

Rekayasa balik komponen, simulasi proses manufaktur dan perancangan cetakan *high pressure die casting*: studi kasus *bottom body converter*

Indra Adriansyah^{a,1}, Asep Indra Komara^{b,2}, Ery Hidayat^c, Sidik Permana^b

^aMahasiswa Prodi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

^bJurusan Teknik Perancangan, Politeknik Manufaktur Bandung, Jawa Barat

^cJurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung, Jawa Barat

adriansyahindra1807@mhs.polman-bandung.ac.id,

²asep.indra@polman-bandung.ac.id (Corresponding author)

ABSTRACT

The government is encouraging the optimization of the use of domestic components in a product or machine at this time so that the competitiveness and productivity of the national industry will increase. Thus, the mastery of reverse engineering and the development of a product must be well mastered. The high cost of reverse engineering facilities and the lack of mastery of product design and manufacturing technology are some of the obstacles faced by the industry in Indonesia today. This paper will discuss the stages of the reverse engineering process using 3D scan technology and additive manufacturing, also simulating the manufacturing process using high-pressure die casting (HPDC) to determine the success rate of products to save costs and production time. Case studies on the engineering and development of converter kit components are carried out using the Bill Andersen method. This study classifies development activities into two parts, namely, product design and tooling design. Product design activities will discuss problem identification, reverse engineering, design optimization, and product strength analysis using finite element analysis. The tool design activity will discuss the injection machines used, the calculation of design parameters, fluid flow analysis, thermal analysis, and mould design. Based on the results of the studies that have been carried out, the most optimal product designs are obtained in accordance with the list of demands. In addition, this study has also resulted in an optimal HPDC design in accordance with the existing engine specifications at POLMAN Bandung.

Keywords: Reverse engineering, manufacturing process simulation, HPDC

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

PENDAHULUAN

Dalam Undang-Undang No 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian Bagian Keempat dinyatakan bahwa untuk pemberdayaan industri dalam negeri, pemerintah meningkatkan penggunaan produk dalam negeri [1]. Hal ini dilakukan untuk mendorong optimalisasi penggunaan komponen dalam negeri pada suatu produk atau mesin saat ini agar daya saing dan produktivitas industri nasional meningkat. Produsen di Indonesia dituntut harus mampu menciptakan produk dengan kualitas yang baik serta kuantitas yang dapat sesuai dengan kebutuhan.

Untuk mendukung penggunaan komponen dalam negeri, POLMAN Bandung bersama *partner* industri telah mengembangkan *converter kit* menggunakan metode *reverse engineering* (RE). RE merupakan praktik standar yang biasa dilakukan oleh seorang insinyur dalam menciptakan komponen baru dengan cara mereplikasi atau memperbaiki komponen eksisting [2]. Mahalnya fasilitas RE serta kurangnya

penguasaan desain produk dan teknologi manufaktur menjadi salah satu kendala yang dihadapi industri di Indonesia saat ini. Hal inilah yang membuat industri nasional sangat lamban dalam hal produktivitas dan sulit bersaing dengan industri luar negeri. Dalam pengembangan produk yang dilakukan akan membahas mengenai tahapan proses RE menggunakan teknologi 3D *scan* dan *additive manufacturing* (AM) dalam proses pengembangan produk.

Pengembangan tahap pertama menghasilkan rancangan komponen yang diberi nama *converter kit* versi 1.0. Proses manufaktur dilakukan dengan menggunakan teknologi *casting*, khususnya *high pressure die casting* (HPDC) dengan memanfaatkan mesin injeksi Frech DAK250-34 yang tersedia di POLMAN Bandung. HPDC adalah proses manufaktur yang digunakan untuk menghasilkan produk logam yang kompleks dengan akurasi dan permukaan yang berkualitas dengan menginjeksikan logam

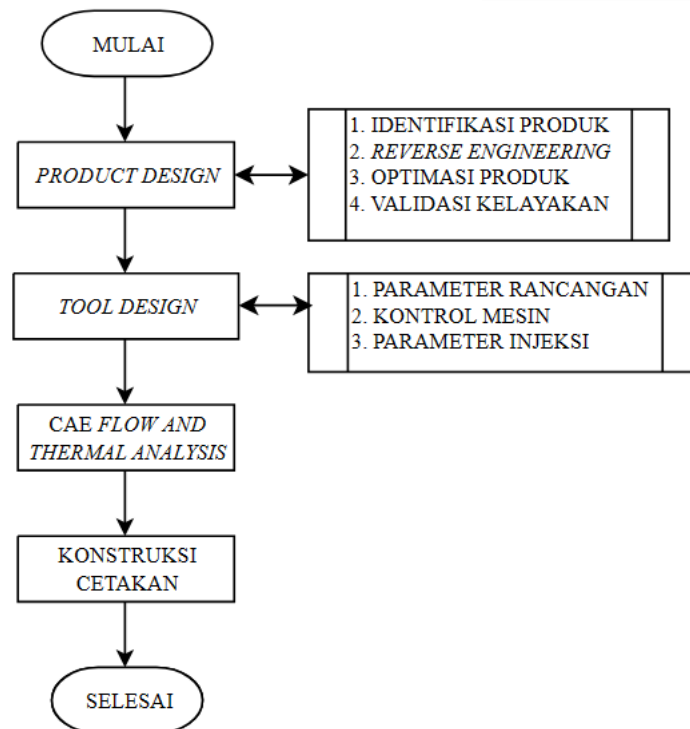
cair ke dalam cetakan pada tekanan tinggi dan kemudian membiarkannya mengeras [3].

