

Pengaruh *runner system* dan *temperture* terhadap *fill time* dan *quality prediction* pada proses *injection molding*: Studi kasus produk *litter box*

Arif Budi Wicaksono^{a,1}, Amir Kamal^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

¹arifbudi_wicaksono@uii.ac.id

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of variations in the runner system and melting temperature on fill time and quality prediction in 3 parts of plastic products with geometric shape characteristics that tend to be similar to litter box products. The focus parameters in this study are the location and number of gates, runner layouts, and runner dimensions. The injection simulation was carried out using CAE Autodesk Moldflow Adviser software. In this study, there were three variations of runner dimensions for each litter box part and more than four variations in the number and location of gates and runner layouts. The results of the simulation state that the four-gate mold variant with a runner star layout with runner diameters of 8 mm and 5 mm is the optimal configuration for two of the three parts. The optimal configuration for one of the three parts is a mold variant with two gates with a runner diameter of 5 mm.

Keywords: Injection molding, moldflow simulation, runner system

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Plastik adalah material yang mudah dibentuk, ringan, murah, dan tidak berbahaya. Terdapat berbagai cara pengolahan bahan plastik, salah satunya yaitu injeksi plastik, yaitu salah satu proses pembuatan suatu produk dengan cara biji plastik yang dipanaskan hingga suhu tertentu sampai biji plastik meleleh kemudian disuntikan kedalam cetakan dan menjadi suatu produk.

Salah satu produk plastik adalah *litter box*. *Litter box* adalah wadah yang berisikan pasir khusus untuk menampung kotoran dari hewan peliharaan kucing. Pada saat ini produk *litter box* yang berada dipasaran didominasi oleh plastik, dari yang berbentuk sederhana sampai yang memiliki fitur pembersih otomatis. Desain kreatif yang dapat meningkatkan kualitas dan kepraktisan dibutuhkan untuk mempermudah para pengguna litterbox.

Penentuan desain *mold* mulai dari penentuan *cavity*, *core*, *gate*, *sprue*, dan *runner* menjadi hal yang sangat penting dalam proses desain *molding litter box* agar mendapatkan hasil produk yang optimal dan waktu cetak paling maksimal. Dalam proses injeksi *molding* salah satu yang mempengaruhi hasil produk adalah

desain *mold*. Agar mendapat hasil yang maksimal dalam proses desain *mold* terdapat beberapa parameter yang harus diperhitungkan seperti bentuk *layout*, *sprue*, *runner*, dan *gate* agar mendapatkan hasil yang optimal. Dengan menggunakan teknik simulasi serta visualisasi dapat memfasilitasi suatu desain yang rumit untuk mengetahui aliran fluida, *injection time*, *injection pressure*, *pressure drop*, *estimated cycle time*, *air traps*, *weld line*, *confidence of fill*, *cooling quality*, *quality prediction*, *filling lamp force*, sehingga bisa memprediksikan kemungkinan kegagalan dalam suatu desain yang dibuat. Setelah mendapatkan data-data yang dihasilkan dari analisa maka dapat diperoleh suatu desain yang optimal.

Dengan menggunakan simulasi Moldflow, analisis lokasi *gate* yang optimum dapat dilakukan, sehingga hasil dari produk setelah proses injeksi bisa menjadi lebih baik. Simulasi Moldflow juga dapat meminimalisir cacat atau kegagalan pada produk. Hasil dari simulasi yang sudah dilakukan dapat menampilkan aliran fluida plastik yang memasuki seluruh *cavity mold*, dan dapat mencari lokasi dari *air trap* yang kemungkinan muncul, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk jika *air trap* tersebut dapat dihindari.

Dalam mencari nilai optimum, menggunakan Moldflow dan metode *Orthogonal process* digunakan untuk analisis. *Mold temperature*, *melt temperature*, *packing time*, dan *cooling time* adalah parameter proses yang penting. Seluruh

parameter lainya berada dibawah batasan. Dengan menggunakan parameter yang diberikan Moldflow, dapat diverifikasi pada mesin injeksi molding dan kualitas akhir dari produk yang didapatkan memiliki hasil yang bagus.

Lokasi dari *gate* harus diletakan secara hati-hati, terutama pada bentuk atau sifat dari molding yang harus dicapai. Selain itu, lokasi dari *gate* mempegaruhi konstruksi mold. *Gate* harus diletakan sedemikian rupa sehingga mold dapat terisi dengan cepat dan merata secara pasti. *Gate* juga harus diletakan secara strategis sehingga apabila ada udara yang terjebak didalam *mold cavity* dapat menemukan jalan keluarnya. Jika persyaratan ini tidak dapat dipenuhi, maka akan ada *short* atau *burnt spots* pada produk.

METODOLOGI

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan program analisis yang sudah tersedia pada perangkat lunak Autodesk Moldflow. Variasi yang diteliti adalah lokasi dan

jumlah *gate*, layout runner, dan dimensi runner. Adapun parameter yang dibatasi adalah *melt temperature*, *mold temperature*, dan *injection time*. Parameter lain yang dibatasi adalah *cooling system* atau sistem pendingin *mold* yang dia-baikan pada penelitian ini.

Hasil data yang akan didapatkan melalui perangkat lunak tersebut adalah *fill time*, *quality prediction*, *air trap*, dan *weld lines*. Variabel-variabel tersebut dipilih sebagai pembanding untuk menentukan konfigurasi terbaik. Dari konfigurasi terbaik yang sudah didapatkan, kemudian dilanjut dengan perancangan *moldbase* untuk setiap *part litter box*.

Modelling

Pertama yang harus dilakukan untuk melakukan analisis *mold* adalah membuat part-part dari produk yang akan di analisis. Pada produk *litter box* ini terdapat tiga bagian yang terdiri dari dudukan, wadah, dan saringan.



