

## Perancangan Cetakan dan Simulasi Proses Manufaktur untuk Teknologi HPDC: Studi Kasus Produk Plakat

Asep Indra Komara<sup>1</sup>, Barik Sidik<sup>1</sup>, Ery Hidayat<sup>2</sup>, Dadan Heryada Wigenaputra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung

Email: [asep.indra@polman-bandung.ac.id](mailto:asep.indra@polman-bandung.ac.id)

Informasi Artikel:	ABSTRAK
<p><i>Received:</i> 16 November 2023</p> <p><i>Accepted:</i> 01 April 2024</p> <p><i>Available:</i> 28 Juni 2024</p>	<p>Plakat Polman Bandung merupakan sebuah produk yang kental dengan bentuk relief pada permukaan produknya. Produk semula dibuat menggunakan teknologi sand casting, namun saat ini perlu dikembangkan menggunakan teknologi cetakan high pressure die casting (HPDC). Proses ini terkendala karena tidak adanya dokumentasi teknik sehingga pengembangan dimulai dari produk hasil dari sand casting yang tersedia. Pengembangan ini dilakukan dalam dua tahap, pertama <i>product design</i>, dan kedua <i>tool design</i>. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, telah dihasilkan desain HPDC yang optimal sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Desain produk diperoleh melalui teknologi 3D scanning untuk mendapatkan data geometri yang sesuai. Kemudian data yang dihasilkan untuk desain cetakan dan proses HPDC meliputi tekanan pengecoran spesifik sebesar 400 bar; kekuatan penguncian casting 1311 kN; diameter piston 40 mm; rasio pengisian 31,6%; gerak piston (<math>V(x)</math>): fasa pertama 0,497 ms<sup>-1</sup> hingga 307 mm, fasa kedua 2,08 ms<sup>-1</sup> hingga 390 mm. Proses analisis pada simulasi shot-sleeve telah menghasilkan data yang tepat untuk proses produksi sehingga pengendalian pada mesin lebih tepat, efektif, dan efisien.</p>
Kata Kunci:	ABSTRACT
<p>Product design Tool design Simulasi HPDC Produk Plakat</p>	<p><i>Polman Bandung plaque is a thick product with a relief shape on the surface of the product. The product was originally made using sand casting technology, but now it needs to be developed using high-pressure die casting (HPDC) molding technology. This process was hampered by the absence of technical documentation, so development started from the available sand-casting products. This development was carried out in two stages, first product design, and second tool design. Based on the results of the research carried out, an optimal HPDC design has been produced according to the desired specifications. Product designs are obtained through 3D scanning technology to obtain appropriate geometric data. Then the data generated for mold design and the HPDC process includes a specific casting pressure of 400 bar; casting locking force of 1311 kN; piston diameter of 40 mm; 31.6% fill rate; piston movement (<math>V(x)</math>): first phase 0.497 ms<sup>-1</sup> to 307 mm, second phase 2.08 ms<sup>-1</sup> to 390 mm. The analysis process in the shot-sleeve simulation has produced the right data for the production process so that machine control is more precise, effective, and efficient.</i></p>

## 1 PENDAHULUAN

Plakat Politeknik Manufaktur Bandung (Polman Bandung) adalah cendramata tanda penghormatan atau hadiah yang istimewa yang diberikan kepada mahasiswa/karyawan yang mempunyai prestasi ataupun tamu kehormatan yang berkunjung ke Polman Bandung Sehingga, setiap orang yang mendapatkannya memiliki rasa bangga atas penghargaan yang didapatnya.



