

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN GATING SYSTEM PADA PRODUK CLAMP SADDLE DENGAN PROSES PENGECORAN LOGAM SAND CASTING

Sylvano Nehemia Leksono ^{1*}, Fais Hamzah ², Dhika Aditya Purnomo ³

Program studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*, 2, 3}

Email: sylvanonehemial@gmail.com¹

Abstract – PT. Aneka Adhilogam Karya is a national private company engaged in the sand-casting industry supplying its products to the Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Indonesia. One of the products of piping supporting components manufactured is Clamp Saddle. Many of these products still have casting defects, such as gas porosity and shrinkage. Gating system is one of the most crucial factors to determine the quality of cast products. It is necessary to design a gating system for Clamp Saddle products. Then the casting simulation using ProCast 2018 needs to be done to get an optimal design and detect the presence of defect shrinkage or gas porosity. Furthermore, the sand casting process is carried out, and radiographic testing is carried out to detect defects in the inside of the Clamp Saddle product. The results of the study obtained a gating system design with a pattern size of 400 mm x 335 mm then analyzed defects using ProCast 2018 on the variable total shrinkage porosity and air entrainment so that optimal results were obtained. Clamp Saddle product results from sand casting experiments were tested using radiography test (RT) to detect shrinkage or gas porosity and found some gas porosity but were still tolerable because of their small size of about 1 mm then they were few in number and were not gathered together.

Keyword: Clamp Saddle, Defect, Gating System, Sand Casting.

Nomenclature

t	waktu tuang (s)
C_A	choke area (mm ²)
ρ	massa jenis (gram/cm ³)
ξ	friction factor
R_A	runner area (mm ²)
G_A	ingate area (mm ²)
M_R	riser modulus (cm)
V_f	volume riser yang dibutuhkan (cm ³)
x	efisiensi penambah (%)
s	penyusutan logam (%)

1. PENDAHULUAN

PT. Aneka Adhilogam Karya adalah perusahaan swasta nasional yang bergerak di bidang industri pengecoran logam dengan cetakan pasir atau sand casting menyuplai produk-produknya ke Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Indonesia untuk memenuhi kebutuhan perpipaan dan komponen pendukung lainnya. Salah satu produk komponen pendukung perpipaan yang diproduksi adalah Clamp Saddle. Produk ini merupakan komponen perpipaan yang banyak dipesan di industri perpipaan, sayangnya masih terdapat produk yang mengalami cacat coran, seperti cacat porositas, cacat penyusutan dan cacat produk yang tidak utuh (*misrun*).

Gating system menjadi salah satu faktor yang paling krusial untuk menentukan kualitas produk cor. Masih banyak ditemukan desain gating system konvensional atau tanpa perhitungan pada perusahaan ini, sehingga perlu adanya perhitungan

untuk desain gating system sesuai dengan standar yang berlaku. Simulasi pengecoran menggunakan perangkat lunak ProCast 2018 perlu dilakukan setelah perhitungan gating system selesai untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan mendeteksi cacat coran yang mungkin terjadi pada produk cor dalam perancangan gating system menggunakan perangkat lunak sehingga cacat coran dapat diminimalisir. Selanjutnya perlu dilakukan proses pengecoran logam sand casting, sehingga dapat dibandingkan hasil dari proses pengecoran logam dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak.

Berdasarkan permasalahan di atas, pada penelitian ini dibuat desain gating system sand casting mold untuk proses pengecoran pada produk Clamp Saddle menggunakan perangkat lunak Solidworks 2018, serta menganalisis hasil desain gating system sand casting mold yang paling optimum menggunakan perangkat lunak ProCast 2018, dan melakukan trial pengecoran logam sand casting pada gating system produk Clamp Saddle, tanpa membahas permasalahan yang terjadi selama proses permesinan. Harapannya dengan adanya desain gating system ini nantinya dapat menghasilkan produk Clamp Saddle yang memiliki kualitas tinggi.

