

## Minimalisasi Cacat Produk Dengan Optimasi Mekanikal Terhadap Kualitas Produk Pada Proses *Plastic Injection Molding*

Sobron Lubis, Erwin Siahaan, Angga.P.Manggala.  
Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara  
Jl.Letjend S.Parman No.1 Jakarta 11440  
HP:081260980290  
E-mail : Sobron\_lbs@yahoo.com

### Abstrak

Proses injection molding merupakan proses pembentukan material plastik dengan menggunakan mesin cetak injeksi. Dewasa ini bahan-bahan plastik banyak digunakan baik itu digunakan secara umum dalam kehidupan masyarakat maupun untuk produk-produk khusus seperti dalam bidang Teknik – Aerospace bahkan Kedokteran. Dalam proses pembentukan tersebut masih sering terjadi kecacatan pada produk yang dihasilkan, hal ini tentunya akan menurunkan kualitas produk tersebut. Pihak industri selalu berupaya untuk mengurangi kecacatan produk tersebut guna meningkatkan kualitas produknya. Optimasi merupakan suatu tahap yang penting dan perlu dalam meminimalisasi suatu cacat produk pada suatu proses. Sehingga optimasi dapat diartikan sebagai suatu usaha untuk menentukan parameter dan toleransi yang terbaik dari produk atau proses tersebut. Dewasa ini berbagai upaya terus dilakukan oleh industri untuk meningkatkan produktivitas dari produk tersebut. Salah satu upaya tersebut ialah dengan cara mengoptimasikan produktivitas. Dalam proses injeksi molding optimasi dilakukan pada system mekanikalnya, oleh karena itu maka perlu dilakukan kajian Optimasi Mekanikal Untuk meminimalisasi cacat produk pada proses plastik injection molding tersebut. Metode yang dilakukan dalam pengolahan data menggunakan fishbone diagram untuk mengetahui penyebab-penyebab permasalahan yang mengakibatkan munculnya cacat produk kemudian dilakukan optimasi setelah mengetahui akar penyebab permasalahannya dan meminimalisasi kecacatan yang terjadi. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa jenis cacat yang paling banyak terjadi pada produk adalah cacat black spot dan weld line. Total produk yang berkualitas baik 71 % setelah dilakukan langkah optimasi. Melakukan pembersihan komponen-komponen mesin yang terkontaminasi sangat berpengaruh untuk meminimalisasi cacat produk yang terjadi.

Kata kunci : optimasi, cacat, parameter, black spot, weld line

### 1.Pendahuluan,

Plastik merupakan benda umum yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari antara lain sebagai pembungkus makanan, botol minuman, pembungkus sabun, perhiasan dari plastik, mainan, bahkan peralatan rumah tangga juga ada yang terbuat dari plastik. Karena itu plastik merupakan benda yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan kita.

Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, kemudian menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun 2005. Saat ini penggunaan material plastik di Negara-negara Eropa barat mencapai 60kg/orang/tahun, di Amerika Serikat mencapai 80kg/orang/tahun, sementara di India hanya 2kg/orang/tahun.

Dengan semakin berkembangnya teknologi, penggunaan mesin plastik untuk menghasilkan produk yang baik sesuai permintaan ataupun kebutuhan konsumen sangat penting. Penggunaan mesin plastik ini memerlukan perawatan yang intensif sehingga dapat menghasilkan produk yang bermutu dan berkualitas baik serta memberi kepuasan kepada konsumen, adapun salah satu teknologi tersebut ialah *Injection Molding*. Meskipun demikian kecenderungan terjadi cacat produk pun tidak dapat dihindari.

Cacat produk merupakan faktor yang harus diminimalisasi pada proses injection molding dalam suatu produk, dimana tinggi-rendahnya persentase dari cacat produk ini tergantung dari pengaturan pada parameter-parameter mekanik. Berdasarkan hal tersebut di atas maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan pengaturan parameter mekanik yang optimal, sehingga diperlukan improvisasi-improvisasi pada parameter itu sendiri tanpa merubah kualitas

produk untuk mengoptimalkan proses produksi yang ada pada proses *plastic injection molding* dimana diharapkan dapat meminimalisasi *reject rate/cacat* produk.

