

**SKRIPSI**

**PENGECORAN FENDER ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI  
PENAMBAHAN TEMBAGA (Cu)**

**OLEH:**

**A TENRI MARDITA MAMMINASA**

**D021 17 1316**



**DEPARTEMN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**SKRIPSI**

**PENGECORAN FENDER ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI  
PENAMBAHAN TEMBAGA (Cu)**

**Disusun Dan Diajukan Oleh :**

**A TENRI MARDTA MAMMINASA**

**D021171316**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

## 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:**

**PENGECORAN FENDER ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI  
PENAMBAHAN TEMBAGA (Cu)**

**ANDI TENRI MARDITA M**

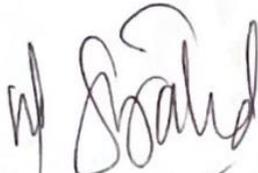
**D021171316**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Gowa, 17 Januari 2023

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



**Dr. Muhammad Syahid, ST., MT**

**NIP. 19770707 200501 1 001**



**Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT**

**NIP. 19671013 198703 1 001**

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 : A Tenri Mardita Mamminasa

NIM : D021171316

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Pengecoran Fender Aluminium 6061 Dengan Variasai Penambahan Tembaga (Cu)”

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 18 Januari 2023

Yang Menyatakan



A Tenri Mardita Mamminasa

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : A.Tenri Mardita Mamminasa

Tempat Tanggal Lahir : Manokwari, 04 April 1998

Alamat : Btn pao-pao permai blok C 14 no 29

Jenis Kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Telepon : 082348407670

E-mail : anditenrimardita21@yahoo.com

Riwayat Pendidikan : MA MADANI  
MTS MADANI  
SDN 12 PRAFI

Pengalaman Magang (*Internship*) : PDAM GOWA

## ABSTRACT

**ANDI TENRI MARDITA M (D021171316).** Casting of 6061 Aluminum with Variations of Addition of Copper (Cu) (Supervised by Dr. Muhammad Syahid, ST., MT dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT).

Casting is a product manufacturing technique in which metal is melted in a smelting furnace and then poured into a mold cavity that is similar to the original shape of the cast product to be made. Fender bearing fabrication has been carried out using Aluminum 6061 material with the addition of Copper (Cu). This research was conducted to find out how the effect of adding Cu to Aluminum 6061 had on the quality, level of hardness and microstructure of the fender casting results. The research was carried out with variations in the addition of Cu, namely 2%, 4%, and 6% in Aluminum 6061. Tests were carried out by visually observing the surface of the casting results without using tools and using test equipment in the form of a Vickers Hardness Tester and a Niskon DS Fi Microscope. From the visual test results it can be seen that there are several deviations in each variation of Cu addition, when adding 2% Cu there is a casting defect on the riser, when adding 4% Cu there is a cast defect on the surface of the casting product, and when adding 6% Cu there is a defect. cast inclusions. From the results of the hardness test it can be seen that the highest level of hardness is found in the Cu mixture of 6% at each point of the test section (top, bottom, left and right) with the highest hardness value of 67.27 VHN at the top of the sample. And for the lowest hardness obtained in a Cu mixture of 2%, which is equal to 43.73 VHN at the bottom of the sample. From the results of microstructural testing, it can be seen that the formation of  $\text{CuAl}_2$  precipitate phase occurred in each variation of the Cu mixture with the largest and largest number of phases occurring in the addition of 6% Cu.

**Keywords:** Casting, Fender, Aluminum 6061, Copper (Cu), Hardness, Microstructure.

## ABSTRAK

**ANDI TENRI MARDITA M (D021171316).** Pengecoran Aluminium 6061 dengan Variasi Penambahan Tembaga (Cu) (Dibimbing oleh Dr. Muhammad Syahid, ST., MT dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT).

Pengecoran (*Casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Telah dilakukan fabrikasi bantalan *fender* dengan menggunakan material Aluminium 6061 dengan tambahan Tembaga (Cu). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan Cu pada Aluminium 6061 terhadap kualitas, tingkat kekerasan dan mikrostruktur dari hasil pengecoran *fender*. Penelitian dilakukan dengan variasi penambahan Cu yaitu sebesar 2%, 4%, dan 6% pada Aluminium 6061. Pengujian dilakukan dengan cara pengamatan secara visual pada permukaan hasil coran tanpa menggunakan alat serta dengan menggunakan alat uji berupa Vickers Hardness Tester dan Mikroskop Niskon DS Fi. Dari hasil pengujian secara visual dapat diketahui bahwa terdapat beberapa penyimpangan pada setiap variasi penambahan Cu, pada penambahan Cu 2% terjadi cacat coran pada bagian riser, pada penambahan Cu 4% terjadi cacat cor pada permukaan hasil coran, dan pada penambahan Cu 6% terjadi cacat cor *inclusion*. Dari hasil pengujian kekerasan dapat diketahui bahwa tingkat kekerasan tertinggi terdapat pada campuran Cu sebanyak 6% pada setiap titik bagian pengujian (atas, bawah, kiri, dan kanan) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 67,27 VHN pada bagian atas sampel. Dan untuk kekerasan terendah diperoleh pada campuran Cu sebanyak 2% yaitu sebesar 43,73 VHN pada bagian bawah sampel. Dari hasil pengujian mikrostruktur dapat dilihat bahwa terjadi pembentukan fasa presipitat  $\text{CuAl}_2$  pada setiap variasi campuran Cu dengan jumlah fasa terbanyak dan terbesar terdapat pada penambahan Cu sebesar 6%.

**Kata Kunci :** Pengecoran (*Casting*), *Fender*, Aluminium 6061, Tembaga (Cu), Kekerasan, Mikrostruktur.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“PENGECORAN FENDER ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI PENAMBAHAN TEMBAGA (Cu)”**.

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tugas akhir ini, berbagai pihak telah banyak memberikan dorongan, bantuan serta masukan sehingga dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Andi ikhlas dan Ibunda Sumarmi serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa yang tak henti- hentinya kepada penulis, nasihat, semangat hingga motivasi selama menyelesaikan skripsi hingga akhir.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT. Sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
4. Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT., Sebagai Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah memberikan waktu, arahan, dan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
5. Dr. Hairul Arsyad, ST., MT., dan Fauzan, ST, MT., Ph.D selaku penguji yang telah memberikan saran-saran selama proses pengerjaan skripsi.
6. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di dunia perkuliahan.

7. Seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Mesin khususnya Angkatan 2017 ZYNCROMESH. Terimakasih atas bantuan dan dukungan serta semangatnya.
8. Partner penelitian Anjas dan eko yang telah banyak membantu memberikan bantuan dan motivasi kepada penulis.
9. Serta seluruh pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa naskah tugas akhir ini masih banyak kekurangan oleh karena itu segala kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan tugas akhir ini. Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua khususnya dalam ilmu material dan pengecoran.

