

OPTIMASI DESAIN RUNNER DAN COOLING PRODUK TOP T-DOST UNTUK MENGURANGI CACAT SHORT SHOT DAN SHRINKAGE DENGAN PENDEKATAN DOE METODE TAGUCHI

Bayu Anindita¹, Cahyo Budiyanoro², Aris Widyo Nugroho³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

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

Telp: (0274) 387656

E-mail: bayuanindita70@gmail.com

Abstract

Optimasi sebuah desain cetakan merupakan proses untuk mendapatkan hasil yang ideal dari suatu produk. Sering terjadi kegagalan produk yang dialami para industri plastik akibat cacat *short shot* dan *shrinkage* yang menyebabkan biaya produksi meningkat. Kedua cacat tersebut terjadi akibat proses pendinginan yang kurang optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain *cooling system* dan *runner system* optimal pada produk instalasi listrik *top T dost*. Software Autodesk Moldflow Insight 2016 digunakan untuk mensimulasikan desain *cooling* dan *runner system* untuk memprediksi respon *short shot* dan *shrinkage* dan mengoptimalkan kualitas produk. Proses pertama yaitu dengan mendesain beberapa *layout cooling* dan *runner system*, kemudian mensimulasikan desain tersebut ke dalam Moldflow untuk mengetahui desain terbaik dalam mereduksi cacat. Proses kedua adalah menganalisa parameter proses optimal menggunakan metode Taguchi. Proses terakhir adalah dengan melakukan eksperimen konfirmasi untuk mengetahui parameter proses yang dinyatakan optimal oleh analisa S/N Ratio benar-benar bisa mereduksi *short shot* dan *shrinkage* pada produk *top T dost*. Optimasi desain *cooling* dan *runner* menggunakan metode Taguchi terbukti dapat meminimalisir terjadinya *short shot* dan *shrinkage* pada produk *top T dost* dengan menggunakan parameter proses *injection pressure* 100 MPa, *mold temperature* 30 °C, *melt temperature* 200 °C, *injection time* 0,6 detik respon *shrinkage* menjadi 11,13 % . Sedangkan parameter proses optimal untuk mereduksi *short shot* adalah *injection pressure* 100 MPa, *mold temperature* 60 °C, *melt temperature* 200 °C, *holding time* 4 detik menghasilkan nilai *cavity weight* 3,519 gram, hasil optimasi ini lebih baik dari *initial condition*.

Kata kunci: *Short Shot, Shrinkage, Cooling, Runner, Moldflow Insight*

PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya teknologi dalam dunia plastik, proses injeksi merupakan salah satu proses utama dalam pembuatan produk plastik. Pada industri plastik konvensional masih sering terjadi cacat produk seperti *short shot*, *weld line*, *flash*, *shrinkage* ataupun cacat yang terjadi pada bagian tertentu di karenakan desain cetakan yang kurang optimal dan parameter proses injeksi yang di gunakan. Langkah perbaikan yang sering dilakukan industri plastik konvensional adalah dengan percobaan secara langsung pada mesin menggunakan metode dan parameter proses injeksi tanpa dasar dan prosedur percobaan yang benar, sehingga mengakibatkan biaya produksi meningkat karena waktu dan material banyak terbuang menjadikan kualitas produk menurun karena banyak produk yang rusak. Proses injeksi *molding* ada tiga tahapan yang signifikan dalam menentukan kualitas produk diantaranya adalah tahap pengisian, tahap pendinginan, dan tahap pengeluaran. Diantara tahapan diatas, tahapan pendinginan sangat penting dalam menentukan kualitas produk, terutama mempengaruhi produktivitas. Biasanya 70% - 80 % dari siklus cetakan didominasi oleh tahap pendinginan. Sebuah desain *cooling system* yang sesuai dapat mengurangi waktu pendinginan dan meningkatkan produk cetakan injeksi. Disisi lain, sistem pendinginan yang efisien yang bisa mendistribusikan temperatur secara seragam dapat meminimalkan terjadinya cacat yang mempengaruhi kualitas cetakan seperti

hot spots, sink marks, differential shrinkage, warpage (Wang & Young, 2005).

Pada sebagian industri plastik konvensional dalam pemilihan desain cetakan masih berdasarkan pengalaman pemilik industri, metode yang sederhana dan praktis diharapkan dapat meningkatkan hasil produksi, namun pengetahuan tentang efisiensi pendinginan perlu diperhatikan untuk menjamin desain yang optimal dan nilai parameter yang sesuai. Karena itu dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah simulasi *Moldflow* untuk mengatasi cacat pada produk *Top T-dost* untuk memberikan penyajian berupa situasi suatu proses yang nyata untuk meningkatkan kualitas produk *Top T-dost*. Optimasi ini meliputi perancangan saluran *cooling system* dan *runner system* yang sesuai dengan desain produk *Top T-dost* menggunakan perhitungan untuk menentukan ukuran diameter *cooling sytem* dan *runner system* untuk mengurangi cacat *short shot* dan *shrinkage*.