2. METODOLOGI.

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan menggunakan metode Ulrich, dimana metode ini membuat daftar kebutuhan, kemudian membuat 3 konsep desain yang akan disaring hingga mendapat 1 konsep yang

dibutuhkan [5]. Berikut langkah-langkah yang digunakan:

1. Studi literatur dan studi lapangan.
2. Perumusan masalah.
3. Pengumpulan data.
4. Kajian produk *existing*.
5. Identifikasi daftar kebutuhan.
6. Perhitungan desain *gating system*.
7. Pembuatan konsep desain *gating system*.
8. Analisa *defect* menggunakan simulasi *software*.
9. Pemilihan konsep desain *gating system*.
10. Pembuatan model pola cetakan.
11. *Trial* pengecoran logam.
12. Pengujian hasil produk pengecoran logam.
13. Analisa *defect* porositas.
14. Pembahasan.
15. Kesimpulan dan saran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Daftar Kebutuhan

Berikut ditunjukkan daftar kebutuhan digunakan sebagai referensi pada perancangan *gating system* pada produk *Clamp Saddle*.

Tabel 1: Daftar Kebutuhan

Daftar Kebutuhan		
S/H	Uraian Kebutuhan	Penanggung Jawab
	1. Model (Fungsi)	
S	a) <i>Gating system</i> dapat mendistribusikan logam cair menuju produk <i>Clamp Saddle</i> .	Tim Desain
S	b) <i>Gating system</i> mampu meminimalisir <i>defect</i> pada produk cor <i>Clamp Saddle</i> .	Tim Desain
	2. <i>Yield Casting</i>	
S	a) <i>Yield casting</i> > 50%	Tim Desain
H	b) <i>Yield casting</i> mendekati 100%	Tim Desain
	3. Manufaktur	
H	a) Mudah dimanufaktur.	Tim Desain dan Manufaktur
H	b) Pola <i>gating system</i> ringan.	Tim Desain dan Manufaktur

Keterangan:

- S = Syarat
 H = Harapan

3.2 Perhitungan Desain *Gating System*

Pada tahap ini akan dibahas perhitungan dan perancangan dari *gating system* untuk produk *Clamp Saddle*, sebelum dilakukan perhitungan dibutuhkan perkiraan total berat coran agar dapat menghitung waktu tuang dan luas potongan melintang *choke area* karena nantinya luas potongan melintang *choke area* akan mempengaruhi perhitungan pada luas potongan melintang *sprue*, *runner* dan *ingate*.

Total berat coran suatu *gating system* dapat diperkirakan dengan cara membuat desain kasar atau *layout* dari *gating system* yang akan dibuat. Desain kasar atau *layout gating system* dibuat menggunakan

software Solidworks 2018, lalu masukkan data material logam cair yang digunakan yaitu FC 250 dengan massa jenis sebesar 6,9 gram/cm³.

Berat dari desain kasar atau *layout* dapat diketahui menggunakan fitur *mass properties* pada *software Solidworks 2018*, sehingga didapatkan berat sebesar 3981,24 gram atau sekitar 4 kg.

Waktu tuang (*pouring time*), penentuan waktu tuang dapat menggunakan persamaan berikut:

$$t = 1,25 \cdot \sqrt{2 \cdot W} \quad (1)$$

$$t = 1,25 \cdot \sqrt{2 \cdot 4}$$

$$t \approx 3,5 \text{ detik}$$

Jadi, untuk melakukan pengecoran logam produk *Clamp Saddle* secara keseluruhan pada konsep desain 1 dirancang selama 3-5 detik.

Choke area terdapat pada bagian bawah *sprue* yang disebut *unpressurized gating system*. Perhitungan *choke area* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_A = \frac{22,6 \times W}{\rho \times \xi \times t \times \sqrt{H}} \quad (2)$$

$$C_A = \frac{22,6 \times 4}{6,9 \times 0,4 \times 3,5 \times \sqrt{10}}$$

$$C_A \approx 295,93 \text{ mm}^2$$

Jadi, luas potongan melintang *choke* yang berada di *sprue* sebesar 295,93 mm².

