

## Optimalisasi *Sink Mark Index* Pada Produk Plastik Dengan Variasi Ketebalan Ekstrim Menggunakan Simulasi Moldflow

(Sink Mark Index Optimization of Plastic Product with Extreme Thickness Variation Using Moldflow Simulation)

CAHYO BUDIYANTORO

### ABSTRACT

Injection Molding Process is a closed cycle process involving 4 important factors that influencing product quality such as: process setting parameter, plastic material selection, product design and mold design. Ideally a plastic product is designed with uniform wall thickness since the thickness variation brought about negative effect on the final product. Those negative effects are warpage, sink mark or voids. Warpage is a bending failure of product, void cannot be observed as unfilled or holes on the cross section of the part, whereas sink mark is a deflected mark that can directly be seen on the surface of the part. Those 3 failures are normally caused by material accumulation and thermal rate differentiation. This research was a computerized based simulation using Autodesk MoldFlow Plastic Insight software to predict the 3 failures and to optimize the product quality by Sink Mark Index reduction, minimizing sink mark estimation and volumetric shrinkage due to extreme thickness variation. The selected specimen was a brush handle, a real product that can easily be found in the market. The errors of brush handle in fact was caused by poor design and the only way to improve its quality is from process parameters point of view. There are 5 possible factors in fixing the failures, each factor possessed 3 level of values, then according to the Taguchi approach of design experiment, there must be 27 experiments to be done. After having 27 times experiments with combination of level and factors, it can be summerized that by combining low melting temperature, high injection pressure and high holding pressure, a sink mark index of 2.642% and a volumetric shrinkage of 19.28% can be obtained, and those were the minimum values representing the best results of product. The extension of holding time did not give a significant influence on the target quality.

**Keywords:** injection molding, sink marks index, Moldflow Simulation

### PENDAHULUAN

Proses pembuatan produk plastik sangat beragam sesuai dengan bentuk, kompleksitas, kepresisian dan volume produksi. Proses injeksi termasuk salah satu proses utama dalam pembuatan produk plastik yang mampu menghasilkan produk yang bergeometri rumit serta memiliki dimensi yang presisi. Produk – produk pada segmen komoditas plastik yang beredar di pasaran seringkali dibuat tidak sesuai dengan kaidah-kaidah perancangan produk plastik. Hal ini mengakibatkan terjadinya peluang kegagalan produk akibat desain menjadi lebih besar. Kesalahan desain ini kemudian diteruskan hingga tahapan produksi masal, dan berakibat pada rendahnya

kualitas penampilan dan performa produk (Pravin Popatrao Shinde, 2014).

Desain produk plastik sebaiknya meminimalkan adanya perbedaan ketebalan dinding produk. Ketebalan dinding dibuat seseragam mungkin dan jika ada perbedaan maka dibuat secara gradual. Banyak produk plastik di pasaran yang dibuat dengan perbedaan ketebalan yang ekstrim, contohnya adalah produk *brush handle* yang akan digunakan sebagai model pada penelitian ini. Pada area permukaan produk di ujung handle memiliki ketebalan ekstrim, di area ini terjadi cekungan atau yang disebut dengan istilah sink mark yang menurunkan nilai penampilan produk. Kesalahan produk lainnya yang mungkin muncul akibat ketebalan produk

ekstrim adalah *void*, berupa rongga yang ada di inti penampang produk sehingga tidak terlihat dari luar. Kedua fenomena ini tidak terjadi secara bersamaan, jadi jika pada permukaan produk tidak ditemukan *sink mark* maka besar kemungkinan bagian dalamnya terdapat rongga. Untuk melakukan tindakan koreksi terhadap kesalahan ini maka perlu dilakukan perubahan desain produk dan perubahan pada desain cetakan serta pembuatan ulang cetakan. Langkah-langkah ini memerlukan waktu dan biaya yang tinggi sehingga tidak akan menjadi pilihan pertama bagi industri pembuatnya.