Gambar 1. Desain *Litter box*



Gambar 2. *Exploding view* dari *litter box*

Fungsi dari bagian dudukan adalah menjadi tempat yang kokoh dan stabil untuk wadah dan saringan. Sedangkan fungsi wadah adalah untuk menampung pasir khusus untuk kotoran kucing dan didesain untuk mudah dilepas agar

penggantian pasir menjadi lebih mudah. Kemudian fungsi saringan adalah untuk menyaring kotoran-kotoran yang berada di pasir yang berada di *litter box*.



Gambar 3. Bagian dudukan dari *litter box*



Gambar 4. Bagian wadah dari *litter box*

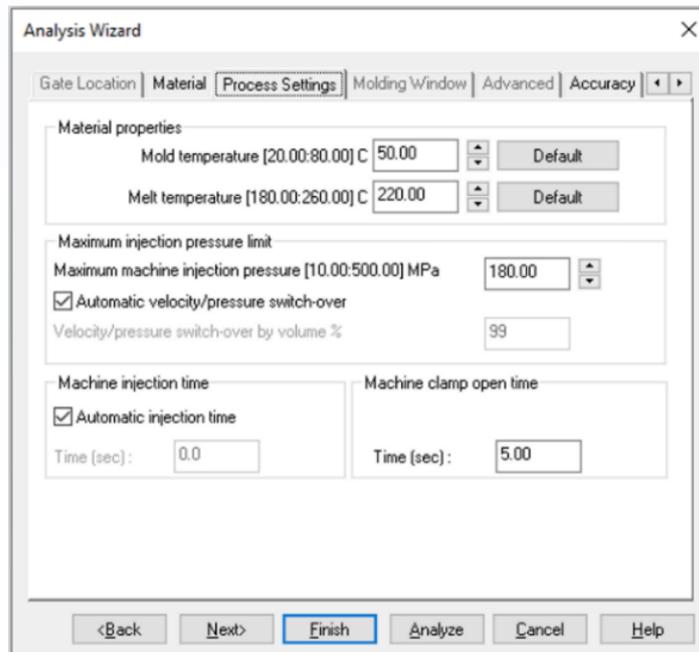


Gambar 5. Bagian saringan dari *litter box*

Pendefinisian parameter

Parameter yang akan menjadi hasil dari analisis *mold* ini adalah *fill time*, *quality prediction*, *air trap*, dan *weld lines* dan yang menjadi variabel pembeda antar analisis adalah konfigurasi jumlah *gate*, lokasi *gate*, *layout runner*, dan

ukuran *runner*. Adapun parameter yang dibatasi seperti bentuk *runner* yang akan digunakan adalah *circular* atau melingkar. Parameter lain yang menjadi batasan pada analisis kali ini adalah *melt temperature*, *mold temperature*, dan *injection time* yang akan diatur sama untuk seluruh analisis.



Gambar 6. Pengaturan parameter analisis pada Autodesk Moldflow

HASIL DAN PEMBAHASAN

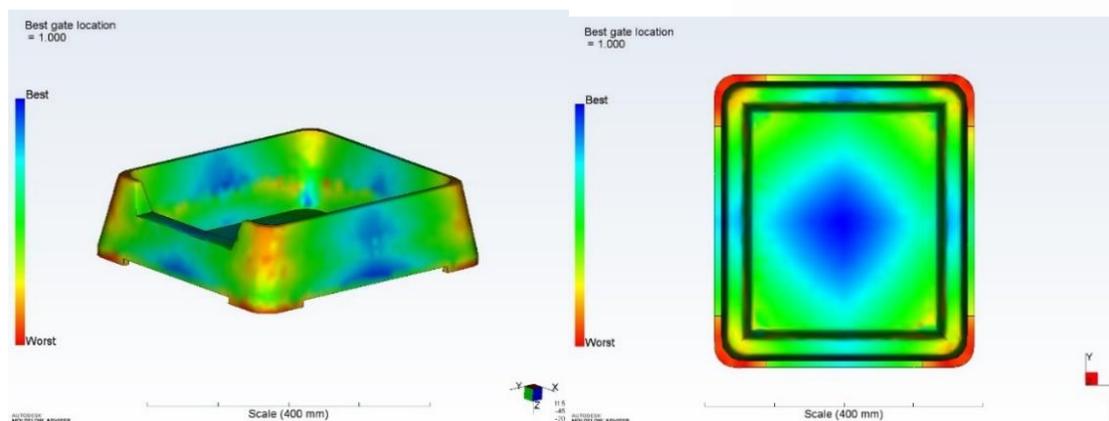
1. Penentuan lokasi gate dan layout runner

Pada perangkat lunak Autodesk Moldflow memiliki fitur analisis *best gate location* untuk mengetahui lokasi *gate* terbaik pada bentuk produk tertentu dengan parameter *mold* tertentu. Lokasi dari *gate* dapat mempengaruhi cacat *weld line* yang dapat terjadi. *Gate* yang terlalu dekat akan menyebabkan *weld line*.

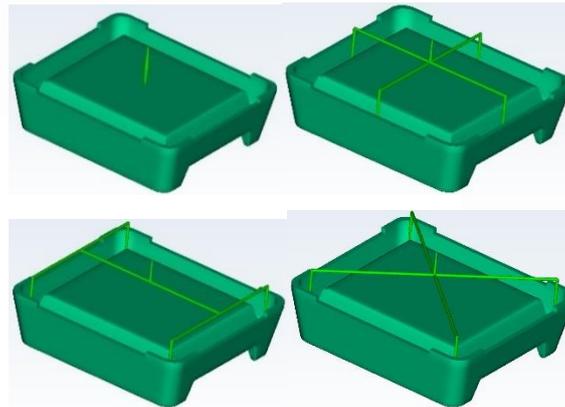
Gambar 7 di atas merupakan hasil dari analisis fitur *best gate location* yang ada di perangkat

2. Lokasi gate dudukan dan layout runner

lunak Autodesk Moldflow dengan warna biru menunjukkan lokasi terbaik sedangkan merah menandakan lokasi *gate* terburuk. Dapat dilihat bahwa lokasi *gate* terbaik berada tepat ditengah dan di sisi dari *part*. Maka dari itu diputuskan jumlah *gate* yang akan digunakan adalah satu *gate* dan empat *gate* dengan *layout star* dan *layout H* sebagaimana terlihat pada gambar 8 berikut.

