

## SIMULASI DESAIN *COOLING SYSTEM* DAN *RUNNER SYSTEM* UNTUK OPTIMASI KUALITAS PRODUK *TOP CASE*

Fabio Dwi Bagus Irawan<sup>1,a</sup>, Cahyo Budiyanoro<sup>1,b</sup>, Thoharudin<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

<sup>a</sup>Fabioirawan95@gmail.com, <sup>b</sup>cahyo\_budi@umy.ac.id, <sup>c</sup>thoharudin@gmail.com

---

### Abstrak

Penelitian ini bersifat komputerasi berbasis simulasi menggunakan *software* Autodesk Moldflow Insight untuk memprediksi dua kegagalan dan untuk mengoptimalkan kualitas produk. Karena minimnya produk plastik pada *engine* motor, maka penulis melakukan study kasus dari produk *sparepart* motor yaitu *top case*. Penelitian diawali dengan 4 percobaan, dalam tahap awal dilakukan perbandingan dari keempat percobaan dengan analisa *fill time*. Setelah analisa *fill time* dilakukan perbandingan antara *cooling baffle* dan *cooling cinformal*. Kemudian hasil optimal dari perbandingan, dilakukan analisa Taguchi. Menurut desain eksperimen Taguchi mengharuskan pengacakan nilai faktor menggunakan matriks *orthogonal* L<sub>9</sub> (3<sup>3</sup>) sehingga terdapat 9 eksperimen dengan 3 level. Dalam hal ini optimasi parameter yang menggunakan metode taguci terbukti dapat meminimalisir nilai *sink mark* dan *shrinkage*. Hasil optimasi dengan metode taguci dapat digunakan untuk menjadi acuan parameter dalam pembuatan produk yang di fabrikasi menggunakan injection molding seperti produk *top case*.

**Kata kunci:** *Runner, Cooling, Moldflow insight, Sink mark, Shrinkage*

---

### 1. Pendahuluan

Konsep manufaktur plastik modern ini lebih mengedepankan teknologi simulasi untuk memprediksi jumlah atau jenis cacat maupun *error* pada produk yang dihasilkan sebelum proses injeksi berlangsung pada mesin injeksi plastik. Hasil dari simulasi ini nantinya akan sangat berguna sebagai panduan bagi *mold maker* untuk membuat konstruksi *mold* dan berguna untuk menentukan *setting* parameter proses di mesin injeksi sehingga mempercepat proses *trial and error* yang dilakukan pada mesin injeksi plastik (Rudiyadi, 2016).

Efisiensi sirkulasi *cooling* dan *runner* secara langsung mempengaruhi kualitas dan waktu pengisian dan pendinginan produk. Setidaknya 60% cacat yang terjadi akan mengurangi dampak kegagalan produk karena cacat *shrinkage* dan *sink mark* (Marques dkk, 2015).

Dalam metode simulasi Moldflow Insight ini

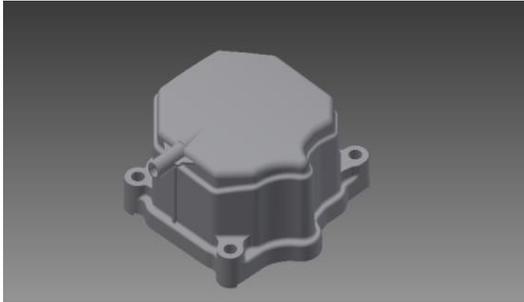
dipilih untuk memberikan penyajian berupa situasi suatu proses yang nyata untuk meningkatkan kualitas produk *top case*. Karena minimnya produk plastik pada *engine* motor, maka penulis melakukan study kasus dari produk *sparepart* motor yaitu *top case*. Mekanisme pengisian dan pendinginan yang efisien untuk mencapai waktu total siklus sehingga produk yang tidak sesuai akan terkurangi. Perancangan ini akan mengikuti perhitungan sehingga perancang tidak sembarangan untuk menentukan ukuran diameter *cooling* dan *runner*. Hasil dari tahapan perancangan dan simulasi produk *top case* sesuai dengan daftar tuntunan yang telah disusun oleh penulis.

