

Optimasi Cacat *Warpage* dengan Penambahan *Multi Gate* pada Produk Tutup Box Antena Mobil

Eko Ari Wibowo

Universitas Muhammadiyah Gombong

Email: ekoariwibowo@unimugo.ac.id

Muhammad Nur Wahyu Hidayah

Universitas Muhammadiyah Gombong

Email: nurwahyuhidayah@unimugo.ac.id

Galih Mahardika Munandar

Universitas Muhammadiyah Gombong

Email: galihmunandar@unimugo.ac.id

Alamat: Sangkalputung, Gombong, Kebumen Regency, Central Java 54411

Telepon: 0857-4008-5009

Korespondensi penulis: ekoariwibowo@unimugo.ac.id

Abstract. *The purpose of this research is to optimize the warpage defects that occur in car antenna box cover products with the application of multi-gate. After the first trial process (T0) and the second trial (T1), several defects were found in the product. One of the dominant defects is the warpage defect. Thus, it is necessary to analyze the product so that this defect can be minimized. The method used is trial analysis using the Moldflow Insight 2016 software. Selection of the optimal number of gates is using 2 gates with minimum and maximum warpage values of 0.3492 mm and 0.9613 mm. These results are not fully optimal, so further studies are needed on the cooling system of the product mold construction.*

Keywords: *Optimization, plastic products, multi gate, warpage*

Abstrak. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengoptimalkan cacat *warpage* yang terjadi pada produk tutup box antena mobil dengan penerapan *multi gate*. Setelah dilakukan proses uji coba pertama (T0) dan uji coba kedua (T1), ditemukan beberapa cacat pada produk. Salah satu cacat yang dominan yaitu cacat *warpage*. Sehingga, diperlukan analisa pada produk agar cacat ini bisa diminimalisir. Metode yang digunakan yaitu analisa uji coba menggunakan perangkat lunak *Moldflow Insight 2016*. Pemilihan jumlah *gate* yang optimal yaitu menggunakan 2 *gate* dengan nilai *warpage* minimum dan maksimum sebesar 0.3492 mm dan 0.9613 mm. Hasil tersebut belum sepenuhnya optimal, sehingga perlu kajian lebih lanjut pada sistem pendingin dari konstruksi cetakan produk tersebut.

Kata kunci: Optimasi, produk plastik, *multi gate*, *warpage*

LATAR BELAKANG

Received November 07, 2022; Revised Desember 2, 2022; Accepted januari 30, 2023

*Corresponding author, e-mail ekoariwibowo@unimugo.ac.id

Plastik saat ini menjadi salah satu material yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia karena sifatnya yang mudah dibentuk, praktis, ringan, tidak berkarat, dan ekonomis (Wibowo et al., 2020). Hampir disegala sektor kehidupan banyak dijumpai produk berbahan dasar plastik, misalnya kemasan minuman dan makanan, alat-alat rumah tangga, alat elektronik, dan komponen otomotif (Wibowo et al., 2021). Selain itu, plastik merupakan material yang terus dikembangkan baik mengenai sifat-sifatnya, struktur materialnya, kekuatannya untuk menahan gaya, pengaruhnya terhadap panas, dan proses pembuatannya (Callister, 2007). Salah satu proses manufaktur yang umum digunakan pada pembentukan produk plastik yaitu proses cetak injeksi (Ja'afar et al., 2020). Proses ini sangatlah kompleks karena melibatkan proses mekanik dan *thermal*, dimana setiap proses sangat berpengaruh terhadap produk hasil injeksi (Zhao et al., 2022). Proses yang tidak optimal berdampak pada cacat atau kegagalan pada produk (Wibowo et al., 2019). Cacat yang terjadi pada proses tersebut meliputi cacat penyusutan (*shrinkage*), *warpage*, *weld-line*, *sink-marks*, retak (*residual stress*) dan kerusakan saat produk keluar dari cetakan (Rosato et al., 2000).

Penanganan terhadap cacat produk dan error dilakukan setelah hasil produk keluar dan dievaluasi cacat produknya. Pengaturan parameter proses yang dilakukan pada saat ini yaitu dengan mengamati karakter hasil produk plastik tersebut. Bila ditemukan cacat produksi karena konstruksi cetakan, seperti kesalahan posisi *gate* dan kurangnya *air venting* yang dilakukan yaitu direparasi dan dilakukan proses uji coba cetak kembali. Namun, proses tersebut tidak efektif karena menjadikan kerugian bagi industri (Hussain Babu & Vardan, 2013). Proses ini juga membuang material dan tenaga yang lebih banyak hanya untuk mendapatkan kualitas produk sesuai permintaan pelanggan.

