



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

# ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ALUMINIUM (Al) TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN LAJU KOROSI ANODA TUMBAL BERBASIS SENG (Zn) UNTUK KAPAL DENGAN METODE PENGECORAN

HERALD MATIUS UNGGUL  
NRP. 0251144000077

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018





**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ALUMINIUM  
(Al) TERHADAP STRUKTUR MIKRO,  
KEKERASAN DAN LAJU KOROSI ANODA  
TUMBAL BERBASIS SENG (Zn) UNTUK KAPAL  
DENGAN METODE PENGEORAN**

Herald Matius Unggul  
NRP. 0251144000077

Dosen Pembimbing:  
Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**ANALYSIS OF ALUMINUM (Al) COMPOSITION  
ON MICROSTRUCTURE, HARDNESS AND  
CORROSION RATE OF ZINC (Zn) BASED  
ALLOY SACRIFICIAL ANODE FOR SHIP WITH  
CASTING METHOD**

Herald Matius Unggul  
NRP. 0251144000077

Advisors:

Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ALUMINIUM (Al)  
TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN  
LAJU KOROSI ANODA TUMBAL BERBASIS SENG (Zn)  
UNTUK KAPAL DENGAN METODE PENGECORAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HERALD MATIUS UNGGUL**

Nrp. 0251144000077

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing I)

2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.....(Pembimbing II)



# **ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ALUMINIUM (Al) TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN LAJU KOROSI ANODA TUMBAL BERBASIS SENG (Zn) UNTUK KAPAL DENGAN METODE PENGECORAN**

**Nama Mahasiswa** : Herald Matius Unggul  
**NRP** : 0251144000077  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Baja telah digunakan dalam bidang pembuatan kapal, akan tetapi, baja rentan terhadap korosi yang menyebabkan penurunan kualitas suatu bahan akibat reaksi antara bahan dengan lingkungannya. Untuk mengatasi masalah korosi pada logam tersebut salah satunya dapat dilakukan dengan proteksi katodik, yaitu salah satu metodenya adalah dengan anoda tumbal. Salah satu material yang banyak digunakan sebagai anoda tumbal pada kapal adalah seng (Zn). Seng murni dapat digunakan sebagai anoda jika kadar kotoran besi kurang dari 0,0014%. Dari penelitian terdahulu telah diketahui bahwa kadar Fe meski sangat kecil jumlahnya, misalnya 0,001%, berbahaya bagi kinerja anoda tumbal seng dimana dapat menyebabkan pengurangan arus keluaran dan daya dukung potensial anoda, karena pembentukan lapisan dari produk korosi seng terisolasi (menumpuk) di permukaan anoda. Namun, penambahan aluminium sebagai paduan pada anoda seng dapat secara efektif mengurangi dan menghilangkan efek dari Fe serta dapat mentolerir jumlah kadar Fe yang terdapat pada logam seng. Proses pemaduan logam aluminium dan seng dapat dilakukan dengan teknik pengecoran, salah satu metodenya, yaitu dengan sand casting. Dalam prosesnya peleburan logam seng (Zn) dan aluminium (Al) dilakukan dengan menggunakan *electric furnace*. Peleburan logam dilakukan hingga pada temperatur  $\pm 700^{\circ}\text{C}$ . Untuk



mengurangi atau mencegah adanya logam yang teroksidasi akan ditambahkan gas inert(Argon) pada proses peleburan. Komposisi daripada aluminium yang akan dipadukan adalah 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6% yang kemudian akan dilakukan pengujian, yaitu *Optical Emission spectroscopy*, metallografi, dan X-RD untuk mendapatkan komposisi kimia, struktur mikro dan fasa kristalin dari logam paduan Zn-Al. Dari uji kekerasan didapatkan Zn tanpa penambahan Al mempunyai kekerasan terendah, yaitu 50,53 HB dan Zn-0,6Al dengan kekerasan tertinggi, yaitu 59,26 HB. Dari uji Tafel didapatkan data laju korosi tertinggi, yaitu Zn-0,6Al sebesar 1,63 mm/year dan laju korosi terendah dimiliki Zn tanpa penambahan Al, yaitu sebesar 0,82 mm/year.

***Kata Kunci : pengecoran, seng(Zn), aluminium(Al), korosi, proteksi katodik, anoda tumbal***

# **ANALYSIS OF ALUMINUM (Al) COMPOSITION ON MICROSTRUCTURE, HARDNESS AND CORROSION RATE OF ZINC (Zn) BASED ALLOY SACRIFICIAL ANODE FOR SHIP WITH CASTING METHOD**

**Name** : Herald Matius Unggul  
**NRP** : 0251144000077  
**Departement** : Materials Engineering  
**Advisor** : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Steel had been used in shipbuilding. However, steel is susceptible to corrosion which causes a material degradation due to the reaction between material and its environment. To solve the problem of corrosion on the metal can be done with cathodic protection, one of the method is by sacrificial anode. One material that is widely used as an anode on the ship is zinc(Zn). Pure zinc may be used as an anode if iron impurities are less than 0.0014%. From the previous research it has been known that even though very small amounts of Fe content, eg 0.001%, is harmful to the performance of zinc anode which can lead to reduction of output current and axial potential of the anode, due to the formation of layers of zinc corrosion products isolated on the anode surface. However, the little amount addition of aluminum as an alloy on the zinc anode can effectively reduce and eliminate the effects of Fe and can tolerate the amount of Fe content present in the zinc metal. The alloying process of aluminum and zinc metal can be done by casting method, one of its method is with sand casting. In the process, the smelting of zinc(Zn) and aluminum(Al) is done by using electric furnace. The melting of the metal is carried out to a temperature of more than 700 °C. To reduce or prevent the presence of oxidized metals, an inert gas (Argon) is added to the melting process. Composition of aluminum to be alloyed is 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% which then will be tested with Optical

Emission spectroscopy, metallography, and X-RD to obtain chemical composition, microstructure and phase crystalline from Zn-Al alloys. From hardness test obtained Zn without addition of Al has the lowest hardness, that is 50,53 HB and Zn-0,6Al with highest hardness, that is 59,26 HB. From the Tafel test obtained the highest corrosion rate data, that is Zn-0.6Al at 1.63 mm/year and the lowest corrosion rate is owned Zn without the addition of Al, that is 0.82 mm/year.

***Keywords: zinc(Zn), casting, aluminum(Al), corrosion, cathodic protection, sacrificial anode***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ALUMINIUM (Al) TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN LAJU KOROSI ANODA TUMBAL BERBASIS SENG (Zn) UNTUK KAPAL DENGAN METODE PENGECORAN”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya

1. Tuhan yang Maha Esa, berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI ITS dan dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah

- membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alviaan Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
  6. Dr. Widyastuti, ST., MSc. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
  7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
  8. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
  9. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 29 Juni 2018  
Penulis,

Herald Matius  
Unggul  
0251144000077

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kapal .....	7
2.2 Lambung Kapal .....	10
2.3 Korosi.....	11
2.4 Proteksi Katodik .....	12
2.5 Anoda Tumbal .....	12
2.6 Anoda Tumbal Seng(Zn).....	16
2.7 Logam Seng(Zn) .....	18
2.8 Paduan Seng(Zn).....	21
2.9 Logam Aluminium.....	25
2.10 Paduan Aluminium .....	26
2.11 Paduan Zn-Al.....	35
2.12 Pengecoran .....	38
2.13 <i>Sand Casting</i> .....	39
2.14 <i>Pattern</i> .....	42
2.15 Cetakan( <i>Mold</i> ) .....	43
2.16 <i>Gating System</i> .....	45
2.17 Cacat Pengecoran.....	62
2.18 Penelitian Sebelumnya .....	65

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	67
3.2 Material yang Digunakan .....	69
3.3 Alat.....	70
3.4 Variabel Percobaan .....	74
3.5 Prosedur Percobaan.....	74
3.5.1 Prosedur Pengecoran.....	74
3.5.2 Preparasi Cetakan .....	80
3.6 Proses Pengujian .....	80
3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	80
3.6.2 Pengujian Struktur Mikro.....	81
3.6.3 Pengujian Kekerasan .....	82
3.6.4 Pengujian Fasa.....	83
3.6.5 Pengujian TAFEL.....	84

### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Zn-Al.....	87
4.2 Komposisi Kimia Paduan Zn-Al.....	89
4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Zn-Al .....	90
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Zn-Al .....	92
4.5 Pengujian Kekerasan Paduan Zn-Al .....	94
4.6 Pengujian Tafel Zn-Al.....	96

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran .....	99

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
-----------------------------	------------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxiii</b>
----------------------	--------------

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Kapal Angkut (Sumaryanto, 2013) .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Bagian pada Kapal (Sumaryanto, 2013) .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Lambung Kapal (Sumaryanto, 2013) .....	11
<b>Gambar 2.4</b> Proteksi Katodik Metoda Anoda Tumbal (Trethewey, 1991).....	13
<b>Gambar 2.5</b> Anoda Tumbal Tipe Las .....	15
<b>Gambar 2.6</b> <i>Anoda Tumbal Tipe Baut</i> (Ampak, 1994) .....	16
<b>Gambar 2.7</b> <i>Struktur kristal HCP seng (a) unit sel dan (b) satu kritisal dengan banyak sel</i> (Kalpakjian, 2009)...	20
<b>Gambar 2.8</b> <i>Struktur FCC Kristal Aluminium (D. callister, 2014)</i> .....	25
<b>Gambar 2.9</b> Bagian dari diagram keseimbangan paduan Seng- Aluminium .....	36
<b>Gambar 2.10</b> Komposisi Clay (Rao, 2001).....	41
<b>Gambar 2.11</b> Komposisi air (Rao, 2001).....	41
<b>Gambar 2.12</b> Elemen <i>Gating System</i> (Vaghasia, 2010) .....	46
<b>Gambar 2.13</b> <i>Pouring basin</i> (Rao, 2001).....	46
<b>Gambar 2.14</b> Ukuran <i>Sprue</i> dan <i>Pouring Basin</i> (Rao, 2001) .	47
<b>Gambar 2.15</b> Tipe sprue (Rao, 2001) .....	49
<b>Gambar 2.16</b> Tipe <i>runner</i> (a) <i>Runner full</i> ; (b) <i>Runner partially full</i> (Rao, 2001).....	50
<b>Gambar 2.17</b> Tipe <i>ingate</i> (a) <i>Top gate</i> ; (b) <i>Bottom gate</i> ; (c) <i>Parting gate</i> ; (d) <i>Step gate</i> (P N. Rao, 2001) ....	53
<b>Gambar 2.18</b> Grafik metode <i>caine's</i> (Rao, 2001) .....	55
<b>Gambar 2.19</b> Grafik metode Naval Research Laboratory (Rao, 2001).....	56
<b>Gambar 2.20</b> Jangkauan satu riser (P N. Rao, 2001).....	57
<b>Gambar 2.21</b> Jangkauan riser yang ditambahkan chill (Rao, 2001).....	57
<b>Gambar 2.22</b> Porositas gas (Wibowo, 2011) .....	64
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	68
<b>Gambar 3.2</b> Seng(Zn) .....	69
<b>Gambar 3.3</b> Aluminium (Al).....	70



<b>Gambar 3.4</b>	<i>Electric Furnace</i> .....	71
<b>Gambar 3.5</b>	Krusibel Grafit .....	71
<b>Gambar 3.6</b>	Produk Hasil Pengecoran.....	72
<b>Gambar 3.7</b>	Timbangan Digital.....	73
<b>Gambar 3.8</b>	Skema Peleburan dengan <i>Electric Furnace</i> .....	79
<b>Gambar 3.9</b>	Cetakan pasir pada proses pengecoran .....	79
<b>Gambar 3.10</b>	Skema <i>Sand Casting</i> (RUICAN Company) .....	80
<b>Gambar 3.11</b>	Prinsip pengujian OES (Boss, 2004) .....	81
<b>Gambar 3.12</b>	Alur sinar pada pengamatan metalografi (Kaufmann, 2003) .....	82
<b>Gambar 3.13</b>	Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A .....	83
<b>Gambar 3.14</b>	Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003) .....	84
<b>Gambar 3.15</b>	Alat Uji TAFEL .....	86
<b>Gambar 3.16</b>	<i>TAFEL Test Apparatus</i> .....	86
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Coran Paduan Zn-Al (a) Zn (b) Zn-0,2Al (c) Zn-0,4Al (d) Zn-0,6Al.....	87
<b>Gambar 4.2</b>	Pola XRD Paduan Zn-Al .....	90
<b>Gambar 4.3</b>	Pengamatan Struktur Mikro Paduan Zn-Al (a) Zn- 0,08Al perbesaran 20x (b) Zn-0,226Al perbesaran 20x (c) Zn-0,405Al perbesaran 20x (d) Zn-0,686Al perbesaran 20x .....	93
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai Kekerasan Paduan Zn-Al .....	95
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Hasil Pengujian Tafel .....	97
<b>Gambar 4.6</b>	Laju Korosi dari Paduan Zn-Al .....	98

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Potensial Elektroda Standar.....	14
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi Kimia Anoda Zn(Alireza, 2014) .....	17
<b>Tabel 2.3</b> Komposisi Anoda Zinc yang Banyak Digunakan (AFNOR, 2013).....	18
<b>Tabel 2.4</b> Sifat Elektrokimia Anoda Seng pada Temperatur Lingkungan(5 ° C - 25 ° C) (AFNOR, 2013).....	18
<b>Tabel 2.5</b> Komposisi Paduan Seng(Zn).....	24
<b>Tabel 2.6</b> Densitas Dari Paduan Aluminium(Al) .....	32
<b>Tabel 2.7</b> Elemen Paduan pada Paduan <i>Wrought</i> Aluminium(Al) .....	33
<b>Tabel 2.8</b> <i>Paduan Cast Aluminum</i> .....	35
<b>Tabel 2.9</b> Paduan A .....	37
<b>Tabel 2.10</b> Paduan B .....	37
<b>Tabel 2.11</b> <i>Ratio gating system</i> (Rao, 2001).....	51
<b>Tabel 2.12</b> Volume penyusutan liquid (Rao, 2001) .....	54
<b>Tabel 2.13</b> <i>Shrinkage allowance</i> untuk beberapa logam (Rao, 2001).....	58
<b>Tabel 2.14</b> <i>Machining allowance</i> (Rao, 2001).....	60
<b>Tabel 2.15</b> Nilai <i>draft pattern</i> (Rao, 2001).....	61
<b>Tabel 3.1</b> Dimensi Produk .....	72
<b>Tabel 3.2</b> Dimensi Runner .....	72
<b>Tabel 3.3</b> Dimensi <i>Riser</i> .....	72
<b>Tabel 3.4</b> Perhitungan <i>Gating System</i> .....	77
<b>Tabel 3.5</b> Komposisi <i>Raw Material Input</i> .....	79
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Kimia Paduan Zn-Al (% wt).....	89
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Kekerasan Paduan Zn-Al.....	94
<b>Tabel 4.3</b> Data Hasil Uji Tafel.....	97

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Cara yang ampuh dalam mencegah korosi pada struktur logam di air laut adalah dengan menerapkan proteksi katodik. Teknik ini dilakukan dengan cara menurunkan potensi listrik struktur ke dalam jangkauan proteksinya, yang bisa diwujudkan salah satunya dengan penerapan dengan anoda korban (C. Rousseau, 2009). Karya yang tercatat pertama pada aplikasi pengorbanan anoda pada tahun 1820-an ketika Sir Humphrey Davy dan asistennya Michael Faraday bekerja untuk Angkatan Laut Kerajaan, dimana tercatat dalam Transaksi Filosofis dari *Royal Society* (R. F. Crundwell, 2010). Pada 1824, Davy mempresentasikan serangkaian makalah ke *Royal Society* di London, di mana ia menggambarkan bagaimana seng dan anoda besi bisa digunakan untuk mencegah korosi selubung tembaga pada lambung kayu kapal angkatan laut Inggris. Davy mengidentifikasi bahwa korosi dikaitkan dengan perbedaan berpotensi melintasi lembaran tembaga dan, terutama, dimana terdapat produk korosi yang melekat. Dengan menempelkan potongan kawat seng ke gulungan kawat tembaga, Davy mendemonstrasikan proses pengorbanan perlindungan katoda anoda; dia mengembangkan ini untuk percobaan skala yang lebih besar dan, akhirnya, untuk percobaan skala penuh HMS *Sammarang* dan *Kastil Carnbrea* menggunakan anoda besi cor. Makalahnya menunjukkan cukup banyak kesadaran intuitif tentang apa yang sekarang diterima sebagai prinsip perlindungan katodik. Beberapa praktis tes dilakukan pada kapal di pelabuhan dan di *seagoing ship*, termasuk efek berbagai arus kepadatan pada tingkat proteksi tembaga (V. Ashworth, 2010).

