

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Pembahasan Hasil Identifikasi Produk

Sebelum melakukan simulasi di *Moldflow Insight*, produk yang akan dijadikan bahan simulasi diidentifikasi terlebih dahulu untuk mengetahui data-data yang diperlukan untuk mendesain gambar 2D dan 3D untuk optimasi parameter proses, *runner system*, *cooling system*. Tabel 4.1 menunjukkan data produk yang dijadikan bahan optimasi.

Tabel 4.1 Data Produk

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

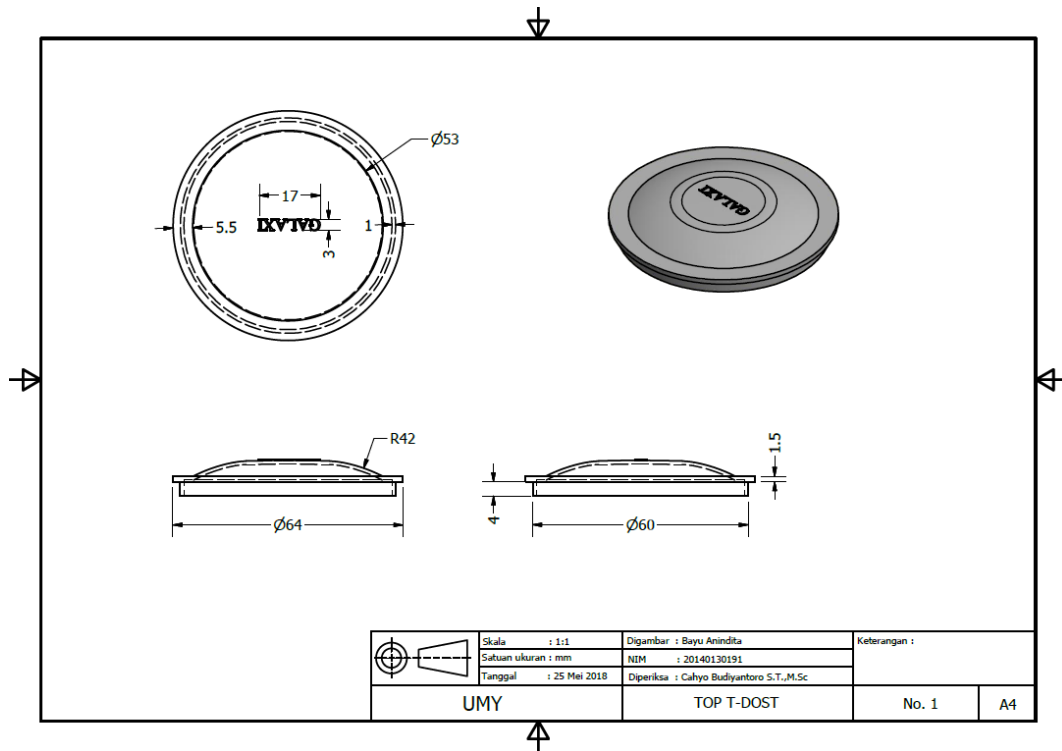
Dari data tabel 4.1 yang didapatkan dari kondisi produk dilapangan, data tersebut akan dijadikan sebagai perbandingan hasil dari optimasi desain *runner system* dan *cooling system* untuk mengurangi *shinkage* dan *short shot* dalam produk. Langkah selanjutnya yaitu dengan mendesain gambar produk terlebih dahulu sesuai ukuran yang didapatkan dari identifikasi produk, kemudian disimulasikan di *Moldflow* untuk mencari parameter yang paling optimal.

4.2. Gambar Produk

Gambar produk *Top T-Dost* model 2D dan 3D didesain menggunakan *software Autodesk Inventor Profesional 2015*. Model 3D ditunjukkan pada gambar 4.1 dan model 2D ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Gambar 3D produk *Top T-Dost*



Gambar 4.2 Gambar 2D produk *Top T-Dost*

4.3. Lokasi Gate

Pada gambar 4.3 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.



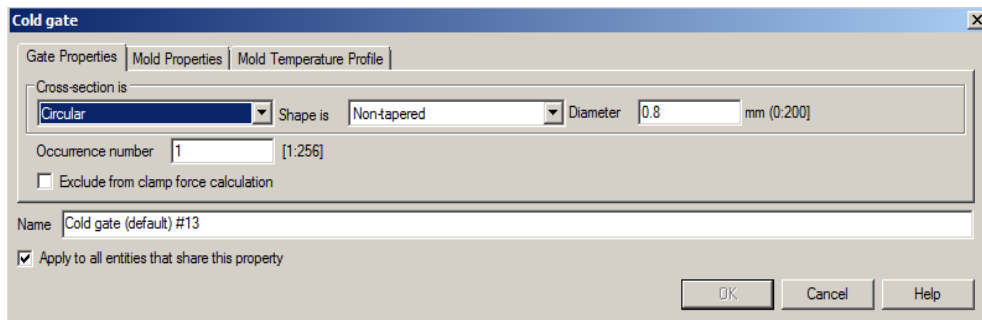
Gambar 4.3 Lokasi *gate*

4.4. Input Data Hasil Perhitungan *Gate*, *Runner* dan *Cooling* ke *Moldflow*

Sebelum simulasi dijalankan ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan salah satunya adalah input data hasil perhitungan desain *gate*, *runner* dan *cooling* yang mana sebelumnya terlebih dahulu memilih material *Polypropylene* (PP) pada *setting material*. Setelah diketahui data hasil perhitungan *gate*, *runner* dan *cooling* proses selanjutnya memasukan hasil perhitungan ke *setting* berikut ini.

a. *Input* hasil perhitungan *gate*

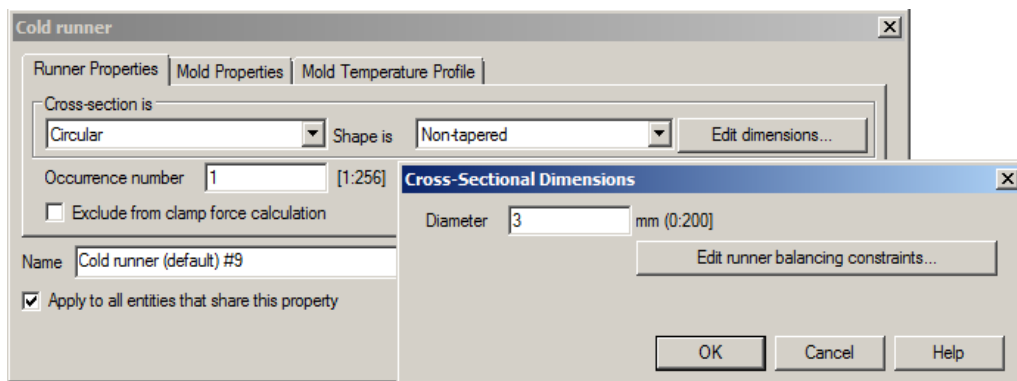
Hasil dari perhitungan *gate* didapatkan diameter minimal 0.8 mm lebih kecil dari ketebalan produk sehingga dapat digunakan untuk diameter *gate* karena nilai *share rate maximum* dari diameter 0.8 mendekati nilai *share rate* pada material. Perhitungan dapat dilihat pada lampiran no. 1.



Gambar 4.4 *Input diameter gate*

b. *Input hasil perhitungan runner*

Terdapat dua variasi *layout runner* pada optimasi ini, pada *layout* pertama dengan panjang *runner* 8 mm hasil dari perhitungan diameter *runner* minimal adalah 2.9 mm. Sedangkan pada *layout runner* kedua dengan panjang *runner* 40 mm hasil dari perhitungan diameter minimal adalah 2.3 mm. Perhitungan dapat dilihat dilampiran no. 2.

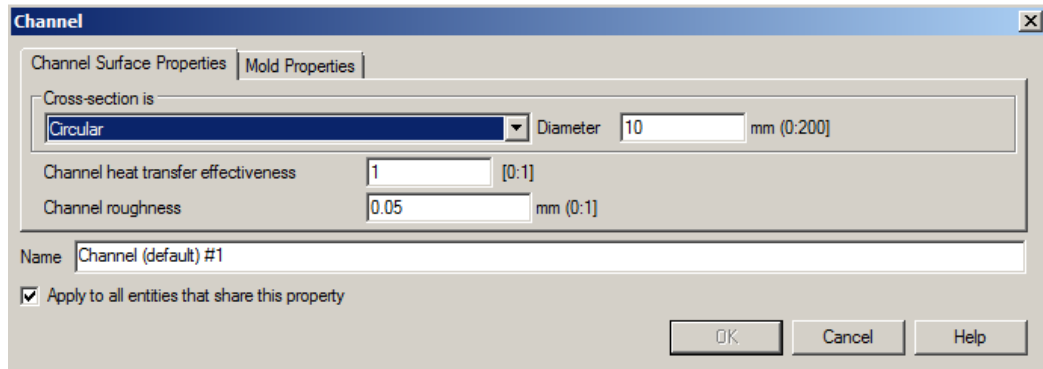


Gambar 4.5 *Input diameter runner*

c. *Input hasil perhitungan diameter cooling dan jarak cooling*

Perhitungan yang didapatkan pada *cooling system* meliputi diameter *cooling* sebesar 10 mm dan jarak *cooling* dengan produk sejauh 20 mm. Pada *setting parameter cooling* terdapat beberapa parameter yang diatur secara *default* diantaranya *channel heat transfer effectiveness* yaitu keefektifan penyerapan panas dari *cooling system* diatur sebesar 1 pada proses setting apabila 0 berarti tidak ada ekfesis penyerapan panas, selain itu ada *channel roughness* diatur secara *default* sebesar 0,05 mm, parameter ini digunakan untuk menentukan kekasaran saluran

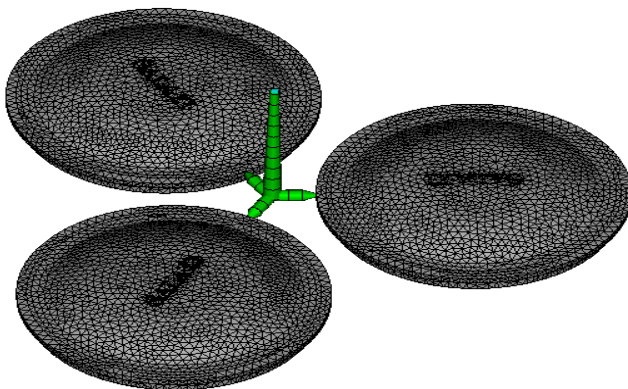
pendingin dari faktor gesekan untuk penurunan tekanan didalam sirkuit pendingin. Perhitungan *cooling* dapat dilihat pada lampiran no 3.



Gambar 4.6 *Input diameter cooling*

4.5. Runner System

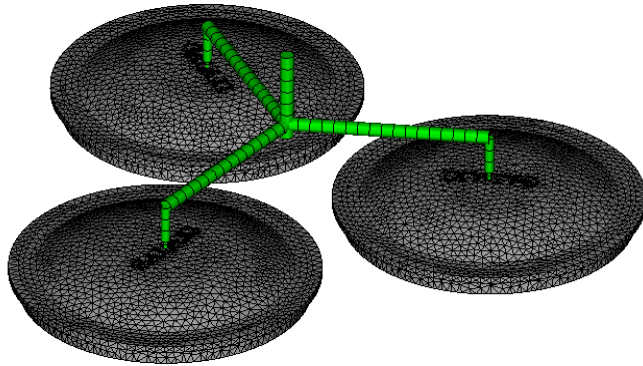
Runner system yang digunakan diproduk *Top T-Dost* adalah tipe *cold runner*. Dalam optimasi ini tipe *runner* yang digunakan sama seperti yang digunakan diperusahaan, hanya divariasikan bentuknya untuk mengetahui perbandingan dari setiap variasi tersebut. Berikut gambar *layout runner system*.