Hasil injeksi produk tahap pertama memiliki beberapa masalah, dimana proses ejsksi (penge-luaran) produk pada cetakan tidak berjalan ka-rena produk menempel pada bagian *fixed plate*. Selanjutnya, terdapat keropos pada produk aki-bat perbedaan ketebalan produk yang ekstrim. Maka dari itu perlu dilakukan optimasi lanjutan untuk menghasilkan produk *bottom body con-verter* yang optimal. Dalam prosesnya, artikel ini

akan menyajikan proses rekayasa balik kompo-nen, simulasi proses manufaktur menggunakan *software casting analysis*, serta proses perancangan cetakan HPDC.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan merupakan metode perancangan *die casting* yang dikembangkan oleh Bill Andersen yang telah disesuaikan kem-bali dengan proses penelitian yang dilakukan, lihat Gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian [4]

1. PRODUCT DESIGN

1. Identifikasi Produk

Langkah pertama adalah dengan melakukan identifikasi terhadap produk eksisting dan versi 1.0 yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Setelah daftar tuntutan selesai dibuat berdasar-kan identifikasi produk yang dilakukan, selanjut-nya adalah proses RE.

Identifikasi dilakukan untuk menghasilkan data spesifikasi yang digunakan untuk menentukan daftar *Reverse Engineering*

a. 3D Scanning

Proses RE yang pertama dilakukan adalah *scan-ning* menggunakan MetraScan 3D terhadap

produk eksisting untuk menghasilkan model 3D, lihat Gambar 3.

2. Optimasi Produk

Model 3D yang dihasilkan melalui proses 3D *print*, selanjutnya akan melewati proses optimasi (modifikasi) untuk menghasilkan produk baru yang lebih optimal. Selanjutnya produk hasil op-timasi akan dibuatkan *prototype* menggunakan metode 3D *print* atau AM, lihat Gambar 4.

3. Validasi Kelayakan

Validasi kelayakan manufaktur dilakukan untuk memastikan bahwa produk dapat diproduksi menggunakan metode HPDC berdasarkan nilai-nilai yang dikemukakan oleh Swift [5].

2. TOOL DESIGN

1. Parameter Rancangan

Parameter rancangan dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai penting dalam perancangan *layout* injeksi seperti *gate*, *runner*, *overflow*, dsb.

Penentuan *parting line* pada *bottom body converter* ini dilakukan berdasarkan permukaan yang paling ideal untuk pertemuan *insert core* dan mempertimbangkan proses pengeluaran produk.

Untuk menghindari perubahan dimensi produk akibat penyusutan, maka dilakukan peningkatan geometri produk sesuai dengan *shrinkage* yang terjadi, yaitu sebesar 0.7% [6].

Overflow merupakan tempat pembuangan sisa kotoran, *heat balance*, udara yang tersumbat, dan menjamin cairan material dapat terisi penuh pada bagian produk. *Overflow* dapat mempengaruhi kualitas produk akhir tergantung pada geometri *overflow* [7]. Berdasarkan Buhler, volume *overflow* adalah $\frac{1}{3} - \frac{1}{5}$ dari volume produk [8].

Gate merupakan ruang masuknya material panas ke dalam *dies*. Geometri *gate* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kemajuan pengisian rongga cetakan [9].

Runner merupakan ruang untuk mengalirkan material dari biskuit (berasal dari *chamber*) ke produk melalui *gate*. Desain *runner system* sangat penting untuk memastikan bahwa proses pengisian pada *dies* terisi pada waktu yang sama dan memiliki waktu pengisian yang sama [10].

Die venting merupakan saluran pengeluaran udara dari rongga *die* untuk mengurangi porositas gas pada produk akhir [11]. Perancangan *die venting* mengacu pada rekomendasi Buhler [8].

2. Kontrol Mesin

Selanjutnya adalah memastikan *locking force* yang dibutuhkan produk dapat terpenuhi oleh *locking force* mesin.

3. Parameter Injeksi

Parameter injeksi adalah faktor-faktor yang mempengaruhi proses cetak injeksi. Parameter meliputi tekanan injeksi, *filling ratio*, serta panjang dan kecepatan pada fase 1 dan 2.