Dari sejarah yang telah disebutkan seng sudah di pakai untuk perlindungan di air laut pada tahun 1824 (H. Bohnes, 1997). Pada mulanya bahan seng yang tersedia dari *hot-dip galvanizing* Industri digunakan tapi kurang cocok karena menjadi



pasif. Pasifasi tidak terjadi dengan seng dengan kemurnian tinggi. Zinc grade super tinggi adalah bahan anoda yang terdiri dari 99,995% Zn dan kurang dari 0,0014% Fe tanpa penambahan lebih lanjut (H. Bohnes, 1997). Penerapan anoda korban seng telah umum terjadi sejak awal 1960-an, dan anoda seng adalah jenis yang paling sering digunakan sebagai anoda untuk aplikasi perlindungan transportasi dan bangunan di laut (Bird et al., 1996; Wagner et al., 1996). Resistansi seng yang sangat baik terhadap korosi pada kondisi yang alami membuat seng bertanggung jawab atas sebagian besar aplikasi dari logam yang banyak dan beragam. Sebenarnya, setengah dari konsumsi seng dunia dalam bentuk pelapis untuk perlindungan baja dari korosi (F. E. Goodwin, 2010).

Contoh penerapan anoda korban seng yang komersial pada masa sekarang ini adalah kapal, lambung kapal dan tangki pemberat, minyak lepas pantai dan rig pengeboran gas, platform produksi semisubmersibles dan fasilitas pendukung, jaringan pipa bawah air, jaringan pipa bawah tanah, struktur yang terkubur, pelabuhan menumpuk dan dermaga, lumba-lumba mengambang, pelampung, gerbang kunci, dan struktur beton yang terendam. Ada banyak kegunaan lain termasuk berbagai macam peralatan industry di mana permukaan kontak dengan korosif elektrolit, misalnya, penukar panas, pompa impeller, dan internal kapal (R. F. Crundwell, 2010).

Untuk pengoperasian anoda tumbal sangat penting untuk memiliki konduktivitas listrik yang baik antara struktur kapal dan anoda. Hal ini bisa didapat baik dengan pengelasan atau mengunci(tipe baut) anoda ke struktur kapal (MME, 2017). Dari cara pengoperasian tersebut, anoda dibagi menjadi 2 jenis yaitu anoda tumbal jenis las dan baut. Anoda tumbal jenis las biasa digunakan untuk jenis kapal yang membutuhkan rentang umur panjang. Sedangkan untuk tipe baut dipilih untuk kapal yang dirancang dengan mudah untuk diganti anoda tumbalnya.

Anoda berbasis seng banyak digunakan untuk aplikasi perkapalan, dan juga digunakan untuk struktur lepas pantai



namun densitas dari logam seng yang lebih tinggi dapat menyebabkan keterbatasan berat. Seng murni hanya bisa digunakan jika kadar kotoran besi kurang dari 0,0014%; namun, dengan penambahan aluminium tingkat pengotor besi yang dapat diterima ini dapat sedikit meningkat, dan penambahan kadmium lebih lanjut membuat pembentukan produk korosi yang lembut pada anoda.

Untuk dapat membuat benda kerja berupa anoda tumbal dapat dilakukan dengan teknik pengecoran. Pengecoran atau penuangan (*casting*) merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku/bahan benda kerja yang relative mahal dimana pengendalian kualitas benda kerja dimulai sejak bahan masih dalam keadaan mentah. Komposisi unsur serta kadarnya dianalisis agar diperoleh suatu sifat bahan sesuai dengan kebutuhan sifat produk yang direncanakan namun dengan komposisi yang homogen serta larut dalam keadaan padat. Proses pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan benda kerja yang efisien dan dapat membentuk benda kerja hingga bagian yang tersulit secara tepat dan akurat dengan sedikit atau tidak sama sekali memerlukan proses pemesinan (*machining*). Jenis-jenis dari pengecoran, yaitu *Sand casting* (penuangan dengan cetakan pasir), *Die casting* (penuangan dengan cetakan matres), *Centrifugal casting* (penuangan dengan cetakan putar), *Continuous casting*, *Shell moulding*, *Investment casting*. Keberhasilan dalam proses pembentukan benda kerja dengan cara pengecoran relative ditentukan oleh tingkat kerumitan bentuk benda kerja itu sendiri. Proses penuangan juga merupakan seni pengolahan logam menjadi bentuk benda kerja yang paling tua dan mungkin sebelum pembentukan dengan panyayatan (*chipping*) dilakukan. (Sudjana, 2008).

Pada penelitian kali ini anoda tumbal akan dibuat dengan melakukan teknik pengecoran, yaitu dengan meleburkan logam Seng(Zn) dengan mevariasikan kandungan Aluminium(Al), yaitu 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%. Kemudian akan dibandingkan keefektifannya dengan pengujian korosi. Ditunjukkan dengan



hasil uji potensial dan uji korosi yang memiliki sifat paling korosif terhadap air laut.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Pada penelitian yang akan dilakukan ini, didapatkan beberapa rumusan masalah. Adapun rumusan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh komposisi Aluminium(Al) terhadap struktur mikro dan kekerasan paduan Zn-Al?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Aluminium(Al) terhadap laju korosi Zn-Al?

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah dalam prosesnya. Adapun batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah:

1. Tekanan dianggap konstan pada saat proses peleburan.
2. Temperature pouring dianggap konstan pada proses penuangan pada cetakan.
3. Pengaruh oksigen dari lingkungan sekitar dianggap tidak ada
4. Reaksi logam cair dengan lingkungan diabaikan

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian yang dilakukan ini, memiliki beberapa tujuan yang perlu dicapai. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh komposisi Aluminium(Al) terhadap struktur mikro dan kekerasan paduan Zn-Al.
2. Menganalisis pengaruh penambahan Aluminium(Al) terhadap laju korosi pada paduan Zn-Al

## **1.5 Manfaat penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui proses proses dari pengecoran serta pengaruh penambahan kadar Aluminium(Al) terhadap struktur mikro, sifat kekerasan, dan



---

keefektifan terhadap performa daripada anoda tumbal seperti laju korosi dan potensial dari anoda paduan Zn-Al sehingga dapat menghasilkan produk anoda tumbal yang efektif pada kapal dan dapat digunakan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kapal**

Kapal, adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut (sungai dsb) seperti halnya sampan atau perahu yang lebih kecil. Kapal biasanya cukup besar untuk membawa perahu kecil seperti sekoci. Sedangkan dalam istilah inggris, dipisahkan antara ship yang lebih besar dan boat yang lebih kecil. Secara kebiasaannya kapal dapat membawa perahu tetapi perahu tidak dapat membawa kapal. Ukuran sebenarnya dimana sebuah perahu disebut kapal selalu ditetapkan oleh undang-undang dan peraturan atau kebiasaan setempat. Berabad abad kapal digunakan untuk mengangkut penumpang dan barang sampai akhirnya pada awal abad ke-20 ditemukan pesawat terbang yang mampu mengangkut barang dan penumpang dalam waktu singkat maka kapal pun mendapat saingan berat. Namun untuk kapal masih memiliki keunggulan yakni mampu mengangkut barang dengan tonase yang lebih besar sehingga lebih banyak didominasi kapal niaga dan tanker sedangkan kapal penumpang banyak dialihkan menjadi kapal pesiar. (Sumaryanto, 2013)

Di zaman kuno, transportasi laut pertama adalah kayu bulat yang digunakan untuk membantu transportasi melalui laut atau perairan. Secara bertahap, kayu diukir, dibentuk dan disatukan untuk membuat kapal dan dijadikan sarana transportasi di air, melintasi lautan dan untuk memenangkan perang. Di zaman kuno, kekuatan otot manusia adalah satu-satunya sumber kekuatan untuk kapal dalam bentuk pergerakan dayung di air untuk bergerak maju. Kemudian, roda dayung dikembangkan yang menggunakan usaha mekanis untuk gerakan dayung di air. Di kemudian hari, angin sumber energi terbarukan dan berkelanjutan yang dimanfaatkan dengan menggunakan layar untuk kekuatan kapal untuk bergerak maju. Pada awal abad kesembilan belas, mesin uap secara perlahan menggantikan layar yang menggunakan tenaga mekanik untuk pengaktifan kapal. Hasilnya,



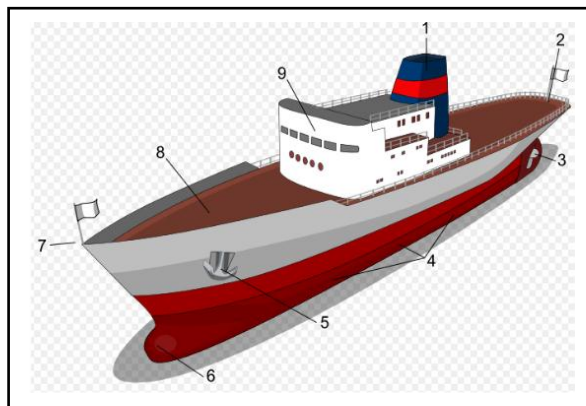
batubara menjadi bahan bakar kapal. Kemudian, kapal besi terbentuk dan pada akhir abad kesembilan belas, baja telah menggantikan kayu hampir seluruhnya di bidang pembuatan kapal. Pada saat yang sama, minyak mengganti batu bara sebagai bahan bakar untuk mesin reciprocating uap. Di awal abad kedua puluh, pengelasan digunakan untuk konstruksi baja, yang merevolusi pembuatan kapal. (Misra, 2016)

Kendaraan laut, struktur dan fasilitas atau sistem yang dirancang dan diproduksi digunakan untuk melayani beberapa tujuan khusus seperti mengangkut kargo dari satu tempat ke tempat lain, berperang, memanfaatkan sumber daya yang hidup dan yang tidak hidup, memanfaatkan energi dari laut, pariwisata dan olahraga, mendukung layanan untuk semua aktivitas dan fasilitas berbagai macam kegiatan di darat dan antarmuka laut. Berdasarkan tujuan yang dimaksudkan, kapal, struktur dan fasilitas di laut dan di pantai bervariasi dalam fungsi dan desain mereka. (Misra, 2016) Salah satu contoh dari jenis kapal adalah kapal niaga. Kapal termasuk sebagai kapal niaga dan komersil antara lain adalah kapal angkut, kapal penumpang, kapal ikan dan kapal tunda. Kapal angkut bisa berupa kapal cargo, kapal container, maupun semi container (perpaduan antara kapal cargo dan container), kapal feri dan juga kapal tangker. Kapal Niaga dan komersil dibuat untuk mendapatkan keuntungan ekonomi terbaik. Hal ini termasuk dalam menghitung biaya operasional kapal dan perawatan kapal serta nilai jual kembali apabila pemilik kapal tidak menginginkannya lagi. Kecepatan kapal niaga umumnya relatif rendah biasanya berkisar antara 7 hingga 15 knot. Sebab kecepatan rendah lebih murah dibandingkan kapal dengan kecepatan tinggi. Lambung kapal juga umumnya gemuk (besar) dan memiliki parallel midle body yang cukup panjang guna memuat muatan yang maksimal, kapal-kapal ini termasuk kategori kapal displacement (hydrostaticsupport). Gambar 2.1 menunjukkan contoh dari kapal niaga yang berfungsi untuk mengangkut minyak. (Sumaryanto, 2013)



**Gambar 2.1** Kapal Angkut (Sumaryanto, 2013)

Bagian-bagian kapal yang penting ditunjukkan dalam gambar 2.2, bagian kapal pada Gambar 2.2 tidak berbeda banyak dari kapal yang telah ada



**Gambar 2.2** Bagian pada Kapal (Sumaryanto, 2013)



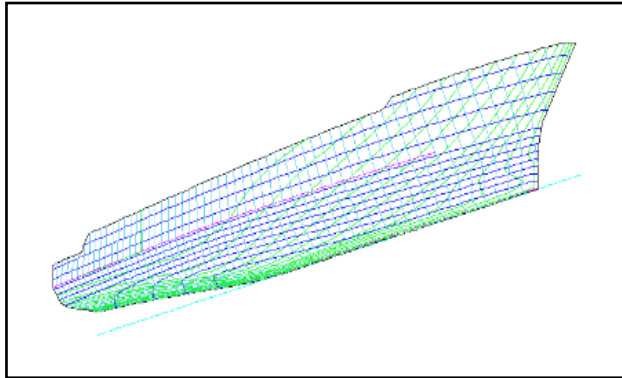
Berdasarkan gambar, bagian-bagian utama kapal terdiri dari:

1. Cerobong
2. Buritan
3. Propeller
4. Kulit Kapal
5. Mesin
6. Lampu Sorot
7. Haluan
8. Geladak Utama
9. Bangunan atas (Superstructure) di mana ditempatkan anjungan kapal

Secara umum pada prinsipnya kapal penyeberangan dan kapal perairan pedalaman dengan yang kapal yang digunakan dilaut memiliki karakteristik yang sama kecuali pada bagian tertentu di mana kapal penyeberangan dilengkapi dengan sistem pintu pendarat (ramp door) untuk naik turun penumpang dan kendaraan serta pola sandar pada dermaga yang menggunakan dermaga khusus untuk kapal penyeberangan. (Sumaryanto, 2013)

## 2.2 Lambung Kapal

Lambung kapal atau dalam bahasa Inggris disebut *hull* adalah badan dari perahu atau kapal. Lambung kapal menyediakan daya apung (*bouyancy*) yang mencegah kapal dari tenggelam yang dirancang agar sekecil mungkin menimbulkan gesekan dengan air, khususnya untuk kapal dengan kecepatan tinggi. Rancang bangun lambung kapal merupakan hal yang penting dalam membuat kapal karena merupakan dasar perhitungan stabilitas kapal, besarnya tahanan kapal yang tentunya berdampak pada kecepatan kapal rancangan, konsumsi bahan bakar, besaran daya mesin serta draft/ sarat kapal untuk menghitung kedalaman yang diperlukan dalam kaitannya dengan kolam pelabuhan yang akan disinggahi serta kedalaman alur pelayaran yang dilalui oleh kapal tersebut. Contoh bagian lambung kapal dapat dilihat pada gambar 2.3 (Sumaryanto, 2013)



**Gambar 2.3** Lambung Kapal (Sumaryanto, 2013)

### 2.3 Korosi

Korosi adalah penurunan kualitas suatu bahan yang diakibatkan oleh suatu reaksi antara bahan dengan lingkungannya. Untuk logam yang bersentuhan dengan suatu larutan, reaksinya yang terjadi adalah reaksi elektrokimia yang melibatkan transfer muatan listrik (elektron) melintasi permukaan antara logam dan larutan. Energi yang ada pada logam dan menyebabkan timbulnya korosi secara spontan yang diakibatkan dari proses pengubahan bijih menjadi logam. Ukuran energi yang tersedia dalam logam yang disebut Gibbs free energi diperlukan untuk menyalakan reaksi korosi. Energi ini diinduksi dalam logam selama proses pemurnian dan tersedia sebagai energi potensial untuk yang menyebabkan reaksi saat logam ditempatkan di lingkungan berair.

