

## BAB IV

### HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Identifikasi Produk

Data produk diperoleh dari data lapangan yang diambil sebelum perancangan desain produk. Data yang diambil kemudian digunakan untuk menentukan desain 3D produk yang akan dibuat sesuai data dan akan dilakukan simulasi menggunakan *Autodesk Moldflow Insight 2016* untuk langkah optimasi produk.

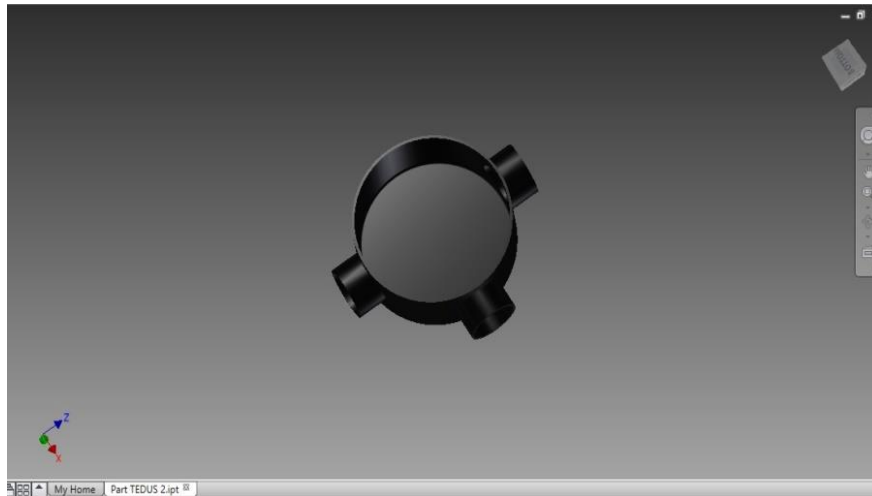
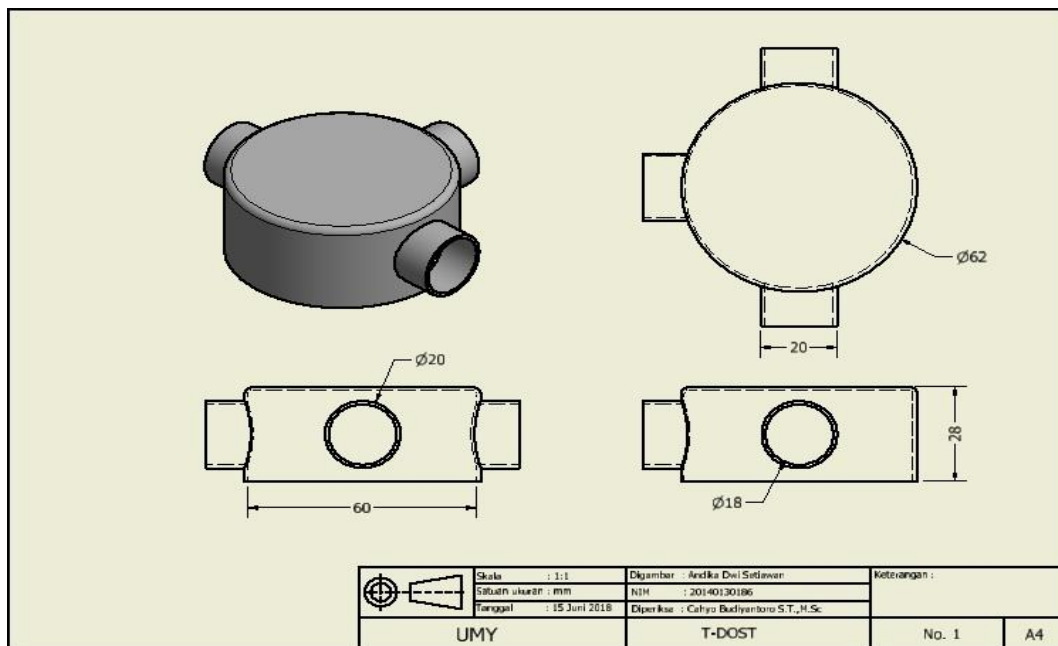
Tabel 4.1 Sampel produk

Data Sampel Produk	
Nama	<i>T-DOST</i>
Material	PP ( <i>polypropylene</i> ) daur ulang
Warna	Hitam
Deskripsi	Komponen instalasi listrik
Dimensi	78 x 78 x 28 mm
Tebal	1 mm
Berat	8,34 g

Pada tabel 4.1 merupakan kondisi produk sesuai di lapangan, dan dari data tersebut akan dilakukan perbandingan dengan hasil optimasi desain *cooling system* dan *runner system* menggunakan *Autodesk Moldflow Insight 2016* untuk meminimalkan cacat *short shot* dan *sink marks*.

#### 4.2 Gambar Model 3D dan Model 2D Produk

Gambar model 3D dan model 2D produk *T-DOST* seperti data sampel produk yang diambil dilapangan yang didesain menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*, yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2

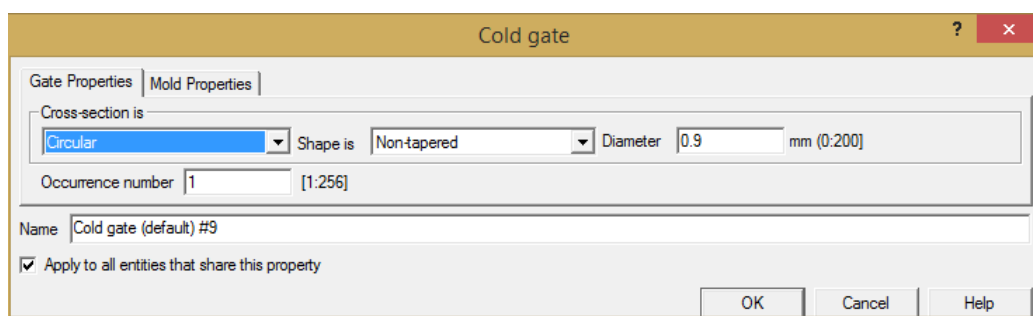
Gambar 4.1 Model 3D produk *T-DOST*Gambar 4.2 Model 2D produk *T-DOST*

### 4.3 Input Data Hasil Perhitungan *Gate*, *Cooling* dan *Runner* Kedalam *Autodesk Moldflow Insight 2016*

Sebelum melakukan penentuan ukuran harus dilakukan perhitungan *gate*, *cooling* dan *runner* sesuai dengan perhitungan. Setelah hasil perhitungan didapat maka akan dilakukan input data sebelum simulasi pada *Autodesk Moldflow Insight 2016*. Data yang akan diinputkan antara lain :

a. Input hasil perhitungan *gate*

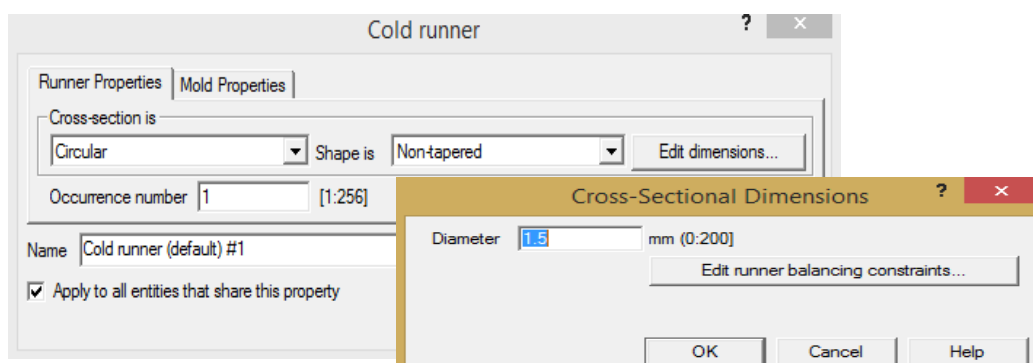
Diameter *gate* yang akan dibuat tidak boleh lebih besar dari ketebalan dari produknya, karena akan berpengaruh terhadap *shear rate*. Hasil perhitungan dari *gate* didapatkan sebesar 0,9 mm sesuai dengan asumsi pembuatan *gate*. Kemudian dilakukan input data pada *properties setting gate*. Perhitungan *gate* dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 4.3 Input diameter *gate*

b. Input hasil perhitungan runner

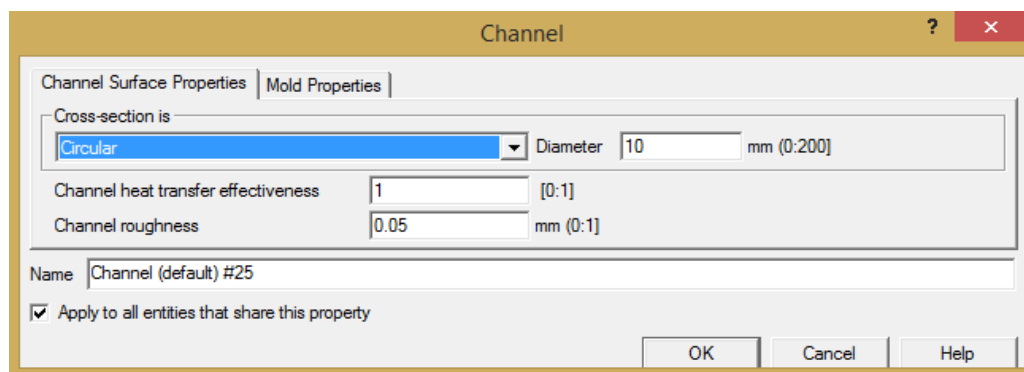
Pada layout *runner* yang hanya memiliki *runner* primer dengan panjang 14 mm dan didapatkan hasil perhitungan diameter minimal sebesar 1,5mm. Untuk diameter *runner* sekunder harus sesuai dengan ketentuannya tidak lebih besar dari diameter primer. Perhitungan *runner* dapat dilihat pada lampiran 2. Berikut untuk perhitungan runner :



Gambar 4.4 Input diameter *runner*

c. Input hasil perhitungan cooling

Hasil perhitungan pada *cooling* meliputi diameter *cooling* sebesar 10 mm dan jarak *cooling* dengan produk sebesar 20 mm. Pada *setting cooling* ada beberapa parameter yang di seting secara *default* seperti *channel heat transfer effectiveness* sebesar 1 yang merupakan efisiensi penyerapan panas dan *channel roughness* yang merupakan kekasaran permukaan saluran pendingin sebesar 0,05 mm. Perhitungan *cooling* dapat dilihat pada lampiran 3.

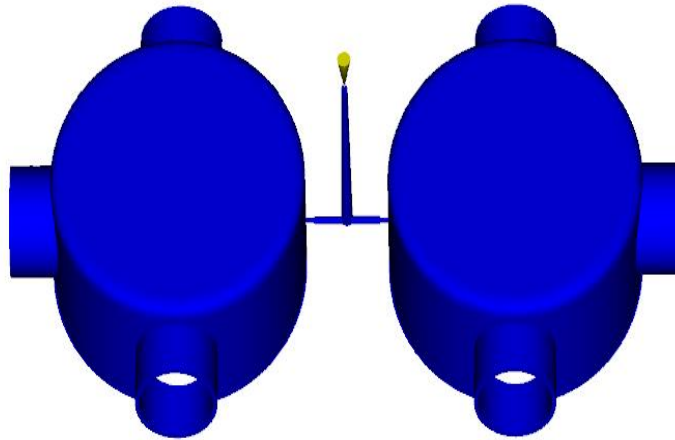


Gambar 4.5 Input diameter *cooling*

#### 4.4 *Runner System*

Pada produk *T-DOST* ini menggunakan *runner system* tipe *cold runner*. Dalam desain *runner system* untuk optimasi menggunakan desain yang sama dengan desain yang sesuai dilapangan serta membuat variasi desain agar dapat dijadikan sebagai desain pembanding untuk hasil *runner system* yang baik. Berikut 2 layout desain *runner system* antara lain :

1. *Layout runner 1*

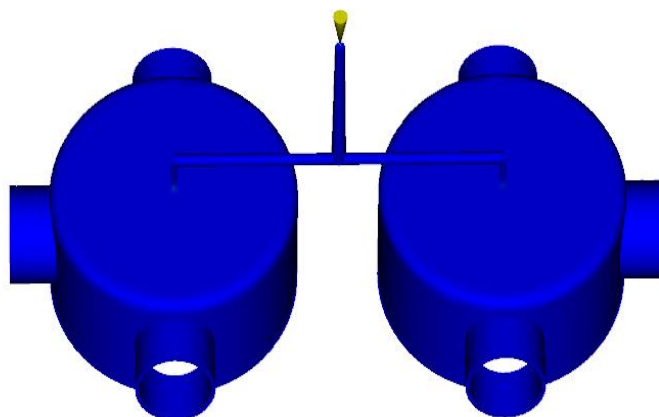


Gambar 4.6 *Layout runner 1*

Keterangan dimensi *layout runner 1* :