Tekanan injeksi adalah tekanan yang diperlukan saat proses injeksi berlangsung agar material dapat membentuk produk pada *dies*.

Filling ratio merupakan persentase dari volume total material yang akan diinjeksikan ke dalam rongga cetak terhadap kapasitas *chamber* yang tersedia. Berdasarkan standar mesin *frech*, *filling ratio* yang baik untuk digunakan adalah berkisar antara 25% - 66% [12].

Panjang *slow approach* (L_{SA}) merupakan panjang langkah pertama piston (fase 1) yang dilakukan untuk mendorong cairan metal sampai ujung *gate*.

Panjang *shot volume* (L_{shot}) merupakan panjang langkah kedua piston (fase 2) yang dilakukan untuk mendorong cairan metal ke seluruh bagian cetakan.

Berdasarkan NADCA, kecepatan *pre-filling* atau *slow shot velocity* (V_{css}) yang ideal adalah kecepatan yang cukup lambat untuk memungkinkan udara pada *cold chamber* didorong melalui *die* dan cukup cepat untuk mencegah sejumlah besar paduan untuk membeku di dalam *cold chamber* [13].

Piston velocity pada fase kedua (kecepatan *die-filling*) atau *fast shot velocity* (V_{fs}) didapat berdasarkan nilai *plunger*, *filling time*, dan *volume injeksi*. *Gating velocity* juga perlu diperhatikan, karena nilai yang terlalu besar beresiko terjadi erosi dan mengurangi umur cetakan.

3. CAE FLOW AND THERMAL ANALYSIS

CAE *Flow & Thermal Analysis* dilakukan untuk memvalidasi hasil perhitungan dan konsep rancangan yang telah dilakukan. Proses ini dilakukan menggunakan *software casting analysis* dengan *workflow* yang dapat dilihat pada Gambar 5.

4. KONSTRUKSI CETAKAN

Dalam melakukan perancangan konstruksi cetakan HPDC, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

Perancangan *insert core* dan *cavity* dilakukan berdasarkan batas dimensi yang dikemukakan Buhler [8].

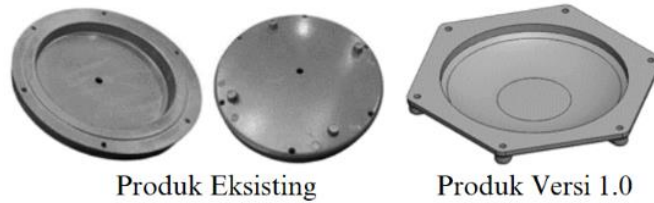
Untuk menentukan ukuran *mold base* yang efektif, dilakukan penyesuaian ukuran *insert core & cavity* terhadap standar *mold base*. Selain itu, untuk pemilihan jenis *mold base* didasari oleh sistem bukaan *tool*.

Pendinginan dilakukan agar temperatur *cavity* tetap stabil juga mempercepat proses pemadatan

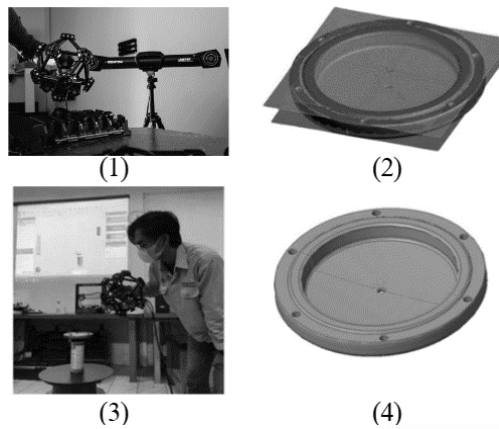
pada produk. Perancangan *cooling system* mengikuti rekomendasi dari Buhler [8].

Posisi ejektor tidak boleh ditempatkan pada bagian produk yang memiliki fungsi. Selain itu, posisi ejektor juga harus ditempatkan pada *overflow* dan *runner* untuk menghindari *runner* dan *overflow* yang terjebak di *cavity*.

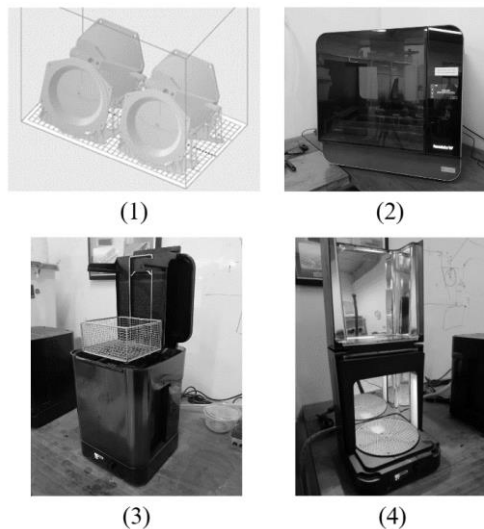
Pegas ejektor berfungsi untuk mengembalikan pin ejektor ke posisi semula setelah mengeluarkan produk dari *cavity*. Maka dari itu perlu ditentukan beban yang akan diterima oleh setiap pegas yang digunakan.