**Gambar 1** Plakat Polman Bandung

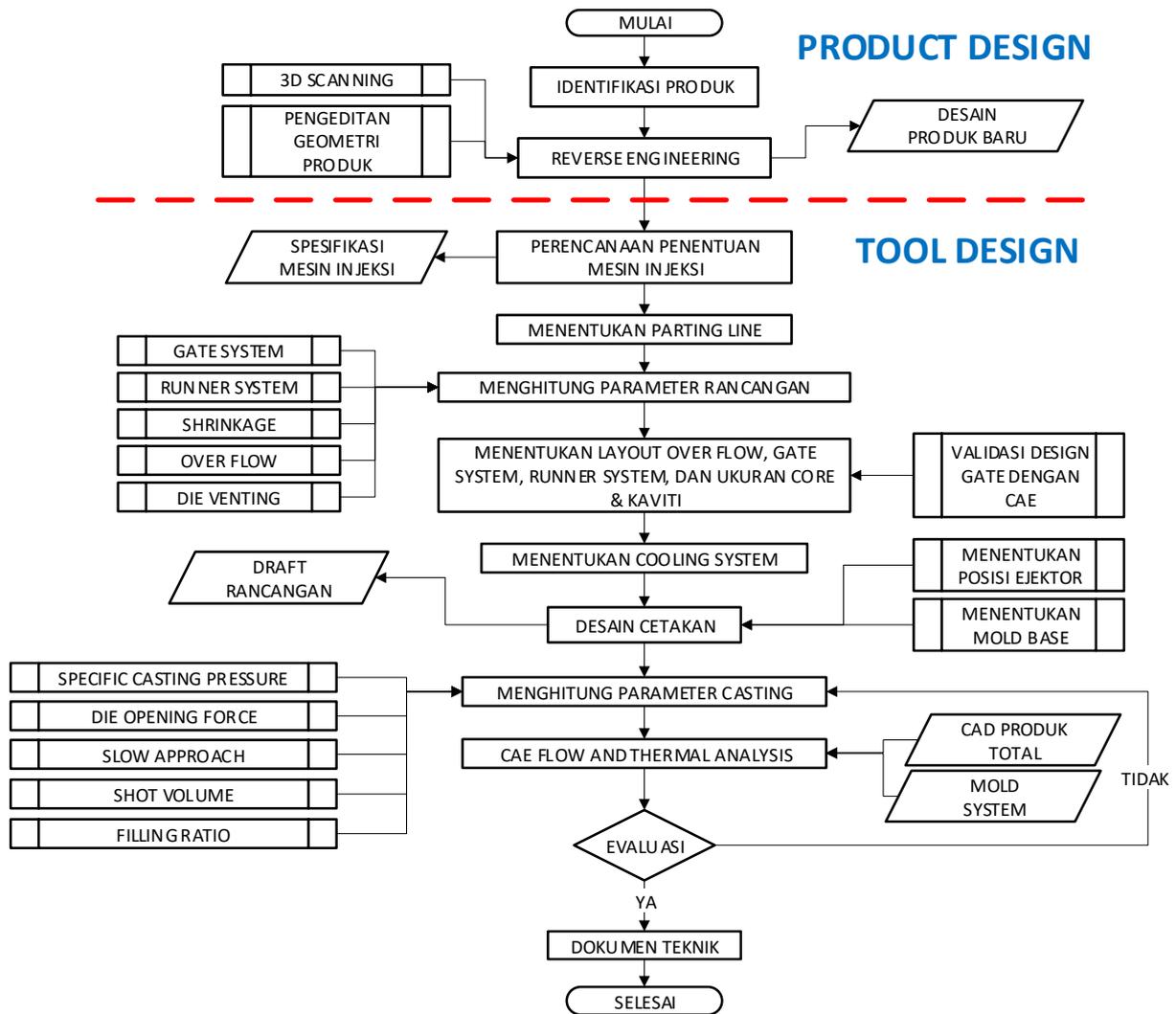
Gambar disamping adalah bagian-bagian dari plakat secara keseluruhan yang menunjukkan Plakat POLMAN mempunyai keunikan pada tampilannya. Keunikan dari produk ini adalah memiliki *relief*, yang menggambarkan Polman Bandung secara keseluruhan; dimulai dari sejarahnya, jurusan dan lokasi kampus.

Proses pembuatannya saat ini untuk pembuatan plakat ini adalah dengan proses *sand casting*. Proses ini, terdapat beberapa kendala yang dihadapi. Diantaranya adalah memiliki *second proses* yang cukup banyak, karakteristik dari pasir yang digunakan mempunyai sifat mampu daur ulang yang buruk dan hasil kualitas produk yang tidak seragam jika operator yang membuat mold pasir berbeda. Pembuatan plakat ini juga bersifat "proyek tetap", dimana permintaan dari Polman Bandung untuk produk plakat ini memiliki jangka waktu yang tidak menentu, rata-rata  $\pm 100$  buah per-tahun dengan *defect* yang dihasilkan sekitar 3%. Jika mempertimbangkan kendala dari proses *sand casting* ini, maka pembuatan produk plakat ini perlu proses *improvement* supaya kendala-kendala yang ada bisa diperbaiki dan pembuatan produknya lebih efektif dan efisien. Proses *improvement* yang akan dilakukan adalah mengganti teknologi proses, yaitu dengan teknologi cetakan *high pressure die casting (HPDC)* seperti pada [1]–[4]

## 2 METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengembangan ini dilaksanakan dengan mengacu pada metode penyelesaian masalah *die casting* yang dikembangkan oleh Bill Andersen [1]. Metode Penyelesaian masalah tersebut diterjemahkan kedalam diagram alir proses yang digunakan untuk penyelesaian perancangan cetakan HPDC yang akan dilakukan. Diagram alir proses ini dibagi kedalam dua kelompok proses, yaitu desain produk dan perancangan *tool*. Tahapan proses perancangan cetakan HPDC Plakat Polman Bandung dapat dilihat pada Gambar 1. Pada tahap desain produk, aktivitas dimulai dengan melakukan identifikasi produk. Selanjutnya melakukan proses *reverse engineering (RE)* menggunakan peralatan yang ada di laboratorium *reverse engineering* dan pengembangan produk, Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur. Kegiatan RE diawali dengan melakukan 3D *scanning* terhadap produk eksisting. Hal ini dilakukan karena tidak ada dokumen apapun yang tersedia dari produk plakat. Proses *scanning* dilakukan dengan menggunakan MetraSCAN Black Elite 750. Kemudian melakukan proses *editing* terhadap model yang dihasilkan dari proses *scanning* dengan menggunakan *software* VXelement 11, Creo Parametric 9. Luaran dari kegiatan ini adalah desain produk plakat Polman Bandung.