- Tinggi *sprue* : 38 mm
- Diameter *sprue* : 2 mm
- Jarak antar produk : 20 mm
- Panjang *runner* : 14 mm
- Diameter *runner* : 1,5 mm
- Diameter *gate* : 0,9 mm

2. *Layout runner 2*



Gambar 4.7 *Layout runner 2*

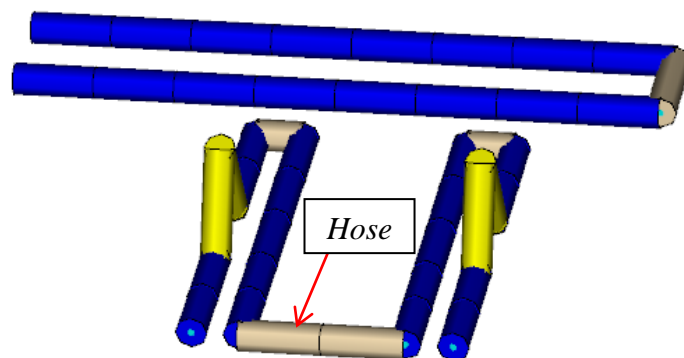
Keterangan dimensi *layout runner 2* :

- Tinggi *sprue* : 35 mm
- Diameter *sprue* : 2,5 mm
- Jarak antar produk : 20 mm
- Panjang *runner* : 82 mm
- Diameter *runner* : 2,5 mm
- Diameter *gate* : 0,9 mm

#### 4.5 Cooling System

Pada produk *T-DOST* ini menggunakan *cooling system* menggunakan tipe *cooling* seri dan tipe *baffle*. Pendinginan jenis saluran ini adalah yang paling umum direkomendasikan dan digunakan, jika saluran pendingin berukuran seragam, pendinginnya bisa mempertahankan laju alir turbulennya. Desain *cooling* yang baik adalah dapat menyerap panas secara baik dan meminimalkan cacat produk seperti pada penelitian ini cacat *short shot* dan *sink mark* pada produk. Untuk itu perlu mendesain beberapa *layout cooling system* untuk memperoleh *cooling system* terbaik dengan membandingkan hasil simulasi *molflow*.

##### 1. Cooling system 1



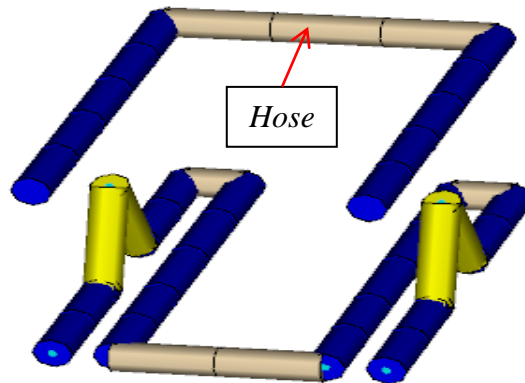
Gambar 4.8 *Layout cooling 1*

Keterangan dimensi *layout cooling system 1* :

- Diameter *channel* : 10 mm
- Panjang *channel* : 202 mm

- Jarak antar produk : 20 mm
- *Inlet* : 2 mm
- *Outlet* : 2 mm

### 2. *Cooling system 2*

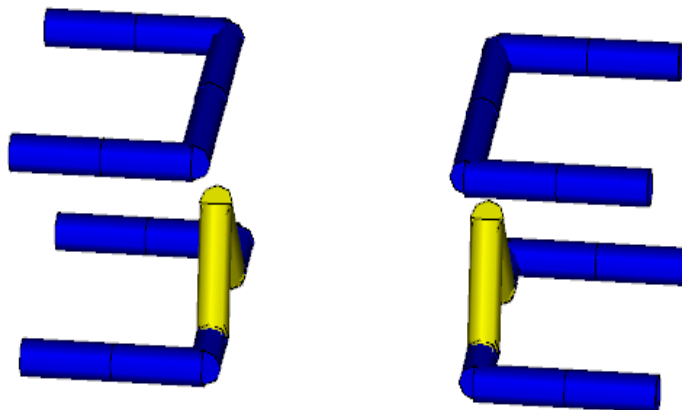


Gambar 4.9 *Layout cooling 2*

Keterangan dimensi *layout cooling system 2* :

- Diameter *channel* : 10 mm
- Panjang *channel* : 115 mm
- Jarak antar produk : 20 mm
- *Inlet* : 2 mm
- *Outlet* : 2 mm

### 3. *Cooling system 3*



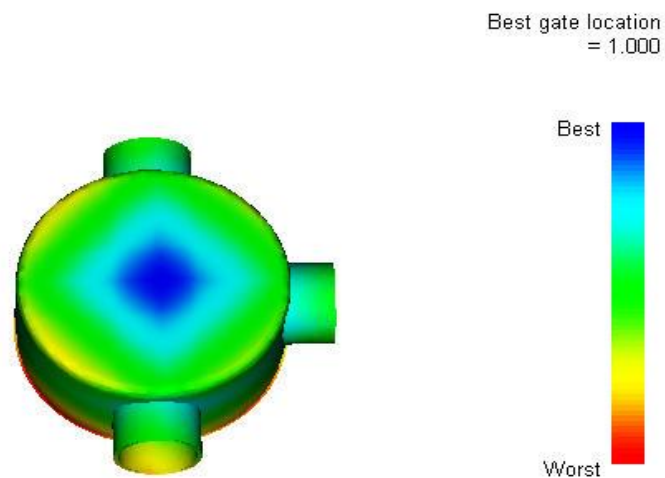
Gambar 4.10 *Layout cooling 3*

Keterangan dimensi *layout cooling system 3* :

- Diameter *channel* : 10 mm
- Panjang *channel* : 55 mm
- Jarak antar produk : 20 mm
- *Inlet* : 4 mm
- *Outlet* : 4 mm

#### 4.6 Analisa *Gate Location*

Gate location merupakan tempat masuknya cairan plastik ke dalam cetakan. Dari hasil analisa *gate location* diperoleh rekomendasi untuk penentuan lokasi *gate* sesuai dari simulasi. Lokasi *gate* yang direkomendasikan dapat dilihat pada gambar 4.11 dengan warna biru, tetapi tidak harus tepat pada lokasi rekomendasi dapat juga pada warna hijau dengan ketentuan masih dalam *range* hijau - biru dan warna merah tidak direkomendasikan untuk penentuan lokasi *gate* karena lokasi yang rawan mengalami terjadinya cacat apabila lokasi *gate* dibuat diwarna merah. Faktor penentuan *gate* juga pada berapa jumlah *cavity* dan tipe cetakan yang digunakan. Maka dari analisa *gate location*, *mold maker* dapat menentukan lokasi *gate* sesuai dengan produk serta memperhitungkan faktor yang mempengaruhi lokasi *gate* agar produk tidak terjadi cacat ketika sudah diproduksi.

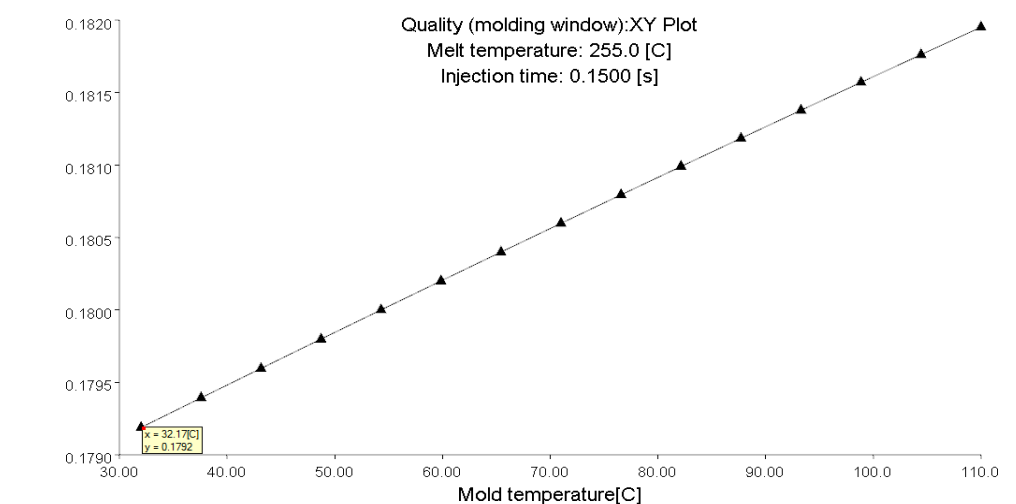


Gambar 4.11 *Gate location*



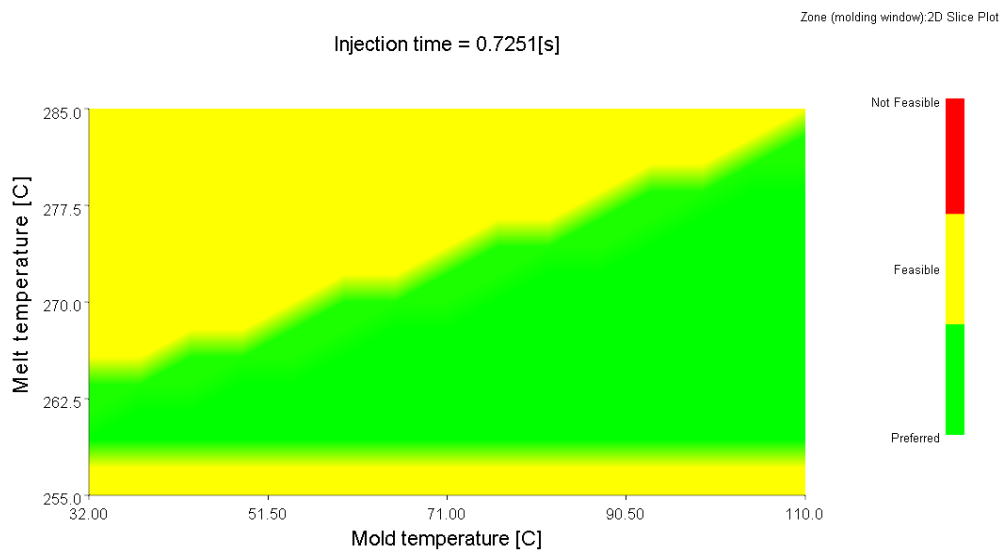
#### 4.7 Analisa *Molding Window*

Analisis *Molding Window* memberi rekomendasi untuk waktu injeksi, suhu cetakan, dan suhu leleh untuk digunakan sebagai masukan awal sebelum dilakukan simulasi *moldflow*. Dari analisis *molding window* didapat rekomendasi-rekomendasi dari beberapa parameter yang diperlukan dalam optimasi. Diperlukan setting parameter untuk meningkatkan kualitas dimana dalam beberapa grafik yang merekomendasikan oleh *molding window* ada beberapa faktor yang digunakan antara lain :



Gambar 4.12 Grafik *quality*

Pada gambar 4.12 menunjukkan grafik rekomendasi *quality* hasil analisa *molding window*. Hasil rekomendasi untuk setting parameter menunjukkan variabel x 100°C dan variabel y 0,1820s dimana variabel tersebut dapat divariasikan. Untuk *melt temperatur* 255°C dan minimum *injection time* berdasarkan dari konstanta *quality*. Dari hasil analisa dapat dijadikan sebagai 0,1500s acuan untuk setting parameter untuk menentukan *melt temperature*, *injection time*, dan *mold temperature* untuk meminimalkan cacat pada produk.



Gambar 4.13 *Zone molding window*

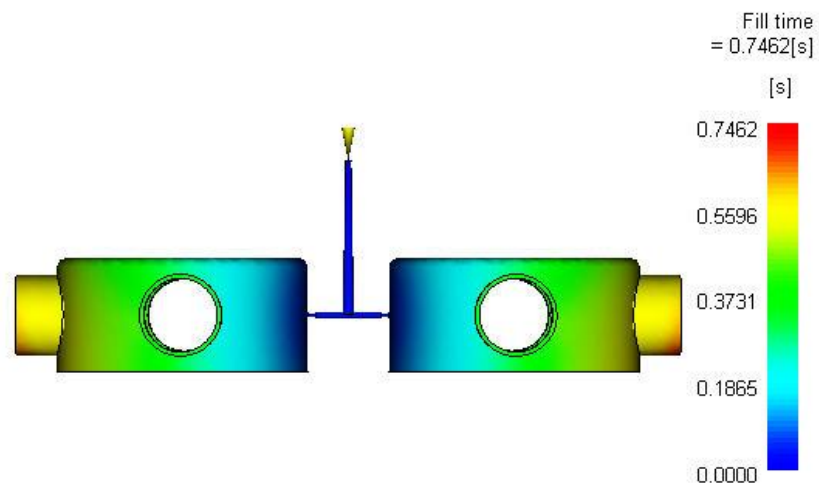
Pada gambar 4.13 menunjukkan *range mold temperature* dan *melt temperature* yang direkomendasikan untuk setting parameter. Dari hasil *molding window*, *range mold temperature* yang direkomendasikan sebesar 32°C – 110°C, *range melt temperature* yang direkomendasikan sebesar 255°C – 285°C dan *range injection time* 0,1500s – 2,280s. Hasil *zone molding window* dapat dijadikan sebagai acuan untuk proses setting level ketika melakukan simulasi *moldflow* dan dalam metode *taguchi*.