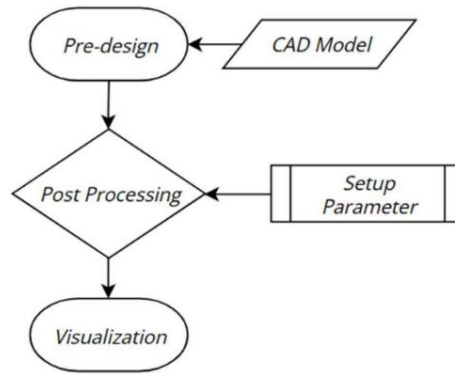
Gambar 2. Produk Eksisting



Gambar 3. Proses Scanning menggunakan MetraScan 3D



Gambar 4. Proses *Additive Manufacturing* Formlabs



Gambar 5. Simulation Process Workflow

HASIL DAN PEMBAHASAN

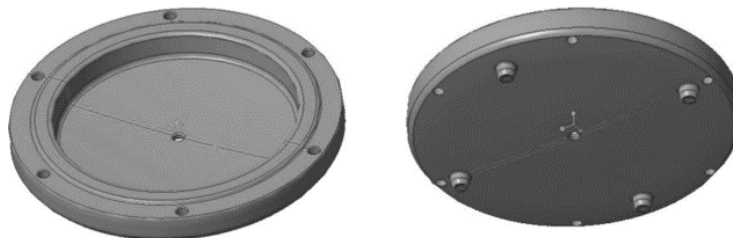
Berdasarkan hasil identifikasi dengan proses diskusi yang telah dilakukan terhadap produk eksisting dan versi 1.0, ditentukanlah daftar tuntutan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Tuntutan Optimasi Produk

No.	Tuntutan	Keterangan
1	Fit dengan top body converter	Dapat di assembly dengan top body converter
2	Penampilan	Tidak ada kecacatan pada permukaan fungsi
3	Berat	<75 % dari versi 1.0
4	Material	ADC 12
5	Kekuatan	Safety factor > 1.5
6	Produksi	Menggunakan Mesin Frech DAK250-34

Setelah daftar tuntutan selesai disusun, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan proses RE. Proses RE yang dilakukan adalah 3D

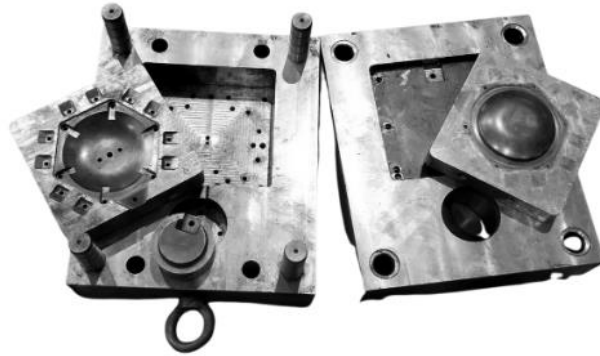
scanning terhadap produk eksisting untuk mendapatkan model 3D yang selanjutnya dilakukan pengembangan dengan cara dimodifikasi



Gambar 6. 3D Model Hasil Scanning

Gambar 6 merupakan model 3D dari converter eksisting hasil scanning menggunakan MetraScan. Scanning hanya dilakukan terhadap produk eksisting dikarenakan model 3D dari produk 1.0 telah tersedia.

Setelah model 3D produk eksisting produk versi 1.0, langkah selanjutnya adalah proses optimasi produk. Pada pengembangan tahap pertama, telah diciptakan produk versi 1.0 beserta cetakan HPDC yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Cetakan HPDC Produk Versi 1.0

Namun, pada saat proses *trial* yang dilakukan terhadap cetakan HPDC tahap pertama, terdapat

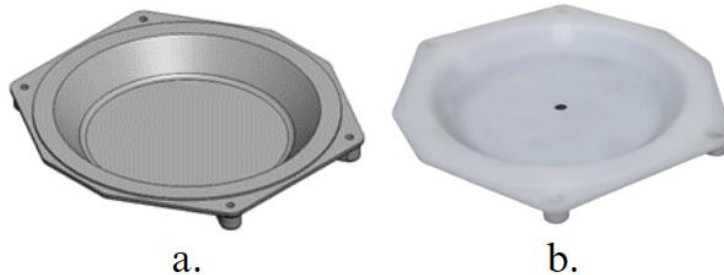
beberapa kendala yang terjadi yang dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Kendala Pengembangan Tahap Pertama

No.	Deskripsi	Keterangan
1	Produk	Terdapat keropos pada bagian produk yang ketebalannya besar Ejeksi tidak berjalan dengan baik
2	Cetakan HPDC	Tidak menggunakan <i>insert core pin</i> , membuat ketebalan produk tidak merata pada bagian lubang.

