

SIMULASI DAN ANALISIS INJEKSI PLASTIK BESERTA OPTIMASI BERBASIS SOFTWARE CAE UNTUK PRODUK KOMPONEN KELISTRIKAN

Arif Budi Wicaksono¹, Reyhan Aziz Zuliansyah², Santo Ajie Dhewanto³, Muhammad Iwan Nur Fauzan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km. 14.5, Yogyakarta, Umbulmartani, Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55584, Indonesia

Email: arifbudi_wicaksono@uii.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada simulasi dan analisis injeksi komponen kelistrikan yang dapat dilakukan proses manufaktur *injection molding*. Desain dari komponen kelistrikan sudah dibuat sehingga diperlukan tindak lanjut dari desain tersebut untuk dilakukan simulasi injeksi *molding*. Parameter injeksi meliputi tekanan injeksi, *clamp open time*, *mold temperature* dan *melt temperature* dibuat tetap, namun jika hasil didapat kurang maksimal maka dapat dilakukan perubahan parameter tetap. Perubahan *layout cavity* dan *gating system* divariasikan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pada hasil produk dan mencari hasil yang paling optimal dari simulasi yang sudah dikerjakan. Pada bagian hasil simulasi yang dilakukan jika terjadi cacat short shot maka hasil tersebut tidak dapat dimasukkan kedalam pertimbangan hasil simulasi untuk di analisis. Hasil simulasi injeksi yang paling optimal dari komponen terminal listrik inbow dengan modul timer otomatis dibuat *design mold*.

Kata Kunci: *Mold desain, injection molding, melt temperature, mold temperature, runner system*

Abstract

The research focuses on the simulation and analysis of injection molding of electrical components that can be carried out by the manufacturing process. The design of the electrical components has been made so it is necessary to follow up on the design for an injection molding simulation. The injection parameters including injection pressure, *clamp open time*, *mold temperature*, and *melt temperature* are fixed, but if the results are less than optimal then changes to the fixed parameters can be made. Changes to the cavity layout and gating system are varied to find out how much influence it has on product results and to find the most optimal results from the simulations that have been done. In the simulation results section, if there is a short-shot defect, the result cannot be taken into account in the simulation results for analysis. The most optimal injection simulation results from inbow electrical terminal components with automatic timer modules made by design molds.

Keywords: *design mold, injection molding, melt temperature, mold temperature, runner system*

I. PENDAHULUAN

Peralatan atau benda yang terbuat dari bahan plastik pasti sering dijumpai disekitar kita. Produk seperti cover stop kontak, fitting lampu, beberapa komponen MCB biasanya terbuat dari bahan plastik. Tentu produk-produk tersebut kebanyakan diproses dengan metode *mass production* melalui berbagai cara yang salah satunya yaitu *injection molding*. Injeksi plastik merupakan suatu proses pembentukan atau pembuatan produk berbahan baku biji plastik melalui proses pemanasan dengan suhu tertentu hingga mencair lalu diinjeksikan ke dalam cetakan (Djunarso, 2011). Produksi dengan proses manufaktur *injection molding* bisa dilakukan dengan satu, dua cetakan atau bahkan lebih dengan pertimbangan ukuran dimensi dari produk. Jika dimensi dari produk besar maka cukup satu atau dua cetakan dan jika dimensi dari produk kecil maka dapat ditambah jumlah cetaknya. Hal ini berguna untuk menghasilkan produk sebanyak mungkin yang tentunya mempertimbangkan dari segi aspek kualitas produk itu sendiri dan *cost mold unit*.

Komponen MCB terdiri dari beberapa komponen yang berbahan dasar plastik, yang mana proses produksinya dapat menggunakan mesin *injection molding*. Salah satu contoh yang dapat dilakukan proses injeksi plastik yaitu *cover stop* kontak, Komponen tersebut berbahan dasar plastik yang dirancang sesuai standar keamanan nasional dan biasanya diproduksi secara *massive* untuk disetorkan ke toko-toko listrik dalam jumlah banyak.