Dimensi *layout* sebagai berikut :

- Jarak antar *cavity* : 8 mm
- Diameter *sprue* : 2 mm
- Tinggi *sprue* : 38 mm
- Diameter *runner* : 3 mm
- Panjang *runner* : 8 mm
- Diameter *gate* : 0,8 mm

Gambar 4.7 *Layout runner 1*



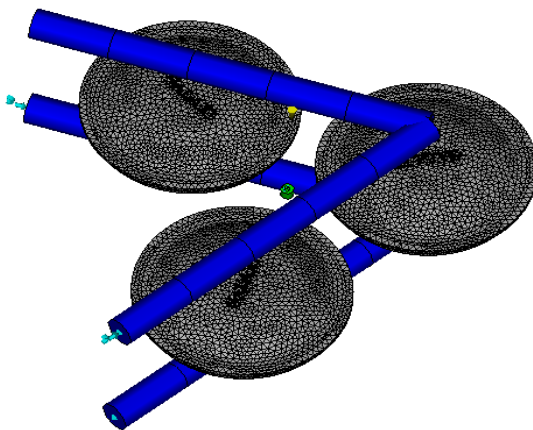
Dimensi *layout* sebagai berikut :

- Jarak antar *cavity* : 8 mm
- Diameter *sprue* : 3 mm
- Tinggi *sprue* : 18 mm
- Diameter *runner* : 3 mm
- Panjang *runner* : 41 mm
- Diameter *gate* : 0,8 mm

Gambar 4.8 *Layout runner 2*

4.6. Cooling System

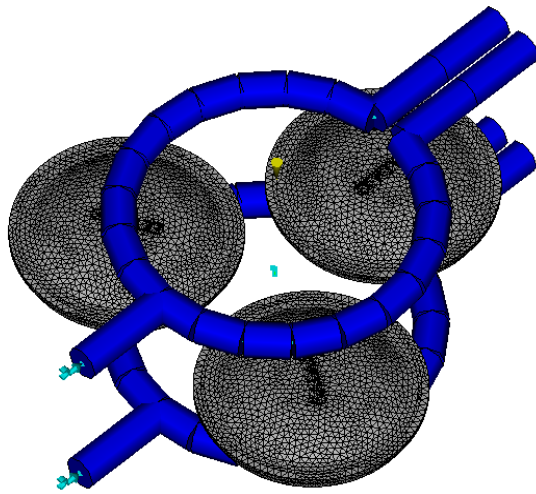
Cooling system pada *mold* produk *Top T-Dost* diperusahan menggunakan *cooling* tipe seri. Pada optimasi ini digunakan dua tipe *cooling* yaitu *cooling* seri dan paralel dengan beberapa variasi bentuk untuk membandingkan mana yang paling efektif dalam pendinginan produk, sebab untuk mendinginkan produk selama proses *injection molding* diperlukan waktu sekitar 2/3 dari waktu siklus. Desain *cooling* yang baik akan meningkatkan efisiensi pendinginan produk dan mempengaruhi *shrinkage* dan *short shot*. Berikut beberapa *layout cooling*.



Dimensi *layout* sebagai berikut :

- Diameter *channel* : 10 mm
- *Channel roughness* : 0,05 mm
- Media pendingin : Air
- Panjang *channel* : 240 mm
- Jarak dengan produk : 20 mm
- *Inlet* : 2
- *Outlet* : 2

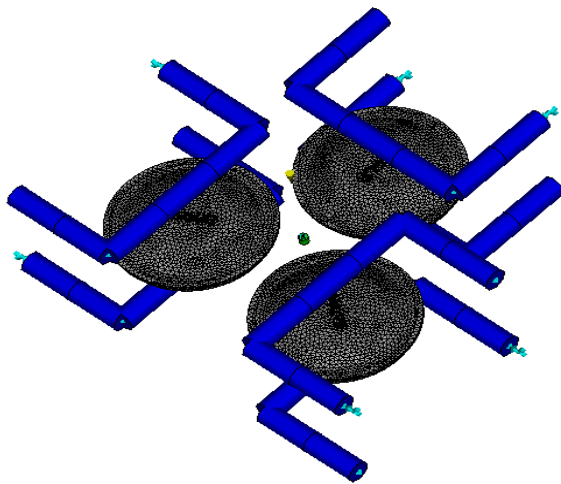
Gambar 4.9 *Layout cooling 1*



Dimensi *layout* sebagai berikut :

- Diameter *channel* : 10 mm
- *Channel roughness* : 0,05 mm
- Media pendingin : Air
- Panjang *inlet channel* : 30 mm
- Panjang *outlet channel* : 45 mm
- Diameter *layout* : 86 mm
- Jarak dengan produk : 20 mm
- *Inlet* : 2
- *Outlet* : 4

Gambar 4.10 *Layout cooling 2*



Dimensi *layout* sebagai berikut :

- Diameter *channel* : 10 mm
- *Channel roughness* : 0,05 mm
- Media pendingin : Air
- Panjang *channel* : 172 mm
- Jarak dengan produk : 20 mm
- *Inlet* : 6
- *Outlet* : 6

Gambar 4.11 *Layout cooling 3*

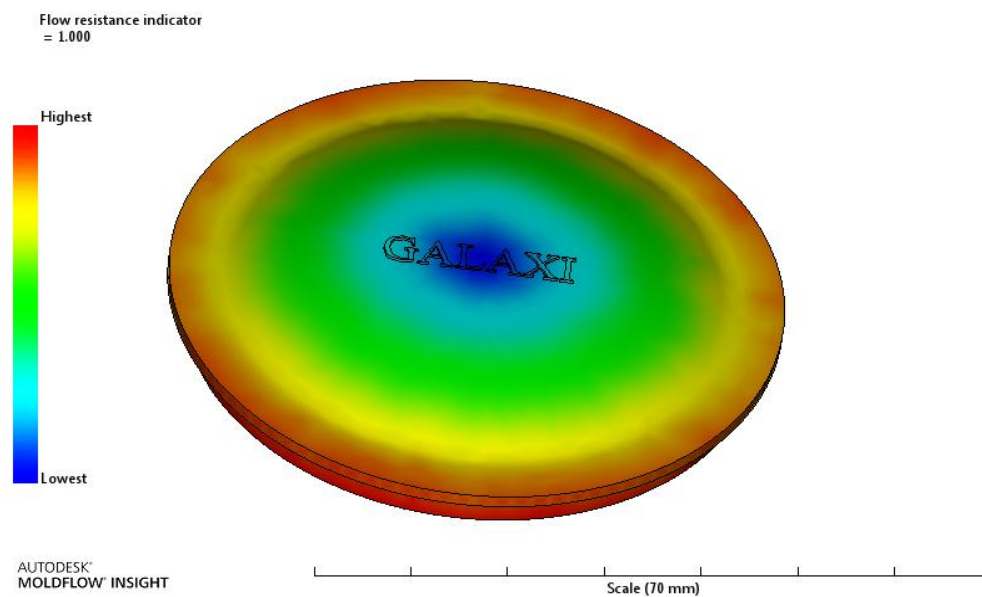
Pada desain *cooling 1* jenis *cooling* yang digunakan adalah seri yang mana *layout cooling* mengikuti 3 jumlah *cavity* produk yaitu segitiga , hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pada proses *machining* karna bentuk yang sederhana dan juga untuk mempertahankan laju aliran *turbulen* disepanjang saluran pendingin, sehingga memungkinkan panas ditransfer lebih efektif.

Desain *cooling* 2 termasuk jenis *cooling* paralel karena mempunyai saluran yang bervariasi, pada sisi inlet mempunyai satu saluran berbentuk lurus kemudian divariasikan ke saluran berbentuk *linear* sehingga saluran terbagi menjadi dua yang melewati pada bagian tengah produk untuk menjaga agar tidak terjadi kenaikan suhu yang signifikan pada saluran pendingin.

Sedangkan pada desain *cooling* 3 merupakan jenis *cooling* seri yang mana *layout cooling* tersebut berada di setiap *cavity*. *Inlet* dan *outlet* dari aliran terdapat pada setiap *cavity* tujuannya agar saluran pendingin mempunyai suhu yang rendah karna penyerapan panas pada saat proses *injection* hanya disetiap *cavity*.

4.7. Hasil Analisa *Gate Location*

Hasil analisa *gate location* menunjukkan dimana lokasi penempatan *gate* yang baik menurut analisa *software* yang bisa dijadikan sebagai acuan *mold maker* dalam mendesain *runner system*, tetapi tidak menutup kemungkinan lokasi *gate* bisa dirubah untuk menyesuaikan jumlah *cavity*, bentuk benda atau yang lain apabila tidak bisa digunakan penempatan *gate* sesuai rekomendari dari *software*. Berikut adalah rekomendasi lokasi *gate* berdasarkan simulasi moldflow pada gambar 4.12.

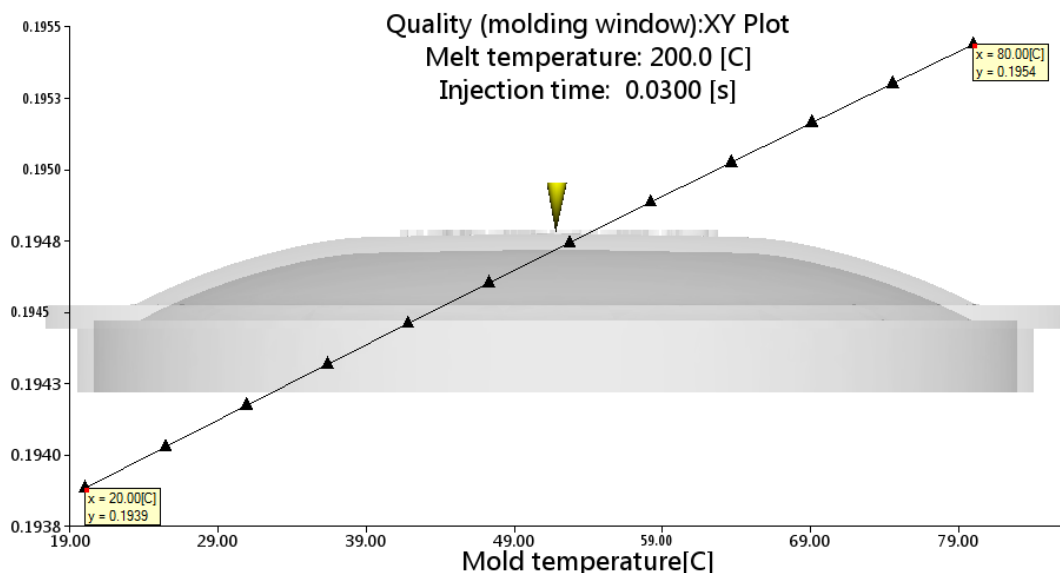


Gambar 4.12 *Gate location*

Pada gambar 4.12 menjelaskan lokasi *gate* terbaik yang direkomendasikan oleh analisa *gate location*. Terdapat empat jenis warna pada analisa *gate location*. Warna biru menunjukan *gate location* yang sangat baik, karena menghasilkan aliran material radial yang terletak di tengah produk sehingga pendistribusian plastik cair, temperatur, dan tekanan akan sama. Warna hijau merupakan alternatif pilihan ketiga *gate location* setelah warna biru muda, apabila lokasi yang berwarna biru tidak memungkinkan untuk dijadikan *gate location*. Warna yang tidak di rekomendasikan untuk *gate location* yaitu warna kuning dan merah, karena pada bagian tersebut menimbulkan aliran linier dilihat dari kerataan permukaan produk yang menyebabkan tegangan tinggi dan cacat *warping*.