Langkah perbaikan yang seringkali diambil adalah melakukan percobaan langsung pada mesin injeksi dengan merubah beberapa parameter setting proses injeksi (Harshal P. Kale, 2013). Namun langkah ini mengandung resiko banyaknya material yang terbuang dan waktu yang digunakan, apalagi jika dilakukan tanpa dasar dan prosedur percobaan yang benar.

Industri plastik modern menggunakan simulasi komputer untuk optimalisasi desain produk dan optimalisasi parameter proses. Simulasi komputer membantu pengambilan tindakan preventif dengan memprediksi kegagalan yang mungkin terjadi dan pertimbangan korektif pada kegagalan yang telah terjadi (Hong-Seok Park, 2011).

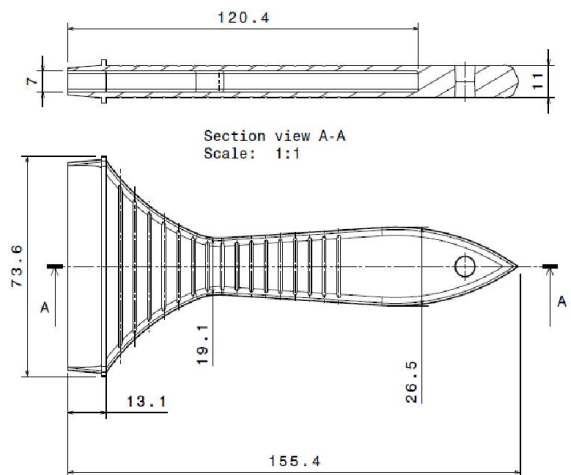


GAMBAR 1. Produk *Brush Handle*

*Void* tidak menjadi obyek perhatian dari penelitian ini karena pertimbangan utama pada produk *brush handle* adalah penampilan permukaan yang rata. Peneliti akan melakukan optimalisasi parameter proses injeksi dengan model desain *brush handle* sehingga didapatkan parameter setting mesin yang sesuai untuk menurunkan tingkat/index *Sink Mark*. *Sink marks index* adalah indikasi dari potensial *shrinkage* karena ada bagian inti yang masih lunak saat plastik dikeluarkan dari cetakan.

## OBJEK PENELITIAN

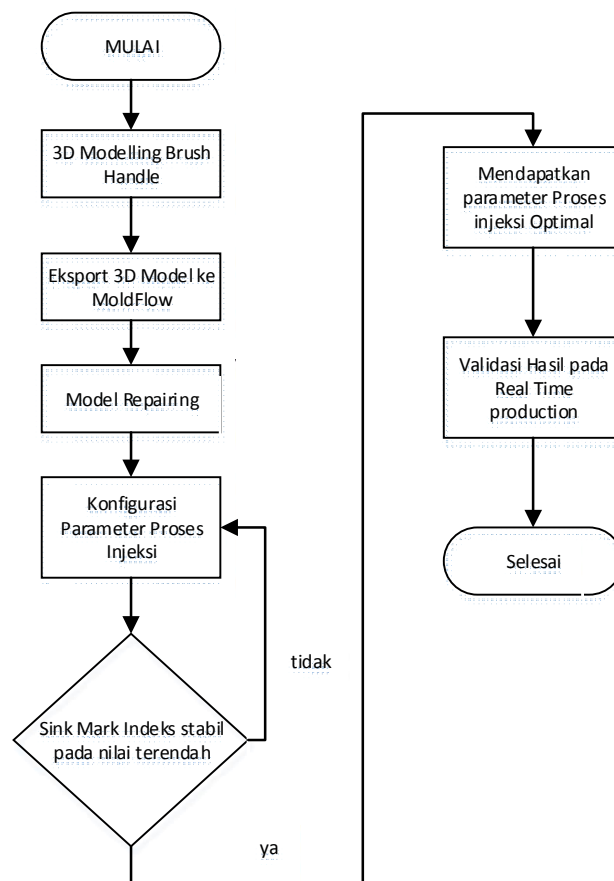
Penelitian ini adalah penelitian eksperiment desain, dengan metode simulasi untuk mendapatkan parameter proses injeksi terbaik yang mampu menurunkan *sink mark* indek. Penelitian ekperimen ini menggunakan model berupa produk *brush handle* (pemegang kuas) ukuran 2.5 inchi, yang sudah ada dipasaran. Produk tersebut digambar ulang sesuai dengan dimensi yang ada dan dimodelkan dalam bentuk 3D. *Brush handle* terbuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE) dibuat pada cetakan 2 *cavity* dengan proses *injection molding*