METODOLOGI PENELITIAN

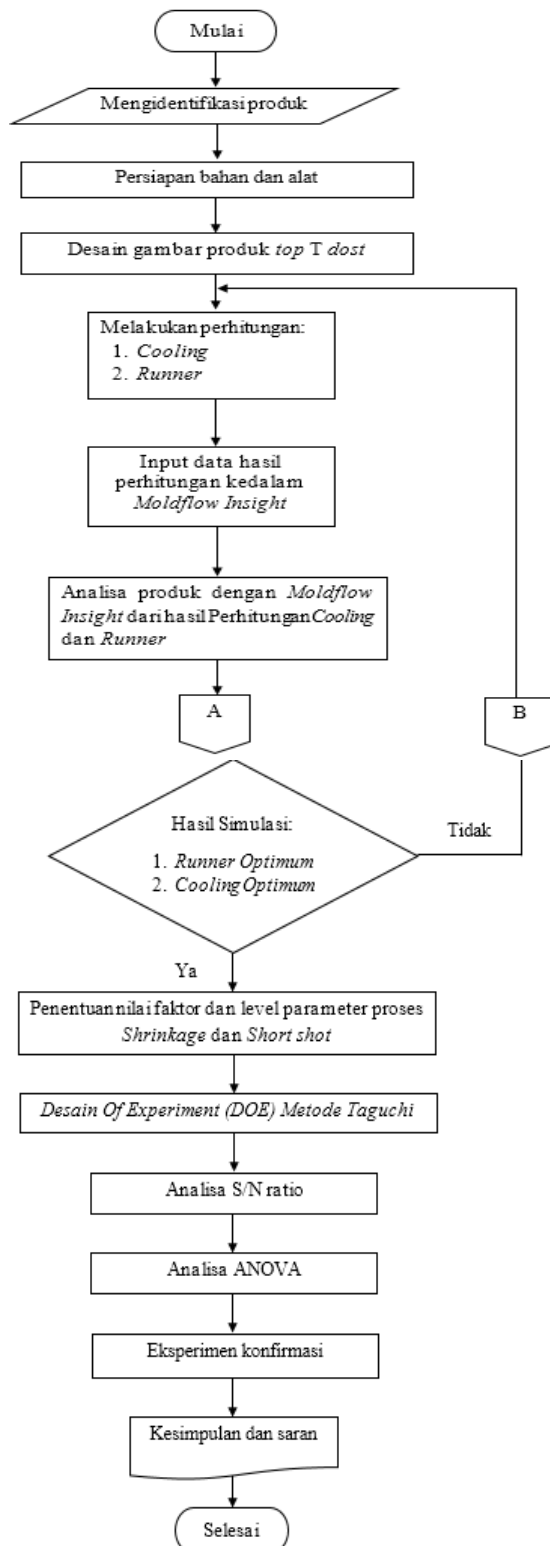
Metode penelitian terdapat beberapa tahapan dalam optimasi desain runner dan cooling produk top T dost yaitu, mendesain layout coling dan runner, melakukan analisa dalam moldflow desain terbaik, optimasi parameter proses menggunakan metode Taguchi. Meleakukan perhitungan eksperimen konfirmasi

Bahan Penelitian

Produk yang dijadikan bahan penelitian adalah *top T dost* dengan mengambil sampel cacat dari perusahaan. Pada gambar 1, menunjukkan sampel produk *top T dost*.



Gambar 1. Sampel produk cacat



Gambar 2. Diagram alir perancangan

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian optimasidesain runner dan cooling, menggunakan beberapa alat sebagai berikut:

- a. Laptop

Tabel. 1 Spesifikasi TOSHIBA

Operation System	Windows 7 Ultimate
Processor	Intel(R) Core(TM) i3-2348M
CPU	2.30Ghz
Installed Memory (RAM)	4.00 GB
System Type	64-bit Operating System

- b. Software penelitian dan simulasi produk
Software yang digunakan untuk perancangan menggunakan Autodesk Inventor Profesional 2011, Minitab 2016 dan software simulasi produk menggunakan Autodesk Moldflow Insight 2016.
- c. Jangka sorong (vernier caliper).
- d. Kalkulator.

Hasil Identifikasi Produk

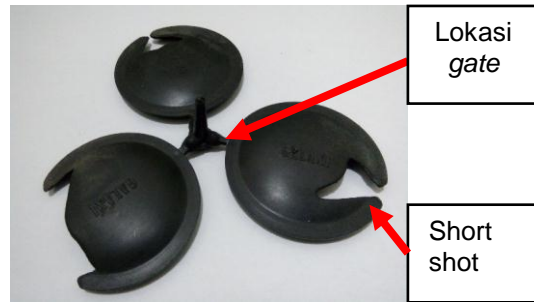
- a. Data Produk

Tabel. 2 Data Produk

Data Produk	
Nama	Top T-Dost
Warna	Hitam
Material	Polypropylene (PP) daur ulang
Diskripsi Produk	Komponen instalasi listrik
Dimensi produk	64 mm x 8 mm
Tebal produk	1 mm
Berat Produk	3,2 gram
Shrinkage	13,69 %

- b. Gate Location

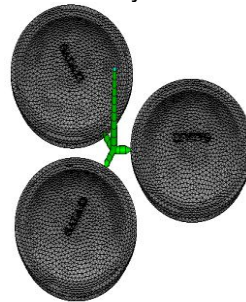
Pada gambar 3 adalah lokasi gate produk Top T-Dost. Lokasi gate pada produk Top T-Dost merupakan tipe tab gate. Dalam optimasi ini pemilihan tipe gate yang akan digunakan sama dengan yang digunakan diperusahaan yaitu tab gate sebab, biasa digunakan pada produk yang berbentuk pipih.