### 2. Metodologi Obyek Penelitian

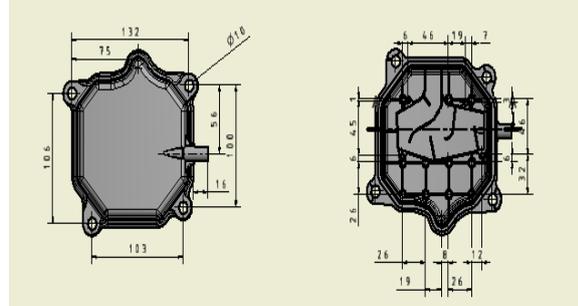
Penelitian ini adalah penelitian eksperimen

desain, dengan metode simulasi untuk mendapatkan parameter proses untuk meningkatkan kualitas karena kegagalan produk *sink mark* dan *shrinkage*. Penelitian eksperimen ini menggunakan model berupa produk *top case* dengan dimensi panjang 152

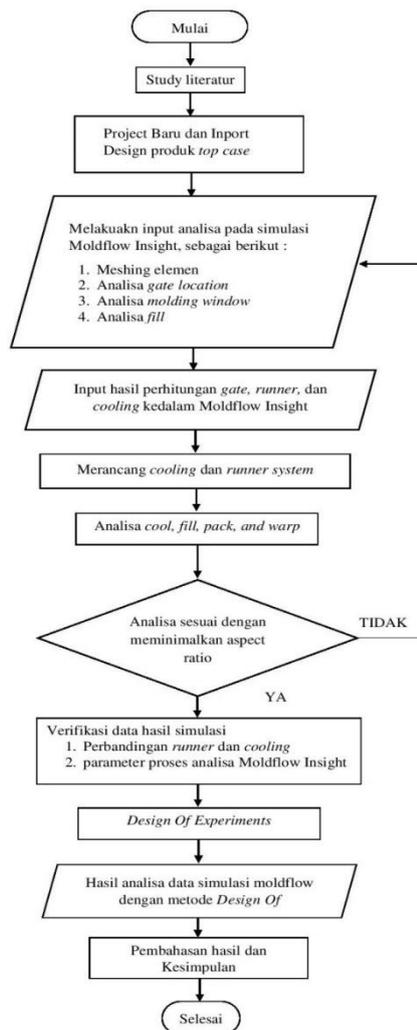
mm, lebar 150 mm, dan tinggi 71 mm. Produk tersebut digambar ulang sesuai dengan dimensi yang ada dan dimodelkan dalam bentuk 3D. *Top case* terbuat dari bahan *Polyamide* (type 66).



Gambar 1. Produk *Top Case*



Gambar 2. Dimensi *Top Case*



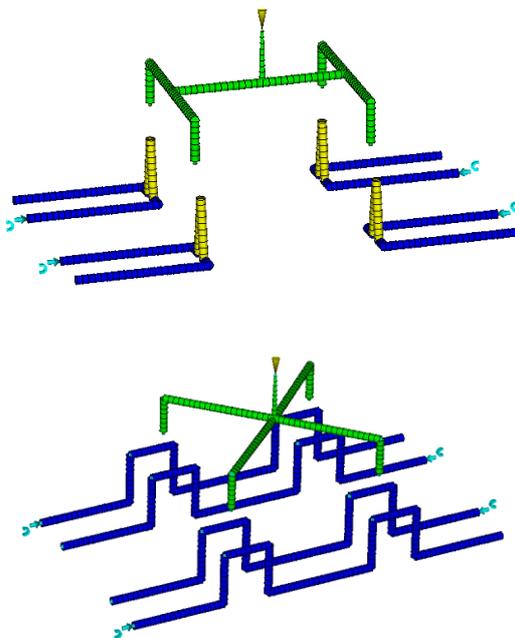
Gambar 3. Diagram Alir Metode Penelitian

