

Analisis Parameter Cetakan Injeksi Plastik Menggunakan Simulasi CAE untuk Memprediksi Kegagalan Produk *Front Cover* MiFUS®

Riona Ihsan Media*, Riky Adhianto, Yuliar Yasin Erlangga, Muhammad Firman Friyadi

Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung,

Jalan Kanayakan No.21 Dago, Bandung 40135

*E-mail: rio_sanmed@polman-bandung.ac.id

Diajukan: 29-12-2021; Diterima: 30-07-2022; Diterbitkan: 22-08-2022

Abstrak

Kualitas produk yang dihasilkan menjadi tantangan utama dalam perancangan cetakan injeksi plastik. Untuk mencapai hal tersebut, simulasi CAE terhadap parameter-parameter perancangan dikaji untuk membantu memprediksi kemungkinan terjadi kegagalan produk. Upaya penggunaan CAE dilakukan untuk mendapatkan hasil yang mendekati nilai sebenarnya. Namun, kendala yang dihadapi adalah pengguna CAE relatif masih sangat minim dikarenakan perlunya pengetahuan yang cukup dalam pengoperasiannya serta masih dilakukannya proses *trial and error* dilapangan. Oleh karena itu, paper ini dibuat bertujuan memprediksi kegagalan produk dan mendapatkan parameter optimal pada mesin injeksi menggunakan analisis simulasi CAE. Metode penelitian dilakukan mulai dari pembuatan model CAD 3D, penentuan parameter perancangan, proses simulasi, dan interpretasi hasil analisis simulasi. Produk *front cover* MiFUS® dijadikan sebagai bahan kajian produk plastik dengan material *polypropylene*. Mesin injeksi yang digunakan adalah Demag Ergotech 200-840. Sedangkan jenis cetakan yang digunakan adalah *two plate mold* dengan metode pendinginan sistem delapan kanal sejajar. Interpretasi hasil analisis didapatkan waktu pengisian plastik selama 0,144 detik dan tekanan injeksi 44,98 Mpa. Sedangkan untuk distribusi kegagalan yang terjadi meliputi *weld line angle* terbesar yang terjadi pada sudut 144,98 dan *sink mark* terbesar yang terjadi pada dimensi produk yaitu 0,0361 mm sehingga dapat disimpulkan, produk casing yang akan dihasilkan dengan menggunakan parameter dari hasil analisis simulasi dapat digunakan sebagai prediksi awal sebelum diproduksi oleh mesin injeksi sebenarnya.

Kata kunci: Analisis Parameter Injeksi; *Injection Molding*; Kegagalan Produk Injeksi Plastik; Simulasi CAE

Abstract

The quality of the resulting product is a challenge in the design of plastic injection molds. Achieving this quality, CAE simulation of design parameters is studied to help predict the possibility of product defect. Many studies are made to use CAE to get results that are close to the actual value. However, the obstacle faced is that CAE users are still relatively minimal due to the need for adequate knowledge in its operation and the trial and error process is still being carried out in the field. Therefore, this paper aims to provide easy steps in obtaining parameters that can be used as initial references. The research method is examined starting from making 3D CAD models, determining design parameters, simulation processes, and interpreting simulation analysis results. The MiFUS® front cover product is used as a case study material for plastic products with polypropylene material. The injection engine used is the Demag Ergotech 200-840. While the type of mold used is a two-plate mold with an eight parallel channel system cooling method. The interpretation of the analysis results obtained that the plastic filling time was 0.144 seconds and the injection pressure was 44.98 Mpa. As for the distribution of failures that occur include the largest weld line angle of 144.98 and the largest sink mark that occurs in product dimensions about 0.0361 mm. It can be concluded that the parameters from the simulation can be used as an initial prediction before being produced by the actual injection machine.