Gambar 3. Gate location produk top T dost

Desain runner system

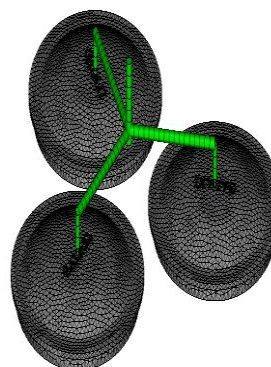
- a. Layout runner 1



- Dimensi layout sebagai berikut :
- Diameter sprue : 2 mm
 - Tinggi sprue : 38 mm
 - Diameter runner : 3 mm
 - Panjang runner : 8 mm

Gambar 4. Layout runner 1 produk top T dost

- b. Layout runner 2

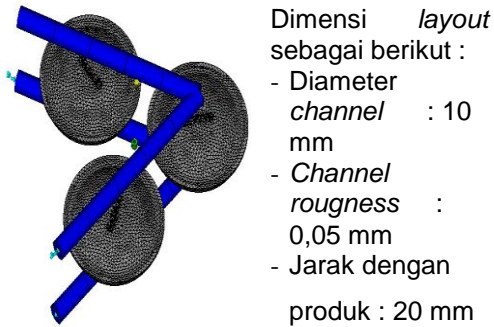


- Dimensi layout sebagai berikut :
- Diameter sprue : 3 mm
 - Tinggi sprue : 18 mm
 - Diameter runner : 3 mm
 - Panjang runner : 41 mm

Gambar 5. Layout runner 2 produk top T dost

Desain cooling system

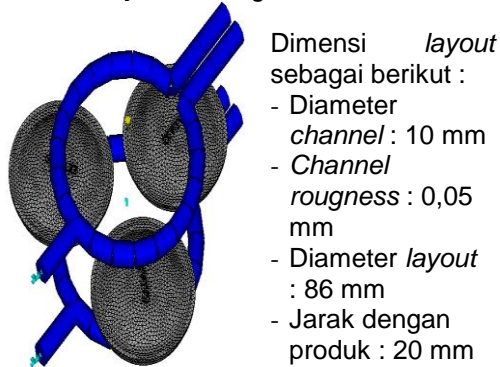
a. Layout cooling 1



Dimensi *layout* sebagai berikut :
 - Diameter *channel* : 10 mm
 - *Channel roughness* : 0,05 mm
 - Jarak dengan produk : 20 mm

Gambar 6. Layout cooling 1 produk *top T dost*

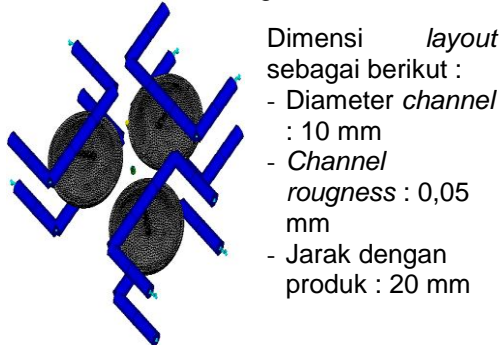
b. Layout cooling 2



Dimensi *layout* sebagai berikut :
 - Diameter *channel* : 10 mm
 - *Channel roughness* : 0,05 mm
 - Diameter *layout* : 86 mm
 - Jarak dengan produk : 20 mm

Gambar 7. Layout cooling 1 produk *top T dost*

c. Layout cooling 3



Dimensi *layout* sebagai berikut :
 - Diameter *channel* : 10 mm
 - *Channel roughness* : 0,05 mm
 - Jarak dengan produk : 20 mm

Gambar 8. Layout cooling 3 produk *top T dost*

Hasil Perbandingan Analisis Runner System Optimal Menggunakan Moldflow

Tabel 3 Data hasil analisa *fill time* dan *cavity weight*

Analisa Runner	Type Runner	
	Type 1	Type 2
Fill Time(s)	0,5724	0,5835
Cavity Weight (g)	3,753	3,701

Hasil dari perbandingan dua desain *layout runner system* di atas diketahui bahwa bentuk *runner* dan lokasi *gate* mempengaruhi hasil dari *fill time* dan *cavity weight* yang tidak begitu signifikan. Pada *layout runner 1* didapatkan nilai *fill time* 0,5724 s dan *cavity weight* 3,753 gram sedangkan pada desain *layout runner 2* nilai *fill time* 0,5835 s dan *cavity weight* 3,701 gram. Perbandingan selisih hasil analisa *fill time runner 1* sebesar 0,0111 s lebih cepat dari desain *runner 2*, perbedaan selisih pada *cavity weight runner 1* lebih berat 0,052 gram dari *runner 2*, beda selisih yang sangat kecil pada analisa *fill time* dan *cavity weight* pada desain *runner* diketahui *runner 1* yang lebih efisien sebab waktu pengisian lebih cepat dan mempunyai berat yang lebih besar, sedangkan pada desain *runner 2* waktu pengisian lebih lambat karna jarak *runner* yang lebih panjang dan berat produk lebih ringan yang bisa memungkinkan terjadinya cacat *short shot*.

