

SKRIPSI

**PERANCANGAN *GATING SYSTEM* PADA *FENDER*
MELALUI PENGECORAN PASIR (*SAND CASTING*)**

OLEH :

EKO JULIANTO PERWIRA

D021 17 1521



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**PERANCANGAN *GATING SYSTEM* PADA *FENDER*
MELALUI PENGECORAN PASIR (*SAND CASTING*)**

OLEH:

EKO JULIANTO PERWIRA

D021 17 1521

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

**PERANCANGAN *GATING SYSTEM* PADA *FENDER* MELALUI
PENGECORAN PASIR (*SAND CASTING*)**

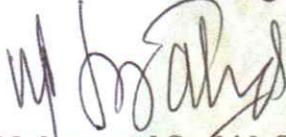
EKO JULIANTO PERWIRA

D021171513

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Gowa, Juli 2022

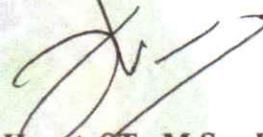
Dosen Pembimbing I



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT

NIP. 19770707 200511 1 001

Dosen Pembimbing II

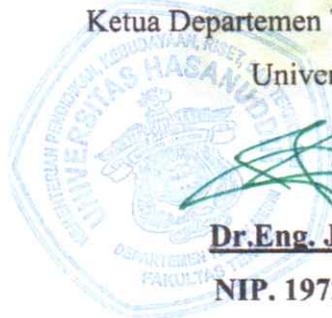


Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D

NIP. 19840126 201212 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr.Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : EKO JULIANTO PERWIRA
NIM : D021171521
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“PERANCANGAN *GATING SYSTEM* PADA *FENDER* MELALUI
PENGECORAN PASIR (*SAND CASTING*)”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan oran lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



EKO JULIANTO PERWIRA

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama lengkap : EKO JULIANTO PERWIRA
Nama Panggilan : Eko
Tempat / Tanggal Lahir : Sinjai, 19 Juli 1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Golongan Darah : AB
Alamat : Jl. Mawar no.3c Balangnipa
Telepon / No. HP : 082191959640
E-mail : eksoe19@gmail.com



RIWAYAT PENDIDIKAN

- SDN 4 Sinjai Utara (2004-2010)
- SMPN 1 Sinjai Utara (2010-2013)
- SMA Negeri 1 Sinjai (2013-2016)
- Universitas Hasanuddin (2017-2022)

RIWAYAT ORGANISASI

- OKFT-UH
- HMM FT-UH

ABSTRACT

Eko Julianto Perwira (D021 17 1521). Design of a Fender Gating System Using Sand Casting Method. (supervised by Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., and Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D.)

This research intend to find out the influence of gating system design on casting simulation and experiment with silica sand media. In this study, 3 gating system design modeling were conducted, which are middle gating system, bottom gating system, and vertical gating system of fender. The best of simulation result of these 3 gating systems then conducted experimentally. From the result of the simulation showed that the middle gating system design from fender provides more optimalt result and has smaller number of porosity defects. The dimensions of pouring basin $\text{Ø}35 \times 20 \text{ mm}$, Sprue $\text{Ø}15.5 \times \text{Ø}11 \times 84 \text{ mm}$, runner $100 \times 10 \times 8 \text{ mm}$, well base $\text{Ø}23 \times 13 \text{ mm}$, Ingate $10 \times 8 \text{ mm}$, riser $\text{Ø}55 \times 40.5 \text{ mm}$, riser $\text{Ø}55 \times 40.5 \text{ mm}$. The porosity test showed a correlation between the location of the predicted defects in simulation result and the location of defects in casting products.

Keywords: Casting Simulation, Gating system, Silica Sand, Fender

ABSTRAK

Eko Julianto Perwira (D021 17 1521). Perancangan *Gating System* pada *Fender* Melalui Pengecoran Pasir (*Sand Casting*). (Dibimbing oleh **Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.**, dan **Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D.**)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh desain hasil *gating system* terhadap simulasi pengecoran dan *experiment* dengan menggunakan metode pengecoran melalui pengecoran pasir silika (*silica sand*). Pada penelitian ini dilakukan 3 macam pemodelan desain *gating system* yaitu *middle gating system*, *bottom gating system*, dan *vertical gating system*. Hasil simulasi terbaik dari 3 macam desain *gating system* tersebut akan dilakukan pengujian secara *experiment*. Dari hasil simulasi, menunjukkan bahwa simulasi desain *middle gating system* memberikan hasil yang lebih optimal dan jumlah cacat porositas yang lebih sedikit. Dengan dimensi *Pouring basin* Ø35 X 20 mm, *Sprue* Ø15.5 X Ø11 X 84 mm, *runner* 100 X 10 X 8 mm, *well base* Ø23 X 13 mm, *Ingate* 10 X 8 mm, *riser* Ø55 X 40.5 mm, *riser* Ø55 X 40.5 mm. Hasil pada pengujian porositas menunjukkan adanya korelasi antara lokasi prediksi cacat hasil simulasi dengan lokasi cacat pada produk coran secara eksperimen.

Kata Kunci: Simulasi pengecoran , *Gating system*, *Silica Sand*, *Fender*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas banyaknya Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan kami yang menghantarkan kita selalu menuntut ilmu untuk bekal akhirat dan duniawi.

Akhir penyusunan skripsi **“PERANCANGAN GATING SYSTEM PADA FENDER MELALUI PENGECORAN PASIR (SAND CASTING)”** sudah ada dihadapan pembaca. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua dan saudara-saudara saya (penulis) yang selalu memberikan motivasi, support dan kasih sayangnya serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
2. Bapak Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D., selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Dr.Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT., selaku kepala Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT., selaku penguji atas segala, arahan, dan masukan selama mengerjakan tugas akhir ini.

6. Kedua Orang Tua penulis, yang senantiasa memberikan semangat dan doa serta membesarkan penulis dengan bangga.
7. Bapak Ir. H. Muskari Bakri, ST., selaku Direktur perusahaan Pt.Yusamasu Tech yang telah banyak membantu dan membimbing dalam proses pembelajaran dan penelitian yang telah banyak membantu dan memberikan pengalaman kepada penulis selama proses magang dan penelitian di Cikarang, Bekasi.
8. Kanda Ansar, yang telah banyak membantu proses pengerjaan spesimen penelitian dan sebagai teman berbagi penulis pada saat melakukan penelitian di lab pengecoran logam serta telah banyak menghibur, memberi masukan dan saran yang mendidik.
9. Bapak dan ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
10. Kepada Teman-teman angkatan 2017 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan saya banyak pelajaran hidup dan motivasi yang sangat baik serta telah menjadi wadah dan tempat saya berlindung.
11. Teman seperjuangan tugas Akhir Anjasdir dan Zulfadli selaku teman yang senangtiasa ada pada saat dibutuhkan dan juga selalu menghibur selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Kepada Teman-teman Lab Metalurgi Fisik, yang senantiasa berbagi ilmu dan sebagai teman sekaligus pemberi masukan kepada penulis pada saat melakukan penelitian.
13. Kepada seluruh saudara-saudari yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terima kasih telah memberi warna kehidupan penulis sebagai mahasiswa.
Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran* atas semuanya dan penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita.