Perancangan Cetakan dan Simulasi Proses Manufaktur untuk Teknologi HPDC: Studi Kasus Produk Plakat



Gambar 1. Tahapan Proses Perancangan

Tahap *tool design* dapat dilakukan setelah diperoleh desain produk plakat. Proses ini dimulai dengan perencanaan mesin injeksi yang digunakan, menentukan *parting line*, menghitung parameter rancangan, menentukan *layout over flow*, *gate system*, *runner system*, ukuran *core* dan *cavity* yang selanjutnya divalidasi dengan menggunakan aplikasi *Computer Aided Engineering* (CAE). Langkah selanjutnya menentukan sistem pendingin dan desain cetakan. Setelah dihasilkan draft rancangan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan parameter *casting* yang perlu di definisikan saat proses casting menggunakan mesin injeksi HPDC. Parameter *casting* ini selanjutnya digunakan untuk proses *CAE flow* dan *thermal analysis* untuk mengetahui kualitas produk hasil proses *casting*. Langkah selanjutnya melakukan evaluasi terhadap hasil simulasi hingga mendapatkan hasil yang terbaik.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Perancangan Produk

##### 3.1.1 Identifikasi Produk



Gambar 2. Produk hasil sand casting

Perubahan dimensi dan bentuk masih diperbolehkan untuk disesuaikan. Tetapi, bentuk yang diubah hanya disesuaikan dengan spesifikasi produk yang diperbolehkan untuk proses HPDC. Seperti ketebalan rata-rata produk, kemiringan tuangan, dan bentuk dari produk yang nantinya tidak akan menjadi masalah dalam pengeluaran produk dari kaviti ataupun dalam aliran masuk material. Sedangkan bagian *relief* diambil data CAD 3D-nya menggunakan teknologi *3D-scanning* dan bagian logo diperbaiki dengan cara dibentuk ulang dengan tujuan memperjelas bentuknya.

Material produk ini adalah ADC12 dengan ukuran  $\varnothing 158 \times 18$ . Berat produk 150 gram. Pada tampilannya mempunyai bentuk lingkaran dengan bagian depan memiliki relief dan ketebalan produk tidak merata. Pada proses finishingnya dengan cara diberi cat warna hitam dan diampas bagian sisi luarnya.

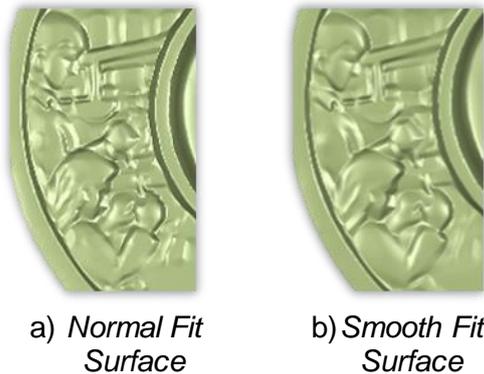
##### 3.1.2 Proses dan Hasil 3D Scanning

Pengeditan geometri produk, dilakukan dua proses tahapan yaitu proses pengeditan hasil *3D-scanning* dan penyelesaian akhir untuk mendapatkan file CAD *solid modeling*. Proses ini dilakukan untuk membersihkan sisa-sisa hasil *scanning* yang tidak diperlukan dan memperbaiki bentuk yang kurang bagus dari hasil *3D-scanning* seperti terlihat pada Gambar 3. Selain itu, *file* format yang dihasilkan proses *3D-scanning* masih berupa *poligon mesh*, untuk itu perlu dirubah kedalam bentuk *solid surface* agar dapat menjadi data CAD.



Gambar 3. Hasil 3D scanning

Setelah melakukan pengeditan menggunakan *software Geomagic*, dihasilkan dua alternatif dimana alternatif ini dihasilkan dari data hasil *3D-scanning*. Alternatif yang pertama adalah hasil *3D-scanning* normal dan yang kedua hasil *3D-scanning smooth*. Selanjutnya, tuntutan dari pemilihan alternatif adalah fungsi produk plakat Polman Bandung sebagai cendramata penghargaan. Maka dari itu, produk ini tidak memerlukan toleransi ukuran yang terlalu presisi (khusus pada *relief*) dan yang diutamakan adalah bentuk *relief* yang sedekat mungkin mirip dengan plakat yang di *scan*.



Gambar 4. a) Hasil fit surface "Normal"; b) Hasil fit surface "Smooth"



Gambar 5. Potongan Gambar Produk Plakat Polman Bandung

Gambar 4 menunjukkan perbandingan kehalusan *relief* pada Plakat setelah di *scan* dan potongan gambar dari produk plakat POLMAN sebagai acuan dalam menentukan alternatif hasil *3D-scanning* yang akan dipilih pada Gambar 5.

Gambar 4 menunjukkan bahwa hasil *fit surface* normal lebih tajam dari pada gambar hasil *fit surface smooth* dan mendekati produk plakat yang di-*scann* seperti pada Gambar 5 sehingga jika digunakan untuk data CAD 3D hasilnya akan lebih jelas terlihat. Oleh karena itu, dilihat dari keuntungan dan kerugian dua alternatif yang ada, maka alternatif yang pertama yang akan dipilih sebagai *relief* hasil *3D-scanning* yang digunakan untuk produk baru.

Setelah selesai pemilihan alternatif, maka selanjutnya yang dilakukan adalah pengeditan surface dari *software geomagic* kedalam *software CAD solid modeling* untuk mendapatkan *spesifikasi* produk baru dari plakat Polman Bandung yang akan digunakan untuk perancangan *tool*-nya. Berikut dibawah ini *3D modeling* produk plakat Polman Bandung yang baru.