Pembuatan *prototype* komponen kelistrikan sudah dilakukan oleh mahasiswa sebelumnya diantaranya pembuatan *prototype* komponen MCB berupa Terminal Listrik *Inbow* dengan Modul *Timer* Otomatis (Iwan, 2022). Penelitian simulasi *injection molding* dilakukan dengan variasi *layout cavity*, jumlah lokasi injeksi dan *gating system* yang digunakan pada desain komponen kelistrikan. Parameter divariasikan untuk mengetahui seberapa pengaruh parameter tersebut terhadap kualitas produk. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hasil yang paling optimal, yang berguna dalam proses manufaktur di pabrik industri. Kriteria utama yang diinginkan dari hasil simulasi ini yaitu tidak terjadi cacat *short shot* dan nilai *quality prediction* baik. *Mold unit* dirancang dari setiap produk yang sudah di simulasi, diambil dari hasil yang paling optimal. Hasil optimal merupakan yang tidak terdapat cacat *short shot*, nilai *quality prediction* baik dan *fill time* cepat.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan sepenuhnya menggunakan *computer base* dengan aplikasi *software* CAE dan berbahan desain 3D terminal listrik *inbow* dengan modul *timer* otomatis. Variasi parameter meliputi jenis *layout cavity* yang digunakan yaitu *grid H* dan *radial star*. Diameter *runner* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mulai dari 3 mm, 4 mm, dan 5mm. *Layout cavity* dan ukuran diameter *runner* divariasikan untuk mengetahui pengaruh terhadap hasil yang didapat dari simulasi *injection molding*. Hasil simulasi dapat dilihat pada bagian *quality prediction*, *fill time*, *air traps*, dan *weld line*. Pada bagian parameter tetap dapat diubah nilainya jika hasil dari simulasi masih terdapat titik atau *spot* yang berpotensi mengalami cacat di bagian produk, yang ditunjukkan dengan indikator berwarna merah pada simulasi. Parameter tetap yang digunakan pada simulasi *injection molding* dapat dilihat pada Tabel 1. Salah satu mesin yang dapat digunakan dan sesuai dengan spesifikasi *molding* yang sudah dirancang adalah mesin jenis SUN-110 dengan kapasitas *maximum clamping force* ± 1.000 kN.

Tabel 1. Parameter Tetap

No	Parameter	Nilai
1	<i>Mold Temperature</i>	80 C°
2	<i>Melt Temperature</i> <i>Max. Machine</i>	260 C°
3	<i>Injection Pressure</i>	180 MPa
4	<i>Machine Clamp Open time</i>	5 s

Penelitian kali ini akan berfokus pada komponen-komponen MCB yang dapat di lakukan proses *injection molding*. Desain dari komponen MCB sudah dibuat sehingga diperlukan tindak lanjut dari desain tersebut untuk direalisasikan menjadi suatu produk. Parameter pemesinan meliputi tekanan injeksi, *clamp open time*, *mold* dan *melt temperature* dibuat tetap. Perubahan ukuran diameter *runner*, layout H dan radial, jumlah lokasi injeksi divariasikan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya dan mencari hasil yang paling optimal dari analisis yang sudah dikerjakan. Design mold dirancang untuk mengetahui gambaran 3D mold, yang diambil dari tiap komponen MCB yang paling optimal setelah dilakukan analisis menggunakan *software moldflow adviser 2019*.

Perubahan desain minor juga dapat dilakukan untuk menghindari potensi cacat pada produk. Hal ini dilakukan jika perubahan *layout cavity*, diameter *runner*, dan parameter injeksi masih belum berhasil. Langkah ini dilakukan dengan pertimbangan nilai

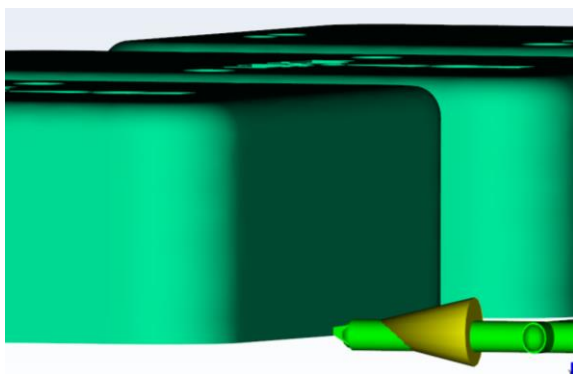
fungsi dari desain komponen. Tipe *gate* yang digunakan dalam penelitian yaitu jenis tipe *edge*. Tipe *edge gate* dengan model *rectangular tapered gate* digunakan karena tipe ini mendukung pada produk dalam jumlah banyak dan mempermudah pemisahan produk dengan *runner*. Bagian *runner* yang digunakan yaitu tipe *circular*, sehingga dalam penempatannya harus diletakkan sejajar dengan *parting line*. Jumlah *cavity* pada komponen terminal listrik *inbow* yaitu 6 *cavity* agar *cost mold unit* yang dibuat tidak terlalu mahal.