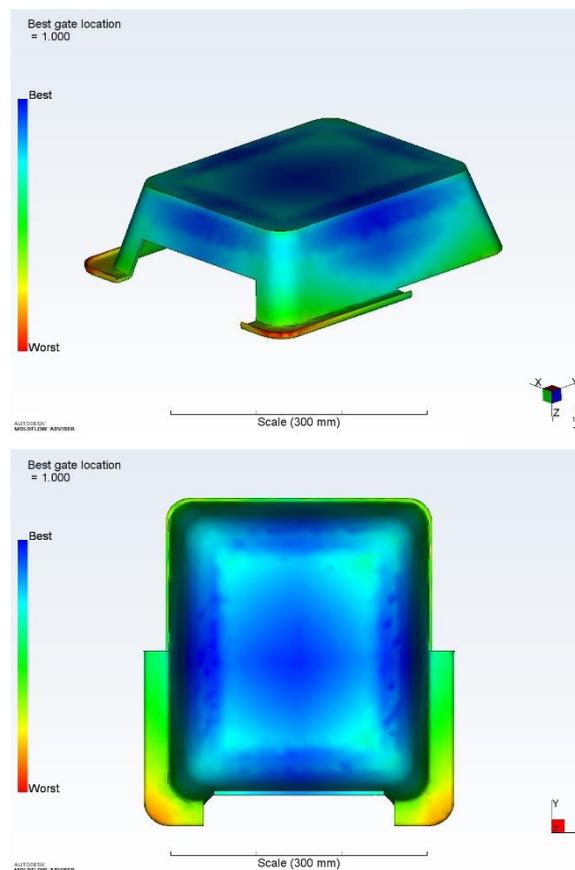


Gambar 7. Analisis lokasi *gate* terbaik untuk *part* dudukan



Gambar 8. Jumlah *gate* dan *layout runner part* dudukan yang akan dianalisis

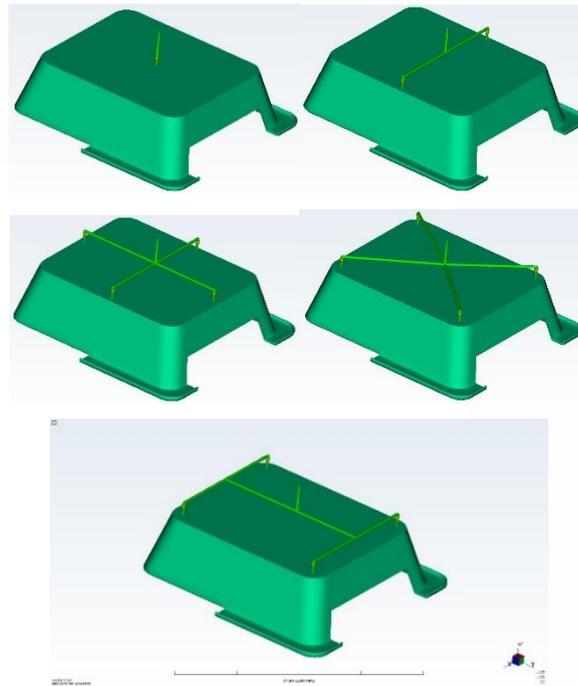
3. Lokasi *gate* wadah dan *layout runner*



Gambar 9. Analisis lokasi *gate* terbaik untuk *part* wadah

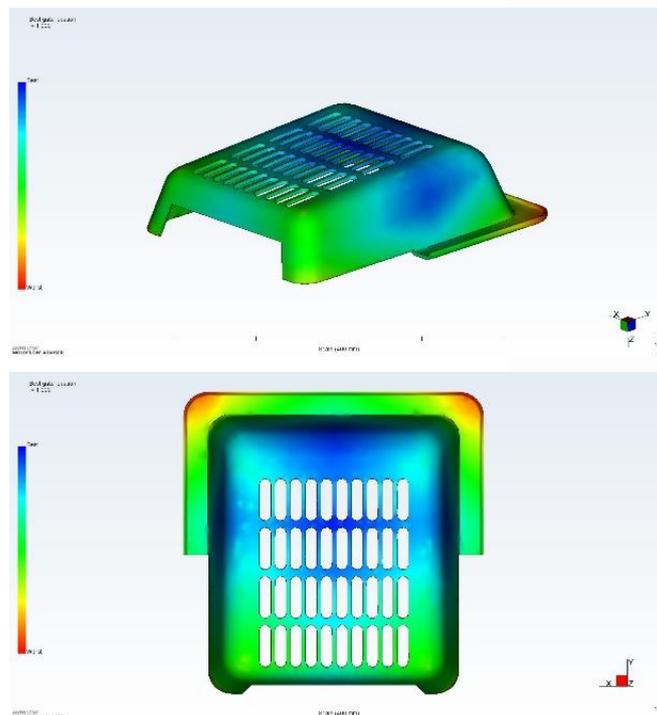
Dari gambar 9 diatas dapat dilihat bahwa lokasi *gate* terbaik berada di dasar wadah dan dinding dari wadah. Jumlah *gate* yang digunakan sebagai variasi analisis *mold* wadah adalah satu, dua, dan

empat *gate* dengan *layout star* dan *layout H* terlihat dari Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Jumlah *gate* dan *layout runner part* wadah yang akan dianalisis