## 3.2 Perancangan Cetakan HPDC

### 3.2.1 Perhitungan Perencanaan Penentuan Mesin Injeksi

Merujuk pada *specific casting pressure* mesin *Buhler* besar tekanan (P) adalah 400 bar. Dimensi *die opening force* untuk perencanaan dihitung dengan menggunakan persamaan  $(\text{luas proyeksi} + (30\% \times \text{luas proyeksi})) \times P$ , sehingga besarnya gaya menjadi 955 kN. Data pada mesin HPDC FRECH 250-34 Polman Bandung menunjukkan bahwa gaya yang disediakan sebesar 2900 kN, kondisi ini masih jauh lebih besar dari beban yang mungkin terjadi pada cetakan yaitu sebesar 955 kN. Hal ini menunjukkan kondisi yang AMAN.

### 3.2.2 Perhitungan dan Desain *Layout Cavity System*

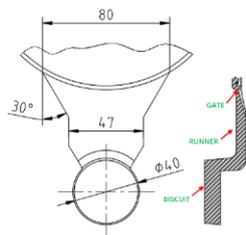
Berdasar pada rekomendasi dari *frech* dan *buhler* berikut adalah data dan hasil penetapan beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan parameter rancangan dan desain cetakan HPDC.

Tabel 1. Parameter rancangan dan parameter *casting*

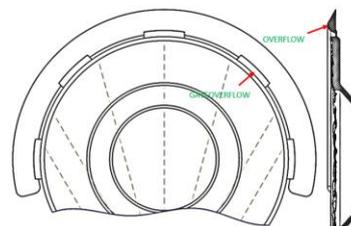
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Shrinkage	0,6% (ADC12)	Tebal gate ( $t_{gate}$ )	1,2 mm
Volume cavity	62572,55 mm <sup>3</sup>	Lebar gate	80 mm
Volume overflow	12514,51 mm <sup>3</sup>	Luas penampang potong runner ( $1/3 \cdot A_{gate}$ )	282 mm <sup>2</sup>
Size overflow dari buhler	No.5	Tebal runner ( $1/5 \cdot t_{gate}$ )	6 mm
Panjang overflow	280 mm	Lebar runner	47 mm
Gate velocity	20 ms <sup>-1</sup>	Volume chamber	331752 mm <sup>3</sup>
Filling time	0,04 s	Filing ratio = chamber	31,6%
Luas penampang potong gate ( $A_{gate}$ )	93,859 mm <sup>2</sup>		

### 3.2.3 Analisis dan Validasi Perancangan *Layout Cavity System*

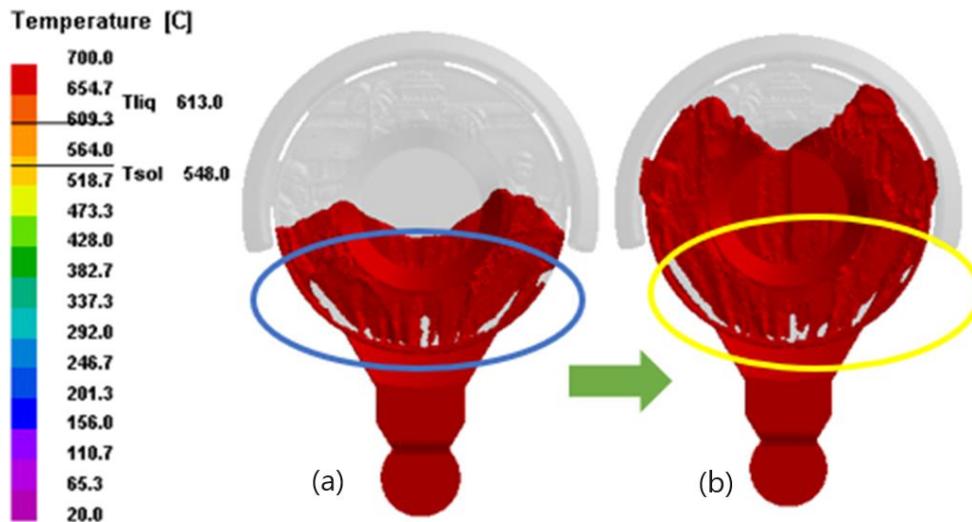
Analisis dan validasi ini bertujuan untuk mengetahui perancangan *layout cavity system* (*gate*, *runner* dan *overflow*) mampu mengisi rongga *cavity* dengan tepat yaitu bisa mengurangi kemungkinan *defect* berupa porositas [5]–[8], lihat Gambar 6 dan Gambar 7. Jika hasil perancangan ini mengakibatkan kemungkinan porositas terjadi, maka perancangan *layout* ini harus dilakukan improvisasi. Hal yang dilakukan adalah dengan mensimulasikan *layout cavity system* pada *software* analisis casting tanpa komponen *shot sleeve*, dengan asumsi kecepatan yang digunakan untuk mengisi *cavity* adalah 2 ms<sup>-1</sup>.