GAMBAR 2. Dimensi *Brush handle*

TABEL 1. Sifat Bahan HDPE (Goodship V, 2004)

Sifat Fisis		
Massa jenis	0.94-0.96	g/cm <sup>3</sup>
Sifat Mekanis		
Modulus Elastisitas (E)	911	MPa
Poisson Ratio	0,426	
Shear Modulus	319.4	MPa
Rekomendasi Proses		
Suhu Mold	10 – 70	°C
Suhu cairan (rekomendasi)	190 – 230	°C
Suhu cairan (maksimum)	270	°C
Suhu Ejecting	92	°C
Tekanan Injeksi	1200	bar
Molding Shrinkage	1.5 – 3.5	%



GAMBAR 3. Diagram Alir Metode Penelitian

## VARIABEL PENELITIAN

### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pemilihan jenis material plastik yang akan diaplikasikan pada model 3D.

### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai *sinkmark indeks* dan waktu siklus proses.

### 3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah *holding pressure* yang diatur pada skala peningkatan sebesar 100 bar, *holding time* pada skala peningkatan 25 °C dan *injection pressure* yang diatur dengan skala peningkatan sebesar 200 bar. Sedangkan *melt temperature* diatur pada skala peningkatan sebesar 40 °C dan *mold temperature* dengan peningkatan level 30 °C.

## PERALATAN DAN BAHAN PENELITIAN

Pada penelitian ini alat yang akan digunakan terdiri atas hardware dan software, yang berupa:

### 1. Software Autodesk MoldFlow Plastic insight

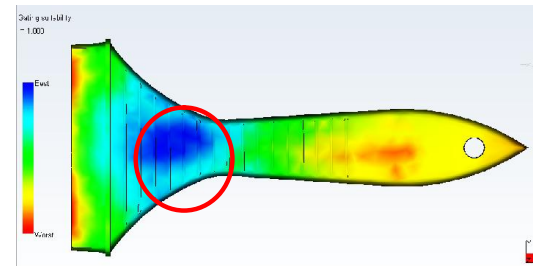
Software ini adalah alat bantu simulasi untuk desain cetakan injeksi, desain bagian plastik dan proses injeksi molding yang membantu menghindari potensi cacat manufaktur lebih cepat.

### 2. PC dengan Processor minimal setara dengan Intel Core i5, RAM 6 GB DDR3, VGA 2, Harddisk 1 TB SATA, OS minimal Windows 7.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Rekomendasi Lokasi *Gate*

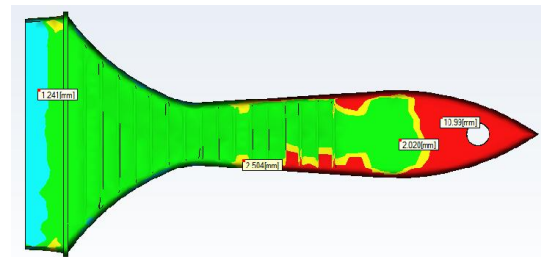
*Gate* adalah bagian dari sistem saluran masuk cairan plastik ke rongga cetak. Pemilihan lokasi *gate* yang tepat merupakan faktor penting yang mempengaruhi kualitas akhir sebuah produk (P. Hussain Babu, 2013). Lokasi *gate* dipilih berdasarkan resistansi aliran yang paling rendah.