Berdasarkan kendala yang terjadi pada cetakan HPDC tersebut, perlu dilakukan optimasi lebih lanjut agar proses injeksi dapat berjalan lebih baik.

Dilakukan optimasi lebih lanjut melalui pengembangan tahap kedua yang menghasilkan produk versi 2.0, lihat Gambar 8 (a).



Gambar 8. a) Ilustrasi Produk Versi 2.0, b) Produk hasil 3D Print

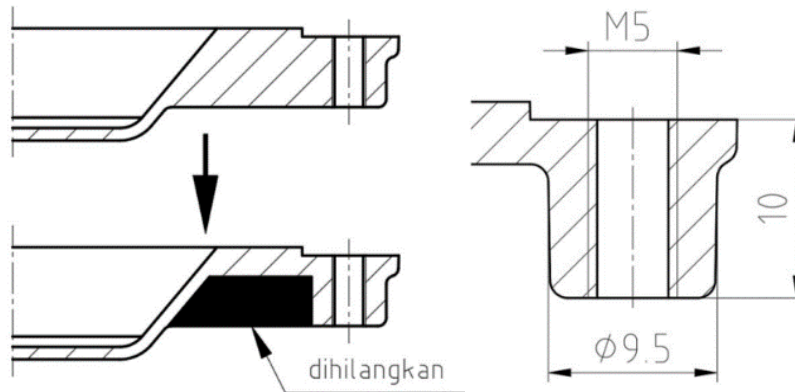
Dengan pengikatan berjumlah 4, produk versi 2.0 mengurangi 32.5% berat dari produk versi 1.0 yang artinya sudah lebih optimal. Namun, berdasarkan hasil identifikasi serta diskusi, disimpulkan bahwa produk tersebut kurang baik dari segi pengikatannya. Oleh karena itu, dilakukan proses 3D *print* atau AM untuk menghasilkan *prototype* produk tersebut yang akan diujicoba keamanannya. Melalui proses AM, didapatkan *prototype* yang dapat dilihat pada Gambar 8 (b). Setelah dilakukan evaluasi

dengan cara di *assembly* dengan *top body converter*, produk versi 2.0 dikatakan belum memenuhi standar keamanan karena dikhawatirkan akan terdapat celah pada bagian yang tidak terikat secara merata. Maka dari itu, perlu optimasi kembali agar tercapai produk dengan pengikatan yang lebih optimal.

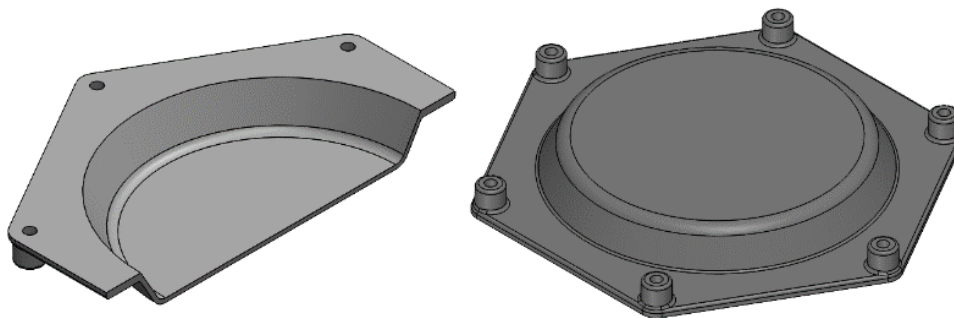
Optimasi tahap ketiga dilakukan dengan melakukan pemerataan titik pengikatan dan penyeragaman ketebalan dinding produk. Hal ini dilakukan agar pengikatan dengan komponen

pasangannya menjadi lebih kuat dan aman. Selain itu, agar aliran dan pepadatan logam yang terjadi di dalam cetakan menjadi lebih baik. Gambar 9 menunjukkan bagian yang akan dioptimasi dengan menghilangkan bagian ketebalan dinding yang tidak seragam. Berdasarkan tabel

lubang berulir versi POLMAN Bandung, ketebalan dinding ulir adalah dua kali dari diameter ulir yang digunakan. Berdasarkan optimasi yang dilakukan, dihasilkan produk versi 3.0 dengan berat 105 gram, lihat Gambar 10.



Gambar 9. Optimasi Tahap Ketiga



Gambar 10. Ilustrasi Produk Versi 3.0

Selanjutnya, produk versi 3.0 melewati proses simulasi pembebanan dengan menggunakan fitur *simulation static* pada *solidworks*. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk tersebut kuat dan aman saat proses kerja. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapat nilai *safety factor* produk sebesar 2.44 yang mengartikan bahwa produk versi 3.0 telah memenuhi daftar tuntutan.

Setelah produk versi 3.0 dianggap merupakan produk paling optimal, selanjutnya adalah dilakukan uji terhadap kelayakan produk menggunakan proses injeksi.