Perancangan *layout cavity*, *diameter sprue*, *runner*, dan *gate* merupakan faktor yang sangat penting dalam proses *injection molding*. Jika banyak kesalahan dalam melakukan perancangan tersebut bisa saja produk tersebut akan mengalami banyak kecacatan dan bahkan gagal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan lokasi *gate* merupakan hal yang terpenting dalam *injection molding*. *Gate* merupakan pintu utama dalam penginjeksian material ke dalam cetakan untuk menjadi suatu produk jika salah penempatan *gate* dapat menyebabkan cacat produk. Ukuran *gate* ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

Berikut merupakan penempatan *gate* pada komponen terminal listrik *inbow* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



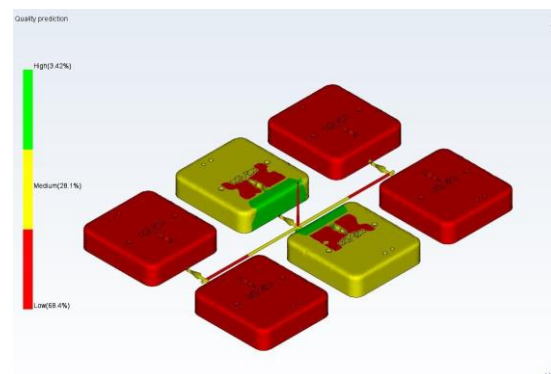
Gambar 1. *Gate* Komponen Terminal Listrik *Inbow* dengan Modul *Timer* Otomatis

Software Autodesk Moldflow Adviser 2019 digunakan untuk mensimulasi desain produk yang telah dibuat. *Software Autodesk Inventor professional 2023 student version* digunakan untuk merancang *mold unit* pada komponen terminal listrik *inbow* dengan modul *timer* otomatis. Berikut merupakan tabel hasil simulasi dari variasi *layout cavity* dan *diameter runner* yang dapat dilihat pada Tabel 2.

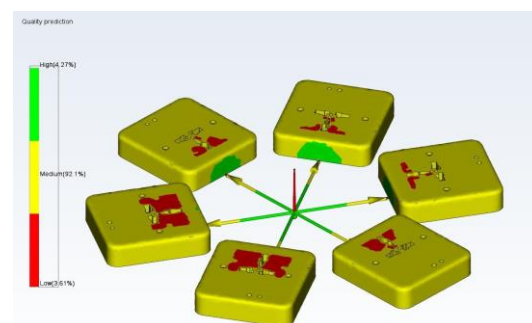
Tabel 2. Hasil Simulasi Komponen Terminal Listrik *Inbow*

Jenis <i>Layout</i>	Parameter <i>Diameter</i> (mm)	<i>Fill Time</i> (s)	<i>Quality Production (%)</i>		
			Low	Medium	High
<i>Grid H</i>	3mm	4.178	68.4	28.1	3.42
<i>Radial Star</i>	3mm	3.395	3.61	92.1	4.27
<i>Grid H</i>	4mm	3.494	3.22	15.4	81.4
<i>Radial Star</i>	4mm	3.232	5.22	13	81.8
<i>Grid H</i>	5mm	3.263	2.82	19.1	78.1
<i>Radial Star</i>	5mm	3.357	2.47	15.8	81.7