Dikarenakan termasuk dalam *unpressurized gating system* dimana lokasi *choke* berada di *sprue*, maka *choke area* sama dengan luas potongan melintang *sprue* [2]. *Sprue* yang direncanakan memiliki geometri potongan berbentuk lingkaran, sehingga untuk perhitungan dimensinya dapat dihitung menggunakan rumus luas lingkaran sebagai berikut:

$$r_{sprue} = \sqrt{C_A \div \pi} \quad (3)$$

$$r_{sprue} = \sqrt{295,93 \div \pi} \approx 10 \text{ mm}$$

Sprue well base dapat direncanakan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Well \ Base = 5 \times C_A \quad (4)$$

$$Well \ Base = 5 \times 295,93$$

$$Well \ Base = 1479,65 \text{ mm}^2 (r \approx 22 \text{ mm})$$

$$Well \ Depth = 2 \times runner \ depth \quad (5)$$

$$Well \ Depth = 2 \times 19,5 = 39 \text{ mm}$$

Jadi, *sprue* memiliki dimensi jari-jari sebesar 10 mm dan dimensi jari-jari *sprue well base* sebesar 22 mm dengan *depth* sebesar 39 mm.

Sesuai dengan *gating* rasio yang ditentukan ($C_A : R_A : G_A = 1 : 1,1 ; 1,2$), maka dimensi luas potongan melintang *runner* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_A = C_A \times 1,1 \quad (6)$$

$$R_A = 295,93 \times 1,1$$

$$R_A = 325,15 \text{ mm}^2$$

Diketahui luas *runner* dengan hasil 325,15 mm², maka untuk dimensi *runner* dapat dihitung menggunakan persamaan luas sesuai bentuk geometri trapesium dan persegi panjang sebagai berikut:

$$L_{trapesium} = \frac{a+b}{2} \times t \quad (7)$$

$$L_{trapesium} = \frac{15 + 18}{2} \times 15$$

$$L_{trapesium} = 247,5 \text{ mm}^2$$

$$L_{persegi\ panjang} = p \times l \quad (8)$$

$$L_{persegi\ panjang} = 18 \times 5$$

$$L_{persegi\ panjang} = 90 \text{ mm}^2$$

$$L_{total} = 247,5 + 90 = 337,5 \text{ mm}^2$$

Dimensi *runner* harus memiliki luas lebih dari perhitungan [3], jadi luas total atau luas *runner* tersebut sebesar 337,5 mm².

Dimensi luas *ingate* dibagi sejumlah banyaknya *ingate* yang direncanakan. Pada desain ini direncanakan menggunakan 2 buah *ingate*, maka luas *ingate* dibagi 2 sama besar. Direncanakan *ingate* memiliki bentuk geometri persegi panjang. Sesuai dengan *gating* rasio yang ditentukan, maka dimensi luas potongan melintang *ingate* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$2G_A = C_A \times 1,2 \quad (9)$$

$$2G_A = 295,93 \times 1,2$$

$$2G_A = 354,7 \text{ mm}^2$$

$$G_A = \frac{354,7}{2}$$

$$G_A \approx 177,4 \text{ mm}^2$$

Diketahui luas *ingate* dengan hasil 177,4 mm², maka untuk dimensi *ingate* dapat dihitung menggunakan persamaan luas sesuai bentuk geometri persegi panjang sebagai berikut:

$$L_{persegi\ panjang} = 36 \times 5$$

$$L_{persegi\ panjang} = 180 \text{ mm}^2$$

Dimensi *ingate* harus memiliki luas lebih dari perhitungan [3], jadi luas *ingate* tersebut sebesar 90 mm².