Gowa, 18 Mei 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Metode Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Proses Pengecoran.....	5
2.2. Paduan Aluminium	22
2.3. <i>Software</i> Simulasi	23
2.4. <i>Fender</i>	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Metodologi Penelitian	27
3.2. Prosedur Desain <i>Fender</i>	27
3.3. Prosedur Simulasi <i>Fender</i>	28
3.4. Diagram Alir Penelitian	36
3.5. Waktu dan Tempat	37
3.6. Bahan dan Alat Penelitian	38
3.7. Pengujian.....	41
3.8. Analisis Data	43

3.9. Perhitungan <i>Design</i> Rencana Penelitian	43
3.10. <i>Design</i> Rencana Penelitian.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Simulasi <i>Fender</i>	51
4.2. Analisa dan Pemilihan Desain Pengecoran.....	64
4.3. Accepted Limit Criteria ASTM E 155	66
4.4. Struktur Mikro.....	75
4.5. Pengujian Kekerasan.....	79
BAB V PENUTUP.....	82
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar ASTM E 155 untuk pengecoran Aluminium	15
Tabel 2.2 Nilai <i>Shrinkage</i> untuk pengecoran paduan	21
Tabel 3.1 Jadwal Waktu dan Kegiatan Penelitian.....	37
Tabel 3.2 Tabulasi Desain <i>Middle Gating System</i> , <i>Bottom Gating System</i> , <i>Vertical Gating System</i>	47
Tabel 4.1 Dimensi <i>Design Middle Gating System</i>	52
Tabel 4.2 Dimensi <i>Design Bottom Gating System</i>	57
Tabel 4.3 Dimensi <i>Design Vertical Gating System</i>	61
Tabel 4.4 Porositas Simulasi <i>Fender</i>	65
Tabel 4.5 Hasil Uji <i>Density</i>	69
Tabel 4.6 Hasil Uji Porositas	70
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Kedalaman Porositas	71
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Kedalaman Porositas <i>Fender</i>	73
Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustasi beberapa tipe bentuk butir pasir. (a) butir pasir bulat (b) butir pasir Sebagian bersudut (c) butir pasir besudut (d) butir pasir kristal.	8
Gambar 2.2 <i>Hot Tear and Crack</i>	12
Gambar 2.3 <i>Inclusion</i>	12
Gambar 2.4 <i>Misruns</i>	13
Gambar 2.5 <i>Cold Shut</i>	13
Gambar 2.6 <i>Design gating system</i>	16
Gambar 2.7 Hasil Pengujian Kekerasan	22
Gambar 2.8 Konfigurasi Struktur pada <i>fender</i>	25
Gambar 2.9 <i>Fender</i> yang mengalami benturan pada kapal	26
Gambar 3.1 Penentuan <i>Geometry</i> cetakan.....	27
Gambar 3.2 Penentuan <i>Inlet casting</i>	27
Gambar 3.3 <i>2D Mesh</i> penentuan <i>Element size</i>	30
Gambar 3.4 Proses pengecekan <i>mesh</i>	30
Gambar 3.5 Proses penentuan <i>volume mesh</i>	31
Gambar 3.6 <i>Define job</i> pada <i>visual cast</i>	31
Gambar 3.7 <i>Define gravity direction</i> pada <i>visual cast</i>	32
Gambar 3.8 <i>Volume Manager</i>	32
Gambar 3.9 <i>Interface HTC Manager</i>	33
Gambar 3.10 <i>Process condition</i>	33
Gambar 3.11 <i>Simulation parameter general</i>	34
Gambar 3.12 <i>Simulation parameter thermal</i>	34
Gambar 3.13 <i>Simulation parameter flow</i>	35
Gambar 3.14 <i>Visual Viewer</i>	35
Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.16 Alat Uji Miksrostruktur <i>Nikon Ds Fi2</i>	41
Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan <i>Vickers Hardness Tester</i>	43

Gambar 3.17 Desain <i>middle gating system</i>	49
Gambar 3.18 Desain <i>bottom gating system</i>	49
Gambar 3.19 Desain <i>vertical gating system</i>	50
Gambar 4.1 Desain <i>middle gating system</i>	52
Gambar 4.2 Desain <i>middle gating system (a) temperature (b) solidifaction, dan (c) Porositas</i>	55
Gambar 4.3 Desain <i>bottom gating system</i>	56
Gambar 4.4 Desain <i>bottom gating system (a) temperature (b) solidifaction, dan (c) Porositas</i>	58
Gambar 4.5 Desain <i>Vertical gating system</i>	61
Gambar 4.6 Desain <i>vertical gating system (a) temperature (b) solidifaction, dan (c) Porositas</i>	62
Gambar 4.7 <i>Average porosity</i> pada simulasi <i>fender</i>	64
Gambar 4.8 Cacat <i>Inclusions</i> pada produk coran <i>fender</i>	66
Gambar 4.9 Cacat <i>Pin Hole</i> pada produk coran <i>fender</i>	66
Gambar 4.10 (a) Area A, (b) Area B, (c) Area C, (d) Area D.....	67
Gambar 4.11 Grafik hasil uji <i>Density</i>	68
Gambar 4.12 Grafik hasil uji Porositas	69
Gambar 4.13 Pengujian Struktur mikro <i>Fender</i>	71
Gambar 4.14 Pengujian Struktur mikro <i>Fender</i>	72
Gambar 4.13 <i>Shrinkage porosity</i> dengan cetakan pasir	73
Gambar 4.13 Miktostruktur Al7%Si	74
Gambar 4.13 Grafik hasil uji Kekerasan	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Metode Pengecoran logam tradisional memiliki sejarah yang Panjang dan sampai sekarang telah menjadi dasar dari seluruh bidang industri mekanik. Metode pengecoran logam telah digunakan sejak 6000 tahun lalu. Namun, masih menghadapi beberapa masalah, seperti sulitnya membuat bahan berkualitas, produksi rendah, konsumsi material yang digunakan, dan dampak lingkungan. (Carlson, et.al, 2002).

Pada penelitian Choudhari et.al, (2012) telah menunjukkan bahwa salah satu alasannya adalah proses pengecoran yang kompleks serta kurangnya pemahaman teoritis. Mengingat hal di atas, proses *casting* saat ini biasanya menurut pengalaman dan intuisi insinyur. Hal ini menyebabkan pengulangan dan penyesuaian kembali dalam praktik proses pengecoran, sehingga menimbulkan banyak kekurangan dan biaya yang lebih tinggi.

Dalam metode pengecoran tradisional hanya menggunakan pengalaman atau beberapa aturan yang diidentifikasi untuk merancang *gating system* pada semua pengecoran. Beberapa insinyur menggunakan desain *gating* formula untuk tujuan ini, kemudian pola dan cetakan disiapkan untuk selanjutnya dituangkan logam cair. Jika cacat muncul dengan system ini, maka *gating system* dimodifikasi sesuai dengan posisi dan tingkat cacat. Metode uji coba ini berlanjut hingga cacat pada *casting* bekrurang. Karena metode *trial-and-error* tradisional ini, hubungan antara pengecor dan pelanggan dapat rusak karena membutuhkan dan menghabiskan lebih banyak waktu dan tenaga (Ravi, 2009).

Perkembangan teknologi mempengaruhi segala aspek kehidupan termasuk system pengecoran. Salah satu aspek perkembangan teknologi di bidang pengecoran adalah aplikasi simulasi komputer. Teknik simulasi pengecoran dengan menggunakan komputer bertujuan untuk menganalisis aspek

pengisian dan pemadatan cetakan. Desain proses pengecoran sangat penting untuk menghasilkan coran yang berkualitas. Tidak dapat dihindari bahwa banyak cacat yang terjadi dalam proses pengecoran. *Gating system* digunakan untuk mengkompensasi penyusutan yang disebabkan oleh pengecoran solidifikasi (Nimbulkar & Dalu, 2016).

Alat simulasi *casting* membantu mengoptimalkan desain proses *casting* dan meningkatkan hasil *casting*. Komputerisasi pemodelan dan simulasi solidifikasi dari pengecoran berguna untuk mengurangi waktu dan meningkatkan kualitas dalam pengecoran. Kualitas dalam hal cacat dan peningkatan hasil akan mempengaruhi harga dan produktivitas yang lebih tinggi (Jeziarski, et.al, 2018).