**2.Mesin Injection Molding**

Mesin cetak injeksi (*injection molding*) mempunyai fungsi untuk mengubah bahan plastik berbentuk butiran menjadi suatu benda plastik yang mempunyai bentuk, dengan mengalami berbagai proses dan keunggulannya yaitu:

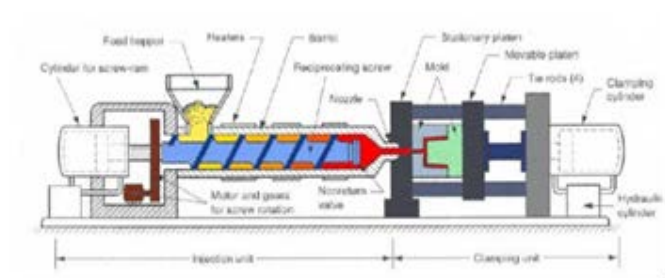
- a. Proses yang terjadi berlangsung relatif cepat.
- b. Produk dapat dihasilkan dalam jumlah besar.
- c. Berbagai bentuk produk yang rumit dapat dihasilkan dengan proses ini.

Adapun kualitas dari suatu produk akan sangat tergantung dari kondisi mesin itu sendiri dimana kondisi mesin akan baik bila semua komponen atau bagian-bagian mesin dapat bekerja dengan baik. Oleh karena itu diperlukan adanya perawatan dan perbaikan dari komponen-komponen mesin itu sendiri.

Mesin *injection molding* secara garis besar, terdiri dari berbagai komponen utama. Komponen tersebut ialah:

- a. *Plasticizing Unit*
- b. *Injection Unit*
- c. *Clamping Unit*
- d. *Mold Unit*
- e. *Power Supply dan Control Unit.*

Detail mesin *plastic injection molding* ditunjukkan pada gambar.1.



Gambar.1. Mesin Plastic Injection Molding

**Plasticizing Unit**

Unit ini dipergunakan untuk mencairkan sejumlah resin yang berbentuk butiran padat menjadi butiran cair. Resin yang masih berbentuk padat tersebut masuk melalui *hopper* tanpa dibantu dengan peralatan lain (dengan sistem gravitasi). Sehingga resin yang masuk ke dalam silinder *plasticizing* tersebut akan dipanaskan oleh *heater band* yang terbagi atas beberapa area pemanasan.

Selain itu resin tersebut juga akan mendapatkan pemanasan akibat gesekan dari *screw* di dalam silinder.

**Injection Unit**

Injection unit merupakan unit yang berfungsi untuk melelehkan plastik dengan suhu yang disesuaikan dengan material plastik hingga mendorong cairan ke dalam *cavity* dengan waktu, tekanan, temperatur, dan kepekatan tertentu.

Bagian-bagian injection unit dan fungsinya:

**1. Motor dan Transmission Gear Unit**

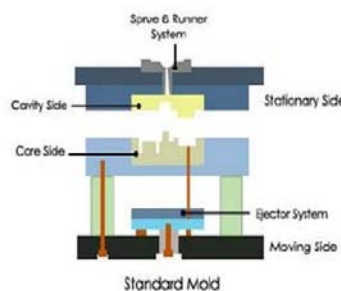
Motor dan *transmission gear unit* berfungsi untuk menggerakkan *screw* pada *barrel* dengan *unit gear* untuk memperkecil pembebanan.

**Clamping Unit** *Clamping unit* berfungsi membuka dan menutup *mold* dan menjaganya dengan memberikan tekanan penahan (*clamping pressure*) terhadap *mold* agar material yang diinjeksikan pada *mold* tidak meresap keluar pada saat proses berlangsung.

**Mold Unit**

*Molding unit* adalah bagian yang berfungsi untuk membentuk benda yang akan dicetak.

Mold unit ditunjukkan pada gambar.2.