Gowa, 18 Januari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Pengecoran cetakan pasir.....	6
2.2. Desain <i>Gating System</i> .....	13
2.3. Aluminium dan Paduannya .....	20
2.4. Fender .....	28
2.5. Jenis-Jenis <i>Fender</i> .....	29

<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>32</b>
3.1 Metodologi Penelitian .....	32
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	34
3.4 Bahan dan Alat Penelitian.....	35
3.5 Pengujian .....	37
3.6 Analisis Data.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Perhitungan dan Design <i>gating system fender</i> .....	41
4.2 .Simulasi pengecoran.....	47
4.3. Pengamatan Visual pengecoran Al6061 dengan 2, 4, 6% Cu.....	50
4.4. Pengujian mikrostruktur.....	51
4.5 Pengujian Kekerasan .....	54
4.6.Pengujian Komposisi .....	60
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>62</b>
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran .....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Design <i>gating system</i> .....	14
<b>Gambar 2.2</b> Diagram fasa Al Cu.....	25
<b>Gambar 2.3</b> <i>Fender</i> kayu pada dermaga.....	29
<b>Gambar 2.4</b> <i>Fender</i> gravitasi .....	30
<b>Gambar 2.5</b> <i>Fender</i> karet pada dermaga.....	31
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian. ....	33
<b>Gambar 3.2</b> Mikroskop Nikon DS Fi.....	37
<b>Gambar 3.2</b> Alat uji kekerasan Vickers Hardness Tester .....	38
<b>Gambar 4.1</b> Desain <i>middle gating system</i> .....	45
<b>Gambar 4.2</b> (a) Design <i>middle gating system</i> , (b) <i>Temperature</i> , (c) Porositas.....	48
<b>Gambar 4.3</b> (a) Cacat pengecoran <i>fender</i> 2% Cu, (b) Cacat pengecoran <i>fender</i> 4% Cu, (c) Cacat pengecoran <i>fender</i> 6% Cu.....	49
<b>Gambar 4.4</b> (a) Titik pengambilan sampel, (b) Potongan <i>fender</i> Al6061 .....	50
<b>Gambar 4.5</b> Mikro Al6061+2%Cu (a) titik1, (b) titik2, (C) titik3, (d) titik 4.....	50
<b>Gambar 4.6</b> (a)Titik pengambilan sampel,(b)Potongan <i>fender</i> Al6061.....	51
<b>Gambar 4.7</b> Mikro Al6061+4%Cu (a) titik1,(b) titik2,(C) titik3,(d)titik 4.....	51
<b>Gambar 4.8</b> (a)Titik pengambilan sampel,(b)Potongan <i>fender</i> Al606.....	52
<b>Gambar 4.9</b> Mikro Al6061+6%Cu (a) titik1,(b) titik2,(C) titik3,(d)titik 4.....	52
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan (a) penambahan 2% Cu ,(b) penambahan 4% Cu,(c) penambahan 6% Cu. ....	53
<b>Gambar 4.11</b> Grafik hasil uji kekerasan Al6061+2% Cu .....	55
<b>Gambar 4.12</b> Grafik hasil uji kekerasan Al6061+4%Cu .....	56
<b>Gambar 4.13</b> Grafik hasil uji kekerasan Al6061+6%Cu .....	56
<b>Gambar 4.14</b> Grafik hasil uji kekerasan pada area 1 pencampuran 2%, 4%, 6% Cu.....	57
<b>Gambar 4.15</b> Grafik hasil uji kekerasan pada area 2 pencampuran 2%, 4%, 6% Cu.....	57
<b>Gambar 4.16</b> Grafik hasil uji kekerasan pada area 3 pencampuran 2%, 4%, 6% Cu.....	58

<b>Gambar 4.17</b> Grafik hasil uji kekerasan pada area 4 pencampuran 2%, 4%, 6% Cu .....	57
<b>Gambar 4.18</b> Alat uji komposisi dan Sempel pengujian komposisi .....	60
<b>Gambar 4.19</b> Hasil pengujian komposisi Al6061+Cu2%, Al6061+Cu4%, dan Al6061+Cu6% .....	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> <i>Percentage of rejection</i> .....	11
<b>Tabel 2.2</b> Hasil yang dioptimalkan untuk cacat <i>casting</i> .....	12
<b>Tabel 2.3</b> Klasifikasi paduan tempa aluminium, mekanisme penguatan, dan rentang nilai kekuatannya .....	21
<b>Tabel 2.4</b> Klasifikasi paduan aluminium.....	21
<b>Tabel 2.5</b> Klasifikasi aluminium berdasarkan perlakuan yang dilakukan.....	22
<b>Tabel 2.6</b> Komposisi aluminium silikon tuang AC4B.....	23
<b>Tabel 3.1</b> Tabel pengujian pengecoran <i>fender</i> aluminium 6061 dengan variasi penambahan Cu .....	34
<b>Tabel 3.2</b> Bahan pengujian .....	35
<b>Tabel 3.3</b> Alat pengujian.....	36
<b>Tabel 4.1</b> Tabulasi desain <i>middle gating system</i> .....	44
<b>Tabel 4.2</b> Bagian <i>middle gating system</i> .....	46
<b>Tabel 4.3</b> Hasil uji kekerasan <i>vickers</i> .....	55

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pengecoran (*Casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Tahapan dalam proses pengecoran adalah pembuatan model (pola), pembuatan pasir cetak, pembuatan cetakan pasir (rongga cetak), peleburan logam, menuang logam ke dalam cetakan dan membongkar serta membersihkan hasil pengecoran. Pengecoran dengan cetakan pasir (*sand casting*) merupakan metode yang banyak digunakan pada industri pengecoran aluminium. Selain membutuhkan biaya yang cukup relatif sedikit juga dapat membuat desain yang bentuknya agak rumit, pengecoran cetakan pasir merupakan proses produksi yang diawali dengan menuangkan logam cair ke dalam sistem saluran dan selanjutnya logam cair akan mengisi seluruh rongga cetakan. Di dalam proses pengecoran logam dalam usaha menghasilkan suatu produk benda coran yang berkualitas baik dengan komposisi yang dikehendaki maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu: bahan baku coran, komposisi bahan baku, kualitas pasir cetak (bila menggunakan pasir cetak), sistem peleburan, sistem penuangan dan pekerjaan akhir dari produk coran (Surdia, 1985).

Pada pengecoran aluminium memiliki peranan penting di dalam perkembangan industri aluminium sejak ditemukannya pada akhir abad XIX. Produk komersial aluminium hasil cor yang pertama adalah peralatan rumah tangga dan komponen-komponen dekorasi. Pemakaian aluminium saat ini sudah diarahkan untuk memenuhi kebutuhan spesifikasi dibidang keteknikan. Metode pengecoran dengan cetakan pasir (*sand casting*) merupakan pengecoran paling tua yang sudah dikenal serta dimanfaatkan oleh manusia sejak 4000 (BC). Pengecoran cetakan pasir dan

percabangannya saat ini telah berkembang dengan pesat, lebih dari 90% dimana produk-produk cor dikerjakan dengan proses (Soejono Tjitro, 2020).

