal*, *near gate*, dan *far gate* dilakukan berdasarkan bentuk produk yang dihasilkan dari mesin injeksi yang berupa spesimen *multipurpose* dengan bentuk memanjang, sehingga dilakukan pengukuran *transversal*, *longitudinal*, *near gate*, dan *far gate* untuk mengetahui besarnya *sink mark* atau kecekungan permukaan spesimen. Berikut

adalah Gambar 10 dan 11 bentuk produk spesimen dan gambar teknik *multipurpose* DIN ISO 527-1



Gambar 10. Produk plastik



Gambar 11. Gambar teknik produk plastic

Berikut adalah macam-macam pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *sink mark* pada produk plastik antara lain :

1. Pengukuran *longitudinal*

Pengukuran *longitudinal* adalah proses pengukuran kerataan permukaan pada panjang spesimen dengan menggunakan alat ukur *dial gauge*. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *sink mark* pada pajang produk dengan cara meletakkan alat ukur pada bidang yang bergerak dan spesimen diletakkan pada media yang rata dan dalam keadaan diam tidak bergerak kemudian alat ukur digerakkan memanjang/*longitudinal* pada produk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 12 berikut :



Gambar 12. Pengukuran *longitudinal*

2. Pengukuran *transversal*

Pengukuran *transversal* adalah proses pengukuran kerataan permukaan pada lebar spesimen dengan menggunakan alat ukur *dial gauge*. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *sink mark* pada

lebar produk dengan cara meletakkan alat ukur pada bidang yang bergerak dan spesimen diletakkan pada media yang rata dan dalam keadaan diam tidak bergerak kemudian alat ukur digerakkan melintang/*transversal* pada produk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 13 berikut :



Gambar 13. Pengukuran *transversal*

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

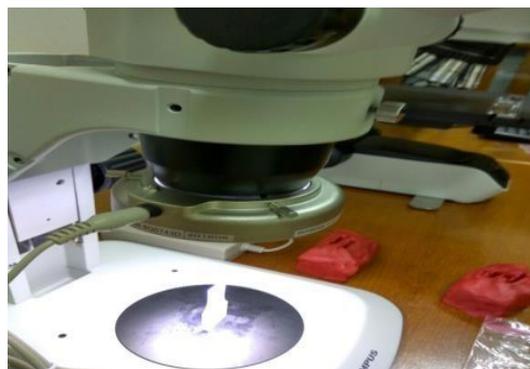
Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *sink mark* pada *near gate* dan *far gate* produk dengan cara meletakkan alat ukur *dial gauge* pada bidang yang bergerak dan spesimen diletakkan pada media yang rata dan dalam keadaan diam tidak bergerak kemudian alat ukur digerakkan melintang pada bagian *near gate* dan *far gate* produk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 14 berikut :



Gambar 14. Pengukuran *near gate* dan *far gate*

4. Pengukuran menggunakan Mikroskop *Olympus*

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *sink mark* dengan pembesaran 10 : 1x dengan menggunakan mikroskop *olympus* sehingga cekungan yang terdapat pada material plastik dapat terlihat dengan jelas. Pada pengukuran ini hanya produk plastik hasil dari parameter proses paling optimal serta berdasarkan dari hasil perhitungan menggunakan metode (mean) rata-rata dengan nilai *sink mark* paling maksimal dan minimal, seperti yang dapat dilihat pada gambar 15 berikut :



Gambar 15. Pengukuran dengan Mikroskop *Olympus*

4. Hasil dan Analisa Penelitian

Hasil Pengukuran Nilai *Sink Mark* Paling Optimal HDPE Murni

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil nilai *sink mark* paling optimal pada material HDPE murni terdapat pada percobaan ke 2 dengan nilai rata-rata *sink mark*, *transversal*, *near gate* dan *far gate* sebesar 0,045 mm, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah.

Tabel 7. Nilai *Sink mark* optimum HDPE murni

No	Nilai <i>Sink mark</i> optimum HDPE			
	<i>transver</i>	<i>Near</i>	<i>fa</i>	rata-rata
2	0,036	0,04	0,06	0,045

Hasil Pengukuran Nilai *Sink Mark* Paling Optimal HDPE 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*, *transversal*, *near gate* dan *far gate* sebesar 0,06 mm, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah.

Tabel 8. Nilai *sink mark* optimum HDPE daur ulang

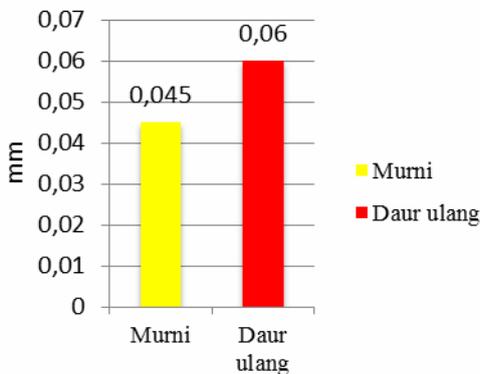
No	Nilai <i>Sink mark</i> optimum HDPE daur			
	<i>transver</i>	<i>Near</i>	<i>fa</i>	rata-
5	0,06	0,05	0,08	0,06

Perbandingan Hasil Pengukuran Nilai *Sink Mark* Paling Optimal HDPE Murni dengan Daur Ulang