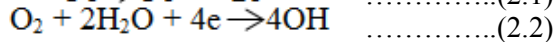
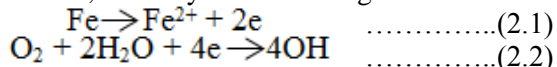
Agar atom logam meninggalkan struktur kristal, ia harus melepaskan energi ikatan dengan atom yang berdekatan dalam matriks kristal. Logam atom bergetar pada posisi mereka, dan energi getaran ini tergantung pada temperatur. Pada temperatur lingkungan, permukaan atom memiliki kesempatan lebih baik untuk meninggalkan struktur kristal. Ini mungkin karena atom di permukaan memiliki ikatan interatomik yang lebih sedikit daripada atom internal. Fenomena ini lebih terasa pada atom yang



berada di permukaan, pengotor, atau dislokasi Kristal dimana terdapat sedikit ikatan interatomik. Dalam situasi seperti itu getaran yang diakibatkan oleh temperatur memungkinkan beberapa atom untuk lolos dari struktur kisi meninggalkan beberapa elektron ikatannya (ne) dalam reaksi oksidasi. (Crunchwel, 2015)

## 2.4 Proteksi Katodik

Proteksi katodik (CP) didefinisikan sebagai pengurangan atau penghilangan korosi dengan membuat logam menjadi katoda dengan cara anode arus atau korban(biasanya magnesium, aluminium, atau seng). Metode ini menggunakan polarisasi katodik untuk mengontrol kinetika elektroda yang terjadi pada elektrolit logam. Prinsip Perlindungan katodik dapat dijelaskan oleh potensi campuran Wagner-Traud Teori. Untuk korosi pada besi dalam elektrolit netral, reaksinya adalah sebagai berikut:



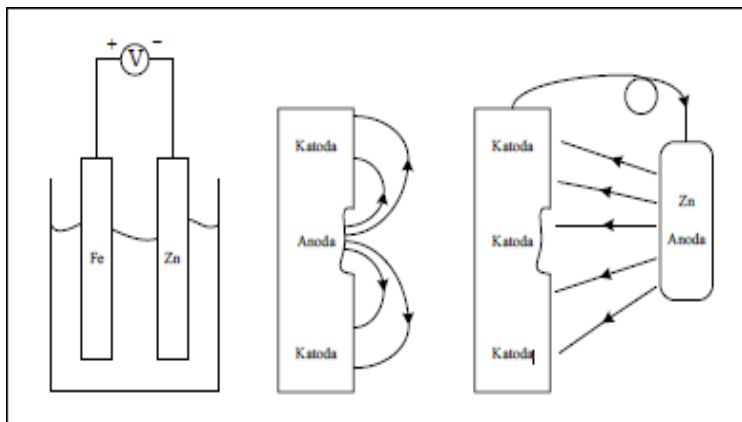
Menurut teori potensial campuran, setiap proses elektrokimia atau korosi yang terjadi dibagi menjadi dua atau lebih oksidasi (Persamaan 1) dan reduksi (Persamaan 2) reaksi parsial tanpa akumulasi bersih muatan listrik selama proses berlangsung. Korosi akan mulai hanya bila reaksi katodik dan anodik terjadi secara bersamaan. Tingkat total oksidasi harus sama dengan total laju reduksi.(Crunchwel, 2012)

## 2.5 Anoda Tumbal

Anoda tumbal merupakan salah satu metode proteksi katodik untuk penanggulangan korosi dengan memanfaatkan deret galvanik untuk memilih suatu bahan yang bila digandengkan dengan logam yang ingin dilindungi, akan menjadi anoda (Trethewey, 1991). Gambar 2.4 memperlihatkan contoh proteksi katodik metoda anoda tumbal. Karya yang tercatat pertama pada aplikasi pengorbanan anoda pada tahun 1820-an ketika Sir Humphrey Davy dan asistennya Michael Faraday



bekerja untuk Angkatan Laut Kerajaan dilaporkan dalam Transaksi Filosofis dari *Royal Society* (R. F. Crundwell, 2010). Pada 1824, Davy mempresentasikan serangkaian makalah ke *Royal Society* di London, di mana ia menggambarkan bagaimana seng dan anoda besi bisa digunakan untuk mencegah korosi selubung tembaga pada lambung kayu kapal angkatan laut Inggris. Davy mengidentifikasi bahwa korosi dikaitkan dengan perbedaan berpotensi melintasi lembaran tembaga dan, terutama, dimana terdapat produk korosi yang melekat. Dengan menempelkan potongan kawat seng ke gulungan kawat tembaga, Davy mendemonstrasikan proses pengorbanan perlindungan katoda anoda; dia mengembangkan ini untuk percobaan skala yang lebih besar dan, akhirnya, untuk percobaan skala penuh HMS Sammarang dan Kastil Carnbrea menggunakan anoda besi cor. Makalahnya menunjukkan cukup banyak kesadaran intuitif tentang apa yang sekarang diterima sebagai prinsip perlindungan katodik. Beberapa praktis tes dilakukan pada kapal di pelabuhan dan di *seagoing ship*, termasuk efek berbagai arus kepadatan pada tingkat proteksi tembaga (V. Ashworth, 2010).



**Gambar 2.4** Proteksi Katodik Metoda Anoda Tumbal  
(Trethewey, 1991)





Karena ini menyebabkan beberapa kehilangan performa dari kapal, ketertarikan terhadap perlindungan katodik memudar. Tindakan menguntungkan ion tembaga di Indonesia mencegah fouling dinilai lebih penting daripada mencegah kerusakan selubung. Oleh karena itu, perlindungan katodik terbengkalai 100 tahun, setelah itu mulai bisa digunakan dengan sukses oleh perusahaan minyak di Amerika Serikat untuk melindungi jaringan pipa bawah tanah (V. Ashworth, 2010).

Bahan yang paling sering membutuhkan perlindungan adalah besi baja, maka dapat dilihat dari deret galvanik bahwa semua logam yang potensialnya lebih aktif dibanding besi baja, menurut teori dapat digunakan (Tabel 2.1 menunjukkan deret potensial standar).

**Tabel 2.1** Potensial Elektroda Standar (V. Ashworth, 2010)

Reaksi Elektroda	E <sup>o</sup> (volt)
$\text{Au}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+ 1,68
$\text{Pt}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+ 1,20
$\text{Hg}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	+ 0,85
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+ 0,80
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+ 0,34
$2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0,00
$\text{Pb}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	- 0,13
$\text{Sn}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	- 0,14
$\text{Ni}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	- 0,25
$\text{Cd}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	- 0,40
$\text{Fe}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	- 0,44
$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	- 0,71
$\text{Zn}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	- 0,76
$\text{Al}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	- 1,67
$\text{Mg}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	- 2,34
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	- 2,71
$\text{Ca}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	- 2,87
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	- 2,92



### **2.5.1 Anoda Tumbal Tipe Las**

Untuk pengoperasian anoda yang baik, sangat penting untuk memiliki konduktivitas listrik yang baik antara struktur kapal dan anoda. Hal ini bisa didapat baik dengan pengelasan atau mengunci(tipe baut) anoda ke struktur kapal.(MME, 2017) Pengelasan pada anoda direkomendasikan pada kapal yang membutuhkan rentang umur yang panjang atau di mana anoda mengalami getaran, agitasi, abrasi atau dampak fisik yang signifikan (Gambar 2.5) . Untuk memastikan kontinuitas dan pemasangan aman 100%, anoda las paling baik. Tali las biasanya dilemparkan ke inti baja ke anoda agar mudah diperbaiki. (Ampak, 1994)



**Gambar 2.5** Anoda Tumbal Tipe Las (Ampak, 1994)

### **2.5.2 Anoda Tumbal Tipe Baut**

Untuk pengoperasian anoda yang baik, sangat penting untuk memiliki konduktivitas listrik yang baik antara struktur kapal dan anoda. Hal ini bisa didapat baik dengan pengelasan atau mengunci(tipe baut) anoda ke struktur kapal.(MME, 2017). Anoda tipe baut memiliki berbagai pusat stud dan diameter lubang yang sesuai dengan semua kapal yang dirancang.



Pemasangan anoda tipe baut adalah cara cepat dan efektif untuk mengamankan anoda tanpa memerlukan alat khusus. (Ampak, 1994) Contoh anoda tipe baut ditunjukkan pada gambar 2.6



**Gambar 2.6** Anoda Tumbal Tipe Baut (Ampak, 1994)

## 2.6 Anoda Tumbal Zn

Seng sudah digunakan untuk perlindungan di air laut pada tahun 1824. Pada mulanya bahan seng yang tersedia dari hot-dip galvanizing Industri digunakan tapi kurang cocok karena menjadi pasif. Pasifasi tidak terjadi dengan seng dengan kemurnian tinggi. Zinc grade super tinggi merupakan bahan anoda yang terdiri dari 99,995% Zn dan kurang dari 0,0014% Fe tanpa penambahan lebih lanjut. (H. Bohnes dan G. Franke, 1997) Saat ini anoda seng sering digunakan untuk proteksi jaringan pipa bawah laut. Anoda seng secara komersial tersedia dalam bobot dari 5 sampai 60 lb. Anoda seng memiliki potensi  $-1.10$  V dibandingkan dengan elektroda Cu-CuSO<sub>4</sub> (Ahmad, 2006). Dari semua bahan anoda, seng bisa dibilang paling banyak dapat diandalkan karena memiliki, kinerja elektrokimia yang andal, dengan sedikit pengecualian, berada di dalam daerah operasi suhu tinggi. (Crundwell, 2010) Anoda seng untuk penggunaan di media air asin atau laut tidak perlu unsur pengaktifan tambahan.



Penambahan Hg untuk menolak lapisan berminyak dan berlapis lilin pada anoda di tangki minyak mentah tidak memiliki keuntungan karena lapisan ini tidak terlalu menghambat transfer arus (H. Bohnes dan G. Franke, 1997).

**Tabel 2.2** Komposisi Kimia Anoda Zn (Alireza, 2014)

Element	Composition %
Aluminium	0,005
Cadmium	0,003
Iron	0,0014
Lead	0,003
Copper	0,002
Other element	0,012
Zinc	Remainder

Anoda berbasis seng banyak digunakan untuk aplikasi perkapalan, namun juga digunakan untuk struktur lepas pantai namun densitas dari logam seng yang lebih tinggi dapat menyebabkan keterbatasan berat. Anoda seng tidak memerlukan lingkungan klorida untuk bereaksi dan dapat digunakan dalam aplikasi air payau dan air tawar.

Seng murni hanya bisa digunakan jika kadar kotoran besi kurang dari 0,0014%; namun, dengan penambahan aluminium tingkat pengotor besi yang dapat diterima ini dapat sedikit meningkat, dan penambahan kadmium lebih lanjut membuat pembentukan produk korosi yang lembut pada anoda.

Sifat elektrokimia untuk paduan berbasis seng akan bervariasi tergantung pada komposisi paduan tertentu dan lingkungan operasi Umumnya paduan seng hanya berlaku pada temperatur sampai 50 ° C. Di atas temperatur tersebut, paduan seng dapat mengalami korosi *inter granular*, terutama saat dikuburkan dalam larutan garam/lumpur. Beberapa paduan telah dikembangkan hingga dapat beroperasi dengan baik pada temperatur yang lebih tinggi sampai 85 ° C (AFNOR, 2013).



**Tabel 2.3** Komposisi Anoda Zinc yang Banyak Digunakan (AFNOR, 2013).

Elements	Alloy Z1	Alloy Z2	Alloy Z3	Alloy Z4
Al	0,1-0,5	0,005	0,10-0,20	0,10-0,25
Cd	0,025-0,07	0,003	0,04-0,06	0,001
Fe	0,005	0,0014	0,0014	0,002
Cu	0,005	0,002	0,005	0,001
Pb	0,006	0,003	0,006	0,006
Sn	-	-	0,01	-
Mg	-	-	0,5	0,05-0,15
Others	0,10	0,005	0,1	0,1
Zn	99,314	99,99	remainder	remainder

**Tabel 2.4** Sifat Elektrokimia Anoda Zinc pada Temperatur Lingkungan (5 ° C - 25 ° C) (AFNOR, 2013).

Alloy Type	Environment	Closed Circuit Potential (V)	Current Capacity (Ah/Kg)	Consumption Rate (Kg/Ay)
Alloy Z1	Seawater	-1,03	780	11,2
	Marine Sediment	-,099	750	11,8
Alloy Z2	Seawater	-1,00	750	11,5
Alloy Z3	Seawater	-1,03	760	11,2
Alloy Z4	Seawater	-1,03	780	11,2
	Marine Sediment	-0,98	710	12,3

## 2.7 Logam Seng

Logam Seng paling utama digunakan pada bidang *engineering* dikarenakan temperatur leleh yang rendah (419,4 °C) dan resistensi korosi yang baik, dimana akan meningkatkan kemurnian dari logam tersebut. Resistansi korosi tersebut disebabkan oleh formasi lapisan oksida yang protektif pada permukaan. Aplikasi paling utama dari seng adalah galvanisasi



untuk memproteksi baja dari korosi. Kelemahan dari seng adalah ketidakseragaman yang besar pada keadaan deformasi, kurangnya dimensi yang stabil ketika kondisi penuaan, reduksi kekuatan impak pada temperatur rendah, dan kerentanan pada korosi intergranular. Seng tidak dapat digunakan di atas temperatur 95 °C dikarenakan akan mengakibatkan pengurangan atau reduksi yang besar pada *tensile strength* dan *hardness*. Kegunaannya secara luas adalah sebagai *die casting* dikarenakan hanya memerlukan tekanan yang rendah, dimana akan menghasilkan *die life* yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan *die casting* lainnya (Rao, 1999).

Penemuan paling awal logam seng dimulai pada abad kelima belas di China, sedangkan di Eropa tidak dikenali sebagai unsur yang terpisah sampai abad kedelapan belas saat peleburan kecil pertama dibuat untuk produksinya. Penggunaannya yang paling awal adalah sebagai paduan, terutama dengan tembaga (untuk memproduksi kuningan), meskipun senyawanya juga digunakan untuk tujuan pengobatan (mis., calamine,  $ZnCO_3$ ) dan sebagai pigmen. Produksi seng di Eropa yang signifikan dimulai dari awal abad kedelapan belas. Sumber bijih utama adalah seng karbonat (calamine) ditemukan di seluruh Eropa dan juga di Amerika. Rangsangan terakhir untuk produksi massal seng tidak ditemukan sampai dua penemuan galvanisasi untuk produksi lembaran baja dan seng di pertengahan abad kesembilan belas (Crundwell, 2012).

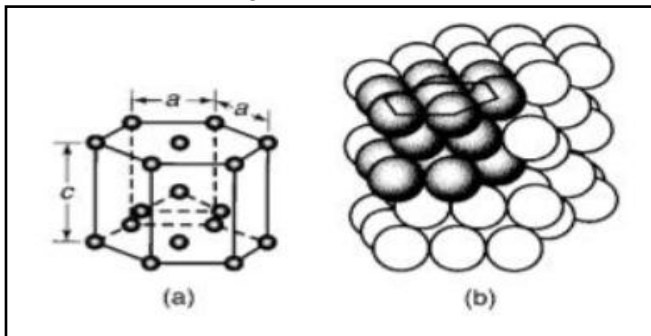
Seng merupakan logam dengan urutan keempat paling banyak digunakan di dunia industri setelah baja, aluminium, dan tembaga. Menurut penggunaannya, seng banyak digunakan sebagai *coating* anoda untuk memproteksi baja dari korosi, sebagai unsur pengecoran seng menjadi kuningan, sebagai unsur paduan pada tembaga, aluminium, dan magnesium, sebagai paduan seng tempa, dan untuk material yang bersifat kimiawi (ASM Metal Handbook vol.2, 1992).

Seng merupakan logam putih kebiruan. Seng (*Zinc*) dilambangkan dengan Zn pada tabel periodik, memiliki nomor



atom 30 dan massa atom relatifnya 65,39. Seng merupakan unsur pertama golongan dua belas. Seng memiliki warna putih kebiruan, berkilau, dan bersifat diamagnetik. Struktur kristal yang dimiliki seng adalah *Hexagonal Close-Packed* (HCP) seperti pada Gambar 2.7 (Lehto, 1968).

Logam seng memiliki massa jenis 7140 kgm<sup>-3</sup> dan memiliki titik lebur pada temperatur 420° C. Seng murni tersedia dalam bentuk lembaran, ingot, dan serbuk.



**Gambar 2.7** Struktur kristal HCP seng (a) unit sel dan (b) satu kritical dengan banyak sel (Kalpakjian, 2009)

Logam seng memiliki sifat keras dan rapuh pada kebanyakan suhu, saat temperaturnya 100-150°C seng akan mudah ditempa. Seng juga dapat menghantarkan listrik. Dibandingkan dengan logam-logam lainnya, seng memiliki titik lebur (420 °C) dan titik didih (900 °C) yang relatif rendah. Dan titik lebur seng merupakan yang terendah di antara semua logam-logam transisi selain raksa dan kadmium. Unsur impuritis pada proses *alloying* seng perlu diperhatikan. Adanya unsur impuritis menurunkan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Sifat mekanik seng adalah sebagai berikut (ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992):

1. Tensile strength : 170 Mpa
2. Hardness : 52 HB (hot rolled), 60 (cold)
3. Fatigue strength : 28 Mpa pada( 10<sup>8</sup> cycles)



4. Shear strength : 138-152 Mpa
5. Thermal conductivity : 104,7 W.m/K

## 2.8 Paduan Seng(Zn)

Ada dua pembagian dasar paduan seng: paduan ZAMAK dan paduan ZA. Paduan ZAMAK dikembangkan untuk tekanan die casting pada tahun 1920-an dan telah digunakan secara luas sejak saat itu, diakrenakan oleh alasan tersebut penspesifikasian seng identik dengan die casting. Namun, perkembangan paduan ZA (Zinc-Aluminium) pada tahun 1970-an secara radikal mengubah desain produk seng dan proses manufakturnya. Paduan ZA awalnya dikembangkan untuk *casting* gravitasi. Sifat mekanis mereka mampu bersaing dengan perunggu, besi cor dan aluminium. Perbedaan fitur dari paduan ZA adalah mereka tinggi kandungan aluminium dan sifat *bearing* yang bagus. Selama tahun 1980an, paduan ZA berevolusi sebagai bahan berharga die casting. Penting untuk dicatat bahwa saat mempertimbangkan paduan ZA untuk *die casting*, hanya ZA-8 yang bisa digunakan sebagai *hot chamber die cast*. *Hot chamber casting* (yang mana biasanya memakai paduan ZAMAK) sangat otomatis dan proses *die casting* yang efisien. ZA-12 dan ZA-27 membutuhkan prosedur peleburan khusus dan harus melalui proses *die cast* layaknya aluminium. Pembagian singkat masing-masing paduan, yaitu. paduan ZAMAK diidentifikasi oleh nomor 3, 5, 7, & 2. Paduan ZA terdiri dari ZA-8, ZA-12 dan ZA27.(ASTM B240, 2007)