Perhitungan *riser* menggunakan metode *modulus* dimana metode ini merupakan perbandingan dari urutan pembekuan antara produk cor, leher penambah dan penambah atau *riser*. Dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_c = \frac{V}{A} \quad (10)$$

$$M_c = \frac{294,62}{765,54}$$

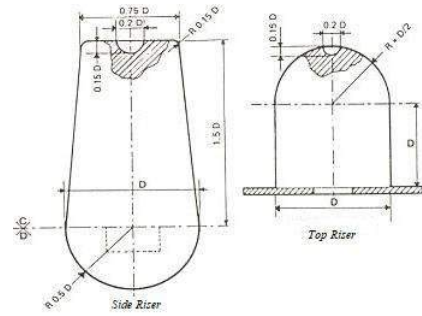
$$M_c \approx 0,385 \text{ cm}$$

$$M_r = M_c \times 1,2 \text{ cm} \quad (11)$$

$$M_r = 0,385 \times 1,2 \text{ cm}$$

$$M_r = 0,462 \text{ cm}$$

Desain *side riser* dan *top riser* memiliki ketentuan dimensi seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Dimensi Side Riser dan Top Riser

Perbandingan diameter dan tinggi penambah untuk h = 1,5 D pada desain *top riser* dapat dihitung sebagai berikut:

$$D = 4,53 \times M_r \quad (12)$$

$$D = 4,53 \times 0,462$$

$$D \approx 2,1 \text{ cm}$$

$$V = 1,04 \times D^3 \quad (13)$$

$$V = 1,04 \times 2,1^3$$

$$V = 9,63144 \text{ cm}^3$$

Perbandingan diameter dan tinggi penambah untuk h = 1,5 D pada desain *side riser* dapat dihitung sebagai berikut:

$$D = 4,91 \times M_r \quad (14)$$

$$D = 4,91 \times 0,462$$

$$D \approx 2,3 \text{ cm}$$

$$V = 1,16 \times D^3 \quad (15)$$

$$V = 1,16 \times 2,3^3$$

$$V = 13,5687 \text{ cm}^3$$

Riser juga akan mengalami penyusutan karena terdiri dari material yang sama. Maka volume *riser* harus cukup untuk memberi cairan yang berkurang akibat penyusutan dari benda cor dan *riser* itu sendiri. [4] Perhitungan volume *riser* yang dibutuhkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_f = \frac{s \cdot V_c}{x-s} \quad (16)$$

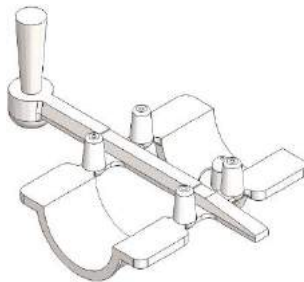
$$V_f = \frac{0,025 \cdot 294,62}{0,2 - 0,025}$$

$$V_f \approx 42,09 \text{ cm}^3$$

Dari perhitungan di atas, maka volume *riser* pada *Clamp Saddle* memiliki volume yang kurang cukup untuk menyuplai benda coran. Maka dirancang 5 *riser* untuk cukup menyuplai volume *Clamp Saddle*. Jadi, dimensi *side riser* yang direncanakan untuk *Clamp Saddle* memiliki diameter 23 mm sebanyak 4 buah *riser* dan *top riser* memiliki diameter 21 mm sebanyak 1 buah *riser*.

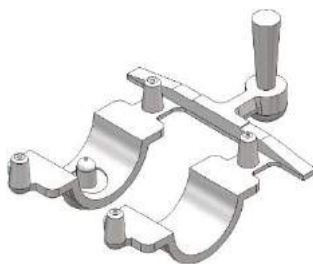
3.3 Pembuatan Konsep Desain *Gating System*

Pada penelitian tugas akhir ini dibuatkan 3 konsep desain *gating system* pada produk *Clamp Saddle*. Dari 3 konsep desain ini nantinya akan terpilih 1 konsep desain yang terbaik sesuai aspek kriteria pemilihan konsep. Berikut ini adalah 3 konsep desain yang sudah dibuat:



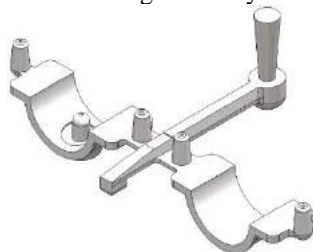
Gambar 2. Konsep Desain 1

Kelebihan dari konsep desain 1 ini adalah dengan adanya 2 *ingate*, maka distribusi logam cair pada produk *Clamp Saddle* akan semakin merata. Namun memiliki kekurangan akan terjadi turbulensi dan juga *cold shut defect* di titik pertemuan distribusi logam cair dan dapat menyebabkan kekuatan *casting* melemah.