Gambar 6. Sket *Gate dan Runner System*

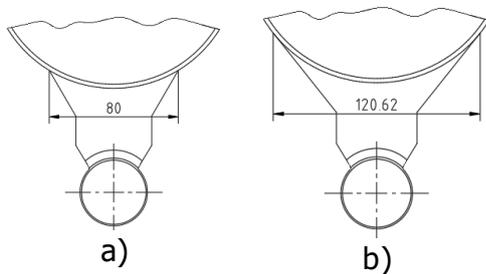


Gambar 7. Sket *Overflow*



Gambar 8. Aliran Fluida Pada Rongga *Cavity*

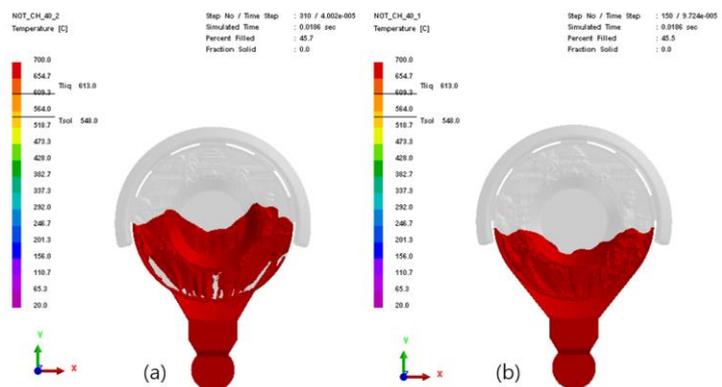
Aliran didalam rongga *cavity* dari hasil simulasi menunjukkan adanya kondisi udara terjebak di sekitar *gate* (area lingkaran biru) Gambar 8(a), disekitar area *gate* alirannya terpecah sehingga di akhir (area lingkaran kuning) udara benar-benar terjebak sehingga harus dikeluarkan Gambar 8(b). Hal ini menjadi dipertimbangkan karena seharusnya udara yang berada di dalam rongga *cavity* didorong oleh fluida sampai masuk area *overflow*. Oleh karena itu, perancangan *gate*-nya perlu diubah dan didesain ulang.



Gambar 9. Perubahan desain sistem *gate*; a) *Gate* Lama; b) *Gate* Baru

Perubahan yang dilakukan pada dimensi *gate* adalah pada lebarnya, dimana lebar *gate* dihasilkan dari hubungan tangensial garis dan lingkaran pada sket Perubahannya dari yang lebarnya 80 mm menjadi  $\pm 120$  mm. selanjutnya, disimulasikan kembali untuk mengetahui kondisi aliran fluida yang masuk kedalam rongga *cavity* dan dibandingkan hasilnya dengan yang sebelumnya.

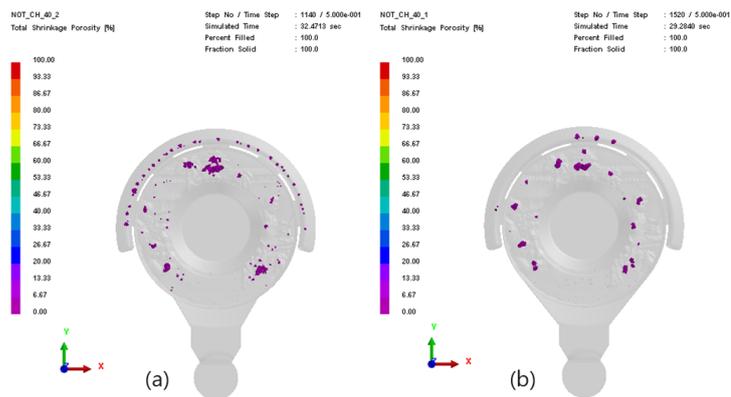
Hasil simulasi aliran *gate* (lebar) yang baru menunjukkan pada saat proses pengisian sekitar 45% aliran relatif mendorong udara ke area *overflow* dan tidak pecah pada bagian area *gate* yang dapat menyebabkan *defect* pada produk, lihat Gambar 10(b). Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan dimensi lebar *gate* berpengaruh pada kualitas aliran yang mengisi rongga *cavity*. Jika



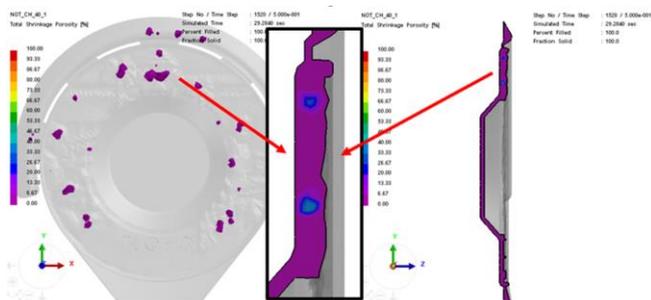
Gambar 10. Perbandingan Simulasi aliran di *gate*;

kita lihat potensi sebaran porositas yang terjadi pada *layout cavity system* lama dan baru, menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jumlah sebaran prositas pada *layout* yang baru, lihat Gambar 11. Ini membuktikan bahwa hasil perubahan dimensi lebar *gate* dikatakan menghasilkan kondisi yang lebih baik, dan dapat dinilai berhasil. Kondisi porositas yang terlihat pada Gambar 11(b) merupakan kondisi terbaik yang dapat dicapai meskipun masih terjadi porositas pada produk.

(a) Desain *Gate* lama; (b) Desain *Gate* Baru



Gambar 11. Perbandingan Porositas; (a) Desain *Gate* lama; (b) Desain *Gate* Baru



Gambar 12. Posisi *Defect Shrinkage* Porositas

*Shrinkage porosity* diatas diakibatkan oleh bagian-bagian dari produk ada yang mengeras lebih lambat dari pada bagian-bagian sekitarnya, dan tidak memiliki aliran logam yang cukup ke dalam bagian tersebut untuk diisi sepenuhnya. Tentu saja *shrinkage porosity* ini mengakibatkan *defect* pada produk, namun demikian *porosity* yang terjadi bukan berada di permukaan produk (*Void*) sehingga tidak mengganggu tampilan produk.