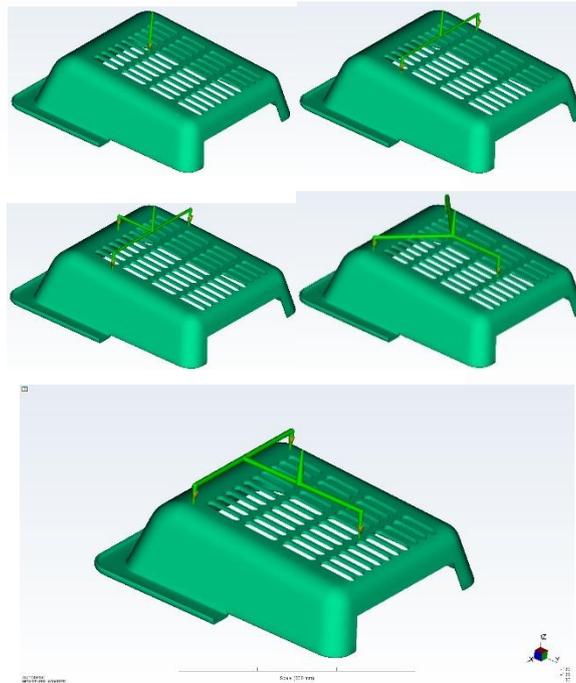
4. Lokasi *gate* saringan dan *layout runner*



Gambar 11. Analisis lokasi *gate* terbaik untuk *part* saringan

Dari gambar 11 di atas terlihat bahwa hasil dari analisis lokasi *gate* saringan menunjukkan posisi terbaik untuk *gate* pada *part* ini berada di tengah dan sisi dari *part*. Jumlah *gate* yang akan

digunakan untuk analisis *mold* saringan ini adalah satu, dua, dan tiga *gate* dengan *layout star* dan *layout H* terlihat dari gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 12. Jumlah *gate* dan *layout runner part* saringan yang akan dianalisis

5. Analisis dimensi runner

Selain fitur analisis lokasi *gate* terbaik, Autodesk Moldflow juga memiliki fitur *Runner Advisor* dimana perangkat lunak Moldflow melakukan analisis untuk menentukan dimensi *runner* terbaik untuk setiap parameter dan *layout* dari *part* tertentu. Setiap *part* akan dianalisis *fill time*, *quality prediction*, *air trap* dan *weld line* dengan tiga parameter dimensi *runner* yang berbeda.

6. Analisis dimensi runner dudukan

7. Tabel 1. di atas merupakan pengaturan analisis *mold* yang akan dilakukan dengan dimensi yang akan digunakan adalah 6 mm dan 8 mm. Untuk dimensi dari fitur *runner advisor*, analisis fitur tersebut menghasilkan rekomendasi dimensi yang berbeda-beda untuk setiap varian *mold*. Data dimensi *mold* ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 1. Parameter yang digunakan pada analisis dudukan

Parameter analisis Dudukan	
Jumlah <i>gate</i>	1, 2, dan 4
Layout <i>runner</i>	<i>Star</i> dan <i>H</i>
<i>Melt Temperature</i>	50 °C
<i>Mold Temperature</i>	220 °C
<i>Max pressure injection</i>	180 MPa

Tabel 2. Keterangan data grafik dudukan

Kode	Jumlah <i>Gate</i>	Lokasi <i>Gate</i>	<i>Layout runner</i>	Ukuran <i>runner</i>
D1_1	1	Tengah	-	6 mm
D1_2	4	Sisi	<i>Layout Star</i>	6 mm
D1_3	4	Pojok	<i>Layout H</i>	6 mm

Kode	Jumlah Gate	Lokasi Gate	Layout runner	Ukuran runner
D1_4	4	Pojok	Layout Star	6 mm
D2_1	1	Tengah	-	8 mm
D2_2	4	Sisi	Layout Star	8 mm
D2_3	4	Pojok	Layout H	8 mm
D2_4	4	Pojok	Layout Star	8 mm
DRA1	1	Tengah	-	17.73 mm
DRA2	4	Sisi	Layout Star	6.75 mm
DRA3	4	Pojok	Layout H	6.9 mm
DRA4	4	Pojok	Layout Star	6.9 mm

Tabel 2 di atas berisi keterangan dari data-data dimana D1 berarti *part* dudukan dengan diameter *runner* sebesar 6 mm, D2 berarti *part* dudukan dengan diameter *runner* sebesar 8 mm dan DRA berarti *part* dudukan dengan parameter diameter dari *runner advisor*. Kode tersebut digunakan untuk mempersingkat penamaan hasil analisis *mold*.

8. Analisis dimensi runner wadah

Sama seperti sebelumnya, tabel 3 diatas ini merupakan pengaturan analisis *mold* yang akan dilakukan dengan dimensi yang akan digunakan adalah 6 mm dan 8 mm. Untuk dimensi dari fitur *runner advisor*, analisis fitur tersebut menghasilkan rekomendasi dimensi yang berbeda-beda untuk setiap varian *mold*. Data dimensi *mold* ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 3. Parameter yang digunakan pada analisis wadah

Parameter analisis Wadah	
Jumlah gate	1,2, dan 4
Layout runner	Star dan H
Melt Temperature	50 °C
Mold Temperature	220 °C
Max pressure injection	180 MPa

Tabel 4. Keterangan data grafik dudukan

Kode	Jumlah Gate	Lokasi Gate	Layout runner	Diameter runner
W1_1	1	Tengah	-	6 mm
W1_2	2	Sisi	Layout Star	6 mm
W1_3	4	Sisi	Layout Star	6 mm
W1_4	4	Pojok	Layout Star	6 mm