Software simulasi *casting* membantu mengurangi waktu untuk menggambar *gating system* dan tata letak *casting*. Ini akan mengurangi biaya dan waktu untuk memodifikasi dalam optimasi *gating system*. Pemodelan dan simulasi computer menawarkan potensi mengevaluasi proses desain dalam waktu yang lebih cepat, dan biaya jauh lebih sedikit dibandingkan dengan metode konvensional (Carlson, et.al, 2002).

Fender adalah komponen dari sebuah kapal untuk melindungi struktur kapal dari kerusakan dengan menyerap energi kinetik kapal pada saat kapal berlabuh ke Pelabuhan atau dermaga. Kinerja sistem *fender* dianalisis menggunakan model analisis elemen hingga. Pemilihan sistem *fender* yang paling efisien didasarkan pada prinsip penyerapan energi sistem terhadap beban impact, tegangan, dan analisis defleksi (Muhammad Zikra, et.al, 2016).

Fender berupa bantalan yang diletakkan di depan dermaga. Fungsi utama dari *fender* adalah untuk mencegah kerusakan pada struktur dari dermaga itu sendiri maupun untuk melindungi rusaknya cat badan kapal karena gesekan antara kapal dan dermaga yang disebabkan oleh gerak karena gelombang, arus, dan angin. Jumlah energi yang diserap oleh *fender* dan gaya dampak maksimum dari kapal yang merapat kedermaga adalah kriteria utama yang diterapkan dalam desain *fender* (Fauzan, 2018).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk kemudian melakukan penelitian terkait perancangan pengecoran *fender* kapal dengan media pasir silika (*Silica Sand*). Sehingga akan didapatkan suatu desain coran yang optimal sebelum dilakukan proses manufaktur.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dibuat rumusan masalah sebagai berikut;

- a) Bagaimana pengaruh desain *gating system* terhadap simulasi pengecoran aluminium *fender* dengan media cetakan pasir silika (*silica sand*)
- b) Bagaimana pengaruh desain *gating system* terhadap sifat mekanik dan pemeriksaan cacat hasil pengecoran aluminium *fender* dengan media cetakan pasir silika (*silica sand*)
- c) Bagaimana pengaruh desain *gating system* terhadap struktur mikro hasil pengecoran aluminium *fender* dengan media cetakan pasir silika (*silica sand*)

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah;

- a) Menganalisis desain *gating system* menggunakan simulasi pengecoran aluminium *fender* dengan media cetakan pasir silika (*Silica Sand*)
- b) Menganalisis desain *gating system* terhadap sifat mekanik dan pemeriksaan cacat hasil pengecoran aluminium *fender* dengan media cetakan pasir silika (*Silica Sand*)
- c) Menganalisis desain *gating system* terhadap struktur mikro hasil pengecoran aluminium *fender* dengan media cetakan pasir silika (*Silica Sand*)

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa Batasan masalah sebagai berikut;

- a) Material yang digunakan adalah Al-7%Si
- b) *Fender* yang dibuat dengan metode cetakan pasir silika (*silica sand*)
- c) Pengujian mekanis dibatasi pada pengujian kekerasan

1.5. Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi sebagai referensi bahan ajar atau pembelajaran, sebagai referensi pengembangan konsep perancangan pengecoran *fender* dengan media pasir silika (*Silica Sand*), juga sebagai bahan referensi untuk mengimplementasikan pemakaian *fender*, mengetahui kekuatan mekanik, pemeriksaan cacat, serta struktur mikro.

1.6. Metode Penelitian

Adapun metode yang digunakan dalam penyusunan penulisan ini yaitu :

- a) Metode eksperimen yaitu menggunakan metode yang digunakan pada saat proses penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan guna melengkapi penulisan. Proses ini meliputi pengecoran, pengujian mekanik (uji kekerasan), struktur mikro, perbandingan hasil perancangan dan simulasi pengecoran dengan media cetakan pasir silika (*Silica Sand*).
- b) Metode Pustaka yaitu mengumpulkan referensi yang berhubungan dengan masalah yang akan dianalisa melalui perpustakaan, jurnal dan internet.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Pengecoran

Pengecoran logam adalah suatu proses manufaktur yang membuat benda dengan cara melebur logam sampai menjadi cair, kemudian menuangkannya kedalam cetakan. Logam yang digunakan berupa logam ferro atau non ferro (Nimbulkar & Dalu, 2016).

Prinsip pembuatan pengecoran melibatkan pembuatan rongga di dalam cetakan pasir dan kemudian menuangkan logam cair langsung ke rongga cetakan. Kegiatan yang terlibat dalam proses pengecoran adalah, pembuatan pola untuk pembuatan kotak cetakan, pembuatan inti untuk penyisipan dalam perakitan cetakan, pemasangan pola, sistem saluran dan persiapan cetakan pasir, mengeluarkan cetakan yang sudah disiapkan untuk dituang, mengisi rongga cetakan dengan logam cair, biarkan untuk memadatkan dan akhirnya, lepaskan cetakan yang diinginkan (Chelladurai, et.al., 2020). Pada pokok bahasan proses pengecoran ini akan diuraikan mengenai karakteristik logam cair, pasir cetak, cacat coran, desain gating system.

2.1.1. Karakteristik logam cair

Logam cair ini mempunyai karakteristik yang dapat dipengaruhi oleh temperatur, tingkat kekentalan dan jenis aliran ketiga parameter tersebut saling berkaitan satu sama lainnya. Logam cair dapat mencair seluruhnya pada temperatur tinggi, sedangkan pada temperatur rendah logam cair akan membentuk inti-inti kristal. Kekentalan (viskositas) logam cair ini sangat di pengaruhi oleh temperatur, dimana pada temperatur tinggi tingkat kekentalan logam cair menjadi lebih rendah dan begitupun sebaliknya. Pada saat logam cair didinginkan, maka nilai kekentalannya akan bertambah sangat cepat, tergantung jumlah inti-intinya. Kekentalan logam cair ini dapat mempengaruhi aliran logam cair yang terjadi selain kekerasan permukaan cetakan. Logam cair mempunyai nilai kelembaman dan daya tumbuk yang besar. Semakin tinggi nilai kekentalannya maka sifat mampu alirnya akan semakin menurun (Surdia, 1976).

Pada penelitian Budiyono & Widayat, (2013) yang meneliti tentang pengecoran aluminium untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan membuat perlakuan-perlakuan pada logam cair diantaranya dengan : (1) cara *degassing* menggunakan alat *rotary degasser* yang memberikan peningkatan sifat mekanis (*mechanical properties*) terbesar adalah pengadukan selama 2,5 menit; (2) cara perbaikan butir (*grain refinement of aluminum alloys*) melalui penambahan unsur Ti (sebagai TiB) yang dapat meningkatkan sifat mekanis (*mechanical properties*) tertinggi adalah penambahan Ti (sebagai TiB 5:1) 0,05%; dan (3) cara modifikasi (*modified aluminum alloys*) dengan *salt method* menggunakan COVERAL 11 sebanyak 0,07% pada temperatur 750 °C selama 2,5 menit pengadukan dengan *rotary degasser*.

Berdasarkan penelitian Subiyanto & Subowo, (2008) bahwa perubahan temperatur penuangan pada proses pengecoran logam aluminium akan mempengaruhi laju pembekuan dan penyebab terjadinya cacat porositas sehingga akan mempengaruhi sifat mekanis coran paduan aluminium A 356.0. Semakin meningkatnya temperatur pembuangan akan menghasilkan bentuk struktur mikro dan sifat mekanis yang berbeda. Sebab semakin tinggi temperatur penuangan menyebabkan delta temperatur *liquid – undercooling* semakin tinggi dan tingginya temperatur penuangan menyebabkan terjebaknya gas hydrogen semakin banyak sehingga nilai kekuatan Tarik elongasi dan nilai kekerasan mengalami penurunan.