### 3.2.4 Hasil Perancangan Cetakan High Pressure Die Casting

Untuk mendapatkan hasil rancangan cetakan HPDC yang sesuai dengan yang diharapkan, maka terdapat beberapa parameter yang perlu di definisikan dan ditentukan berdasarkan rekomendasi dari Frech dan atau buhler seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data perancangan cetakan HPDC

Parameter	Nilai
Ukuran batasan insert	50 mm
Insert core dan cavity	250 x 250 mm
Material insert	1.2343 (AISI H13)
Mold base	DME 4040
Ejektor	∅8 (4 pcs) & ∅20 (1 pcs)

### 3.3 Validasi Perancangan dan *CAE Flow and Thermal Analysis*

#### 3.3.1 Perhitungan Parameter Casting

Beberapa data perhitungan yang dibutuhkan untuk simulasi proses casting dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data perhitungan parameter casting

Parameter	Nilai
Luas proyeksi (A)	273 cm <sup>2</sup>
Spec. casting pressure Frech (P)	400 bar
Die opening force (P*A)	1093 kN
Mesin HPDC	FRECH 250-34 2900 kN
Ejektor	∅8 (4 pcs) & ∅20 (1 pcs)
Slow shot velocity	0,497 ms <sup>-1</sup>
Fast shot velocity	2,083 ms <sup>-1</sup>
Panjang shot	83 mm
Panjang slow approach	307 mm

#### 3.3.2 *Shot Sleeve Simulation dan Flow Result*

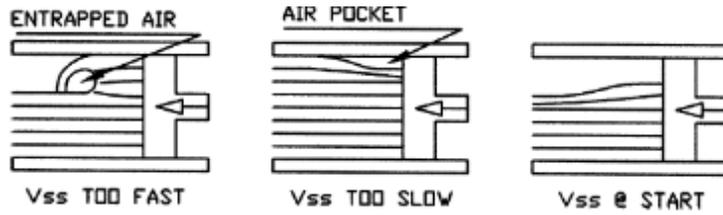
Tujuan dari simulasi *shot sleeve* pada *chamber* mendapat gambaran pada saat proses *pre-fill* udara yang berada pada *chamber* akan terdorong secara perlahan dan masuk kedalam *cavity* sehingga terbuang melalui *overflow* dan *venting*.

Hal selanjutnya yang menjadi pertimbangan analisis dari *shot sleeve simulation* adalah mengenai hubungan *filling ratio* dan pergerakan aliran fluida di dalam *chamber*. Analisis ini mengacu pada *research* yang dilakukan oleh *Dr Garber* dan *lindsey* mengenai formasi gelombang (ombak) pada aliran material di dalam *chamber* selama *slow shot*. *Research* ini menghasilkan tabel "*critical slow shot velocity*" untuk *filling ratio* yang bervariasi antara 50% - 90%. Bahkan ada juga penelitiannya diperluas dengan variasi antara 30-90%.

Validasi *critical slow shot velocity* yang digunakan pada rancangan ini, menghasilkan kecepatan  $V_{css}$  yang digunakan sudah optimal. Jika pada *chamber* fluida didorong dengan pergerakan yang terlalu cepat, maka fluida akan menggulung seperti ombak sehingga akan berpotensi menjebak udara yang selanjutnya akan di bawa kedalam rongga cetak dan dapat berdampak pada porositas.

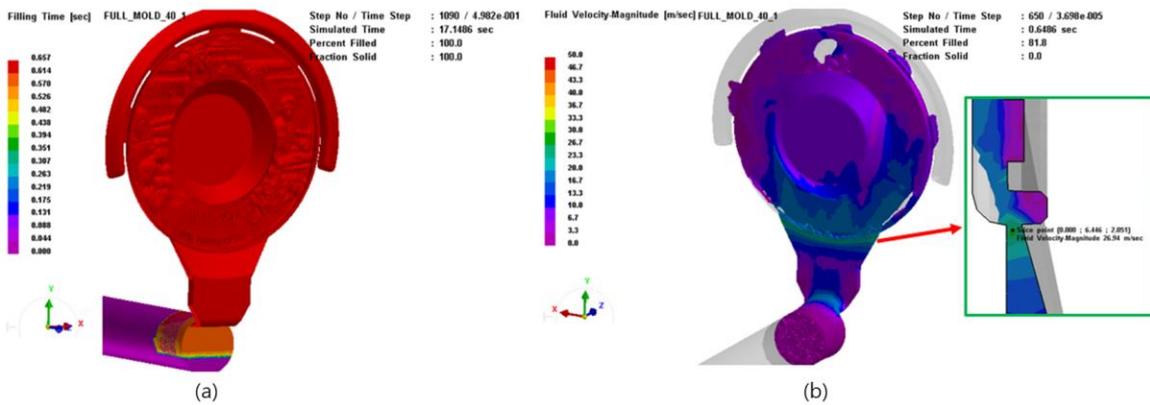
Simulasi pergerakan fluida yang didorong oleh piston pada simulasi *chamber* menjadi penting dalam analisis HPDC dikarenakan salah satunya memastikan udara yang terjebak minimum selama fase *pre-filling*. *shot sleeve simulation* memberikan informasi berharga kepada orang manufaktur apa yang menjadi kualitas akhir produk. Jika mesin HPDC dapat dikontrol sesuai dengan hasil simulasi ini, berarti terjadi penghematan besar dalam lead time, perencanaan produksi, dan penurunan dalam *scrap production*.