Kode	Jumlah Gate	Lokasi Gate	Layout runner	Diameter runner
W1_5	4	Pojok	<i>Layout H</i>	6 mm
W2_1	1	Tengah	-	8 mm
W2_2	2	Sisi	<i>Layout Star</i>	8 mm
W2_3	4	Sisi	<i>Layout Star</i>	8 mm
W2_4	4	Pojok	<i>Layout Star</i>	8 mm
W2_5	4	Pojok	<i>Layout H</i>	8 mm
WRA1	1	Tengah	-	12.94 mm
WRA2	2	Sisi	<i>Layout Star</i>	5.15 mm
WRA3	4	Sisi	<i>Layout Star</i>	3.65 mm
WRA4	4	Pojok	<i>Layout Star</i>	4 mm
WRA5	4	Pojok	<i>Layout H</i>	3.95 mm

Tabel 4 di atas berisikan keterangan dari data-data yang akan digunakan untuk analisis *mold* wadah dan terdapat kode dengan W1 berarti part wadah dengan diameter *runner* sebesar 6 mm, W2 berarti part wadah dengan diameter *runner*

sebesar 8 mm dan WRA berarti part wadah dengan parameter diameter dari *runner advisor*.

9. Analisis dimensi *runner* saringan

Tabel 5. Parameter yang digunakan pada analisis saringan

Parameter analisis Saringan	
Jumlah <i>gate</i>	1,2, dan 3
Layout <i>runner</i>	<i>Star</i> dan H
<i>Melt Temperature</i>	50 °C
<i>Mold Temperature</i>	220 °C
<i>Max pressure injection</i>	180 MPa

Ketiga part *litterbox* menggunakan parameter yang sama untuk analisis *mold* kecuali jumlah *gate* yang akan digunakan. Berikut adalah data

konfigurasi saringan beserta kode varian terkait untuk analisis *mold* saringan seperti table 6 dibawah.

Tabel 6. Keterangan data grafik saringan

Kode	Jumlah Gate	Lokasi Gate	Layout runner	Diameter runner
S1_1	1	Tengah	-	6 mm
S1_2	2	Sisi	<i>Layout Star</i>	6 mm
S1_3	3	Sisi	<i>Layout Star</i>	6 mm

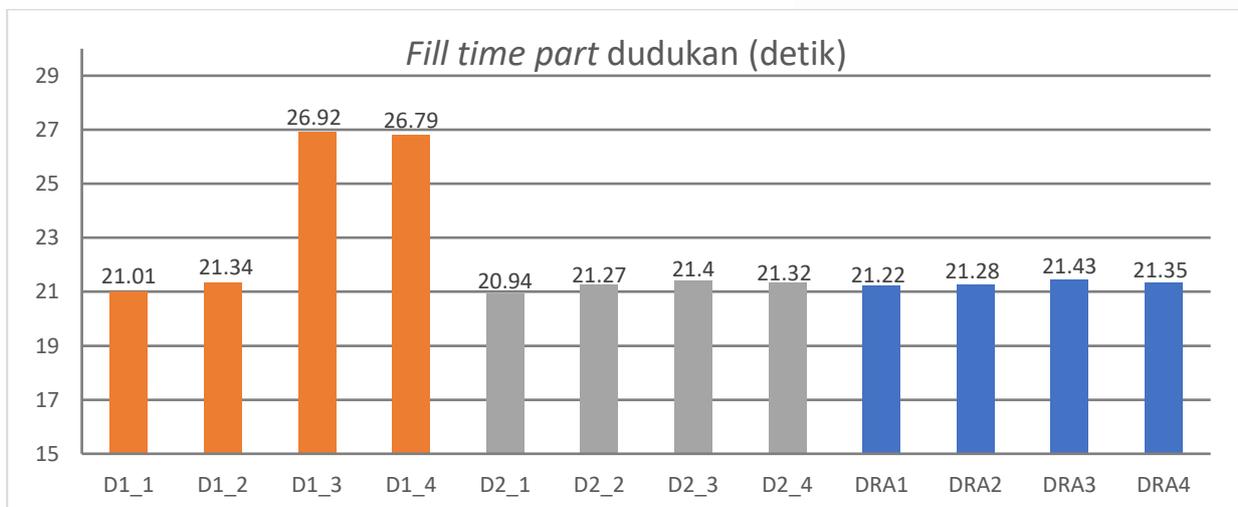
Kode	Jumlah Gate	Lokasi Gate	Layout runner	Diameter runner
S1_4	3	Pojok	<i>Layout Star</i>	6 mm
S1_5	3	Pojok	<i>Layout H</i>	6 mm
S2_1	1	Tengah	-	8 mm
S2_2	2	Sisi	<i>Layout Star</i>	8 mm
S2_3	3	Sisi	<i>Layout Star</i>	8 mm
S2_4	3	Pojok	<i>Layout Star</i>	8 mm
S2_5	3	Pojok	<i>Layout H</i>	8 mm
SRA1	1	Tengah	-	13.23 mm
SRA2	2	Sisi	<i>Layout Star</i>	5.15mm
SRA3	3	Sisi	<i>Layout Star</i>	3.95 mm
SRA4	3	Pojok	<i>Layout Star</i>	3.95 mm
SRA5	3	Pojok	<i>Layout H</i>	4.05 mm