### 2.8.1 ZAMAK 3

Paduan No. 3 biasanya pilihan yang pertama saat mempertimbangkan seng untuk die casting. Keseimbangan yang sempurna dari sifat fisik dan sifat mekanik, sangat baik ketika melalui proses pengecoran dan stabilitas dimensi yang lama adalah alasan mengapa lebih dari 70% dari Amerika Utara, seng *die casting* berada di paduan No. 3. Oleh karena itu, paduan yang paling banyak tersedia dari sumber *die casting* adalah ZAMAK





No. 3. Paduan tersebut juga menawarkan karakteristik finishing yang sangat baik. Hal tersebut adalah "standar" yang digunakan untuk menilai paduan seng lainnya dalam hal *die casting*. (ASTM B240, 2007)

### 2.8.2 ZAMAK 5

Paduan No 5 sedikit lebih kuat dan lebih keras dari No. 3. Namun, peningkatan ini dilakukan dengan penurunan daktilitas yang bisa mempengaruhi kemampuan formability selama *secondary bending*, *riveting*, *swaging* atau operasi *crimping*. Paduan No. 5 berisi tambahan 1% tembaga yang menjadi perhitungan perubahan property. Paduannya ini banyak menggunakan *die cast* di Eropa dan menunjukkan karakteristik pengecoran yang sangat baik. Karena ketersediaan paduan No. 3 yang banyak, penspesifikasi material sering memperkuat komponen dengan modifikasi desain tidak menggunakan paduan No 5. Namun, ketika kekuatan tarik yang ekstra dibutuhkan, paduan No. 5 direkomendasikan. Paduan ini dengan mudah di *plated*, *finished* and *machined* dibandingkan dengan paduan No. 3. (ASTM B240, 2007)

### 2.8.3 ZAMAK 7

Paduan No. 7 adalah modifikasi dari Paduan No. 3 Kadar magnesium yang lebih rendah dan pengotor yang lebih sedikit menghasilkan *casting fluidity*, *ductility* dan *surface finish* yang lebih baik. Sebagian besar paduan No. 7 digunakan untuk aplikasi hardware khusus atau saat pengecoran membutuhkan kemampuan formabilitas ekstra selama operasi perakitan. Fluktuasi yang lebih tinggi terkadang diinginkan, akan tetapi, hal itu mempertimbangkan proses pengecoran khusus. Paduan No. 7 membutuhkan *die fit* yang baik, kontrol temperatur pengecoran dan mesin untuk menghindari *flash* berlebihan sepanjang proses. (ASTM B240, 2007)



#### 2.8.4 ZAMAK 2

Paduan No. 2 adalah satu-satunya paduan ZAMAK yang digunakan untuk pengecoran gravitasi; terutama untuk pembentukan logam *dies* atau alat injeksi plastic. Paduan ini kadang disebut sebagai KIRKSITE. Untuk die casting, No. 2 memiliki kekuatan dan kekerasan tertinggi dari paduan ZAMAK. Namun, kandungan tembaga yang tinggi (3%) menghasilkan perubahan pada umur penggunaan bahan. Perubahan ini, yaitu pertumbuhan dimensi kecil (0.0014 in / in / after 20 yrs.), elongasi yang rendah dan penurunan kinerja *impact* (pada tingkat yang mirip dengan paduan aluminium) untuk produk die cast. Meski paduan No. 2 memiliki sifat *castability* yang sangat baik, telah terlihat penggunaannya untuk *die casting* terbatas. Walaupun karakteristik yang menarik mungkin bisa membantu desainer. Performa *creep*-nya dinilai lebih tinggi dari ZAMAK lainnya dan paduan No. 2 mampu mempertahankan kekuatan dan tingkat kekerasan yang lebih tinggi setelah penggunaan jangka panjang. Juga, dikatakan bahwa paduan No. 2 adalah bahan *bearing* yang baik, dan dapat menghilangkan *bushing*. (ASTM B240, 2007)

#### 2.8.5 ZA-8

Untuk sebuah pengecoran gravitasi yang baik, ZA8 berkembang pesat untuk *pressure die casting*. ZA-8 bisa menggunakan *hot chamber die cast*, dengan peningkatan sifat kekuatan, kekerasan dan creep di atas ZAMAK, dengan pengecualian paduan No. 2 yang memiliki performa yang sangat mirip. ZA-8 mudah untuk di *plated* dan di *finished* menggunakan prosedur standar ZAMAK. Ketika kinerja standar No. 3 atau No. 5 yang diragukan, ZA-8 ini sering dijadikan pilihan *die casting* karena kekuatan tinggi dan sifat creep dan *hot chamber castability* yang baik. (ASTM B240, 2007)



### 2.8.6 ZA-12

ZA-12 adalah paduan seng paling serbaguna dalam hal menggabungkan sifat kinerja tinggi dan kemudahan fabrikasi baik menggunakan gravitasi atau tekanan die casting. ZA-12 adalah paduan terbaik untuk pengecoran gravitasi pada cetakan pasir, cetakan permanen dan proses cetakan grafit. ZA-12 juga paduan yang baik untuk *die casting* dikarenakan memiliki struktur yang lebih baik dari ZA-27, serta memiliki elongasi *die cast* dan sifat *impact* yang lebih tinggi. Dikarenakan alasan tersebut, ZA-12 sering bersaing dengan ZA-27 untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan. (ASTM B240, 2007)

### 2.8.7 ZA-27

ZA-27 adalah paduan seng dengan kekuatan tertinggi baik untuk *gravitasi gravity* atau *pressure die casting (cold chamber)*. ZA-27 juga paduan teregang dan memiliki sifat *bearing* yang baik dan sifat resistansi keausan yang sangat baik. Namun, ZA-27, membutuhkan perhatian selama proses pencairan dan casting untuk mendapatkan struktur internal yang baik, terutama bagian permukaan. ZA-27 juga membutuhkan stabilisasi saat perlakuan panas karena toleransi dimensi yang ketat. ZA-27 tidak direkomendasikan untuk plating, namun bila kekuatan atau sifat tahan aus dibutuhkan, ZA-27 memiliki kinerja yang luar biasa. (ASTM B240, 2007)

**Tabel 2.5** Komposisi Paduan Seng(Zn) (ASTM B240, 2007)

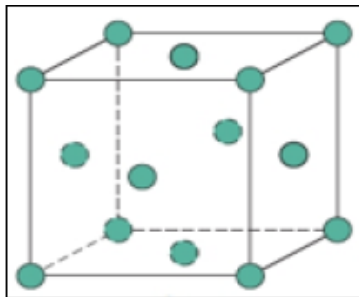
	Zamak 3	Zamak 7	Zamak 5	Zamak 2	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Color Code	None	Brown	Black	Green	Blue	Orange	Purple
Element							
Aluminium	3,9-4,3	3,9-4,3	3,9-4,3	3,9-4,3	8,2-8,8	10,8-11,5	25,5-28,0
Magnesium	0,03-0,06	0,01-0,02	0,03-0,06	0,025-0,05	0,02-0,03	0,02-0,03	0,012-0,02
Copper	0,10	0,10	0,7-1,1	2,7-3,3	0,9-1,3	0,5-1,2	2,0-2,5
Iron	0,035	0,075	0,035	0,035	0,035	0,05	0,07
Lead	0,0040	0,0030	0,0040	0,0040	0,05	0,005	0,005
Cadmium	0,0030	0,0020	0,0030	0,0030	0,05	0,005	0,005



Tin	0,0015	0,0010	0,0015	0,0015	0,02	0,002	0,002
Nickel	-	0,005-0,02	-	-	-	-	-
Zinc	Remain der	Remain der	Remain der	Remain der	Remain der	Remain der	Remain der

## 2.9 Logam Aluminium

Aluminium adalah elemen logam kedua terbanyak di dunia. Sebanyak 8 % dari kulit bumi tersusun dari aluminium, unsur ini biasa ditemukan dalam bentuk oksida yang dikenal sebagai bauksit. Aluminium menjadi logam *non-ferrous* terbanyak yang digunakan dalam basis volume. Aluminium dan paduannya memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah kekuatannya yang tinggi jika dibandingkan dengan beratnya, tahan terhadap korosi, tidak beracun, mudah dibentuk dan di *machining*, non magnetic. Penggunaan aluminium dan paduannya diantaranya untuk aplikasi arsitektur dan structural, transportasi (pesawat dan aplikasi *aerospace*) aplikasi elektrik (sebagai konduktor elektrikal non magnetic dan ekonomis), peralatan rumah tangga (Kalpakjian, 2009).



**Gambar 2.8** Struktur FCC Kristal Aluminium (D. callister, 2014)

Sifat mekanik dari aluminium dapat ditingkatkan dengan paduan, dengan *strain hardening*, perlakuan termal, atau kombinasi dari ketiganya. Tembaga, Magnesium, Mangan, Silikon, dan Zinc digunakan sebagai konstituen utama dalam paduan aluminium. Krom, timbal, nikel, dan elemen lain digunakan untuk tujuan special sebagai konstituen minor.



Pengotor seperti besi akan mempengaruhi performa dari paduan aluminium dan harus dipertimbangkan. Aluminium murni dapat diperkuat dengan memadukannya dengan Mn dalam jumlah kecil (hingga 1.25%) dan Magnesium (hingga 3.5%). Paduan ini dan aluminium murni dapat dikeraskan dengan *cold work* hingga kekuatan tariknya 200 sampai 300 MPa (Roberge, 2000). Aluminium merupakan unsur kimia yang memiliki lambang Al dan nomor atom 13. Struktur kristal dari atom tembaga yaitu FCC yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

## 2.10 Paduan Aluminium

Aluminium dan paduannya mudah mengoksidasi, termasuk saat aluminium (Al) hadir baik dalam bentuk larutan padat atau dalam partikel intermetalik (IM). Akan tetapi permukaan paduan, cenderung heterogen seperti mikrostruktur yang mendasarinya. Permukaan paduan *wrought* atau *cast* cenderung tidak hanya mengandung oksida aluminium, tetapi juga mengandung fragmen dari campuran Al-Mg oksida untuk paduan kaya Mg. Hal ini terjadi karena segregasi panas Mg yang tinggi dan memiliki energi bebas yang menguntungkan untuk pembentukan oksida. Namun, jika permukaan aluminium (Al) secara mekanis tidak terganggu - maka oksida permukaannya relatif protektif. Meskipun, permukaan yang paling nyata memiliki semacam finishing mekanis yang berakibat pada pembentukan lapisan deformed near surface (NSDL) dan shingling. Shingling terjadi dimana matriks paduan tersebar di seluruh permukaan termasuk partikel IM di abrasi dan penggilingan. Hal ini karena partikel IM lebih keras daripada matriks sekitarnya dan kurang rentan terhadap deformasi. Bahkan pada permukaan yang dipoles, matriks dan partikel IM dengan cepat membentuk struktur oksida yang berbeda. Ini terjadi karena lingkungan kimia yang berbeda dan reaksi elektrokimia yang berbeda atas partikel IM dibandingkan dengan matriks. Terlebih lagi, morfologi dan oksida tidak kontinu dari partikel IM ke matriks menyebabkan cacat potensial dalam konteks korosi.



Untuk keperluan deskripsi disini, IM partikel dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe utama; i) presipitat, ii) partikel penyusun dan iii) dispersoids. (N. L. Sukiman, 2000). Paduan aluminium (Al) dibagi menjadi dua jenis, yaitu *wrought aluminium* dan *cast aluminium*.

### **2.10.1 Paduan *Wrought* Aluminium (Al)**

Sistem Penamaan paduan *wrought* terdiri dari empat digit angka, kadang didahului dengan huruf kapital. Angka pertama menunjukkan elemen paduan utama, digit kedua adalah variasi dari paduan itu; dan dua yang terakhir digit mewakili penunjukan paduan tertentu. Fungsi digit pertama dari penunjukan paduan baru cukup mudah; beberapa keputusan diperlukan kecuali ada jumlah yang sama dari dua atau lebih paduan. Dalam kasus terakhir, panduan spesifik telah diberikan oleh para pengembang sistem paduan bahwa penunjukan yang dipilih untuk seri paduan harus berada di urutan tembaga (Cu), mangan (Mn), silikon (Si), magnesium (Mg), magnesium silisida ( $Mg_2Si$ ), dan seng (Zn). Jadi, jika paduan baru memiliki jumlah mangan dan seng yang sama, akan dimasukkan ke seri 3xxx. Pada kasus seperti itu, seri 6xxx membutuhkan penilaian paling banyak karena paduan itu memiliki lebih banyak silikon daripada magnesium, namun karena jumlah keduanya signifikan, maka akan ditempatkan di seri 6xxx daripada seri 4xxx dalam menstabilkan sifat dan karakteristik karena dominasi kombinasi magnesium dan silikon. Jadi, misalnya, paduan seperti 6005, 6066, dan 6351, semuanya memiliki silikon lebih banyak daripada magnesium atau elemen lainnya, akan tetapi mereka ditempatkan pada seri  $Mg_2Si$ . (Kaufman, 2000)

Penggunaan digit kedua dari penunjukan paduan berhubungan dengan variasi paduan tertentu, dalam banyak kasus, pengetatan kontrol pada satu atau lebih pengotor untuk mencapai properti yang spesifik. Jika digit kedua adalah 0, umumnya menunjukkan bahwa paduan tersebut adalah aluminium murni komersial dengan tingkat pengotor alami. Bila digit kedua adalah



bilangan bulat 1 sampai 9, ini menunjukkan bahwa beberapa kontrol khusus telah ditempatkan pada tingkat variasi pengotor tertentu, atau kisaran untuk salah satu elemen paduan utama telah diarsir untuk mencapai performa tertentu. Namun, urutannya tidak penting dalam variasi komposisi; digit diberikan secara berurutan sebagaimana situasi terjadi, dan urutan menunjukkan kronologi lebih dari tingkat kontrol. Contoh penerapan prinsip-prinsip ini adalah paduan set 7075, 7175, 7275, 7375, dan 7475. Paduan aslinya adalah 7075 dengan kualitas aluminium murni yang komersial; bila diperlukan tambahan ketangguhan, kontrol pada berbagai kotoran, terutama besi dan silikon mengarah ke variasi yang lain, dimana 7175 dan 7475 tetap merupakan paduan aktif yang dikenal karena ketangguhan yang superior. (Kaufman, 2000)

Seperti disebutkan sebelumnya, dua digit terakhir masuk seri 1xxx menunjukkan tingkat kemurnian dalam hal dua digit pertama setelah kemurnian 99.XX% dari aluminium yang digunakan dalam mempersiapkan komposisi itu. Jadi, misalnya, sebutan 1060 mengindikasikan minimum 99,60% aluminium dalam komposisi itu. Pada seri 2xxx ke 8xxx yang tersisa, dua digit terakhir tidak memiliki arti khusus. Mereka hanya berfungsi untuk mengidentifikasi paduan individu tertentu dan tidak berarti apa-apa dalam hal urutannya di mana paduan dikembangkan atau didaftarkan. Secara historis, untuk paduan yang lebih tua, angka tersebut berasal dari sebutan sebelumnya (mis., 2024 adalah 24S sebelum 1950). Baru-baru ini, sudah menjadi tradisi pengembang paduan baru meminta sebutan tertentu, terkadang berbasis pada kedekatan aplikasi dengan paduan lain dari seri yang sama atau karena mereka menilai mereka mudah diingat atau semacamnya. Paduan 2020, sekarang tidak aktif, adalah contoh yang terakhir. Jika pengembang meminta nomor tertentu ketika mengajukan pendaftaran, Komite Standar Produk Asosiasi Aluminium, yang mengawasi sistem, kemungkinan akan menyetujui permintaan tersebut jika tidak menimbulkan kebingungan. Namun, jika tidak ada sebutan yang diminta, panitia kemungkinan akan mengambil



nomor terendah yang digunakan dalam urutan 1 sampai 99. (Kaufman, 2000)

#### **2.10.1.1 Seri 1XXX**

Aluminium murni. Komposisi dalam kelompok ini relatif memiliki kekuatan rendah, bahkan saat regangan mengeras; Namun, mereka memiliki daktilitas dan kemampuan formabilitas sangat tinggi dan mungkin mudah dikerjakan atau dibentuk. Aluminium seri 1xxx juga memiliki konduktivitas dan ketahanan listrik yang sangat tinggi terhadap semua jenis lingkungan korosif dan dapat dengan mudah masuk dalam sejumlah proses komersial. (Kaufman, 2000)