Arah pembekuan berhubungan dengan *casting modulus*. *Casting modulus* menunjukkan perbandingan antara volume cor dengan luas permukaannya. Jika volume cor cetakan meningkat berarti semakin banyak logam cair maka waktu untuk mendinginkan memerlukan waktu lebih lama. Sebaliknya panas yang ada di dalam cor harus dilepaskan melalui permukaan cor, semakin besar luas permukaan cor akan semakin cepat cor tersebut dingin. Jadi *casting modulus* semakin besar maka waktu

yang dibutuhkan untuk pembekuan (*solidification*) semakin lama (Kotschi, 1988).

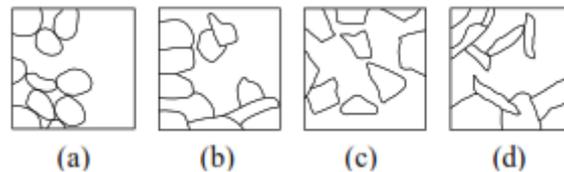
2.1.2. Pasir Cetak

Untuk metode pengecoran pasir, pasir yang disiapkan khusus digunakan untuk cetakan atau cetakan permanen, cetakan logam ataupun sesuai dengan cetakan yang diperlukan. Cetakan pasir dapat dibuat dengan menggunakan tangan atau dapat pula dikerjakan secara mekanis. Pasir cetak yang paling banyak digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika. Pasir gunung umumnya digali dari lapisan tua yang sudah mengandung lempung sebagai pengikatnya. Pasir dengan kadar lempung 10% sampai 20% dapat langsung digunakan sebagai pasir cetak. Sedangkan untuk pasir pantai, pasir sungai, pasir silika alam maupun pasir silika buatan dicampurkan pengikat khusus agar dapat mengikat butir-butirnya (Sirvo, et.al., 2009). Pasir cetak juga harus dilakukan pengujian baik pengujian kadar air, pengujian permeabilitas, pengujian kekuatan dan pengujian kadar lempung agar sesuai dengan kualitas pasir cetak yang dipersyaratkan.

Sistem cetakan pasir atau inti berikat resin adalah pengembangan terbaru dalam Teknik pengecoran, di mana pengikat organik digunakan untuk mencapai ikatan yang cocok. Proses ini secara bertahap menggantikan proses kotak panas yang lazim dengan kekuatannya yang menonjol dan akurasi dimensi tinggi dalam membuat komponen. Selain itu, metode ini lebih cocok untuk produksi yang tinggi dan menghemat lebih banyak bahan dalam pembuatan. Kekurangannya dengan metode ini adalah hal ini membutuhkan waktu yang relatif lebih banyak untuk memperbaiki reaksi yang berlangsung dan memungkinkan pengikat untuk mengatu cetakan. Namun, keuntungan dari metode ini mendominasi kelemahan tersebut dan mendinging pemanfaatan cetakan pasir berikat resin (Surekhaa, et.al, 2014).

Bentuk pasir digolongkan menjadi beberapa golongan yaitu bentuk butir pasir bundar, butir pasir sebagian bersudut, butir pasir bersudut dan

butir pasir kristal. Ilustrasi bentuk pasir dapat dilihat pada gambar berikut. Bentuk pasir akan mempengaruhi kekuatan dan permeabilitas dari cetakan pasir. Cetakan pasir yang baik terdiri dari ukuran dan bentuk pasir yang bervariasi (Martin, 2014).



Gambar 2.1 Ilustrasi beberapa tipe bentuk butir pasir.(a) butir pasir bulat (b) butir pasir sebagian bersudut (c) butir pasir bersudut (d) butir pasir kristal.

Menurut Martin, (2014). Karakteristik pasir cetak yang akan digunakan, mempunyai beberapa sifat sebagai berikut :

- a. Ketahanan terhadap panas yaitu ketahanan pasir terhadap titik sinter. Pasir cetak harus memiliki titik sinter di atas temperatur logam cair (*Pouring temperature*). Jika pasir cetak memiliki titik sinter di bawah temperatur tuang logam cair maka akan terjadi penyinteran antara butir pasir dengan logam cair.
- b. Kuat tekan yaitu kekuatan untuk menahan gaya tekan dari logam cair. Kualitas ini penting supaya permukaan dalam rongga cetakan tidak runtuh ketika dilalui oleh logam cair. Cairan logam akan memberikan tekanan akibat gaya gravitasi dan juga akibat panas dari cairan logam.
- c. Distribusi/persebaran ukuran pasir yaitu variasi ukuran pasir dari pasir yang digunakan. Variasi ukuran pasir harus memadai agar dapat menutup rongga antar butir pasir.
- d. Permeabilitas yaitu kemampuan pasir cetak untuk mengalirkan gas dari dalam cetakan ke luar cetakan. Hal ini sangat akan mempengaruhi perbedaan gas dari rongga cetak dan kecepatan pendinginan produk cor. Gas yang terperangkap dalam cetakan dapat menyebabkan porositas.

Menurut Sri Bimo, (2014). Kualitas pasir cetak ditentukan melalui pengujian terhadap sifat-sifat di atas. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan kualitas dari pasir cetak. Pengujian pasir cetak antara lain :

- a. Kuat tekan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai ketahanan pasir terhadap gaya tekan yang diberikan. Nilai kuat tekan menunjukkan besar gaya tekan yang dapat diterima oleh pasir sebelum mengalami kerusakan.
- b. *Loss of Ignition* (LOI). Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai presentase berat yang hilang dari campuran pasir setelah dipanaskan. Nilai presentase menunjukkan berat yang hilang (menguap/terbakar) setelah diberikan panas selama durasi tertentu.
- c. Distribusi pasir. Pengujian ini untuk mendapatkan persebaran ukuran pasir. Melalui pengujian ini didapatkan nilai (presentase) persebaran ukuran pasir. Pasir yang digunakan diharapkan memiliki persebaran ukuran pasir yang memadai.

2.1.3. Inti Cor

Untuk produk cor yang memiliki lubang/rongga seperti pada blog mesin kendaraan atau katup-katup biasanya diperlukan inti. Ditempatkan dalam rongga cetak sebelum penuangan untuk membentuk permukaan bagian dalam produk dan akan dibongkar setelah cetakan membeku atau dingin. Seperti cetakan, inti harus kuat, permeabilitas baik, tahan panas dan tidak mudah hancur.

Agar inti tidak mudah bergeser pada saat penuangan logam cair, diperlukan dudukan inti (*core prints*). Pembuatan inti ini serupa dengan pembuatan cetakan pasir yaitu menggunakan *no-bake*, *cold-box* dan *shell*. Untuk membuat cetakan diperlukan pola, sedangkan untuk membuat inti dibutuhkan kotak inti (Tedja Bhirawa, 2021).

2.1.4. Pola Cetakan Pasir

Pola Merupakan gambaran dari bentuk produk yang akan dibuat. Pola dapat dibuat dari kayu, plastik/polimer atau logam. Pemilihan material pola tergantung pada bentuk dan ukuran produk cor, akurasi dimensi, jumlah produk cor dan jeni proses pengecoran yang digunakan.