Gambar 2. Mold Standard

**2.1 Langkah-Langkah Proses Injection Molding**

Secara garis besar, proses pada *injection molding* terbagi atas beberapa langkah proses, yaitu:

Proses Pengeringan atau proses *drying* merupakan proses awal dari proses *injection molding*. Maksud dari proses pengeringan ialah untuk menghilangkan kadar air dalam kandungan gas yang terdapat pada resin. Waktu yang dibutuhkan selama proses *drying* atau pengeringan ialah 4 jam dengan menggunakan *drying* temperatur sebesar 120 derajat *celcius*.

Proses *Melting* adalah suatu proses pencairan material plastik berupa resin, yang berasal dari *hopper dryer* dan di alirkan kedalam silinder *plasticizing* melalui *auto loader*. Resin selain menerima pemanasan dari *band heater*, juga akan

mengalami pemanasan akibat dari adanya gesekan yang timbul antara resin dengan *screw* yang berputar secara rotasi sehingga menimbulkan pemanasan.

Proses *Filling* adalah suatu proses pengisian resin yang telah berbentuk cair ke dalam suatu rongga cetakan. Proses pengisian resin cair tersebut disemprotkan melalui lubang *nozzle* dengan menggunakan tekanan tertentu yang sering disebut dengan *injection pressure* dan juga dengan menggunakan kecepatan injeksi yang disebut *injection speed*. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk proses *filling* ke dalam cetakan disebut *injection time*.

Proses *Packing* Akibat dari *flowing process* atau proses pengaliran yang tidak cukup untuk menginjeksikan atau menyemprotkan resin cair ke kontak yang lebih dekat atau ke celah-celah ujung pada rongga cetakan, sehingga di dalam rongga cetakan tersebut masih terdapat gap atau celah. Oleh karena itu untuk menekan gap atau celah tersebut digunakan proses *packing*, yaitu dengan cara memberikan tekanan ke dalam rongga cetakan dengan jarak yang lebih dekat, sehingga resin cair itu dapat memenuhi seluruh sudut-sudut atau celah dari rongga cetakan tersebut.

Proses  *Holding*  merupakan proses lanjutan dari proses *packing*. Setelah rongga cetakan terisi dengan resin cair, maka resin cair tersebut akan mengalami proses penyusutan (*shrinkage*) akibat dari perbedaan temperatur yang terlampau besar antara temperatur resin cair itu sendiri dengan temperatur cetakan atau  *mold temperature* .

Proses *Cooling* Setelah bahan plastik yang panas masuk ke dalam cetakan, cetakan harus didinginkan dengan cepat. Pendinginan tersebut untuk mempertahankan bentuk *part* yang dicetak sesuai dengan yang diinginkan ketika dipindahkan dari cetakan ( *mold* ). Zat antara pendinginan cetakan yang khas adalah udara, air dan suatu campuran *glikol water/ethylene*.

Proses *Eject* Setelah cetakan terbuka, maka produk atau *part* yang dihasilkan siap untuk dikeluarkan dari rongga cetakan (proses ini berlangsung secara terus menerus).

**3. Bahan Polymer**

*Polymer* berasal dari bahasa latin *poly* (banyak) dan *meros* (bagian), dimana unsur ini terdiri dari banyak (biasanya ratusan) *repeating unit*, *block building*, yang dinamakan *mer*, menunjukkan unit

*repetitive* yang kecil, sama dengan istilah *unit cell* yang digunakan dalam sambungan dengan struktur kristal dari logam. *Polymer long-chain molecules*, disebut juga sebagai makromolekul atau molekul besar, yang terbentuk dengan cara polimerisasi, yaitu dengan *linking* dan *cross linking monomer* yang berbeda. Kebanyakan *monomer* adalah material organik, dimana atom karbon bergabung dalam ikatan kovalen (*electron-sharing*) dengan atom lain, seperti *hydrogen, oxygen, nitrogen, fluorine, chlorine, silicon*, dan *sulfur*. Molekul *ethylene* adalah *monomer* sederhana yang terdiri dari karbon dan atom *hydrogen*. Dengan penambahan *additive* tertentu maka *polymer* akan menjadi plastik. Plastik sendiri dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. Dalam penelitian ini bahan yang akan digunakan adalah *polypropylene* (PP), dimana bahan tersebut termasuk dalam kelompok *thermoplastic*.