### 3. Hasi dan Pembahasan

#### Hasil perbandingan Analisa *Layout Runner System*

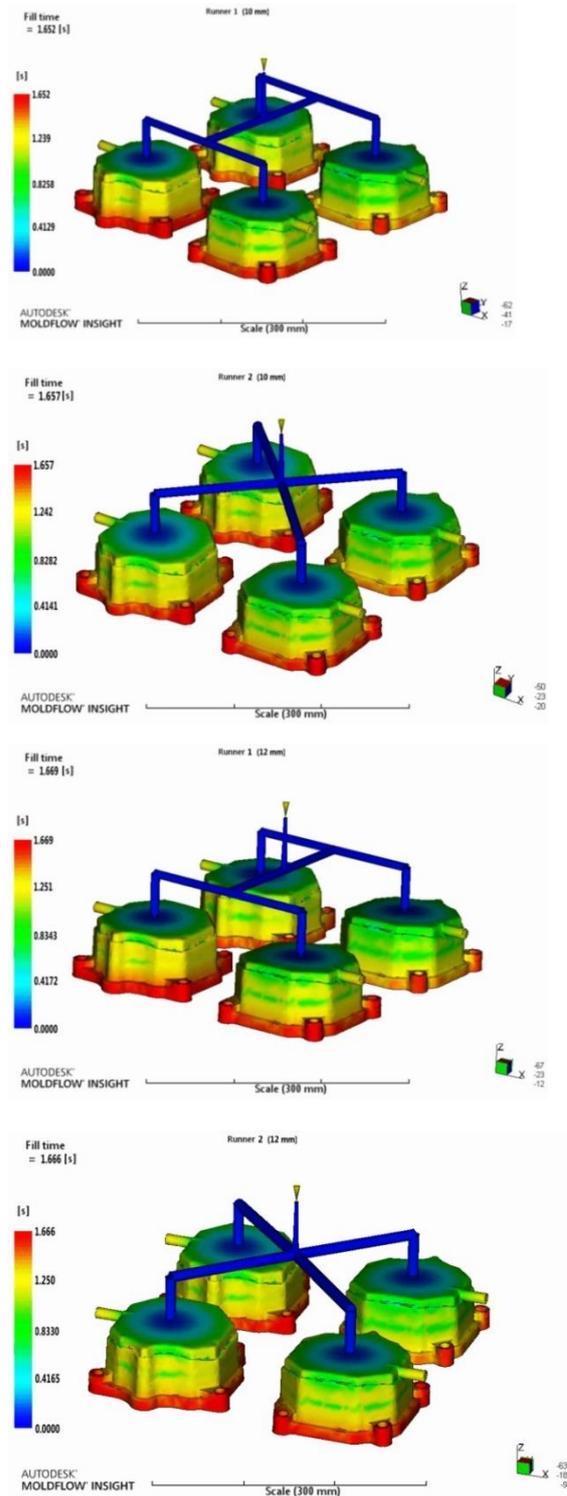
a. Perbandingan layout runner system

Pada perancangan ini *runner* dilakukan perbandingan diameter runner bertujuan untuk mempertimbangkan layout yang sesuai dengan alur produksi. Tujuan dari pertimbangan *layout runner* ini untuk mendapatkan hasil aliran yang optimal pada pengisian dan pengaruh semburan material yang mempengaruhi bentuk dari runner itu sendiri, berikut gambar perbandingan *layout runner* dan *layout cooling* yang ditunjukkan pada gambar 4 dan dilanjutkan perbandingan *fill time layout 1* dan *2* yang ditunjukkan gambar 2.



**Gambar 4.** Perbandingan *Layout runner system 1* dan *layout runner system 2*

b. Perbandingan pengaruh pada *fill time Layout 1* dan *Layout 2*



**Gambar 5.** Perbandingan *fill time Layout 1* dan *Layout 2*

Dari hasil analisa *fill time* dapat di bandingkan pada tabel 1. di bawah ini

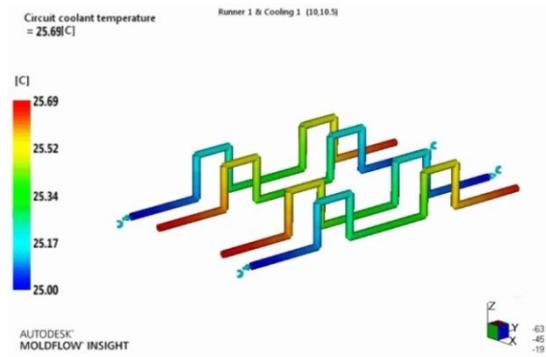
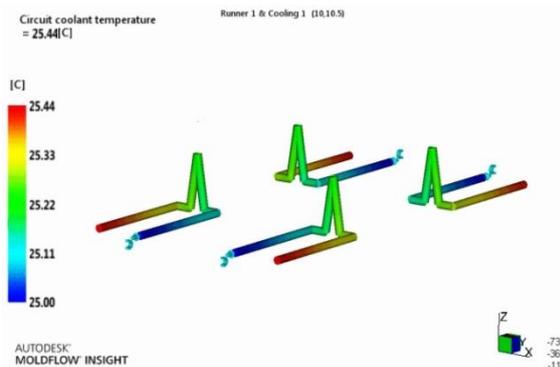
**Tabel 1.** Data hasil perbandingan analisa *fill time* dari 4 percobaan