Berdasarkan permasalahan tersebut dalam proses penanganan cacat injeksi plastik seperti besarnya kebutuhan akan waktu, tenaga, material yang diakibatkan oleh adanya proses uji coba sehingga jumlah cacat produk plastik yang terjadi masih sangat besar (Munankar et al., 2019). Kerugian yang terjadi karena cacat produksi harus diminimalisasi agar kualitas proses injeksi plastik sesuai dengan permintaan. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam dunia plastik, konsep manufaktur plastik konvensional mulai dirubah dan beralih kepada konsep manufaktur plastik modern (Saeedabadi et al., 2022). Konsep manufaktur plastik modern lebih mengedepankan teknologi *Computer Aided Engineering* (CAE) untuk memprediksi jumlah atau jenis

cacat maupun *error* pada produk yang dihasilkan sebelum proses injeksi berlangsung pada mesin injeksi plastik (Chouychai et al., 2016). Hasil CAE ini sangat berguna sebagai panduan untuk membuat konstruksi cetakan dan berguna untuk menentukan pengaturan parameter proses di mesin injeksi sehingga mempercepat proses uji coba yang dilakukan pada mesin injeksi plastik (Solanki et al., 2021). Tuntutan kualitas untuk meminimalisir pelentingan atau melengkung (*warpage*) pada produk plastik menjadi fokus utama dalam penelitian ini, sehingga didapatkan rancangan yang optimal dengan menerapkan konsep manufaktur plastik modern berbasis CAE (Li et al., 2016; Oliaei et al., 2016).

KAJIAN TEORITIS

Warpage yang terjadi pada injeksi plastik mempengaruhi beberapa faktor, tidak dipungkiri dari faktor internal maupun eksternal. Pada penelitian Nasir et al. (2014) melakukan uji banding *single* dan *multi gates* ketika melakukan injeksi plastik. Penelitian tersebut membandingkan *single gate* dan *multi gate* dengan beberapa faktor pendukung dimana ada *coolant inlet*, *melt temperature*, *packing pressure*, dan *packing time*, ditemukan bahwa nilai *warpage* pada penggunaan *multi gate* memiliki nilai yang lebih kecil. Penelitian tersebut memantaskan bahwa *multi gate* menjadi solusi untuk efisiensi produksi. Hal tersebut juga diyakinkan oleh Krishna et al. (2018) dimana mengoptimalkan pengurangan *warpage* pada injeksi plastik dimana faktor yang disebutkan sebelumnya berpengaruh terhadap pengurangan tegangan pada *outputnya*. Namun pada kenyataannya menentukan tempat injeksi sulit dilakukan pada *multi gate* karena menurut Moayyedian et al. (2015) kecacatan internal dan eksternal berdasarkan hasil dari injeksi pada *edge gates* kedalam lobangnya. Hal tersebut menjadi pertimbangan, akan tetapi simulasi merupakan solusi guna memprediksi *multi gate* serta mengurangi risiko. Divekar et al. (2020) simulasi mampu memprediksi serta memperbaiki faktor penyebab kecacatan. Berdasarkan penelitian tersebut akurasi prediksi penentuan *multi gate* bisa hingga 12% keefektifitasnya. Pada akhirnya penelitian Zhao et al. (2022) menyebutkan desain eksperimen metode yang saat ini cocok untuk pengurangan *warpage* pada *multi gate* dengan menggunakan *artificial neural network*, *genetic algorithm*, *response surface methodology* dan *kriging model*.

METODE PENELITIAN

1. Cetakan

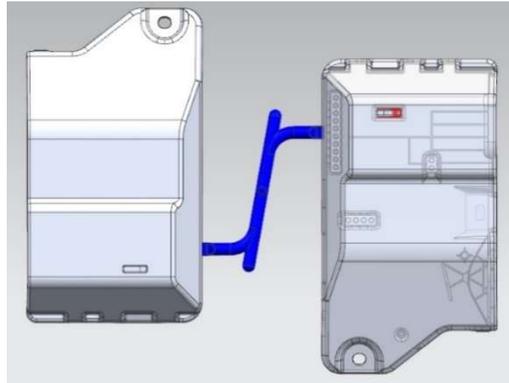
Cetakan produk tutup box antena mobil memiliki *cavity* dan *core* yang bersifat *insert*, agar dalam merancang cetakan lebih mudah karena didalam cetakan ada bagian yang harus menggunakan sistem hidrolik untuk pembentukan produk. Cetakan ini memiliki berat 1842 kg dengan dimensi 630 x 600 x 715 mm. Melihat dari kontruksi produk yang tidak terlalu rumit dan secara fungsional tidak ada yang terganggu, maka *mold* yang digunakan adalah *two plate*. Karena material mengandung *grafit* dan menghindari terjadinya goresan pada cetakan, maka pada *core* dan *cavity*, digunakan material SKD61.