Keywords: CAE Simulation; *Injection Molding*; *Injection Parameters Analysis*; Plastic Injection Product Defect;

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi manufaktur berkembang dengan pesat terutama dalam produksi plastik yang dihasilkan oleh *plastics injection mold* (PIM) [1–5]. Beberapa faktor dalam produksi perlu diperhatikan selain faktor desain produk, kondisi di mesin injeksi perlu dijadikan pertimbangan dalam penentuan parameternya seperti waktu pengisian, tekanan permukaan, penyusutan produk, material plastik yang digunakan, serta beberapa kemungkinan cacat produk setelah proses produksi [6–8]. Kondisi tersebut membuat sebagian para teknisi dilapangan diperlukan tindakan *trial and error* dalam menghasilkan produk yang diinginkan dengan memperhatikan kualitas produk yaitu dari tampilan serta berat produk tersebut [9–11]. Kemungkinan hasil produk cacat pada saat *trial* pertama kali relatif sangat tinggi sehingga waktu

yang diperlukan relatif belum efektif. Upaya yang dapat dilakukan untuk menggantikan *trial and error* tersebut adalah dengan menggunakan analisis software aliran plastik yang memungkinkan pengguna dapat memprediksi produk yang dihasilkan oleh mesin injeksi.

Computer Aided Engineering (CAE) adalah alat bantu dengan melakukan pendekatan rekayasa numerik untuk mendapatkan hasil semirip mungkin dengan yang akan dilakukan pada kondisi nyata [12]. Hal tersebut tidak bisa dipungkiri bahwa sebagian industri besar dengan volume produksi yang sangat tinggi menggunakan CAE sebagai solusi konkret yang dapat menekan biaya R&D pada proses injeksi plastik [13–17]. Namun dalam melakukan analisis menggunakan software CAE, diperlukan tenaga terampil dalam penentuan parameter yang akan dimasukkan tersebut. Kesalahan dalam penentuan parameter injeksi dapat mengakibatkan selisih perbedaan yang sangat jauh antara simulasi menggunakan CAE dengan proses injeksi sesungguhnya. Oleh karena itu, para peneliti mencoba beberapa pendekatan metode simulasi CAE agar didapatkan parameter yang dapat digunakan secara luas. Selain itu, upaya membandingkan beberapa metode simulasi digunakan seperti yang dilakukan oleh Chen, Dyi-Cheng et. al. yaitu dengan menggunakan ANOVA yang hasilnya dapat mengurangi kemungkinan terjadinya cacat produk [18]. Upaya lain adalah dengan *design of experiment* menggunakan metode Taguchi juga dilakukan untuk mendapatkan produk yang optimal dengan memperhatikan faktor penyusutan plastik yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur pada cetakan, perubahan temperatur pada produk, *holding pressure*, dan waktu pendinginan [19]. Namun metode eksperimen tersebut mempunyai kelemahan yaitu waktu serta biaya yang dibutuhkan sangat tinggi dan hanya berfokus pada kajian kegagalan produk dengan tidak melibatkan parameter yang diperlukan pada mesin injeksi, sehingga relatif tidak efektif dan efisien.

Paper ini membahas analisis simulasi aliran produk plastik melalui metode *injection molding* dengan menggunakan studi kasus casing MiFUS® (*Smart Monitoring Intravenous*) dengan material *polypropylene* (PP). Tujuan dari paper ini adalah untuk memprediksi kegagalan produk pada saat dicetak serta mendapatkan parameter yang akan digunakan pada mesin injeksi agar mendapatkan hasil yang optimal. Selanjutnya, akurasi dari hasil simulasi tersebut divalidasi dengan melakukan beberapa kali pengulangan simulasi. Setelah itu, optimasi dilakukan dengan mengubah *layout* produk untuk memprediksi kemungkinan terkecil cacat produk ketika akan diproduksi pada mesin injeksi.