N o	Percobaan	Fill time (s)
1	Runner 1 (diameter 10 mm)	1,652
2	Runner 1 (diameter 12 mm)	1,669
3	Runner 2 (diameter 10 mm)	1,657
4	Runner 2 (diameter 12 mm)	1,666

Hasil perbandingan keempat *runner* dapat diketahui bahwa perbedaan diameter mempengaruhi kecepatan pengisian, pengaruh tersebut tidak signifikan karena pada perbedaan saat waktu pengisian yang tidak terlalu lama. Seperti pada pengisian *Runner 1* (diameter 10 mm) dan *Runner 1* (diameter 12 mm) dengan perbedaan diameter 2 mm memperoleh selisih pengisian 0,017 s lebih cepat *Runner 1* (diameter 10 mm). Berbeda dengan *Runner 2* (diameter 10 mm) dan *Runner 2* (diameter 12 mm) sama dengan sebelumnya dengan perbedaan diameter 2 mm selisih waktu pengisian 0,009 s. Pada perbedaan selisih tersebut terlihat beda selisih yang sangat sedikit, namun *runner 1* dapat dikatakan efisien karena memiliki waktu pengisian yang cepat, sedangkan *runner 2* lebih lambat dikarenakan arah lairan langsung yang dapat terhambat sewaktu-waktu pada *gate*, perbandingan *fill time* dapat dilihat pada gambar 5.

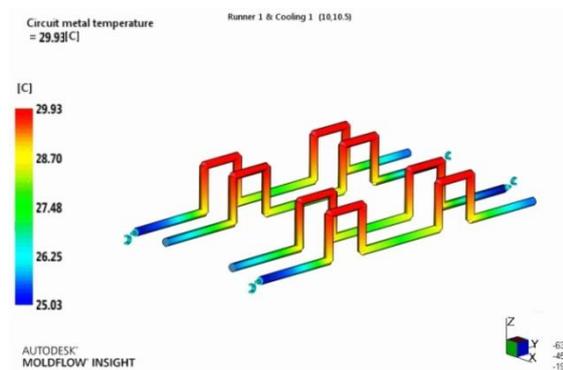
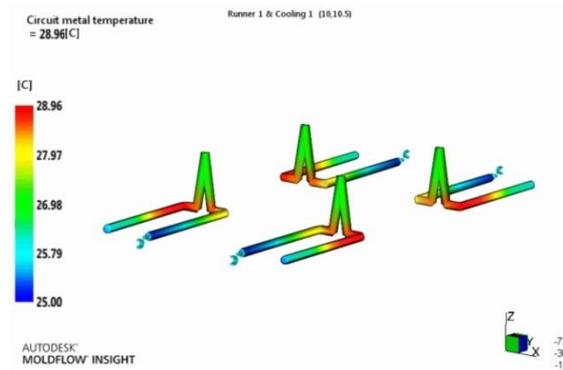
### Hasil perbandingan Analisa *Layout Cooling System*

#### a. *Circuit coolant temperature*



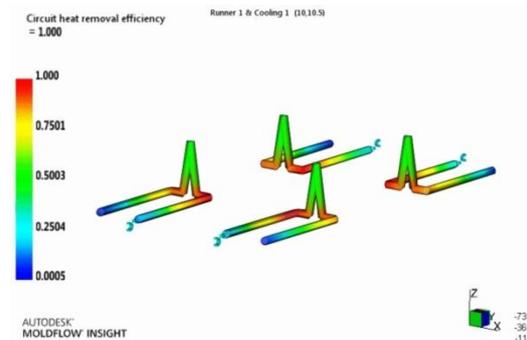
Gambar 6. Hasil simulasi *circuit cooling baffle* dan *conformal*

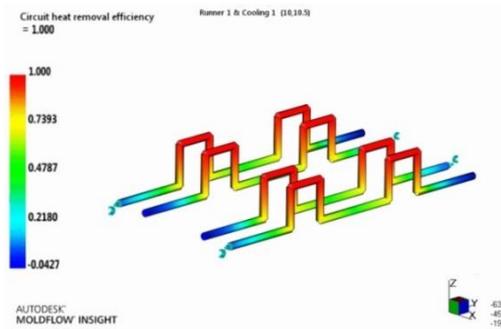
#### b. *Circuit metal temperature*



Gambar 7. Hasil simulasi *circuit metal temperature cooling baffle* dan *conformal*