Menurut Tedja Bhirawa, (2021). Jenis jenis pola ada 3 yaitu :

- a. Pola tunggal (*one piece pattern / solid pattern*) biasanya digunakan untuk bentuk produk yang sederhana dan jumlah produk yang sedikit. Pola ini dibuat dari kayu dan tentunya tidak mahal.
- b. Pola terpisah (*solitt pattern*) terdiri dari dua buah pola yang terpisah sehingga akan diperoleh tongga cetak dari masing-masing pola. Dengan pola ini, bentuk produk yang dapat dihasilkan rumit dari pola tunggal.
- c. *Match-plate pattern*, jenis ini populer yang digunakan di industri. Pola “terpasang jadi satu” dengan suatu bidang datar dimana dua buah pola atas dan bawah dipasang berlawanan arah pada suatu pelat datar. Jenis pola ini sering digunakan bersama-sama dengan mesin pembuatan cetakan dan dapat menghasilkan laju produksi yang tinggi untuk produk-produk kecil.

2.1.5. Cacat Coran

Cacat dapat didefinisikan sebagai karakteristik yang menciptakan kekurangan atau ketidaksempurnaan yang berbeda dengan spesifikasi kualitas yang disebabkan oleh kualitas dan persyaratan pasir cetak. Pada penelitian Narayanswamy & Natrajan, (2016) yang meneliti berbagai cacat coran. Mereka mengategorikan cacat seperti *filling related defect* (FRD), *shape related defect* (SRD), *thermal defect* (TD), dan cacat menurut penampilan.

Menurut Lampman, (2009) cacat-cacat pengecoran terdiri dari 7 jenis cacat seperti :

1. *Gas Porosity*

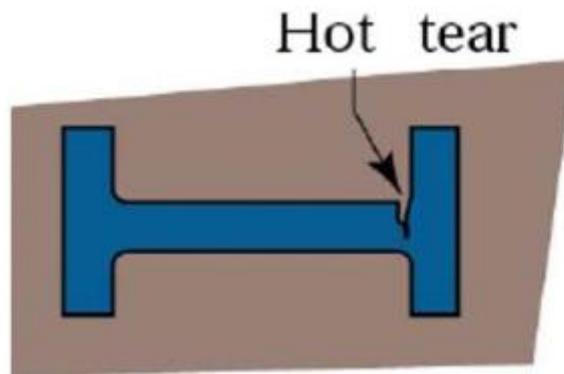
Gas Porosity dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair Ketika dituangkan ke dalam cetakan. Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hydrogen.

Porositas oleh gas hidrogen dalam paduan akan memberikan pengacuran yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebab porositas antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas oleh paduan, pengeluaran gas dari dalam logam karena interaksi antara gas dengan logam selama peleburan dan penuangan, perbedaan suhu yang sangat tinggi antara cetakan dengan logam cair yang dituang. Proses pembekuan diawali pada bagian logam cair yang lebih dulu mengenai dinding cetakan. Disebabkan oleh suhu dinding cetakan yang sangat rendah dibandingkan dengan suhu logam cair. Pembekuan yang cepat dan proses pendinginan yang tidak merata mengakibatkan sejumlah gas terperangkap, sehingga terbentuk pori. Porositas oleh gas dalam benda cetak paduan aluminium silicon akan memberikan pengaruh yang buruk pada kesempurnaan dan kekuatan dari benda tuang tersebut. Cacat ini dapat dihindari dengan penuangan logam yang cukup temperatur, mengontrol jumlah gas yang dihasilkan oleh material (Firdaus, 2002).

2. *Hot Tears and Cracks*

Hot Tears adalah cacat berupa retakan yang terjadi selama pembekuan akibat tekanan berlebih pada pembekuan logam karena berkembangnya arus panas yang tinggi.

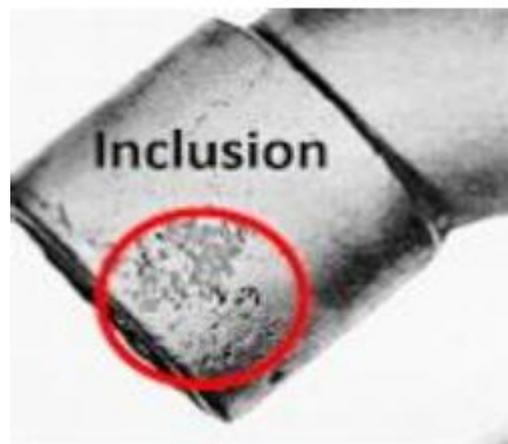
Crack adalah retak yang terjadi selama tahap pendinginan pada pengecoran setelah pembekuan selesai karena penyusutan yang tidak seimbang.



Gambar 2.2 *Hot Tear and Crack*

3. *Inclusion*

Inclusion adalah kehadiran material asing dalam struktur mikro benda cor, material tersebut dapat berasal dari tungku waktu pembakaran, dari cetakan waktu penuangan material ke cetakan atau dari material itu sendiri.



Gambar 2.3 *Inclusion*

4. *Misruns*

Misruns adalah cacat yang terjadi karena logam cair tidak mengisi seluruh rongga cetakan sehingga benda cor menjadi tidak lengkap atau ada bagian yang kurang dari benda cor. Penyebabnya adalah fluiditas logam lebur kurang, temperatur tuang rendah, dan kecepatan penuangan lambat.

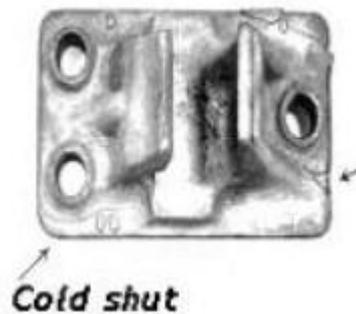


Misrun

Gambar 2.4 Misruns

5. *Cold Shuts*

Cold Shuts adalah dua aliran logam lebur bertemu tetapi kurang terjadi fusi atau penggabungan antara keduanya sehingga menimbulkan pendinginan yang prematur.



Cold shut

Gambar 2.5 Cold Shut

6. *Shrinkage Porosity*

Shrinkage Porosity adanya rongga-rongga dengan permukaan kasar serta *dendritic* baik merupakan rongga tunggal yang besar sampai rongga-rongga kecil yang mengumpul pada lokasi tertentu.

7. *Sintering*

Penyinteran adalah proses penempelan antar permukaan partikel (serbuk) solid karena adanya panas dan tekanan. Partikel solid tersebut ketika saling menempel belum mencapai fasa likuid. Temperatur saat partikel tersebut mencapai kondisi saling menempel di bagian permukaan dinamakan temperatur penyinteran (titik penyinteran). Temperatur

penyinteran (*sintering point*) akan terjadi beberapa saat sebelum mencapai temperatur lebur (*melting point*).

Cacat penyinteran terjadi pada saat penuangan cairan logam. Pada saat proses penuangan cairan logam ke dalam cetakan, permukaan rongga cetakan (permukaan bagian dalam) akan mengalami gaya tekan dari logam cair akibat gravitasi, logam cair juga akan memberikan tekanan akibat panas cairan logam. Penyinteran yang terjadi pada saat penuangan cairan logam terjadi secara alami (Martin, 2014).

Pada penelitian Wankhede, et.al., (2018) yang memfokuskan penelitian pada peningkatan sifat mekanik pengecoran logam dengan mengontrol berbagai parameter pengecoran seperti parameter proses dan aplikasi alat bantu pendingin. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendinginan eskternal membantu mendorong solidifikasi terarah dan juga berdampak signifikan pada sifat mekanik coran paduan silicon aluminium, laju pendinginan yang cepat membantu mengurangi jarak *dendrit* yang pada akhirnya memberikan sifat mekanis yang lebih baik. *Ultimate tensile strength* meningkat pada awalnya dan kemudian menurun dengan peningkatan kekerasan dan keudian berkurang seiring dengan peningkatan ukuran *chill*. Sifat mekanik pengecoran dengan penerapan *external mild steel chills* ditemukan hasil lebih baik dibandingkan dengan pengecoran yang diproduksi tanpa penerapan *external chills*. Dapat dikorelasikan bahwa struktur mikro yang baik mengarah pada sifat mekanik yang lebih baik.