Hasil Perbandingan Analis Cooling System Optimal Menggunakan Moldflow

Tabel 4 Hasil nilai perbandingan *cooling*

Analisa Cooling	Tipe Cooling		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
Circuit coolant temperature	0,25 °C	0,19 °C	0,10 °C
Circuit metal temperature	28,02 °C	27,75 °C	26,98 °C
Time to reach ejection temperature, part	4,795 s	4,750 s	4,844 s
Circuit heat removal efficiency	0,83–0,95	0,25–0,81	0,52–0,88
Deflection all effects: Deflection	0,4155 mm	0,4171 mm	0,4179 mm
Cavity weight	3,760 g	3,742 g	3,748 g
Volumetric shrinkage	13,01 %	13,01 %	16,01 %

Analisa *Circuit Coolant Temperature* menunjukkan suhu pendinginan di saluran pendingin saat proses injeksi plastik berlangsung didalam *cavity*. Selisih perbedaan suhu saluran masuk dan keluar idealnya harus kurang dari 3 °C. Jika selisih suhu saluran masuk dan saluran keluar lebih dari 3 °C akan menyebabkan medan suhu dan deformasi yang tidak rata

Analisa *circuit metal temperature* menampilkan temperatur *cooling system* tertinggi ketika proses pendinginan berlangsung. Dalam analisa *circuit metal temperature* temperatur yang direkomendasikan pada desain *cooling* adalah yang memiliki temperatur didalam *cooling* yang rendah karna untuk menjaga *fluida* pendingin tidak cepat mengalami kenaikan suhu.

Time to reach ejection temperature, part adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur ejection pada gambar. Apabila semakin cepat waktu pendinginan produk maka waktu produksi akan semakin pendek dan memberikan keuntungan pada industri.

Analisa *Circuit heat removal efficiency* adalah untuk mengetahui efisiensi penyerapan panas oleh *cooling system* pada produk.

Bagian saluran pendingin yang berwarna kuning memiliki efisiensi penyerapan panas terbaik yang diberi nilai 0,9. Sedangkan bagian berwarna biru ditandai dengan nilai 0,8 memiliki efisiensi penyerapan panas kurang baik karena *cooling* jauh dari produk. *Cooling* yang memiliki penyerapan panas yang tinggi dapat direkomendasikan.

Deflection, all effects: Deflection adalah efek defleksi akibat sirkulasi pendinginan yang muncul. Analisa ini merangkap semua efek defleksi, misalnya efek sudut, dan menunjukkan bagian dibentuk defleksi arah sumbu X, Y dan Z secara bersamaan.

Analisa *cavity weight* memberikan informasi berat produk hasil *injection* yang mana apabila berat produk semakin besar, kemungkinan terjadinya *short shot* semakin kecil. Bentuk sirkuit *cooling* mempengaruhi hasil optimal dari analisa produk, apabila desain *cooling* tepat bisa mendistribusikan temperature secara merata. Hasil dari analisa *cavity weight*, produk yang memiliki berat yang paling besar dapat direkomendasikan untuk desain *cooling*.

Analisa *volumetric shrinkage* digunakan untuk mengetahui seberapa efektif sistem pendinginan yang diberikan pada proses *injection* terhadap pengaruh *shrinkage*-nya. Pemilihan pengaruh nilai *shrinkage* yang direkomendasikan adalah yang memiliki pengaruh paling kecil.

Hasil perbandingan dari berapa tipe *cooling* diketahui analisa *circuit coolant temperature* dan *circuit metal temperature* terbaik terdapat pada *cooling* 3 akan tetapi pada *cooling* 3 nilai *deflection* dan *shrinkage* lebih tinggi dari *cooling* 1 dan 2, sedangkan pada *cooling* 1 *efficiency* penyerapan panas lebih efektif dari *cooling* 2 dan 3. Pengaruh *shrinkage* pada *cooling* 1 dan 2 relatif sama namun pada *cooling* 1 nilai *cavity weight* lebih besar. Rekomendasi dari *layout cooling system* adalah *cooling* tipe 1 karna dari beberapa analisa *cooling* memiliki rekomendasi lebih banyak dari *layout cooling* yang lain.

Hasil Perbandingan Layout Runner System dan Cooling System

Dari beberapa rekomendasi analisa *cooling system* dan *runner system* didapatkan desain *runner* dan *cooling system* yang optimal untuk mengurangi *short shot* dan pengaruh *shrinkage* adalah *layout runner system* tipe 1 dan *cooling system* tipe 1. Rekomendasi ini berdasarkan hasil analisa *runner system* dan *cooling system* pada simulasi moldflow.

Penentuan Nilai Factor dan Level Proses Parameter

Analisa *molding window* memberikan beberapa rekomendasi proses parameter, yang mana rekomendasi tersebut disesuaikan dengan hasil yang akan dicapai. Berdasarkan hasil rekomendasi proses parameter dari *Moldflow* ada beberapa parameter yang tidak di dapatkan pada rekomendasi parameter proses. Parameter tersebut adalah *holding control* dan *injection pressure*. Pada parameter *holding control* terdapat parameter yang perlu dicari yaitu *duration* dan *packing pressure* Nilai *duration* didapatkan dari nilai *holding time* (y_n) pada tabel *holding and cooling values* (Goodship, 2004). Sedangkan nilai *packing pressure* didapatkan 80% dari nilai *injection pressure*. Menurut rekomendasi (Goodship, 2004) nilai *injection pressure* untuk material *Polypropylene* sebesar 100 – 150 MPa.