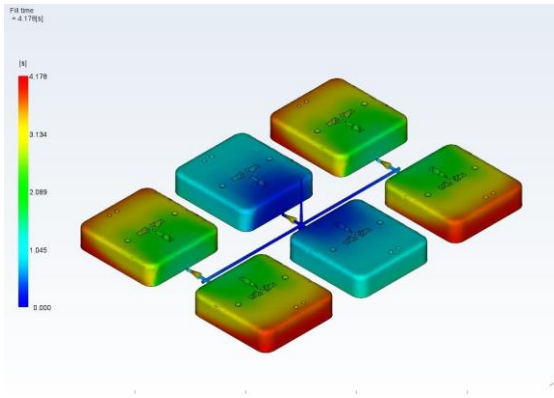
Berdasarkan rangkuman tabel diatas didapatkan bahwa hasil simulasi terendah pada komponen terminal listrik *inbow* yaitu pada *layout grid H* dan *radial star* dengan *diameter runner* 3 mm. Nilai *quality prediction* pada *layout grid H* dengan *diameter runner* 3 mm yang terjadi yaitu *High* 3.42%, *Medium* 28.1%, *Low* 68.4%, dan *fill time* paling tinggi yaitu 4.178 s. Nilai *quality prediction* pada *layout radial star* *diameter runner* 3 mm yaitu *High* 4.27%, *Medium* 92.1%, *Low* 3.61%. Dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5.



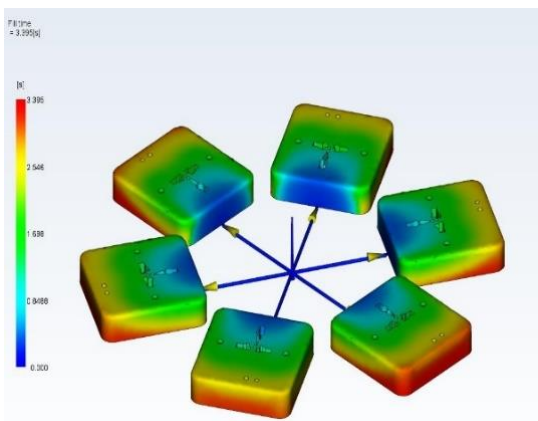
Gambar 2. Hasil simulasi *quality prediction grid H* dengan *diameter runner* 3 mm



Gambar 3. Hasil simulasi *quality prediction radial star* dengan *diameter runner* 4 mm

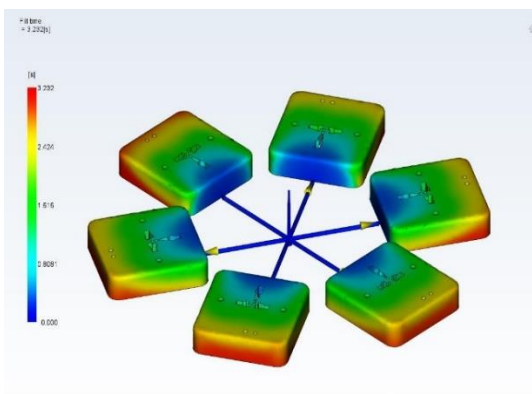


Gambar 4. Hasil simulasi *fill time grid H* dengan diameter *runner* 3 mm



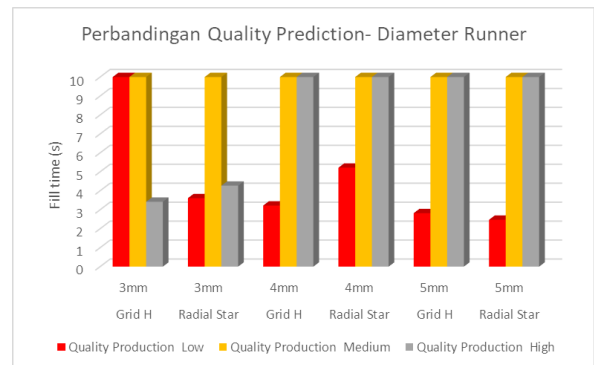
Gambar 5. Hasil simulasi *fill time radial star* dengan diameter *runner* 3 mm

Produk Terminal Listrik *Inbow* dengan Modul *Timer* Otomatis yang paling optimal menggunakan *layout radial star* dengan ukuran diameter *runner* 4 mm. Catatan nilai *quality prediction* yaitu *High* 81.8%, *Medium* 13%, *Low* 5.22% dan *fill time* 3.232 s. Hasil simulasi *fill time* pada produk ini dapat dilihat pada Gambar 6.