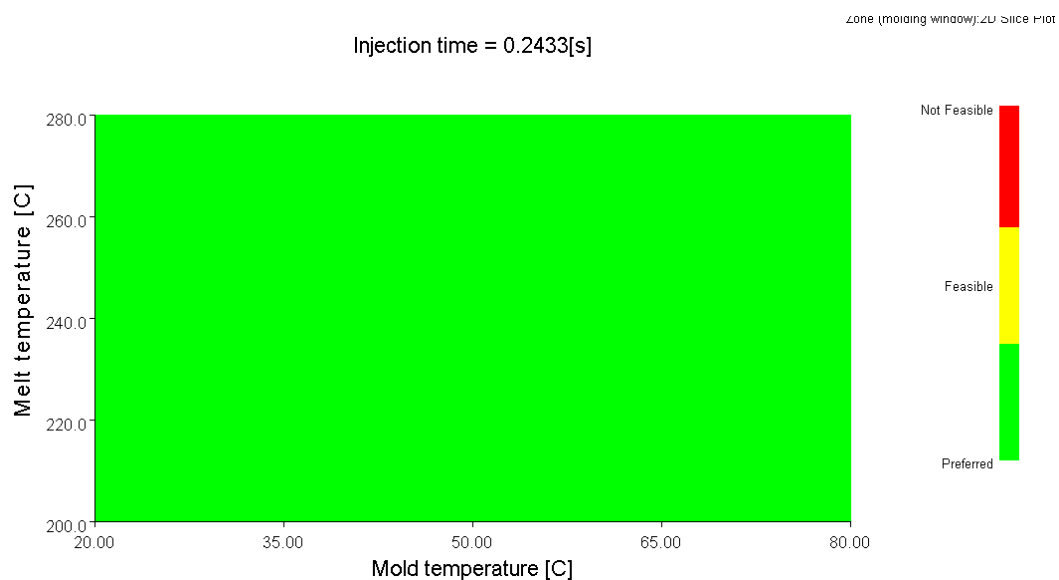
4.8. Hasil Analisa *Molding Window*

Pada analisa ini dapat diketahui nilai *melt temperature*, *mold temperatur*, dan *injection time* yang direkomendasikan oleh *Moldflow* yang digunakan sebagai rekomendasi analisa saat proses optimasi faktor dan level parameter proses untuk meningkatkan kualitas produk berupa grafik. Berikut beberapa rekomendasinya :



Gambar 4.13 Grafik *quality*

Pada gambar 3.13 dapat dilihat grafik *quality* rekomendasi dari analisa *molding window* nilai untuk *setting* parameter *mold temperature* tertinggi variabel x 80°C dan variabel y 0.1954 s dengan variasi *melt temperature* minimum 200°C dan waktu *injection time* minimum 0.03 s berdasarkan grafik *quality* diatas dapat dijadikan acuan dalam percobaan untuk meningkatkan hasil kualitas produk.



Gambar 4.14 Grafik *zone molding window*

Gambar 3.14 menampilkan beberapa parameter maksimum dan minimum pada produk yang akan disimulasi. Pada parameter *melt temperatur molding window* memberikan rekomendasi $200^{\circ}\text{C} - 280^{\circ}\text{C}$, *mold temperatur* $20^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$, dan *injection time* $0,03\text{ s} - 2,4\text{ s}$. Parameter ini dapat membantu dalam penentuan faktor dan level parameter proses pada analisa *taguchi*.

Sedangkan paramater proses yang digunakan untuk memilih *layout runner system* dan *cooling system* tebaik menggunakan parameter proses *default* menurut proses *setting* yaitu *melt temperatur* 230°C , *mold temperatur* 30°C , *injection time* 1 s , dan *injection pressure* 120 MPa agar hasilnya dapat dibandingkan *layout* mana yang lebih efesien.

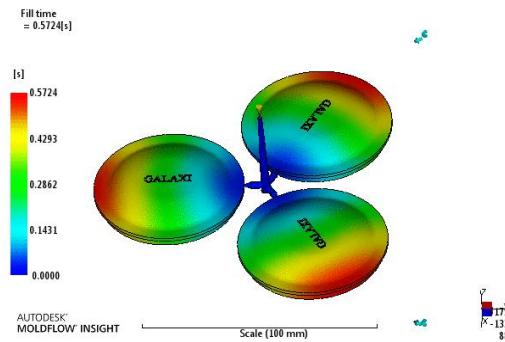
4.9. Hasil Analisa Perbandingan *Layout Runner System*

4.9.1. Analisa *fill time runner 1 dan runner 2*

Analisa *fill time* menunjukkan hasil waktu pengisian produk yang mana pada perbandingan ini menggunakan *setting* parameter *automatic* dari *software* agar hasil dari perbandingan *runner 1* dan *runner 2* dapat diketahui. Berdasarkan hasil simulasi *fill time* pada *runner 1* didapatkan 0.5724 s, kemudian pada *runner 2* didapatkan 0.5835 s. Gambar 4.15 menunjukkan hasil analisa *fill time runner 1 dan 2*.

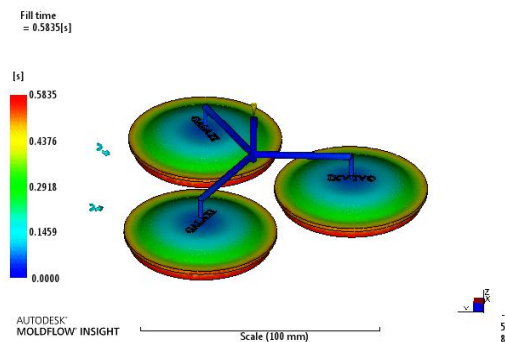
Runner 1 :Fill time

AUTODESK.



Runner 2 :Fill time

AUTODESK.



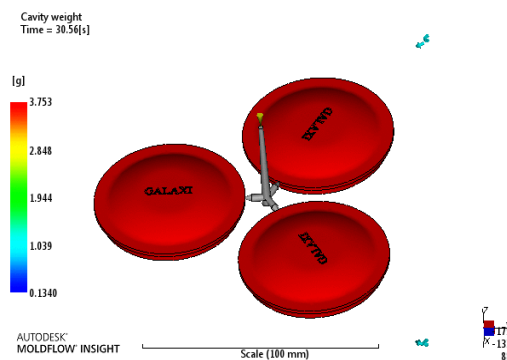
Gambar 4.15 Perbandingan *fill time runner 1 dan runner 2*

Dari hasil analisa *fill time runner 1* dan *runner 2* diketahui model *runner* dengan pengisian lebih cepat dan optimal adalah *runner 1* dibandingkan dengan *runner 2* pengisian lebih lambat 0.0111 s dapat dilihat pada gambar 4.15.

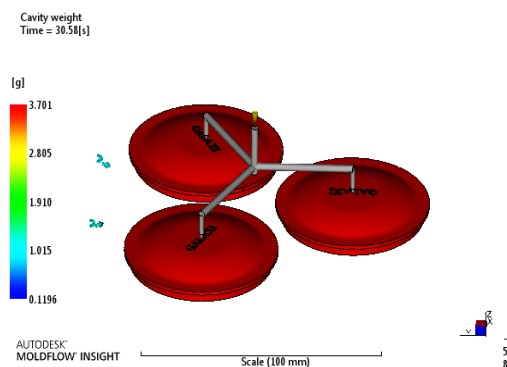
4.9.2. Analisa *cavity weight runner 1* dan *runner 2*

Pada analisa *cavity weight* perbandingan yang dilakukan masih sama dengan perbandingan pada analisa *fill time* yaitu *runner 1* dan *runner 2* dengan menggunakan setting parameter *automatic* sesuai pada *software*. Berdasarkan hasil simulasi ini pada *runner 1* didapatkan nilai *cavity weight* 3.753 gram, sedangkan pada *runner 2* didapatkan nilai *cavity weight* 3.701 gram. Gambar 4.16 menunjukkan hasil analisa *cavity weight runner 1* dan *runner 2*.

Runner 1 :Cavity weight



Runner 2 :Cavity weight



Gambar 4.16 Perbandingan *cavity weight runner 1* dan *runner 2*

Dari hasil analisa *cavity weight runner* 1 dan *runner* 2 diketahui model *runner* dengan berat lebih optimal adalah *runner* 1 dibandingkan dengan *runner* 2 mempunyai berat produk yang lebih ringan dengan selisih 0.52 gram, seperti yang ditampilkan pada gambar 4.16.

Dari hasil analisa *fill time* dan *cavity weight* didapatkan data hasil analisa pada tabel 4.2 yang selanjutnya akan di bandingkan *layout runner* mana yang paling efektif dalam mengurangi cacat *short shot* dan *srinkage* pada produk *Top T-dos*.

Tabel 4.2 Data hasil analisa *fill time* dan *cavity weight*

Analisa Runner	Type Runner	
	Type 1	Type 2
<i>Fill Time (s)</i>	0,5724	0,5835
<i>Cavity Weight (gram)</i>	3,753	3,701

Hasil dari perbandingna 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*.

4.10. Hasil Analisa Perbandingan *Layout Cooling System*

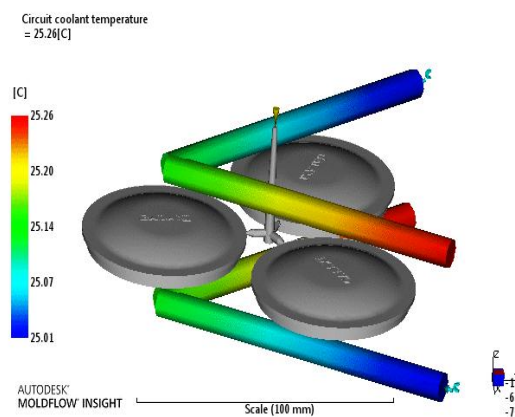
Desain *cooling system* pada optimasi ini ada 3 *layout cooling system* yang akan dibandingkan proses pendinginannya pada produk yang lebih baik. Berikut hasil dari beberapa analisa *cool* yang diambil dari simulasi *Moldflow Insight*.

4.10.1. *Circuit Coolant Temperature*

Analisa *Circuit Coolant Temperature* menunjukkan suhu pendinginan di saluran pendingin saat proses injeksi plastik berlangsung didalam *cavity*. Selisih perbedaan suhu saluran masuk dan 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. Masalah ini dapat diatasi dengan meningkatkan tekanan pendingin atau merubah desain sirkuit pendingin yang lebih pendek (*Moldflow*, 2010). Hasil analisa *circuit coolant temperature* dari beberapa desain *cooling* ditunjukkan pada gambar 4.17, 4.18, 4.19.

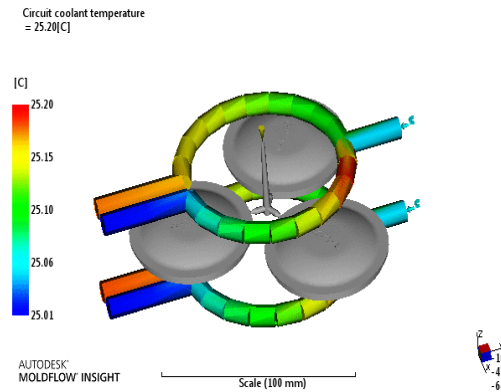
R1 & C1:Circuit coolant temperature

AUTODESK.