10. Hasil simulasi mold

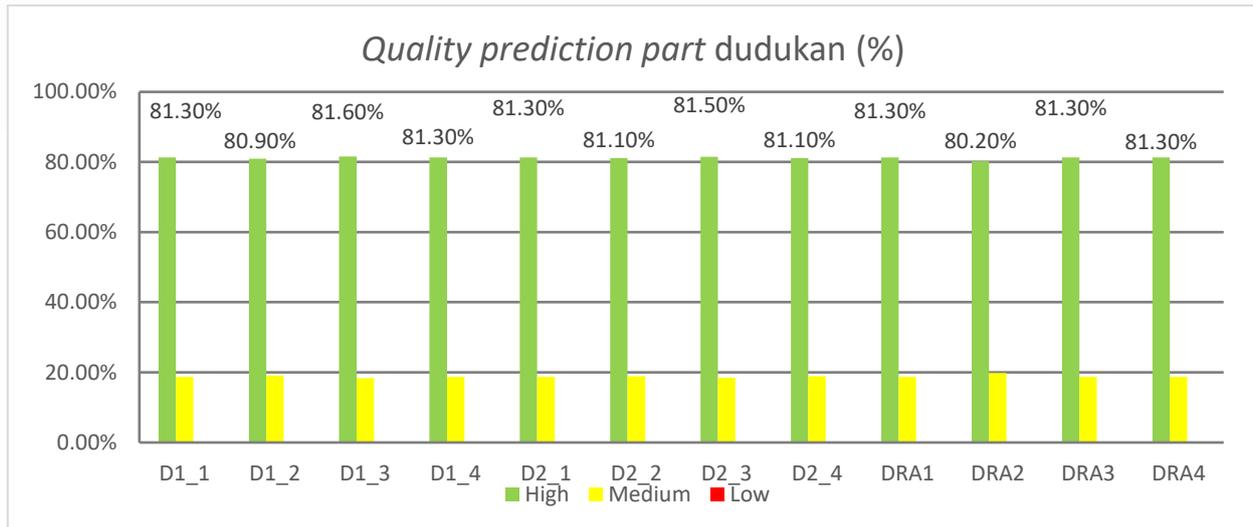
Setelah mendapatkan seluruh data yang diperlukan untuk melakukan analisis *mold* dengan perangkat lunak Autodesk Moldflow, dilanjutkan dengan menganalisis satu per satu untuk setiap varian *layout runner* dan dimensi *runner*.

11. Hasil simulasi mold dudukan

Tabel-tabel dibawah ini merupakan hasil dari simulasi *fill time* dan *quality prediction* dari *part* dudukan



Gambar 13. Grafik *fill time* dudukan



Gambar 14. Grafik *quality prediction* dudukan

Dari grafik sebagaimana gambar 13 di atas menunjukkan tidak ada perbedaan *fill time* yang cukup signifikan terkecuali D1_3 dan D1_4. *Quality prediction* dari analisis *part* dudukan sebagaimana gambar 14 juga tidak memiliki perbedaan yang signifikan, hanya selisih 0,7% dari prediksi kualitas terbaik dan terburuk.

Dari seluruh analisis dudukan yang telah dilakukan, variasi *layout runner* dan dimensi *runner* yang dijadikan sebagai desain *mold* adalah variasi dengan empat *gate* berada di pojok *part* dengan *layout star* dan *runner* berukuran 6.9 mm atau pada grafik di atas diwakilkan dengan kode DRA4. Varian ini dipilih karena memiliki *fill time* yang rendah 21.35 detik dan *quality prediction* yang baik yaitu 81.3%. Adapun pertimbangan lainnya adalah varian ini memiliki *air trap* dan *weld lines* yang lebih sedikit dibandingkan dengan varian lainnya.

12. Hasil simulasi *mold* wadah

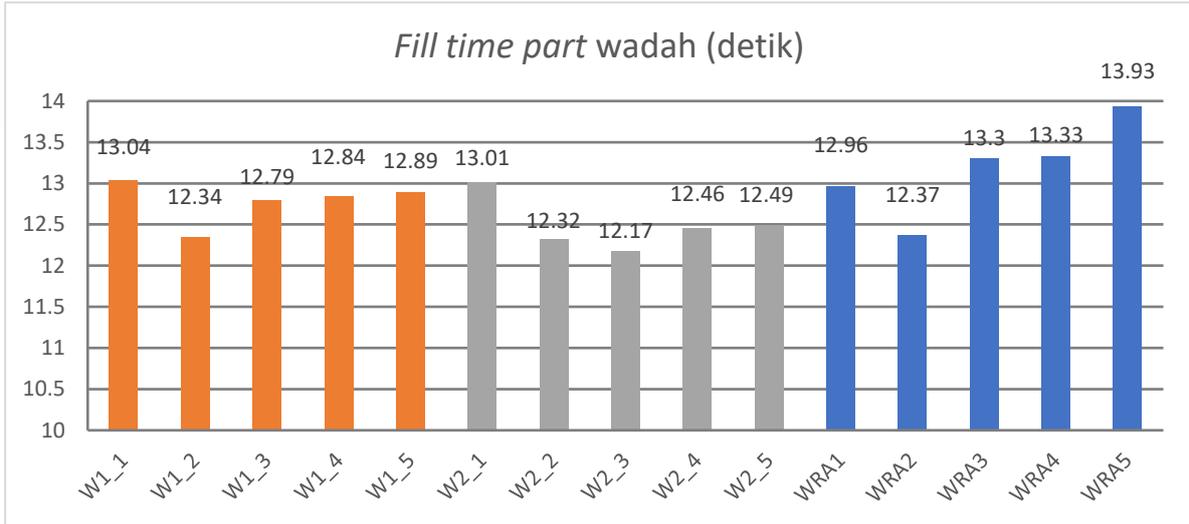
Gambar di bawah ini merupakan hasil dari simulasi *fill time* dan *quality prediction* dari *part* wadah. Grafik pada Gambar 15 di bawah ini menunjukkan ada perbedaan *fill time* diantara seluruh varian dimana varian satu *gate* condong memiliki *fill time* yang lebih tinggi dibanding varian lainnya. *Quality prediction* dari analisis *part* dudukan juga tidak memiliki perbedaan yang signifikan, hanya selisih 0,8% dari prediksi kualitas terbaik dan terburuk seperti terlihat pada gambar 16.