Tabel 1 Spesifikasi Cetakan Tutup Box Antena Mobil

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Ukuran	630 x 600 x 715	mm
Material <i>insert</i>	SKD 61	-
Berat	1.842	ton
Jumlah <i>cavity</i>	2	Produk
Jenis cetakan	2	Plat
Jenis <i>gate</i>	<i>Side</i>	<i>Gate</i>
Jenis <i>sprue</i>	<i>Hot</i>	<i>Sprue</i>

2. Produk

Kunci mobil memberikan sinyal yang nantinya akan ditangkap oleh seperangkat unit elektronik yang ada pada mobil. Seperangkat unit ini berada pada bagian bawah pengendara mobil dan ditutup menggunakan *cover box antenna*. Produk ini berwarna hitam dengan material *Resin Polybutylene Terephthalate* (PBT) dan dimensi 393 x 270 x 51 mm. Material produk ini dicampur dengan 30% *grafit* agar ketahanan dari material produk lebih meningkat daripada material PBT. *Layout* pada desain pertama menggunakan *multy cavity* dikarenakan dinilai lebih efektif dari segi luas area, sedangkan bentuk dari layout yang ke dua merupakan rotasi 180° dari produk awalnya. Pemilihan *layout* kedua dilakukan agar saat injeksi material bisa masuk secara seimbang kedalam cetakan sehingga bisa meminimalisir kemungkinan terjadinya cacat *short-short*.

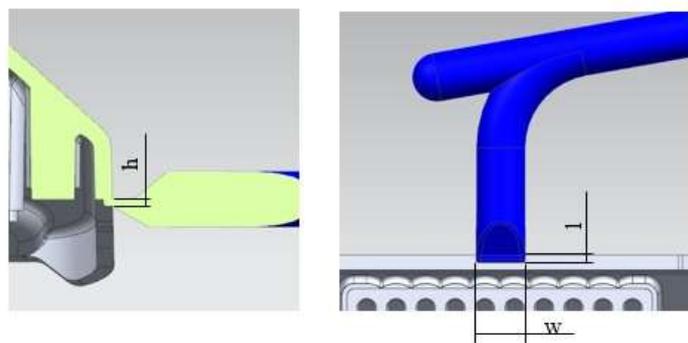


Gambar 1 Produk *Cover Box Antena*

Feeding system yang dipilih pada konstruksi *gate* menggunakan *side gate*. Pada *sprue system* menggunakan *hot sprue*. Pemilihan ini dilakukan karena jarak antara *nozle* mesin dengan *runner* yang jauh dan juga untuk menghindari terjadinya pengerasan material yang diinjeksi sebelum cetakan terisi penuh.

2.1. *Gate System*

Sistem *gate* yang digunakan adalah *side gate* dengan nilai $l = 1$ mm, $h = 1$ mm, dan $w = 10$ mm. w atau lebar dari *gate* ini berdasarkan dari perhitungan *runer*, karena *runer* berdiameter 10 mm, sehingga *gate* memiliki lebar 10 mm.



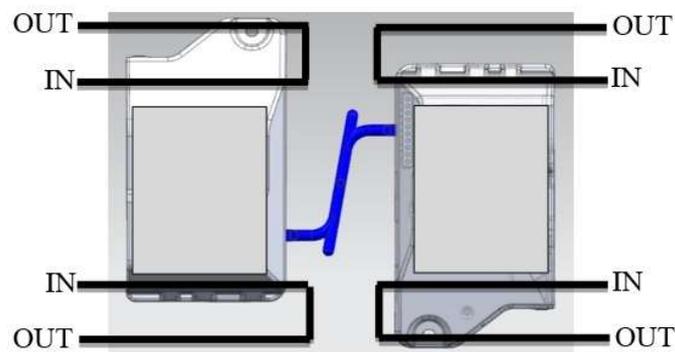
Gambar 2 *Gate System*

2.2. *Sprue System*

Sprue system menggunakan tipe *hot sprue* agar material tidak mengeras terlebih dahulu sebelum cetakan terisi penuh. Selain itu, karena jarak antara cetakan dengan titik temu antara *runner* dengan *nozle* ± 7 cm.