Aluminium (Al) adalah salah satu logam non ferro yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah memiliki berat jenis yang ringan, ketahanan terhadap korosi, dan hantaran listrik yang baik. Adapun sifat dasar dari aluminium (Al) murni adalah memiliki sifat mampu cor yang baik dan sifat mekanik yang jelek (Surdia dan Saito, 1985).

Paduan Al-Cu adalah paduan Al yang mengandung tembaga 4 - 5%, memiliki sifat-sifat mekanik dan mesin yang baik tetapi cornya agak jelek. Paduan Al-Cu-Si dibuat dengan menambah 4-5% Si pada paduan Al-Cu untuk memperbaiki sifat mampu cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor mobil, meteran dan rangka utama dari katup-katup (Raharjo, 2018).

Material yang di gunakan adalah aluminium seri 6061 salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari bagian sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik. Paduan aluminium 6061 mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti tahan terhadap korosi. Selain itu aluminium seri 6061 juga sering digunakan untuk diaplikasikan pada temperatur dibawah nol derajat, tangki, bejana tekanan temperatur rendah, peralatan kelautan, rig pengeboran, struktur rangka bangunan, pembangunan struktur pesawat seperti sayap dan badan pesawat, cano, gerbong kereta api, dan konstruksi kapal pesiar. Metode yang dapat diterapkan untuk mendapatkan aluminium dengan kekerasan dan kekuatan yang optimal antara lain dengan laku panas *presipitation hardening* atau *age hardening*. Untuk mengetahui bagaimana kekerasan, kekuatan dan struktur mikro aluminium 6061 (Pradani, Sulaiman dan Hardiyanto, 2020).

Bantalan yang ditempatkan di depan dermaga disebut dengan *fender*. Perencanaan *fender* ditentukan berdasarkan besarnya energi yang diserap akibat benturan kapal. Kapal sebagai sarana pelayaran mempunyai peran sangat penting dalam sistem angkutan laut. Kapal mempunyai kapasitas

yang lebih besar daripada sarana angkutan lainnya. Di pelabuhan, kapal melakukan berbagai kegiatan seperti menarik dan menurunkan penumpang, bongkar muat barang, pengisian bahan bakar, dan sebagainya. Pada waktu merapat kedermaga, kapal masih mempunyai kecepatan baik yang dihasilkan oleh energi dari mesin itu sendiri (untuk kapal kecil) maupun ditarik menggunakan kapal tunda (untuk kapal besar) (Fauzan, 2018).

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. Fungsi ke dua *fender* tipe D ini adalah salah satu jenis *fender* yang banyak dan umum digunakan di seluruh dunia. *Fender* ini sangat cocok digunakan pada dermaga dermaga kecil sebagai pelindung kapal yang akan sandar atau sedang berlabuh. *Fender* ini juga memiliki ketahanan dalam jangka waktu yang sangat lama karena fisiknya yang sangat kuat dan ringan, namun dapat bekerja untuk melindungi kapal dan dermaga dengan aman karena karet *fender* ini memiliki kemampuan penyerapan energi dan gaya reaksi yang tinggi terhadap benturan. Produk ini umumnya di produksi dengan sistem ekstrusi dan disesuaikan dengan kebutuhan desain dan ukuran yang diharapkan (Fauzan, 2018).

Berdasarkan uraian di atas *fender* ini sangat kuat dan ringan sehingga cocok menggunakan aluminium 6061, maka penulis tertarik untuk meneliti dengan judul: “Pengecoran *Fender* Aluminium 6061 dengan Variasi Penambahan Cu”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dibuat perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan penambahan Cu.
2. Bagaimana pengaruh variasi pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan pengujian kekerasan.

3. Bagaimana pengaruh variasi pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan mikrostruktur.
4. Bagaimana pengaruh variasi pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan pengujian komposisi XRF

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, ada beberapa tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisis pengaruh hasil penambahan Cu pada aluminium 6061 terhadap kualitas hasil pengecoran *fender*.
2. Menganalisis pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan penambahan Cu dengan pengujian kekerasan
3. Menganalisis pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan penambahan Cu dengan pengujian mikrostruktur.
4. Menganalisis pengecoran *fender* aluminium 6061 dengan penambahan Cu dengan pengujian komposisi XRF.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Material yang digunakan adalah aluminium 6061.
2. Desain *gating system* yang disimulasi dengan metode *middle gating system*.
3. Temperatur yang digunakan 700<sup>0</sup>C.
4. Metode yang di gunakan adalah cetakan pasir *resin coated sand*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian yang dilakukan ini dapat memberikan informasi sebagai referensi bahan ajar atau pembelajaran, sebagai referensi pengembangan konsep perancangan pengecoran *fender* dengan penambahan Cu pada aluminium 6061 dengan media pasir cetak *resin coated sand*.

## **1.6 Metode Penelitian**

Adapun metode yang digunakan dalam penyusunan penulisan ini yaitu:

- 1 Metode eksperimen yaitu merupakan 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 dan uji komposisi XRF.
- 2 Metode pustaka yaitu mengumpulkan referensi yang berhubungan dengan masalah yang akan dianalisa melalui perpustakaan, jurnal dan internet.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengecoran cetakan pasir**

Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan. Cetakan yang lazim digunakan terbuat dari pasir yang mengandung atau telah dicampur dengan bahan pengikat. Jenis logam yang banyak digunakan untuk pembuatan produk cor adalah aluminium. Aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanik yang jelek. Oleh karena itu dipergunakan paduan aluminium karena sifat-sifat mekaniknya dapat diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan, dan sebagainya (Surdia, 2000).

Kualitas coran salah satunya tergantung pada sistem saluran yang diantaranya saluran turun, penambah, keadaan penuangan, dan lain lain. Kondisi aliran logam bergantung pada *ingate* karena *ingate* adalah area dimana logam memasuki rongga cetakan. *Ingate* dapat ditempatkan di beberapa lokasi di cetakan, tergantung pada geometri cetakan dan jenis sistem saluran. Selain itu *ingate* juga berfungsi sebagai saluran cadangan apabila terjadi penyusutan yang dapat menjadikan produk menjadi cacat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan model saluran terhadap cacat yang dihasilkan dari pengecoran logam paduan Al-Si, Untuk mengetahui pengaruh penggunaan model saluran terhadap fluiditas hasil pengecoran logam paduan Al-Si, Untuk mengetahui pengaruh penggunaan model saluran terhadap kekerasan hasil pengecoran logam paduan Al-Si.

Penuangan logam cair ke dalam cetakan adalah satu dari langkah-langkah kritis dalam pengecoran karena perilaku cairan dan pembekuannya serta pendinginan menentukan apakah coran dapat terbentuk dengan baik dan bebas cacat. Campbell (2006) menyatakan bahwa skrap coran sebagian besar disebabkan oleh beberapa detik saat penuangan logam cair.