Parameter proses yang digunakan untuk menentukan *cooling system* dan *runner system* pada produk yang akan dioptimasi menggunakan *setting default* dari *Autodesk Moldflow Insight* yaitu *mold temperature* 80°C, *melt temperature* 270°C dan *mold open time* 3s yang nantinya akan dibandingkan hasil simulasinya dengan variasi *layout cooling system* dan *runner system*.

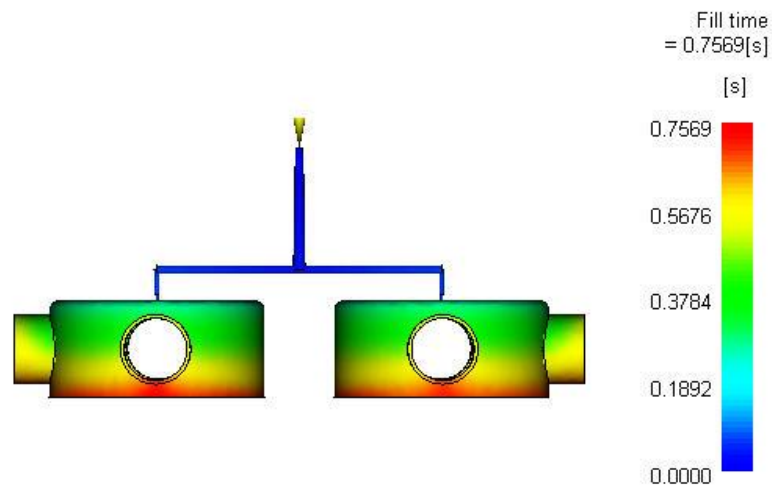
#### 4.8 Hasil Analisa Perbandingan *Layout Runner System*

Pada *layout runner system* ada 2 variasi layout yang akan dibandingkan dalam simulasi *moldflow*. Hasil parameter yang akan dibandingkan adalah analisa *fill time* dan *cavity weight* untuk mengidentifikasi parameter produk dengan tujuan memberikan informasi proses pengisian optimal pada produk. Untuk hasil analisa *fill time* dan *cavity weight* adalah sebagai berikut :

a) Perbandingan analisa *fill time runner 1* dan *runner 2*



Gambar 4.14 Hasil analisa *fill time runner 1*



Gambar 4.15 Hasil analisa *fill time runner 2*

Dari analisa *fill time runner 1* dan *runner 2* dapat dilihat pada gambar 4.14 dan gambar 4.15. Hasil analisa didapat model *runner* yang waktu pengisian material plastik paling cepat yaitu pada *runner 1* dengan waktu pengisian 0,7462s. Dengan waktu pengisian cepat akan berdampak pada waktu produksinya tidak memerlukan waktu yang lama dan model *runner 1* lebih cocok digunakan untuk desain *runner*.

b) Perbandingan analisa *cavity weight runner 1* dan *runner 2*.

Analisa *cavity weight* akan menunjukkan hasil berat suatu produk injeksi plastik. Dari analisa dapat juga dijadikan sebuah parameter untuk mengetahui produk tersebut mengalami cacat *short shot* atau tidak. Semakin besar nilai *cavity weight* yang didapat maka menutup kemungkinan untuk suatu produk injeksi plastik mengalami cacat. Berikut hasil analisa *cavity weight* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil analisa *cavity weight*

No	<i>Layout runner</i>	<i>Cavity weight</i>
1	<i>Runner 1</i>	10,3457 g
2	<i>Runner 2</i>	10,2854 g

Hasil analisa *cavity weight runner 1* dan *runner 2* didapat hasil pada *layout runner 1* sebesar 10,3457g lebih berat daripada *layout runner 2* sebesar 10,2854g. Maka untuk desain *layout runner 1* merupakan model yang lebih direkomendasikan karena berat produk lebih optimal.

Dari desain *layout runner system* didapatkan hasil analisa *fill time* dan *cavity weight* yang paling optimal, yang nantinya akan direkomendasikan untuk dijadikan desain *layout runner system*. Hasil perbandingan analisa *fill time* dan *cavity weight* dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data hasil analisa *fill time* dan *cavity weight*

Analisa Runner	<i>Type runner</i>	
	<i>Runner 1</i>	<i>Runner 2</i>
<i>Fill time</i> (s)	0,7462	0,7569
<i>Cavity weight</i> (gram)	10,3457	10,2854

Hasil perbandingan *type runner* didapatkan hasil yang berbeda. Nilai *fill time* dari hasil analisa yang paling baik adalah yang menunjukkan waktu paling cepat material untuk mengisi cetakan karena nantinya akan berpengaruh pada waktu produksi, sedangkan nilai *cavity weight* yang paling optimal adalah nilai yang paling besar karena menunjukkan berat suatu produk serta minim terjadinya cacat *short shot*.

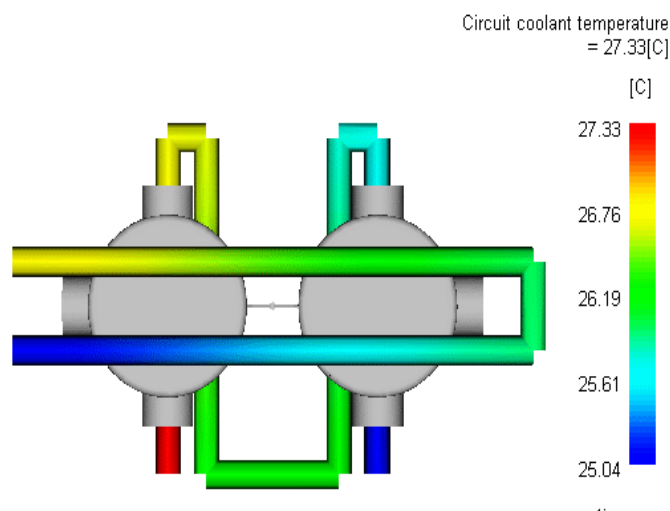
Pada *runner 1* didapat nilai *fill time* sebesar 0,7462s dan *cavity weight* sebesar 10,3457g, sedangkan pada *runner 2* didapat nilai *fill time* sebesar 0,7569s dan *cavity weight* 10,2854g. Maka *type runner* yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisa *fill time* dan *cavity weight* paling optimal adalah *type runner 1* yang menunjukkan hasil paling optimal dibandingkan *type runner 2*.

#### 4.9 Hasil Analisa Perbandingan *Layout Cooling System*

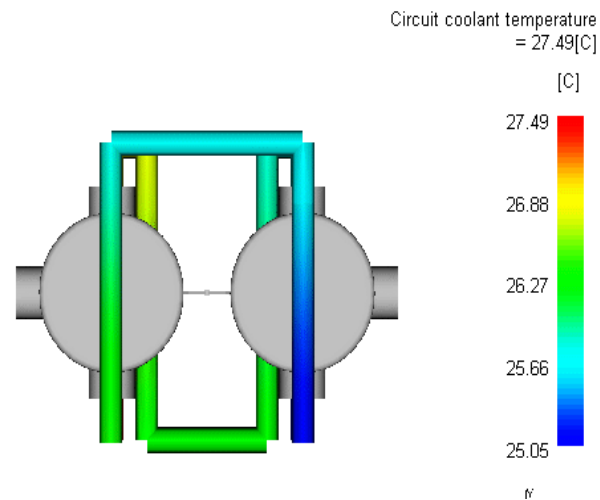
Pada variasi desain *layout cooling system* yang kemudian hasil analisa akan dibandingkan untuk mendapatkan rekomendasi *layout cooling* yang optimal. *Cooling system* yang baik atau optimal yaitu yang dapat mendinginkan secara keseluruhan pada produk dan efisiensi penyerapan panas pada *cooling* maksimal dalam arti efisiensi penyerapan panas tidak terbuang sia-sia. Berikut 3 desain *layout cooling system* dan hasil analisa *cooling system* dari simulasi *moldflow* sebagai berikut :

##### 1. *Circuit coolant temperature*

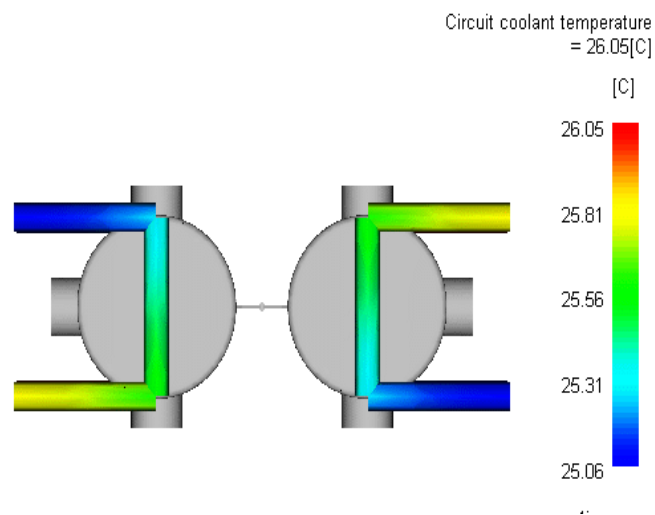
*Circuit coolant temperature* merupakan analisa yang bertujuan untuk mengetahui temperatur suatu *cooling system* ketika proses pengisian material plastik sampai dengan cetakan terisi penuh oleh material tersebut.



Gambar 4.16 Hasil analisa *circuit coolant temperature type 1*



Gambar 4.17 Hasil analisa *circuit coolant temperature type 2*

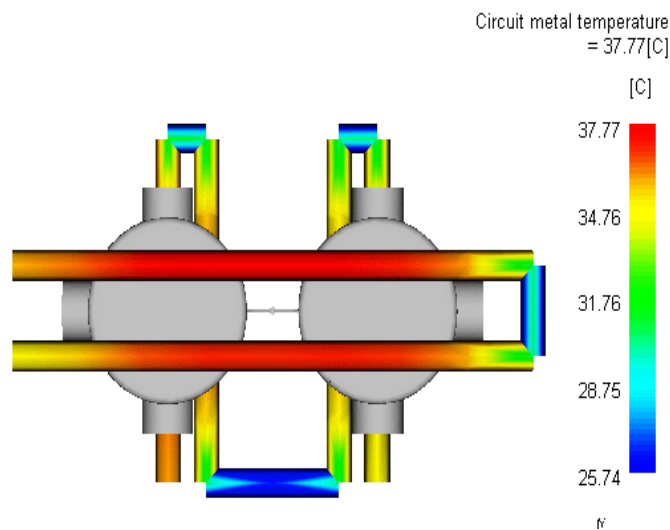


Gambar 4.18 Hasil analisa *circuit coolant temperature type 3*

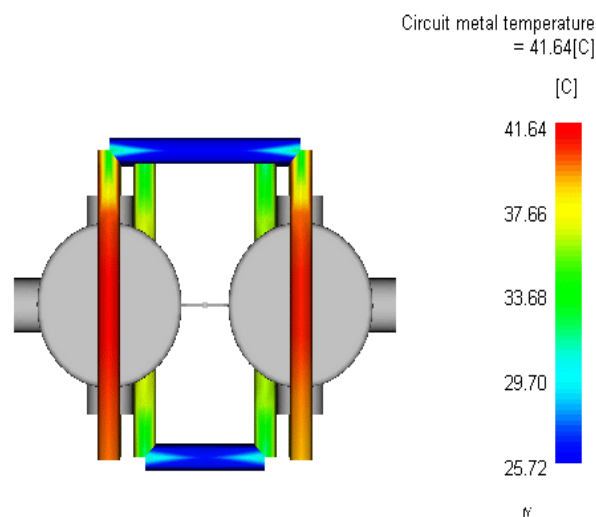
Dari hasil analisa antara temperature *inlet* dan *outlet* yang menunjukkan selisih *temperature* lebih dari 3°C, lintasan *cooling* perlu di *re-design* lagi untuk mencari yang optimal (Riyanto, 2017). Perbedaan yang cukup signifikan tersebut akan mengakibatkan sebuah produk mengalami deformasi. Selisih yang ditunjukkan pada *circuit cooling type 1* sebesar 2,29°C, *circuit cooling type 2* sebesar 2,44°C dan *circuit cooling type 3* sebesar 0,99°C. Hasil analisa dari ketiga tipe *cooling* menunjukkan hasil yang paling baik merupakan yang mempunyai nilai selisih paling rendah yaitu pada *circuit coolant temperature type 3* dengan selisih sebesar 0,99°C.