**4.Kecepatan Aliran**

Kecepatan aliran didalam runner dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = \frac{V}{t \times A}$$

W = kecepatan aliran (m/s)

V = volume Injeksi m<sup>3</sup>

t = waktu injeksi, detik

A = luas penampang, m<sup>2</sup>

Waktu tinggal material di dalam barrel (*residence time*)

$$Rt = \left\{ \frac{\text{Shot size}}{(w1 \times n + w2) \times 1,06} \right\} \times \text{cycle time}$$

Prosentase Shot Used

$$PSU = \left\{ \frac{(w1 \times n + w2) \times 1,06}{\text{Shot size}} \right\} \times 100 \%$$

W1=berat part, gr

W2=berat runner, gr

n = jumlah cavity

γ= densitas material, gr/ml

**5. Metodologi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Industry manufactur PT X yang berlokasi di daerah Cikarang Bekasi, Jawa Barat-Indonesia.

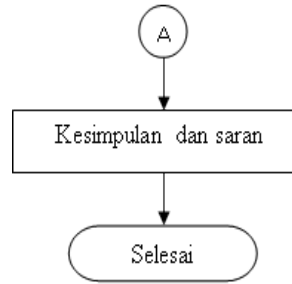
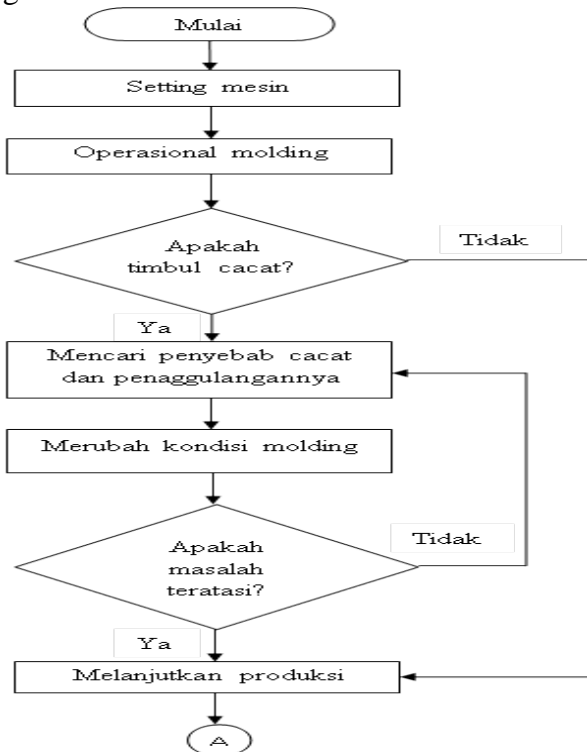
**5.1 Material**

Pada percobaan ini bahan yang digunakan adalah bahan baku ABS dengan regrand, serta menggunakan master batch sebagai pewarna, untuk mendapatkan part yang ingin diproduksi. Adapun part itu sendiri adalah kaki boneka, dimana komposisinya ialah : 70 % ABS + 27 % Regrind + 3 % Master Batch.



Gambar.3. Material ABS

Diagram alir eksperimen ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar.4. Diagram Alir Langkah-Langkah Eksperimen.

Analisis data dilakukan dengan cara mengambil data sampel cacat produk yang terjadi sebanyak 6 (enam) kali. Setelah itu, maka dipilihlah cacat yang paling sering muncul kemudian data yang ada dirumuskan ke dalam fishbone diagram untuk mengklasifikasikan parameter-parameter penyebab terjadinya cacat produk.