Keberhasilan penuangan tergantung pada kualitas logam cair. Proses manufaktur sebagian tergantung pada sifat-sifat dan desain cetakan (seperti sifat cetakan dan teknik saluran yang mengalirkan logam ke *mould cavity*/cetakan kosong). Ahli pengecoran logam (*foundryman*) juga mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja pada cetakan dan kontraksi/penyusutan volume yang terjadi saat suhu pendinginan hingga pembekuan. Akan tetapi, semua diawali dengan sifat aliran logam cair dalam kondisi pengecoran (Campbell, 2006).

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 dipengaruhi oleh temperatur, dimana pada temperatur tinggi tingkat kekentalan logam cair menjadi lebih rendah dan begitupun juga 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 kekasaran 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 Budiyo dan Widayat (2013) yang meneliti tentang pengecoran aluminium untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan membuat perlakuan-perlakuan pada logam cair diantaranya adalah 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%;

3. Dan cara modifikasi (*aluminum alloys*) dengan *salt method* menggunakan COVERAL 11 pada temperatur 750°C selama 2,5 menit pengadukan dengan *rotary deggaser*, yang dapat meningkatkan sifat mekanik adalah penambahan COVERAL 11 sebanyak 0.07% pada temperatur 750°C selama 2,5 menit pengadukan dengan rotary deggaser.

Berdasarkan penelitian Subiyanto dan Subowo (2018) 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 A356.0. Semakin meningkatnya temperatur penuangan 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 hidrogen semakin banyak sehingga nilai kekuatan tarik elongasi dan nilai kekerasan mengalami penurunan.

Total waktu pembekuan (*total solidification time*) adalah waktu yang dibutuhkan antara penuangan sampai terjadinya pembekuan, yang lamanya ditentukan oleh bentuk dan ukuran coran. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan *Chvorinov's Rule* seperti pada Persamaan (2.1) (Kalpakjian, 2006).

$$TST = C_m \left(\frac{V}{A}\right)^n \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

TST = Total waktu pembekuan

Cm = Konstanta

V = Volume coran (mm<sup>3</sup>)

A = Luas lenampang coran (mm<sup>2</sup>)

n = Eksponen (2)

Menurut Soejono Tjitro (2001) yang meneliti tentang penentuan waktu solidifikasi dan diameter *riser* optimal pada paduan aluminium sound LM6 (Al-12% Si). Mereka menggunakan pengecoran pelat berdimensi 240x150x25 mm dengan kombinasi berbagai dimensi *riser*. dengan tinggi *riser* H/D ratio = 1 ditentukan dengan simulasi komputer menggunakan *software* ANSYS. Sifat pengecoran pelat seperti porositas dan *ultimate tensile strength* dibandingkan dengan sifat uji pengecoran dan diamati bahwa diameter *riser* yang dihitung dengan *software* ANSYS sudah optimal dan menghasilkan kekuatan pengecoran. Dari hasil percobaan yang diperoleh dipastikan bahwa diameter *riser* 100 mm sudah optimum dan juga telah meningkatkan solidifikasi terarah yang menambah kekokohan *casting*. 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 inti disiapkan jika perlu dan akhirnya cetakan diproduksi. 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, sungai sungai, pasir silika alam maupun pasir silika buatan dicampurkan pengikat khusus agar dapat mengikat butir-butirnya (Kotschi, 1988).

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 paling lazim dengan kekuatannya yang menonjol dan akurasi dimensi tinggi dalam membuat komponen. Selain itu, metode ini lebih cocok untuk produksi volume tinggi dan menghemat lebih banyak energi dalam pembuatan. Kekurangannya dengan pendekatan ini adalah bahwa hal itu membutuhkan waktu yang relatif lebih banyak untuk memperbaiki reaksi berlangsung dan memungkinkan pengikat untuk mengatur cetakan. Namun, keuntungan dari sistem cetakan ini mendominasi kelemahan tersebut dan mendorong untuk memanfaatkan cetakan pasir berikat resin (Surekhaa, et.al, 2014).

Pada penelitian González, et.al. (2011) penulis fokus pada memvariasikan jenis pengikat dan jumlahnya serta mempelajari pengaruhnya terhadap berbagai sifat inti pasir. Analisis dua pengikat resin dan pasir silika dengan dua distribusi ukuran butir; inti ditiup dengan campuran pasir yang memiliki resin dalam kisaran 0,8 hingga 1,15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik terbaik diperoleh dengan resin A, karena inti yang dihasilkan menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi dan jumlah gas yang berevolusi lebih rendah daripada inti yang diproduksi dengan resin B. Satu-satunya karakteristik di mana resin B menunjukkan hasil yang lebih baik adalah sehubungan dengan kehidupan bangku. Jumlah yang lebih rendah dari gas yang dihasilkan oleh resin A dapat mengakibatkan peningkatan kualitas permukaan dari potongan yang diproduksi, karena kejadian gas yang terperangkap dapat dikurangi. Pekerjaan tersebut menunjukkan peningkatan kekuatan yang dihasilkan dengan menambah resin yang digunakan untuk membuat inti, tetapi peningkatan gas yang dihasilkan mungkin sesuai dengan penambahan bagian yang rusak karena pembentukan gelembung dan cacat terkait gas lainnya. Penggunaan pasir yang lebih halus berkontribusi pada peningkatan

kekuatan, sehingga dimungkinkan untuk mengurangi jumlah resin dalam inti yang mengalami tegangan lebih tinggi tanpa merusak karakteristiknya. Efek ini dapat digunakan untuk menghasilkan coran berkualitas tinggi. Sedangkan penggunaan pasir halus dihindari karena terjadinya cacat akibat gas yang terperangkap, jika jumlah resin berkurang maka jumlah gas yang dihasilkan akan berkurang juga.

Cacat dapat didefinisikan sebagai karakteristik yang menciptakan kekurangan atau ketidak sempurnaan yang berbeda dengan spesifikasi kualitas yang dikenakan oleh desain dan persyaratan layanan. Pada penelitian Narayanswamy dan Natrajan (2016) yang meneliti berbagai cacat *casting*. Mereka mengkategorikan cacat seperti *filling related defects* (FRD), *shape related defects* (SRD), *thermal defects* (TD) dan cacat menurut penampilan. Studi mengenai cacat pengecoran dilakukan selama satu tahun dari April 2014 hingga Maret 2015 di pabrik pengecoran Ammarum, Coimbatore dan detailnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

**Tabel 2.1** *Percentage of rejection*

Month/Year	FRD	SRD	TD	DBA	Total Rejection
April'14	5.14	3.08	2.53	3.5	14.42
May'14	5.80	3.15	2.65	3.41	15.01
June'14	5.10	3.60	2.60	3.48	14.78
July'14	4.98	3.24	2.52	3.21	13.95
Aug'14	5.14	3.10	2.57	3.18	13.39
Sep'14	4.47	2.90	2.50	2.99	12.86
Oct'14	4.31	3.03	2.53	3.00	12.87
Nov'14	2.29	2.38	2.54	2.87	13.08
Dec'14	5.10	2.96	2.53	3.05	13.64
Jan'15	3.36	3.11	2.53	3.31	14.31
Feb'15	5.72	3.13	2.64	3.36	14.85
Mar'15	5.00	3.42	2.62	3.44	14.48

Dari Tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa persentase bulanan penolakan karena cacat ini bervariasi dari 12,86% hingga 15,01%. Mereka menyimpulkan bahwa kualitas coran bergantung pada kualitas pasir, metode operasi, kualitas logam cair dan kondisi lingkungan, dan lain-lain.