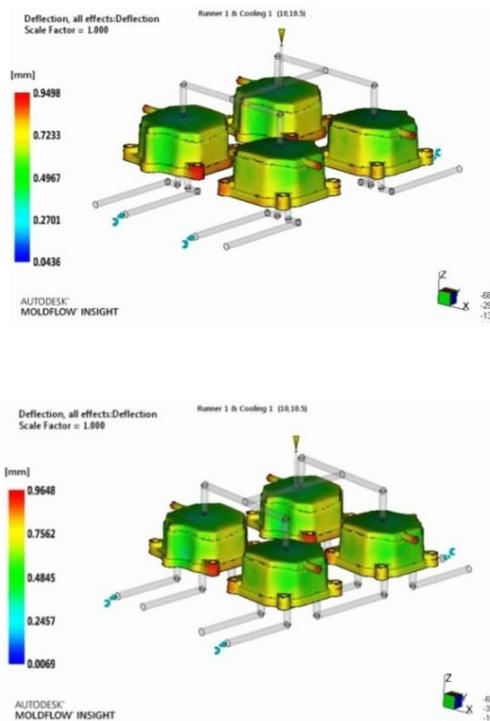
#### c. *Circuit heat removal efficiency*





**Gambar 8.** Hasil simulasi *circuit heat removal efficiency cooling baffle dan conformal*

d. *Deflection, all effects:Deflection*



**Gambar 9.** Efek defleksi *cooling baffle dan conformal*

Dari hasil analisa dapat di bandingkan pada tabel 2. di bawah ini.

**Tabel 2.** Data hasil analisa perbandingan 4 jenis *cooling*

No	Analisa	Cooling 1 (Baffle)	Cooling 2 (Conformal)
1	<i>Circuit coolant temperature</i>	25,44 <sup>0</sup> C	25,69 <sup>0</sup> C

No	Analisa	Cooling 1 (Baffle)	Cooling 2 (Conformal)
2	<i>Circuit metal temperature</i>	28,96 <sup>0</sup> C	29,93 <sup>0</sup> C
3	<i>Circuit heat removal efficiency</i>	0,7501	0,7393
4	<i>Deflection, all effects:Deflection</i>	0,9498 mm	0,9648 mm

Hasil perbandingan *cooling* dapat diketahui bahwa *cooling baffle* lebih kecil nilai *deflection* dari *cooling conformal* tetapi dalam mengatur dan mengarahkan cairan pendingin dapat terdistribusi pada daerah yang sulit untuk terjangkau pendinginan tanpa melalui celah *cavity* produk *top case*, sedangkan *cooling conformal* dapat meninggalkan sisa bekas karena hasil dari *machining* yang sangat berpengaruh pada kualitas produk itu sendiri, berbeda dengan *cooling baffle* yang proses *machining* tidak bersentuhan dengan *caity* sehingga tidak menyisakan bekas oleh karena itu dipilih *cooling baffle* dalam simulasi *top case*.

**Hasil Perbandingan *runner dan cooling system***

Berdasarkan perbandingan yang dilakukan pada *runner 1 cooling 1, runner 1 cooling 2 runner 2 cooling 1, dan runner 2 cooling 2*. *Runner 1 cooling 1* dipilih untuk bahan peninjauan pengaruh *shrinkage* dan *sink mark*, parameter yang dilakukan dalam pemilihan *runner 1 cooling 1* adalah perbedaan *layout runner system* dan diameter yang berpengaruh dalam kecepatan pengisian, perbedaan *circuit coolant temperature, circuit metal temperature, circuit heat removal efficiency* dan *deflection, all effects:Deflection* yang berpengaruh dengan pendinginan pada produk *top case*. Perbandingan ini berdasarkan hasil dari analisa *runner system* dan *cooling system* pada penjelasan 3.1 dan 3.2.