2. Material dan metodologi

2.1. Cetakan injeksi plastik

Model cetakan injeksi menggunakan *two plate mold* menggunakan sistem ejsksi pin dengan *layout cavity* menggunakan dua buah produk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam paper ini, 3D model yang akan dilakukan simulasi adalah bagian *front cover*. Simulasi CAE terhadap produk mencakup perhitungan *rheology* dan *thermal* serta perhitungan deformasi pada bagian cetakan termasuk didalamnya penyusutan dan lengkungan suatu produk. Hasil perhitungan *rheology* juga memberikan suatu pengetahuan mengenai fenomena dan tingkah laku yang terjadi di *cavity* selama pengisian seperti distribusi tekanan, perubahan temperature, nilai kelajuan aliran, dan distribusi tegangan. Sedangkan perhitungan *thermal* pada cetakan mencakup siklus cetakan injeksi seperti waktu pengisian, durasi pembekuan, *temperature* di *cavity*, dan waktu pendinginan.

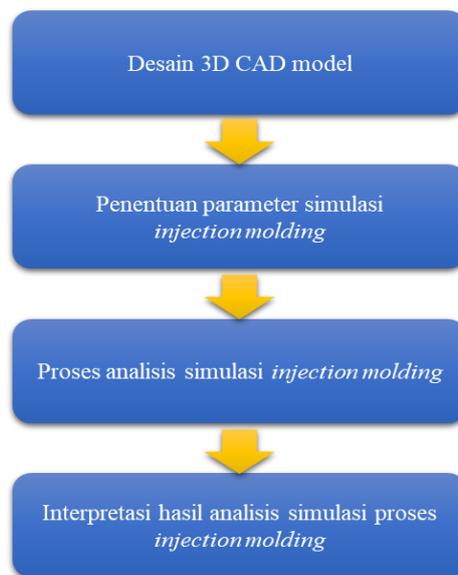
2.2. Metode analisis simulasi aliran plastik

Analisis simulasi aliran plastik menggunakan software CAE Moldex3D R14. Tahapan analisis dibagi menjadi empat seperti yang terlihat pada Gambar 2. yaitu meliputi: (1) persiapan desain model CAD baik berupa STEP file maupun IGES.; (2) penentuan parameter simulasi termasuk didalamnya adalah material produk, mesin injeksi yang akan digunakan, serta beberapa parameter mesin lainnya.; (3) proses analisis menggunakan *solver* yang tersedia pada modul

software apakah dalam bentuk 3D solid, Mesh, maupun Shell.; dan (4) interpretasi hasil analisis yang terdiri dari waktu pengisian, distribusi temperature, distribusi tegangan, distribusi ketebalan produk dan sebagainya.



Gambar 1. 3D CAD model casing MiFUS®

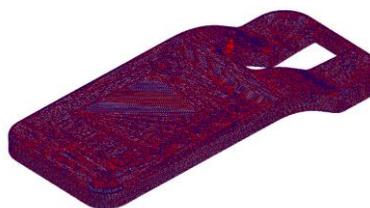


Gambar 2. Tahapan proses analisis simulasi *injection molding*

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pembuatan desain model 3D CAD

Casing MiFUS® dibuat dengan menggunakan software CAD Creo Parametric yang hasilnya dikonversi kedalam bentuk file netral STEP, STL, maupun IGES. Dalam penelitian ini, luaran hasil dari Creo Parametric tersebut adalah file netral STL (*Standard Triangle Language*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. File tersebut merupakan pendekatan numerik yaitu dengan mengubah bentuk *feature* pada format CAD kedalam pendekatan *Binary*. Selanjutnya, STL file di proses dengan *software* CAE Moldex3D dengan memastikan kualitas permukaan casing tidak ada yang *overlapping* maupun berlubang. Apabila terdapat cacat permukaan, dapat menggunakan *fix surface features* yang telah disediakan oleh Moldex3D.