Tingkatan kualitas untuk bahan aluminium *sand casting* seperti yang ditunjukkan Tabel 2.1 merupakan *Standard Reference Radiographs for Inspection of Aluminium ASTM E 155* yang digunakan sebagai acuan dalam pemeriksaan kualitas coran atau jenis diskontinuitas dan ukuran maksimum yang diperoleh dalam setiap kasus.

Tabel 2.1 Standar ASTM E 155 untuk pengecoran Aluminium

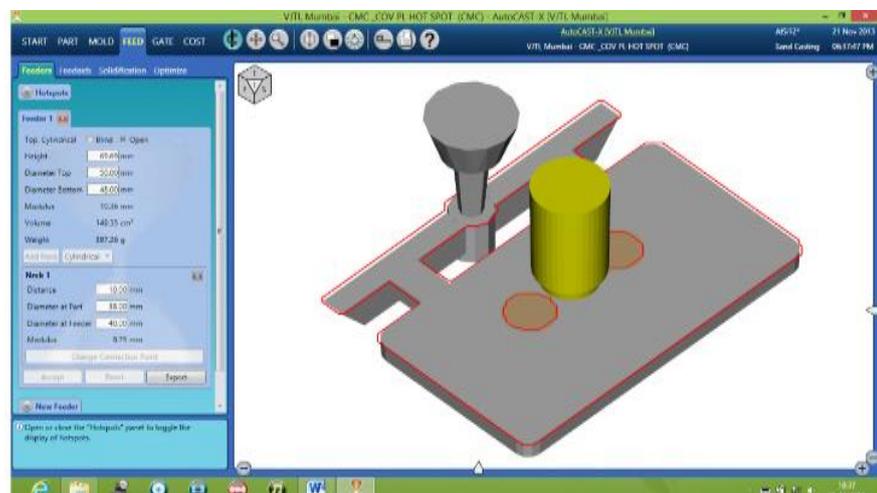
Acceptance limits for aluminium castings produced with the gravity casting process (acceptance reference patterns to ASTM E 155)									
Type of fault		Quality grade A		Quality grade B		Quality grade C		Quality grade D	
		Wall thickness in mm							
		≤ 10	> 10	≤ 10	> 10	≤ 10	> 10	≤ 10	> 10
Gas holes		1	1	3	3	5	5	7	7
Gas porosity	Round	1	1	3	4	6	6	8	8
	Elongated	1	1	3	4	5	5	7	7
Shrinkage cavity		1		2		4		6	
Shrinkage sponge		1	1	2	3	4	5	6	7
Foreign material	Less dense	1	1	3	3	5	5	7	7
	More dense	1	1	2	1	5	4	7	6

2.1.6. Desain gating system

Sistem saluran merupakan jalan masuknya logam cair kedalam rongga cetakan. Bagian-bagian system saluran ini dimulai dari cawan tuang (*pouring cup*), saluran turun (*downsprue*), pengalir (*runner*), saluran masuk (*ingate*) dan kemudian logam cair masuk kedalam rongga cetakan. Selain itu dalam merancang sistem saluran untuk membuat pembekuan yang terarah kadang diperlukan penambah (*riser*) dan cil (*chil*) serta diperlukan juga perangkat penyaring kotoran berupa saringan untuk membersihkan kotoran yang ikut terbawa logam cair.

Pada penelitian Hirigo, et.al, (2019) bahwa proses simulasi dengan menggunakan aplikasi simulasi pengecoran ProCAST untuk pengisian cetakan, analisis pemadatan, dan juga untuk mengurangi tingkat intensitas porositas penyusutan dalam pengecoran *mill roller*. Penelitian ini telah menunjukkan dalam peningkatan hasil casting, ditemukan bahwa cacat *casting* diminimalkan sebesar 2,98%. Hasil tersebut juga mengungkapkan bahwa masalah sintering pasir dan cacat porositas yang terjadi di coran *mill roller* disebabkan oleh lemahnya kekuatan sintering pasir silika cetakan campuran yang digunakan dalam proses. Menggunakan perangkat lunak simulasi, porositas penyusutan telah diamati dikeduaanya yaitu *gating system* dan bagian *roller*. Dapat disimpulkan bahwa simulasi membantu memvisualisasikan fenomena pengisian dan pemadatan tanpa membuang waktu, tenaga, biaya.

Pada penelitian Choudhari, et.al., (2014), yaitu desain *gating system* yang tepat membantu mencapai solidifikasi terarah menuju *feeder*, dengan demikian memecahkan masalah kegagalan premature karena solidifikasi persimpangan dan pengisian yang tidak lengkap karena variasi ketebalan yang tiba-tiba. Pendekatan ini membantu meminimalkan cacat terkait solidifikasi, sehingga memberikan pengecoran bebas cacat. *Feeder* sesuai dimensi ditempatkan dibagian atas *hot spot* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 sebgai berikut :



Gambar 2.6 Design gating system (Choudhari, et al., 2014)

Studi ini menunjukkan bahwa simulasi dapat sangat berguna dalam mengoptimalkan dimensi *feeder* dan meningkatkan efisiensi pengumpanan *casting*. Porositas makro dan porositas mikro diidentifikasi pada $4,47 \text{ cm}^3$ dengan kualitas 100%.

Menurut kadarisman, et.al, (2017), Penempatan *riser* pada modulus yang paling besar pada benda coran akan meningkatkan pasokan logam cair lebih banyak pada saat terjadi pembekuan dan hasilnya tidak terjadi cacat.

Adapun parameter desain *gating system* sebagai berikut :

- a) Menghitung volume (V). Gunakan pola ataupun ukuran dari pola yang sudah disertai toleransi ukuran serta penambahan untuk penyusutan, penyelesaian mesin, dan kemiringan pola.
- b) Menghitung berat benda coran (w) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$w = \rho \cdot V \quad (2.1)$$

Dimana :

- w = Massa Benda cor (gr)
- ρ = Densitas material (gr/cm³)
- V = Volume benda cor (mm³)

- c) Menentukan waktu tuang

Dalam menentukan waktu tuang logam cair kedalam cetakan dapat dihitung menggunakan persamaan menurut Nielsen sebagai berikut :

$$t_p = 0,32 * t * Wp^{0,4} \quad (2.2)$$

Dimana :

- Tp = Waktu tuang (*second*)
- t = Tebal dominan benda cor (mm)
- w_p = Massa benda cor (gr)

- d) *Effective sprue height*

Dalam menentukan *Effective sprue height* dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2.3** :

$$ESH = h - \frac{(p)^2}{2c} \quad (2.3)$$

Dimana:

- ESH = *Effective Sprue Height* (mm)
- h = *Tinggi Sprue* (mm)
- p = *Wall thickness* (mm)
- c = *Tinggi produk coran* (mm)

e) Menentukan *sprue area*

Sprue biasanya dirancang berbentuk lancip di bagian bawah untuk menghilangkan aspirasi udara dalam pengecoran pasir karena bentuk silinder lurus menciptakan area bertekanan rendah di sekitar logam *Sprue*. Ini membantu untuk mensuplai logam cair tanpa turbulensi ke *ingate* yang pada gilirannya mencapai rongga cetakan melalui *gating*. *Sprue* dirancang berdasarkan prinsip hukum kontinuitas massa “memyatakan laju aliran massa cairan konstan pada setiap penampang” (Kumar, et.al, 2016). Untuk menghitung *sprue area* menggunakan **Persamaan 2.4** berikut:

$$A_B = \frac{W}{\rho * t_p * c * \sqrt{2 * g * H}} \quad (2.4)$$

Dimana:

A_B = Luas penyempitan *Sprue area* (mm²)

W = Massa pengecoran (kg)

ρ = Massa jenis logam cair (kg/mm³)

t_p = Suhu penguapan (c)

c = Faktor efisiensi saluran turun (0,88)

H = Ketinggian efektif *sprue* (m)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Selanjutnya menentukan diameter *sprue* bawah menggunakan persamaan berikut :

$$D_B = \sqrt{\frac{4 * A_B}{\pi}} \quad (2.5)$$

Dimana:

A_B = Luas *Sprue area* bawah (mm²)

D_B = Diameter *Sprue area* bawah (mm²)

Kemudian untuk mengetahui luas *sprue* atas menggunakan persamaan berikut :

$$A_A = A_B \cdot \sqrt{\frac{h}{b}} \quad (2.6)$$

Dimana:

A_B = Luas *Sprue area* bawah (mm²)

A_A = Luas *Sprue area* atas (mm²)

h = tinggi *sprue* (mm)

b = tinggi *pouring basin* (mm)

Selanjutnya menentukan diameter *sprue* atas menggunakan persamaan berikut :

$$D_A = \sqrt{\frac{4 * A_A}{\pi}} \quad (2.7)$$

Dimana:

A_A = Luas *Sprue area* atas (mm²)

D_A = Diameter *Sprue area* atas (mm²)

f) Menentukan *ingate*

Design total area ingate ialah laju aliran ke dalam rongga coran dapat dikendalikan oleh jumlah *ingates*. Menentukan *runner area* dan luasan *gate area* dengan menggunakan rekomendasi *American Foundrymen's Society* (AFS) horizontal maka untuk menentukan luasan pengalir menggunakan perbandingan antara *choke area* : *runner area* : *gate area* = 1 : 4 : 4. Maka *runner area* sama dengan empat kali *choke area* dan *gate area* sama dengan empat kali *choke area*.

g) *Well base area*

Menghitung saluran turun dasar (*well base*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Well base} &= 5 * A_B \\ \text{Well Depth} &= 2 * \text{kedalaman runner} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dimana:

A_B = Luas *Sprue area* atas (mm²)

h) Menentukan *well base depth*

Menghitung *well base depth* dengan persamaan *well base* sebagai berikut :

$$\text{Well base depth} = 2 \times \text{runner depth} \quad (2.9)$$

i) Modulus cor produk

Modulus cor digunakan untuk memperkirakan arah pembekuan dari produk. Dalam menentukan modulus produk menggunakan **Persamaan 2.10** sebagai berikut :

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} \quad (2.10)$$

Dimana :

M_c = Modulus *riser* (mm)

V_c = Volume *riser* (mm³)

A_c = Luas permukaan *riser* (mm²)

j) Desain *riser*

Feeder atau *riser* dirancang untuk mengkompensasi penyusutan dalam pembekuan logam untuk menghilangkan porositas. Sebuah *feeder* atau *riser* akan bertindak seperti reservoir logam cair yang akan dimasukkan ke dalam area coran yang membutuhkan logam cair. Logam cair pada *riser* mengkompensasi penyusutan selama proses pembekuan coran sehingga membatalkan cacat penyusutan pada pengecoran dengan metode Jhon R. Brown (*Foseco Ferrous Foundryman*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

a) Menentukan nilai modulus (C%) yang efisien sesuai dengan jenis *riser*

- 33% apabila menggunakan *Foseco sleeve*.
- 16% apabila menggunakan natural *feeder/riser* (logam cair mengalir sebelum mencapai rongga cetak).
- 10%-14% untuk natural *feeder* yang lainnya.

b) Menentukan nilai *shrinkage* pada paduan yang akan dicor. Nilai *shrinkage* untuk pengecoran paduan diberikan pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Nilai *shrinkage* untuk pengecoran paduan (Brown, 1994).

<i>Casting alloy</i>	<i>Shrinkage (%)</i>
Carbon steel	6.0
Alloyed steel	9.0
High alloy steel	10.0
Malleable iron	5.0
Al	8.0
AlCu4Ni2Mg	5.3
AlSi12	3.5
AlSi5Cu2Mg	4.2
AlSi9Mg	3.4
AlSi5Cu1	4.9
AlSi5Cu2	5.2
AlCu4	8.8
AlSi10	5.0
AlSi7NiMg	4.5
AlMg5Si	6.7
AlSi7Cu2Mg	6.5
AlCu5	6.0
AlMg1Si	4.7
AlZn5Mg	4.7
Cu (pure)	4.0
Brass	6.5
Bronze	7.5
Al Bronze	4.0
Sn Bronze	4.5

c) Memperkirakan berat logam cair yang ada di dalam *riser* (W_F) dengan terlebih dahulu menentukan berat dari benda yang akan dicor (W_C) serta nilai modulus *feeder/riser* (C%) dan nilai *shrinkage* (S%). Hubungan antara W_F dan W_C dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$W_F = W_C \times \frac{100}{C\%} \times \frac{S\%}{100} \quad (2.11)$$

Dengan mendapatkan berat logam cair yang ada di dalam *riser* (W_F) maka dapat ditentukan dimensinya

2.2. Paduan Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap peningkatan kekuatan mekaniknya dengan menambahkan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya secara satu persatu atau bersamaan, hal tersebut juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya. Bidang pada material ini dipergunakan di dalam luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi (Suardia & Saito, 1985).

Paduan Al-Si sangat baik kecairannya, mempunyai permukaan bagus, tanpa kegetasan panas, sangat baik untuk paduan coran serta baik pula dalam ketahanan korosi, sangat ringan, koefisien pemuaian yang kecil dan sebagai penghantar untuk listrik dan panas, karena itu paduan Al-Si sering digunakan dalam produksi pengecoran (Surdia dan Saito, 1985).

Struktur mikro paduan Al-Si sangat tergantung pada jumlah kandungan Si dalam aluminium. Untuk paduan *hypoeutektik* Al-Si terdiri dari fasa utama Al dengan fiber Si terdistribusi pada matriks Al, untuk paduan *hypereutektik* fasa Si terbentuk sebagai fasa utama partikel *equaxed* dan fiber Si. Fasa silicon primer dari paduan *hypereutektik* menyebabkan paduan bersifat tahan aus, koefisien termal rendah dan fluiditas meningkat tetapi dapat mengurangi mampu permesinan dan meningkatkan porositasnya.

Porositas dalam paduan ini akan mengurangi kekuatan dan menurunkan kualitas benda tuang. Sumber penting yang menjadi penyebab porositas ini adalah timbulnya gas hidrogen yang berasal dari hasil reaksi antara logam cair dengan uap air yang berasal dari atmosfer. Banyaknya porositas yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tergantung pada banyaknya kandungan gas hidrogen yang terabsorpsi dan kecepatan pembekuan logam dalam cetakan (Supandi S dan B. Bandriyana, 2008).

Paduan aluminium – tembaga telah menarik perhatian besar karena sifatnya yang unik. Aluminium paduan 2024 merupakan salah satu aluminium

paduan dengan unsur Cu sebagai paduan utama. Komposisi aluminium paduan 2024 terdiri dari Al 90,7-94,7%, Cu 3,8-4,9%, dan Mg 1,2-1,8% sebagai paduan utamanya. Paduan aluminium 2024 dapat diberi perlakuan panas (*heat-treatable*) untuk meningkatkan kekuatannya.