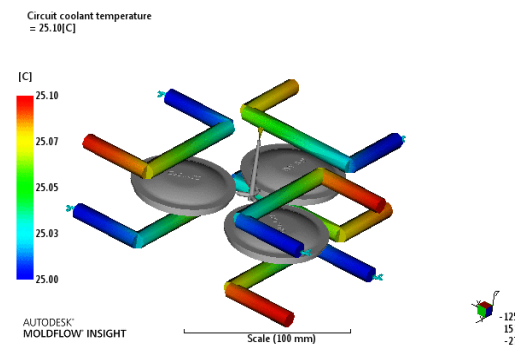
Gambar 4.17 *Circuit coolant temperature* tipe 1

R1 & C2:Circuit coolant temperature



Gambar 4.18 *Circuit coolant temperature* tipe 2

R1 & C3:Circuit coolant temperature



Gambar 4.19 *Circuit coolant temperature* tipe 3

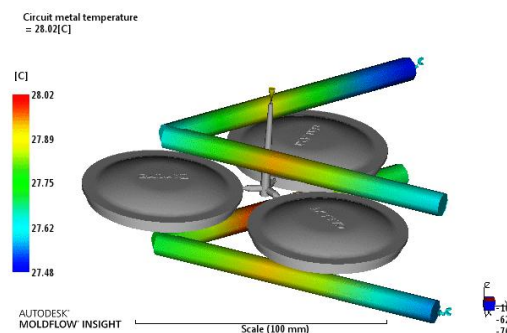
Hasil analisa *circuit coolant temperature* dari beberapa *layout* menunjukkan hasil yang mempunyai selisih temperatur paling rendah adalah *cooling* tipe 3 sebesar 0,10 °C sedangkan pada *cooling* tipe 1 sebesar 0,25 °C dan *cooling* tipe 2 sebesar 0,19 °C. *Circuit coolant temperature* yang baik digunakan adalah *circuit* yang mempunyai selisih antara saluran masuk dengan saluran keluar tidak lebih dari 3 °C.

4.10.2. *Circuit metal temperature*

Analisa *circuit metal temperature* menampilkan temperatur *cooling system* tertinggi ketika proses pendinginan berlangsung. Pada gambar 2.20 *cooling* tipe 1 diketahui temperatur tertinggi pada sirkuit berwarna merah ialah 28,02 °C, pada gambar 2.21 *cooling* tipe 2 diketahui temperatur tertinggi pada sirkuit sebesar 27,75 °C dan pada gambar 2.22 *cooling* tipe 3 diketahui temperatur tertinggi pada sirkuit 26,98 °C. 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.

R1 & C1:Circuit metal temperature

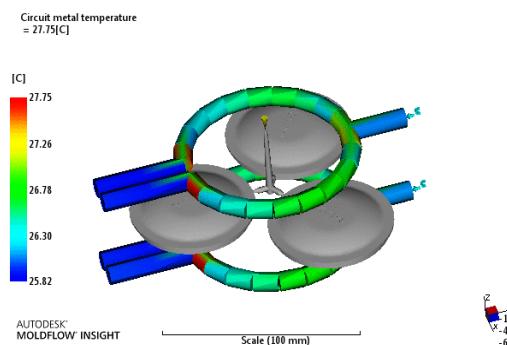
AUTODESK.



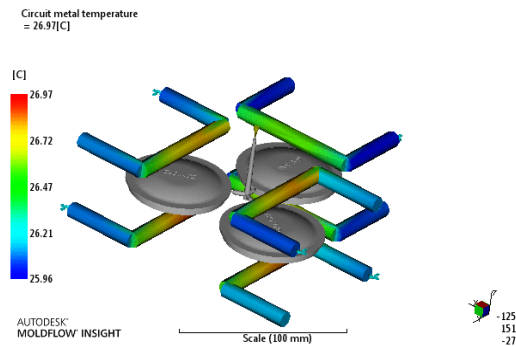
Gambar 2.20 *Circuit metal temperature* tipe 1

R1 & C2:Circuit metal temperature

AUTODESK.



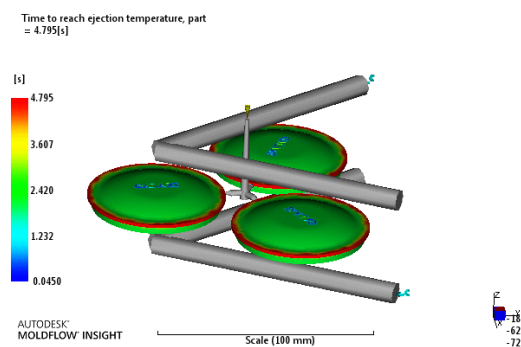
Gambar 2.21 *Circuit metal temperature* tipe 2



Gambar 2.22 *Circuit metal temperature* tipe 3

4.10.3. *Time to reach ejection temperature, part*

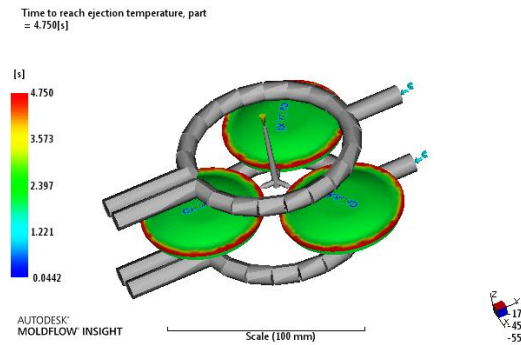
Time to reach ejection temperature, part adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur ejskasi pada gambar 2.23 menunjukkan analisa *cooling* tipe 1 membutuhkan waktu 4,795 s untuk mendinginkan produk sebelum produk dikeluarkan dari cetakan, gambar 2.24 adalah analisa *cooling* tipe 2 yang memiliki waktu paling cepat yaitu 4,750 s bila dibandingkan dengan *cooling* tipe 1 selisih waktunya sangat kecil yaitu 0,045 s. Sedangkan pada *cooling* tipe 3 memiliki waktu yang paling lama yaitu 4,844 s dapat dilihat pada gambar 2.25. Apabila semakin cepat waktu pendinginan produk maka waktu produksi akan semakin pendek dan memberikan keuntungan pada industri.



Gambar 4.23 *Time to reach ejection temperature, part* tipe 1

R1 & C2:Time to reach ejection temperature, part

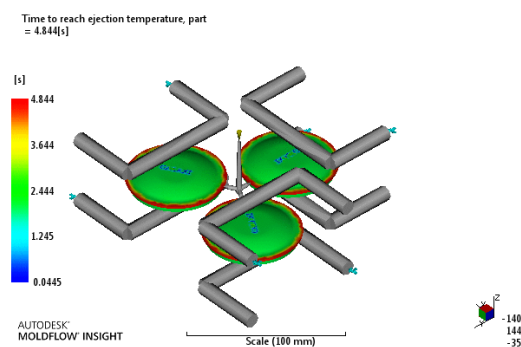
AUTODESK.



Gambar 4.24 *Time to reach ejection temperature, part tipe 2*

R1 & C3:Time to reach ejection temperature, part

AUTODESK.



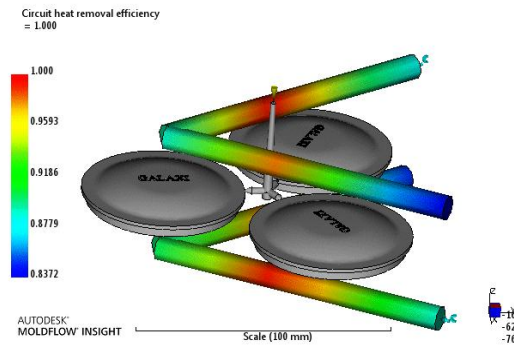
Gambar 4.25 *Time to reach ejection temperature, part tipe 3*

4.10.4. *Circuit heat removal efficiency*

Analisa *Circuit heat removal efficiency* adalah untuk mengetahui efisiensi penyerapan panas oleh *cooling system* pada produk. Gambar 2.26 menunjukkan efisiensi penyerapan panas pada *cooling 1* diangka 0,83-0,95. *Cooling 2* efisiensi penyerapan panas diangka 0,25-0,81 ditunjukkan pada gambar 2.27, sedangkan *cooling 3* efisiensi penyerapan panas diangka 0,52-0,88 bisa dilihat digambar 2.28. 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.

R1 & C1: Circuit heat removal efficiency

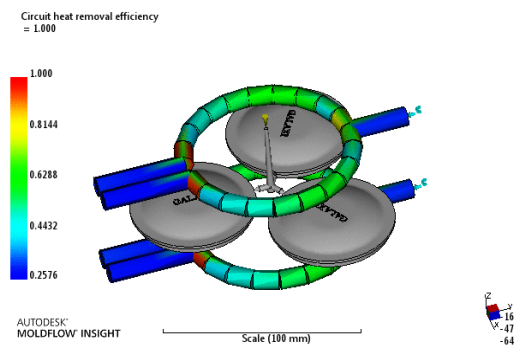
AUTODESK.



Gambar 2.26 *Circuit heat removal efficiency tipe 1*

R1 & C2: Circuit heat removal efficiency

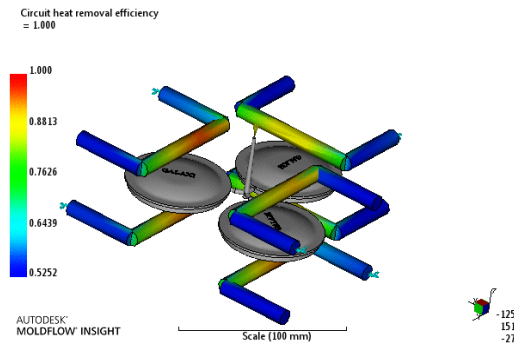
AUTODESK.



Gambar 2.27 *Circuit heat removal efficiency tipe 2*

R1 & C3: Circuit heat removal efficiency

AUTODESK.

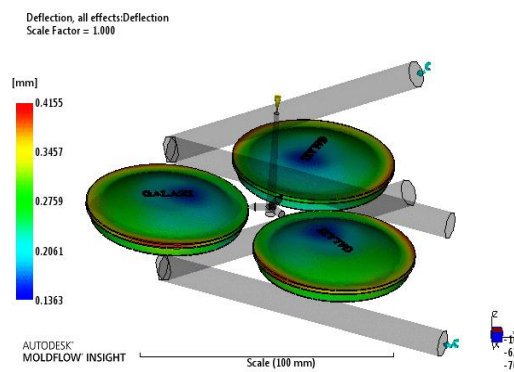


Gambar 2.28 *Circuit heat removal efficiency tipe 3*

4.10.5. Deflection, all effects:Deflection

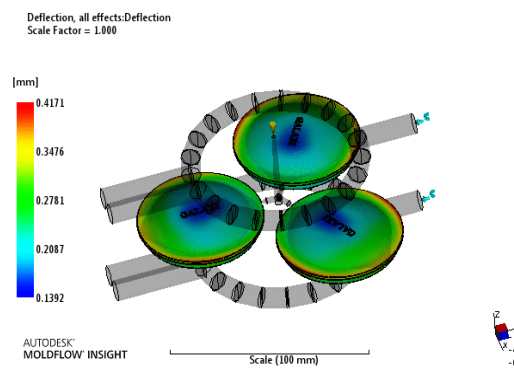
Efek *defleksi* akibat sirkulasi pendinginan yang muncul dapat dilihat pada gambar 4.29 *defleksi* yang terjadi lebih kecil yaitu 0,4155 mm pada *cooling* 1. Gambar 4.30 *defleksi* yang terjadi pada *cooling* 2 yaitu sebesar 0,4171 mm, sedangkan pada *cooling* 3 *defleksi* yang terjadi lebih besar yaitu 0,4179 mm bisa dilihat digambar 4.31. Analisa ini merangkap semua efek *defleksi*, misalnya efek sudut, dan menunjukkan bagian dibentuk *defleksi* arah sumbu X, Y dan Z secara bersamaan.