Gambar 3. File STL casing MiFUS® hasil konversi dari CAD

3.2. Penentuan parameter simulasi

Sebelum dilakukan *running solver* maka perlu menentukan tiga parameter simulasi yaitu: (1) pembuatan model mesh dengan menggunakan *eDesign Moldex3D module*; (2) penentuan properti material plastik; dan (3) memilih konfigurasi mesin yang sesuai dengan mesin injeksi yang ada. Casing MiFUS® memiliki dimensi 70x175x26 mm dan dengan properti mesh seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Kemudian langkah berikut adalah dilakukan analisis ketebalan produk dimana casing tersebut memiliki ketebalan maksimal 8,86 mm dan ketebalan minimal 0,21 mm seperti yang terlihat pada Gambar 4. Selanjutnya, penentuan material plastik *polypropylene* yang relatif banyak sekali tersedia dipasaran. Oleh karena itu, dalam penentuan material perlu diperhatikan beberapa aspek seperti nama supplier material, nama dagang, dan properti material seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data *meshing properties* produk casing MiFUS®

<i>Item name</i>	<i>Item data</i>
<i>Mesh Type</i>	eDesign
<i>No. cooling channel</i>	8
<i>Part dimension</i>	70.000 x 175.000 x 26.050 (mm)
<i>Mold dimension</i>	200.000 x 250.000 x 60.000 (mm)
<i>Cavity(Part) volume</i>	40.4134 (cc)
<i>Cold runner volume</i>	0.0102031 (cc)
<i>Element number</i>	449673
<i>Part elements</i>	449673
<i>Node number</i>	445932

Tabel 2. Data *meshing properties* produk casing MiFUS®

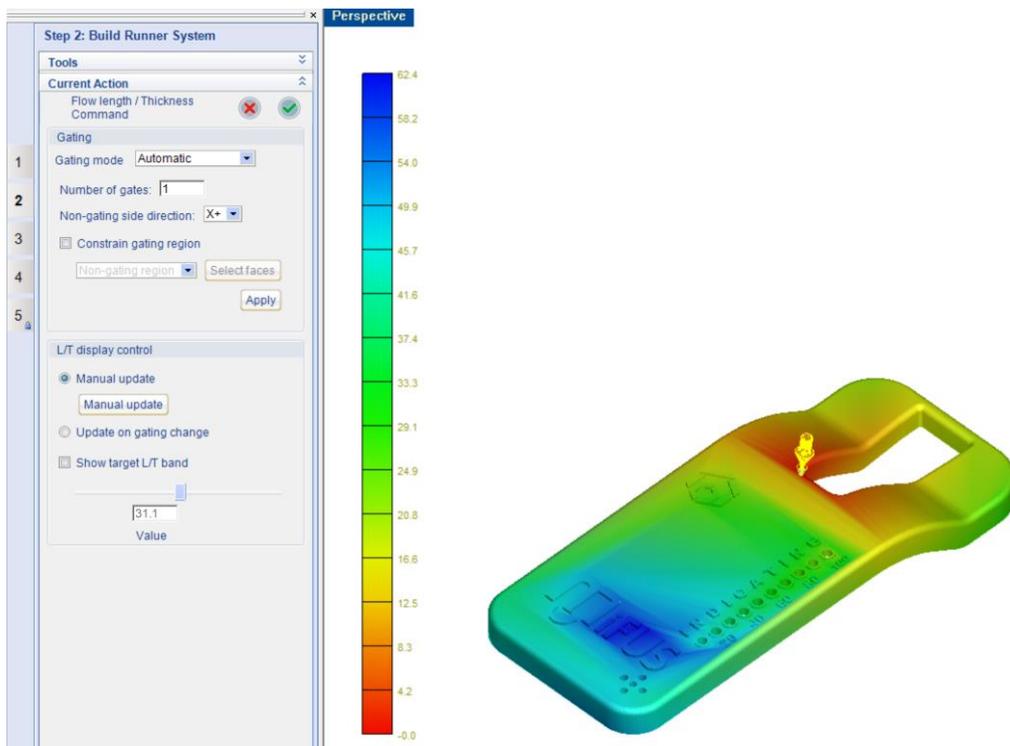
<i>Item name</i>	<i>Item data</i>
<i>Material type</i>	Thermoplastic
<i>Generic name</i>	PP
<i>Supplier</i>	LyondellBasell
<i>Trade name</i>	Moplen EP240H
<i>MFI</i>	MFI (230,2.16)=2 g/10min
<i>Fiber percent</i>	0.00 (%)
<i>Melt temperature range</i>	190 - 270 (°C)
<i>Mold temperature range</i>	20 - 50 (°C)
<i>Ejection temperature</i>	100 (°C)
<i>Freeze temperature</i>	120 (°C)