Berdasarkan dari hasil pengukuran dan perhitungan nilai *sink mark* material HDPE murni dan nilai *sink mark* pada material HDPE daur ulang dengan menggunakan variasi parameter yang sama didapatkan hasil penelitian yang berbeda, yaitu nilai *sink mark* material plastik HDPE murni sebesar 0,045 mm sedangkan material plastik daur ulang

sebesar 0,06 mm. Hal tersebut dikarenakan *sink mark* pada material daur ulang lebih besar yang disebabkan oleh kurangnya *holding pressure* pada saat pembuatan produk plastik yang mengakibatkan terdapat lekukan/cekungan yang berada di permukaan produk lebih besar dibandingkan dengan material murni dan menyebabkan derajat penyusutan (*shrinkage*) lebih besar, cacat *shrinkage* berbanding lurus dengan *sink mark*, sehingga material HDPE daur ulang tidak bisa menyamai kualitas HDPE murni, dan dapat disimpulkan bahwa perbandingan analisis cacat *sink mark* pada material plastik HDPE murni dan daur ulang dengan menggunakan variasi parameter yang sama didapatkan data hasil pengukuran yang berbeda.

Perbandingan nilai *sink mark* optimum plastik HDPE murni dan daur ulang dapat dilihat pada Gambar 16 dibawah.



Gambar 16. Grafik perbandingan

Analisis Parameter yang Paling Optimal HDPE Murni

Variasi parameter proses yang paling optimal pada material HDPE murni terdapat pada percobaan ke 2 dikarenakan dengan melakukan pengukuran dari semua produk pada setiap percobaan didapatkan nilai *sink mark* paling optimal terdapat pada percobaan ke 2 dan dengan variasi parameter proses DOE (*design of experiment*) didapatkan kombinasi variasi parameter yang paling tepat untuk membuat produk plastik yaitu spesimen *multipurpose* dengan variasi parameter seperti pada Tabel 9 sebagai berikut :

Tabel 9. Parameter paling optimal murni

Faktor	Level parameter proses			
	A	B	C	D
Percobaan ke	Melting temperature (°C)	Injection pressure (bar)	Holding pressure (bar)	Cooling time (detik)
2	160	133	90	23

Analisis Parameter yang Paling Optimal HDPE Daur Ulang

Variasi parameter proses yang paling optimal

pada material HDPE daur ulang terdapat pada percobaan ke 5 dikarenakan dari variasi parameter proses DOE (*design of experiment*) didapatkan kombinasi variasi parameter yang paling tepat untuk membuat produk plastik yaitu spesimen *multipurpose* dengan variasi parameter seperti pada Tabel 10 sebagai berikut :

Tabel 10 Parameter paling optimal daur ulang

Faktor	Level parameter proses			
	A	B	C	D
Percobaan ke	Melting temperature (°C)	Injection pressure (bar)	Holding pressure (bar)	Cooling time (detik)
5	165	133	95	20

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan nilai *sink mark* material HDPE murni dan nilai *sink mark* pada material HDPE daur ulang dengan menggunakan variasi parameter yang sama didapatkan hasil penelitian yang berbeda, yaitu nilai *sink mark* material plastik HDPE murni sebesar 0,045 mm sedangkan material plastik daur ulang sebesar 0,06 mm. *Sink mark* pada material daur ulang lebih besar dikarenakan terdapat lekukan/cekungan yang berada di permukaan produk lebih besar dibandingkan dengan material murni dan mengakibatkan derajat penyusutan (*shrinkage*) lebih besar, cacat *shrinkage* berbanding lurus dengan *sink mark*, dikarenakan apabila semakin besar cacat *sink mark* pada produk mengakibatkan semakin besar pula (derajat/persentase penyusutan) cacat *shrinkage* yang terjadi, sehingga dapat disimpulkan material HDPE daur ulang tidak bisa menyamai kualitas HDPE murni.

Daftar Pustaka

- Cayadi, D. 2010. *Analisis parameter operasi pada proses plastik injection molding untuk pengendalian cacat produk*. Jurnal Sintek 8. 2, 8 - 16.
- Hakim, A. R. 2015. *Pengaruh Suhu, Tekanan dan Waktu Pendinginan Terhadap Cacat Warpage Produk Berbahan Plastik*.
- Hartono, M. 2012. *Meningkatkan mutu produk plastik dengan metode taguchi*. Jurnal Teknik Industri, 13, 1. 93 - 100.
- Kale, Harshal, Umesh, Hambire. 2013. *Optimization of Injection Molding Process Parameter for Reducing Shrinkage by Using High Density Polyethylene (HDPE) Material*. International Journal of Science and Research (IJSR) 4, 5. 722 - 725.
- Naik, L, Ravi, Gaviyappa, Utthanoor, Shivaraj, and 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.

Soejito, I. 2009. *Desain Experimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta : Garaha Ilmu. 19 – 22.

Sugondo, A, Willyanto, dan Hardianto. 2007. *Minimalisasi Cacat dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk pada Proses Injection Molding dengan Menggunakan Simulasi*. Jurnal Teknosim.

Pujari, G, Naik. 2016. *Optimization Of Parameters & Minimization Of Defect By Applying Taguchi & Moldflow Method For Injection Molding Component*. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 03, 01. 95 – 101.

Wahjudi, D, dan Gan. 2001. *Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi*. Jurnal Teknik Mesin 3, 1. 24-28

Arnan, D, Kumar, Nasihun, Dharmendra. 2015. *Practical Application of Taguchi Method for Optimization of Process Parameter in Injection Molding Machine for PP Material*. 02, 04. 264 – 268.