*Critical slow shot velocity (V<sub>css</sub>)* yang diaplikasikan adalah kecepatan yang optimal dan tepat. Aliran didalam ruang *chamber* tidak menggulung dikarenakan terlalu cepat ataupun tidak menjebak udara di depan piston dikarenakan terlalu lambat seperti yang di jelaskan pada Gambar 13.



Gambar 13. Kondisi kecepatan  $V_{ss}$  menurut Bill Andersen

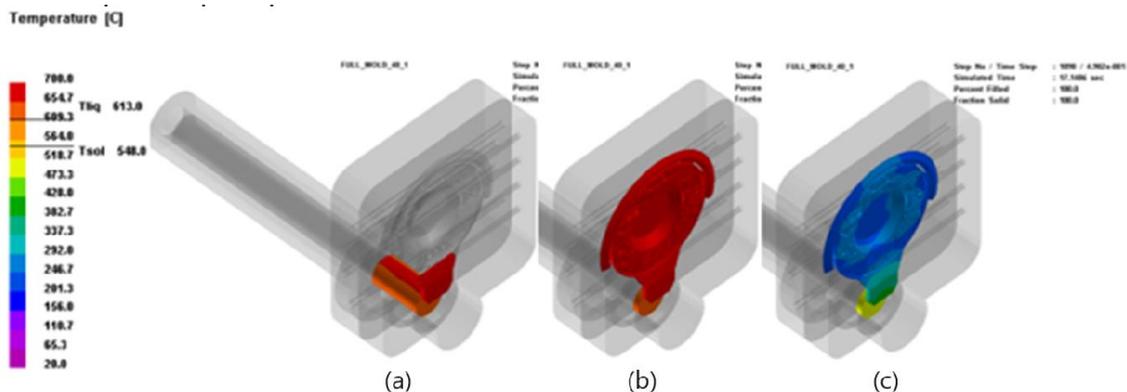
Jika kita melihat sumber validasi pada gambar 15. Memperlihatkan Jika terlalu rendah, udara akan terjebak pada area depan piston. Kemudian, aliran material berubah dari arah horizontal ke vertikal, pada poin ini turbulen merangkul (*encapsulates*) udara dengan sebuah wadah (*envelope*) dari cairan material yang hanya dapat berakhir pada *casting* sebagai *porosity*. Jika terlalu cepat, gelombang aliran (*wave*) akan pecah yang juga menjebak udara dengan hasil yang sama [1].



Gambar 14. *Filling Time* dan *gate velocity*; (a) *filling time* 0,657 detik; (b) *Gate Velocity* 27  $\text{ms}^{-1}$

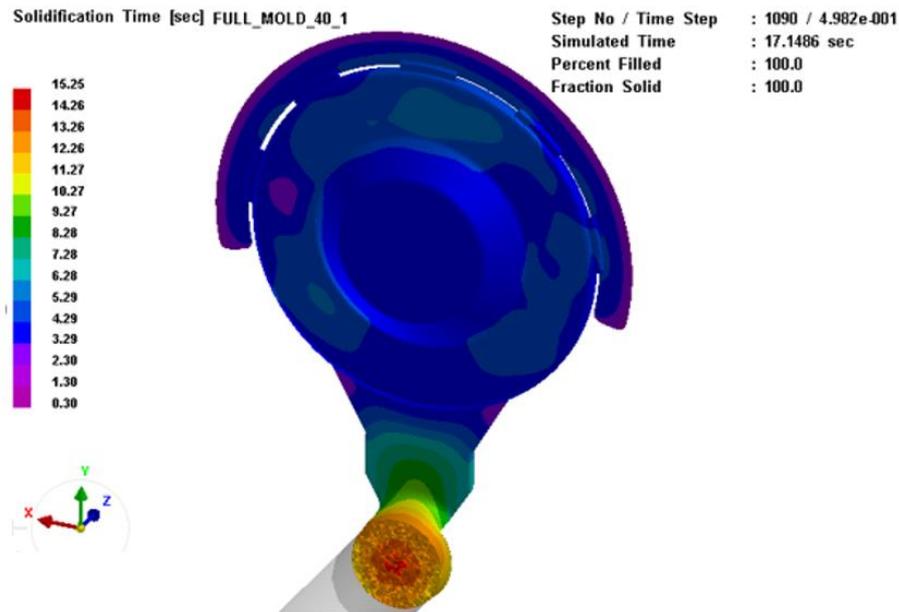
### 3.3.3 Thermal Result

Simulasi untuk mengetahui temperatur cetakan pada dasarnya dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak. Pada Gambar 15(a) menunjukkan kondisi temperatur pada *gate* dan *runner system* sekitar  $700^{\circ}\text{C}$ , kemudian Gambar 15(b) menunjukkan temperatur pada produk dan *overflow* sekitar  $700^{\circ}\text{C}$ , tetapi pada daerah *biscuit* sudah terjadi penurunan suhu sekitar  $600^{\circ}\text{C}$ , dan yang terakhir Gambar 15(c) menunjukkan temperatur pada produk dan *overflow* sekitar  $230^{\circ}\text{C}$ .