R1 & C1:Deflection, all effects:Deflection

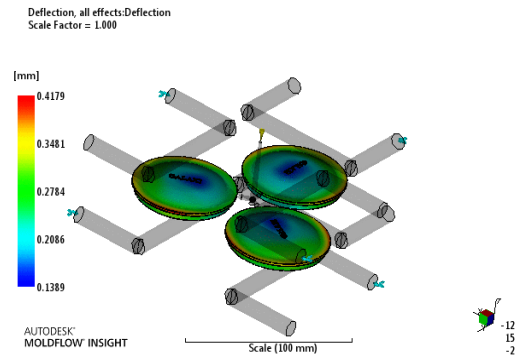


Gambar 4.29 Deflection, all effects:Deflection tipe 1

R1 & C2:Deflection, all effects:Deflection



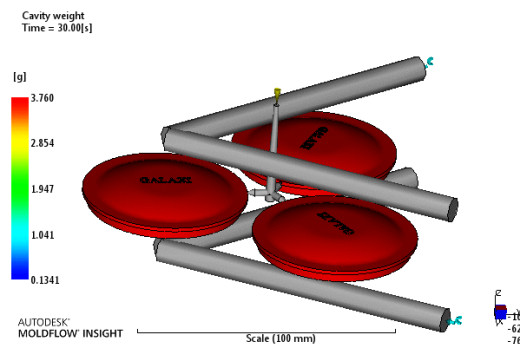
Gambar 4.30 Deflection, all effects:Deflection tipe 2



Gambar 4.31 *Deflection, all effects:Deflection* tipe 3

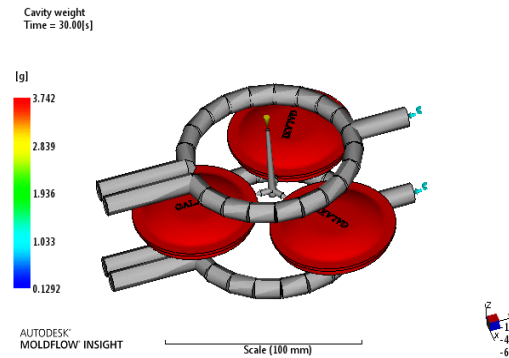
4.10.6. Cavity Weight

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 . Gambar 4.32 menunjukkan hasil simulasi *cooling* 1 yang memiliki berat paling besar dari *layout cooling* yang lain yaitu 3,760 gram. *Cooling 2* mempunyai berat produk 3,742 gram bisa dilihat pada gambar 4.33, sedangkan pada gambar 4.34 menunjukkan hasil analisa *cooling* 3 yang mempunyai berat produk 3,748 gram. Hasil dari analisa *cavity weight*, produk yang memiliki berat yang paling besar dapat direkomendasikan untuk desain *cooling*.



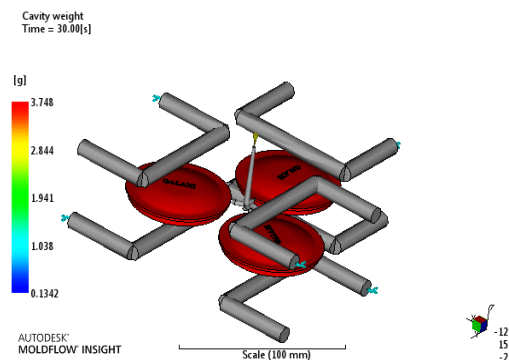
Gambar 4.32 *Cavity weight* tipe 1

R1 & C2:Cavity weight



Gambar 4.33 *Cavity weight tipe 2*

R1 & C3:Cavity weight

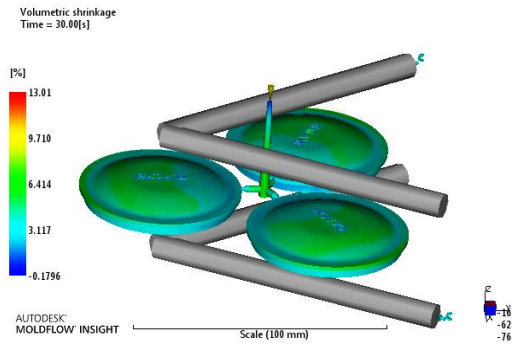


Gambar 4.34 *Cavity weight tipe 3*

4.10.7. Volumetric shrinkage

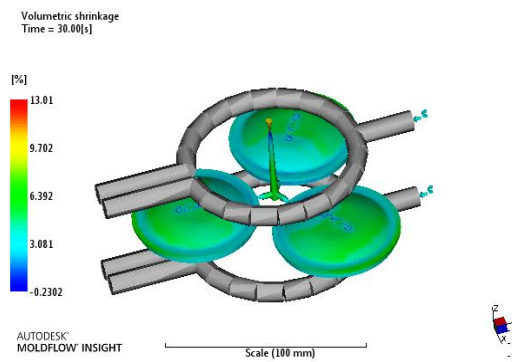
Analisa *volumetric shrinkage* digunakan untuk mengetahui seberapa efektif sistem pendinginan yang diberikan pada proses injection terhadap pengaruh *shrinkage*-nya. Pengaruh *shrinkage cooling* 1 sebesar 13,01 % (gambar 4.35) , pengaruh *shrinkage cooling* 2 sebesar 13,01 % (gambar 4.36) sedangkan pengaruh *shrinkage* terbesar terdapat pada *cooling* 3 yaitu 16,02 % (gambar 4.37). Pemilihan pengaruh nilai *shrinkage* yang direkomendasikan adalah yang memiliki pengaruh paling kecil.

R1 & C1: Volumetric shrinkage



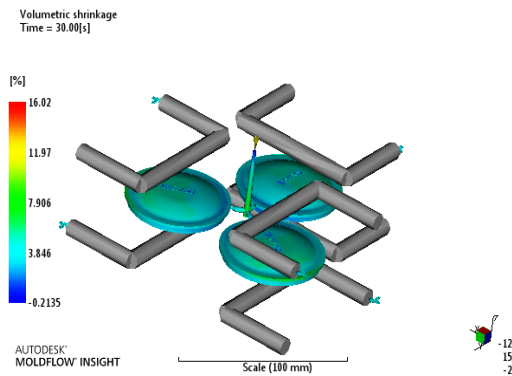
Gambar 4.35 *Volumetric shrinkage tipe 1*

R1 & C2: Volumetric shrinkage



Gambar 4.36 *Volumetric shrinkage tipe 2*

R1 & C3: Volumetric shrinkage



Gambar 4.37 *Volumetric shrinkage tipe 3*

Tabel dibawah ini menampilkan data hasil analisa *cooling system*. Tabel 4.3 adalah hasil nilai perbandingan beberapa *layout cooling*.

Tabel 4.3 Hasil nilai perbandingan *cooling*

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

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.

4.11. 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 penjelasan 4.9 dan 4.10.

4.12. Penentuan Nilai *Factor* dan *Level* Proses Parameter

Analisa *molding window* sudah memberikan beberapa rekomendasi proses parameter, yang mana rekomendasi tersebut disesuaikan dengan hasil yang akan dicapai. Berikut adalah beberapa parameter yang direkomendasikan oleh *Moldflow* pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Rekomendasi proses parameter *Moldflow*

<i>Melt Temperature</i>	230 °C	
<i>Mold Temperature</i>	30 °C	
<i>Mold Open Time</i>	2 s	
<i>Injection+Packing+Cooling Time</i>	30 s	
<i>Injection Time</i>	1 s	
<i>Injection Pressure</i>	100 MPa	
<i>Pack/Holding Control</i>	<i>(Time vs Packing Pressure)</i>	
	Duration (s)	Packing Pressure (Mpa)
	0	0
	0	0
	0	0
<i>Injection Molding Machine</i>	15 Ton	

Berdasarkan hasil rekomendasi proses parameter dari *Moldflow* ada beberapa parameter yang tidak di dapatkan pada rekomendari 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 rekomendari (Goodship, 2004) nilai *injection pressure* untuk material *Polypropylene* sebesar 100 – 150 MPa.

Untuk menentukan nilai faktor optimasi yang mempengaruhi *shrinkage* didapatkan dari studi literatur (Rianto, 2015) yang menyebutkan bahwa parameter *mold temperature*, *melt temperature*, *injection pressure*, *injection time* dapat mempengaruhi nilai *volumetrik shrinkage* pada tabel 4.5. Pada penentuan nilai level *injection pressure* didapatkan dari literatur (Goodship, 2004) sedangkan penentuan nilai level parameter yang lain berdasarkan hasil rekomendasi *molding window*.

Tabel 4.5 *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

Untuk menentukan nilai faktor optimasi yang mempengaruhi *short shot* didapatkan dari studi literatur (Jarot, 2018) pada tabel 4.6. Dalam penelitiannya memvariasikan nilai parameter *mold temperature*, *melt temperature*, *injection pressure*, *holding time* untuk mengetahui luasan dan presentase cacat *short shot*. Pada penentuan nilai level *injection pressure* dan *holding time* didapatkan dari literatur (Goodship, 2004) sedangkan penentuan nilai level parameter yang lain berdasarkan hasil rekomendasi *molding window*.

Tabel 4.6 *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

4.13. *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 (4^4), 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 4.7 Data percobaan dan faktor dengan metode *taguchi* optimasi *shrinkage*

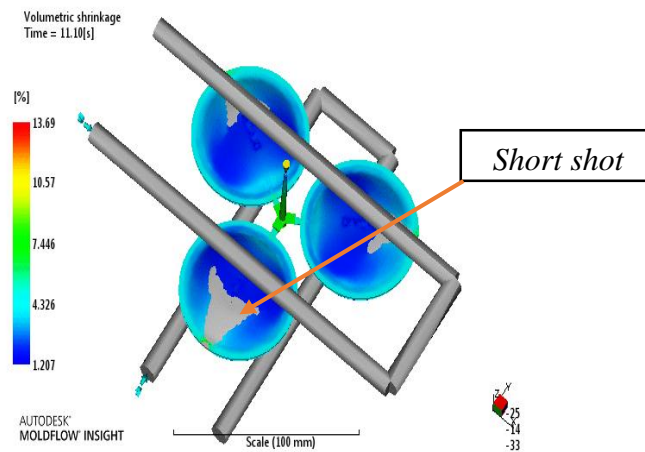
Percobaan	Faktor			
	<i>Injection pressure</i> (MPa)	<i>Mold Temperature</i> (C°)	<i>Melt Temperature</i> (C°)	<i>Injection Time</i> (s)
1	100	30	200	0,6
2	100	45	225	1,2
3	100	60	250	1,8
4	100	75	275	2,4
5	125	30	225	1,8
6	125	45	200	2,4
7	125	60	275	0,6
8	125	75	250	1,2
9	150	30	250	2,4
10	150	45	275	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 4.8 Data percobaan dan faktor dengan metode taguchi optimasi *short shot*.