Dari seluruh analisis yang telah dilakukan, variasi *layout runner* dan dimensi *runner* yang dijadikan sebagai desain *mold* adalah variasi dengan empat *gate* berada di pojok *part* dengan *layout star* dan *runner* berukuran 8 mm atau pada grafik dibawah diwakilkan dengan kode W2_4. Varian ini dipilih karena memiliki *fill time* yang cukup rendah yakni 12.46 detik dan *quality prediction* yang baik yaitu 82.5%. Pertimbangan lainnya adalah varian ini memiliki *air trap* dan *weld lines* yang lebih sedikit dibandingkan dengan varian lainnya

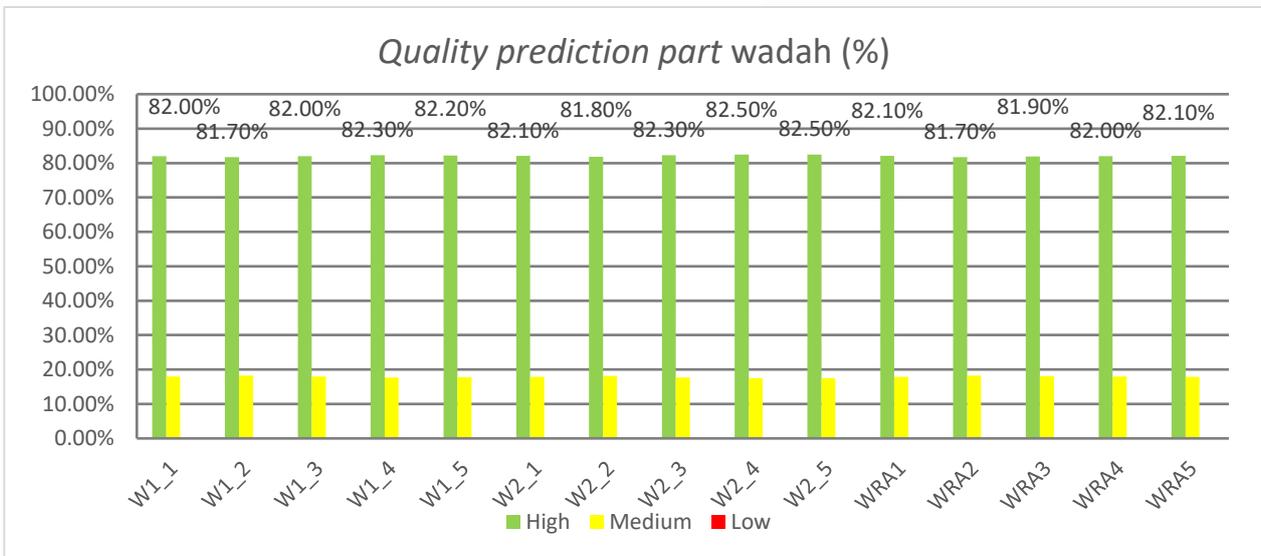
13. Hasil simulasi *mold* saringan

Hasil simulasi injeksi *mold* yang telah dilakukan menunjukkan ada perbedaan *fill time* diantara seluruh varian dimana varian satu *gate* condong memiliki *fill time* yang lebih tinggi dibanding varian lainnya. *Quality prediction* dari analisis *part* dudukan sebagaimana grafik dibawah pada Gambar 17 ini juga tidak memiliki perbedaan yang signifikan, hanya selisih 1,4% dari prediksi kualitas terbaik dan terburuk.

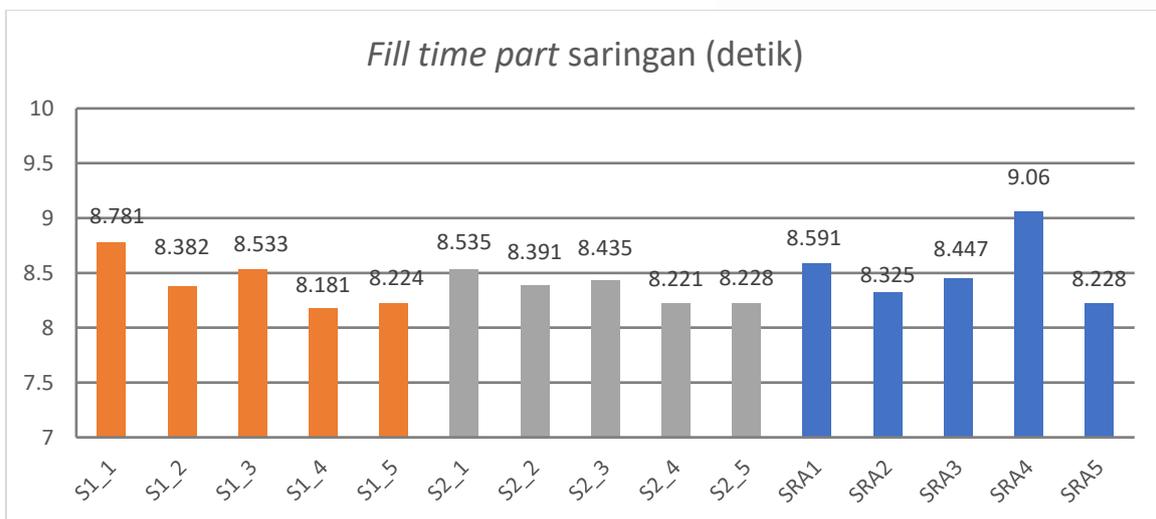
Variasi *layout runner* dan dimensi *runner* yang dijadikan sebagai desain *mold* adalah variasi dengan dua *gate* dan *runner* berukuran 6 mm atau pada gambar 18 dibawah diwakilkan dengan kode S1_2. Varian ini dipilih karena memiliki *fill time* yang relatif rendah yaitu 8.38 detik dan *quality prediction* yang baik yaitu 95.3%. Pertimbangan lainnya adalah varian ini memiliki *air trap* dan *weld lines* yang lebih sedikit dibandingkan dengan varian lainnya.