## 2. *Circuit metal temperature*

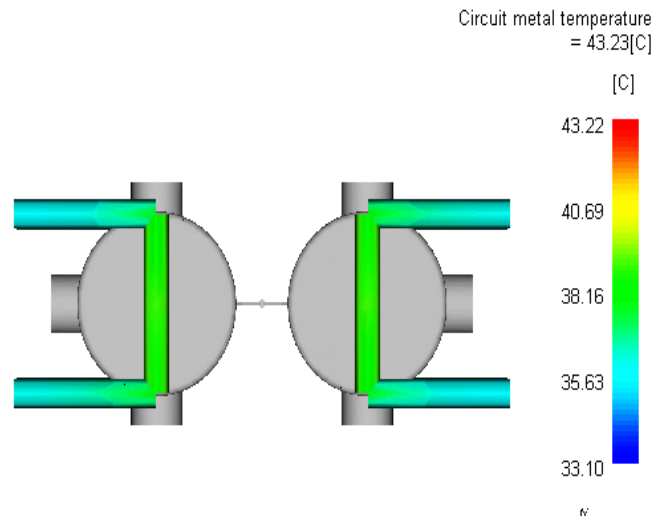
*Circuit metal temperature* merupakan analisa yang bertujuan untuk mengetahui temperature tertinggi pada di dalam *cooling* ketika proses pendinginan material plastik yang telah memenuhi cetakan. Pada hasil analisa ini yang menunjukkan temperature paling rendah merupakan *cooling* yang paling baik karena untuk menjaga kestabilan fluida cair ketika proses pendinginan berlangsung.



Gambar 4.19 Hasil analisa *circuit metal temperature type 1*



Gambar 4.20 Hasil analisa *circuit metal temperature type 2*

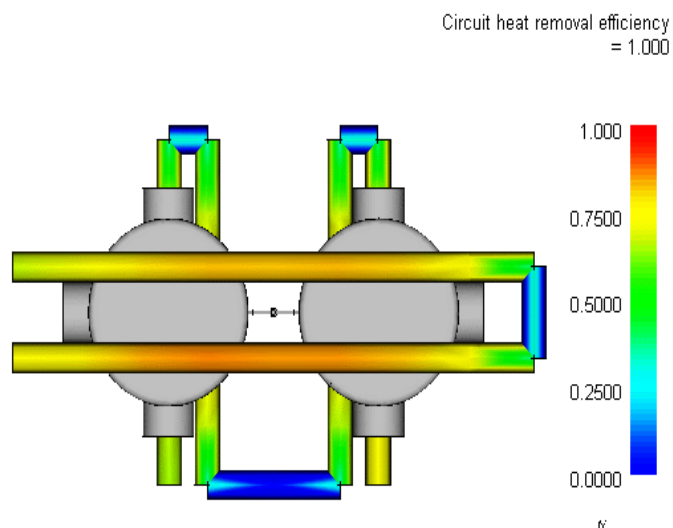


Gambar 4.21 Hasil analisa *circuit metal temperature type 3*

Temperature paling tinggi ditunjukkan dengan indikator warna merah pada hasil analisa circuit metal temperature yang dapat dilihat pada gambar 4.19, gambar 4.20 dan gambar 4.21. Dari hasil analisa *circuit metal temperature* ketiga tipe *cooling* didapatkan pada *cooling type 1* merupakan yang paling rendah sebesar 37,77°C sedangkan *cooling type 2* sebesar 41,64°C dan *cooling type 3* sebesar 43,23°C.

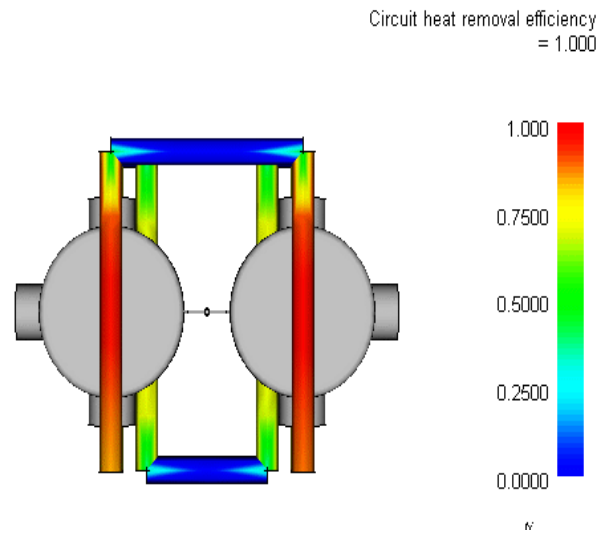
### 3. *Circuit heat removal efficiency*

*Circuit heat removal efficiency* merupakan analisa yang bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyerapan panas oleh cooling ketika pendinginan produk.

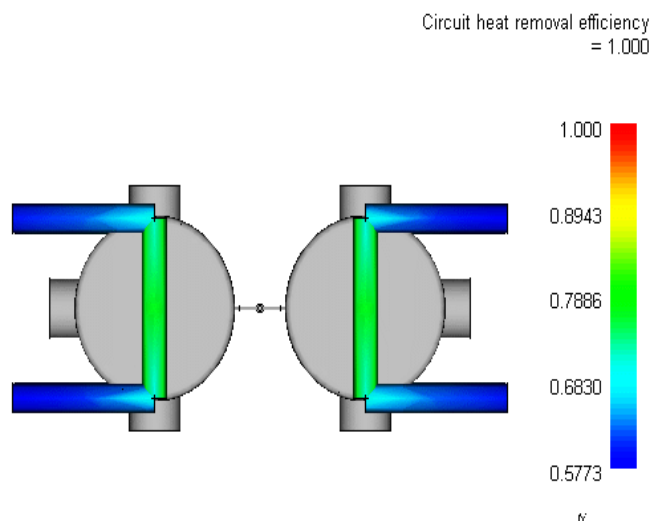


Gambar 4.22 Hasil analisa *Circuit heat removal efficiency type 1*





Gambar 4.23 Hasil analisa *Circuit heat removal efficiency type 2*



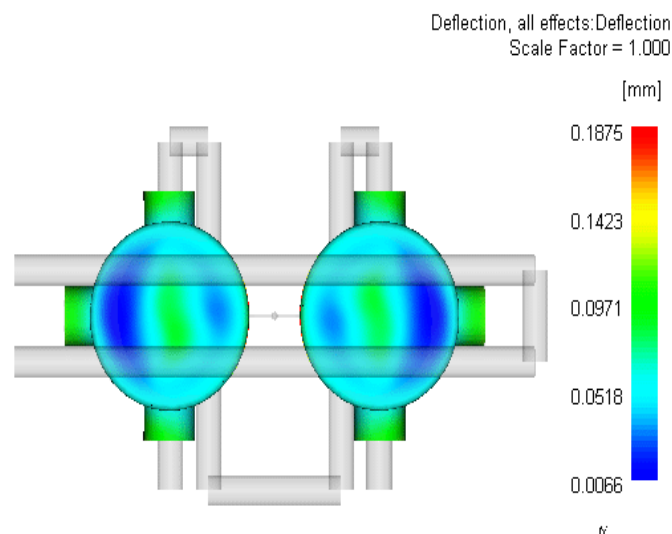
Gambar 4.24 Hasil analisa *Circuit heat removal efficiency type 3*

Indikator warna merah pada hasil analisa menunjukkan daerah efisiensi yang paling tinggi ketika penyerapan panas dan sebaliknya warna biru merupakan efisiensi daerah penyerapan panas yang paling kecil. Proses penyerapan panas yang baik merupakan penyerapan panas secara merata. Tipe *cooling* yang memiliki penyerapan panas yang tinggi sangat direkomendasikan untuk mempercepat pendinginan produk. Pada hasil analisa *Circuit heat removal efficiency* gambar 4.22 menunjukkan 0,0000, 0,2500, 0,5000, 0,7500, 1,000, gambar 4.23 menunjukkan 0,0000, 0,2500, 0,5000, 0,7500, 1,000 dan gambar 4.24 0,5773,

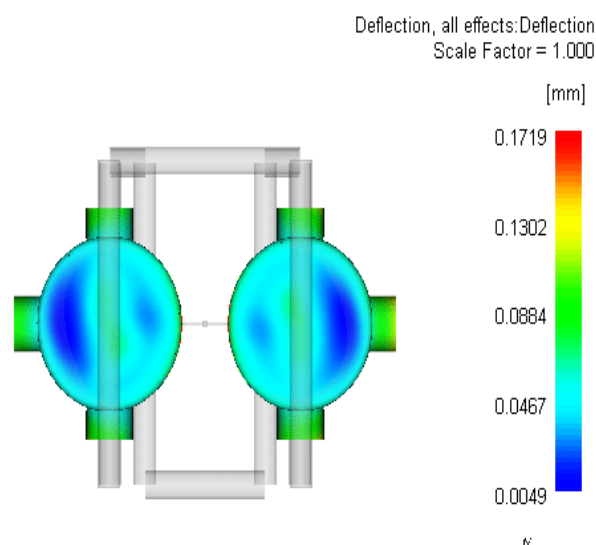
0,6830, 0,8943, 1,000. *Cooling type 3* merupakan type cooling yang mempunyai nilai efisiensi paling tinggi dan baik ketika pendinginan suatu produk.

#### 4. *Deflection, all effects:Deflection*

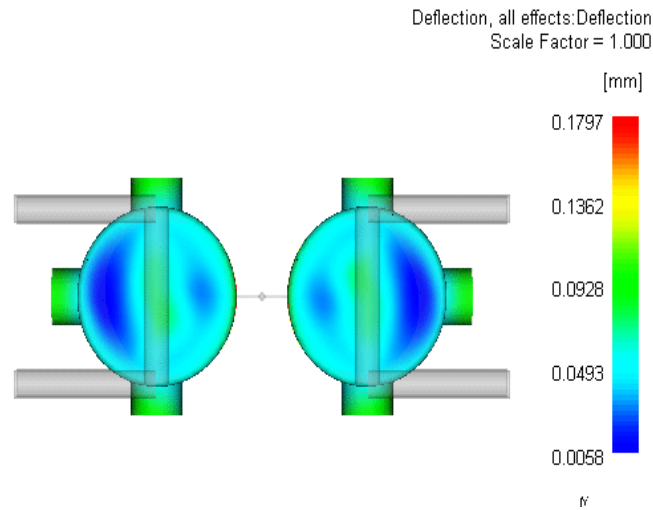
*Deflection, all effects:Deflection* merupakan analisa yang bertujuan untuk mengetahui efek defleksi pada sumbu arah x,y dan z yang terjadi ketika proses pendinginan produk. Warna merah pada hasil analisa menunjukkan daerah yang mengalami defleksi yang paling tinggi. Defleksi terjadi karena penempatan *cooling* kurang maksimal dengan bentuk produk yang tidak sesuai.



Gambar 4.25 Hasil analisa *Deflection, all effects:Deflection type 1*



Gambar 4.26 Hasil analisa *Deflection, all effects:Deflection type 2*

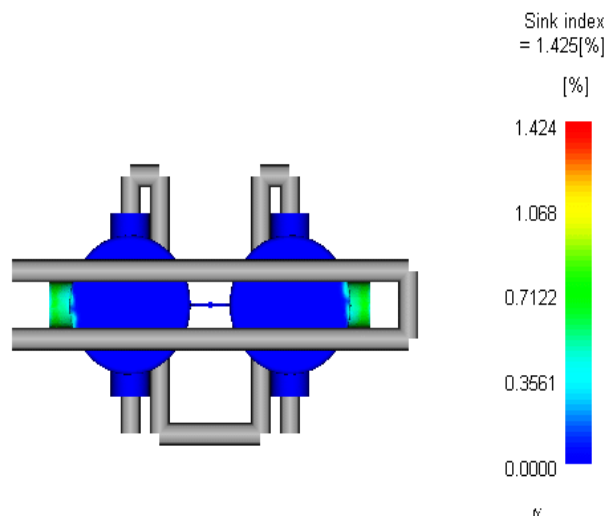


Gambar 4.27 Hasil analisa *Deflection, all effects: Deflection type 3*

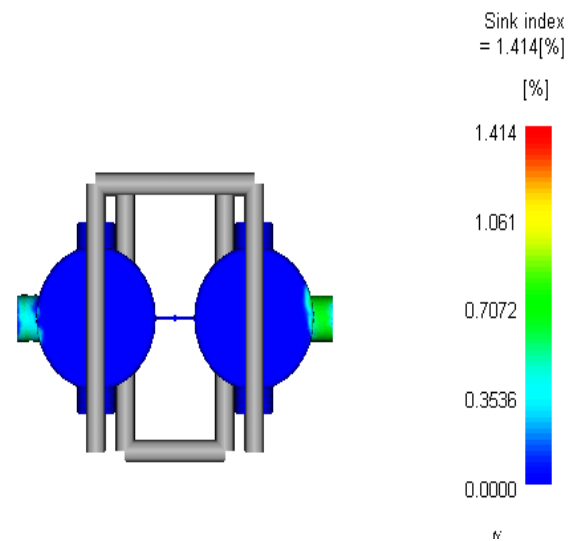
Hasil analisa defleksi paling kecil merupakan hasil yang paling diinginkan. Pada gambar 4.25 menunjukkan hasil defleksi sebesar 0,1875mm, pada gambar 4.26 sebesar 0,1719mm dan gambar 4.27 sebesar 1,797mm. Dari ketiga analisa didapat analisa paling kecil mengalami defleksi paling kecil adalah pada gambar 4.26 tapi perbedaannya tidak signifikan sehingga masih bisa digunakan.