GAMBAR 3. Lokasi Gate terbaik

### 2. Variasi Ketebalan Ekstrim

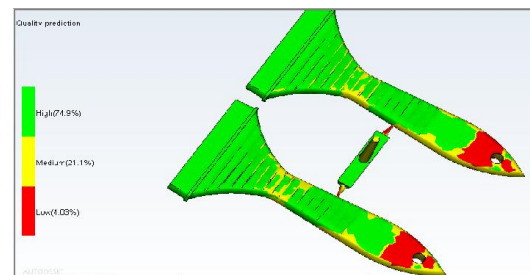
Pada gambar 5 terlihat bahwa produk *brush handle* tidak dirancang dengan ketebalan seragam. Panjang *insert* pembentuk lubang tengah (lihat *Section view A-A*) tidak maksimum sampai akhir *handle* karena terhalang oleh lubang di bagian ujung. Hal ini menyebabkan bagian ujung *handle* memiliki beda ketebalan yang ekstrim (11 mm) dibandingkan dengan bagian lainnya. Fenomena *sink mark* atau *voids* akan terjadi pada kondisi produk seperti ini (D. Mathivanan, 2010)



GAMBAR 4. Variasi Ketebalan Ekstrim

### 3. Prediksi Kualitas Untuk Mold 2 *Cavities*

Proses pembuatan produk menggunakan cetakan dengan 2 rongga cetak (2 *cavities* mold). Prediksi kualitas yang diperoleh dari simulasi *Moldflow* menunjukkan bahwa daerah dengan ketebalan ekstrim memiliki tingkat kualitas yang paling rendah karena ketidakstabilan geometri.



GAMBAR 5. Prediksi Kualitas Produk

#### 4. Konfigurasi Parameter Proses

Langkah optimalisasi yang dilakukan dalam penelitian ini tidak terkait dengan perubahan desain dari produk, karena akan membawa pada perubahan desain cetakan yang secara ekonomis akan dihindari oleh industri pembuat produk brush handle ini. Optimalisasi diupayakan secara maksimal pada perubahan parameter proses untuk mengurangi sink mark dan meningkatkan kualitas produk di bagian ketebalan ekstrim. Variasi parameter proses dilakukan pada kecepatan injeksi, suhu

pencairan, tekanan injeksi, *back pressure*, *holding pressure*, *holding time* dan *cooling time*. Tabel berikut menunjukkan rentang nilai parameter yang divariasikan.

Kombinasi setting parameter dari tabel 2 menggunakan *orthogonal array* (OA) yang disesuaikan dengan derajat kebebasan total (DoF) yaitu 10 (DoF = 5 x (3-1)). Karena terdapat 3 level dan 5 faktor, maka digunakan  $L_{27}$  ( $3^5$ ) untuk *orthogonal array* dengan 27 baris dan 5 kolom.

Tabel 2. Variasi parameter proses injeksi

Faktor	Parameter	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	Suhu cairan	°C	190	230	270
B	Suhu cetakan	°C	10	40	70
C	Tekanan injeksi	Bar	800	1000	1200
D	Tekanan holding	Bar	400	500	600
E	Waktu holding	Detik	25	50	75

TABEL 3. Rencana Percobaan dengan L27

Faktor Percobaan Ke	Level parameter proses				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

TABEL 4. Kombinasi parameter proses pada percobaan

Level parameter proses					
Faktor Percobaan Ke	A	B	C	D	E
1	190	10	800	400	25
2	190	10	800	400	50
3	190	10	800	400	75
4	190	40	1000	500	25
5	190	40	1000	500	50
6	190	40	1000	500	75
7	190	70	1200	600	25
8	190	70	1200	600	50
9	190	70	1200	600	75
10	230	10	1000	600	25
11	230	10	1000	600	50
12	230	10	1000	600	75
13	230	40	1200	400	25
14	230	40	1200	400	50
15	230	40	1200	400	75
16	230	70	800	500	25
17	230	70	800	500	50
18	230	70	800	500	75
19	270	10	1200	500	25
20	270	10	1200	500	50
21	270	10	1200	500	75
22	270	40	800	600	25
23	270	40	800	600	50
24	270	40	800	600	75
25	270	70	1000	400	25
26	270	70	1000	400	50
27	270	70	1000	400	75