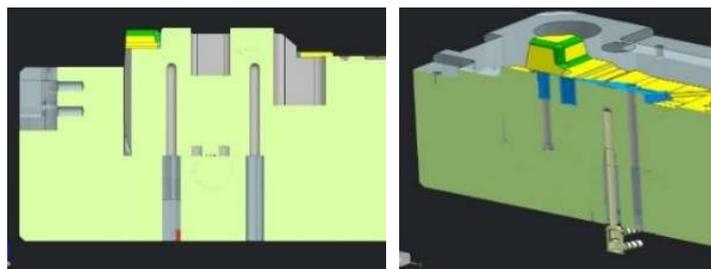
2.3. Cooling System

Mekanisme pendingin yang digunakan pada bagian *cavity* dan *core* berbeda, hal tersebut dikarenakan adanya penyesuaian terhadap komponen lain yang berada didalamnya, pada *cavity* menggunakan sistem pendingin *U-tipe* sedangkan pada *core* menggunakan sistem pendingin *baffle*. Prinsip system pendingin yang digunakan pada *cavity* yaitu setiap cairan pendingin yang masuk akan melewati cetakan dan langsung keluar lewat lubang disampingnya atau disebaliknya. Sistem ini sangat sederhana namun jumlah *channel* yang cukup banyak.



Gambar 3 Cooling system pada cavity

Sedangkan sistem pendingin pada bagian *core* menggunakan sistem *baffle*, yaitu dengan mendirikan *baffle plate* pada setiap lubang untuk mengarahkan aliran pendingin di dalam lubang *core*. Sistem aliran seperti ini digunakan karena *desain*-nya yang sederhana dan ekonomis.



Gambar 4 Cooling system pada core

2.4. Cacat Warpage pada Produk

Pengujian pertama (T0) dilakukan untuk mengetahui bentuk produk. Apabila bentuk produk telah sesuai dengan permintaan *supplier*, maka dilanjutkan dengan proses *repair* secara bertahap sehingga produk siap untuk produksi masal. Saah satu cacat

produk yang harus di-*repair* adalah cacat *warpage* yang terjadi pada bagian ujung produk. Toleransi cacat yang diizinkan ± 0.5 mm. Sedangkan kondisi aktual yang ada ± 1.2 mm



Gambar 5 Posisi cacat *warpage* pada *tutup box antena mobil*

2.5. Analisa Awal Produk

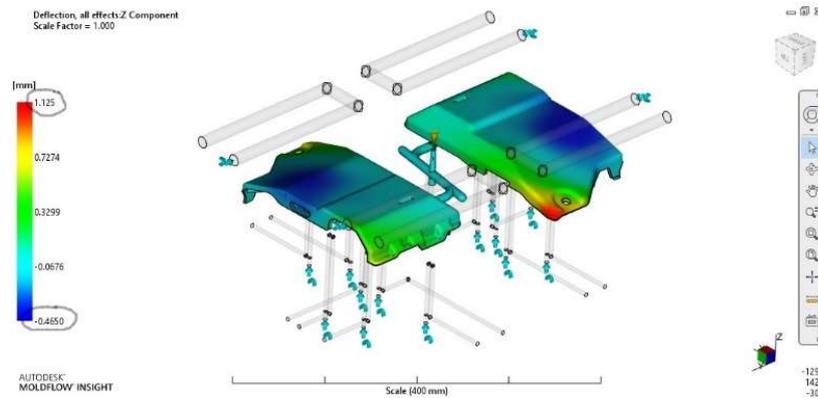
Pemilihan material untuk analisa ini adalah *Valox 830U: SABIC Innovative Plastics US, LLC*. Material ini merupakan nama salah satu dari komponen PBT. Material ini memiliki kandungan *grafit* 30%. Sedangkan untuk pemilihan material cetakan yaitu jenis SKD61.