Menurut Jadhav et.al. (2013) pengurangan cacat dengan mengontrol komposisi paduan dan temperatur penuangan. Tujuh metodologi kendali mutu digunakan untuk menganalisis dan mengurangi cacat yang meliputi *Check sheet*, analisis pareto, diagram sebab-akibat, diagram alir, diagram pencair, histogram, dan diagram kendali. Ditemukan bahwa suhu tuang komposisi paduan adalah akar penyebab dari cacat utama ini. Tindakan perbaikan yang perlu dilakukan dalam produksi blok silinder agar *cold shut* berkurang hingga 50%. total penolakan dari penutupan dingin berkurang menjadi 6,6% dari 12,3%. Kajian sistematis ini membuktikan bahwa melalui analisis alat dan proses yang efektif, dimungkinkan untuk menghilangkan atau mengendalikan cacat pengecoran.

Pada penelitian Chatrad, et.al. (2016) mempelajari berbagai parameter yang mempengaruhi cacat seperti peleburan logam, bahan paduan, suhu penuangan, proses penuangan dan waktu penuangan, kotoran yang ada dalam cawan, dan lain-lain. Dengan mempertimbangkan kisaran suhu 1400<sup>0</sup>C – 1450<sup>0</sup>C dengan berbagai interval waktu (waktu penanganan dan waktu penuangan) dicatat berbagai jenis penolakan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Hasil yang dioptimalkan untuk cacat *casting*

Temperature °C	Hendling time in sec	Pouring time	No. of components tested	Type of rejection
1400	9.56	4.3	30	Cold shut
1410	10.21	5.4	30	Porosity
1420	11.45	5.2	30	Rib cut
1430	10.69	4.6	30	Porosity
1440	11.9	4.2	30	Blow hole

Hasil dari tabel menyimpulkan parameter yang dioptimalkan dengan cacat pengecoran minimum dengan dampak ekonomi dari operasi

manufaktur kritis yang terkait dengan beberapa studi kasus spesifik dan kemungkinan tujuan telah diidentifikasi. Persentase penolakan lebih sedikit pada 1420°C-1480°C. Persentase penolakan meningkat setidaknya pada suhu 1400°C dan suhu maksimum 1480°C. Ketika waktu penuangan meningkat, laju penolakan juga meningkat. Seiring bertambahnya waktu penanganan yang menyebabkan peningkatan komponen yang rusak. Porositas dan inklusi meningkat karena kotoran pada sendok dan jamur akibat pembersihan yang tidak tepat.

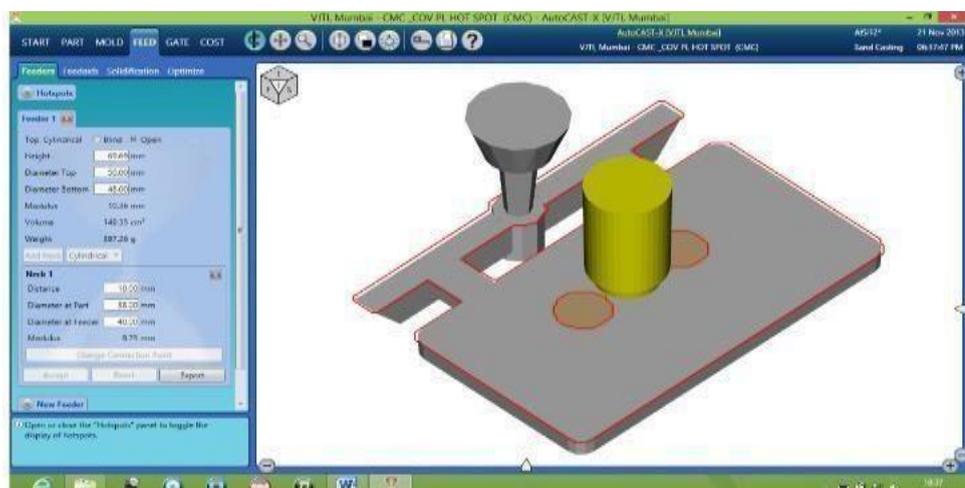
Pada penelitian Wankhede, et.al. (2018) yang memfokuskan penelitian pada peningkatan sifat mekanik pengecoran logam dengan mengontrol berbagai parameter pengecoran seperti parameter proses dan aplikasi alat bantu pendingin. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendinginan eksternal membantu mendorong solidifikasi terarah dan juga berdampak signifikan pada sifat mekanik coran paduan silikon aluminium. Laju pendinginan yang cepat membantu mengurangi jarak lengan dendrit yang pada akhirnya memberikan sifat mekanis yang lebih baik. *Ultimate tensile strength* meningkat pada awalnya dan kemudian menurun dengan peningkatan suhu penuangan dan ukuran *chill*. Pengaplikasian *external chill* menunjukkan peningkatan kekerasan dan kemudian 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.

## **2.2. Desain Gating System**

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

Pada penelitian Hirigo dan Singh (2019) bahwa proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Pro CAST untuk pengisian cetakan, analisis pembekuan, dan juga untuk mengurangi tingkat dan 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 dikeduanya yaitu *gating system* dan bagian *roller*. Dapat disimpulkan bahwa simulasi membantu memvisualisasikan fenomena pengisian dan pembekuan 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 prematur 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 2.1.



**Gambar 2.1** 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 cm<sup>3</sup> dengan kualitas 100%. Kualitas, hasil *fender* dan efisiensi pemberian *fender* yang diperoleh dari *software* masing-masing 99,89, 84,66 dan 22,82%.