Berdasarkan Tabel 3, semua kriteria yang dikemukakan Swift telah terpenuhi oleh produk. Oleh karena itu, produk versi 3.0 layak dan dapat diproduksi dengan menggunakan metode injeksi HPDC. Maka dari itu, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan proses perancangan

tool atau cetakan yang dimulai dengan menghitung parameter rancangan.

Langkah pertama dalam parameter rancangan adalah dengan menentukan *parting line* pada produk, seperti pada Gambar 11.

Berdasarkan *parting line* produk, jenis cetakan yang digunakan yaitu *two plate mold*.

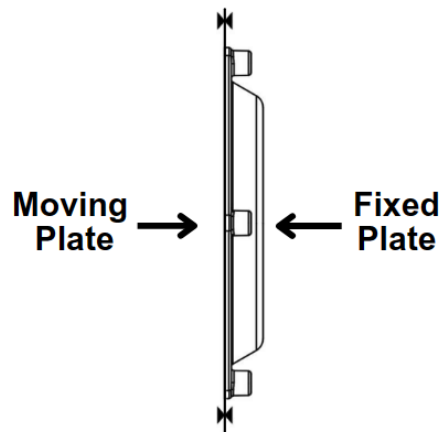
Parameter rancangan selanjutnya adalah menentukan *shrinkage*, *overflow*, *gate*, *runner*, dan *venting*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Setelah parameter rancangan selesai ditentukan, langkah selanjutnya adalah dengan membuat *layout* injeksi berdasarkan parameter rancangan tersebut, lihat Gambar 12.

Layout injeksi diperlukan untuk melakukan kontrol mesin, menentukan parameter injeksi, dan sebagai *layout* untuk proses simulasi *CAE flow* dan *thermal analysis*.

Tabel 3. Validasi Kelayakan Manufaktur [5]

No.	Kriteria	Layak	Keterangan
1	Zn, Al, Mg, Lead (Timbal),	√	ADC12 (Al Alloys)
2	Production rates up to 200 pcs/h	√	-
3	Lubang tegak lurus terhadap <i>parting line</i>	√	Terpenuhi
4	Lubang <i>core</i> > Ø0.8 mm	√	Lubang <i>core</i> Ø4 mm
5	Draft 0.25° - 3°	√	1° - 2°
6	Massa 10g - 50kg	√	105.08 gram



Gambar 11. *Parting Line* Produk Optimasi

Tabel 4. Parameter Rancangan

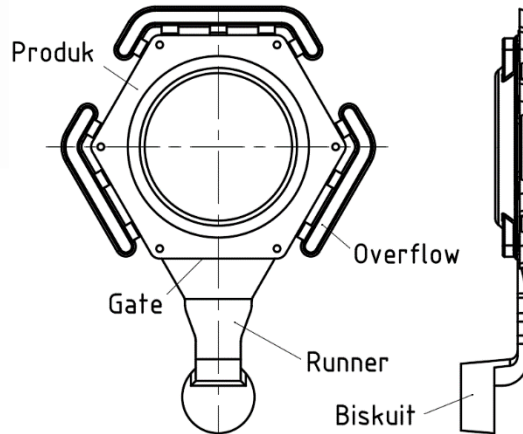
Parameter	Data
Volume Produk setelah <i>Scaling Shrinkage</i> (V_{CS})	39369.63 mm ³
Volume Overflow (V_{ofl})	0.716 cm ²
Tebal Gate (S_{gate})	1.2 mm
Lebar Gate (L_{gate})	68 mm
Tebal Runner (S_{runner})	6 mm
Lebar Runner (L_{runner})	40 mm
Tebal Venting ($S_{venting}$)	0.15 mm
Lebar Venting ($L_{venting}$)	1 mm

Kontrol mesin dilakukan dengan membandingkan nilai *locking force* (F_{ZU}) yang dibutuhkan produk terhadap *locking force* pada mesin (F_{mesin}).

$$F_{ZU} \leq F_{mesin}$$

$$1160 \text{ kN} \leq 2750 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, mesin dapat memenuhi *locking force* yang dibutuhkan oleh produk. Hal ini penting untuk dipastikan, agar tidak terjadi *flashing* pada saat proses injeksi berlangsung akibat kurangnya cekaman pada mesin.