Tabel 2 Parameter Analisa pada *Moldflow*

Product Material	Valox 830U: SABIC Innovative Plastics US, LLC
Melt Temperature	246
Mold Open Time	5
Injection + Packing + Cooling Time	30
Filling Control	Automatic
Mold Material	SKD61
Diameter Cooling Cavity	14 mm
Diameter Cooling Core	10 mm
Cooling Temperature	60
Channel Roughness	00.05
Mold Surface Temperature	86

Analisa yang dilakukan pada perangkat lunak disesuaikan dengan keadaan aktual dilapangan. Hal tersebut dilakukan agar apabila terjadi perubahan desain, maka hasil analisa perangkat lunak akan sama ketika dilakukan dilapangan. Berikut merupakan hasil dari analisa dengan parameter yang disesuaikan dengan aktual.

Gambar 3.6. Analisa keadaan aktual



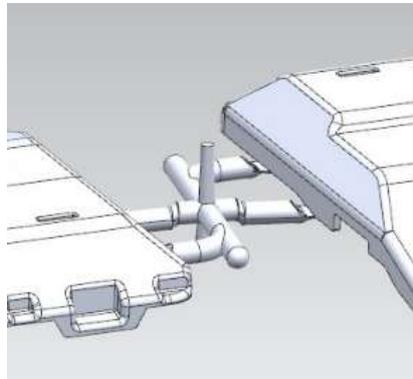
Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bagian yang turun dari kondisi aktual terdapat pada jarak terjauh dari *gate* dan berwarna biru tua. Bagian ini turun dari keadaan aktual sejauh 0.4650 mm. bagian yang berwarna biru muda berada pada bagian yang dekat dengan *gate* dan turun dari keadaan yang seharusnya sebesar 0.0676 mm. Bagian yang berwarna hijau pada gambar naik sejauh 0.3299 mm dari keadaan aktual produk. Pada bagian berwarna kuning yang terdapat didekat warna merah pada gambar naik sejauh 0.7274 mm. Sedangkan warna merah terdapat pada bagian terjauh yang sejajar dengan *gate* merupakan bagian yang naiknya sangat jauh dari keadaan yang sebenarnya. Bagian ini naik sejauh 1.125 mm. Toleransi yang diperbolehkan yaitu sebesar ± 0.5 mm, dimana bagian yang berwarna biru tua, biru muda, dan hijau sudah berada dalam toleransi. Sedangkan bagian yang berwarna kuning dan merah berada diluar toleransi yang diperbolehkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rancangan *Layout Gate*

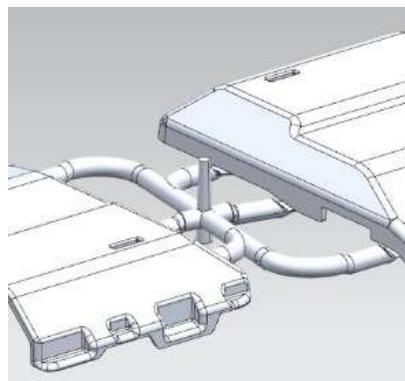
Rancangan pertama dilakukan penambahan *gate* untuk meminimalisir jarak *gate*, karena digunakan untuk menjangkau jarak yang jauh ketika melakukan pengisian pada cetakan. Hal tersebut dilakukan agar tidak terjadi pengisian yang jauh, maka dilakukan penambahan *gate* pada pertengahan dari sisi samping produk. Pemilihan penambahan di posisi tengah karena pada posisi tersebut terdapat konstruksi produk yang membutuhkan pengisian yang lebih dibanding pada bagian ujung produk. Konstruksi dari runner dan *gate* sama dengan keadaan aktual. Dimana diameter yang digunakan 10 mm dan

pemilihan gate masih menggunakan *side gate*. Posisi material masuk melewati *gate* bukan dari sisi samping produk. Melainkan dari bagian bawah dari sisi produk