**4.2. Peralatan yang digunakan.**

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah mesin injeksi molding dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kapasitas 80 ton
- Tekanan injeksi 90 kgf
- Ejection force 26 kN
- Ejector stroke 70 mm
- Utilized oil quantity 180 liter
- Motor for pump 15 kW
- Machine weight 33 kN

**5. Hasil dan Pembahasan**

Dari hasil laporan yang diperoleh dari mesin injection molding diketahui prosentase reject *part leg meadow grey* ditunjukkan pada tabel.1.

Table 1. Prosentase Reject

No	Jenis reject	Frekuensi reject (Pcs)	Prod/minggu (Pcs)	Sample Size (Pcs)	PPM (%)
1	Weld line	114	31,104	315	36,1
2	Black spot	135			42,8
3	Buble	10			3,1
4	Defor m	12			3,8
5	Short Mold	36			11,4
6	Flash	3			0,9
	Total	310			

Perhitungan nilai PPM diperoleh sebagai berikut :

$$\frac{114}{315} = \frac{1140000}{3150000} = 0,361 \times 100\% = 36,1\%$$

Menurut standar ketetapan dari Industri manufactur PT.X, apabila Lot Size berkisar antara 10001-35000 maka sample size = 315 sample

Total Produksi/minggu = 31.104 Pcs ;  
sampel => 315

Jadi;

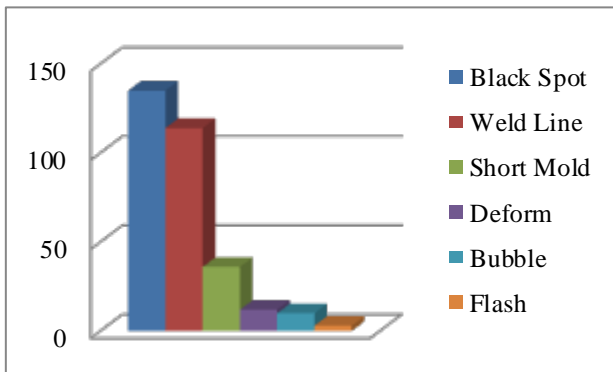
Sample size =315 => Good = (5/315) x 100% = 1,5%

Sample Size = 315=>N.G = 98,1%

Adapun N.G (Not Good) terbagi atas:

- a.36,1% Weld Line
- b.42,8% Black Spot
- c.3,1% Bubble
- d.3,8% Deform
- e.11,4% Short Mold
- f.0,9% Flash

Jumlah cacat produk dapat dilihat pada gambar.5.



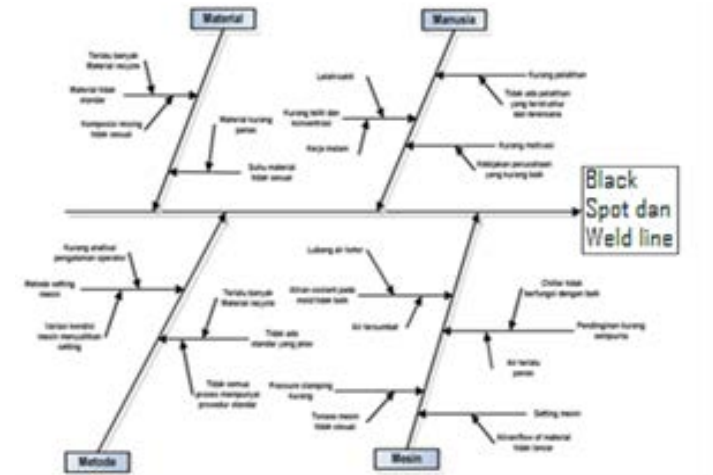
Gambar.5 Grafik Jumlah Cacat Produk

Berdasarkan tabel prosentase cacat produk diatas dapat diketahui bahwa jenis cacat yang paling banyak terjadi adalah *Black Spot* dan *Weld Line* dengan prosentase 42,8 % dan 36,1 %. Adapun hasil dari perhitungan prosentase PPM cacat sebesar 98,1%. Oleh karena itu, masalah *Black Spot* dan *Weld Line* pada produk plastik merupakan masalah utama dan harus diprioritaskan.