#### **2.10.1.2 Seri 2XXX**

Tembaga. Sebagai elemen paduan utama dalam seri ini, tembaga memberikan kekuatan yang relatif tinggi karena memberikan penguatan paduan dan kemampuan untuk pengerasan presipitasi. Banyak paduan aluminium komersial mengandung tembaga sebagai unsur penyerap utama dalam konsentrasi dari 1 sampai 10%. Karena paduan ini secara alami menua di temperatur kamar, sangat menguntungkan untuk melakukan kerja atau pembentukan yang diperlukan logam segera setelah *quenching* dari *solution heat treatment*. Jika ada penundaan diperlukan, sangat mungkin untuk mendinginkannya sesuai keinginan sampai pekerjaan mekanis bisa dilakukan. Dalam kondisi mengeras (usia-mengeras) sepenuhnya, keuletan paduan 2xxx umumnya lebih rendah dari pada beberapa paduan lainnya dan ketahanannya terhadap lingkungan korosi tidak sebagus aluminium murni atau paduan yang *non-heat treatable*. terkecuali bila diberi perawatan khusus, paduan 2xxx dalam kondisi T3 dan T4 mungkin rentan terhadap *stress-corrosion cracking* (SCC) saat stress melintang pendek (yaitu, butiran utama mengalir normal ke bidang). Pengerasan presipitasi meningkatkan ketahanan terhadap SCC namun mengurangi daktilitas dan ketangguhan. Sebagian besar paduan aluminium-





tembaga tidak mudah dilas dengan proses komersial, tapi beberapa paduan seperti 2219 dan 2195 telah dikembangkan. (Kaufman, 2000)

### 2.10.1.3 Seri 3XXX

Mangan hanya menghasilkan sedikit kekuatan bahkan ketika *strain hardening*, tetapi relatif tinggi kemampuan formability dan daktilitasnya dan sangat tahan terhadap korosi di hampir semua lingkungan. Paduan dari seri 3xxx mudah di las dan termasuk yang terbaik untuk aplikasi mematri dan solder. Paduan aluminium-mangan komersial mengandung hingga 1,2% mangan, tetapi perlu dicatat bahwa mangan biasanya digunakan sebagai penyusun paduan tambahan pada paduan dari seri lainnya untuk meningkatkan kekuatan. (Kaufman, 2000)

### 2.10.1.4 Seri 4XXX

Ada dua jenis paduan aluminium berbasis silikon: Mereka yang hanya memiliki silikon, yang mana tidak terlalu kuat tapi memiliki karakteristik *flow* dan *finishing* yang terbaik, dan ada juga yang mengandung tembaga dan/atau magnesium beserta silikon dan dengan demikian mendapatkan kekuatan dengan *solution heat treatment* dan *aging*. Paduan 4xxx tidak tahan terhadap lingkungan korosif dan cenderung "abu-abu" dengan waktu di lingkungan lembab. Menariknya, karakteristik ini digunakan sebagai keuntungan untuk teknik *finishing* seperti *anodizing* untuk mendapatkan keberagaman nuansa warna abu-abu. Karena silikon menambah karakteristik "arus" mereka selama bekerja, beberapa paduan 4xxx (misalnya, 4032) digunakan untuk detail yang rumit proses tempayang rumit seperti piston. Paduan 4xxx mudah dilas dan, sebenarnya, termasuk beberapa paduan las yang banyak banyak digunakan, hal tersebut merupakan hasil lain dari fluiditas mereka yang tinggi. (Kaufman, 2000)



#### 2.10.1.5 Seri 5XXX

Magnesium. Penambahan magnesium untuk aluminium di antaranya untuk memperoleh kekuatan tertinggi dari paduan *non-heat-treatable*. Paduan ini juga sangat tangguh, menyerap banyak energi selama *fracture*, dan karenanya bisa digunakan dalam aplikasi kritis dimana ketangguhan superior sangat penting. Paduan dari seri 5xxx mudah dilas dengan prosedur komersial. Umumnya, paduan 5xxx juga memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap lingkungan korosif dan air laut sampai-sampai bisa digunakan pada lingkungan laut yang parah. Namun, paduan dengan lebih dari 3% Mg tidak direkomendasikan untuk digunakan di mana terdapat paparan temperatur tinggi yang signifikan karena beberapa sensitisasi terhadap SCC dapat terjadi. Untuk jenis aplikasi ini, paduan seperti 5052, 5454, dan 5754 mengandung sedikit magnesium direkomendasikan. (Kaufman, 2000)

#### 2.10.1.6 Seri 6XXX

Silikon plus Magnesium. Dengan magnesium dan silikon didalamnya, aluminium membentuk bagian kuasi-biner dengan fase  $Mg_2Si$  pada sistem magnesium-silikon, yang memberikan kemampuan pengerasan presipitasi yang sangat baik. Hal ini menghasilkan kekuatan yang jauh lebih baik daripada paduan *non-heat-treatable*, dikombinasikan dengan ketahanan korosi yang sangat baik. Paduan tipe 6xxx termasuk paduan aluminium termudah untuk di *extrude*, dan karena itu banyak digunakan untuk bentuk kompleks (mis., multihollow atau bersirip) yang. Selain itu, mereka mudah dilakukan dengan hampir semua proses komersial. Seperti seri 2xxx, beberapa *aging* alami segera setelah *solution heat treatment* dimulai, sehingga operasi pembentuk harus segera dilakukan setelah material di *quench*. (Kaufman, 2000)



### 2.10.1.7 Seri 7XXX

Seng. Paduan aluminium seng, terutama bila dikombinasikan dengan tembaga dan magnesium, memberikan kekuatan tertinggi dari seri apapun. Sebagai kelompok, paduan ini memiliki resistensi korosi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya dan kurang tangguh dan lebih rentan mengalami retak korosi tegangan di bawah *short-transverse stressing*. Perawatan khusus telah dikembangkan untuk menangani karakteristik ini dan terutama penting bila paduan akan dikerjakan pada keadaan *shorttransverse* yang tinggi. Seperti seri 2xxx dan 6xxx, paduan 7xxx *aging* mengikuti perlakuan panas, jadi penempatan waktu operasi pembentuk sangat penting. (Kaufman, 2000) Tabel 2.6 merupakan penunjuk densitas paduan *Wrought Aluminium*(Al) dan 2.7 menunjukkan seri dan kandungan dari paduan *Wrought Aluminium*(Al).

**Tabel 2.6** Densitas dari Paduan Aluminium(Al) (Kaufman, 2000)

Alloying Element	Density	
	g/cm <sup>3</sup>	lb/in <sup>3</sup>
Aluminium	2,699	0,0971
Silver	10,49	0,379
Gold	19,32	0,698
Beryllium	1,82	0,066
Bismuth	9,80	0,354
Cadmium	8,65	0,313
Cobalt	8,9	0,32
Chromium	7,19	0,260
Copper	8,96	0,324
Iron	7,87	0,284
Lithium	0,53	0,019
Magnesium	1,74	0,0628
Manganese	7,43	0,268
Molybdenum	13,55	0,490
Nickel	8,90	0,322



<i>Lead</i>	1,34	0,410
<i>Silicon</i>	2,33	0,084
<i>Tin</i>	7,30	0,264
<i>Titanium</i>	4,54	0,164
<i>Zinc</i>	7,13	0,258
<i>Zirconium</i>	6,5	0,23

**Tabel 2.7** Elemen Paduan pada Paduan *Wrought* Aluminium(Al)  
(Kaufman, 2000)

<i>Alloy</i>	<i>Main Alloying Element</i>
1XXX	<i>Pure Aluminium</i>
2XXX	<i>Copper</i>
3XXX	<i>Manganese</i>
4XXX	<i>Silicon</i>
5XXX	<i>Magnesium</i>
6XXX	<i>Magnesium and Silicon</i>
7XXX	<i>Zinc</i>

### 2.10.2 Paduan Cast Aluminium(Al)

Seri penunjukan paduan *cast* memiliki sejarah lebih kompleks dan membingungkan daripada seri paduan *wrought*, dan karenanya, untuk menggambarkan penunjukan paduan, beberapa penjelasan akan diberikan kepada beberapa variasi penamaan pada paduan *cast* aluminium. Hal ini penting karena perubahan terbaru sistem penunjukan paduan *cast* telah terjadi jauh lebih banyak dari pada yang berada dalam seri paduan *wrought*, jadi ada probabilitas yang jauh lebih tinggi bahwa ada banyak bagian dalam penggunaan dan penentuan dalam gambar yang diidentifikasi dengan versi sebelumnya. Mungkin ada banyak individu yang masih belum menyadari perubahan terbaru. Dalam materi berikut, sistem saat ini dibahas terlebih dahulu, diikuti dengan melihat ke belakang pada sistem penunjukan sebelumnya. (Kaufman, 2000)

Penunjukan paduan *cast* memiliki empat angka, dengan titik decimal antara angka ketiga dan keempat dan huruf sebelum



angka untuk menunjukkan variasi. Tiga angka pertama menunjukkan paduan, dan keempat menunjukkan bentuk produk. Angka pertama mengidentifikasi kelompok. Sebagai contoh, penandaan 3xx.x mewakili kelompok paduan aluminiumsilicon yang mengandung magnesium atau tembaga. Seperti paduan tempa, bila ada dua elemen utama dalam persentase yang sama dalam paduan, paduannya ditentukan sesuai dengan urutannya: tembaga, silikon plus tembaga dan / atau magnesium, silikon, magnesium, atau seng.

Angka kedua dan ketiga mengidentifikasi paduan tertentu dari kelompok. Untuk semua kecuali seri 1xx.x, tidak ada signifikansi khusus untuk angka itu; mereka tidak menunjukkan urutan jenis apapun atau mewakili karakteristik paduan apapun. Dalam beberapa, meski tidak semua, contoh, jumlahnya mungkin merujuk kembali ke sistem penunjukan sebelumnya. Dalam seri 1xx.x, dua digit terakhir mewakili persentase aluminium yang berada di sebelah kanan titik desimal dalam persentase itu, contohnya, 160,0 mewakili paduan aluminium minimum 99,60% yang kemurniannya relatif tinggi.

Angka terakhir setelah desimal menunjukkan produk bentuk casting atau ingot. Jika penunjukan berlaku untuk hasil pengecoran, nol selalu digunakan (xxx.0); untuk ingot yang mana produk casting akan atau telah diproduksi, 1 atau 2 digunakan (xxx.1 atau xxx.2). Dalam kasus terakhir, penunjukan xxx.1 adalah yang paling umum dan mengacu pada komposisi komersial yang umum. Penamaan xxx.2 biasanya terbatas pada kasus-kasus di mana kisaran batas komposisi yang lebih sempit dari satu atau lebih elemen, dalam komposisi untuk xxx.1 digunakan untuk mencapai sifat khusus. Sebagai contoh, paduan 356,0 mewakili pengecoran dari silicon ditambah seri tembaga dan/atau magnesium. Penunjukan 356.1 secara normal akan mewakili ingot dari mana casting 356.0 dibuat. Huruf awalan seperti A atau B menunjukkan variasi komposisi paduan cast, tapi secara keseluruhan sama. (Kaufman, 2000) Tabel 2.8 menunjukkan seri dari paduan *cast* Aluminium(Al).

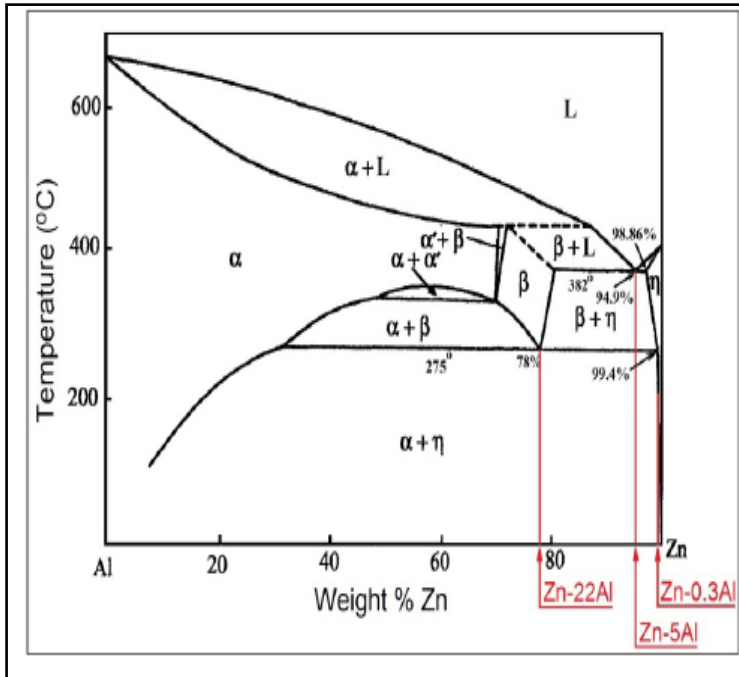


**Tabel 2.8** Paduan *Cast Aluminum* (Kaufman, 2000)

<i>Series</i>	<i>Alloying Element</i>
1XX.X	<i>Unalloyed composition</i>
2XX.X	<i>Copper</i>
3XX.X	<i>Silicon plus Copper and/or Magnesium</i>
4XX.X	<i>Silicon</i>
5XX.X	<i>Magnesium</i>
6XX.X	<i>Not used</i>
7XX.X	<i>Zinc</i>
8XX.X	<i>Tin</i>
9XX.X	<i>Other elements</i>

### **2.11 Paduan Zn-Al**

Paduan Seng merupakan salah satu bahan cor yang baik dimana Seng memiliki titik leleh yang rendah, sehingga dapat dibentuk dengan berbagai metode pengecoran. Pressure die Casting dengan “hot chamber system” merupakan proses pengecoran yang paling mudah dan cepat. Paduan Seng yang dibentuk melalui proses pengecoran digunakan secara luas dalam pembuatan peralatan rumah tangga tempat peralatan optic, sound reproducing instrument part, mainan dan komponen ringan dari kendaraan dan lain lain. Paduan Seng juga dapat difinishing dengan pengecatan atau “electroplating”. Dalam pelaksanaannya Proses pembentukan benda kerja dengan cara pengecoran yang menggunakan paduan seng ini sering ditambahkan unsur Aluminium untuk menurunkan titik cairnya serta meningkatkan tegangannya dengan komposisi sebagaimana diperlihatkan pada bagian dari diagram keseimbangan dari paduan Seng-Aluminium. Gambar 2.9 menunjukkan diagram fasa Al-Zn (Sudjana, 2008)



**Gambar 2.9** Bagian dari diagram keseimbangan paduan Seng-Aluminium (M. Demirtas, 2015)

Diagram kesimbangan paduan Seng-Aluminium mengindikasikan bahwa dengan penambahan sedikit kadar Aluminium yang masuk kedalam larutan padat dari Seng akan menghasilkan *eutectic* dimana pada Seng mengandung Aluminium 5 %. Sebagaimana dilakukan pada beberapa jenis paduan lainnya dimana dilakukan “ageing” untuk penuaan melalui pemadatan cepat dalam proses die-Casting, walaupun mengakibatkan penurunan angka kekerasan, nilai impact serta kekuatan tariknya akan tetapi keuletan(*ductility*)nya akan meningkat secara actual tergantung pada lamanya proses dan kondisi ageing tersebut, biasanya mencapai 5 minggu.



British Standard mengelompokan jenis paduan ini kedalam dua kelompok yakni paduan “A” dan Paduan “B” yang mengindikasikan komposisi serta original-properties, sebagaimana terlihat pada table berikut: (Sudjana, 2008)

**Tabel 2.9** Paduan A (Sudjana, 2008)

Composition Content (%)	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Impact Strength (J/cm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (%)	Brinell Hardness
Aluminium 4	285	57 (Izod)	10,8 pada $5,65\sqrt{S_0}$	83
Magnesium 0,05				
Zinc Balance				

**Tabel 2.10** Paduan B (Sudjana, 2008)

Composition Content (%)	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Impact Strength (J/cm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (%)	Brinell Hardness
Aluminium 4,1	330	58 (Izod)	6,5 pada $5,65\sqrt{S_0}$	92
Magnesium 0,05				
Copper 1,0				

Paduan-paduan tersebut menggunakan unsur Zinc (Seng) dengan tingkat kemurnian 99,99%. Perbandingan dalam pemakaian antara logam A dan logam B ternyata Logam A lebih banyak dibandingkan dengan logam B, hal ini dikarenakan logam A memiliki sifat yang ulet, sedangkan logam B kuat dan keras dan Logam paduan A lebih stabil pada dimensional dengan beban impact sekalipun namun dapat berubah pada saat pengecoran. Logam Paduan B sedikit lebih mudah dalam pengecoran.





Temperatur logam bahan cor serta temperatur cetakan akan sangat berpengaruh terhadap sifat benda tuangan tersebut, oleh karena itu prosedur dan petunjuk pengerjaan serta kondisi pengecoran harus diperhatikan (Sudjana, 2008).

## 2.12 Pengecoran

Pengecoran atau penuangan (*casting*) merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku/bahan benda kerja yang relative mahal dimana pengendalian kualitas benda kerja dimulai sejak bahan masih dalam keadaan mentah. Komposisi unsur serta kadarnya dianalisis agar diperoleh suatu sifat bahan sesuai dengan kebutuhan sifat produk yang direncanakan namun dengan komposisi yang homogen serta larut dalam keadaan padat. Proses pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan benda kerja yang efisien dan dapat membentuk benda kerja hingga bagian yang tersulit secara tepat dan akurat dengan sedikit atau tidak sama sekali memerlukan proses pemesinan (*machining*). Keberhasilan dalam proses pembentukan benda kerja dengan cara pengecoran relatif ditentukan oleh tingkat kerumitan bentuk benda kerja itu sendiri.