Setelah menentukan parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, selanjutnya adalah analisis aliran masuk pada produk dengan menggunakan *best gate position features* seperti yang terlihat pada Gambar 5. Penggunaan fitur *the best gate position* ditujukan untuk memastikan bahwa semua produk terisi penuh secara merata dalam waktu yang seragam. Keputusan pilihan fitur *the best gate position* dilakukan berdasarkan jumlah *gate* yang akan dijadikan masukan pada sistem, selanjutnya *software* akan mengolah data masukan untuk memberitahukan posisi *gate* terbaik. Pada casing tersebut didapatkan jalur aliran dengan panjang maksimal adalah 62,4 mm dari ujung *gate* sampai dengan posisi terakhir aliran plastik itu berhenti. Selain itu, upaya penggunaan fitur tersebut adalah untuk mengetahui kontribusi *gate* terhadap pengisian plastik pada produk casing.

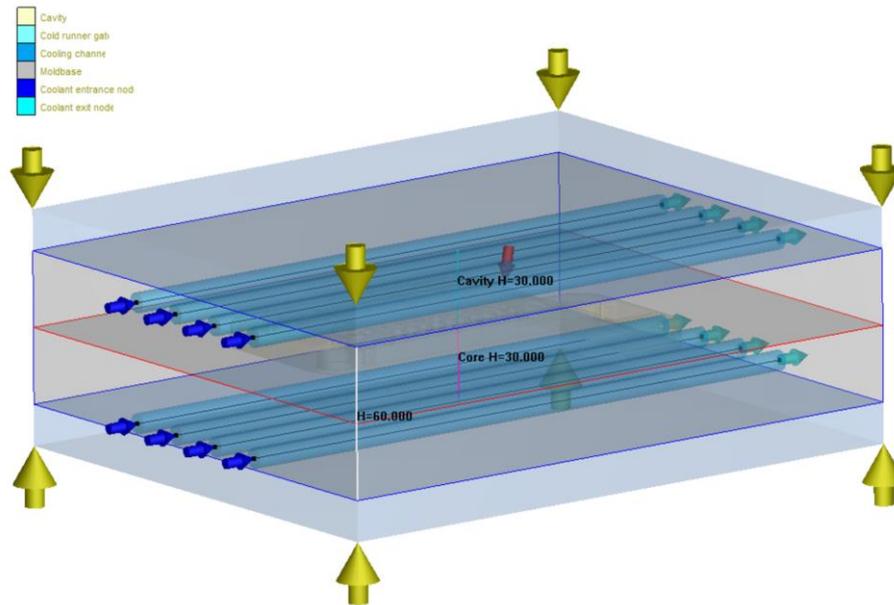


Gambar 4. Analisis distribusi ketebalan produk

Tahapan berikutnya adalah menentukan rongga cetak diantaranya adalah *cavity* dan *core*. Langkah tersebut dilakukan agar mendapatkan dimensi cetakan secara proporsional serta dapat memprediksi laju aliran plastik yang disertai dengan laju pendinginan cetakan sehingga dapat mendinginkan produk secara efektif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Dalam analisis simulasi casing, metode pendinginan *straight cooling* sejumlah delapan kanal dilakukan dikarenakan lebih efektif dalam mendinginkan produk.