Untuk menganalisa mengapa terjadi cacat *Black Spot* dan *Weld Line* sebagai cacat yang paling sering muncul, maka dilakukan penusuran kemungkinan penyebab timbulnya cacat. Karena penyebab cacat itu bervariasi. Dengan menggunakan diagram tulang ikan, faktor-faktor penyebab terjadinya cacat secara garis besar dikelompokkan ke dalam berbagai katagori yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*) dan metode (*method*).

Diagram tulang ikan merupakan suatu

pendekatan terstruktur untuk menyingkap potensi sebab terhadap suatu efek.diagram fishbone dapat dilihat pada gambar.6.



Gambar .6 Fishbone Diagram

Dari hasil analisa dan observasi terdapat beberapa akar penyebab permasalahan yang menjadi sumber terjadinya cacat *Black Spot* dan *Weld Line* pada proses injection. Akar penyebab yang paling mendominasi yaitu :

- Kurangnya perawatan rutin dari cetakan/mold sehingga lubang air tempat mengalirnya aliran *coolant* dan *mold vent* menjadi tersumbat dan kotor.
- Temperatur *barrel* terlalu tinggi, sehingga proses pemanasan material tidak optimal.
- Aliran /*flow of material* tidak optimal
- Tidak adanya pelatihan yang terstruktur dan terencana dengan baik, akibat proses produksi khususnya setting mesin kurang dapat dilakukan dengan baik.
- Terlalu banyak material *recycle*
- Screw* terkontaminasi
- Proses pencampuran material yang kurang baik di dalam *barrel*.

Maka hal perlu diamati adalah kecepatan aliran material ABS didalam *runner*, berdasarkan perhitungan dan data yang diperoleh dari proses injeksi maka dapat diketahui kondisi kecepatan aliran material ABS sebagai berikut:

Tabel.2 Kondisi Kecepatan Aliran

Kondisi	t (s)	W (m/s)
1	16	$2,511 \times 10^{-1}$
2	17	$2,363 \times 10^{-1}$
3	18	$2,232 \times 10^{-1}$
4	19	$2,114 \times 10^{-1}$
5	20	$2,009 \times 10^{-1}$

Berdasarkan perhitungan kecepatan aliran dengan melakukan percobaan sebanyak lima kali, dimana dilakukan variasi waktu, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi injection time 18 detik dapat menghasilkan kecepatan aliran sebesar  $2,323 \times 10^{-1}$  m/s dikatakan paling optimum dimana munculnya part dengan kualitas yang baik / berkurangnya cacat produk.

Untuk waktu tinggal material ABS di dalam Barrel dibagi atas tiga shot size yang terdiri dari shot size 147, 2 mm, 149,6 mm, dan 150,1 mm. dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut :

Tabel.3 Percobaan Waktu Tinggal Material di dalam Barrel (shot size = 147,2 mm)

No.	Shot size (mm)	Cycle time (s)	Residence time (s)
1	147,2	40,9	<b>80,99</b>
2	147,2	42,2	83,56
3	147,2	46,7	92,47

Berdasarkan percobaan hasil perhitungan di atas maka dapat di simpulkan bahwa waktu tinggal material di dalam barrel yang diizinkan adalah 80,99 detik.

Tabel.4 Percobaan Waktu Tinggal Material di dalam Barrel (shot size = 149,6 mm)

No.	Shot size (mm)	Cycle time (s)	Residence time (s)
1	149,6	40,9	82,31
2	149,6	42,2	84,92
3	149,6	46,7	<b>93,98</b>

Berdasarkan percobaan hasil perhitungan di atas maka dapat di simpulkan bahwa waktu tinggal material di dalam barrel yang diizinkan adalah 93,98 detik.

Tabel.5 Percobaan Waktu Tinggal Material di dalam Barrel (shot size = 150,1 mm)

No.	Shot size (mm)	Cycle time (s)	Residence time (s)
1	150,1	40,9	82,58
2	150,1	42,2	<b>85,21</b>
3	150,1	46,7	94,29

Berdasarkan percobaan hasil perhitungan di atas maka dapat di simpulkan bahwa waktu tinggal material di dalam barrel yang diizinkan adalah 85,21 detik.