Proses penuangan juga merupakan seni pengolahan logam menjadi bentuk benda kerja yang paling tua dan mungkin sebelum pembentukan dengan panyayatan (*chipping*) dilakukan. Sebagai mana ditemukan dalam artifacts kuno menunjukkan bukti keterampilan yang luar biasa dalam pembentukan benda dari bahan logam dengan menuangkan logam yang telah dicairkan (*molten metals*) kedalam cetakan pasir khusus menjadi bentuk tertentu.

Coin kuno yang terbuat dari emas (*gold*), perak (*silver*), dan bronze dipertahankan dan dipamerkan di museum prajurit dan dinyatakan sebagai koleksi karya seni yang luar biasa dari tingkat keterampilan (*skill*) pada masa itu, demikian pula dengan gambar serta lukisan kuno yang sangat detail dari seorang raja sebagai bukti kekuasaannya. Dalam perkembangannya pembentukan benda kerja melalui penuangan ini tidak hanya pada



lingkup seni dan konsumsi kalangan aristocrat semata, namun juga pada pengembangan teknologi penuangan itu sendiri termasuk pengembangan peralatan dan mesin-mesin perkakas moderen sebagaimana yang kita gunakan pada saat ini, sehingga metoda penuangan dengan cetakan pasir (*sand mold*) menjadi salah satu metoda penuangan dimana berbagai metoda penuangan tersebut antara lain meliputi: (Sudjana, 2008).

1. *Sand casting* (penuangan dengan cetakan pasir)
2. *Die casting* (penuangan dengan cetakan matres)
3. *Centrifugal casting* (penuangan dengan cetakan putar)
4. *Centrifugal casting* (penuangan dengan cetakan putar)
5. *Shell moulding*
6. *Investment casting*

### **2.13 Sand Casting**

Proses pembentukan benda kerja dengan metoda penuangan logam cair kedalam cetakan pasir (*sand mold*), secara sederhana cetakan pasir ini dapat diartikan sebagai rongga hasil pembentukan dengan cara mengikis berbagai bentuk benda pada bongkahan dari pasir yang kemudian rongga tersebut diisi dengan logam yang telah dicairkan melalui pemanasan (*molten metals*). Proses pembentukan cetakan pasir ini harus dilakukan secara hati-hati dan memperlakukannya seperti mendirikan periuk emas murni atau perak atau tembaga. Kendati sekarang telah benar-benar mampu melakukan loncatan kemampuan dalam pekerjaan pengecoran (*casting*) seperti pembuatan sejumlah poros luar dari mesin kapal laut *Queen Mary* yang sangat besar dan panjang juga rel kereta api. Cetakan pasir untuk pembentukan benda tuangan melalui pengecoran harus dibuat dan dikerjakan sedemikian rupa dengan bagian-bagian yang lengkap sesuai dengan bentuk benda kerja sehingga diperoleh bentuk yang sempurna sesuai dengan yang kita kehendaki. Bagian-bagian dari cetakan pasir ini antara lain meliputi:

1. Pola, mal atau model (*pattern*), yaitu sebuah bentuk dan ukuran benda yang sama dengan bentuk asli benda yang



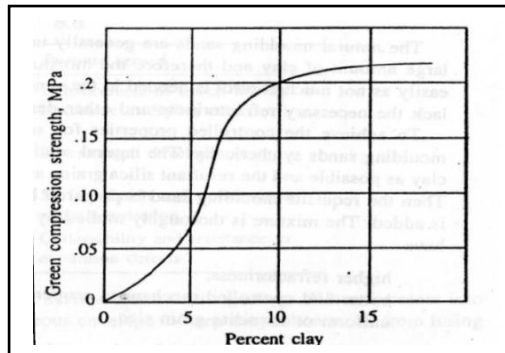
- dikehendaki, pola ini dapat dibuat dari kayu atau plastik yang nantinya akan dibentuk pada cetakan pasir dalam bentuk rongga atau yang disebut *mold* jika model ini dikeluarkan yang kedalamnya akan dituangkan logam cair.
2. Inti (*core*), inti ini merupakan bagian khusus untuk yang berfungsi sebagai bingkai untuk melindungi struktur model yang akan dibentuk, dengan demikian keadaan ketebalan dinding, lubang dan bentuk-bentuk khusus dari benda tuangan (*casting*) akan terjadi perubahan.
  3. *Cope*, yaitu setengah bagian dari bagian atas dari cetakan pasir.
  4. *Drag*, yakni setengah bagian bawah dari cetakan pasir tersebut.
  5. *Gate* ialah lubang terbuka dimana dituangkannya logam cair kedalam cetakan diantara core dan drag.
  6. *Riser* ialah lubang pengeluaran yang disediakan untuk mengalirnya sisa lelehan logam cair dari dalam cetakan serta sedikit reserve larutan logam cair.

Komponen-komponen utama untuk pembuatan cetakan tersebut diatas merupakan komponen utama yang digunakan dalam pembuatan cetakan untuk pengecoran logam. Kelengkapan lainnya adalah *Chaplet*, yakni kelengkapan pendukung *Cores*, walaupun pemakaian pendukung cores ini dianggap kurang praktis, dan beberapa peralatan yang lain tidak ada dalam perdagangan (Sudjana, 2008).

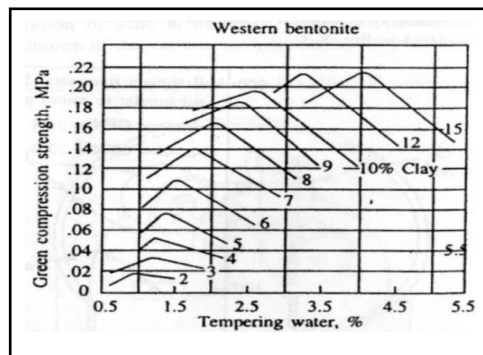
Pasir yang paling banyak digunakan yaitu pasir silica ( $\text{SiO}_2$ ). Pasir ini sangat cocok untuk cetakan karena tahan temperatur tinggi tanpa terjadi pengurain, harganya murah, tahan lama dan butirnya mempunyai bermacam tingkat ukuran besar dan bentuk. Pasir silica murni tidak dapat dimanfaatkan untuk membuat cetakan karena tidak memiliki daya pengikat. Pencampuran lempung sebanyak 8 sampai 15% dapat meningkatkan daya ikatnya. Jenis lempung yang sering dimanfaatkan adalah kaolin



( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan bentonite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Bentonite adalah sejenis abu vulkanik yang telah lapuk. Untuk metode dengan menggunakan *green sand* (pasir silika+air+clay) kekuatan ikatnya/*compression strength* yang harus di capai antara 100-250 Kpa. Untuk mendapatkan kekuatan tersebut, diperlukan campuran yang ideal. Pada Gambar 2.10 grafik yang menunjukkan hubungan antara *compression strength* dengan kandungan clay yang akan dicampur dan pada Gambar 2.11 grafik yang menunjukkan hubungan antara kandungan clay dan air dengan *compression strength*. (Rao, 2001)



Gambar 2.10 Komposisi Clay (Rao, 2001)



Gambar 2.11 Komposisi air (Rao, 2001)



## 2.14 Pattern

Pola desain mencakup semua faktor yang harus diperhatikan oleh pembangun alat saat membuat *pattern* dan *core box* untuk aplikasi sand-casting. *Master pattern* adalah *pattern* original yang dirancang dan dibuat oleh pembangun alat. Dalam beberapa situasi, produksi *pattern* dapat dihasilkan dari *master pattern*. Misalnya, beberapa salinan *master pattern* mungkin dilemparkan dan dipasang pada plat untuk produksi dengan volume besar. Di situasi lain, *master pattern* bisa langsung digunakan pada proses pengecoran untuk menghasilkan produk cor. Beberapa bahan digunakan untuk konstruksi *master pattern*. Masing memiliki keuntungannya dalam berbagai aplikasi. (Wang, 2010)

### 2.14.1 Kayu

Bahan kayu banyak digunakan di industri pengecoran. Jenis kayu yang sering digunakan meliputi pinus, poplar, mahoni, dan ceri. Karena lunak, pinus putih biasanya paling murah harganya paling mudah untuk digunakan. Namun, pinus memiliki ketahanan aus yang buruk dan memang rentan terhadap *warpage* karena perubahan kadar air. Poplar adalah kayu keras dengan kekuatan dan ketahanan abrasi yang baik, bagaimanapun juga seperti pinus, cenderung untuk melengkung. Jika dilaminasi dengan benar atau tersegmentasi dan dilapisi, *warpage* bisa diminimalisir. Mahoni Honduran itu keras dan lumayan stabil dan, untuk alasan ini, biasanya kayu pilihan untuk pola produksi kayu berkualitas tinggi. Cherry juga bagus untuk produksi *pattern* kayu; karena lebih keras dari pada mahoni dan mudah dikerjakan. Memasang pola kayu membantu mempertahankan bentuknya. Semua *pattern* kayu harus benar tersegmentasi untuk mengimbangi efek dari orientasi *grain*. Untuk meningkatkan penggunaan *pattern* kayu, *coreprints* dan daerah rawan lainnya bisa dibuat dari maple keras atau *birch*. (Wang, 2010)



### 2.14.2 Logam

Pola logam sangat sesuai untuk produksi yang berjalan lama. Dibandingkan kayu, logam lebih tahan abrasi dan kurang rentan pada *warpage*. Toleransi dimensi yang lebih ketat dapat dilakukan dengan perkakas logam dibandingkan kayu. Pola logam biasanya terbuat dari cast aluminium atau besi cor, tapi baja dan logam lainnya juga sesekali digunakan. Baja tahan karat semakin populer sebagai bahan *pattern* karena lebih mudah dilas dan tidak menimbulkan korosi atau karat. *Pattern* logam dapat cor sesuai ukuran dengan sedikit atau tanpa proses mesin, atau sepenuhnya mesin. Dalam kedua kasus, finishing dari *pattern* membutuhkan polishing yang cukup besar. Padahal, operasi finishing dapat mewakili 50% atau lebih dari total waktu konstruksi *pattern*. Beberapa area dari *pattern* atau *core box* membutuhkan toleransi yang lebih ketat. Contohnya termasuk menemukan titik, lokasi fixture, cetakan inti, dll. Baja harden atau sisipan poliuretan terkadang digunakan pada titik kritis ini untuk meningkatkan tahan aus dan stabilitas yang lebih baik. Karena temperatur tinggi dibutuhkan secara termal untuk pengaturan resin, cetakan shell dan proses pembuatan inti mengharuskan penggunaan peralatan logam. Karena aluminium cenderung dengan cepat aus pada temperatur tinggi, besi cor atau paduan tembaga tertentu, seperti perunggu atau tembaga krom, direkomendasikan.

### 2.15 Cetakan(Mold)

Proses pembentukan benda kerja dengan metoda penuangan logam cair kedalam cetakan pasir (sand casting), secara sederhana cetakan pasir ini dapat diartikan sebagai rongga hasil pembentukan dengan cara mengikis berbagai bentuk benda pada bongkahan dari pasir yang kemudian rongga tersebut diisi dengan logam yang telah dicairkan melalui pemanasan (molten metals). Proses pembentukan cetakan pasir ini harus dilakukan secara hati-hati dan memperlakukannya seperti mendirikan periuk emas murni atau perak atau tembaga. Kendati sekarang telah



benar-benar mampu melakukan loncatan kemampuan dalam pekerjaan pengecoran (casting) seperti pembuatan sejumlah poros luar dari mesin kapal laut *Queen Mary* yang sangat besar dan panjang juga rel kereta api. Cetakan pasir untuk pembentukan benda tuangan melalui pengecoran harus dibuat dan dikerjakan sedemikian rupa dengan bagian- bagian yang lengkap sesuai dengan bentuk benda kerja sehingga diperoleh bentuk yang sempurna sesuai dengan yang kita kehendaki. Bagian-bagian dari cetakan pasir ini antara lain meliputi:

1. Pola, mal atau model (*pattern*), yaitu sebuah bentuk dan ukuran benda yang sama dengan bentuk asli benda yang dikehendaki, pola ini dapat dibuat dari kayu atau plastik yang nantinya akan dibentuk pada cetakan pasir dalam bentuk rongga atau yang disebut *mold* jika model ini dikeluarkan yang kedalamnya akan dituangkan logam cair.
2. Inti (*core*), inti ini merupakan bagian khusus untuk yang berfungsi sebagai bingkai untuk melindungi struktur model yang akan dibentuk, dengan demikian keadaan ketebalan dinding, lubang dan bentuk-bentuk khusus dari benda tuangan (casting) tidak akan terjadi perubahan.
3. *Cope*, yaitu setengah bagian dari bagian atas dari cetakan pasir.
4. *Drag*, yakni setengah bagian bawah dari cetakan pasir tersebut.
5. *Gate* ialah lubang terbuka dimana dituangkannya logam cair kedalam cetakan diantara core dan drag
6. *Riser* ialah lubang pengeluaran yang disediakan untuk mengalirnya sisa lelehan logam cair dari dalam cetakan serta sedikit reserve larutan logam cair.

Komponen-komponen utama untuk pembuatan cetakan tersebut diatas merupakan komponen utama yang digunakan dalam pembuatan cetakan untuk pengecoran logam. Kelengkapan lainnya adalah *Chaplet*, yakni kelengkapan pendukung *Cores*,



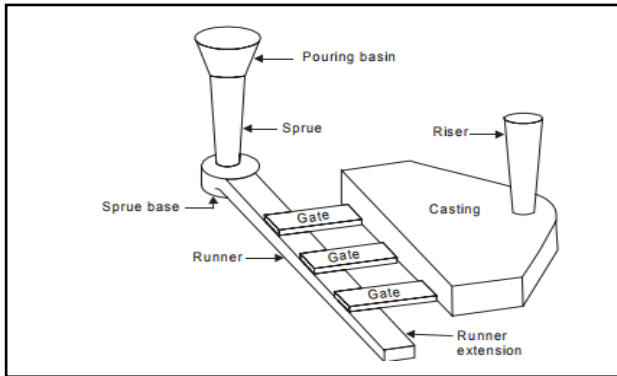
walaupun pemakaian pendukung cores ini dianggap kurang praktis, dan beberapa peralatan yang lain tidak ada dalam perdagangan. (Sudjana, 2008).

### **2.16 Gating System**

Dalam proses casting, *gating system* berperan penting untuk menghasilkan casting berkualitas tinggi. Sebuah *gating system* yang dirancang dengan buruk menghasilkan cacat pada pengecoran. Sebuah *gating system* mengendalikan proses pengisian cetakan. Fungsi utama *gating system* adalah untuk memastikan kelancaran proses logam cair bersih dari *ladle* ke rongga casting, seragam dan pengisiannya penuh. Untuk desain *gating system* yang bagus seseorang harus mengetahui perilaku aliran fluida selama proses pengisian cetakan. Mengisi cetakan merupakan fenomena yang kompleks, yang mempengaruhi kualitas internal maupun eksternal. Aliran logam cair setelah dituang adalah fenomena transien disertai turbulensi, pemisahan aliran dari permukaan, pembagian dan penggabungan aliran di persimpangan, transfer panas simultan selama aliran dan onset pemadatan. Terlebih lagi sifat lelehan seperti densitas, viskositas dan tegangan permukaan terus berubah selama mengalir. Semua ini bersama-sama membuat analisis pengisian cukup rumit. Jadi untuk menghasilkan casting yang bebas dari cacat seperti *defects* dan memperoleh hasil yang optimal, kebutuhan untuk mengembangkan metodologi untuk mengoptimalkan dimensi gate diperlukan mengingat kendala terkait cacat penuangan.

Unsur *gating system* meliputi *pouring basin*, *sprue*, *sprue well*, *runner* dan *ingate*, urutan aliran logam cair dari *ladle* ke rongga cetakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12. (Vaghasia, 2010)

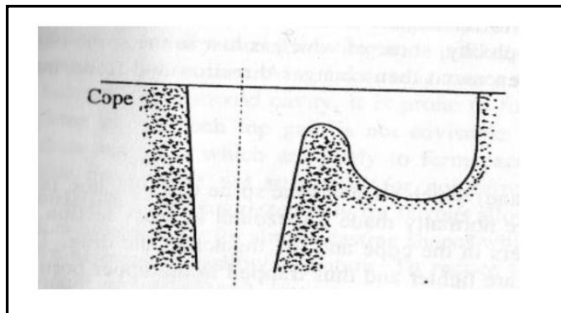




**Gambar 2.12** Elemen *Gating System* (Vaghasia, 2010)

### 2.16.1 *Pouring Basin*

*Pouring basin* adalah lubang berbentuk corong, dibuat di bagian atas cetakan. Tujuan utama dari *pouring basin* adalah mengarahkan aliran logam cair dari *ladle* ke *sprue*. Hal itu harus dilakukan secara substansial dan ditempatkan di dekat tepi kotak cetakan. *Pouring basin* harus cukup dalam untuk mengurangi pembentukan vortex dan tetap penuh selama seluruh operasi penuangan.