##### 5. *Sink mark index*

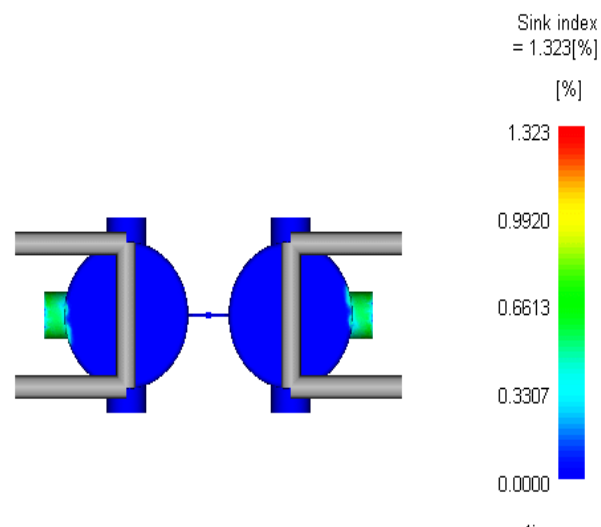
*Sink mark index* merupakan analisa yang bertujuan untuk mengetahui penyusutan yang terjadi pada produk ketika proses pendinginan yang berbeda. *Sink marks* muncul pada bagian dinding yang memiliki ketebalan berbeda.



Gambar 4.28 Hasil analisa *sink mark index type 1*



Gambar 4.29 Hasil analisa *sink mark index type 2*



Gambar 4.30 Hasil analisa *sink mark index type 3*

Dalam analisa ini direkomendasikan yang mengalami *sink mark* terkecil karena terjadi kemungkinan cacat *sink marks* juga akan semakin kecil. Dari hasil analisa *sink mark index* didapatkan nilai presentase yang mengalami *sink marks* terkecil yaitu pada *cooling type 3* sebesar 1.323%, sedangkan pada *cooling type 1* sebesar 1,425% dan *cooling type 2* sebesar 1,414%. Daerah yang mengalami *sink mark* terbesar pada analisa ditunjukkan oleh indikator warna merah pada produk.

## 6. *Cavity weight*

*Cavity weight* merupakan analisa yang bertujuan untuk mengetahui berat suatu produk jadi dari proses injeksi plastik. Berat suatu produk dapat dijadikan sebagai parameter produk injeksi tersebut mengalami cacat *short shot* atau tidak. Semakin berat produk injeksi maka kemungkinan terjadinya cacat *short shot* semakin kecil. Desain *cooling* yang baik akan berpengaruh pada hasil analisa *cavity weight* karena semakin baik distribusi pendinginan *cooling* pada produk hasil produk juga akan semakin maksimal.

Tabel 4.4 Analisa *cavity weight*

No	<i>Layout cooling</i>	<i>Cavity weight</i>
1	<i>Type 1</i>	10,95 g
2	<i>Type 2</i>	10,44 g
3	<i>Type 3</i>	10,95 g

Dari hasil analisa *cavity weight* didapatkan nilai berat terbesar pada produk yaitu pada *cooling type 1* dan *cooling type 3* yang mempunyai berat yang sama sebesar 10,95g. Kedua tipe *cooling* dapat digunakan karena mempunyai berat produk yang sama akan tetapi juga memperhitungkan hasil analisa lain pada setiap *cooling* untuk menentukan salah satu *cooling* dapat direkomendasikan untuk digunakan.

Dari desain *cooling system* didapatkan hasil analisa diantaranya *Circuit coolant temperature*, *Circuit metal temperature*, *Circuit heat removal efficiency*, *Deflection*, *all effects:Deflection*, *Sink mark index* dan *Cavity weight*. Setiap analisa dapat dijadikan parameter dan dibandingkan untuk memilih tipe *cooling* setiap analisisnya. Keseluruhan hasil analisa akan dijadikan perbandingan antar tipe *cooling* yang akan dijadikan sebagai rekomendasi. Dari hasil analisa tersebut akan diperoleh *type cooling* yang paling banyak memiliki rekomendasi yang paling optimal dan selanjutnya akan dijadikan sebagai rekomendasi desain *cooling system*. Hasil analisa perbandingan *cooling system* dapat dilihat pada tabel 4.5.

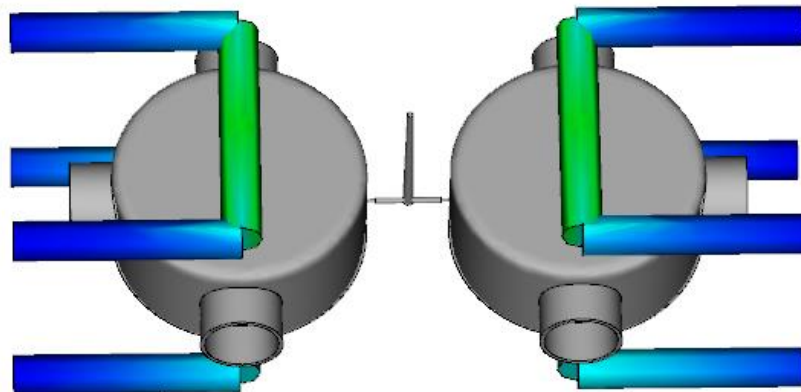
Tabel 4.5 Hasil analisa perbandingan *cooling system*

Analisa Cooling	Type Cooling		
	Type 1	Type 2	Type 3
<i>Circuit coolant temperature (°C)</i>	27,33	27,49	26,05
<i>Circuit metal temperature (°C)</i>	37,77	41,64	43,23
<i>Circuit heat removal efficiency</i>	0,2500- 0,7500	0,2500- 0,7500	0,5773- 0,8943
<i>Deflection, all effects:Deflection (mm)</i>	0,1875	0,1719	0,1797
<i>Sink mark index (%)</i>	1,425	1,1414	1,323
<i>Cavity weight (gram)</i>	10,95	10,44	10,95

Dari hasil analisa perbandingan *cooling system* didapatkan rekomendasi tipe yang paling optimal adalah *cooling type 3* karena paling banyak hasil nilai parameter yang masuk dalam rekomendasi dibanding *cooling tipe* lainnya seperti *Circuit coolant temperature*, *Circuit heat removal efficiency*, *Sink mark index*, dan *Cavity weight*. Maka *cooling type 3* merupakan rekomendasi yang paling optimal untuk meminimalkan cacat *sink mark* dan *cavity weight* pada produk *T-DOST*.

#### 4.10 Hasil Desain *Layout Runner System* dan *Layout Cooling System*

Dari hasil perbandingan *layout runner system* dan *layout cooling system* didapatkan rekomendasi desain *runner* dan *cooling* yang optimal untuk meminimalkan cacat *short shot* dan *sink mark* pada produk *T-DOST*. Desain *runner type 1* dan desain *cooling type 3* adalah rekomendasi desain yang optimal. Rekomendasi desain diperoleh dari analisa *layout runner* dan analisa *layout cooling*.



Gambar 4.31 Desain *runner* dan *cooling* rekomendasi

#### 4.11 Penentuan Nilai Faktor dan Level Parameter Proses

Dari analisa *molding window* pada penjelasan 4.7 didapatkan beberapa rekomendasi parameter proses dimana rekomendasi dari *moldflow* dapat mencapai hasil yang ingin dicapai yaitu meminimalkan cacat short shot dan sink mark.

Tabel 4.6 Rekomendasi parameter proses untuk simulasi *moldflow*

<i>Melt Temperature</i>	270 °C	
<i>Mold Temperature</i>	80 °C	
<i>Mold Open Time</i>	3 s	
<i>Injection+Packing+Cooling Time</i>	<i>Automatic</i>	
<i>Filling Control</i>	<i>Automatic</i>	
<i>Injection Pressure</i>	120 MPa	
<i>Pack/Holding Control</i>	<i>(Time vs Packing Pressure)</i>	
	Duration (s)	Packing Pressure (Mpa)
	0	100
	1	100
	1,1	0
<i>Injection Molding Machine</i>	15 Ton	

Pada tabel 4.6 merupakan beberapa parameter proses yang direkomendasikan oleh *Autodesk Moldflow Insight 2016*. Berdasarkan hasil rekomendasi parameter

proses dari moldflow ada beberapa parameter yang tidak didapatkan seperti *injection pressure*, *holding time* dan *packing pressure* yang ketiganya diperoleh dari (Goodship, 2014). *Injection molding machine* dipilih sesuai dengan perhitungan *clamping force* yang didapat sebesar 15 ton. Perhitungan *clamping force* dapat dilihat pada lampiran 4.

Penentuan faktor untuk optimasi yang berpengaruh pada *sink mark* didapatkan dari penelitian (Budiyantoro, 2016) yang menjelaskan bahwa *holding time*, *injection pressure*, *mold temperature* dan *melt temperature* merupakan parameter proses untuk mendapatkan nilai *sink mark* minimum yang dapat dilihat pada tabel 4.7. Pada penentuan nilai *injection pressure* dan *holding time* diperoleh dari (Goodship, 2014) sedangkan penentuan nilai parameter *melt temperature* dan *mold temperature* didapatkan dari hasil rekomendasi *molding window*.

Tabel 4.7 Setting faktor dan level parameter proses optimasi

*sink mark* dan *short shot*

Factor	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
(A) Injection pressure (Mpa)	100	125	150	175
(B) Melt Temperature (°C)	255	265	275	285
(C) Mold Temperature (°C)	40	60	80	100
(D) Holding Time (s)	1	2	3	4

Penentuan faktor untuk optimasi yang berpengaruh pada *short shot* didapatkan dari studi literatur (Holiyan, 2017) yang menjelaskan bahwa *holding time*, *injection pressure*, *mold temperature* dan *melt temperature* merupakan beberapa parameter yang dapat menentukan terjadinya *short shot* yang dapat dilihat pada tabel 4.7. Pada penentuan nilai *injection pressure* dan *holding time* diperoleh dari (Goodship, 2014) sedangkan penentuan nilai parameter *melt temperature* dan *mold temperature* dari hasil rekomendasi *molding window*.

#### 4.12 Design Of Experiment (DOE) dengan Metode Taguchi

*Design of experiment* digunakan untuk melakukan kombinasi faktor dan level yang telah ditentukan secara bervariasi yang hasilnya nanti dapat diamati untuk analisa faktor dan level yang berpengaruh terhadap optimasi. Software Minitab 2016 digunakan dalam pengolahan data faktor dan level menggunakan



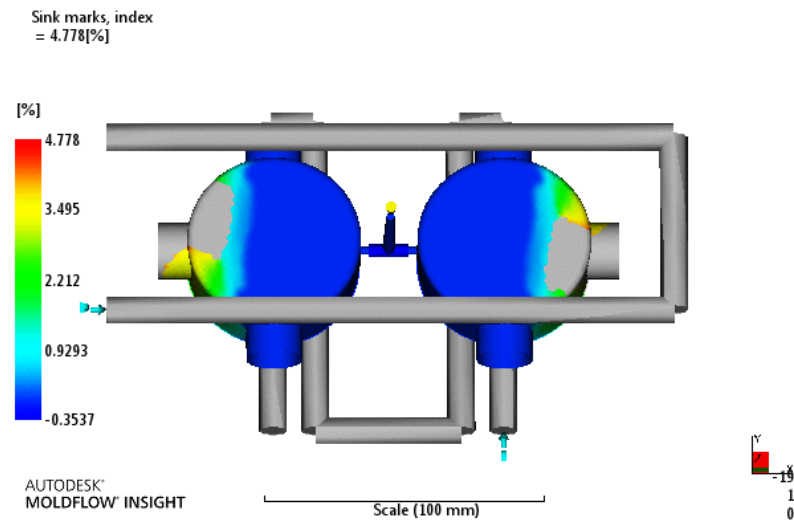
metode taguchi. Dalam penelitian ini pengacakan faktor dan level menggunakan matriks orthogonal L16 ( $4^4$ ) maka pada penelitian ini jumlah percobaan yang akan dilakukan sebanyak 16 percobaan, 4 level dengan nilai rata-rata awal sebagai nilai awal pada setiap respon. Data percobaan dan faktor dengan metode taguchi untuk optimasi *sink mark* dan *short shot* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data percobaan dan faktor dengan metode *taguchi* untuk optimasi *sink mark*

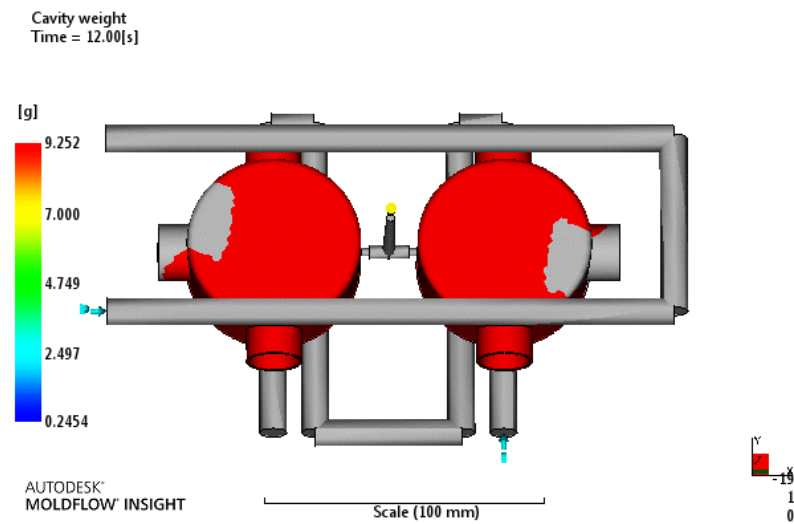
Percobaan	Faktor			
	<i>Injection pressure</i> (MPa)	<i>Melt Temperature</i> (C°)	<i>Mold Temperature</i> (C°)	<i>Holding Time</i> (s)
1	100	255	40	1
2	100	265	60	2
3	100	275	80	3
4	100	285	100	4
5	125	255	60	3
6	125	265	40	4
7	125	275	100	1
8	125	285	80	2
9	150	255	80	4
10	150	265	100	3
11	150	275	40	2
12	150	285	60	1
13	175	255	100	2
14	175	265	80	1
15	175	275	60	4
16	175	285	40	3

#### 4.13 Hasil Percobaan Dengan Simulasi *Moldflow*

Hasil simulasi produk yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai *sink mark* dan nilai *short shot*. Pada gambar 4.33 dan 4.34 menunjukkan hasil simulasi *initial condition produk* sesuai dengan parameter proses yang ada pada industri plastik.