### Analisa SNR *smaller is better* dan ANOVA

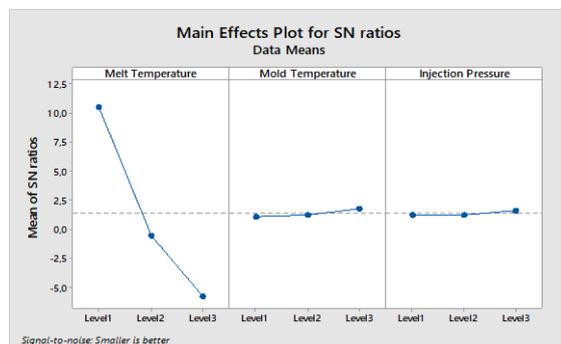
Dari hasil perhitungan mean parameter sink mark dan shrinkage pada setiap percobaan digunakan untuk menghitung signal to noise ratio (SNR). Dalam penelitian ini menggunakan software Minitab 2017 untuk menghitung nilai SNR. Penggunaan SNR bertujuan untuk mengetahui level faktor atau parameter proses yang berpengaruh terhadap hasil respon (Soejanto, 2009). Dalam analisis ini pertama menentukan pengacakan nilai faktor menggunakan matriks *orthogonal*  $L_9$  ( $3^3$ ) sehingga terdapat 9 eksperimen dengan 3 level, nilai rata-rata digunakan sebagai nilai awal pada masing-masing respon.

**Tabel 3.** Respon tabel parameter *sink mark* terendah

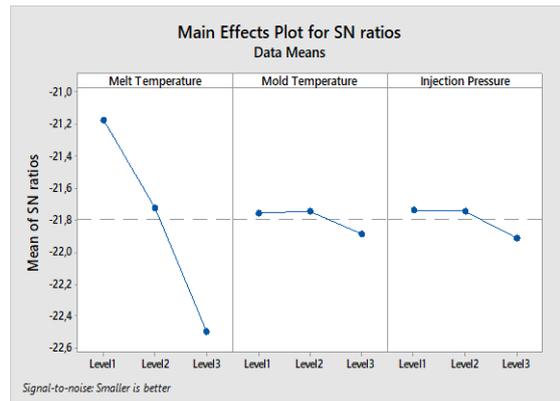
Level	Melt Temperature	Mold Temperature	Injection Pressure
1	10,4808	1,0864	1,2371
2	-0,5859	1,2197	1,2377
3	-5,8152	1,7736	1,6050
Delta	16,2960	0,6873	0,3679
Rank	1	2	3

**Tabel 4.** Respon tabel parameter *shrinkage* terendah

Level	Melt Temperature	Mold Temperature	Injection Pressure
1	-21,17	-21,76	-21,73
2	-21,72	-21,74	-21,74
3	-22,50	-21,89	-21,91
Delta	1,33	0,14	0,18
Rank	1	3	2



**Gambar 10.** Grafik noise *sink mark* tertinggi



**Gambar 11.** Grafik noise *shrinkage* tertinggi

Pada masing-masing tabel respon menjelaskan tingkat pengaruh faktor terhadap variabel respon. Pada penelitian ini hasil tabel respon berdasarkan nilai SNR *smaller is better* menunjukkan hasil yang sama terhadap respon variabel *mean sink mark* dan *shrinkage*. Tabel respon menunjukkan tingkat pengaruh dengan melihat nilai *noise* tertinggi, seperti yang ditunjukkan pada grafik respon untuk SNR STB *sink mark* (pada gambar 10) menunjukkan nilai parameter 10,4808 pada level 1, namun grafik respon untuk SNR STB *shrinkage* (pada gambar 11) menunjukkan nilai parameter -21,17 pada level 1. Hal ini terjadi karena pengaruh pengacakan level dilihat dari perbedaan nilai *mean sink mark* dan *shrinkage* yang berbeda. Namun dari hasil SNR STB yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *qualitas* dapat dikatakan optimal dengan diperlukannya tingkat pengaruh dengan nilai seminimal mungkin.

Dengan analisis SNR ini telah diketahui bahwa level dari parameter proses yang paling berpengaruh pada hasil eksperimen. Sehingga untuk menganalisis dan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti perlu dilakukan pengklasifikasian terhadap hasil percobaan sesuai sumber dari variasi menggunakan metode analisis variasi.