Tabel 5 Setting faktor dan level parameter proses optimasi *shrinkage*

Faktor	Level			
	1	2	3	4
(A) <i>Injection pressure</i> (MPa)	100	125	150	175
(B) <i>Mold Temperature</i> (C°)	30	45	60	75
(C) <i>Melt Temperature</i> (C°)	200	225	250	275
(D) <i>Injection Time</i> (s)	0,6	1,2	1,8	2,4

Pada penentuan nilai level *injection presure* didapatkan dari literatur (Goodship, 2004) sedangkan penentuan nilai level parameter yang lain berdasarkan hasil rekomendasi *molding window*.

Untuk menentukan nilai faktor optimasi yang mempengaruhi *short shot* pada table 6. Pada penentuan nilai level *injection presure* dan *holding time* didapatkan dari literatur (Goodship, 2004) sedangkan penentuan nilai level parameter yang lain berdasarkan hasil rekomendasi *molding window*.

Tabel 6 Setting faktor dan level parameter proses optimasi *short shot*

Faktor	Level			
	1	2	3	4
(A) <i>Injection pressure</i> (MPa)	100	125	150	175
(B) <i>Mold Temperature</i> (C°)	30	45	60	75
(C) <i>Melt Temperature</i> (C°)	200	225	250	275
(D) <i>Holding Time</i> (s)	1	2	3	4

Design Of Experiment (DOE) Metode Taguchi

Design of experiment bertujuan untuk mengkombinasikan level dari faktor yang dibuat bervariasi, hasil dari kombinasi lalu diamati dan dikumpulkan hasil selengkapnya untuk dianalisa faktor-faktor yang berpengaruh. *Software Minitab* 2016 digunakan untuk mengolah data level dan faktor menggunakan metode *taguchi*. Pengacakan level dan faktor menggunakan matriks *orthogonal L16 (4⁴)*, maka jumlah percobaan yang akan dilakukan sebanyak 16 percobaan, 4 level dengan nilai rata-rata awal sebagai nilai awal pada setiap respon. Pada tabel 4.7 dan 4.8 adalah data percobaan faktor dengan metode *taguchi* untuk optimasi *shrinkage* dan *short shot*.

Tabel 7 Data level dan faktor dengan metode taguchi optimasi *shrinkage* **Hasil Percobaan Simulasi Moldflow**

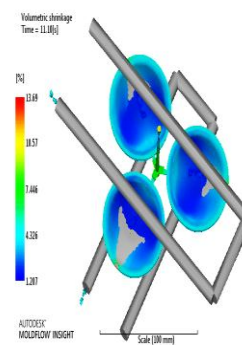
Percobaa n	Faktor			
	A	B	C	D
1	100	30	200	0,6
2	100	45	225	1,2
3	100	60	250	1,8
4	100	75	275	2,4
5	125	30	225	1,8
6	125	45	200	2,4
7	125	60	275	0,6
8	125	75	250	1,2
9	150	30	250	2,4
10	150	45	275	1,8
11	150	60	200	1,2
12	150	75	225	0,6
13	175	30	275	1,2
14	175	45	250	0,6
15	175	60	225	2,4
16	175	75	200	1,8

Tabel 8 Data level dan faktor dengan metode taguchi optimasi *short shot*

Percobaa n	Faktor			
	A	B	C	D
1	100	30	200	1
2	100	45	225	2
3	100	60	250	3
4	100	75	275	4
5	125	30	225	3
6	125	45	200	4
7	125	60	275	1
8	125	75	250	2
9	150	30	250	4
10	150	45	275	3
11	150	60	200	2
12	150	75	225	1
13	175	30	275	2
14	175	45	250	1
15	175	60	225	4
16	175	75	200	3

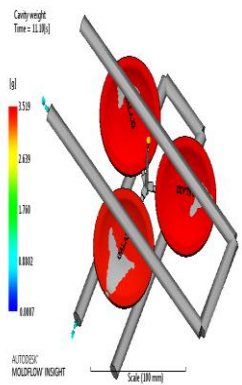
Hasil simulasi produk menunjukkan perbedaan dengan mengubah parameter prosesnya. Nilai *shrinkage* dan *cavity weight* pada produk mengalami peningkatan kualitas ketika beberapa parameter proses dirubah. Pada gambar 9 dan 10 menunjukkan hasil simulasi produk menggunakan parameter proses sesuai di perusahaan.