Menurut Nimbalkar dan Dalu (2016) meneliti tentang desain *gating system* untuk mengetahui wilayah solidifikasi terakhir dalam pengecoran dan menghilangkan cacat. Mereka menemukan bahwa *gating system* dengan posisi vertikal tidak cocok untuk komponen pengecoran tebal sehingga diusulkan *gating system* dan *feeder* dengan posisi horizontal sehingga aliran logam cair menjadi seragam, gas mudah keluar ke atmosfer. Cacat terkait pemberian *feeder* telah berkurang sebesar 30%. *Feeding yield*, *gating yield* dan *casting yield* dievaluasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Feeding yield} = \text{Volume of Casting} / (\text{Volume of Casting} + \text{Volume of Feeder})$$

$$\text{Gating Yield} = \text{Weight of Casting} / (\text{Weight of Casting} + \text{Weight of Gating}).$$

$$\text{Casting Yield} = \text{Weight of Casting} / (\text{Weight of Casting} + \text{Weight of Feeding} + \text{Weight of Gating}). \dots\dots\dots (2.2)$$

Menurut Kurniawan (2014), 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 paramater desain *gating system* sebagai berikut:

**a. Effective sprue height**

Dalam menentukan *Effective sprue heigt* Dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3 :

$$ESH = \frac{2hc-(p)^2}{2c} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

*ESH* = Effective Sprue Height (mm)

*h* = Tingga Sprue (mm)

- $p$  = Wall thickness (mm)
- $c$  = Tinggi produk coran (mm)

**b. 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 “menyatakan laju aliran massa cairan konstan pada setiap penampang” (Kumar, et.al., 2016).

Untuk menghitung *sprue* area menggunakan Persamaan 2.4 berikut:

$$A_s = \frac{W_g}{\rho m * t_p * \mu * \sqrt{2 * g * H}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- $A_s$  = *Sprue arae* (mm<sup>2</sup>)
- $W_g$  = Massa penegcoran (kg)
- $\rho m$  = Massa jenis logam cair (kg/mm<sup>3</sup>)
- $t_p$  = Suhu penuangan (s)
- $\mu$  = Faktor efisiensi yang diambil 0,8

**c. Menentukan ingate**

Design total area *ingate* ialah laju aliran ke dalam rongga coran dapat dikendalikan oleh jumlah *ingates*. Rasio *gating* yang digunakan pada Persamaan 2.5:

$$A_S : A_R : A_G = 1 : K : 1 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$$A_S = \textit{Sprue area}$$

$A_R$  = *Runner area*

$A_G$  = *Total ingate area*

$K$  =  $\sqrt{n}$

$K$  = 2 (untuk saluran masuk dengan jumlah lebih dari 4 dipergunakan  $K=2$ )

$n$  = Jumlah saluran masuk

*Gating ratio* didefinisikan sebagai perbandingan antara luas penampang melintang *sprue* : total luas penampang *runner* : total luas penampang *gate* (*Sprue* : *Runner* : *Ingate*). Umumnya untuk besi cor dan baja, ini menurun. Menurut banyak peneliti *gating ratio* yang direkomendasikan sebagai berikut) : Penuangan Cepat (1 : 2 : 4), Penuangan Biasa (1 : 0.9 : 0.8), dan Penuangan Lambat (1 : 0.7 : 0.5) (Abrianto, 2009).

Berdasarkan *gating ratio* di atas, dipilih proses penuangan cepat. Penuangan cepat merupakan alternatif yang dipilih karena sangat efektif untuk pengecoran logam menggunakan cetakan pasir resin RCS (Syafikri, et.al, 2017).

**d. Design riser**

*Feeder* atau *riser* dirancang untuk mengkompensasi penyusutan dalam pemadatan coran 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 pemadatan coran sehingga membatalkan cacat penyusutan pada pengecoran (Evans, et.al, 2017).

Diameter atas dan bawah ditentukan oleh Persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\{V/A\}^2 r = 1.5\{V/A\}^2 c \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\left(\frac{V}{A}\right) r = 1.22 \left(\frac{V}{A}\right) c$$

Dimana :

(V/A) r = rasio luas volume dari *riser*

(V/A) c = rasio luas volume dari *casting*

Bentuk *riser* adalah silinder seperti frustum; oleh karena itu, rasio volume terhadap luas permukaan ditemukan menggunakan Persamaan:

$$\frac{V}{A} = \frac{\pi hr}{12} \left( \frac{dt^2 + de^2 + dt^2 de}{Al + At + Ae} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

A = Total *surface* area (mm<sup>2</sup>)

Al = Daerah laten (mm<sup>2</sup>)

At = Luas penampang atas *riser* (mm<sup>2</sup>)

Ae = Luas penampang bawah *riser* (mm<sup>2</sup>)

dt = Diameter atas (mm)

de = Diameter bawah (mm)

**e. Volume riser**

Sebuah *feeder* atau *riser* bertindak seperti *reservoir* logam cair yang akan dimasukkan ke dalam area pengecoran yang membutuhkan logam ekstra. Volume logam yang dicadangkan dalam *riser* ditentukan berdasarkan dimensi sebenarnya menggunakan persamaan 2.8

$$\text{Volume riser} = \frac{\pi h}{12} (d_{\text{top}}^2 + d_{\text{exit}}^2 + d_{\text{top}} \times d_{\text{exit}}) \dots \dots \dots (2.8)$$

**f. Modulus cor riser**

Dalam menentukan modulus *riser* menggunakan persamaan 2.8 sebaga berikut:

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

- Mr = Modulus *riser* (mm)
- Vr = Volume *riser* (mm<sup>3</sup>)
- Ar = Luas permukaan *riser* (mm<sup>2</sup>)

**g. Modulus cor produk**

Dalam menentukan modulus cor produk menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

- Mc = Modulus cor (mm)
- Vc = Volume cor (mm<sup>3</sup>)
- Ac = Luas permukaan (mm<sup>2</sup>)

### **2.3. Aluminium dan Paduannya**

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 dan Saito, 1985).

Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi (Husaini, 2006).

Adapun dari buku ASM Metal Handbook Volume 9, pada tahun 2004, untuk aluminium seri 6061 memiliki komposisi kimsia dimana unsur Al memiliki persentase yang paling besar, kemudian disusul dengan persentase unsur Mg dan unsur Si, mengingat bahwa aluminium seri 6061 ini merupakan paduan dari Al-Mg-Si, seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Klasifikasi paduan tempa aluminium, mekanisme penguatan, dan rentang nilai kekuatannya (Subagio, 2017)

Seri Aluminium	Sistem Paduan	Tensile Strength (Mpa)
<b>Work-hardenable alloy</b>		
1xxx	Al murni	70-75
3xxx	Al-Mn-Mg-	140-280
4xxx	Al-Si	105-350
5xxx	Al-Mg	140-280
<b>Precipitation-hardenable alloys</b>		
2xxx	Al-Cu-Mg	170-310
2xxx	Al-Cu-Mg-Si	380-520
6xxx	Al-Mg-Si	150-380
7xxx	Al-Zn-Mg	380-520
7xxx	Al-Zn-Mg-Cu	520-620
8xxx	Al-Li-Cu-Mg	280-560

Berikut ini tabel klasifikasi aluminium paduan yang dapat diperkuat dengan perlakuan panas dan yang tidak dapat di berikan perlakuan panas. Seperti pada Tabel 2.2 yang memeberikan perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dan Tabel 2.3 yang merupakan pengelompokan paduan aluminium. Dari tabel tersebut akan diketahui kodefikasi dan sifat bahan alumunium dengan paduan yang berbeda-beda sesuai dengan pengelompokan atau klasifikasi.