### Analisa of Varian

**Tabel 5.** Analysis of Variance untuk sink mark

Source	Adj SS	Df	Adj MS	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Melt Temperature	4,10669	2	2,053	184801,00	4,107	0,000	99,91
Mold Temperature	0,00362	2	0,002	163,00	0,004	0,006	0,09
Injection Pressure	0,00002	2	0,000	1,00	0,000	0,500	0,00
e	0,00002	2	0,000		0,000	-	0,00
St	4,11035	8	0,000	-		-	100

**Tabel 6.** Analysis of Variance untuk shrinkage

Source	Adj SS	Df	Adj MS	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Melt Temperature	5,41927	2	2,710	46,93	5,304	0,021	92,95
Mold Temperature	0,06540	2	0,033	0,57	-0,050	0,637	-0,88
Injection Pressure	0,10607	2	0,053	0,92	-0,009	0,521	-0,16
e	0,11547	2	0,058		0,462	-	8,09
St	5,70621	8	0,000	-		-	100

Berdasarkan hasil *Analysis of Variance* untuk *sink mark* dapat dilihat dari kontribusi dan faktor terhadap pengaruh *sink mark* yang terjadi. Pada tabel 5 menunjukkan nilai faktor *melt temperature* memiliki tingkat kontribusi sebesar 99.91%. Untuk nilai P hanya pada faktor *injection pressure* yang tidak signifikan karena nilai faktornya 0.500 sehingga nilainya lebih besar dari  $\alpha : 0.05$ . Untuk nilai F,  $H_0$  dari faktor *injection molding* yang diterima artinya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan nilai faktornya.

Berdasarkan hasil *Analysis of Variance* untuk *shrinkmark* dapat dilihat dari kontribusi dan faktor terhadap pengaruh *shrinkage* yang terjadi. Pada tabel 6 menunjukkan nilai faktor *melt temperature* memiliki tingkat kontribusi sebesar 92.95%. Untuk nilai P ada dua faktor pada *mold temperature* dan *injection pressure* yang tidak signifikan karena nilai faktornya 0.637 dan 0.521 sehingga nilainya lebih besar dari  $\alpha : 0.05$ . Untuk nilai F,  $H_0$  dari faktor *melt temperature* dan *injection molding* yang diterima artinya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan nilai faktornya.

### Analisa Parameter Optimum

Berdasarkan analisis menggunakan nilai SNR dan identifikasi menggunakan ANOVA pada masing-masing hasil variabel respon dapat diketahui level dan parameter optimum. Untuk level parameter proses optimum berdasarkan SNR ditunjukkan pada tabel 7, parameter proses optimum ditunjukkan pada tabel 8 dan untuk parameter proses optimum berdasarkan ANOVA ditunjukkan pada tabel 9

**Tabel 7.** Level parameter proses optimum SNR

Respon	Melt Temperatur e	Mold Temperatur e	Injection Pressure
Sink Mark	270°C	80°C	140
Shrinkage e	270°C	60°C	120

**Tabel 8.** Parameter proses optimum SNR

Rank	Sink mark	Shrinkage
1	Melt tempersture	Melt tempersture
2	Mold temperature	Injection pressure
3	Injection pressure	Mold tempersture

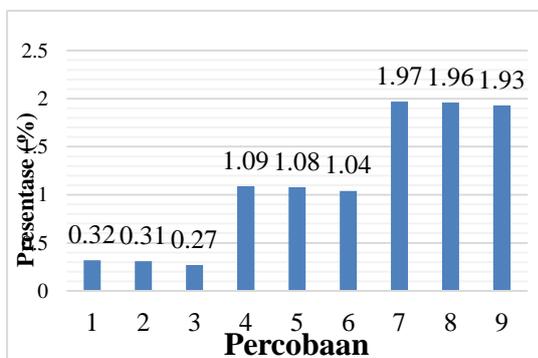
**Tabel 9.** Parameter proses optimum ANOVA

Rank	Sink mark	Shrinkage
1	Melt temperature	Melt temperature
2	Mold temperature	Injection pressure
3	Injection pressure	Mold temperature

Berdasarkan tabel diatas untuk analisis SNR dan ANOVA, terdapat kesamaan hasil pada *sink mark* dan *shrinkage* untuk urutan peringkat parameter proses yang berpengaruh. Dari analisis SNR dan ANOVA yang telah dilakukan parameter *melt temperature* menunjukkan hasil yang dominan pada pengaruh produk *top case*.

### Hasil Analisis Validasi Kombinasi Parameter

Langkah terakhir dari proses rancangan percobaan adalah validasi kombinasi parameter. Pada penelitian ini hasil optimasi level parameter proses paling optimum berdasarkan SNR STB untuk respon *sink mark* sama dengan salah satu dari 9 percobaan sebelumnya yaitu percobaan ke-3. Sehingga validasi kombinasi dapat dilakukan secara langsung dengan melihat hasil dari percobaan ke-3. Nilai *sink mark* untuuk 9 percobaan ditunjukkan pada gambar 11.