Gambar 12. *Layout* Injeksi Produk Optimasi

Setelah mesin dikatakan memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, selanjutnya adalah dengan menentukan parameter injeksi menggunakan *layout* injeksi yang telah dibuat, lihat Gambar

12. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai-nilai parameter injeksi yang disusun pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Injeksi

Parameter	Data
Tekanan Injeksi (P_{inj})	58.05 bar
Filling Ratio (R_f)	26.652%
Panjang <i>Slow Approach</i> (L_{SA})	212 mm
Panjang <i>Shot Volume</i> (L_{shot})	84 mm
<i>Slow Shot Velocity</i> (V_{css})	0.533 m/s
<i>Fast Shot Velocity</i> (V_{fs})	2.807 m/s

Selanjutnya adalah dengan melakukan validasi terhadap hasil rancangan yang telah dilakukan menggunakan *software casting analysis*. Dalam proses simulasi ini, diperlukan beberapa parameter tambahan yaitu temperatur material ADC12 sebesar 770°C dan temperatur cetakan sebesar 300°C. Parameter lain yang digunakan

sesuai dengan perhitungan parameter rancangan dan injeksi yang telah dilakukan. Parameter tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam *software casting analysis* untuk mendapatkan visualisasi proses injeksinya. Hasil simulasi akan digunakan sebagai acuan dalam merancang konstruksi cetakan. Hasil simulasi yang telah disusun dapat dilihat pada Tabel 6.

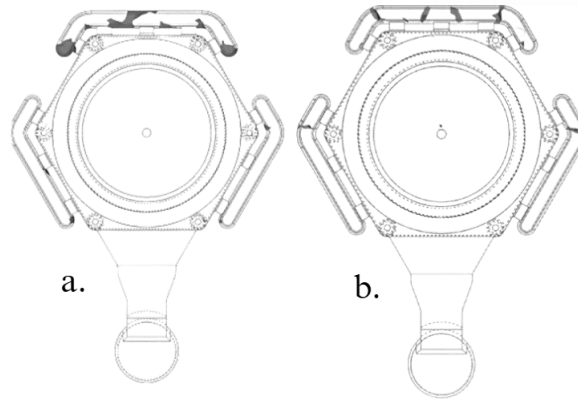
Tabel 6. Hasil Simulasi

Parameter	Data
<i>Minimal Filling Temperature</i>	612.21°C
<i>Maximal Solidification Temperature</i>	352.93°C
<i>Filling Time</i>	0.471 s
<i>Gate Velocities</i>	33 – 36m/s
<i>Solidification Time</i>	11.37 s
<i>Total Shrinkage Volume</i>	0 mm ³

Selain itu terdapat beberapa hasil simulasi yang perlu dilihat secara visual untuk melihat bagian-bagian penting yang terjadi pada produk.

Gambar 13 (a) merupakan hasil simulasi untuk melihat udara terjebak yang terdapat pada produk. Berdasarkan gambar tersebut, sangat

sedikit udara terjebak pada daerah produk. Hal ini memvalidasi bahwa posisi *overflow* sudah tepat dengan kebutuhan, dan menghasilkan nilai kecacatan yang rendah bahkan hampir mendekati nol.



Gambar 13. Simulasi: a) *Last Air*, b) *Cold Shuts*

Selanjutnya adalah dengan melihat pertemuan material yang terjadi di dalam produk atau biasa disebut *cold shuts*. Berdasarkan hasil simulasi *cold shuts* yang dapat dilihat pada Gambar 13 (b), terdapat sedikit *cold shuts* pada produk utama. Selain itu, suhu cair ADC12 yaitu 582°C, ada atau tidaknya *cold shut* pada produk tetap akan melebur dengan baik dan tidak akan terjadi kecacatan pada produk.

Setelah hasil simulasi dinilai sudah sesuai, langkah terakhir adalah dengan membuat konstruksi cetakan. Konstruksi cetakan yang pertama dilakukan adalah penentuan batas dimensi *insert* minimal (A), yaitu 52 mm. Oleh karena itu, ukuran *insert* yang akan digunakan adalah 238 mm x 258 mm. Berdasarkan ukuran *insert* tersebut, maka *mold base* yang akan digunakan adalah standar DME D4545 Material yang akan digunakan untuk *insert* adalah 1.2343 (AISI H11).

Selanjutnya adalah membuat perencanaan *cooling system*. *Cooling system* dibuat berdasarkan pertimbangan dari hasil simulasi dan menyesuaikan dengan standar jarak *cooling* Buhler [8]. *Cooling system* yang digunakan adalah diameter 8 mm.

Selanjutnya adalah dengan menentukan posisi ejektor, dimana akan ditempatkan pada *overflow*, bagian tengah produk yang tidak fungsional, dan pada bagian *runner*.

Langkah terakhir adalah dengan menentukan pegas ejektor yang akan digunakan. Berdasarkan pergerakan yang dibutuhkan yaitu sepanjang 23 mm, maka pegas yang akan digunakan adalah standar MISUMI dengan tipe SWU37-45.

Berdasarkan proses perancangan konstruksi cetakan yang telah dilakukan, didapatkan cetakan *mold* untuk produk versi 3.0 yang dapat dilihat pada Gambar 14.