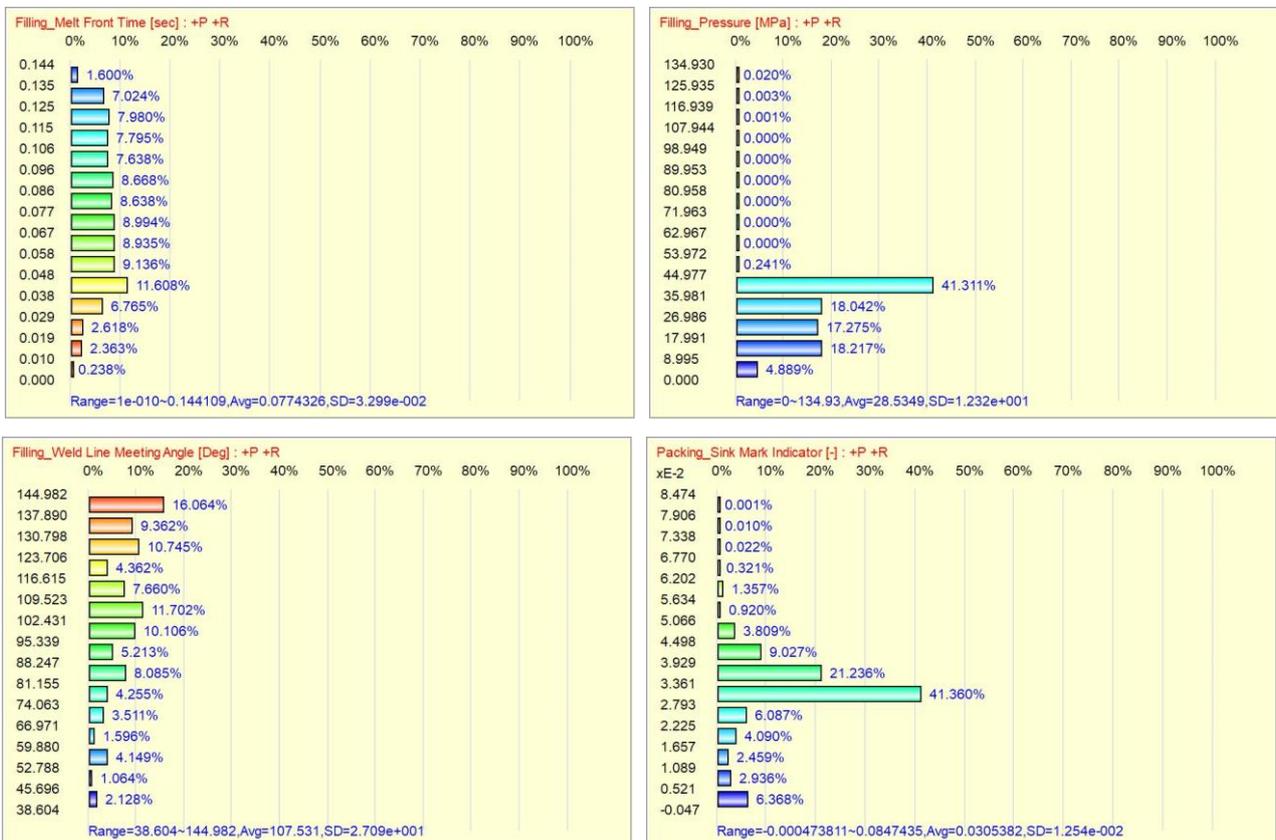
Gambar 5. Analisis the *best gate position*