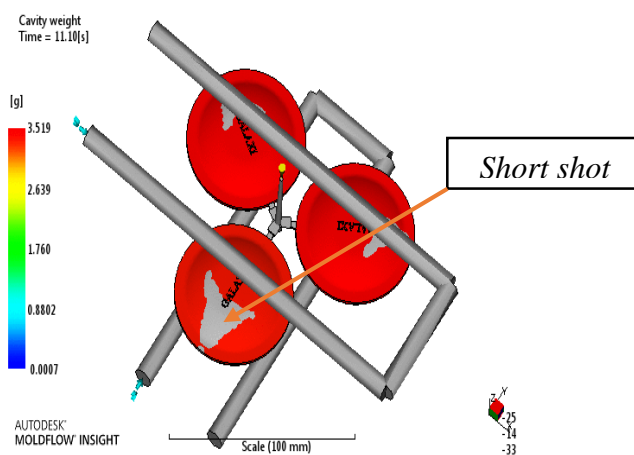
Percobaan	Faktor			
	<i>Injection pressure</i> (MPa)	<i>Mold Temperature</i> (C°)	<i>Melt Temperature</i> (C°)	<i>Holding Time</i> (s)
1	100	30	200	1
2	100	45	225	2
3	100	60	250	3
4	100	75	275	4
5	125	30	225	3
6	125	45	200	4
7	125	60	275	1
8	125	75	250	2
9	150	30	250	4
10	150	45	275	3
11	150	60	200	2
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

4.14. Hasil Percobaan Simulasi *Moldflow*

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 4.38 dan 4.39 menunjukkan hasil simulasi produk menggunakan parameter proses sesuai di perusahaan.



Gambar 4.38 *Volumetric shrinkage initial condition*



Gambar 4.39 *Cavity weight initial condition*

Tabel 4.9. Hasil simulasi optimasi *shrinkage*

Percobaan	Faktor				Parameter				Hasil Shrinkage (%)
	Injection Pressure	Mold Temperature	Melt Temperature	Injection Time	Injection Pressure (MPa)	Mold Temperature (°C)	Melt Temperature (°C)	Injection Time (s)	
1	1	1	1	1	100	30	200	0,6	11,57
2	1	2	2	2	100	45	225	1,2	13,82
3	1	3	3	3	100	60	250	1,8	14,36
4	1	4	4	4	100	75	275	2,4	15,60
5	2	1	2	3	125	30	225	1,8	12,54
6	2	2	1	4	125	45	200	2,4	10,87
7	2	3	4	1	125	60	275	0,6	15,62
8	2	4	3	2	125	75	250	1,2	14,78
9	3	1	3	4	150	30	250	2,4	14,24
10	3	2	4	3	150	45	275	1,8	15,79
11	3	3	1	2	150	60	200	1,2	12,84
12	3	4	2	1	150	75	225	0,6	12,99
13	4	1	4	2	175	30	275	1,2	15,93
14	4	2	3	1	175	45	250	0,6	14,34
15	4	3	2	4	175	60	225	2,4	12,42
16	4	4	1	3	175	75	200	1,8	11,13

Tabel 4.10. Hasil simulasi optimasi cavity weight

Percobaan	Faktor					Parameter					Hasil Cavity weight (g)
	Injection Pressure	Mold Temperature	Melt Temperature	Holding Time	Injection Pressure (MPa)	Mold Temperature (°C)	Melt Temperature (°C)	Holding Time (s)			
1	1	1	1	1	100	30	200	1	3,78		
2	1	2	2	2	100	45	225	2	3,17		
3	1	3	3	3	100	60	250	3	3,37		
4	1	4	4	4	100	75	275	4	3,57		
5	2	1	2	3	125	30	225	3	2,72		
6	2	2	1	4	125	45	200	4	3,78		
7	2	3	4	1	125	60	275	1	2,76		
8	2	4	3	2	125	75	250	2	2,74		
9	3	1	3	4	150	30	250	4	2,96		
10	3	2	4	3	150	45	275	3	3,47		
11	3	3	1	2	150	60	200	2	3,68		
12	3	4	2	1	150	75	225	1	3,32		
13	4	1	4	2	175	30	275	2	3,11		
14	4	2	3	1	175	45	250	1	2,87		
15	4	3	2	4	175	60	225	4	3,66		
16	4	4	1	3	175	75	200	3	3,56		

Tabel 4.9 menunjukkan hasil simulasi optimasi *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 pressure* 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 pressure* 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 4.10 adalah hasil simulasi optimasi *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 pressure* 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 pressure* 12 MPa, *mold temperature* 82 C°, *melt temperature* 237 C°, dan *injection time* 5 detik.

4.15. 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 better* karena penilaian *shrinkage* terbaik ialah yang paling rendah sesuai dengan konsep metode tersebut.

A. Perhitungan S/N Ratio optimasi *shrinkage*

Diketahui :

n : 16

y_i : 11,57 %

Ditanya :

a. s_s : ...?

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

Jawab :

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

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

$$= -21,26$$

$$b. \text{Level 1} = \frac{((-21,26)+(-22,81)+(-23,14)+(-23,86))}{4}$$

$$= -22,77$$

Perhitungan diatas 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*. Untuk perhitungan level dan faktor selanjutnya sama dengan perhitungan diatas, hasilnya bisa dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai S/N Ratio optimasi *shrinkage*

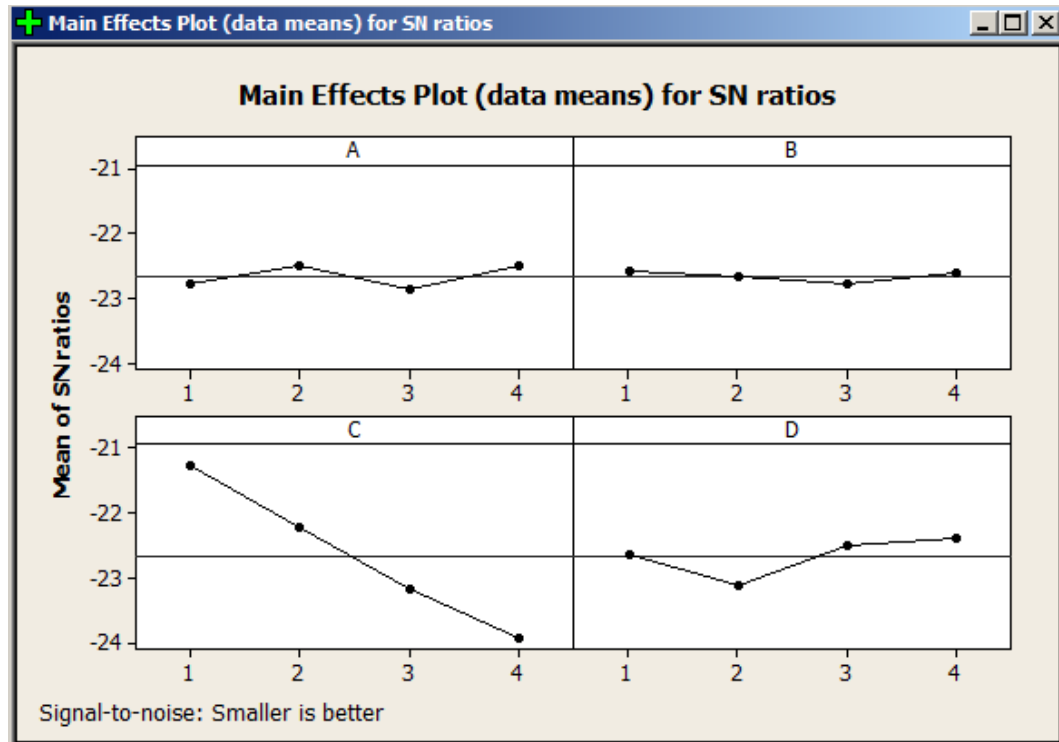
Percobaan	Faktor				Shrinkage (%)	S/N Ratio shrinkage
	<i>Injection Pressure</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Injection Time</i>		
1	100	30	200	0,6	11,57	-21,26
2	100	45	225	1,2	13,82	-22,81
3	100	60	250	1,8	14,36	-23,14
4	100	75	275	2,4	15,60	-23,86
5	125	30	225	1,8	12,54	-21,96
6	125	45	200	2,4	10,87	-20,72
7	125	60	275	0,6	15,62	-23,87
8	125	75	250	1,2	14,78	-23,39
9	150	30	250	2,4	14,24	-23,07
10	150	45	275	1,8	15,79	-23,96
11	150	60	200	1,2	12,84	-22,17
12	150	75	225	0,6	12,99	-22,27
13	175	30	275	1,2	15,93	-24,04
14	175	45	250	0,6	14,34	-23,13
15	175	60	225	2,4	12,42	-21,88
16	175	75	200	1,8	11,13	-20,92

Tabel 4.12 Respon S/N Ratio optimasi *shrinkage*

Level	<i>Injection Pressure</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Injection Time</i>
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 4.12 respon S/N Ratio optimasi *shrinkage* dari pengacakan level parameter proses menunjukkan nois terbesar. Respon Ratio optimasi *shrinkage* yang berpengaruh menunjukkan parameter proses *Injection pressure* 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). *Main plot effect S/N Ratio* pada optimasi *shrinkage* ditunjukkan pada gambar 4.39 dimana nilai terendah pada parameter proses *melt temperature* sebesar (-23,94) parameter tersebut paling berpengaruh terhadap *shrinkage*.



Gambar 4.40 *Main plot effect S/N Ratio* pada optimasi *shrinkage*

B. Perhitungan S/N Ratio optimasi *short shot*

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

Diketahui :

n : 16

y_i : 3,78 gram

Ditanya :

a. s_L : ...?

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

Jawab :

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

$$s_L = -10 L \left[\frac{1}{1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{3,781^2} \right]$$

$$= 11,54$$

$$b. \text{Level 1} = \frac{11,54+10,02+10,55+11,05}{4}$$

$$= 10,79$$

Perhitungan diatas merupakan contoh perhitungan S/N Ratio *large the better* pada level 1 dan perhitungan respon S/N Ratio pada level 1 dengan faktor *injection pressure* . Untuk perhitungan level dan faktor selanjutnya sama dengan perhitungan diatas, hasilnya bisa dilihat pada tabel 4.13.

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

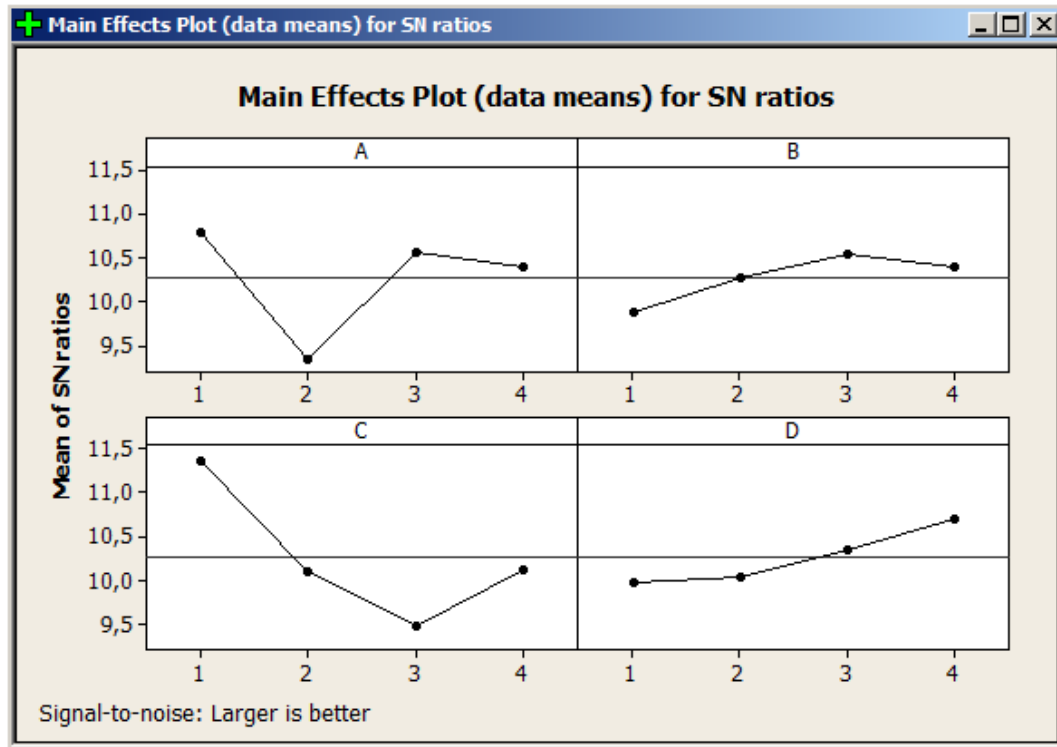
Percobaan	Faktor				Cavity Weight (g)	S/N Ratio Cavity Weight
	<i>Injection Pressure</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Holding Time</i>		
1	100	30	200	1	3,78	11,54
2	100	45	225	2	3,17	10,02
3	100	60	250	3	3,37	10,55
4	100	75	275	4	3,57	11,05
5	125	30	225	3	2,72	8,69
6	125	45	200	4	3,78	11,54
7	125	60	275	1	2,76	8,81
8	125	75	250	2	2,74	8,75
9	150	30	250	4	2,96	9,42
10	150	45	275	3	3,47	10,80
11	150	60	200	2	3,68	11,31
12	150	75	225	1	3,32	10,42
13	175	30	275	2	3,11	9,85
14	175	45	250	1	2,87	9,15
15	175	60	225	4	3,66	11,26
16	175	75	200	3	3,56	11,07

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

Level	<i>Injection Pressure</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Holding Time</i>
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 4.14 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). *Main plot effect S/N Ratio* pada optimasi *short shot* ditunjukkan pada gambar 4.40 dimana nilai tertinggi pada parameter proses *melt temperature* sebesar (11,37) parameter tersebut paling berpengaruh terhadap *short shot*.