Gambar 3. Konsep Desain 2

Kelebihan konsep desain 2 ini adalah terdapat percabangan pada *runner* sehingga dapat mengurangi turbulensi yang dapat menyebabkan gelembung udara dan hanya memiliki 1 *ingate* jadi tidak terjadi pertemuan logam cair seperti konsep desain 1. Namun konsep desain 2 ini memiliki kelemahan dalam pendistribusian logam cairnya.

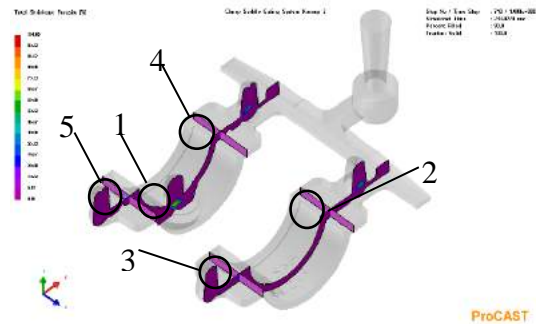


Gambar 4. Konsep Desain 3

Pada Konsep desain 3 ini juga terdapat 1 *ingate* yang memiliki kelebihan dalam mencegah pertemuan logam cair seperti pada konsep desain 1, dan juga terdapat mangkuk(*well*) pada *runner extension* untuk mencegah aliran turbulen logam cair, dan juga diperkirakan memiliki berat total yang cukup ringan karena bentuknya yang tidak terlalu rumit, tetapi dalam konsep desain 3 ini tidak terdapat percabangan *runner* sehingga memiliki potensi lebih besar daripada konsep desain 2 untuk adanya gelembung udara, dan juga dimensi pola nantinya memiliki lebar yang cukup besar karena posisi *part Clamp Saddle* yang diputar 90° dibandingkan konsep desain 1 dan 2.

3.4 Analisa Simulasi Defect ProCast 2018

Defect yang akan dianalisis dari hasil simulasi adalah *total shrinkage porosity* dan *air entrainment*.



Gambar 5. Hasil Simulasi Shrinkage Porosity

Hasil analisa defect dari masing-masing konsep desain gating system pada produk *Clamp Saddle* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Analisa Simulasi Defect Casting

	Produk Existing	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3
Air Entrainment (g/cm ³)	0,0005 5	0,0006 1	0,0005	0,0002 5
Shrinkage (1)	77,87% (1,4")	71,05% (0,93")	70,38% (0,9")	73,03% (1,08")
Shrinkage (2)	46,93%	27,61%	4,15%	15,69%
Shrinkage (3)	40,95%	43,57%	18,78%	9%
Shrinkage (4)	24,92%	37,62%	10,21%	9,42%
Shrinkage (5)	29,78%	34,18%	36,97%	22,88%

3.5 Pemilihan Konsep Desain Gating System

Penetapan kriteria seleksi didasarkan pada spesifikasi dari daftar kebutuhan yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu berdasarkan model fungsional, *yield casting*, dan manufaktur. Pada Tabel 3 berikut merupakan penjelasan mengenai penilaian konsep.

Tabel 3: Matriks Penilaian Konsep

Kriteria Seleksi	Konsep Desain												
	Bobot	Referensi			Konsep 1			Konsep 2			Konsep 3		
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot		
Fungsional	70%	3	2,1	4	2,8	5	3,5	4	2,8				
Yield Casting	15%	3	0,45	2	0,3	2	0,3	2	0,3				
Manufaktur	15%	3	0,45	1	0,15	2	0,3	2	0,3				
Nilai Absolut	100%	9	3%	7	3,25%	9	4,1%	8	3,4%				
Nilai Relatif			22%		23%		30%		25%				
Rangking			4		3		1		2				

Berdasarkan matriks tabel di atas maka dapat disimpulkan bahwa konsep desain 2 unggul dengan nilai absolut 4,1% dan nilai relatif 30%.