Gambar 4.32 Sink mark initial condition



Gambar 4.33 Short shot initial condition

Tabel 4.9 Hasil simulasi optimasi sink mark

Percobaan	Faktor				Parameter				Hasil Sink mark (%)
	Injection Pressure	Melt Temperature	Mold Temperature	Injection Time	Injection Pressure (MPa)	Melt Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)	Holding Time (s)	
1	1	1	1	1	100	255	40	1	4,038
2	1	2	2	2	100	265	60	2	4,217
3	1	3	3	3	100	275	80	3	5,012
4	1	4	4	4	100	285	100	4	4,746
5	2	1	2	3	125	255	60	3	4,826
6	2	2	1	4	125	265	40	4	4,538
7	2	3	4	1	125	275	100	1	5,066
8	2	4	3	2	125	285	80	2	4,460
9	3	1	3	4	150	255	80	4	4,603
10	3	2	4	3	150	265	100	3	4,143
11	3	3	1	2	150	275	40	2	4,822
12	3	4	2	1	150	285	60	1	4,148
13	4	1	4	2	175	255	100	2	4,343
14	4	2	3	1	175	265	80	1	4,842
15	4	3	2	4	175	275	60	4	4,968
16	4	4	1	3	175	285	40	3	2,586

Tabel 4.10 Hasil simulasi optimasi *short shot*

Percobaan	Faktor				Parameter				Hasil Cavity weight (g)
	Injection Pressure	Melt Temperature	Mold Temperature	Injection Time	Injection Pressure (MPa)	Melt Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)	Holding Time (s)	
1	1	1	1	1	100	255	40	1	4,66
2	1	2	2	2	100	265	60	2	4,45
3	1	3	3	3	100	275	80	3	5,23
4	1	4	4	4	100	285	100	4	4,27
5	2	1	2	3	125	255	60	3	5,86
6	2	2	1	4	125	265	40	4	6,46
7	2	3	4	1	125	275	100	1	5,87
8	2	4	3	2	125	285	80	2	8,28
9	3	1	3	4	150	255	80	4	7,46
10	3	2	4	3	150	265	100	3	6,65
11	3	3	1	2	150	275	40	2	8,69
12	3	4	2	1	150	285	60	1	9,21
13	4	1	4	2	175	255	100	2	8,15
14	4	2	3	1	175	265	80	1	9,52
15	4	3	2	4	175	275	60	4	9,76
16	4	4	1	3	175	285	40	3	10,31

Pada tabel 4.9 menunjukkan hasil simulasi optimasi *sink mark* yang dilakukan sebanyak 16 kali percobaan dengan 4 faktor yang dikombinasikan menggunakan metode *taguchi* L16 ( $4^4$ ). Pemilihan parameter terbaik pada optimasi ini adalah dengan nilai *sink mark* terendah. Dari tabel 4.9 didapatkan hasil dari optimasi yang mempunyai respon *sink mark* terendah terdapat pada percobaan ke-16 sebesar 2,856% dengan parameter proses *injection pressure* 175Mpa, *mold temperature* 40°C, *melt temperature* 285°C dan *holding time* 3s. Hasil optimasi *sink mark* ini lebih baik dari *initial condition* dengan respon *sink mark* sebesar 4,778% dan parameter proses *mold temperature* 82°C, *melt temperature* 280°C dan *injection time* 2s. Nilai respon *sink mark* yang lebih rendah rendah akan meminimalkan terjadinya perubahan dimensi yang biasanya berbentuk cekungan pada produk atau bentuk tidak sesuai dengan cetakan.

Pada tabel 4.10 menunjukkan hasil simulasi optimasi *short shot* yang dilakukan sebanyak 16 kali percobaan dengan 4 faktor yang dikombinasikan menggunakan metode *taguchi* L16 ( $4^4$ ). Pemilihan parameter terbaik pada optimasi ini adalah dengan mengukur massa produk hasil simulasi yang dapat dilihat pada *result* dengan melihat parameter *cavity weight*. Produk yang mempunyai massa lebih besar akan dipilih dalam optimasi ini karena memiliki kepadatan material yang baik dan potensi mengalami cacat *short shot* lebih kecil. Sebaliknya jika produk mempunyai massa yang lebih kecil tidak akan dipilih karena potensi mengalami cacat *short shot* lebih besar. Dari tabel 4.10 didapatkan hasil dari optimasi *short shot* terbesar pada percobaan ke-16 sebesar 10,31gram dengan parameter proses *injection pressure* 175Mpa, *mold temperature* 40°C, *melt temperature* 285°C dan *holding time* 3s. Hasil optimasi *short shot* ini lebih baik dari *initial condition* dengan nilai *short shot* sebesar 9,252gram dengan parameter proses *mold temperature* 82°C, *melt temperature* 280°C dan *injection time* 2s. Berdasarkan hasil simulasi percobaan ke-16 yang dilakukan dengan parameter tersebut dapat dipastikan produk tidak mengalami cacat *short shot*.

#### 4.14 Analisa S/N Ratio

Dari hasil percobaan simulasi dengan parameter proses yang telah dilakukan pengancakan, selanjutnya hasil simulasi digunakan untuk menghitung *S/N ratio*. Perhitungan dapat dilakukan secara manual dan dapat dilakukan menggunakan *software minitab 2016* untuk mengetahui hasil responnya. Pada optimasi parameter proses ini bertujuan untuk mereduksi *sink mark* dengan options *S/N ratio small is better* karena nilai paling rendah merupakan nilai terbaik dalam optimasi ini. Sedangkan pada optimasi parameter proses yang bertujuan mereduksi *short shot* dengan options *S/N ratio large is better* karena nilai paling besar merupakan nilai terbaik dalam optimasi ini.

A. Perhitungan *S/N ratio* optimasi *sink mark*

Diketahui :

$n$  : 16

$y_i$  : 11,57 %

Ditanya :

$s_s$  : ...?

*S/N Ratio* level 1 pada faktor *injection pressure* : ...?

Jawab :

$$a. s_s = -10 L \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right]$$

$$s_s = -10 L \left[ \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} 11,57^2 \right]$$

$$= -12,123$$

$$b. \text{Level 1} = \frac{((-12,123)+(-12,5)+(-14)+(-13,527))}{4}$$

$$= -13,04$$

Perhitungan *S/N ratio* optimasi *sink mark* merupakan contoh perhitungan *S/N Ratio small is better* pada level 1 dan perhitungan respon *S/N Ratio* pada level 1 dengan faktor *injection pressure*. Kemudian perhitungan level dan faktor selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dengan perhitungan diatas, yang semua hasil perhitungan dinyatakan dalam tabel 4.11.

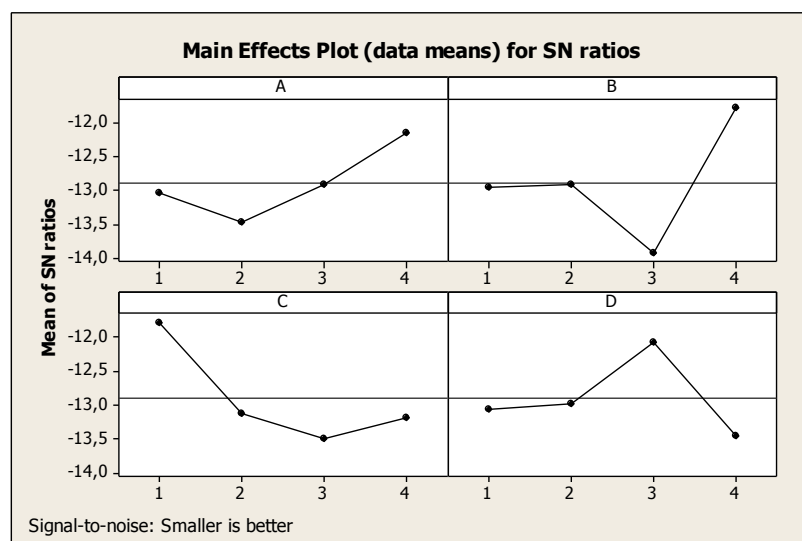
Tabel 4.11 Nilai S/N Ratio optimasi sink mark

Percobaan	Faktor				Sink mark (%)	S/N Ratio sink mark
	Injection Pressure	Melt Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)	Holding Time (s)		
1	100	255	40	1	4,038	-12,123
2	100	265	60	2	4,217	-12,5
3	100	275	80	3	5,012	-14
4	100	285	100	4	4,746	-13,527
5	125	255	60	3	4,826	-13,672
6	125	265	40	4	4,538	-13,137
7	125	275	100	1	5,066	-14,093
8	125	285	80	2	4,46	-12,987
9	150	255	80	4	4,603	-13,261
10	150	265	100	3	4,143	-12,346
11	150	275	40	2	4,822	-13,665
12	150	285	60	1	4,148	-12,357
13	175	255	100	2	4,343	-12,756
14	175	265	80	1	4,842	-13,701
15	175	275	60	4	4,968	-13,924
16	175	285	40	3	2,586	-8,2526

Tabel 4.12 Respon S/N Ratio optimasi *sink mark*

Level	<i>Injection Pressure</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Holding Time</i>
1	-13,04	-12,95	-11,79	-13,07
2	-13,47	-12,92	-13,11	-12,98
3	-12,91	-13,92	-13,49	-12,07
4	-12,16	-11,78	-13,18	-13,46
Delta	1,31	2,14	1,69	1,39
Rank	4	1	2	3

Respon S/N ratio optimasi *sink mark* dari pengacakan level parameter proses menunjukkan *noise* terbesar pada setiap parameter prosesnya. Dari keempat parameter proses didapatkan parameter proses yang paling berpengaruh adalah *melt temperature*. Hasil respon optimasi *sink mark* yang paling berpengaruh terhadap optimasi ini adalah pada parameter proses *injection pressure* pada level 4 (175 Mpa), *melt temperature* pada level 4 (285°C), *mold temperature* pada level 1 (40°C) dan *holding time* pada level 3 (3 detik).

Gambar 4.34 Main plot effect S/N Ratio pada optimasi *sink mark*



*Main plot effect S/N Ratio* pada optimasi *sink mark* dapat dilihat pada gambar 4.34, dimana didapatkan nilai terendah pada parameter proses *melt temperature* sebesar -13,92 parameter tersebut paling berpengaruh terhadap terjadinya cacat *sink mark*.

#### B. Perhitungan S/N ratio optimasi *short shot*

Optimasi parameter proses yang bertujuan mereduksi *short shot* dengan options *S/N ratio large is better* karena nilai paling besar merupakan nilai terbaik dalam optimasi ini. Nilai *short shot* diambil berdasarkan *cavity weight* yang paling besar. Berikut perhitungan S/N ratio untuk optimasi *short shot*.

Diketahui :

$n$  : 16

$y_i$  : 4,66 gram

Ditanya :

$s_L$  : ...?

S/N Ratio level 1 pada faktor *injection pressure* : ...?

Jawab :

$$a. \quad s_L = -10 L \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

$$s_L = -10 L \left[ \frac{1}{1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{4,66^2} \right]$$

$$= 13,3677$$

$$b. \quad \text{Level 1} = \frac{13,3677+12,9672+14,37+12,6086}{4}$$

$$= 13,33$$

Perhitungan S/N ratio optimasi *short shot* merupakan contoh perhitungan S/N Ratio *large is better* pada level 1 dan perhitungan respon S/N Ratio pada level 1 dengan faktor *injection pressure*. Kemudian perhitungan level dan faktor selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dengan perhitungan diatas, yang semua hasil perhitungan dinyatakan dalam tabel 4.13.