Gambar 4.41 *Main plot effect S/N Ratio* pada optimasi *short shot*

4.16. Analysis Of Variance (ANOVA)

Analisa ANOVA digunakan pada penelitian ini untuk memperkirakan 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*.

1. Jumlah kuadrat total (ST)

$$ST = \sum y^2$$

$$= (11,57^2 + 13,82^2 + 14,36^2 + 15,60^2 + 12,54^2 + 10,87^2 + 15,62^2 + 14,78^2 + 14,24^2 + 15,79^2 + 12,84^2 + 12,99^2 + 15,93^2 + 14,34^2 + 12,42^2 + 11,13^2)$$

$$= 3035,5094$$

2. Jumlah kuadrat mean (S_m)

$$S_m = n \times y^2$$

$$= 16 \times 13,6775^2$$

$$= 2993,184$$

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)

$$\begin{aligned} Sq_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} + \frac{A_4^2}{n_{A4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{55,35^2}{4} + \frac{53,81^2}{4} + \frac{55,86^2}{4} + \frac{53,82^2}{4} - \frac{218,84^2}{16} \\ &= 0,8335 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} + \frac{B_4^2}{n_{B4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{54,28^2}{4} + \frac{54,83^2}{4} + \frac{55,24^2}{4} + \frac{54,5^2}{4} - \frac{218,84^2}{16} \\ &= 0,4046 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} + \frac{C_4^2}{n_{C4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{46,41^2}{4} + \frac{51,77^2}{4} + \frac{57,72^2}{4} + \frac{62,93^2}{4} - \frac{218,84^2}{16} \\ &= 38,2669 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D &= \frac{D_1^2}{n_{D1}} + \frac{D_2^2}{n_{D2}} + \frac{D_3^2}{n_{D3}} + \frac{D_4^2}{n_{D4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{54,52^2}{4} + \frac{57,37^2}{4} + \frac{53,82^2}{4} + \frac{53,13^2}{4} - \frac{218,84^2}{16} \\ &= 2,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_e &= ST - S_m - Sq_A - Sq_B - Sq_C - Sq_D \\ &= 3035,5094 - 2993,184 - 0,8335 - 0,4046 - 38,2669 - 2,6 \\ &= 0,2204 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat total sesungguhnya (S_t)

$$\begin{aligned} S_t &= Sq_A + Sq_B + Sq_C + Sq_D + Sq_e \\ &= 0,8335 + 0,4046 + 38,2669 + 2,6 + 0,2204 \\ &= 42,3254 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Mq_A &= \frac{Sq_A}{Df_A} \\ &= \frac{0,8335}{3} \\ &= 0,2778 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_B &= \frac{Sq_B}{Df_B} \\
 &= \frac{0,4046}{3} \\
 &= 0,1348
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_C &= \frac{Sq_C}{Df_C} \\
 &= \frac{38,2669}{3} \\
 &= 12,7556
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_D &= \frac{Sq_D}{Df_D} \\
 &= \frac{2,6}{3} \\
 &= 0,8666
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mq_e &= \frac{Sq_e}{Df_e} \\
 &= \frac{0,2204}{3} \\
 &= 0,07
 \end{aligned}$$

7. F-Ratio

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio A} &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,2778}{0,07} \\
 &= 3,96
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio B} &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,1348}{0,07} \\
 &= 1,92
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio C} &= \frac{Mq_C}{Mq_e} \\
 &= \frac{12,7556}{0,07} \\
 &= 182,14
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F-Ratio D} &= \frac{Mq_D}{Mq_e} \\
 &= \frac{0,8666}{0,07} \\
 &= 12,38
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Sq_A' &= Sq_A - D_f \times Mq_e \\ &= 0,8335 - 3 \times 0,07 \\ &= 0,6235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B' &= Sq_B - D_f \times Mq_e \\ &= 0,4046 - 3 \times 0,07 \\ &= 0,1946 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C' &= Sq_C - D_f \times Mq_e \\ &= 38,2669 - 3 \times 0,07 \\ &= 38,0569 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D' &= Sq_D - D_f \times Mq_e \\ &= 2,6 - 3 \times 0,07 \\ &= 2,39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_e' &= St - Sq_A' - Sq_B' - Sq_C' - Sq_D' \\ &= 42,3254 - 0,6235 - 0,1946 - 38,0569 - 2,39 \\ &= 1,0604 \end{aligned}$$

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

$$\rho A = \frac{Sq_A'}{St} \times 100 = \frac{0,6235}{42,3254} \times 100 = 1,47 \%$$

$$\rho B = \frac{Sq_B'}{St} \times 100 = \frac{0,1946}{42,3254} \times 100 = 0,46 \%$$

$$\rho C = \frac{Sq_C'}{St} \times 100 = \frac{38,0569}{42,3254} \times 100 = 89,91 \%$$

$$\rho D = \frac{Sq_D'}{St} \times 100 = \frac{2,39}{42,3254} \times 100 = 5,64 \%$$

$$\rho e = \frac{Sq_e'}{St} \times 100 = \frac{1,0604}{42,3254} \times 100 = 2,51 \%$$

Tabel 4.15 Pesentase kontribusi parameter untuk optimasi *shrinkage*

<i>source</i>	Df	Sq	Mq	F-Ratio	Sq'	ρ %
<i>Ijection Pressure</i>	3	0,8335	0,2778	3,96	0.6235	1,47
<i>Mold Temperature</i>	3	0,1305	0,1348	1,92	0,1946	0.46
<i>Melt Temperature</i>	3	38,581	12,755	182,14	38,056	89,91
<i>Injection Time</i>	3	2,6	0,8666	12,38	2,39	5,64
<i>Error</i>	3	0,0614	0,07	-	1,0604	2,51
Total	15	42,207	-	-	-	100

Berdasarkan analisa ANOVA pada optimasi *shrinkage* hasil perhitungan kontribusi faktor ditampilkan pada tabel 4.14 yang mana pada tabel tersebut menunjukkan bahwa parameter proses *melt temperature* memberikan kontribusi yang paling besar terhadap respon *shrinkage* sebesar 89,91% dibandingkan dengan faktor yang lain.

Berikut adalah perhitungan ANOVA untuk optimasi *short shot*

1. Jumlah kuadrat total (ST)

$$ST = \sum y^2$$

$$= (3,78^2 + 3,17^2 + 3,37^2 + 3,57^2 + 2,72^2 + 3,78^2 + 2,76^2 + 2,74^2 + 2,96^2 + 3,47^2 + 3,68^2 + 3,32^2 + 3,11^2 + 2,87^2 + 3,66^2 + 3,56^2)$$

$$= 174,5966$$

2. Jumlah kuadrat mean (S_m)

$$S_m = n \times y^2$$

$$= 16 \times 3,2825^2$$

$$= 172,3969$$

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)

$$\begin{aligned} Sq_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} + \frac{A_4^2}{n_{A4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{13,89^2}{4} + \frac{12^2}{4} + \frac{13,43^2}{4} + \frac{13,2^2}{4} - \frac{52,52^2}{16} \\ &= 0,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} + \frac{B_4^2}{n_{B4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{12,57^2}{4} + \frac{13,09^2}{4} + \frac{13,57^2}{4} + \frac{13,31^2}{4} - \frac{52,52^2}{16} \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} + \frac{C_4^2}{n_{C4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{14,8^2}{4} + \frac{12,87^2}{4} + \frac{11,94^2}{4} + \frac{12,91^2}{4} - \frac{52,52^2}{16} \\ &= 1,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D &= \frac{D_1^2}{n_{D1}} + \frac{D_2^2}{n_{D2}} + \frac{D_3^2}{n_{D3}} + \frac{D_4^2}{n_{D4}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{12,73^2}{4} + \frac{12,7^2}{4} + \frac{13,12^2}{4} + \frac{13,97^2}{4} - \frac{52,52^2}{16} \\ &= 0,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_e &= ST - S_m - Sq_A - Sq_B - Sq_C - Sq_D \\ &= 174,5966 - 172,3969 - 0,48 - 0,27 - 1,08 - 0,26 \\ &= 0,1097 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat total sesungguhnya (S_t)

$$\begin{aligned} S_t &= Sq_A + Sq_B + Sq_C + Sq_D + Sq_e \\ &= 0,48 + 0,27 + 1,08 + 0,26 + 0,1097 \\ &= 2,19 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Mq_A &= \frac{Sq_A}{Df_A} \\ &= \frac{0,48}{3} \\ &= 0,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_B &= \frac{Sq_B}{Df_B} \\ &= \frac{0,27}{3} \\ &= 0,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_C &= \frac{Sq_C}{Df_C} \\ &= \frac{1,08}{3} \\ &= 0,36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_D &= \frac{Sq_D}{Df_D} \\ &= \frac{0,26}{3} \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mq_e &= \frac{Sq_e}{Df_e} \\ &= \frac{0,1097}{3} \\ &= 0,03 \end{aligned}$$

7. F-Ratio

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio A} &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\ &= \frac{0,16}{0,03} \\ &= 5,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio B} &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\ &= \frac{0,09}{0,03} \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio C} &= \frac{Mq_C}{Mq_e} \\ &= \frac{0,36}{0,03} \\ &= 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F-Ratio D} &= \frac{Mq_D}{Mq_e} \\ &= \frac{0,08}{0,03} \\ &= 2,6 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Sq_A' &= Sq_A - D_f \times Mq_e \\ &= 0,48 - 3 \times 0,03 \\ &= 0,39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_B' &= Sq_B - D_f \times Mq_e \\ &= 0,27 - 3 \times 0,03 \\ &= 0,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_C' &= Sq_C - D_f \times Mq_e \\ &= 1,08 - 3 \times 0,03 \\ &= 0,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sq_D' &= Sq_D - D_f \times Mq_e \\ &= 0,26 - 3 \times 0,03 \\ &= 0,17 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sq_e' &= St - Sq_A' - Sq_B' - Sq_C' - Sq_D' \\
 &= 2,19 - 0,39 - 0,18 - 0,99 - 0,17 \\
 &= 0,46
 \end{aligned}$$

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

$$\rho A = \frac{Sq_A'}{St} \times 100 = \frac{0,39}{2,19} \times 100 = 17,80 \%$$

$$\rho B = \frac{Sq_B'}{St} \times 100 = \frac{0,18}{2,19} \times 100 = 8,22 \%$$

$$\rho C = \frac{Sq_C'}{St} \times 100 = \frac{0,99}{2,19} \times 100 = 45,20 \%$$

$$\rho D = \frac{Sq_D'}{St} \times 100 = \frac{0,17}{2,19} \times 100 = 7,76 \%$$

$$\rho e = \frac{Sq_e'}{St} \times 100 = \frac{0,46}{2,2} \times 100 = 21 \%$$

Tabel 4.16 Pesentase kontribusi parameter untuk optimasi *short shot*

source	Df	Sq	Mq	F-Ratio	Sq'	ρ %
<i>Ijection Pressure</i>	3	0,48	0,16	5,3	0,39	17,80
<i>Mold Temperature</i>	3	0,27	0,09	3	0,18	8,22
<i>Melt Temperature</i>	3	1,08	0,36	12	0,99	45,20
<i>Holding Time</i>	3	0,26	0,08	2,6	0,17	7,76
<i>Error</i>	3	0,10	0,03	-	0,46	21
Total	15	2,19	-	-	-	100

Berdasarkan analisa ANOVA pada optimasi *short shot* hasil perhitungan kontribusi faktor ditampilkan pada tabel 4.15 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.