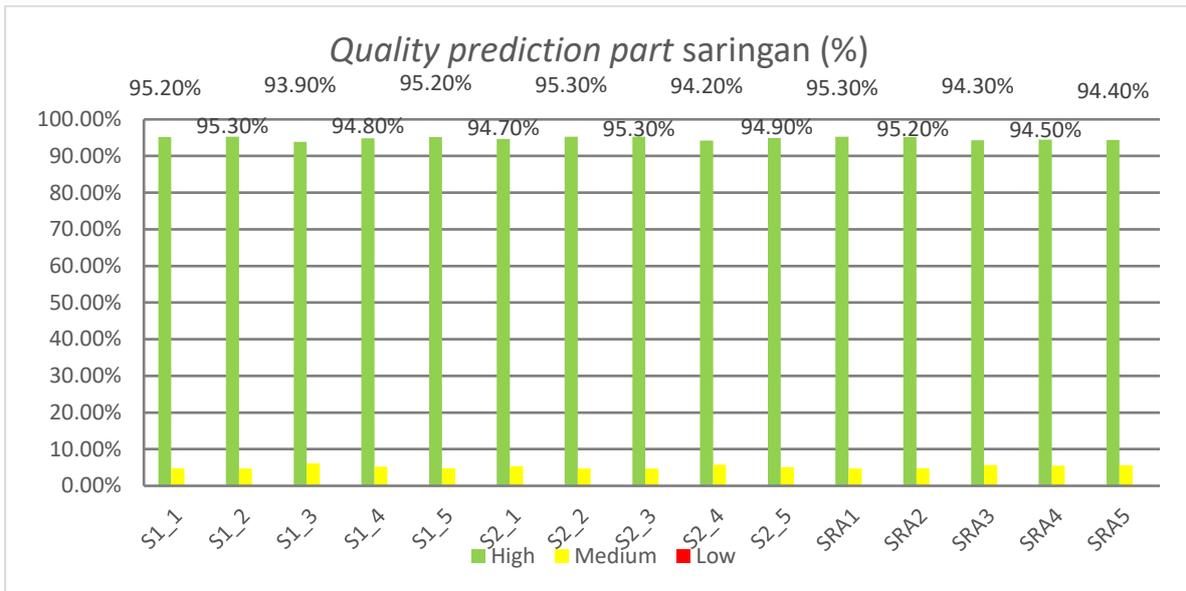
Gambar 15. Grafik fill time wadah



Gambar 16. Grafik quality prediction wadah



Gambar 17. Grafik fill time saringan



Gambar 18. Grafik *quality prediction* saringan

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Variasi jumlah *gate*, lokasi *gate*, dan *layout runner* dapat mempengaruhi hasil *fill time* tetapi tidak memiliki perbedaan *quality prediction* yang signifikan. Perbedaan *quality prediction* yang signifikan terjadi antar *part* dengan selisih lebih dari 10% yang menandakan bahwa desain atau bentuk produk lebih mempengaruhi *quality prediction* yang dapat terjadi.
- Konfigurasi simulasi terbaik untuk part dudukan adalah layout star dengan 4 *gate* berukuran 8 mm berada di pojok part memperoleh *fill time* 3.17 detik dan *quality prediction* 80.7%. Untuk part wadah adalah layout star dengan 4 *gate* berukuran 5 mm berada di pojok part memperoleh *fill time* 3.28 detik dan *quality prediction* 81.8%. Kemudian untuk part saringan adalah dengan 2 *gate* berukuran 5 mm berada di sisi part memperoleh *fill time* 3.45 detik dan *quality prediction* 93.7%. Part dudukan dan wadah memiliki bentuk dan karakteristik yang cukup serupa sehingga cacat air trap dan weld line yang terjadi terletak pada lokasi yang relatif sama dibandingkan dengan part saringan yang memiliki karakteristik bentuk yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. John. *The World of Physics (2nd ed)*. Edinburgh: Nelson Thornes Ltd, 1989
- [2] D. V. Rosato, & M. G. Rosato, *Injection Molding Handbook (3 ed.)*. Springer US, 2000
- [3] E. Galih. Simulasi dan Analisis Injeksi Untuk Produk kelistrikan Berbasis *Software CAE (Autodesk Moldflow Adviser)* Dengan *Mold Design*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta, 2022
- [4] E.K. Grigg, P. Lindsay, dan N. Belle. *Litter box preference in domestic cats: covered versus uncovered*. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 15 (4): 280 –284, 2012
- [5] H. Gunawan, W. Anggono, *Improving Quality of Injection Mold Using Moldflow Software Simulation Case Study: New Design Plastic Cup*. *Proceeding Of International Seminar On Product Design And Development*, 2006
- [6] H. Gunawan, S. Ongkodjojo, Simulasi Aliran Fluida Pada Desain *Mold* Sebagai Solusi Visualisasi Nyata Dalam Desain *Injection Mold*. *Technosim 2006: Simulasi Dan Optimasi Untuk Aplikasi Industri Proses, Manufaktur, dan Energi*. 24-31, 2006

- [7] Kashyap, Satadru dan D. Dilip. *Process parameter optimization of plastic injection molding: a review. International Journal of Plastics Technology*, 19 (1): 1–18. Springer Science and Business Media LLC., 2015
- [8] K. Mufid, Ali., C. Budiyanoro., dan M. B. Nur Rahman. *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 1(2): 72-81, 2017
- [9] L.W. Seow dan Y.C. Lam. *Optimizing flow in plastic injection molding. Journal of Materials Processing Technology*, 72: 331-341, 1997
- [10] Moayyedean, Mehdi. *Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding*. Springer, 2018
- [11] M. Vishnuvarthanan, R. Panda, S Ilangovan, *Optimization of Injection Molding Cycle Time Using Moldflow Analysis. Middle-East Journal of Scientific Research*, 13 (7): 944-946, 2013
- [12] P. Laura dan B. Norris, *Filling ‘gaps’ in strength data for design. Applied Ergonomics*, 34:73-88, 2003.