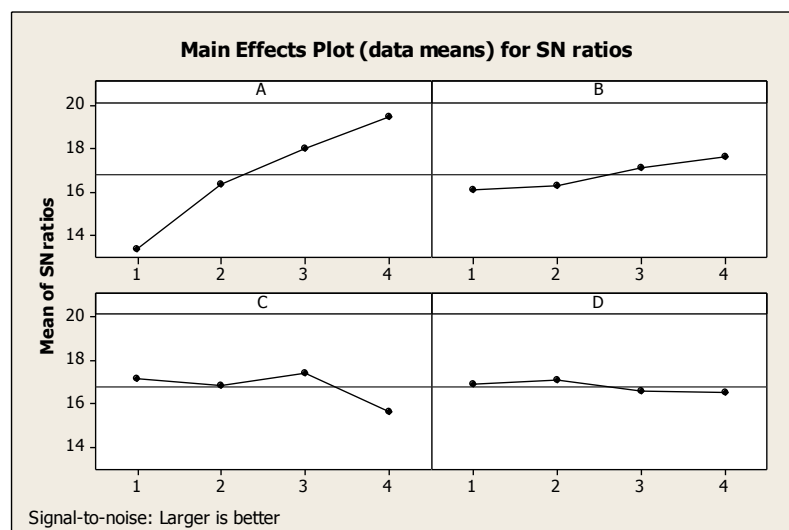
Tabel 4.13 Nilai S/N Ratio optimasi *short shot*

Percobaan	Faktor				Cavity Weight (g)	S/N Ratio Cavity weight
	Injection Pressure	Melt Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)	Holding Time (s)		
1	100	255	40	1	4,66	13,3677
2	100	265	60	2	4,45	12,9672
3	100	275	80	3	5,23	14,37
4	100	285	100	4	4,27	12,6086
5	125	255	60	3	5,86	15,358
6	125	265	40	4	6,46	16,2047
7	125	275	100	1	5,87	15,3728
8	125	285	80	2	8,28	18,3606
9	150	255	80	4	7,46	17,4548
10	150	265	100	3	6,65	16,4564
11	150	275	40	2	8,69	18,7804
12	150	285	60	1	9,21	19,2852
13	175	255	100	2	8,15	18,2232
14	175	265	80	1	9,52	19,5727
15	175	275	60	4	9,76	19,789
16	175	285	40	3	10,31	20,2652

Tabel 4.14 Respon S/N Ratio optimasi *short shot*

Level	<i>Injection Pressure</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Holding Time</i>
1	13,33	16,10	17,15	16,90
2	16,32	16,30	16,85	17,08
3	17,99	17,08	17,44	16,61
4	19,46	17,63	15,67	16,51
Delta	6,13	1,53	1,77	0,57
Rank	1	3	2	4

Respon S/N ratio optimasi *short shot* dari pengacakan level parameter proses menunjukkan *noise* terbesar pada setiap parameter prosesnya. Dari keempat parameter proses didapatkan parameter proses yang paling berpengaruh adalah *injection pressure*. Hasil respon optimasi *short shot* yang paling berpengaruh terhadap optimasi ini adalah pada parameter proses *injection pressure* pada level 4 (175 Mpa), *melt temperature* pada level 4 (285°C), *mold temperature* pada level 3 (80°C) dan *holding time* pada level 2 ( detik).

Gambar 4.35 Main plot effect S/N Ratio pada optimasi *short shot*

*Main plot effect S/N Ratio* pada optimasi *short shot* dapat dilihat pada gambar 4.35, dimana didapatkan nilai tertinggi pada parameter proses *injection pressure* sebesar 19,46 parameter tersebut paling berpengaruh terhadap terjadinya cacat *shor shot*.

#### 4.15 Analysis Of Variance (ANOVA)

*Analysis Of Variance* pada penelitian ini digunakan untuk memperkirakan besarnya kontribusi suatu parameter proses yang digunakan dalam beberapa simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Analisa ANOVA memiliki beberapa klasifikasi yang dapat dihitung seperti  $ST$ ,  $M_A$ ,  $S_m$ ,  $S_A$ ,  $S_e$ , F-Ratio,  $Sq_A'$ ,  $\rho\%$ . Perhitungan ANOVA untuk optimasi *sink mark* dapat dilihat pada perhitungan berikut :

1. Jumlah kuadrat total ( $ST$ )

$$\begin{aligned} ST &= \sum y^2 \\ &= ( 4,038^2 + 4,217^2 + 5,012^2 + 4,746^2 + 4,826^2 + 4,538^2 + 5,066^2 + \\ &4,46^2 + 4,603^2 + 4,413^2 + 4,822^2 + 4,148^2 + 4,343^2 + 4,842^2 + 4,968^2 + \\ &2,586^2 ) \\ &= 323,5657 \end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat mean ( $S_m$ )

$$\begin{aligned} S_m &= n \times y^2 \\ &= 16 \times 4,465^2 \\ &= 318,9796 \end{aligned}$$

3. Jumlah derajat kebebasan ( $Df$ ,  $Df_e$ )

$$\begin{aligned} Df &= \text{level} - 1 \\ &= 4 - 1 = 3 \\ Df_e &= \text{VoA} - \sum Df \\ &= N - 1 - \sum Df \\ &= 16 - 1 - 12 = 3 \end{aligned}$$

4. Jumlah kuadran factor (  $Sq_A, Sq_B, Sq_C, Sq_D$  )

$$\begin{aligned}
 Sq_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} + \frac{A_4^2}{n_{A4}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{18,013^2}{4} + \frac{18,89^2}{4} + \frac{17,716^2}{4} + \frac{16,739^2}{4} - \frac{71,358^2}{16} \\
 &= 0,5900
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sq_B &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} + \frac{B_4^2}{n_{B4}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{17,81^2}{4} + \frac{17,74^2}{4} + \frac{19,868^2}{4} + \frac{15,94^2}{4} - \frac{71,358^2}{16} \\
 &= 1,9334
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sq_C &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} + \frac{C_4^2}{n_{C4}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{15,984^2}{4} + \frac{18,159^2}{4} + \frac{18,917^2}{4} + \frac{18,298^2}{4} - \frac{71,358^2}{16} \\
 &= 1,2290
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sq_D &= \frac{D_1^2}{n_{D1}} + \frac{D_2^2}{n_{D2}} + \frac{D_3^2}{n_{D3}} + \frac{D_4^2}{n_{D4}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{18,094^2}{4} + \frac{17,842^2}{4} + \frac{16,567^2}{4} + \frac{18,855^2}{4} - \frac{71,358^2}{16} \\
 &= 0,6789
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sq_e &= ST - S_m - Sq_A - Sq_B - Sq_C - Sq_D \\
 &= 323,5657 - 318,9796 - 0,5900 - 1,9334 - 1,2290 - 0,6789 \\
 &= 0,1548
 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat total sesungguhnya ( $S_t$ )

$$\begin{aligned}
 S_t &= Sq_A + Sq_B + Sq_C + Sq_D + Sq_e \\
 &= 0,5900 + 1,9334 + 1,2290 + 0,6789 + 0,1548 \\
 &= 4,5861
 \end{aligned}$$

6. Rata – rata jumlah kuadrat (  $Mq_A, Mq_B, Mq_C, Mq_D, Mq_e$  )

$$\begin{aligned}
 Mq_A &= \frac{Sq_A}{Df_A} \\
 &= \frac{0,5900}{3} \\
 &= 0,1966
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_B &= \frac{Sq_B}{Df_B} \\
 &= \frac{1,9334}{3} \\
 &= 0,6444
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_C &= \frac{Sq_C}{Df_C} \\
 &= \frac{1,2290}{3} \\
 &= 0,4096
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_D &= \frac{Sq_D}{Df_D} \\
 &= \frac{0,6788}{3} \\
 &= 0,2262
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_e &= \frac{Sq_e}{Df_e} \\
 &= \frac{0,1548}{3} \\
 &= 0,0516
 \end{aligned}$$

#### 7. F-Ratio

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio A} &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,1966}{0,0516} \\
 &= 3,8682
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio B} &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,6444}{0,0516} \\
 &= 12,4883
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio C} &= \frac{Mq_C}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,4096}{0,0516} \\
 &= 7,9379
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio D} &= \frac{Mq_D}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,2262}{0,0516} \\
 &= 4,3837
 \end{aligned}$$

8. Jumlah kuadrat sesungguhnya (  $Sq_A'$ ,  $Sq_B'$ ,  $Sq_C'$ ,  $Sq_D'$ ,  $Sq_e'$  )

$$\begin{aligned} Sq_A' &= Sq_A - D_f \times Mq_e \\ &= 0,5900 - 3 \times 0,0516 \\ &= 0,4352 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B' &= Sq_B - D_f \times Mq_e \\ &= 1,9334 - 3 \times 0,0516 \\ &= 1,7786 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C' &= Sq_C - D_f \times Mq_e \\ &= 1,2290 - 3 \times 0,0516 \\ &= 1,0742 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D' &= Sq_D - D_f \times Mq_e \\ &= 0,6789 - 3 \times 0,0516 \\ &= 0,5241 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_e' &= St - Sq_A' - Sq_B' - Sq_C' - Sq_D' \\ &= 4,5861 - 0,4352 - 1,7786 - 1,0742 - 0,5241 \\ &= 0,774 \end{aligned}$$

9. Persen kontribusi (  $\rho\%$  )

$$\rho A = \frac{Sq_A'}{St} \times 100 = \frac{0,4352}{4,5861} \times 100 = 9,49 \%$$

$$\rho B = \frac{Sq_B'}{St} \times 100 = \frac{1,7786}{4,5861} \times 100 = 38,78 \%$$

$$\rho C = \frac{Sq_C'}{St} \times 100 = \frac{1,0742}{4,5861} \times 100 = 23,42 \%$$

$$\rho D = \frac{Sq_D'}{St} \times 100 = \frac{0,5241}{4,5861} \times 100 = 11,43 \%$$

$$\rho e = \frac{Sq_e'}{St} \times 100 = \frac{0,774}{4,5861} \times 100 = 16,87 \%$$

Tabel 4.15 Presentase kontribusi parameter untuk optimasi *sink mark*

<i>source</i>	Df	Sq	Mq	F-Ratio	Sq'	$\rho$ %
<i>Ijection Pressure</i>	3	0,5900	0,1966	3,8682	0,4352	9,49
<i>Melt Temperature</i>	3	1,9334	0,6444	12,4883	1,7786	38,78
<i>Mold Temperature</i>	3	1,2290	0,4096	7,9379	1,0742	23,42
<i>Holding Time</i>	3	0,6789	0,2262	4,3837	0,5241	11,43
<i>Error</i>	3	0,1548	0,0516	-	0,774	16,87
Total	15	4,5841	-	-	-	99,99

Dari analisa ANOVA pada optimasi *sink mark*, hasil perhitungan presentase kontribusi parameter ditampilkan pada tabel 4.15. Presentase kontribusi parameter yang menunjukkan paling besar terhadap respon *short shot* adalah pada parameter proses *melt temperature* sebesar 38,78% dibandingkan dengan presentase kontribusi parameter yang lain, yang mana itu menunjukkan bahwa *melt temperature* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap terjadinya *sink mark*.