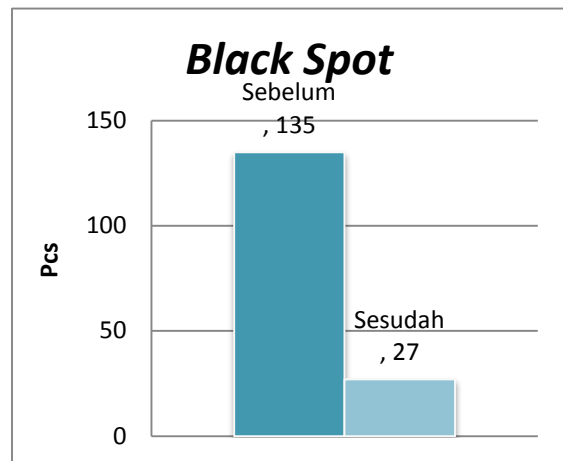
### Overhaul Injection Molding Machine

Pada penelitian ini, dilakukan pemeriksaan dan perbaikan secara keseluruhan (*overhaul*) pada mesin injection molding, khususnya injection unit dimana dilakukan langkah optimasi untuk meminimalisasi cacat produk yang muncul khususnya *Black Spot* dan *Weld Line*.

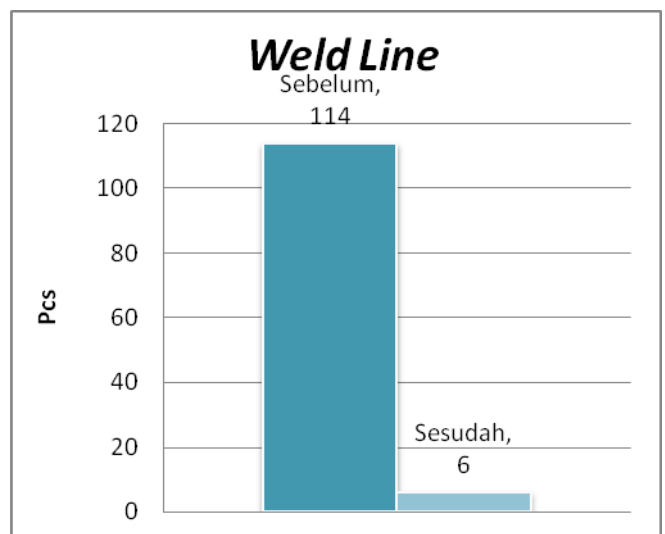
Adapun bagian yang di *overhaul* yaitu:

- a. *End cup*, Permasalahan yang sering terjadi pada bagian *end cup* yakni terjadinya solidifikasi dari material, sehingga perlu dilakukan pembersihan.
- b. *Chuckring*,
- c. *Screw* dan *Barrel*,
- d. *Cylinder Cariage*,
- e. *Sprue*.

Kondisi setiap komponen mesin berpengaruh terhadap cacat yang terjadi. Setelah dilakukan *overhaul* pada mesin *Injection Moulding* terjadi penurunan cacat sebagaimana ditunjukkan pada gambar . 7.



Gambar.7. Grafik Perbandingan Cacat *Black Spot* sebelum dan sesudah *Overhaul*.



Gambar.8. Grafik Perbandingan Cacat *Weld Line* sebelum dan sesudah *Overhaul*.