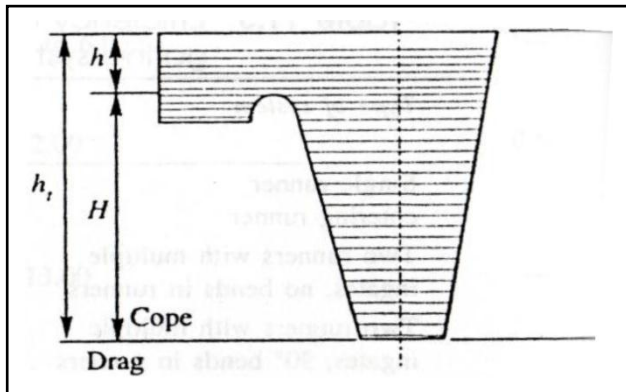


**Gambar 2.13** *Pouring basin*

Pada Gambar 2.13 menunjukkan desain *pouring basin* dimana D(diameter) dan R(radius). Logam cair tidak secara



langsung dituangkan kedalam cetakan karena dapat menyebabkan erosi Logam cair. Logam cair dituangkan ke dalam pouring basin atau cawang tuang yang berfungsi sebagai wadah awal dan kemudian logam cair berpindah secara perlahan ke dalam *sprue*. *Pouring basin* dapat mencegah *slag* masuk kedalam rongga cetakan. Logam cair saat penuangan akan menghadapi metal momentum yang terserap dan membentuk pusaran yang dapat dihindarkan dengan membuat salah satu dinding *pouring basin* dimiringkan  $45^{\circ}$  terhadap horizontal. Dalam special aplikasi, *pouring basin* memiliki bagian yang dapat menjebak *slag* agar tidak masuk kedalam cetakan (Rao, 2001)



**Gambar 2.14** Ukuran *Sprue* dan *Pouring Basin* (Rao, 2001)

Pada Gambar 2.14 menunjukkan ukuran *sprue* dan *pouring basin*. Untuk mendapatkan luas area atas dari pouring basin maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_t = A_c \times \sqrt{\frac{ht}{h}} \dots\dots(2.3)$$

$$ht = h + H \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana: H = Tinggi sebenarnya *sprue* (mm)  
A<sub>t</sub> = Luas area top (mm<sup>2</sup>)  
A<sub>c</sub> = Luas area coke (mm<sup>2</sup>)



---

h	= Tinggi <i>top</i>	(mm)
Ht	= tinggi seluruhnya	(mm)

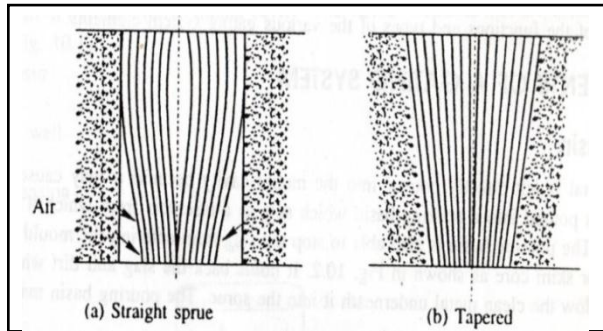
$$Ac = \frac{w}{dxtxcx\sqrt{2gh}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:	w	= Massa coran	(Kg)
	d	= Massa jenis logam cair (Kg/mm <sup>3</sup> )	
	g	= Gravitasi	(mm/s <sup>2</sup> )
	H	= Tinggi <i>sprue</i>	(mm)
	T	= Waktu <i>pouring</i>	(s)
	C	= <i>Efisiensi factor</i>	(0,88)

### 2.16.2 *Sprue*

*Sprue* adalah bagian yang menghubungkan *pouring basin* ke *runner* atau *ingate*. Hal ini umumnya dibuat meruncing ke bawah untuk menghindari aspirasi udara. Penampang *sprue* bisa persegi, persegi panjang, atau lingkaran. *Sprue* bulat memiliki luas permukaan minimal yang terpapar pendinginan dan memiliki ketahanan terendah terhadap aliran logam. *Sprue* persegi atau persegi panjang meminimalkan aspirasi udara dan turbulensi. (Vaghasia, 2010)

*Sprue* merupakan bagian yang meneruskan logam cair ke bagian lain atau tempat masuknya logam cair ke *runner* dan *gate* yang akhirnya logam cair akan masuk ke dalam rongga cetakan. Ketika logam cair mengalir dari atas *cope* ke *parting plane*, kecepatan aliran akan meningkat dan sebagai konsekuensinya membutuhkan area yang kecil untuk dilalui logam cair. Pada Gambar 2.15 menunjukkan tipe *sprue*. *Sprue* terdiri dari dua tipe yaitu *straight sprue* dan *tapered sprue*. Jika menggunakan *straight sprue*, tidak semua logam cair akan dialiri ke bawah sehingga menimbulkan ruang kosong yang dapat di isi oleh udara yang dapat terbawa ke rongga cetakan. Untuk mengatasi persoalan tersebut, digunakan tipe *tapered sprue* untuk menghindari udara yang terperangkap (Rao, 2001)



**Gambar 2.15** Tipe *sprue* (Rao, 2001)

### 2.16.3 *Sprue Base Well*

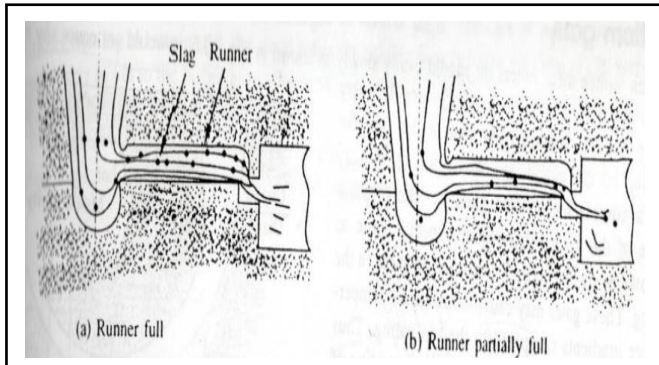
Terletak di dasar *sprue*. Berfungsi menangkap jatuhnya logam cair melalui *sprue* dan mengarahkan dengan sudut yang benar ke arah *runner*. *Sprue base well* merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan awal logam cair ketika mengalir dari atas turun ke bawah. Fungsi dari *sprue base well* ialah mengurangi efek dari momentum logam cair. Logam cair yang mengalir dari *sprue* meningkatkan kecepatannya yang dapat menyebabkan erosi cetakan. Dengan menggunakan *sprue base well*, erosi cetakan dapat berkurang dan arah aliran logam cair dapat berubah yang kemudian mengalir ke *runner* dan *gate* dengan aliran yang seragam. (Vaghasia, 2010)

### 2.16.4 *Runner*

*Runner* adalah bagian dari sistem pengisian yang berfungsi untuk mendistribusikan lelehan secara horisontal baik di sekitar atau di bawah cetakan agar mencapai bagian yang jauh dari rongga cetakan dengan cepat dan mengurangi masalah kehilangan panas. *Runner* biasanya selalu horisontal karena mengikuti sambungan cetakan normal pada cetakan horizontal konvensional. Pada jenis cetakan lainnya, terutama cetakan bersambung vertikal, atau cetakan investment di mana ada sedikit kendala geometris, *runner* akan mendapatkan keuntungan dari



karena bentuknya cenderung menanjak. Hal ini sangat berguna jika *runner* bisa diatur di bawah caetakan, sehingga *runner* terhubung ke rongga cetakan dengan gerbang vertikal. Semua bagian terendah dari rongga cetakan kemudian dapat dicapai dengan mudah dengan cara ini. Teknik ini biasanya dicapai hanya dalam cetakan tiga bagian dimana sambungan antara *cope* dan *drag* berisi *mold cavity*, dan sambungan antara bagian cetakan bawah (*base* dan *drag*) berisi saluran masuk. (Vaghasia, 2010)



**Gambar 2.16** Tipe *runner* (a) *Runner full*; (b) *Runner partially full* (Rao, 2001)

Dalam prakteknya, *runner* berada didalam *cope* dan *ingate* berada didalam *drag*. Alasan dilakukan pemisahan antara *gate* dan *runner* ialah agar menjadi perangkap *slag* agar tidak masuk kedalam rongga cetakan. Untuk perangkap *slag* yang efektif, *runner* harus mengikuti seperti di Gambar 2.16. Ketika sejumlah logam cair datang dari *sprue* lebih dari jumlah yang mengalir *ingate*; *runner* akan akan penuh dan akhirnya perangkap *slag* akan terjadi. Namun ketika logam cair mengalir melalui *ingate* lebih dari aliran *runner* maka *runner* akan terisi setengahnya dan *slag* kemudian akan masuk kedalam rongga cetakan. Untuk mendapatkan luas *runner*, maka diperlukan ratio perbandingan antara *sprue*, *runner* dan *ingate* yang dapat dilihat pada Tabel 2.12 (Rao, 2001)



**Tabel 2.11** Ratio gating system (Rao, 2001)

Material	<i>Sprue : Runner : Ingate</i>		
	<i>Sprue</i>	<i>Runner</i>	<i>Ingate</i>
<i>Aluminium</i>	1	2	1
	1	1.2	2
	1	2	4
	1	3	3
	1	4	4
	1	6	6
<i>Brass</i>	1	1	1
	1	1	3
	1.6	1.3	1
<i>Aluminium Bronze</i>	1	2.88	4.8
<i>Copper</i>	2	8	1
	3	9	1
<i>Ductile Iron</i>	1.15	1.1	1
	1.25	1.13	1
	1.33	2.67	1
<i>Grey Cast Iron</i>	1	1.3	1.1
	1	4	4
	1.4	1.2	1
	2	1.5	1
	2	1.8	1
	4	3	1
<i>Magnesium</i>	1	2	2
	1	4	4
<i>Melleable Iron</i>	1	2	9.5
	1.5	1	2.5
<i>Steel</i>	1	1	7
	1	2	1
	1	2	1.5
	1	2	2
	1	3	3
	1.6	1.3	1



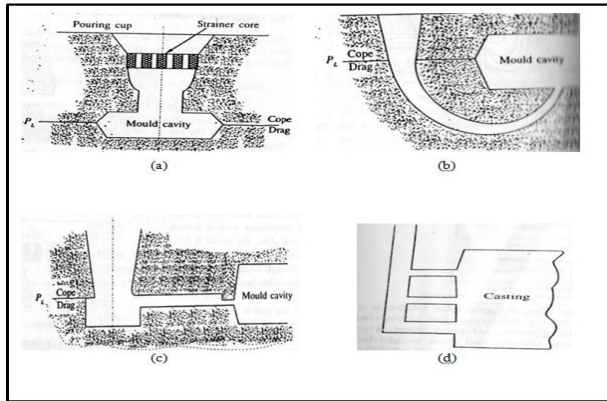
$$A_{runner} = \frac{A_c \times \text{ratio}}{\text{total runner}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:  $A_c$  = Luas *coke* (mm<sup>2</sup>)

### 2.16.5 Gate

Gate atau biasa disebut juga ingate merupakan tempat masuknya aliran logam cair ke rongga cetakan. Bentuk dari ingate harus dapat dipisahkan dari benda hasil corannya setelah solidifikasi dan juga bentuk ingate dapat membuat logam cair masuk dengan cepat ke rongga cetakan. Menurut aplikasinya, ingate terdiri dari berbagai macam jenis yaitu:

- a) *Top gate* yaitu tipe gate dimana logam cair masuk ke dalam rongga cetak dari atas. Karena logam cair masuk dari atas, hal tersebut dapat membuat erosi cetakan.
- b) *Bottom gate* yaitu tipe gate dimana logam cair masuk ke rongga cetakan dengan perlahan dan tidak menyebabkan erosi cetakan. Secara umum bottom gate digunakan untuk cetakan agak lebih kedalam. Bottom gate juga membutuhkan *sprue* khusus dan juga membutuhkan *riser* yang besar karena aliran logam cair dari gate ke rongga cetakan sangat lambat.
- c) *Parting gate* yaitu jenis gate secara luas digunakan, logam cair masuk di dalam gate yang terbagi dua (*parting line*) antara drag dan cope. Dari semua jenis gate, *parting gate* yang lebih murah.
- d) *Step gate* yaitu jenis gate yang digunakan untuk pengecoran dalam jumlah besar dan berat. Step gate terdiri dari beberapa yang tersusun secara vertical. Gate tipe ini memastikan bahwa erosi cetakan tidak terjadi (Rao, 2001).



**Gambar 2.17** Tipe ingate (a) *Top gate*; (b) *Bottom gate*; (c) *Parting gate*; (d) *Step gate* (Rao, 2001)

$$A_{\text{ingate}} = \frac{A_c \times \text{ratio}}{\text{total gate}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:  $A_c$  = Luas *coke* (mm<sup>2</sup>)

### 2.16.6 *Riser*

*Riser* adalah bagian yang dibuat di bagian dalam *cope* cetakan pasir. Logam cair naik setelah mengisi rongga cetakan sepenuhnya. Logam cair di *riser* mengkompensasi penyusutan selama pematatan *casting* sehingga menghindari efek *shrinkage* pada pengecoran. Hal tersebut juga memungkinkan pelepasan gas udara dan cetakan. Logam dan paduannya menyusut saat mendingin atau mengeras dan karenanya bisa membuat keadaan vakum parsial di dalam *casting* yang mengakibatkan *defect* yang dikenal sebagai *shrinkage* atau kekosongan. Fungsi *riser* yang utama dilekatkan pada cetakan adalah memasukkan logam cair untuk mengatasi *shrinkage* agar terjadi selama proses pematatan *casting*. Dikarenakan *shrinkage* adalah *casting defect* sangat umum pada pengecoran dan karenanya harus dihindari dengan membiarkan logam cair naik ke *riser* setelah mengisi rongga cetakan sepenuhnya dan memasok logam cair untuk memberi





pengisian lebih lanjut agar *shrinkage* tidak terjadi selama pemadatan casting karena penyusutan. *Riser* juga membuat udara keluar dan gas cetakan keluar saat rongga cetakan diisi dengan logam cair. *Riser* juga menunjukkan kepada orang pengecoran apakah rongga cetakan sudah terisi penuh atau tidak.

Desain *riser* yang sesuai juga membantu proses solidifikasi kearah yang bagus dan karenanya membantu produksi *casting* sesuai yang diinginkan. (Singh, 2010) Beberapa material memiliki penyusutan volum masing-masing dan kebutuhan *riser* yang berbeda. Ini ditunjukkan pada Tabel 2.13 Untuk membuat *riser* yang efektif, *riser* harus di desain sebagai berikut:

- a) Logam cair di *riser* harus mengalami solidifikasi terakhir
- b) Volum *riser* harus cukup mengisi penyusutan pada benda coran (Rao, 2001)

**Tabel 2.12** Volume penyusutan liquid (Rao, 2001)

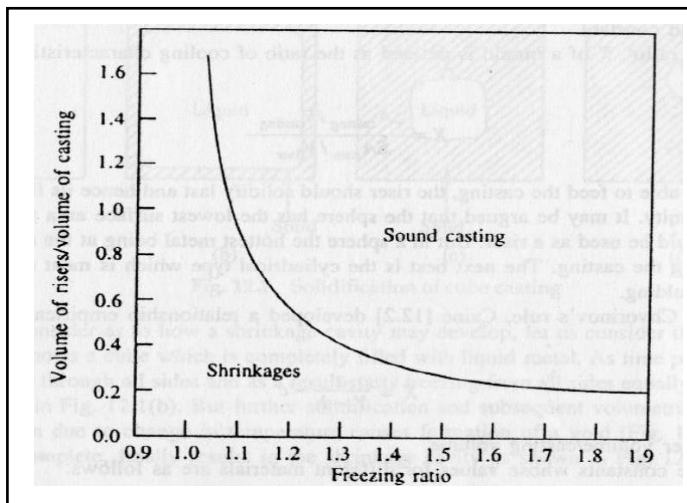
Material	Shrinkage
<i>Medium carbon steel</i>	2,5-3,5
<i>High carcon steel</i>	4
<i>Nickel</i>	6,1
<i>Monel</i>	6,3
<i>Aluminium</i>	6,6
<i>Aluminium (11-13% Si)</i>	3,5
<i>Aluminum bronze</i>	4,1
<i>Copper</i>	4,92
<i>70-30 brass</i>	4,5
<i>Bearing bronze</i>	7,3
<i>Grey cast iron</i>	1,9 (ke negative)
<i>White cast iron</i>	4-5,75
<i>Magnesium</i>	4,2
<i>Zinc</i>	6,5



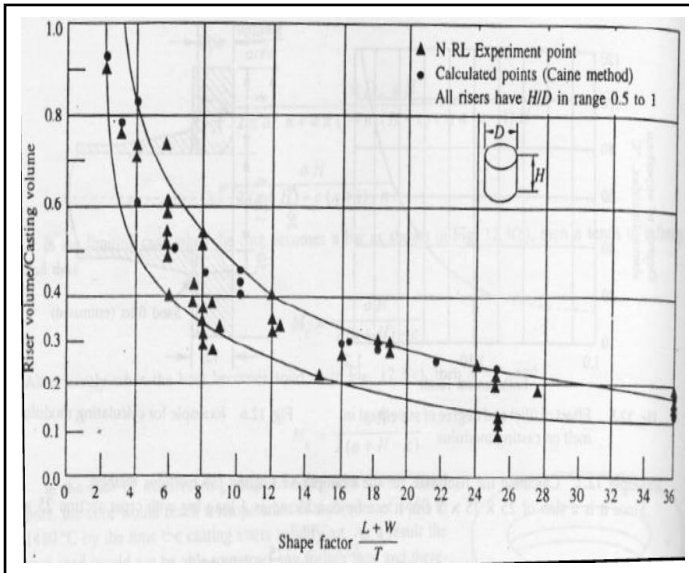
Untuk mendapatkan volum *riser* yang ideal dengan kebutuhan benda coran, diperlukan perhitungan volum *riser* dan jenis *riser* yang tepat digunakan. Ada dua metode dalam perhitungan volume *riser* yaitu dengan metode caine's dan metode Naval Research Laboratory (Rao, 2001).