3.6 Trial Pengecoran Logam Sand Casting

Pengujian pengecoran logam *sand casting* menggunakan material FC 25, komposisi cetakan

pasir hitam dicampur air, temperatur logam cair $\pm 1350^{\circ}\text{C}$ dan waktu tuang selama 7 detik.



Gambar 6. Hasil Sand Casting Top Part

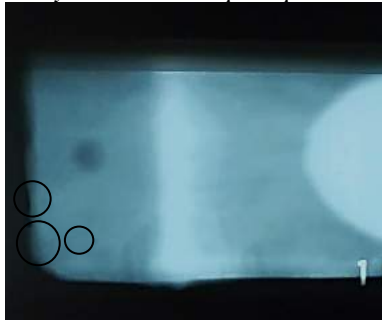


Gambar 7. Hasil Sand Casting Bottom Part

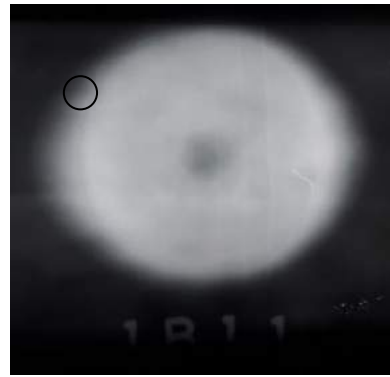
3.7 Pengujian Hasil Produk Pengecoran Logam

Pengujian hasil pengecoran logam bertujuan untuk mengetahui cacat coran yang terjadi di dalam produk cor dan tidak kasat mata, yaitu cacat penyusutan atau *shrinkage porosity*. Metode yang digunakan untuk pengujian ini adalah metode *Non Destructive Test (NDT)*, metode ini merupakan proses pengujian terhadap suatu benda tanpa merusak bagian atau fungsi dari objek itu sendiri. Jenis pengujian *NDT* yang digunakan adalah *Radiography Test (RT)*.

Proses pemaparan sinar *x-ray* dilakukan sebanyak 3x sesuai dengan ketebalan benda. Untuk benda *top part* memiliki 2 ketebalan yang berbeda sehingga dilakukan 2x pemaparan sinar *x-ray* dengan ketentuan yang berbeda, sedangkan untuk benda *bottom part* memiliki ketebalan yang seragam sehingga hanya dilakukan 1x pemaparan sinar *x-ray*.



Gambar 8. Hasil Radiografi Top Part Tebal 11 mm



Gambar 9. Hasil Radiografi Top Part Tebal 21 mm



Gambar 10. Hasil Radiografi Bottom Part Tebal 11 mm

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 (*top part*) terdeteksi *gas porosity* kecil pada lingkaran yang ditandai dengan diameter sekitar 1 mm, sedangkan pada Gambar 10 terdeteksi *defect* pada permukaan akibat *metal penetration*.

Defect di bawah permukaan produk *Clamp Saddle* yang terdeteksi menggunakan *radiography test* merupakan *defect gas porosity* dikarenakan kandungan udara pada logam cair saat dituangkan ke dalam cetakan pasir dan logam membeku, udara tersebut tidak dapat bebas keluar sehingga terperangkap pada logam yang sudah membeku. Berdasarkan [1], *gas porosity* masih dapat diterima jika ukuran porositas kecil dan tidak berkumpul di satu tempat sehingga melemahkan produk *casting*. *Gas porosity* dapat dicegah dengan pemberian *gas vent* yang tepat serta mengurangi tingkat kelembaban pada cetakan pasir. *Defect shrinkage* atau penyusutan tertutup sepenuhnya berdasarkan *radiography test* tidak terjadi di dalam produk *Clamp Saddle*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Desain *gating system* pada produk *Clamp Saddle* untuk proses pengecoran logam *sand casting* menggunakan software *Solidworks 2018*. Metode yang digunakan adalah metode *ulrich* dengan membuat 3 konsep desain yang berbeda dengan mempertimbangkan kriteria yang ditetapkan, dari ketiga konsep desain yang telah dibuat didapatkan konsep desain 2 dengan nilai tertinggi memiliki dimensi *pattern* 400 mm x 335 mm dan dengan menggunakan perhitungan yang standar didapatkan dimensi *choke area* = 295,93 mm², Øsprue = 20 mm, *runner area* = 325,625 mm², *ingate area* = 177,5 mm²,

\emptyset side riser = 23 mm dan \emptyset top riser = 21 mm.