TABEL 5. Hasil Percobaan Simulasi

Percobaan Ke	Sink Mark Index (%)	Volume tric Shrinkage (%)	Sink Mark Estimate (mm)
1	3.338	20.50	1.04
2	3.338	19.94	1.04
3	3.338	19.94	1.04
4	3.077	20.51	0.9855
5	3.077	19.65	0.9855
6	3.077	19.65	0.9855
7	2.642	20.52	0.9171
8	2.642	19.28	0.9171
9	2.642	19.28	0.9171
10	4.594	20.33	0.9877
11	4.630	20.33	0.9875
12	4.594	20.33	0.9877
13	4.819	21.49	1.106
14	4.826	21.49	1.107
15	4.826	21.49	1.107
16	4.166	21.68	1.060
17	4.166	21.68	1.036
18	4.166	21.68	1.036
19	6.146	22.59	1.075
20	6.149	22.59	1.074
21	6.149	22.59	1.074
22	5.462	21.86	1.031
23	5.512	21.86	1.007
24	5.512	21.86	1.007
25	6.304	23.23	1.296
26	6.304	23.23	1.296
27	6.358	23.23	1.3

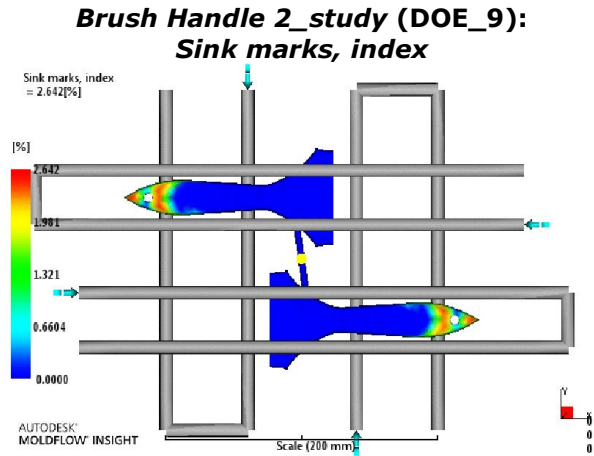
Hasil dari 27 percobaan dengan kombinasi 5 faktor dan 3 level ditunjukkan oleh tabel 5. Kombinasi parameter proses injeksi yang memberikan hasil minimum pada nilai *Sink Mark Index*, *Volumetric Shrinkage* dan *Sink Mark Estimate* adalah percobaan ke 8 dan 9 yaitu:

- Suhu cairan : 190 °C
- Suhu cetakan : 70 °C
- Tekanan injeksi : 1200 bar
- Tekanan *holding* : 600 bar

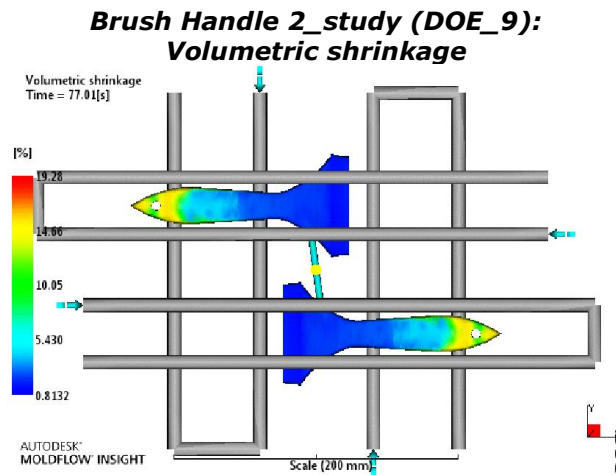
- Waktu *holding* (ke 8) : 50 detik
- Waktu *holding* (ke 9) : 75