Gambar 6 Rancangan *layout gate* pertama

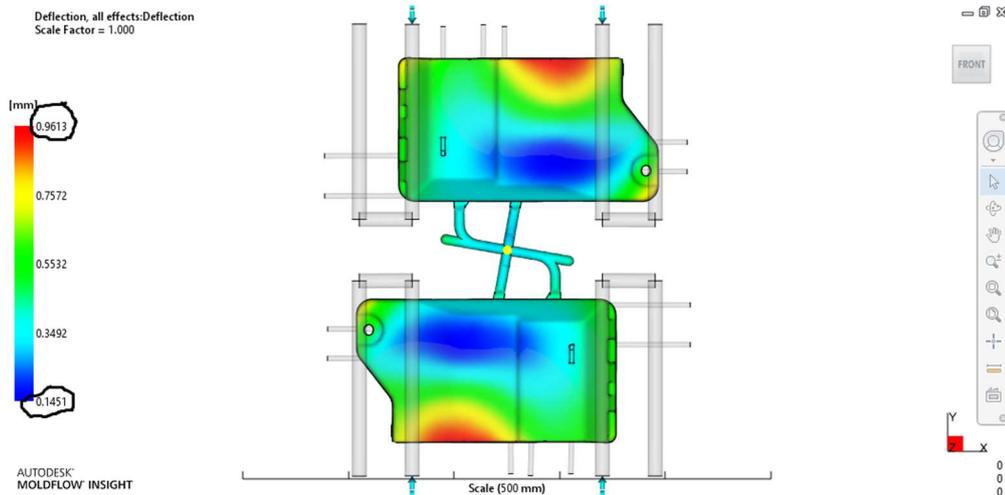
Rancangan kedua dilakukan sebagai opsi agar pengisian material bisa merata kedalam cetakan. Sehingga dilakukan penambahan *gate* menjadi tiga. Penambahan ini dilakukan pada bagian ujung dari produk dimana pada perancangan pertama terdapat sisi yang panjang tanpa adanya *gate*. Konstruksi dari *runner* dan *gate* pada perancangan kedua ini masih sama dengan keadaan yang sebenarnya. *Runner* menggunakan diameter 10 mm dan *gate* yang dipilih *side gate*.



Gambar 7 Rancangan *layout gate* kedua

2. Analisa *Layout Gate*

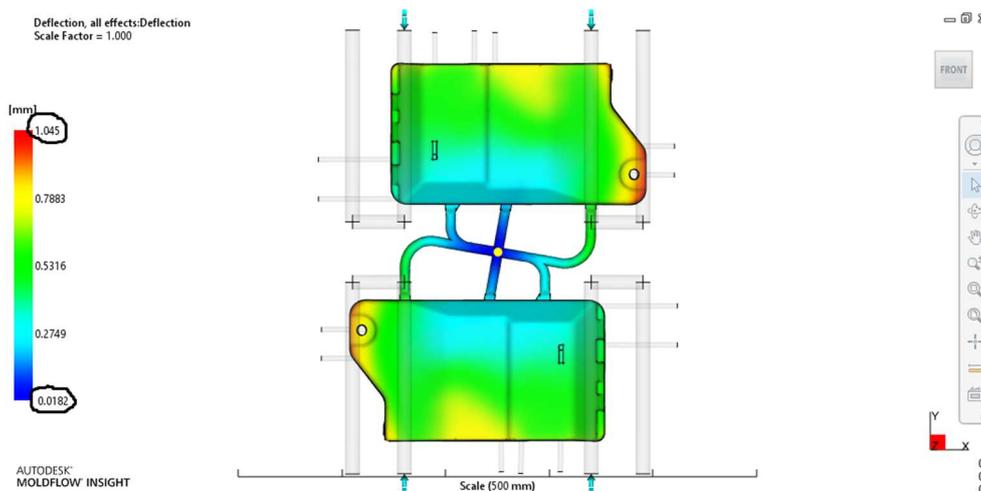
Proses analisa dilakukan dengan perangkat lunak terhadap rancangan *layout gate* tersebut yang telah dibuat. Parameter yang digunakan ketika melakukan disesuaikan dengan kondisi aktual. Analisa perancangan pertama menggunakan parameter yang sama dengan analisa keadaan aktual. Analisa perancangan pertama menunjukkan hasil *warping* seperti gambar 8 berikut.



Gambar 8 Analisa rancangan pertama

Bagian yang berwarna biru tua berada pada bagian tengah produk menunjukkan adanya nilai *warpage* yang paling kecil. Bagian yang berwarna biru muda yang berada pada bagian sisi produk masih berada dalam toleransi ± 0.5 mm. Sedangkan pada bagian yang berwarna hijau pada gambar menunjukkan nilai *warpage* sebesar 0.5532 mm dari keadaan normal. Kondisi yang lebih buruk terjadi pada bagian berwarna kuning dan merah, dimana masing – masing menunjukkan adanya *warpager* sebesar 0.7572 mm dan 0.9613 mm.

Analisa perancangan kedua menggunakan parameter yang sama dengan analisa pertama begitupun dengan sistem pendingin yang diterapkan. Analisa perancangan pertama menunjukkan hasil *warpage* seperti gambar 9 berikut.