Menurut Akhyar, et.al, (2018) yang meneliti tentang pengaruh variasi suhu tuang dengan *heat treatment* T4 terhadap sifat mekanis paduan aluminium 2024. Suhu tuang saat pengecoran mempengaruhi ukuran butiran aluminium paduan 2024. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan kekerasan tertinggi pada suhu tuang 688°C yaitu 144 kgf/mm² dan kekerasan terendah pada suhu 788°C yaitu 95,37 kgf/mm². Semakin tinggi suhu tuang maka ukuran butiran semakin besar. Sehingga saat dilakukan indentasi pengujian kekerasan dislokasi antar batas butir mudah terjadi dan menyebabkan nilai kekerasan rendah.

2.3. Software Simulasi

Penggunaan *software* simulasi pengecoran telah banyak memberikan kontribusi positif dalam pengembangan produk cor baik secara kualitas maupun dari segi ekonomis. Hal tersebut dikarenakan dapat mengurangi resiko kegagalan pada saat tahap percobaan yang mungkin akan terjadi, sehingga dapat mencapai efisiensi baik dari biaya produksi maupun dari segi waktu. Salah satu *software* yang sering digunakan dalam simulasi pengecoran logam adalah *ProCast*.

Software Procast merupakan *software* pengecoran logam yang memiliki banyak metode pengecoran seperti *gravity sand casting* (*silica sand, green sand, resin coated sand, olivine sand, zircon sand, high pressure molding sand*), *gravity die casting, high/low pressure die casting, centrifugal casting, semi-solid casting, investment casting, lost foam casting, dan straight continuous casting*.

Sebelum dilakukan simulasi pertama-tama yang harus dilakukan adalah membuat pemodelan 3D. Dalam pembuatan model 3D dapat menggunakan *software* seperti *Autodesk fusion360, solidwork, pro engineer*, dan berbagai macam aplikasi pemodelan 3D lainnya. Format file

3D dapat berupa iges, STP, dan SAT. Selain keunggulan interface yang dimiliki, *Procast* juga mempunyai kemampuan untuk melakukan auto mesh generation dari berbagai format file tersebut dan mempunyai *database management* yang dapat disesuaikan dengan kondisi pengecoran yang akan dilakukan. Sehingga dapat melakukan pengaturan parameter pengecoran yang mendekati kondisi aktualnya.

Menurut Hirigo, et.al, (2019) bahwa proses simulasi dengan menggunakan *software ProCast* untuk pengisian cetakan, analisis pemadatan, dan juga untuk mengurangi tingkat dan intensitas porositas penyusutan dalam pengecoran *mill roller*. Hasil juga mengungkapkan bahwa masalah sintering pasir dan cacat porositas yang terjadi pada coran *mill roller* disebabkan oleh lemahnya kekuatan sintering pasir silika cetakan campuran yang digunakan dalam proses. Dalam pengoperasian *Procast*, dijelaskan bahwa untuk menganalisis sampai selesai dengan program *procast* terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

1. *Visual Mesh*.

Visual Mesh merupakan tahap awal simulasi, pada proses ini dilakukan penentuan geometri cetakan yang akan digunakan kemudian dilanjutkan dengan tahap 2D *mesh* untuk menentukan posisi *inlet casting* sebagai jalur masuk logam cair ke dalam *molding*. Dan tahap terakhir pada *visual mesh* adalah 3D *mesh* yang bertujuan untuk menentukan *volume casting*. Menggunakan metode *mesh tetrahedrons* karena memiliki kemampuan adaptif terhadap bentuk dan penyesuaian jumlah *mesh*.

2. *Visual Cast*

Langkah berikutnya setelah melakukan *visual mesh* yaitu *visual cast*. Pada Langkah ini, proses paduan dan analisis yang akan dilakukan ditentukan. Volume berbeda yang terlibat ditugaskan sebagai paduan, cetakan, dan inti. Bahan-bahan yang akan digunakan untuk volume juga diatur. Selanjutnya kondisi batas termal dan aliran ditentukan yang meliputi kecepatan masuk, area

masuk, kondisi perpindahan panas dan suhu awal volume yang berbeda.

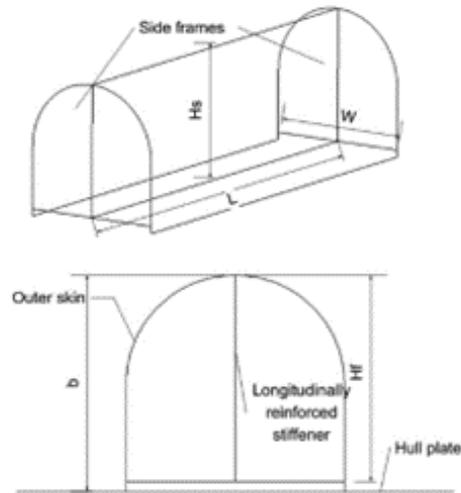
3. *Visual Viewer*

Proses terakhir yaitu *Visual viewer* yang merupakan proses hasil jadi simulasi baik itu dalam format gambar (JPEG, PNG, BMP) maupun video (MP4, MOV, AVI) dan memberikan informasi kondisi pengecoran untuk proses analisis aliran fluida, analisis pembekuan/*solidification*, analisis temperatur dan analisis *shrinkage porosity*.

2.4. *Fender*

Fender adalah sebuah alat untuk melindungi struktur dermaga dan kapal dari kerusakan dengan menyerap energi kinetik kapal saat kapal berlabuh ke dermaga. Sistem *fender* akan dipilih berdasarkan analisis kekuatan, penyerapan energi, defleksi dan tegangan. Gaya tumbukan maksimum yang ditimbulkan oleh kapal pada saat menabrak dermaga pada saat berlabuh didasarkan pada asumsi tertentu sebagai operasi kapal terhadap sudut dan kecepatan mendekati dermaga (Muhammad Zikra, et.al, 2016)

Di sisi lain, desain *fender* dilakukan oleh berbagai pertimbangan seperti energi sandar kapal dan gerak kapal yang ditambatkan di bawah gaya gelombang, angin dan arus. Namun tidak ada penanggulangan dan sistem pemantauan untuk sandar abnormal dan gaya kelebihan beban saat ini. Sistem *fender* lebih perlu mempersiapkan tindakan pencegahan terhadap kecelakaan karena restorasi membutuhkan banyak usaha dan waktu daripada untuk sistem mooring line. Selain itu, sulit untuk mengukur defleksi dan beban *fender* di lokasi, dan mengamati kondisi kritis karena kompresi dan deviasi yang kompleks pada kinerja dalam faktor kecepatan dan suhu. Di sisi lain, *fender* tipe pneumatik memiliki karakteristik kinerja yang unik, di mana bodinya diisi oleh udara bertekanan (Shigeki dan Masayoshi, 2007)



Gambar 2.7 Konfigurasi Struktur pada *fender* (Zhiyu jiang dan Mintong Gu, 2010)

Menurut (Zhiyu jiang dan Mintong Gu, 2010) selama analisis, struktur *fender* dimodelkan bersama dengan pelat lambung yang mempertahankan kondisi batas 'tetap'. Untuk mensimulasikan skenario benturan kecepatan rendah yang sering dialami oleh *fender*, dibuat dinding kaku dengan kecepatan awal 1 m/s (sekitar 2 knot) dan berat 1200 T untuk menghancurkan struktur tersebut sehingga bahwa proses deformasi mereka dapat diamati dengan jelas. Namun terkadang, benturan dapat terjadi dengan cara yang tidak teratur dan menyebabkan permukaan struktur *fender* yang kasar dan tidak rata seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *fender* yang mengalami benturan pada kapal (Zhiyu jiang dan Mintong Gu, 2010)