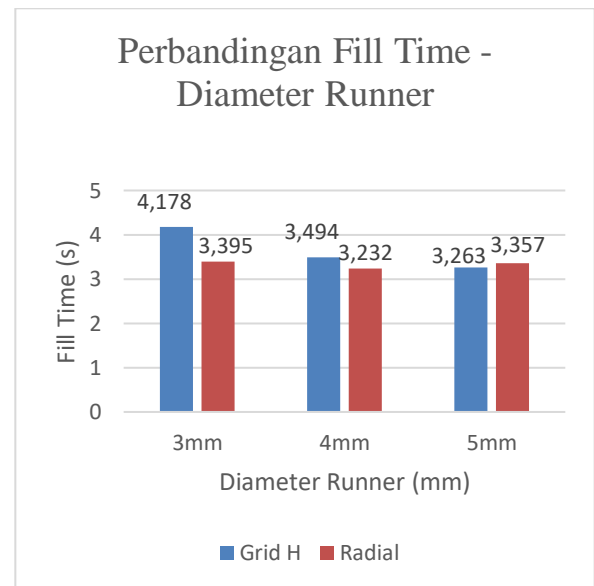


Gambar 6. *Fill Time* Produk Terminal Listrik *Inbow*

Grafik yang ditunjukkan perbandingan antara *quality prediction* dengan diameter *runner* dan *fill time* dengan diameter *runner* dapat dilihat pada Gambar. 7 dan Gambar. 8.

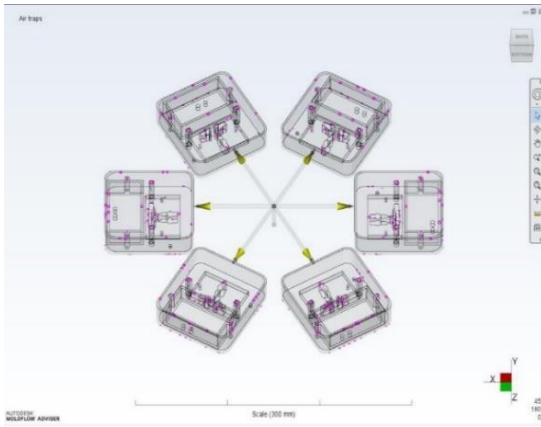


Gambar 7. Grafik perbandingan *quality prediction* dengan diameter *runner*

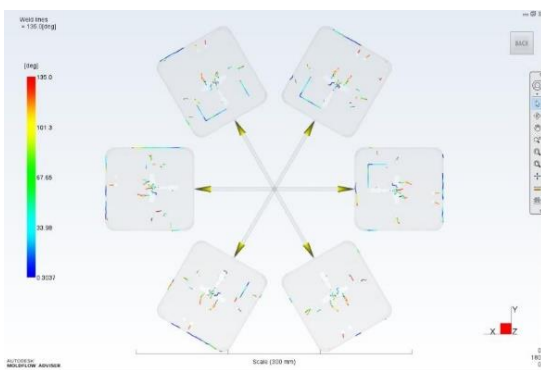


Gambar 8. Grafik perbandingan *fill time* dengan diameter *runner*

Dilihat dari nilai *quality prediction* sudah cukup tinggi, namun pada produk ini ditemukan kecacatan yang tidak dapat ditolerir dibagian permukaan yang mengakibatkan tampak visual dari benda ini kurang baik. Hasil simulasi *defect air traps* dan *weld line* dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