**Tabel 2.4** Klasifikasi paduan aluminium (Subagio, 2017)

Al paduan untuk dimensi	Paduan jenis tidak dapat di perlakuan panas (non-heat-treatble)	Al murni (seri 100) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (seri 5000)
	Paduan jenis dapat perlakuan panas (heat-treatable)	Paduan Al-Cu (seri 2000) Paduan Al-Mg (seri 6000) Paduan Al-Mg (seri 7000)
Al paduan untuk cor	<i>Non-heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Si (Silumin) Paduan Al-Mg (Hydronarium)
	<i>Heat – treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu (Lautal) Paduan Al-Si-Mg (Silumin, Lo-ex)

**Tabel 2.5** Klasifikasi aluminium berdasarkan perlakuan yang dilakukan

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
210-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-3009	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069		Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

Berikut ini merupakan jenis-jenis aluminium paduan yang sering digunakan dan paduan aluminium dengan proses pengerjaan yang berbeda-beda. Kekerasan dan kekuatan Uji tarik yang cukup besar, hingga mencapai 525 MPa pada aluminium paduan yang dihasilkan pada perlakuan panas. Jika konsentrasi silikon lebih tinggi dari 15%, tingkat kerapuhan logam akan meningkat secara drastis akibat terbentuknya kristal granula silika.

**Tabel 2.6** Komposisi aluminium silikon tuang AC4B

Komposisi (%)														
Standar	Nama	Cu	Zn	Al	Mn	Ni	Pb	Sn	Fe	Si	Mg	Ti	Cr	Pengotor lain
JIS	AC4B	2-4	$\leq 1.0$	Sisa	$\leq 0.5$	$\leq 0.35$	$\leq 0.2$	$\leq 0.1$	$\leq 1.0$	7-10	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.2$	-
AA	333.0	3-4	$\leq 1.0$	Sisa	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	-	-	$\leq 1.0$	8-10	0.03-0.50	$\leq 0.25$	-	$\leq 0.5$
ASTM	333.0	3-4	$\leq 1.0$	Sisa	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	-	-	$\leq 1.0$	8-10	0.05-0.50	$\leq 0.2$	-	$\leq 0.5$
DS DIN	G(GK)- AISI8Cu3	2.0-3.5	$\leq 1.0$	Sisa	$\leq 0.5$	$\leq 0.3$	$\leq 0.2$	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	7.5-9.5	0.1-0.3	$\leq 0.15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$

Berdasarkan komposisi silikon dalam paduan, AC4B memiliki mikrostruktur hipoeutektik. Mikrostruktur dengan jenis hipoeutektik umumnya lebih baik untuk pengecoran yang lebih kompleks dengan proses permanent  *mold* dan  *dies casting* Kontribusi silikon dalam paduan ini dapat meningkatkan mampu cor dan menghilangkan  *hot shortness*, sedangkan Cu berkontribusi untuk menguatkan dan meningkatkan sifat mampu mesin. Karakteristik tersebut membuat paduan AC4B memiliki sifat mampu cor yang baik, kuat, dan dapat diberi perlakuan panas.

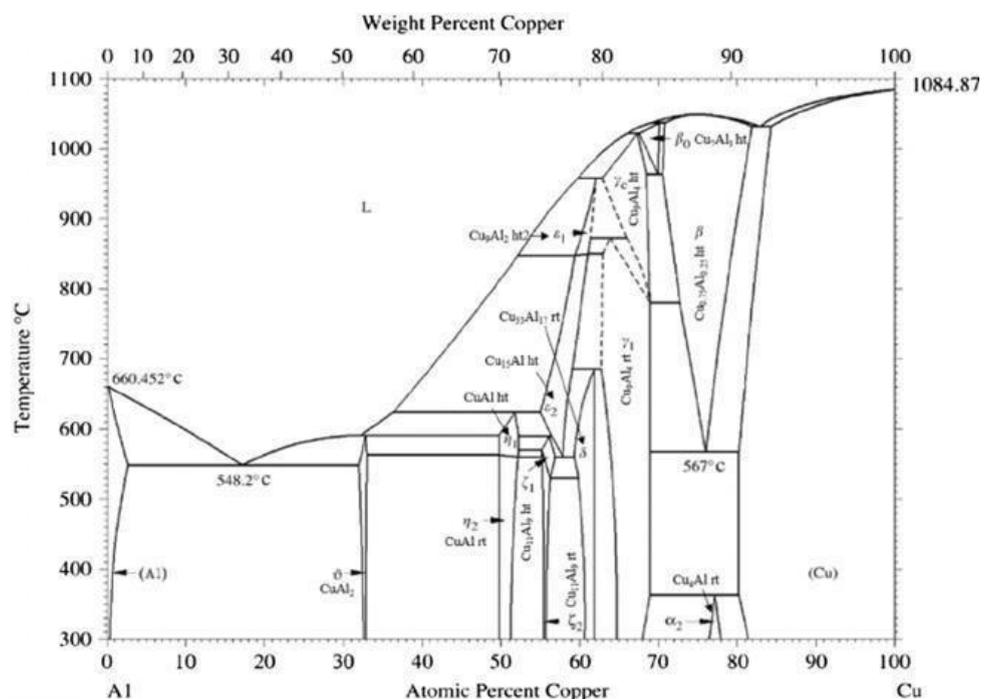
### **2.3.1. Grade aluminium Seri 1xxx**

Grade dari aluminium ini (1050, 1060, 1kasar, 1145, 1200, 1230, 1350 dan lain-lain) ditandai dengan ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, sifat mekanik yang rendah, dan kemampuan kerja yang sangat baik. Grade aluminium ini memiliki kandungan Besi dan silikonyang besar.

### **2.3.2. Grade aluminium Seri 2xxx**

Paduan aluminium ini (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201,0; 203,0; 206,0; 224,0; 242,0 dll) memerlukan  *solution heat treatment* untuk mendapatkan sifat yang optimal, di dalam kondisi  *solution heat treatment* , sifat mekanik yang mirip dengan baja karbon rendah dan kadang- kadang melebihi sifat mekanik baja karbon rendah. Dalam beberapa contoh, proses perlakuan panas (*aging*) digunakan untuk lebih meningkatkan sifat mekanik. Paduan aluminium dalam seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik ketimbang kebanyakan paduan aluminium lainnya, dan dalam kondisi tertentu paduan ini mungkin akan terjadi korosi pada antar butir  *grade* aluminium dalam seri 2xxx ini baik untuk bagian yang membutuhkan kekuatan yang bagus yaitu pada suhu sampai 150°C (300°F). Kecuali untuk kelas 2219, paduan aluminium ini sudah memiliki mampu las tetapi masih terbatas. beberapa paduan dalam seri ini memiliki kemampuan mesin yang baik. Kelarutan maksimum dari tembaga

pada aluminium adalah 5,65% pada 1018 oF, sedangkan pada suhu 572 oF kelarutannya turun menjadi 0,45%. Adapun paduan yang mengandung tembaga 2,5-5% dapat mengalami perlakuan panas dengan penguatan penguatan, fase theta ( $\theta$ ) adalah fase menengah paduan yang komposisinya mendekati senyawa  $\text{CuAl}_2$ , perlakuan kelarutan dilakukan dengan memanaskan paduan pada daerah fase tunggal, kappa ( $\kappa$ ) yang diikuti dengan pendinginan secara cepat. Penuaan selanjutnya baik alami maupun buatan akan mengakibatkan presipitasi pada fase ( $\theta$ ) sehingga memperkuat paduan. tersebut. Paduan ini mungkin mengandung sejumlah kecil silikon, besi, magnesium, mangan serta seng (Sumber Sidney, H.A., 1974).