**Gambar 11.** Diagram *sink mark*

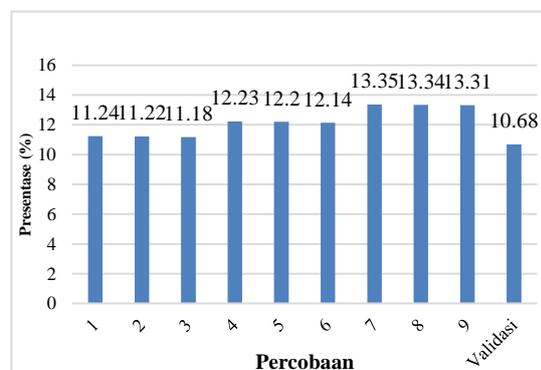
Berdasarkan gambar 11 menunjukkan bahwa nilai *sink mark* pada validasi atau percobaan ke-3 lebih kecil dibanding percobaan yang telah dilakukan. Sehingga hasil optimasi dari metode taguchi untuk respon *sink mark* terbukti dapat mengurangi nilai *sink mark* pada produk *top case*.

Kemudian untuk respon *shrinkage* hasil optimasi berdasarkan SNR STB tidak termasuk di dalam 9 percobaan sebelumnya sehingga harus dilakukan validasi kombinasi dengan melakukan simulasi berdasarkan hasil optimasi ditunjukkan pada tabel 10.

**Tabel 10.** Parameter proses optimum *shrinkage*

Level	Melt Temperature	Mold Temperature	Injection Pressure
	1	2	1
	270°C	60°C	120 Mpa

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan di dapat nilai *shrinkage* sebesar 10,68%. Dengan hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai *shrinkage* validasi optimal karena nilai yang didapat lebih rendah dibandingkan 9 percobaan sebelumnya. Sehingga kombinasi yang dihasilkan metode taguchi untuk respon *shrinkage* terbukti dapat meminimalisirkan nilai *shrinkage* itu sendiri. Perbandingan nilai *shrinkage* 9 percobaan sebelumnya dan pengujian validasi ditunjukkan pada gambar 12.



**Gambar 12.** Diagram *shrinkage*

Dalam hal ini optimasi parameter yang menggunakan metode taguchi terbukti dapat meminimalisir nilai *sink mark* dan *shrinkage*. Selain itu optimasi dengan pendekatan metode taguchi dapat digunakan untuk menjadi acuan parameter dalam pembuatan produk yang di fabrikasi menggunakan injection molding seperti produk top case.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian tentang simulasi desain *cooling system* dan *runner system* untuk optimasi kualitas produk *top case* dapat diperoleh berdasarkan hasil yang merupakan jawaban dari tujuan penelitian ini.

1. Hasil percobaan pada *runner 1 cooling 1* merupakan hasil simulasi data yang optimum karena menunjukkan hasil *runner (fill time)* dan nilai *cooling (circuit coolant temperature, circuit metal temperature, circuit heat removal efficiency, all effects:Deflection)* yang efisien dibandingkan dengan 3 percobaan yang lain.
2. Berdasarkan analisa *smaller is better* diperoleh kombinasi level parameter proses optimum pada respon *sink mark* yaitu *melt temperature* level 1 (270°C), *mold*

*temperatur* level 3 (80°C) , dan *injection pressure* level 3 (140 Mpa). Sedangkan pada respon *shrinkage* yaitu *melt temperature* level 1 (270°C), *mold temperatur* level 2 (60°C), dan *injection pressure* level 1 (120 Mpa).

3. Pada validasi yang dilakukan terhadap kombinasi level parameter proses yang dihasilkan dengan menggunakan analisa *smaller is better* terbukti dapat meminimalisir cacat produk *top case* yaitu pada *sink mark* sebesar 0,27% dan *shrinkage* sebesar 10,68%.

#### Daftar Pustaka

- Marques, S., Souza A.F.d., Miranda, J., dan Yadroitsau, I. 2015. *Design of conformal cooling for plastic injection moulding by heat transfer simulation*. Brazil: *Scientific Technical*.
- Rudiyadi, Raswan. 2016. *Optimasi Filling Time Injection Molding Crisper Dengan Bantuan Software Autodesk Moldflow Insight*, Universitas Mercu Buana Jakarta.
- Soejanto, Irwan. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.