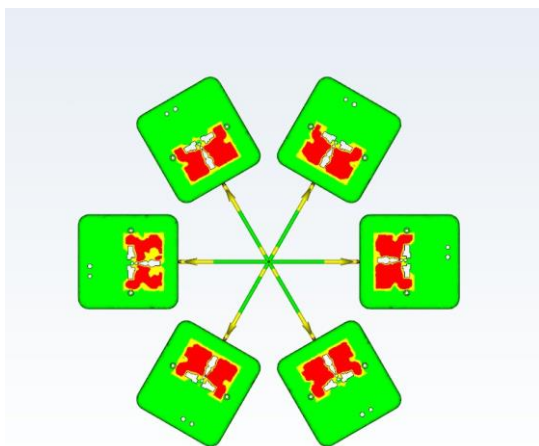


Gambar 9. Cacat Air Traps



Gambar 10. Cacat Weld Line

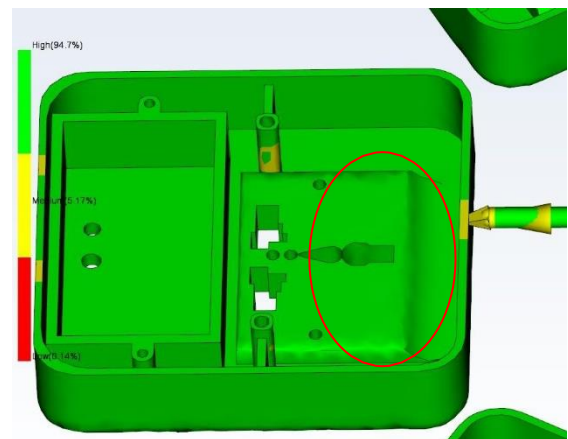
Pada kedua gambar diatas dapat dilihat bahwa titik cacat *air traps* yang terjadi cukup banyak yaitu kurang lebih 300 titik, sedangkan pada bagian cacat *weld line* yang terjadi juga cukup banyak yang ditandai dengan spot-spot berwarna merah yang dapat dilihat pada Gambar. 11.



Gambar 11. Hasil Simulasi Sebelum Optimalisasi

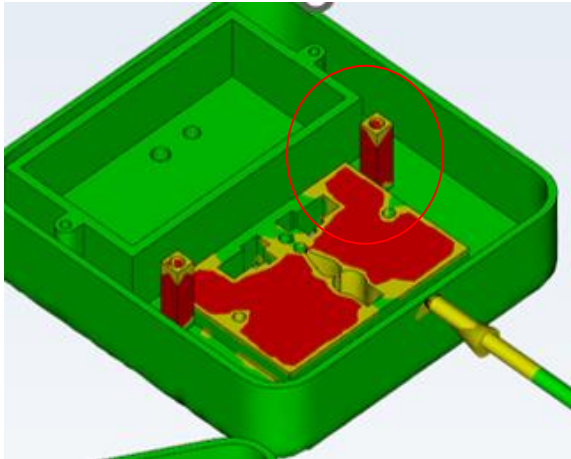
Diperlukan solusi untuk mengurangi spot merah yang ada di permukaan produk tersebut. Beberapa upaya seperti menaikkan *pressure*

injection, mengubah *layout*, mengubah jenis *gate*, penempatan *gate* sudah dilakukan namun hasil yang didapatkan masih belum baik. Langkah selanjutnya, dilakukan perubahan desain minor pada bagian siku colokan dan bagian tempat sekrup. Perubahan desain ini dilakukan karena terdapat *spot* merah pada hasil simulasi *quality prediction*. *Spot* merah di bagian sekitar colokan dapat disebabkan karena adanya perbedaan ketinggian yang terjadi, sehingga diperlukan *fillet* dibagian ini untuk meredakan *thickness-transition*nya. *Thickness-transition* perlu diperhatikan untuk menghindari kemungkinan terjadinya kecacatan *shrinkage* dan *warpage* dan dilakukan untuk mengurangi tekanan yang dibentuk dan konsentrasi tegangan yang terkait dengan perubahan ketebalan yang tiba-tiba (Bayer Corporation, 2000). Pengaruh Penambahan *fillet* pada desain dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Penambahan *Fillet* 10 mm

Penambahan *ribs* yang disambungkan dengan tempat sekrup, hal ini dilakukan agar aliran plasti cair dapat dengan mudah mencapai titik tertinggi dari lubang sekrup. Penambahan *ribs* ini tentunya dengan memperhatikan nilai fungsi dari alat ini. Hasil simulasi sebelum penambahan *ribs* bisa dilihat pada Gambar 13. dan hasil simulasi setelah penambahan *ribs* bisa dilihat pada Gambar 14.