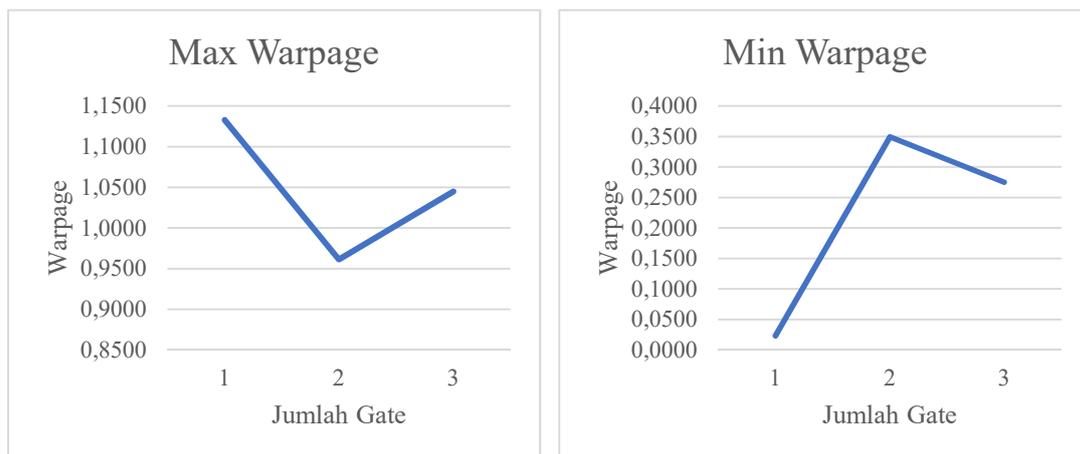


Gambar 9 Analisa rancangan kedua

Bagian yang berwarna hijau pada gambar naik sejauh 0.5316 mm dari keadaan normal dan ini terjadi hampir pada keseluruhan sisi produk. Pada bagian berwarna kuning pada gambar naik sejauh 0.7883 mm. Sedangkan warna merah terdapat pada bagian ujung yang sejajar dengan *gate* mengalami *warpage* sebesar 1.045 mm. Toleransi yang diperbolehkan yaitu sebesar ± 0.5 mm, sehingga bagian yang berwarna biru tua dan biru muda berada dalam toleransi. Sedangkan bagian yang berwarna kuning, hijau, dan merah berada diluar toleransi yang diperbolehkan.

3. Perbandingan Hasil Analisa

Berdasarkan hasil analisa dengan perangkat lunak menunjukkan perbandingan nilai *warpage* yang terjadi antara rancangan pertama dan kedua. Gambar 9 menunjukkan keadaan cacat *warpage* yang terjadi setelah dilakukan perubahan rancangan terhadap jumlah *gate* sebagai berikut.



Gambar 10 Nilai maksimum dan minimum *warpage* berdasarkan jumlah *gate*

Nilai *warpage* minimum dan maksimum pada analisa satu, dua dan tiga *gate* masing masing menunjukkan nilai minimum sebesar 0.0233 mm, 0.3492 mm dan 0.2749 mm. Sedangkan nilai maksimumnya yaitu sebesar 1.1330 mm, 0.9613 mm dan 1.0450 mm. Karena pada bagian *warpage* yang minimum sudah berada dalam toleransi, maka bagian dapat diterima. Sedangkan pada bagian yang mengalami cacat *warpage* dengan nilai tinggi diakumulasi dengan nilai toleransinya, maka perancangan yang paling mendekati toleransi yaitu rancangan yang kedua dengan jumlah *gate* sebanyak 2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa menggunakan perangkat lunak *Moldflow Insight*, dapat disimpulkan bahwa pemilihan *multiple gate* berpengaruh terhadap cacat *warpage* pada produk *Cover Box Antena*. Pemilihan jumlah *gate* yang optimal yaitu menggunakan 2 *gate* dengan nilai *warpage* minimum dan maksimum sebesar 0.3492 mm dan 0.9613 mm. Meskipun demikian, agar mendapatkan hasil yang lebih optimal maka perlu di kaji lebih lanjut terkait sistem pendinginan agar lebih optimal dalam meminimalisir *warpage*. Adanya uji coba yang dilakukan diawal sebelum produk di cetak dapat memberikan gambaran kondisi produk. Sehingga dapat menjadi referensi dalam menentukan desain yang tepat agar meminimalisir adanya cacat produk.