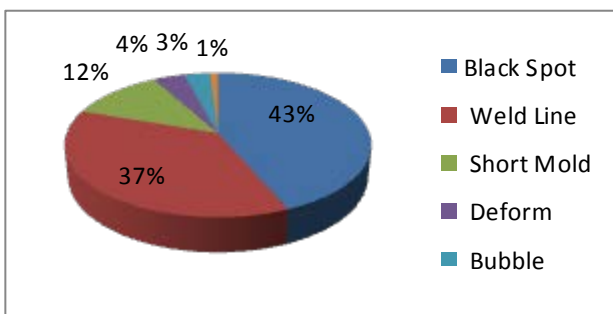
Dalam penelitian ini dilakukan proses optimasi untuk meminimalisasikan cacat produk dengan mengoptimalkan beberapa parameter - parameter, yakni :

**A.Perbandingan Back Pressure dengan SRN pada proses charging**

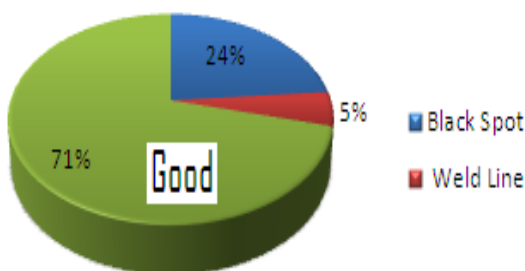
Dalam proses pengoptimalan parameter *back pressure* dan SRN dilakukan dengan merubah prosentase yang diberikan pada proses *charging injection Moulding*. adapun komposisi prosentase yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1.BP = 55% , SRN = 55% maka kecenderungan terjadinya *overheat*
- 2.BP = 55% , SRN = 30% maka yang terjadi adalah material di dalam *plasticizing unit* tidak tercampur dengan sempurna.
- 3.BP = 30% , SRN = 30% maka yang terjadi adalah proses *charging* tidak optimal karena memakan waktu yang lama.
- 4.BP = 30% , SRN = 55% maka ini merupakan komposisi yang paling baik, karena kondisi proses *charging* dan pencampuran material pun menjadi optimal, sehingga menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

Maka setelah dilakukan proses optimasi mekanikal pada *injection molding* dapat dilihat perbandingan cacat produk sebelum dan sesudah optimasi sebagaimana disampaikan pada gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Diagram Cacat Sebelum Optimasi



Gambar 10. Diagram Cacat Setelah Optimasi

**6.Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

Jenis cacat yang paling banyak muncul adalah cacat Black spot dan Weld line.

Total produk yang berkualitas baik sebesar 71 % setelah dilakukan langkah optimasi.

Kecepatan aliran pada runner sebesar  $2,32 \times 10^{-1}$  m/s dikatakan paling optimum, dimana munculnya part dengan kualitas yang baik/berkurangnya cacat produk pada saat kondisi tersebut.

Waktu tinggal material didalam barrel mencapai kondisi optimum pada saat :

- Shot size 147,2 mm dengan *cycle time* 40,9 detik
- Shot size 149,6 mm dengan *cycle time* 46,7 detik
- Shot size 150,1 mm dengan *cycle time* 42,2 detik.

*Percentage of shot used* mencapai kondisi optimum ketika >50 %

Pembersihan komponen-komponen mesin terkontaminasi sangat berpengaruh untuk meminimalisasi cacat produk yang terjadi.

BP = 30 % , SRN = 55 % maka ini merupakan komposisi yang paling baik, karena kondisi proses *charging* dan pencampuran materialpun menjadi optimal sehingga menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

**Referensi**

<http://Moldingzone.blogspot.com/2011/02/teori-dasar-plastik.html>.diakses 14 desember 2011.

<http://mould-technology.blogspot.com/2009/05/direct-circular-system-and.html>. diakses 17 oktober 2011

[www.custompartner.com/wu/Injectionmolding](http://www.custompartner.com/wu/Injectionmolding). Diakses 17 oktober 2011

Toshiba manual book. Injection molding specification

Kalpakjian, Serope dan Steven R.Schmid. 2003. Manufacturing Process for Engineering Materials. Edisi keempat.Chicago, Pearson Education Inc.

Lindbeck John R.1990. Manufacturing Teknologi (New Jersey Prentice Hall International)

Moerbani. J., 1999. Plastic Moulding. Jurnal Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI). Surabaya.

<http://injectionmoldingonline.com/molding01/commonlyused-calculatin.spx>. diakses 11 januari 2012.