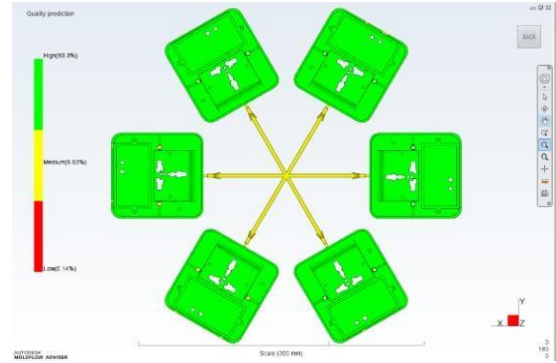
Gambar 13. Hasil simulasi sebelum penambahan *Ribs* terhadap quality prediction



Gambar 14. Pengaruh penambahan *Ribs* terhadap quality prediction

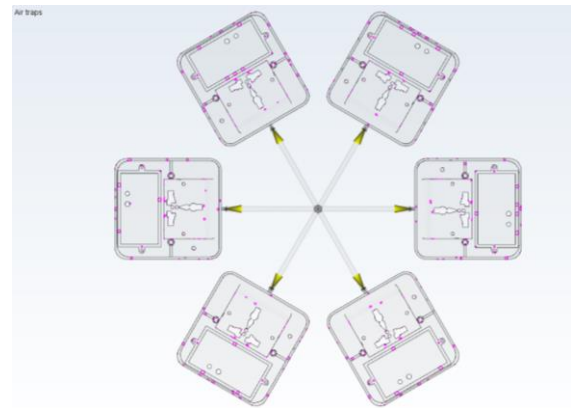
Solusi terakhir yaitu melakukan perubahan *layout* menjadi *radial* dan penambahan nilai *mold temperature* sebesar 85 °C. Hal ini dilakukan karena solusi pertama dan kedua masih belum mendapatkan hasil yang diinginkan karena masih terdapat titik berwarna merah di permukaan pada saat simulasi *injection molding*. Penambahan temperatur diperlukan untuk meminimalisir pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan plastik cepat mengeras dan terjadi cacat *short mold*.

Optimalisasi *gating system* dilakukan terhadap produk, dengan hasil yang didapatkan yaitu nilai *fill time* mengalami penurunan yaitu 3.289 s dan *quality prediction* juga mengalami peningkatan yaitu sebesar *high* 94.7%, *medium* 5.17%, *low* 0.14 %, bisa dilihat pada Gambar 15 di bawah.



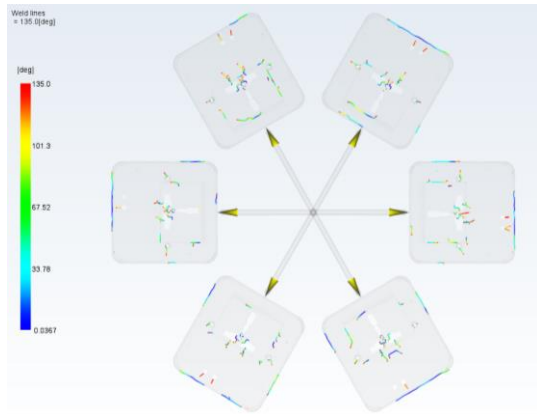
Gambar 15. Hasil Setelah Optimalisasi

Pada bagian *defect* yang terjadi setelah dilakukan optimalisasi desain yaitu terdapat pengurangan titik *air traps* menjadi 273 titik *air traps* dan penurunan garis-garis *weld line* yang ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16. Titik *Air Traps* Setelah Optimalisasi

Setelah dilakukan optimalisasi, masih terjadi beberapa *air traps* di beberapa area. Ini terjadi karena udara gagal keluar dari ventilasi cetakan. Udara yang terperangkap biasanya akan mengakibatkan rongga dan gelembung di dalam bagian cetakan, *short shot* (pengisian tidak lengkap), atau cacat permukaan, seperti noda atau bekas terbakar. Metode meminimalisir *air traps* bisa dengan memperbesar ventilasi udara tetapi dengan batas tertentu yang optimal.