Sedangkan hasil maksimum dari ketiga target kualitas tersebut ditunjukkan oleh percobaan ke 27 dengan kombinasi parameter yaitu:

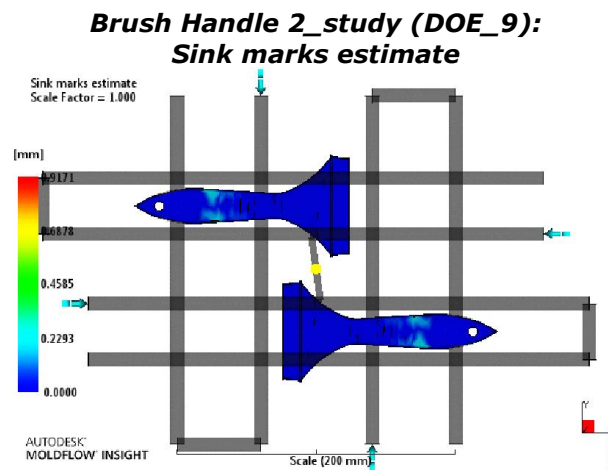
- Suhu cairan : 270 °C
- Suhu cetakan : 70 °C
- Tekanan injeksi : 1000 bar
- Tekanan *holding* : 400 bar
- Waktu *holding* : 75 detik



Gambar 6. Sink mark index optimum



Gambar 7. Volumetric Shrinkage optimum



Gambar 8. Estimasi sink mark optimum

## KESIMPULAN

1. Sink mark indek yang tinggi menunjukkan potensi shrinkage yang tinggi. Besarnya kedalaman sink marks ditunjukkan oleh nilai Sink Mark Estimate. Kedua hasil tersebut memiliki kaitan langsung dengan nilai shrinkage (penyusutan) yang ditunjukkan oleh Volumetric Shrinkage.
2. Untuk mendapatkan nilai sink mark minimum digunakan:
  - a. Suhu cairan rendah
  - b. Suhu cetakan tinggi
  - c. Tekanan injeksi tinggi
  - d. Tekanan holding tinggi
  - e. Waktu holding sedang hingga tinggi

## DAFTAR PUSTAKA

- D. Mathivanan, M. Nouby and R. Vidhya (2010). Minimization of sink mark defects in injection molding process – Taguchi approach. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 2, No. 2, pp. 13-22.
- Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. *Rapra Technology Limited and ARBURG Limited, Germany*.
- Harshal P. Kale, Dr. Umesh V. Hambire (2013). Optimization of Injection Molding Process Parameter for Reducing Shrinkage by Using High Density Polyethylene (HDPE) Material. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, ISSN (Online): 2319-7064
- Hong-Seok Park and Xuan-Phuong Dang (2011). Design and Simulation-Based Optimization of Cooling Channels for Plastik Injection Mold. *University of Ulsan, South Korea*.
- M. Stanek, D. Manas, M. Manas and O. Suba (2011). Optimization of Injection Molding Process. *International Journal of Mathematics and Computers In Simulation*, Issue 5, Volume 5.
- P. Hussain Babu dan T. Vishnu Vardan (2013). Computer Simulation for Finding Optimum Gate Location in Plastic Injection Moulding Process. *International Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN: 2248-9622, Vol. 3, Issue 6, pp.947-950.
- Pravin Popatrao Shinde, S. S. Patil, Swapnil S. Kulkarni (2014). Design And Development Of Plastic Injection For Auto Component. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. E-ISSN2249–8974
- Vishnuvarthanan, M., Rajesh Panda, Ilangovan, S. and Nayak, S.K (2012). OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDING CYCLE TIME USING MOLDFLOW ANALYSIS. *International Journal of Current Research*, Vol. 4, Issue, 01, pp.259-261, January, 2012.

## PENULIS:

Cahyo Budiyanoro

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.

Email: cahyo\_budi@umy.ac.id