DAFTAR REFERENSI

- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering : An Introduction* (Seventh Ed). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1007/BF01184995>
- Chouychai, B., Manthung, R., Sricharoen, S., & Morawong, T. (2016). Heuristic optimization for gate location in injection molding using Gaussian curvature of NURBS. *2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016*. <https://doi.org/10.1109/ECTICon.2016.7561270>
- Divekar, M., Gaval, V. R., Wonisch, A., & Jadhav, G. (2020). Advancement in warpage prediction of thermoplastic glass filled material through integrative simulation approach. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4216–4222. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.535>
- Hussain Babu, P., & Vardan, T. V. (2013). Computer Simulation for Finding Optimum Gate Location in Plastic Injection Moulding Process. *Journal of Engineering Research and Applications Wwww.Ijera.Com*, 3(6), 947–950. www.ijera.com
- Ja'afar, R., Arep, H., Mohamad, E., Abd Razak, J., Arfauz A Rahman, M., & Yuniarti, R. (2020). Analysis on Volumetric Shrinkage of Plastic Food Container Made From an Injection Molding Process. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 8(2), 22–31. <https://doi.org/10.21776/ub.jemis.2020.008.02.3>
- Krishna, P. V., Kar, P., & Babu, G. R. (2018). Optimization for Reducing Warpage in Injection Moulding. *Journal of Engineering and Science Research*, 2(5), 25–31. <https://doi.org/10.26666/rmp.jesr.2018.5.5>
- Li, S., Zhao, G., Dong, G., & Wang, J. (2016). Study on reducing sink mark depth of a microcellular injection molded part with many reinforcing ribs. *Journal of Cellular Plastics*, 52(5), 479–502. <https://doi.org/10.1177/0021955X15579244>
- Moayyedean, M., Abhary, K., & Marian, R. (2015). Improved Gate System for Scrap Reduction in Injection Molding Processes. *Procedia Manufacturing*, 2(February),

246–250. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.043>

- Munankar, A. B., Sitap, N. A., Tembhurkar, A. A., Thakur, M. B., & Kanse, S. S. (2019). Simulation for optimum gate location in plastic injection moulding for spanner. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 06(04), 1228–1234.
- Nasir, S. M., Ismail, K. A., Shayfull, Z., & Shuaib, N. A. (2014). Comparison between single and multi gates for minimization of warpage using taguchi method in injection molding process for ABS material. *Key Engineering Materials*, 594–595, 842–851. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.842>
- Oliaei, E., Heidari, B. S., Davachi, S. M., Bahrami, M., Davoodi, S., Hejazi, I., & Seyfi, J. (2016). Warpage and Shrinkage Optimization of Injection-Molded Plastic Spoon Parts for Biodegradable Polymers Using Taguchi, ANOVA and Artificial Neural Network Methods. *Journal of Materials Science and Technology*, 32(8), 710–720. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2016.05.010>
- Rosato, D. V., Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). *Injection Molding Handbook* (Third Edit). Kluwer Academic Publishers 101.
- Saeedabadi, K., Tosello, G., & Calaon, M. (2022). Optimization of injection molded polymer lab-on-a-chip for acoustic blood plasma separation using virtual design of experiment. *Procedia CIRP*, 107, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.007>
- Solanki, B. S., Singh, H., & Sheorey, T. (2021). Design optimization of feed system for injection molded polymer gear. *Materials Today: Proceedings*, 47(xxxx), 3418–3424. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.289>
- Wibowo, E. A., Sofyan, E., Syahriar, A., Nugroho, A. A. D., Widiatmoko, F., & Arwidhiatma, P. G. C. (2021). Optimization of Warpage Defects of Base Pencil Box by Using Backpropagation Neural Network and Genetic Algorithm. *Conference on Management and Engineering in Industry (CMEI) Optimization*, 17–22. <https://doi.org/2686-3278>
- Wibowo, E. A., Sukarnoto, T., & Wibowo, Y. T. (2019). Research of Injection Molding Parameters with Acrylonitrile Butadiene Styrene Composition Recycled Against Mechanical Properties. *Journal of Physics: Conference Series*, 1230(1), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1230/1/012084>
- Wibowo, E. A., Syahriar, A., & Kaswadi, A. (2020). Analysis and Simulation of Short Shot Defects in Plastic Injection Molding at Multi Cavities. *ACM International Conference Proceeding Series*, 2–7. <https://doi.org/10.1145/3429789.3429837>
- Zhao, N. yang, Lian, J. yuan, Wang, P. fei, & Xu, Z. bin. (2022). Recent progress in minimizing the warpage and shrinkage deformations by the optimization of process parameters in plastic injection molding: a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85–101. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08859-0>