Gambar 17. *Weld Line* Setelah Optimalisasi

Cacat *weld line* dalam proses injeksi plastik merupakan hal yang wajar terjadi dalam proses tersebut karena merupakan proses terbentuknya dari pertemuan aliran plastik panas di dalam cetakan. Biasanya dalam industri pada bagian Quality Assurance (QA) menerapkan standar tertentu terhadap hasil produk dengan *weldline* secara visual sehingga memberikan toleransi batas kecacatan. Kriteria utama dari standar kualitas suatu produk dilihat dari kualitas akhir permukaan produk yang dihasilkan dari proses *injection molding*. Disisi lain pasti ada kegagalan atau kecacatan suatu produk yang mengganggu penampilan produk. Dalam penerapannya, produk dengan cacat *weldline* masih bisa disamarkan dengan penambahan warna dengan di lapiasi cat *spray*.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukan proses simulasi *injection molding* dari setiap komponen MCB sebagai berikut:

1. Pada komponen terminal listrik *inbow* dengan modul timer otomatis, *layout* radial dengan diameter *runner* 4 mm merupakan yang paling optimal.
2. Komponen yang di simulasi mengalami cacat *weld line* dan cacat *air trap*. Tidak ditemukan cacat *short shot*.
3. Optimasi desain dilakukan dengan menambahkan *fillet* dan *ribs* untuk menghasilkan pola aliran lebih *smooth*.

Saran

Penelitian kali ini masih dalam tahap simulasi menggunakan *software* atau aplikasi CAE, sehingga saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Melakukan simulasi *injection molding* dengan susunan *gating system* yang lebih bervariasi agar hasil yang didapatkan lebih optimal.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, R. (2021). Perancangan dan Pembuatan Prototipe Kotak *Mini CircuitBreaker* (MCB) Dengan Modul *Timer* Otomatis dan VA Meter. Menggunakan 3D *Print*. (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Indonesia).
- Bayer Corporation. (2000). *Bayer Engineering Polymers – Part and Mold Design: Thermoplastics A Design Guide*. Pittsburgh: Bayer Material Science.
- Danang, R. (2022). Perancangan dan Pembuatan Prototipe Terminal Listrik Eksternal T dengan Modul *Timer* Otomatis Menggunakan 3D *Printer*. (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Indonesia).
- Djunarso. (2011). *Dasar Mold Desain*. Surakarta: Teknika Media.
- Firdaus., & Tjitro, S. (2002). Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (*Shrinkage*) pada Benda Cetak *Pneumatics Holder*. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(2), 75-80.
- Iwan, M. (2022). Perancangan dan Pembuatan Prototipe Terminal Listrik *Inbow* dengan Modul *Timer* Otomatis Menggunakan 3D *Printer*. (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Indonesia).
- Klein, R. (2012). *Laser Welding of Plastics*. Weinheim: Wiley-VCH.
- LANXESS. (2007). *Part and Mold Design Guide*. Pittsburgh: LANXESS Corporation.
- Menges, G., Michaeli, W., & Mohren, P. (2001). *How to Make Injection Mold*. Munich: Hanser Publications.
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik *Material* Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi* 3(2), 1-9.
- Potsch, Gerd., & Michael, Walter. (2007). *Injection Molding: An Introduction*. Munich: Hanser Pub Inc.
- Prasetyo, A., Fauzun., Azmi, A., Yaqin, R., dan Pranoto, S. (2020). Analisis

Keseragaman Pendingin Produk Plastik Injeksi Molding dengan Variasi Sistem Pendingin. *Jurnal Penelitian Saintek*, 25(2), 173-183.

Surachman, Agus. (2019). Analisis Variasi *Layout Runner* dan *Melt Temperature* Terhadap *Fill Time* dan Cacat Produk pada Proses *Injection Molding* Sikat Gigi serta Pembuatan Desain Mold Unit. (Skripsi Sarjana, Universitas IslamIndonesia).

Wahyudi, D., & Alimin, R. (1999). Aplikasi Rekayasa Mutu untuk Mengurangi Cacat pada Mesin *Injection Molding*. *Jurnal Teknik Mesin*, 134-142.

Zheng, R., Tanner, R. I., & Fan, X.-J. (2011). *Injection molding integration of theory and modelling methods*. Sydney: Springer Science & Business Media