2. Hasil analisa rancangan *gating system sand casting mold* pada produk *Clamp Saddle* dengan menggunakan *software ProCast 2018* maka didapatkan konsep desain 2 memiliki hasil yang paling optimum dengan menganalisa pada variabel *total shrinkage porosity* dan *air entrainment*. Pada cacat *total shrinkage porosity* terdapat cacat di bagian benda, untuk benda *top part* persentase cacat *shrinkage* sebesar 10,21% dan 36,97% dan untuk *bottom part* persentase cacat *shrinkage* sebesar 4,15% dan 18,78% dan pada cacat *air entrainment* sebesar 0,0005 g/cm³. Sehingga hasil simulasi pada konsep desain 2 tersebut lebih baik dibanding hasil simulasi konsep desain existing dan konsep desain lainnya.
3. Hasil dari *trial* pengecoran logam *sand casting* pada *gating system* produk *Clamp Saddle* memiliki cacat pada bagian permukaan berupa *metal penetration*, *drops* dan sirip cor yang masih dapat ditoleransi karena cacat tersebut masih dalam batas wajar dan dapat diatasi di bagian permesinan, dimensi pada produk *Clamp Saddle* juga tidak ada perubahan dimensi yang signifikan. Cacat pada bagian dalam produk *Clamp Saddle* yang menjadi fokus analisis pada penelitian ini adalah cacat *shrinkage* dan *gas porosity*, pengujian menggunakan *radiography test* terdapat beberapa *gas porosity* tetapi masih dapat ditoleransi karena memiliki ukuran yang kecil sekitar 1 mm dan tidak berkumpul di satu tempat dan tidak ditemukan cacat *shrinkage* yang terjadi pada produk *Clamp Saddle*, sehingga pada percobaan ini produk *Clamp Saddle* masih dalam batas aman.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada orang tua penulis dan keluarga besar yang senantiasa memberi dukungan, doa, saran, dan nasehat kepada penulis. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Bapak Pranowo Sidi, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Desain dan Manufaktur. Bapak Fais Hamzah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I. Bapak Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T. selaku Dosen PEmbimbing II yang membagikan ilmu dan saran dalam proses pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini. Bapak Rizal Indrawan, S.ST, M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur. Seluruh rekan-rekan Teknik Desain dan Manufaktur angkatan 2018

serta seluruh pihak yang memberikan bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

6. PUSTAKA

- [1] ASME Section VIII. (2015). ASME Boiler and Pressure Vessel Code Devision 1. Two Park Avenue. New York, NY. 10016 USA.
- [2] Erbul, A., Vanli, A. S., Akdogan, A., & Durakbasa, N. (2017). *Gating System Design and Optimization in Sand Mold Casting of Cast Iron*. DAAAM International Scientific Book 2017, chapter 14, pp.173-190, B. Katalinic (Ed.), Vienna, Austria.
- [3] Hadidullah, I. (2019). *Perancangan dan Pembuatan Desain Gating System pada Produk Pulley dengan Proses Pengecoran Logam Sand Casting*. Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Teknik Desain dan Manufaktur, Surabaya.
- [4] Simanjuntak, J. G., Sitindaon, P., Pardosi, H., & Kusumawaty, D. (2020). *Perencanaan Sistem Saluran dan Penambah untuk Mengurangi Cacat Produk Coran Komponen Peralatan Pabrik*. Fungsional Perekayasa, Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan.
- [5] Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product Design and Development* (P. Duchan (Ed.); Fifth Ed.). McGraw-Hill.