Runner dan Cooling Standart: Volumetric shrinkage



Gambar 9 Volumetric shrinkage initial condition

Runner dan Cooling Standart: Cavity weight



Gambar 10 Cavity weight initial condition

Tabel 7 menunjukkan hasil pengacakan parameter proses *shrinkage* yang telah dilakukan 16 kali percobaan dengan 4 faktor yang sudah dikombinasikan menggunakan metode *Taguchi* L16 (4^4). Pada tabel tersebut menunjukkan hasil dari optimasi yang mempunyai respon *shrinkage* terendah terdapat pada percobaan ke 6 sebesar 10,87 % , akan tetapi hasil produk pada percobaan ke 6 mengalami cacat *short shot*. Sedangkan pada percobaan ke 16 respon *shrinkage* sebesar 11,13 % lebih besar dari percobaan ke 6 namun produk juga mengalami cacat *short shot*, sehingga hasil optimasi parameter proses terbaik terdapat pada percobaan ke 1, respon *shrinkage* sebesar 11,13 % dengan parameter proses *injection presure* 100 MPa, *mold temperature* 30 C°, *melt temperature* 200 C°, dan *injection time* 0,6 detik. Hasil optimasi ini lebih baik dari *shrinkage initial condition* yaitu sebesar 13,69 % dengan parameter proses *injection presure* 12 MPa, *mold temperature* 82 C°, *melt temperature* 237 C°, dan *injection time* 5 detik. Respon *shrinkage* yang lebih rendah akan meminimalisir terjadinya perubahan dimensi benda dibandingkan dengan dimensi pada cetakan.

Tabel 8 adalah hasil pengacakan parameter proses *short shot* yang telah dilakukan 16 kali percobaan dengan 4 faktor yang sudah dikombinasikan menggunakan metode *taguchi* L16 (4^4). Pemilihan parameter terbaik pada optimasi ini adalah dengan mengukur massa produk hasil simulasi yang sudah tersedia pada *result cavity weight*. Produk yang mempunyai massa lebih besar adalah yang dipilih karena mempunyai kepadatan material yang lebih baik dari pada produk yang mempunyai massa yang kecil dan juga berpotensi terjadinya *short shot*. Hasil optimasi ini menunjukkan nilai *cavity weight* tertinggi sebesar 3,78 gram, namun ada hasil percobaan yang mempunyai hasil yang sama seperti pada percobaan ke 6. Akan tetapi dilihat dari segi efisiensi energi yang dibutuhkan mesin percobaan ke 1 yang paling efektif, karna nilai parameter proses pada percobaan ke 1 lebih kecil dari percobaan ke 6 yaitu *injection presure* 100 MPa, *mold temperature* 30 C°, *melt temperature* 200 C°, dan *holding time* 1 detik. Nilai *holding time* yang kecil berpengaruh pada *cycle time* yang

lebih rendah akan menyebabkan biaya produksi semakin murah dan pembuatan produk menjadi lebih banyak. Hasil optimasi ini lebih baik dari nilai *cavity weight initial condition* yaitu sebesar 3,519 gram dengan parameter proses *injection presure* 12 MPa, *mold temperature* 82 C°, *melt temperature* 237 C°, dan *injection time* 5 detik.

Analisa S/N Ratio

Hasil dari beberapa percobaan simulasi parameter proses yang telah dilakukan, digunakan untuk menghitung *S/N Ratio*. Perhitungan ini dapat dilakukan secara manual dan menggunakan *software* Minitab 2016 untuk memastikan hasil responnya. Pada optimasi parameter proses untuk mereduksi *shrinkage* metode yang dipilih adalah *S/N Ratio small is the best* karena penilaian *shrinkage* terbaik ialah yang paling rendah sesuai dengan konsep metode tersebut.

Tabel 9 Respon *S/N Ratio* optimasi *shrinkage*

Level	A	B	C	D
1	-22,77	-22,59	-21,27	-22,64
2	-22,49	-22,66	-22,23	-23,10
3	-22,87	-22,77	-23,18	-22,50
4	-22,50	-22,61	-23,94	-22,38
Delta	0,38	0,18	2,66	0,72
Rank	3	4	1	2

Pada tabel 9 respon *S/N Ratio* optimasi *shrinkage* dari pengacakan level parameter proses menunjukkan nois terbesar. Respon *Ratio* optimasi *shrinkage* yang berpengaruh menunjukkan parameter proses *Injection presure* pada level 2 (125 MPa), *Mold temperature* pada level 1 (30 C°), *Melt temperature* pada level 1 (200 C°), *Injection time* pada level 4 (2,4 detik).

Perhitungan *S/N Ratio* untuk optimasi *short shot* dipilih metode *large the better*. Pemilihan metode tidak lain karena dimetode ini menunjukkan karakteristik nilai terbesar adalah yang terbaik. *Large the better* cocok diaplikasikan pada optimasi *short shot* dimana penilain *short shot* dipilih berdasarkan *cavity weight* yang paling besar.

Tabel 10 Respon S/N Ratio optimasi *short shot*

Level	A	B	C	D
1	10,79	9,88	11,37	9,98
2	9,33	10,26	10,10	10,04
3	10,55	10,54	9,47	10,34
4	10,40	10,38	10,13	10,70
Delta	1,45	0,66	1,90	0,72
Rank	2	4	1	3

Pada tabel 10 Respon S/N Ratio optimasi *short shot* dari pengacakan level parameter proses menunjukkan nilai terbesar. Respon Ratio optimasi *short shot* yang berpengaruh menunjukkan parameter proses *Injection pressure* pada level 1 (100 MPa), *Mold temperature* pada level 3 (60 C°), *Melt temperature* pada level 1 (200 C°), *Holding time* pada level 4 (4 detik).