Gambar 2.2 Diagram fasa Al Cu

### 2.3.3. Grade aluminium Seri 3xxx

Paduan aluminium ini (3003, 3004, 3105, 383,0; 385,0; A360; 390,0) umumnya memiliki ketidakmampuan panas tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan aluminium seri 1xxx karena hanya memiliki presentase mangan yang sedikit (sampai sekitar 1,5%) yang dapat ditambahkan ke aluminium. Mangan digunakan sebagai

elemen utama dalam beberapa paduan

#### **2.3.4. *Grade aluminium Seri 4xxx***

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx (4032, 4043, 4145, 4643 dll) adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (hingga 12%) menyebabkan substansial menurunkan rentang lebur. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon yang digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan untuk menyolder digunakan untuk menggabungkan aluminium, di mana titik lebur lebih rendah dari logam dasar yang digunakan.

#### **2.3.5. *Grade aluminium Seri 5xxx***

Unsur paduan utama grade aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi (150°) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi

#### **2.3.6. *Grade aluminium Seri 6xxx***

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida  $Mg_2Si$  sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan–paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka–rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi. Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi.

Aluminium 6061 dan paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida ( $Mg_2Si$ ), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang. Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan–paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka–rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi (Surdia .T. & Saito,S., 1985).

Garis *solvus* menunjukkan penurunan yang sangat tajam pada

kelarutan magnesium dengan penurunan temperatur, kebanyakan paduan aluminium tanpa pada kelompok ini mengandung magnesium kurang dari 5% dan juga kandungan silikon yang rendah, karakteristik paduan ini ialah mampu las yang baik dan ketahanan korosi yang tinggi. Komposisi nominal aluminium tipe 6061 adalah 97,9% Aluminium, 0,6% Silikon, 1,0% Magnesium, 0,2% Kromium, dan 0,28% Tembaga. Densitas paduan tipe 6061 adalah  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ( $0,0975 \text{ lb/in}^3$ ). Paduan aluminium dapat diolah dengan panas, dibentuk, dilas, dan bagus dalam menahan korosi (Sidney,H.A., 1974).

### **2.3.7. Grade aluminium Seri 7xxx**

Zinc jumlah dari 1% sampai 8% ) merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7xxx (7075, 7050, 7049, 710,0; 711,0 dll) dan ketika digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil didalam perlakuan panas yang cukup maka paduan ini akan memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil. paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur badan pesawat, peralatan besar yang bergerak dan bagian lainnya memiliki tekanan yang sangat tinggi (Subagio, 2017).

## **2.4. Fender**

*Fender* yang diusulkan dirancang untuk dermaga dermaga kondensat dan asam sulfat di Proyek Blok Senoro. Fokus utama penyelidikan kami adalah memilih sistem *spatbor* untuk menahan beban benturan seperti berlabuh energi. 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. Analisis sistem *fender* yang disajikan dalam penelitian ini mengikuti asumsi umum bahwa kapal adalah kapal bermuatan

penuh (perhitungan kasus kritis) dan mendekati pada sudut  $10^\circ$  ke muka dermaga, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Perhitungan kasus kritis adalah didefinisikan sebagai saat ketinggian air pasang astronomis (HAT) tertinggi dikombinasikan dengan kapal pemberat dan ketinggian air pasang astronomis (LAT) terendah dikombinasikan dengan Kapal Muat Penuh biasanya diasumsikan bahwa haluan kapal akan mengenai spatbor, dan hanya kira-kira setengah tonase yang akan efektif dalam menciptakan energi benturan untuk diserap oleh bagian-bagian *fender*.

## 2.5. Jenis-Jenis *Fender*

*Fender* dibuat dari bahan elastis, seperti kayu atau karet. *Fender* kayu bisa berupa batang kayu yang dipasang di depan muka dermaga atau tiang kayu yang dipancang. Saat ini *fender* kayu sudah tidak banyak digunakan, mengingat harga kayu tidak lagi murah dan masalah lingkungan yang muncul dengan penebangan pohon. Kecuali untuk pelabuhan kecil di daerah Sumatera, Kalimantan, dan Papua dimana masih tersedia cukup banyak kayu. *Fender* karet yang merupakan produk pabrik semakin banyak digunakan karena kualitasnya lebih baik.

### 2.5.1. *Fender* Kayu



**Gambar 2.3** *Fender* kayu pada dermaga

*Fender* kayu bisa berupa batang-batang kayu yang dipasang

horizontal atau vertikal di sisi depan dermaga. Untuk *fender* dari kayu yang digantung pada sisi dermaga, panjang *fender* sama dengan sisi atas dermaga sampai muka air. *Fender* kayu ini mempunyai sifat untuk menyerap energi. Sedangkan pada *fender* kayu yang berupa tiang pancang yang dilengkapi dengan balok memanjang (horizontal), *fender* tersebut ditempatkan di depan dermaga dengan kemiringan 1:24 dan akan menyerap energi karena defleksi yang terjadi pada waktu dibentur kapal. Penyerapan energi tidak hanya diperoleh dari defleksi tiang kayu, tetapi juga dari balok kayu memanjang. Tiang kayu dipasang pada setiap seperempat bentang. *Fender* jenis ini makin kurang penggunaannya, karena semakin sulit mendapatkan kayu panjang.

#### 2.5.2. *Fender* Gravitasi

*Fender* gravitasi biasanya yang digantung sepanjang dermaga dan dibuat dari tabung baja yang diisi dengan beton dan sisi depan diberi pelindung kayu. *Fender* ini akan bergerak untuk meredam energi ketika terjadi benturan kapal dengan dermaga. Proses kerja *fender* ini merubah energi kinetik menjadi energi potensial.



**Gambar 2.4** *Fender* gravitasi

### 2.5.3. *Fender Karet*

*Fender* karet atau dalam istilah luar menyebut *rubber fender* ini merupakan tipe *fender* yang paling banyak digunakan karena sudah terbukti tingkat keamanan dan keawetan umur suatu konstruksi dermaga dan pelabuhan. *Fender* jenis ini merupakan hasil dari produksi pabrik yang mengelola karet. *Fender* jenis ini memiliki ukuran dan bentuk yang bervariasi tergantung permintaan sesuai ukuran suatu dermaga.



**Gambar 2.5** *Fender* karet pada dermaga