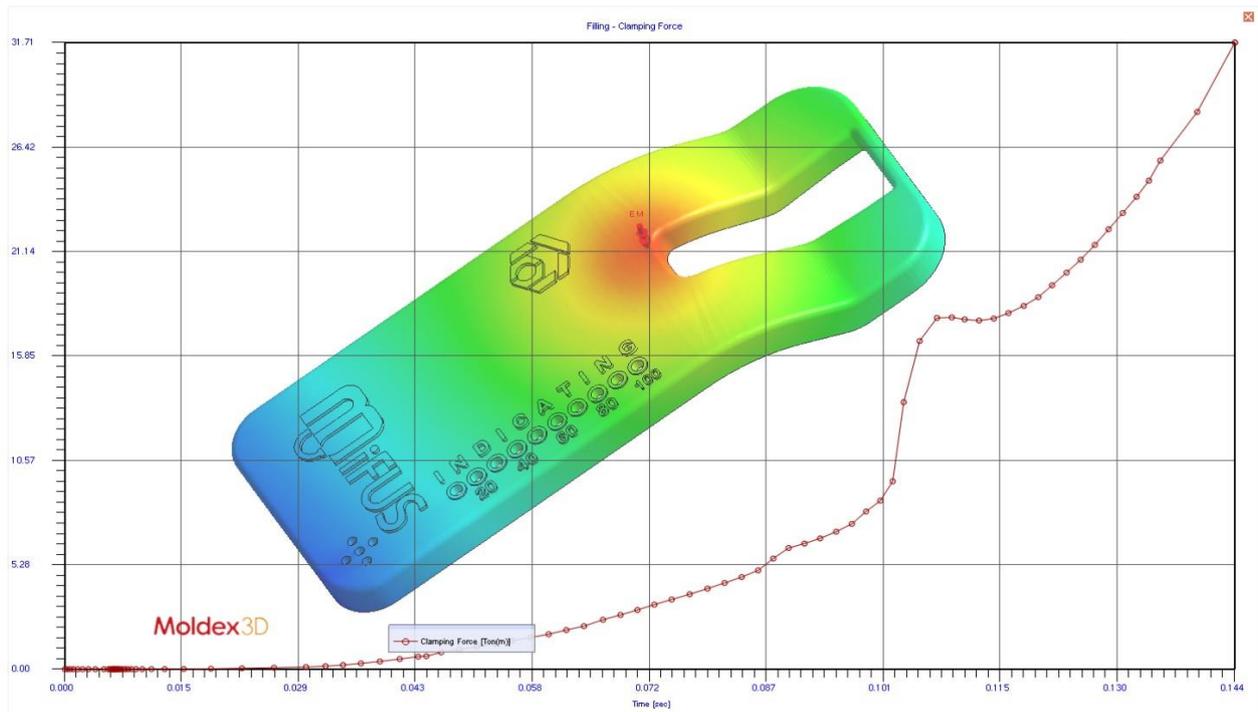


Gambar 6. Penentuan mold (core, cavity, cooling channel, moldbase)

3.3. Interpretasi hasil simulasi

Hasil analisis simulasi didapatkan nominal parameter yang akan dijadikan parameter masukkan pada mesin injeksi diantaranya adalah waktu pengisian produk selama 0,144 detik dan tekanan pengisian sebesar 44,98 Mpa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan untuk distribusi kegagalan terdiri dari *weld line angle* terbesar yang terjadi pada sudut 144,98 dan *sink mark* terbesar yang terjadi pada dimensi produk yaitu 0,0361 mm sehingga dapat disimpulkan, produk casing yang akan dihasilkan dengan menggunakan parameter dari hasil analisis simulasi dapat digunakan sebagai prediksi awal sebelum diproduksi oleh mesin injeksi sebenarnya.





Gambar 7. Hasil analisis simulasi Moldex3D berdasarkan parameter yang telah ditentukan

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah dilakukan dengan menerapkan metode analisis simulasi menggunakan software Moldex3D. Hasil dari analisis simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa parameter yang didapatkan dari simulasi *software* dapat digunakan sebagai prediksi awal dalam menentukan parameter mesin injeksi Demag Ergotech 200-840. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik statistik yang dihasilkan oleh *software*. Selain itu, metode simulasi juga dapat mengurangi biaya *trial and error* serta kegagalan produk akibat kesalahan dalam menentukan parameter di mesin injeksi.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Manufaktur Bandung melalui pendanaan hibah penelitian internal yang dikelola oleh unit P4M.