Analysis Of Variance (ANOVA)

Analisa ANOVA digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui besarnya kontribusi dari parameter proses yang digunakan dari beberapa percobaan simulasi. Analisa ANOVA memiliki klasifikasi yang bisa dihitung seperti ST, M_A , S_m , S_A , S_e , F-Ratio, Sq_A , $\rho\%$. Berikut adalah perhitungan ANOVA untuk optimasi *shrinkage*.

Tabel 11 Pesentase kontribusi parameter untuk optimasi *shrinkage*

source	Sq	F-Ratio	$\rho\%$
<i>Injection Pressure</i>	0,8335	13,61	1,82
<i>Mold Temperature</i>	0,1305	2,13	0,14
<i>Melt Temperature</i>	38,581	627,4	91,3
<i>Injection Time</i>	2,6	42,15	5,99
<i>Error</i>	0,0614	-	0,75
Total	45,607	-	100

Berdasarkan analisa ANOVA pada optimasi *shrinkage* hasil perhitungan kontribusi faktor ditampilkan pada tabel 11 yang mana pada tabel tersebut menunjukkan bahwa parameter proses *melt temperature* memberikan kontribusi yang paling besar terhadap respon *shrinkage* sebesar 91,26 % dibandingkan dengan faktor yang lain.

Berikut adalah perhitungan ANOVA untuk optimasi *short shot*

Tabel 12 Pesentase kontribusi parameter untuk optimasi *short shot*

source	Sq	F-Ratio	$\rho\%$
<i>Injection Pressure</i>	0,48	5,3	17,80
<i>Mold Temperature</i>	0,27	3	8,22
<i>Melt Temperature</i>	1,08	12	45,20
<i>Holding Time</i>	0,26	2,6	7,76
<i>Error</i>	0,10	-	21
Total	2,19	-	100

Berdasarkan analisa ANOVA pada optimasi *short shot* hasil perhitungan kontribusi faktor ditampilkan pada tabel 12 yang mana pada tabel tersebut menunjukkan bahwa parameter proses *melt temperature* memberikan kontribusi yang paling besar terhadap respon *short shot* sebesar 45,20 % dibandingkan dengan faktor yang lain.

Analisis Parameter Optimum

Setelah analisa parameter proses menggunakan metode S/N Ratio dan ANOVA hasil yang didapatkan beberapa kombinasi parameter proses optimum untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Kombinasi parameter proses dan level optimum didapatkan dari analisa S/N Ratio pada optimasi *shrinkage* dan *short shot*.

- a. Kombinasi level dan parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi *shrinkage* adalah *Injection Pressure* 125 MPa, *Mold Temperature* 30 C°, *Melt Temperature* 200 C°, *Injection Time* 2,4 s.
- b. Kombinasi level dan parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi

short shot adalah Injection Pressure 100 MPa, Mold Temperature 60 C°, Melt Temperature 200 C°, Holding Time 4 s.

Rangking tertinggi berdasarkan analisa S/N Ratio dan ANOVA menunjukan parameter tersebut paling berpengaruh terhadap respon shrinkage dan short shot.

Tabel 13 parameter proses optimum analisa S/N Ratio

Rank	Shrinkage	Short shot
1	Melt Temperature	Melt Temperature
2	Injection Time	Injection Pressure
3	Injection Pressure	Holding Time
4	Mold Temperature	Mold Temperature

Tabel 14 parameter proses optimum analisa ANOVA

Rank	Shrinkage	Short shot
1	Melt Temperature	Melt Temperature
2	Injection Time	Injection Pressure
3	Injection Pressure	Holding Time
4	Mold Temperature	Mold Temperature

Berdasarkan hasil dari analisa ANOVA rangking tertinggi untuk optimasi shrinkage adalah parameter melt temperature. Sedangkan pada parameter short shot parameter yang paling berpengaruh adalah melt temperature. Setelah diketahui parameter yang berpengaruh pada shrinkage dan short shot kemudian parameter tersebut digunakan untuk parameter proses pada eksperimen konfirmasi.

Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan kombinasi parameter yang dinyatakan optimal oleh S/N Ratio dan ANOVA

terbukti dapat memperbaiki kekurangan sebelumnya.

Perhitungan eksperimen konfirmasi shrinkage

a. μ Prediksi

$$\mu \text{ Prediksi} = \bar{y} + (\overline{A2}-\bar{y}) + \{(\overline{B1}-\bar{y}) - (\overline{A2}-\bar{y}) - (\overline{C1}-\bar{y})\} + (\overline{D4}-\bar{y})$$

$$= 13,67 + (13,45-13,67) + \{(13,57-13,67) - (13,45-13,67) - (11,6-13,67)\} + (13,28-13,67)$$

$$= 13,19$$

b. Confidence Interval

$$CI = \pm \sqrt{F_{(a,v1,v2)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{N_{eff}} + \frac{1}{r}\right)}$$

$$= \pm \sqrt{6,72 \times 1,01 \times \left(\frac{1}{5,3} + \frac{1}{1}\right)}$$

$$= \pm 2,85$$

$$\mu \text{ Prediksi} - CI \leq \mu \text{ Prediksi} \leq \mu \text{ Prediksi} + CI$$