Perhitungan ANOVA untuk optimasi *short shot* dapat dilihat pada perhitungan berikut :

1. Jumlah kuadrat total (ST)

$$\begin{aligned}
 ST &= \sum y^2 \\
 &= ( 4,66^2 + 4,45^2 + 5,23^2 + 4,27^2 + 5,86^2 + 6,46^2 + 5,87^2 + 8,28^2 + 7,46^2 + \\
 &6,65^2 + 8,69^2 + 9,21^2 + 8,15^2 + 9,52^2 + 9,76^2 + 10,31^2 ) \\
 &= 885,0113
 \end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat mean ( $S_m$ )

$$\begin{aligned}
 S_m &= n \times y^2 \\
 &= 16 \times 7,1778^2 \\
 &= 824,333
 \end{aligned}$$



3. Jumlah derajat kebebasan ( $Df, Df_e$ )

$$Df = \text{level} - 1$$

$$= 4 - 1 = 3$$

$$Df_e = \text{VoA} - \sum Df$$

$$= N - 1 - \sum Df$$

$$= 16 - 1 - 12 = 3$$

4. Jumlah kuadran factor ( $Sq_A, Sq_B, Sq_C, Sq_D$ )

$$\begin{aligned} Sq_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} + \frac{A_4^2}{n_{A4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{18,61^2}{4} + \frac{26,47^2}{4} + \frac{32,01^2}{4} + \frac{37,74^2}{4} - \frac{114,83^2}{16} \\ &= 49,8646 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} + \frac{B_4^2}{n_{B4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{26,13^2}{4} + \frac{27,08^2}{4} + \frac{29,55^2}{4} + \frac{32,07^2}{4} - \frac{114,83^2}{16} \\ &= 5,3271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} + \frac{C_4^2}{n_{C4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{30,12^2}{4} + \frac{29,28^2}{4} + \frac{30,49^2}{4} + \frac{24,94^2}{4} - \frac{114,83^2}{16} \\ &= 4,9235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D &= \frac{D_1^2}{n_{D1}} + \frac{D_2^2}{n_{D2}} + \frac{D_3^2}{n_{D3}} + \frac{D_4^2}{n_{D4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{29,26^2}{4} + \frac{29,57^2}{4} + \frac{28,05^2}{4} + \frac{27,95^2}{4} - \frac{114,83^2}{16} \\ &= 0,5138 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_e &= ST - S_m - Sq_A - Sq_B - Sq_C - Sq_D \\ &= 885,0113 - 824,333 - 49,8646 - 5,3271 - 4,9235 - 0,5138 \\ &= 0,0493 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat total sesungguhnya ( $S_t$ )

$$\begin{aligned} S_t &= Sq_A + Sq_B + Sq_C + Sq_D + Sq_e \\ &= 49,8646 + 5,3271 + 4,9235 + 0,5138 + 0,0493 \\ &= 60,6783 \end{aligned}$$

6. Rata – rata jumlah kuadrat (  $Mq_A, Mq_B, Mq_C, Mq_D, Mq_e$  )

$$\begin{aligned} Mq_A &= \frac{Sq_A}{Df_A} \\ &= \frac{49,8646}{3} \\ &= 16,6215 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_B &= \frac{Sq_B}{Df_B} \\ &= \frac{5,3271}{3} \\ &= 1,7757 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_C &= \frac{Sq_C}{Df_C} \\ &= \frac{4,9235}{3} \\ &= 1,6411 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_D &= \frac{Sq_D}{Df_D} \\ &= \frac{0,5138}{3} \\ &= 0,1712 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_e &= \frac{Sq_e}{Df_e} \\ &= \frac{0,0493}{3} \\ &= 0,0164 \end{aligned}$$

7. F-Ratio

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio A} &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\ &= \frac{16,6215}{0,0164} \\ &= 1013,506 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio B} &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\ &= \frac{1,7757}{0,0164} \\ &= 108,2743 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio C} &= \frac{Mq_C}{Mq_e} \\ &= \frac{1,6411}{0,0164} \\ &= 100,067 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio D} &= \frac{Mq_D}{Mq_e} \\ &= \frac{0,1712}{0,0164} \\ &= 10,439 \end{aligned}$$

8. Jumlah kuadrat sesungguhnya ( $Sq_A'$ ,  $Sq_B'$ ,  $Sq_C'$ ,  $Sq_D'$ ,  $Sq_e'$ )

$$\begin{aligned} Sq_A' &= Sq_A - D_f \times Mq_e \\ &= 49,8646 - 3 \times 0,0164 \\ &= 49,8154 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B' &= Sq_B - D_f \times Mq_e \\ &= 5,3271 - 3 \times 0,0164 \\ &= 5,2779 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C' &= Sq_C - D_f \times Mq_e \\ &= 4,9235 - 3 \times 0,0164 \\ &= 4,8743 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D' &= Sq_D - D_f \times Mq_e \\ &= 0,5138 - 3 \times 0,0164 \\ &= 0,4646 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_e' &= St - Sq_A' - Sq_B' - Sq_C' - Sq_D' \\ &= 60,6783 - 49,8154 - 5,2779 - 4,8743 - 0,4646 \\ &= 0,2461 \end{aligned}$$

9. Persen kontribusi ( $\rho\%$ )

$$\rho A = \frac{Sq_A'}{St} \times 100 = \frac{49,8154}{60,6783} \times 100 = 82,1 \%$$

$$\rho B = \frac{Sq_B'}{St} \times 100 = \frac{5,2779}{60,6783} \times 100 = 8,7 \%$$

$$\rho C = \frac{Sq_C'}{St} \times 100 = \frac{4,8743}{60,6783} \times 100 = 8,03 \%$$

$$\rho D = \frac{Sq_D'}{St} \times 100 = \frac{0,4646}{60,6783} \times 100 = 0,76 \%$$

$$\rho e = \frac{Sq_e'}{St} \times 100 = \frac{0,2461}{60,6783} \times 100 = 0,4 \%$$

Tabel 4.16 Presentase kontribusi parameter untuk optimasi *short shot*

<i>source</i>	Df	Sq	Mq	F-Ratio	Sq'	$\rho$ %
<i>Ijection Pressure</i>	3	49,8646	16,6215	1013,506	49,8154	82,1
<i>Melt Temperature</i>	3	5,3271	1,7757	108,2743	5,2779	8,7
<i>Mold Temperature</i>	3	4,9235	1,6411	100,067	4,8743	8,03
<i>Holding Time</i>	3	0,5138	0,1712	10,439	0,4646	0,76
<i>Error</i>	3	0,0493	0,0164	-	0,2461	0,4
Total	15	4,5841	-	-	-	99,99

Dari analisa ANOVA pada optimasi *short shot*, hasil perhitungan presentase kontribusi parameter ditampilkan pada tabel 4.16. Presentase kontribusi parameter yang menunjukkan paling besar terhadap respon *short shot* adalah pada parameter proses *injection pressure* sebesar 82,1% dibandingkan dengan presentase kontribusi parameter yang lain, yang mana itu menunjukkan bahwa *injection pressure* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap terjadinya *short shot*.

#### 4.16 Analisis Parameter Optimum

Analisa yang telah dilakukan menggunakan metode S/N ratio dan ANOVA yang menghasilkan kombinasi parameter proses optimum untuk mencapai tujuan pada penelitian optimasi *sink mark* dan *short shot*. Dari analisa S/N ratio didapatkan kombinasi parameter proses dan level optimum pada optimasi *sink mark* dan *short shot* dapat dilihat pada tabel 4.17 dan tabel 4.18.

Tabel 4.17 Kombinasi level dan parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi *sink mark*

<i>Respon</i>	<i>Injection Pressure</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Holding Time</i>
<i>Sink mark (%)</i>	175 MPa	285 °C	40 °C	3 detik

Tabel 4.18 Kombinasi level dan parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi *short shot*

<i>Respon</i>	<i>Injection Pressure</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Holding Time</i>
<i>Short shot (%)</i>	175 MPa	285 °C	80 °C	2 detik

Rangking tertinggi berdasarkan analisa S/N ratio dan ANOVA menunjukkan parameter proses yang berpengaruh terhadap respon sink mark dan short shot. Rangking respon parameter proses analisa S/N ratio dapat dilihat pada tabel 4.19. sedangkan untuk rangking parameter proses analisa ANOVA dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.19 Rangking parameter proses analisa S/N ratio

<i>Rank</i>	<i>Sink mark</i>	<i>Short shot</i>
1	<i>Melt Temperature</i>	<i>Injection Pressure</i>
2	<i>Mold Temperature</i>	<i>Mold Temperature</i>
3	<i>Holding Time</i>	<i>Melt Temperature</i>
4	<i>Injection Pressure</i>	<i>Holding Time</i>

Tabel 4.20 Rangking parameter proses analisa ANOVA

<i>Rank</i>	<i>Sink mark</i>	<i>Short shot</i>
1	<i>Melt Temperature</i>	<i>Injection Pressure</i>
2	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>
3	<i>Holding Time</i>	<i>Mold Temperature</i>
4	<i>Injection Pressure</i>	<i>Holding Time</i>

Dari hasil analisa ANOVA untuk optimasi *sink mark* rangking tertinggi adalah pada parameter proses *melt temperature*, sedangkan pada optimasi *short shot* rangking tertinggi pada parameter proses *injection presssure*. Parameter yang menempati rangking tertinggi tersebut merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap *sink mark* dan *short shot*.

Hasil analisis parameter optimum untuk *optimasi sink mark* dan *short shot* Dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18 yang hasilnya didapat sebagai berikut :

a. Parameter optimum untuk optimasi *sink mark*

Hasil parameter optimum untuk optimasi *sink mark* didapatkan *injection pressure* 175 Mpa, *melt temperature* 285°C, *mold temperature* 40°C dan *holding time* 3 detik. Kombinasi parameter optimum tersebut telah ada pada hasil DOE percobaan ke-16 dengan nilai *sink mark* 2,586 % dan selanjutnya tidak perlu dilakukan eksperimen konfirmasi karena hasil untuk optimasi parameter optimum telah dilakukan pada percobaan ke-16 yang dapat dilihat pada tabel 4.10.

b. Parameter optimum untuk optimasi *short shot*

Hasil parameter optimum untuk optimasi *short shot* didapatkan *injection pressure* 175 Mpa, *melt temperature* 285°C, *mold temperature* 80°C dan *holding time* 2 detik. Kombinasi parameter optimum tersebut belum ada pada percobaan sebelumnya maka selanjutnya perlu dilakukan eksperimen konfirmasi untuk mengetahui hasil dari kombinasi parameter optimum untuk optimasi *short shot*.

Perhitungan analisis parameter optimum *short shot* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 1. S_q (\text{pooled } e) &= S_{qe} + S_{qD} \\ &= 0,0493 + 0,5138 = 0,5631 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. Df (\text{pooled } e) &= D_{fe} + D_{fD} \\ &= 3 + 3 = 6 \end{aligned}$$

$$\text{Diketahui : } \bar{y} = 7,1778$$

$$\overline{A4} = 9,435$$

$$\overline{B4} = 8,017$$

$$\overline{C3} = 7,622$$

$$\overline{D2} = 7,392$$

$$MS_e = 0,0938$$

$$F_{(0.01,1,16)} = 8,53$$

$$N_{eff} = 5,3$$

Ditanya : a.  $\mu$  Prediksi CT ?

b. *Confidence Interval* (CI)

Jawab :

a.  $\mu$  Prediksi

$$\begin{aligned} \mu \text{ Prediksi} &= \bar{y} + (\overline{A4} - \bar{y}) + (\overline{B4} - \bar{y}) - (\overline{C3} - \bar{y}) + (\overline{D2} - \bar{y}) \\ &= 7,1778 + (9,435 - 7,1778) + (8,017 - 7,1778) - (7,622 - 7,1778) + \\ &\quad (7,392 - 7,1778) \\ &= 10,044 \end{aligned}$$

b. *Confidence Interval*

$$\begin{aligned} CI &= \pm \sqrt{F_{(a,v1,v2)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{N_{eff}} + \frac{1}{r}\right)} \\ &= \pm \sqrt{8,53 \times 0,0938 \times \left(\frac{1}{5,3} + \frac{1}{1}\right)} \\ &= \pm 0,975 \end{aligned}$$

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

$$10,044 - 0,975 \leq 10,044 \leq 10,044 + 0,975$$

$$9,069 \leq 10,044 \leq 11,019$$

Dari hasil perhitungan parameter optimum *short shot* didapatkan prediksi 10,044 gram dengan *confidence interval*  $\pm 0,975$  dan dalam range 9,069 gram sampai dengan 11,019 gram.

#### 4.17 Eksperimen Konfirmasi

Dari hasil kombinasi parameter optimum untuk optimasi *short shot* akan dilakukan pada simulasi molflow sesuai dengan parameter proses pada tabel 4.18 untuk dilakukan eksperimen konfirmasi agar mendapatkan hasil kombinasi parameter optimum untuk optimasi *short shot*.

End of packing phase results summary for the part :		
Total part weight	=	20.7483 g
Bulk temperature - maximum	=	106.8750 C
Bulk temperature - 95th percentile	=	99.9860 C
Bulk temperature - 5th percentile	=	70.8960 C
Bulk temperature - minimum	=	61.2430 C
Bulk temperature - average	=	86.0950 C
Bulk temperature - RMS deviation	=	8.3594 C
Frozen layer fraction - maximum	=	1.0000
Frozen layer fraction - 95th percentile	=	1.0000
Frozen layer fraction - 5th percentile	=	1.0000
Frozen layer fraction - minimum	=	1.0000
Frozen layer fraction - average	=	1.0000
Frozen layer fraction - RMS deviation	=	0.0000
Volumetric shrinkage - maximum	=	4.4858 %
Volumetric shrinkage - 95th percentile	=	4.0640 %
Volumetric shrinkage - 5th percentile	=	0.7589 %
Volumetric shrinkage - minimum	=	-0.2588 %
Volumetric shrinkage - average	=	2.6979 %
Volumetric shrinkage - RMS deviation	=	0.9537 %

Gambar 4.36 Hasil simulasi parameter optimum optimasi *short shot*

Hasil simulasi parameter optimum optimasi *short shot* dilihat dari *total part weight* sebesar 20,7483 gram karena mempunyai dua *cavity* hasil *total part weight* dibagi dua sejumlah banyaknya *cavity* yang hasilnya menjadi 10,37 gram. Dari hasil simulasi tidak selalu sama dengan hasil perhitungan parameter optimum tetapi masih berada pada prediksi range perhitungan parameter optimum. Hasil eksperimen konfirmasi terbukti benar-benar memperbaiki *short shot*.