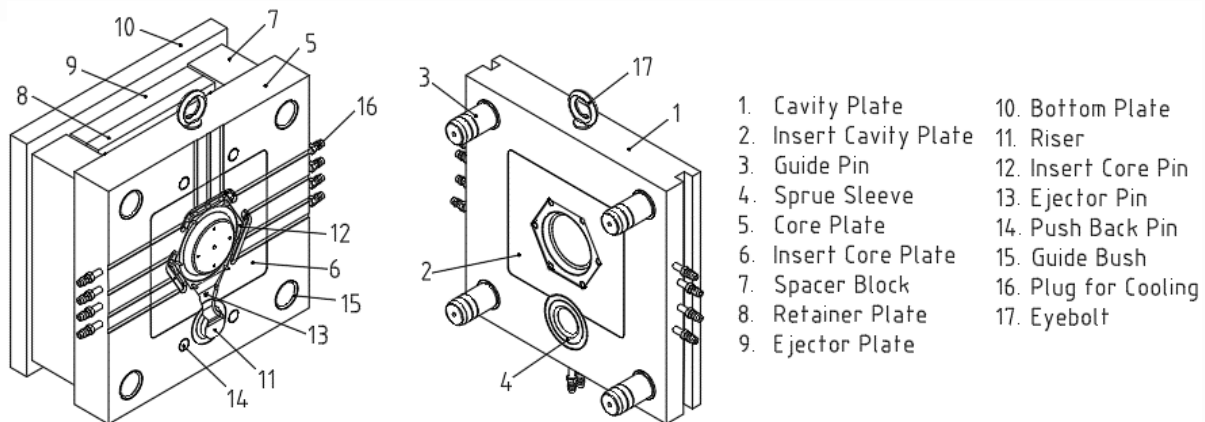
KESIMPULAN

Melalui *product design* yang telah dilakukan, didapatkan *bottom body converter* yang lebih optimal dibandingkan produk versi 1.0. Dengan rata-rata ketebalan dinding 1.5 mm menghasilkan produk baru yang memiliki berat 65% dari produk versi 1.0, yaitu seberat 105 gram.

Berdasarkan hasil *flow & thermal analysis* menggunakan *software inspire cast*, didapatkan aliran dan *temperature* yang baik di dalam cetakan baik saat proses *filling* maupun *solidification*. Hal tersebut mengartikan rancangan cetakan HPDC yang baru mampu menghasilkan produk secara optimal berdasarkan proses injeksi dan solidifikasi sesuai dengan parameter injeksi yang telah ditentukan.

Dengan penggunaan *insert core pin* pada cetakan HPDC, produk dapat mendekati geometri akhir yang diinginkan. Hal tersebut meminimalisir proses manufaktur lanjutan yang

mengartikan rancangan cetakan tersebut telah lebih optimal dibandingkan cetakan untuk produk versi 1.0.



Gambar 14. *Mold Bottom Body Converter* Versi 3.0

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya berikan kepada POLMAN Bandung, karena telah memberikan fasilitas berupa Lab Rekayasa untuk memenuhi proses *reverse engineering*. Selain itu, ucapan terimakasih penulis berikan kepada *partner* industri yang telah bekerjasama dalam proses pengembangan produk yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia, Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian Negara, Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2014.
- [2] W. Wang, *Reverse Engineering Technology of Reinvention*, USA: Taylor & Francis Group, 2013.
- [3] T. Wang, J. Huaang, H. Fu, K. Yu and S. Yao, "Influence of Process Parameters on Filling and Feeding Capacity during High-Pressure Die-Casting Process," *Appl. Sci.*, no. 12, pp. 1-13, 2016.
- [4] B. Andersen, *Die Casting Engineering*, USA: McGraw-Hill, Inc., 2005.
- [5] G. K. Swift, *Manufacturing Process Handbook*, Butterworth-Heinemann, 2013.
- [6] P. W. Budiarto, *Die Casting Design*, Bandung: Polman.
- [7] S. Roychowdhury, *INVESTIGATION OF FLASH-FREE DIE CASTING BY OVERFLOW DESIGN OPTIMIZATION*, Ohio: The Ohio State University, 2014.
- [8] Buhler, *Druckguss Technical Information, The Development of a Die*, Switzerland: Buhler Brother Ltd..
- [9] J. Majernik, S. Gaspar, M. Podaril and J. Kolinsky, "Majernik, J., Gaspar, S., Podaril, M., & Kolínský, J. (2019). The Influence of the Gate Geometry on Selected Process Parameters in the High Pressure Die Casting Technology. *Manufacturing Technology*," *Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 101-103, 2019.
- [10] N. A. K. Raveendran and A. N. Patil, "Optimization of Runner Design in Pressure Die," *IJERT*, vol. 6, no. 3, pp. 394-396, 2017.
- [11] C. Altuncu, A. Dogan and N. Ekmen, "Performance Evaluation of Different Air Venting Methods on High Pressure Aluminum Die Casting Process," *APMAS*, vol. 135, no. 4, pp. 664-667, 2019.
- [12] Frech, *Technical Documentation*, Germany: Schonrndorf, 2002.



[13] NADCA, NADCA Product Specification Standards for Die Casting, Illinois: NADCA, 2015.