$$13,19 - 2,85 \leq 13,19 \leq 13,19 + 2,85$$

$$10,34 \leq 13,19 \leq 16,04$$

Perhitungan eksperimen konfirmasi short shot

a. μ Prediksi

$$\mu \text{ Prediksi} = \bar{y} + (\overline{A1}-\bar{y}) + \{(\overline{B3}-\bar{y}) - (\overline{A1}-\bar{y}) - (\overline{C1}-\bar{y})\} + (\overline{D4}-\bar{y})$$

$$= 3,28 + (3,4-3,28) + \{(3,3-3,28)-(3,4-3,28) - (3,7-3,28)\} + (3,4-3,28)$$

$$= 3$$

b. Confidence Interval

$$CI = \pm \sqrt{F_{(a,v1,v2)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{N_{eff}} + \frac{1}{r}\right)}$$

$$= \pm \sqrt{6,72 \times 0,08 \times \left(\frac{1}{5,3} + \frac{1}{1}\right)}$$

$$= \pm 0,8$$

$$\mu \text{ Prediksi} - CI \leq \mu \text{ Prediksi} \leq \mu \text{ Prediksi} + CI$$

$$3 - 0,8 \leq 3 \leq 3 + 0,8$$

$$2,2 \leq 3 \leq 3,8$$

Hasil kombinasi proses parameter pada analisa S/N Ratio dan ANOVA mempunyai hasil yang sama pada metode taguchi, akan tetapi pada khusus shrinkage nilai paling kecil adalah 10,87 % produk mengalami short shot sehingga dipilih parameter pada percobaan ke

1 karna produk tidak mengalami *short shot* dan response *shrinkage* kecil sebesar 11,57 %. Pada analisa taguchi nilai *cavity weight* paling besar adalah 3,78 gram hasil ini sama dengan kombinasi proses parameter pada analisa S/N Ratio dan ANOVA. Dari hasil perhitungan eksperimen konfirmasi, kombinasi proses parameter pada analisa S/N Ratio dan ANOVA masih masuk pada *range* perhitungan eksperimen konfirmasi.

Kesimpulan

1. Desain *runner* dan *cooling system* terbaik adalah *runner 1* dan *cooling 1*. Perbandingan desain tersebut dilihat dari simulasi *fill time, cavity weight, circuit coolant temperature, circuit metal temperature, time to reach ejection temperature, part, circuit heat removal efficiency, deflection all effects: deflection* dan *volumetric shrinkage* pada Moldflow lebih efisien dari desain *runner 2, cooling 2* dan *cooling 3*.
2. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan menggunakan metode taguchi, S/N Ratio dan ANOVA didapatkan parameter proses optimal untuk mereduksi *shrinkage* pada analisa DOE yaitu *Injection Pressure 100 MPa, Mold Temperature 30 °C, Melt Temperature 200 °C, Injection Time 0,6 detik*. Sedangkan parameter proses optimal untuk mereduksi *short shot* adalah *Injection Pressure 100 MPa, Mold Temperature 60 °C, Melt Temperature 200 °C, Holding Time 4 detik*. Hasil parameter proses optimal menurut S/N Ratio dan ANOVA sudah dipastikan dengan perhitungan eksperimen konfirmasi masih dalam *range confidence interval*.
3. Respon *shrinkage initial condition* sebesar 13,69 % dan *short shot* 3,519 gram. Setelah dilakukan optimasi desain *runner* dan *cooling system* serta parameter proses menggunakan metode taguchi menunjukkan peningkatan kualitas produk, respon *shrinkage* berkurang menjadi 11,13 % dan nilai *cavity weight* menjadi lebih besar dari *initial condition* yaitu 3,78 gram.

Daftar Pustaka

- Brydson, J.A. 1999. *PLASTICS MATERIALS Seventh Edition*. London: *Butterworth Heinemann*. 170-171.
- Budiyantoro, C. 2010. *Thermoplastik Dalam Industri*. Surakarta: *Teknika Media*.
- Darmawan, J. 2018. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Cacat *Short Shot* Pada Produk *Injection Molding* Berbahan *Polypropylene (PP)*. *Jurnal Media Mesin* 1411-4348. Vol. 6. No 1.
- Goodship, V. 2004. *Practical Guide to Injection Moulding*. Germany. *ARBURG Ltd*.
- Irawan, F. D. B. 2017. Simulasi Desain *Cooling System* Dan *Runner System* Untuk Optimasi Kualitas Produk *Top Case*. *JMPM*. Vol 1. 63-71.
- Miftakhul, L. K. 2017. Desain Dan Optimasi *Injection Mold* Sistem *Slider* Pada Produk *Preform Stick T15*. *JMPM*. Vol 1. 82-91.
- Mufid, A.K dan Budiantoro. C. 2017 Perancangan *Injection Mold* Dengan Sistem *Three-Plate Mold* Pada Produk *Glove Box*. *JMPM*. Vol 1. 72-81.
- Riyanto, S.A. Anggoro, P.W Dan Budiantoro, S. 2015. Optimalisasi Proses Injeksi Plastik Menggunakan *Moldflow Dual-Domain* Pada Desain *Base Plate*. *Jurnal. Pusat Unggulan Teknologi Plastik, Politeknik Atmi Surakarta*.
- Shoemaker, J. 2006. *Moldflow Design Guide A Reseource for Plastics Engineers*. Framingham: *Moldflow Corporation*.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: *Graha Ilmu*.