Daftar Pustaka

- [1.] Kitayama S, Tamada K, Takano M, Aiba S. Numerical optimization of process parameters in plastic injection molding for minimizing weldlines and clamping force using conformal cooling channel. *Journal of Manufacturing Processes*. 2018 Apr 1;32:782–90.
- [2.] Farotti E, Natalini M. Injection molding. Influence of process parameters on mechanical properties of polypropylene polymer. A first study. *Procedia Structural Integrity*. 2018 Jan 1;8:256–64.
- [3.] Gao H, Zhang Y, Fu Y, Mao T, Zhou H, Li D. Process parameters optimization using a novel classification model for plastic injection molding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;94(1):357–70.
- [4.] Mohan M, Ansari M, Shanks RA. Review on the effects of process parameters on strength, shrinkage, and warpage of injection molding plastic component. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2017;56(1):1–12.

- [5.] Hentati F, Hadriche I, Masmoudi N, Bradai C. Optimization of the injection molding process for the PC/ABS parts by integrating Taguchi approach and CAE simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019;104(9):4353–63.
- [6.] Firdaus M. Pengaruh Variasi Temperatur Injeksi Pada Rancang Bangun Mesin Injection Molding Untuk Hasil Produk Particulate Composite. 2020;
- [7.] Prasanko AW, Djumhariyanto D, Triono A. Analisis Parameter Injection Molding Terhadap Waktu Siklus dan Cacat Flash Produk Tutup Botol 180 ml Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal ROTOR*. 2017;
- [8.] Nurhudha A. Simulasi Dan Analisa Proses Injection Molding Pada Produk Frame Faceshield Untuk Reduksi Sink Mark. 2021;
- [9.] Liu J, Guo F, Gao H, Li M, Zhang Y, Zhou H. Defect detection of injection molding products on small datasets using transfer learning. *Journal of Manufacturing Processes*. 2021;70:400–13.
- [10.] Hwang S, Kim J. Injection mold design of reverse engineering using injection molding analysis and machine learning. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2019;33(8):3803–12.
- [11.] Zwicke F, Behr M, Elgeti S. Predicting shrinkage and warpage in injection molding: Towards automatized mold design. In AIP Publishing LLC; 2017. p. 100001.
- [12.] Huang C-T, Chang R-Y. Advanced CAE Technology for Microcellular Injection Molding. In: *Polymeric Foams*. CRC Press; 2016. p. 379–94.
- [13.] Andhalkar VV, Dulange DS. Injection molding methods design, optimization, Simulation of plastic flow reducer part by mold flow analysis. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017;4(6):1742–6.
- [14.] Xu X, Yu P. Modeling and simulation of injection molding process of polymer melt by a robust SPH method. *Applied Mathematical Modelling*. 2017;48:384–409.
- [15.] Wittemann F, Maertens R, Bernath A, Hohberg M, Kärger L, Henning F. Simulation of reinforced reactive injection molding with the finite volume method. *Journal of Composites Science*. 2018;2(1):5.
- [16.] Soltani M, Kulkarni R, Scheinost T, Groezinger T, Zimmermann A. A novel approach for reliability investigation of LEDs on molded interconnect devices based on FE-analysis coupled to injection molding simulation. *IEEE Access*. 2019;7:56163–73.
- [17.] Wu K, Wan L, Zhang H, Yang D. Numerical simulation of the injection molding process of short fiber composites by an integrated particle approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;97(9):3479–91.
- [18.] Chen DC, Wen KC, Yang RS, Lai YY. Study on Mold Flow Analysis and Injection Product Verification by Analysis of Variance and Response Surface Method-Taking Toothbrush as an Example. In *Trans Tech Publ*; 2020. p. 64–73.
- [19.] Chen W-C, Nguyen M-H, Chiu W-H, Chen T-N, Tai P-H. Optimization of the plastic injection molding process using the Taguchi method, RSM, and hybrid GA-PSO. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016;83(9–12):1873–86.