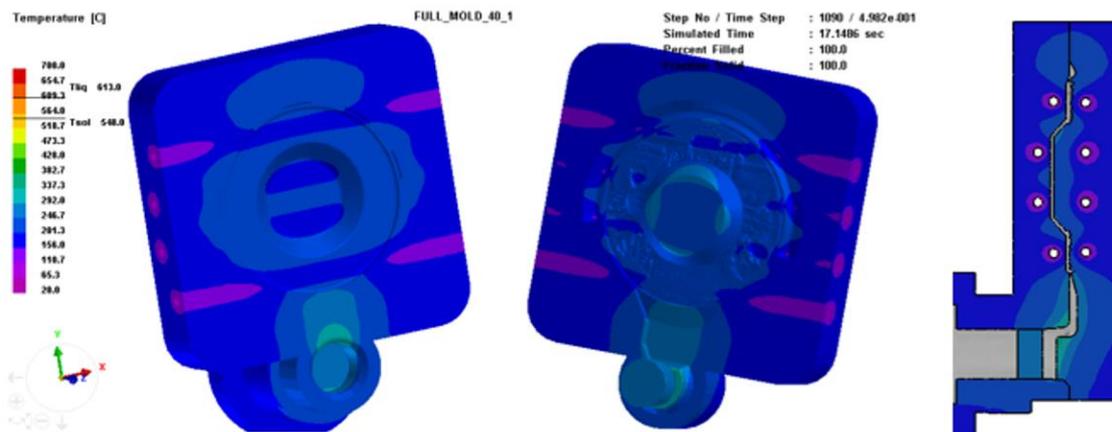


Gambar 15. Temperatur pengisian cetakan

Selanjutnya aspek penting yang perlu dicek adalah *solidification time*, yaitu waktu yang dibutuhkan oleh cairan didalam rongga cetak untuk membeku. Proses pembekuan ini diharapkan dapat terjadi relatif seragam di sebagian besar produk. *Solidification time* pada produk plakat Polman Bandung untuk cairan di bagian ujung sebesar 15,25 detik. Pastikan bahwa cairan tidak membeku di *gate*, *runner*, atau dibagian tengah produk sehingga menghalangi cairan untuk mengisi keseluruhan rongga cetak.



Gambar 16. Kondisi *solidification time* produk plakat Polman Bandung



Gambar 17. Distribusi *heat transfer* pada *insert* (Core & Cavity)

Hasil simulasi analisis pada *insert* melibatkan simulasi pendinginan dengan *channel cooling* yang sudah dirancang, dengan jenis *cooling* air. Hasil pada Gambar 17 terlihat pendinginan relatif merata pada bagian rongga *cavity*, sehingga suhu pada rongga *cavity* kembali ke suhu cetakan yaitu 200°C . Untuk bagian *separaton blank* dan *sprue sleeve* (area biskuit) tidak dilakukan simulasi pendinginan, dikarenakan *part* yang digunakan standar dan sudah terbukti keakuratan pendinginannya

#### 4 KESIMPULAN

Telah dihasilkan rancangan cetakan HPDC untuk menghasilkan produk plakat Polman Bandung yang sesuai dengan spesifikasi dan kontrol parameter pada mesin HPDC di POLMAN. Kualitas produk yang diperoleh diharapkan bisa diterima, meskipun masih terdapat beberapa porositas pada produk. Porositas pada produk telah diminimalkan dan posisi porositas berada didalam produk, sehingga tidak mengganggu permukaan produk. *Parameter casting* yang dihasilkan setelah proses validasi dan analisis untuk proses produksi adalah: *Specific Casting Pressure* sebesar 400 bar; *Casting Locking Force* sebesar 1311 kN; Diameter Piston yang digunakan  $\varnothing$  40 mm; *Filling Ratio* yang terjadi sebesar 31,6 %; *Piston Motion: V<sub>(x)</sub>* (*First Phase* 0,497 m/s sampai 307 mm dan *Second Phase* 2,083 m/s sampai 390 mm).

#### REFERENSI

- [1] B. Andresen, *Die Casting Engineering*. Marcel Dekker, Cimarron Road, Monticello, New York 12701, U.S.A, 2005. doi: 10.1007/978-3-540-72816-0\_6508.
- [2] A. Le-Nezet, N. De Reviere, L. Calba, dan B. Kalkunte, "Added value of process modelling in development of automotive diecasting parts," in *Foundry Trade Journal International*, 2018, vol. 193, no. 3762, hal. 55–59.
- [3] E. J. Vinarcik, *High Integrity Die Casting Processes*. 2003. [Daring]. Tersedia pada: [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=qbHU3al\\_D-QC&pgis=1](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=qbHU3al_D-QC&pgis=1)
- [4] R. Mohan dan K. Padmanabhan, "Design and development of a high pressure die casting technique for manufacturing heavy vehicle engine components," *Adv. Mater. Res.*, vol. 984–985, hal. 641–647, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.984-985.641.
- [5] J. C. Choi, T. H. Kwon, J. H. Park, J. H. Kim, dan C. H. Kim, "A study of development of a die design system for diecasting," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 20, no. 1, hal. 1–8, 2002, doi: 10.1007/s001700200117.
- [6] S. H. Wu, K. S. Lee, dan J. Y. H. Fuh, "Feature-based parametric design of a gating system for a die-casting die," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 19, no. 11, hal. 821–829, 2002, doi: 10.1007/s001700200094.
- [7] H. Cao, C. Shen, C. Wang, H. Xu, dan J. Zhu, "Direct observation of filling process and porosity prediction in high pressure die casting," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 7, hal. 1–19, 2019, doi: 10.3390/ma12071099.
- [8] H. J. Kwon dan H. K. Kwon, "Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 55, no. February 2018, hal. 147–153, 2019, doi: 10.1016/j.rcim.2018.01.003.