4.17. Analisis Parameter Optimum

Setelah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap S/N ratio *shrinkage* dan *short shot*, kemudian dilakukan perhitungan prediksi hasil kombinasi parameter optimum. Berikut adalah prediksi hasil kombinasi parameter proses optimum.

Perhitungan prediksi kombinasi parameter proses optimum *shrinkage*

$$\begin{aligned} 1. S_q (\text{pooled } e) &= S_{qe} + S_{qD} \\ &= 0,22 + 2,6 = 2,82 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \bar{y} &= 13,67 \\ \overline{A2} &= 13,45 \\ \overline{B1} &= 13,57 \\ \overline{C1} &= 11,6 \\ \overline{D4} &= 13,28 \\ MS_e &= 1.01 \\ F_{(0.01,2,13)} &= 6,72 \\ N_{eff} &= 5,3 \end{aligned}$$

Ditanya : a. μ Prediksi CT ?

b. *Confidence Interval* (CI)

Jawab :

a. μ Prediksi

$$\begin{aligned} \mu \text{ Prediksi} &= \bar{y} + (\overline{A2} - \bar{y}) + \{(\overline{B1} - \bar{y}) - (\overline{A2} - \bar{y}) - (\overline{C1} - \bar{y})\} + (\overline{D4} - \bar{y}) \\ &= 13,67 + (13,45 - 13,67) + \{(13,57 - 13,67) - (13,45 - 13,67) \\ &\quad - (11,6 - 13,67)\} + (13,28 - 13,67) \\ &= 13,19 \end{aligned}$$

b. *Confidence Interval*

$$\begin{aligned} CI &= \pm \sqrt{F_{(a,v1,v2)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{N_{eff}} + \frac{1}{r}\right)} \\ &= \pm \sqrt{6,72 \times 1,01 \times \left(\frac{1}{5,3} + \frac{1}{1}\right)} \\ &= \pm 2,85 \end{aligned}$$

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

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

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

Perhitungan prediksi kombinasi parameter proses optimum *short shot*

$$\begin{aligned} 1. S_q (\text{pooled } e) &= S_{qe} + S_{qD} \\ &= 0,1 + 0,26 = 0,36 \end{aligned}$$

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

Diketahui :

\bar{y}	= 3,28
$\overline{A1}$	= 3,4
$\overline{B3}$	= 3,3
$\overline{C1}$	= 3,7
$\overline{D4}$	= 3,4
MS_e	= 0,08
$F_{(0.01,2,13)}$	= 6,72
N_{eff}	= 5,3

Ditanya : a. μ Prediksi CT ?

b. *Confidence Interval* (CI)

Jawab :

a. μ Prediksi

$$\begin{aligned}\mu \text{ Prediksi} &= \bar{y} + (\overline{A1} - \bar{y}) + \{(\overline{B3} - \bar{y}) - (\overline{A1} - \bar{y}) - (\overline{C1} - \bar{y})\} + (\overline{D4} - \bar{y}) \\ &= 3,28 + (3,4 - 3,28) + \{(3,3 - 3,28) - (3,4 - 3,28) \\ &\quad - (3,7 - 3,28)\} + (3,4 - 3,28) \\ &= 3\end{aligned}$$

b. *Confidence Interval*

$$\begin{aligned}\text{CI} &= \pm \sqrt{F_{(a,v1,v2)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{N_{eff}} + \frac{1}{r}\right)} \\ &= \pm \sqrt{6,72 \times 0,08 \times \left(\frac{1}{5,3} + \frac{1}{1}\right)} \\ &= \pm 0,8\end{aligned}$$

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

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

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

Perhitungan diatas menghasilkan prediksi yang akan didapatkan pada hasil simulasi eksperimen konfirmasi. Didapatkan prediksi *shrinkage* 13,09 % dan *confidence interval* $\pm 2,85$ sedangkan prediksi *short shot* 3 gram dan *confidence interval* $\pm 0,8$. Hasil prediksi tersebut tidak selalu tepat, namun hasilnya berada diantara range tersebut.

1.18. 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. Berikut adalah kombinasi parameter proses dan level optimum yang didapatkan dari analisa S/N Ratio pada optimasi *shrinkage* dan *short shot*.

Tabel 4.17 Kombinasi parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi *shrinkage*

<i>Respon</i>	<i>Injection Pressure</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Injection Time</i>
<i>Shrinkage (%)</i>	125 MPa	30 °C	200 °C	2,4 detik

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

<i>Respon</i>	<i>Injection Pressure</i>	<i>Mold Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>	<i>Holding Time</i>
<i>Short shot</i>	100 MPa	60 °C	200 °C	4 detik

Ranking tertinggi berdasarkan analisa S/N Ratio dan ANOVA menunjukkan parameter tersebut paling berpengaruh terhadap respon *shrinkage* dan *short shot*.

Tabel 4.19 Respon parameter proses analisa S/N Ratio

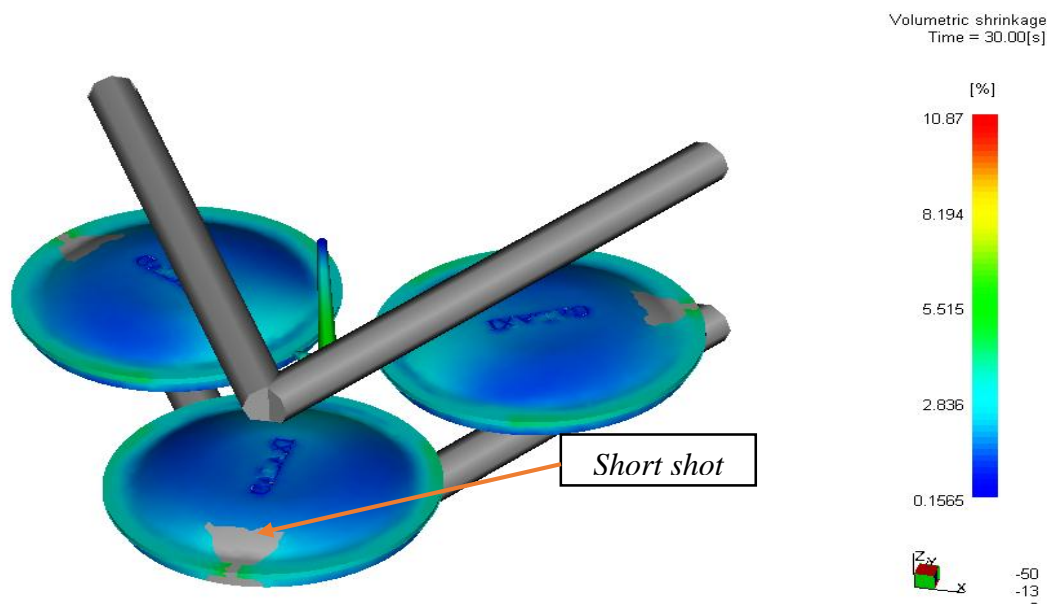
<i>Rank</i>	<i>Shrinkage</i>	<i>Short shot</i>
1	<i>Melt Temperature</i>	<i>Melt Temperature</i>
2	<i>Injection Time</i>	<i>Injection Pressure</i>
3	<i>Injection Pressure</i>	<i>Holding Time</i>
4	<i>Mold Temperature</i>	<i>Mold Temperature</i>

Tabel 4.20 Respon parameter proses analisa ANOVA

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

Berdasarkan hasil dari analisa ANOVA ranking tertinggi untuk optimasi *shrinkage* adalah parameter *melt temperature*. Sedangkan pada parameter *short shot* parameter yang paling berpengaruh adalah *melt temperature*.

Setelah diketahui kombinasi parameter proses optimum *shrinkage* dan *short shot*, kombinasi parameter proses tersebut disimulasikan ke Moldflow, untuk mengetahui apakah kombinasi tersebut dapat mereduksi cacat.



Gambar 4.42 Hasil kombinasi parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi *shrinkage*

End of packing phase results summary for the part :

Total part weight	=	11.3408 g
Bulk temperature - maximum	=	36.2478 C
Bulk temperature - 95th percentile	=	33.1792 C
Bulk temperature - 5th percentile	=	31.4577 C
Bulk temperature - minimum	=	30.4865 C
Bulk temperature - average	=	32.4260 C
Bulk temperature - RMS deviation	=	0.5389 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	=	7.1273 %
Volumetric shrinkage - 95th percentile	=	5.0760 %
Volumetric shrinkage - 5th percentile	=	1.9410 %
Volumetric shrinkage - minimum	=	0.1681 %
Volumetric shrinkage - average	=	3.5046 %
Volumetric shrinkage - RMS deviation	=	0.9087 %
Sink index - maximum	=	0.1672 %
Sink index - 95th percentile	=	9.0003E-06 %
Sink index - minimum	=	-0.0050 %
Sink index - RMS deviation	=	0.0284 %

Gambar 4.43 Hasil kombinasi parameter proses optimum metode S/N Ratio pada optimasi *short shot*

Gambar 4.42 adalah hasil kombinasi parameter proses optimum *shrinkage* sebesar 10,87 % akan tetapi produk mengalami *short shot*. Gambar 4.43 adalah hasil kombinasi parameter proses optimum *short shot* sebesar 11,3408 gram, produk tidak mengalami *short shot*. Nilai *cavity weight* dapat dilihat pada *screen output* dari nilai *total part weight* lalu dibagi 3, karna 1 *mold* terdapat 3 *cavity* sehingga didapatkan nilai *cavity weight* sebesar 3,78 gram.

Hasil kombinasi parameter proses optimum pada analisa S/N Ratio mempunyai hasil yang sama pada analisa DOE terbaik dan nilai kombinasi parameter proses optimum tiap metode tidak sama, sehingga perlu dilakukannya eksperimen konfirmasi, hasil kombinasi parameter proses optimum *shrinkage* adalah 10,87 % akan tetapi produk mengalami *short shot* sehingga dipilih kombinasi parameter pada analisa DOE percobaan ke 1 karna produk tidak mengalami *short shot* dan respon *shrinkage* kecil, yaitu 11,57 %. Sedangkan hasil

kombinasi parameter optimum *short shot* adalah 3,78 gram. Dari hasil Perhitungan prediksi kombinasi parameter proses optimum, kombinasi parameter proses optimum pada analisa S/N Ratio dan ANOVA masih masuk pada *range* perhitungan prediksi kombinasi parameter proses optimum yaitu 2,2 sampai 3,8 gram.