Pada Gambar 2.18 menunjukkan grafik hubungan freezing ratio dengan volume *riser*/volume casting. Metode caine's menggunakan grafik tersebut untuk mendapatkan volume *riser*. Untuk mendapatkan nilai freezing ratio, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Freezing Ratio} = \frac{\text{Surface area casting no contact/volum casting}}{\text{Suraface area riser no contact/volum riser}} \dots(2.8)$$



**Gambar 2.18** Grafik metode caine's (Rao, 2001)

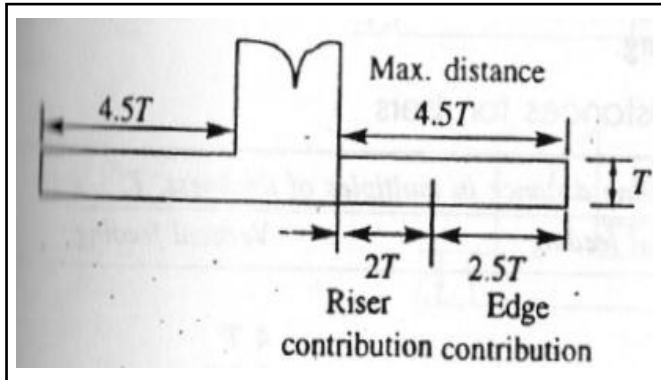


**Gambar 2.19** Grafik metode Naval Research Laboratory (Rao, 2001)

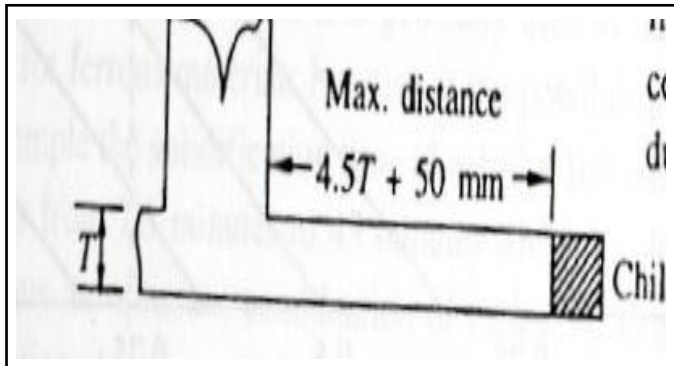
Pada Gambar 2.19 menunjukkan grafik shape factor dengan volume riser/volume casting. Metode naval research laboratory menggunakan grafik tersebut untuk mendapatkan volum riser. Ketika volum riser yang didapatkan dari hasil perhitungan, diharapkan logam cair/logam cair cadangan di dalam riser dapat mengisi benda coran. Ketika jarak rider dengan benda coran terlalu jauh, dimungkinkan bagian yang terjauh dari riser tidak dapat terisi oleh logam cair cadangan dari riser. Oleh karena itu, riser memiliki batas jangkauan untuk dapat mengisi atau dapat mengalir logam cair. Untuk satu riser, batas jangkauan riser maksimal untuk mampu mengisi/ mengalir logam cair yaitu  $4.5T$  dimana  $T$  ialah *thickness*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.17 dimana menggunakan satu riser. Apabila pada *mold*/cetakan benda cor ditambahh *chill*, maka kemampuan mengalir/ mengisi dari riser bertambah yaitu  $4.5T + 50$  mm dimana *chill* ialah



material paduan yang memiliki komposisi serupa dengan molten metal yang berfungsi meningkatkan heat transfer sehingga mempercepat pendinginan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.20 penggunaan *riser* dan *chill* secara bersama (Rao, 2001).



Gambar 2.20 Jangkauan satu *riser* (P N. Rao, 2001)



Gambar 2.21 Jangkauan *riser* yang ditambahkan *chill* (Rao, 2001)

### 2.16.7 Shrinkage Allowance

Semua logam ketika proses pendinginan akan mengalami penyusutan atau *shrink*. Ini dikarenakan adanya getaran inter-



atomic sehingga atom-atom tersebut membesar dengan naiknya temperatur. Ada dua jenis penyusutan yaitu *liquid shrinkage* dan *solid shrinkage*. *Liquid shrinkage* ialah penyusutan volum logam yang terjadi akibat perubahan liquid menjadi solid. Sedangkan *solid shrinkage* yaitu penyusutan volum logam pada kondisi solid temperatur tinggi menjadi solid temperatur rendah.

*Shrinkage allowance* merupakan faktor koreksi yang terbentuk pada *pattern* yang mengkompensasi perubahan dimensi yang terjadi pada *casting* ketika mengeras dan mendingin sampai pada temperatur kamar. Karena kontraksi logam seperti itu ketika mengalami pendinginan, *pattern* biasanya dibuat lebih besar dari bagian akhir dimensi sehingga saat *casting* telah mendingin sampai temperatur kamar, dimensi yang diperoleh dapat sesuai dengan yang telah di desain (Blair and Stevens, 1995).

Untuk mendapatkan hasil coran yang baik, tidak bisa logam cair dituangkan ke rongga cetakan sesuai bentuk dan dimensi komponen. Oleh kaarena itu diperlukan kelonggaran (*allowance*) saat pembuatan *pattern*. Tiap material coran memiliki kelonggran (*allowance*) yang berbeda, hal itu dapat dilihat pada Tabel 2.14 (Rao, 2001).

**Tabel 2.13** *Shrinkage allowance* untuk beberapa logam (Rao, 2001)

<i>Material</i>	<i>Pattern dimension</i> (mm)	<i>Section thickness</i> (mm)	<i>Shrinkage allowance</i>
<i>Grey cast iron</i>	<i>Up to 600</i>	-	10,5
	<i>600-1200</i>	-	8,5
	<i>Over 1200</i>	-	7
<i>White cast iron</i>	-	-	16-23
<i>Ductile iron</i>	-	-	8,3-10,4
<i>Malleable iron</i>	-	6	11,8
	-	9	10,5
	-	12	9,2



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI – ITS*

	-	15	7,9
	-	18	6,6
	-	22	4
	-	25	2,6
<i>Plain carbon steel</i>	<i>Up to 600</i>	-	21
	<i>600-1800</i>	-	16
	<i>Over 1800</i>	-	13
<i>Chromium steel</i>	-	-	20
<i>Manganese steel</i>	-	-	25-38
<i>Aluminum</i>	-	-	13
<i>Aluminium bronze</i>	-	-	20-23
<i>Copper</i>	-	-	16
<i>Brass</i>	-	-	15,5
<i>Bronze</i>	-	-	15,5-22
<i>Gunmetal</i>	-	-	10
	-	-	-16
<i>Manganese bronze</i>	-	-	15,6
<i>Silicon bronze</i>	-	-	10,4
<i>Tin bronze</i>	-	-	10,4
<i>Chromium copper</i>	-	-	20,8
<i>Lead</i>	-	-	26
<i>Monel</i>	-	-	20
<i>Magnesium</i>	-	-	13
<i>Magnesium alloy</i>	-	-	16
<i>White metal</i>	-	-	6
<i>Zinc</i>	-	-	10-15



Sebagai contoh misalnya suatu material cor berupa steel memiliki dimensi *pattern*/pola panjang x lebar x tinggi yaitu 200 mm x 150 mm x 100 mm. Maka dengan menggunakan Tabel 2.8 didapatkan nilai shrinkage allowance sebesar 21mm/m dan perhitungannya sebagai berikut:

$$P = 200 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 4,2 \text{ mm}$$

$$L = 150 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 3,2 \text{ mm}$$

$$T = 100 \text{ mm} \times 21\text{mm}/1000\text{mm} = 2,1 \text{ mm}$$

Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bendanya yaitu 150+4,2 mm, lebar 150+3,2 mm dan tinggi 100+2,1 mm (Rao, 2001).

### 2.16.8 Machining Allowance

Pada proses pengecoran dengan sand casting didapatkan hasil akhir yang umumnya jelek (permukaan masih kasar) dan dimensi coran belum akurat. Untuk mendapatkan hasil yang bagus dan dimensi yang akurat dilakukan proses machining. Oleh karena itu, dengan proses machining maka akan ada bagian yang akan dihilangkan agar mendapatkan coran yang baik. Machining allowance tergantung dengan logam coran, tipe cetakan yang digunakan, dan kompleksitas permukaan benda corannya. Hal ini dilihat pada Tabel 2.14 (Rao, 2001)

**Tabel 2.14** Machining allowance (Rao, 2001)

Dimension (mm)	Allowance (mm)		
	Bore	Surface	Cope side
Cast iron	Up to 300	3	5,5
	301-500	5	6
	501-900	6	6
Cast steel	Up to 150	3	6
	151-500	6	7
	501-900	7	9
Non ferrous	2	2	2
	2,5	2,5	3
	3	3	3



Sebagai contoh misalnya benda cor berupa steel dengan panjang, lebar dan tinggi yaitu 150 mm x 100 mm x 25 dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.10 di dapatkan machining allowance untuk surface sebesar 3 mm. Selanjutnya di tambahkan tiap-tiap dimensi benda cor tersebut (Rao, 2001).

### 2.16.9 Draft Allowance

Ketika pola (*pattern*) diletakan di pasir, akan terjadi kontak antara permukaan pola dan pasir. Ketika pola di ambil atau dilepaskan dari pasir, gesekan antar permukaan pola dan pasir menyebabkan pasir dapat runtuh atau terkikis. Oleh karena itu, diperlukan *pattern* yang memiliki sudut agar memudahkan untuk mengambil *pattern* dari pasir. Tiap material *pattern* memiliki *draft* allowance yang berbeda dan juga tiap ketinggian *pattern* memiliki nilai *draft* yang berbeda. Ini ditunjukkan dengan Tabel 2.15 (Rao, 2001).

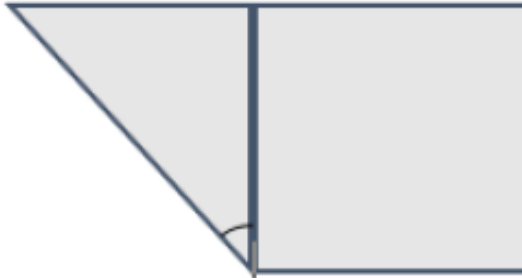
**Tabel 2.15** Nilai *draft pattern* (Rao, 2001)

Pattern Material	Height of the given Surface (mm)	Draft angle of surface (degrees)	
		External surface	Internal surface
Wood	20	3	3
	21-50	1,5	2,5
	51-100	1	1,5
	101-300	0,75	1
	201-300	0,5	1
	301-800	0,5	0,75
	801-2000	0,35	0,5
	Over 2000	-	0,25
Metal and plastic	20	1,5	3
	21-50	1	2
	51-100	0,75	1
	101-300	0,5	0,75
	201-300	0,5	0,75
	301-800	0,35	0,5





Sebagai contoh misalnya *pattern* yang digunakan berupa *wood* (kayu) dengan panjang 50mm dan tinggi 100 mm dan berbentuk balok. Maka dengan menggunakan Tabel 2.9 di dapatkan *draft* anglenya eksternalnya sebesar 1o dan tidak memiliki *draft* angle internal karena tidak memiliki rongga. Untuk perhitungannya sebagai berikut:



$$\tan 1^\circ = y/x$$

$$\tan 1^\circ = y/100 \text{ mm} \quad ; y = 1,74 \text{ mm}$$

Jadi dari hasil perhitungan tersebut di dapatkan panjang total cor bagian atas dengan penambahan *draft* yaitu sebesar 50 mm + 1,74 mm (Rao, 2001).

## 2.17 Cacat Pengecoran

Menurut (Lampman, 2009) cacat-cacat pengecoran terdiri dari 6 jenis cacat seperti :

### 1. Porositas

Porositas 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 hidrogen (Budinski, 1996).

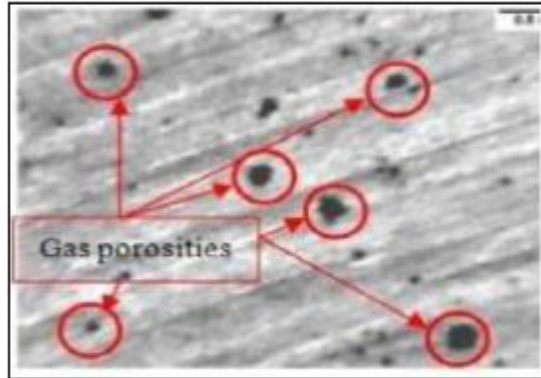
Porositas oleh gas hidrogen dalam paduan akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebab porositas antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi



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 dahulu 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 silikon 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 (pengurangan unsur Si dan P akan sangat membantu) (Firdaus, 2002).

Cacat pengecoran logam yang terjadi karena gas terlarut dalam logam cair dan terjebak pada proses solidifikasi disebut porositas gas, dan cacat pengecoran dapat terjadi karena penyusutan disebut porositas penyusutan (shrinkage) (Suprpto 2007).

- a) Cacat porositas gas Wibowo(2011) menyatakan. Cacat porositas gas disebabkan karena adanya pembentukan gas ketika logam cair dituangkan. Cacat porositas gas berbentuk bulat akibat tekanan gas ini pada proses pembekuan. Ukuran cacat porositas gas sebesar  $\pm 2$  mm sampai 3 mm, lebih kecil bila dibandingkan dengan cacat porositas shrinkage. Bentuk cacat gas seperti yang terlihat pada Gambar 2.22



**Gambar 2.22** Porositas gas (Wibowo, 2011)

- b) Cacat porositas *shrinkage*. Cacat porositas *shrinkage* mempunyai bentuk yang tidak bulat (*irregular*). Ukurannya lebih besar jika dibandingkan dengan cacat porositas gas. Penyebab adanya cacat porositas *shrinkage* adalah adanya gas hidrogen yang terserap dalam logam cair selama proses penuangan, gas yang terbawa dalam logam cair selama proses peleburan, dan pencairan yang terlalu lama.
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.
3. *Inclusion*  
*Inclusion* adalah kehadiran material asing dalam strukturmikro benda cor, material tersebut dapat berasal dari tungku waktu pembakaran, dari cetakan waktu penuangan material kecetakan atau dari material itu sendiri.



4. *Cold Shuts*

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

5. *Shrinkage*

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

## 2.18 Penelitian Sebelumnya

### 2.18.1 *Corrosion and wear resistance of hypoeutectic Zn-Al alloys as a function of structural Features*

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peran dari tipe butir makro (*kolumnar*, *columnar-to-equiaxed transition*, *CET* -, dan *equiaxed*) dan mikrostruktur (lengan dendrit sekunder jarak -  $l_2$ ) pada keausan dan perilaku elektrokimia paduan Zn-Al hypereutectic (Zn-1wt% Al, Zn-2wt% Al, Zn-3wt% Al dan Zn-4wt% Al) terarah dalam alat pemadatan dengan arah vertikal ke atas. Kami juga bertujuan untuk mengkorelasikan parameter termal dengan sifat elektrokimia dan keausan. Hasil yang diperoleh pada sistem paduan ini menunjukkan bahwa ketahanan korosi menurun sebagaimana konsentrasi aluminium meningkat, namun pada konsentrasi tertinggi (mendekati eutektik konsentrasi) resistensi ini tergantung pada strukturnya. Untuk kondisi keausan yang sama, tingkat keausan wilayah equiaxed lebih rendah dari daerah kolumnar dan transisi. Secara independen dari jenis struktur, ketahanan aus meningkat saat konsentrasi aluminium meningkat. (Ares dkk, 2012)



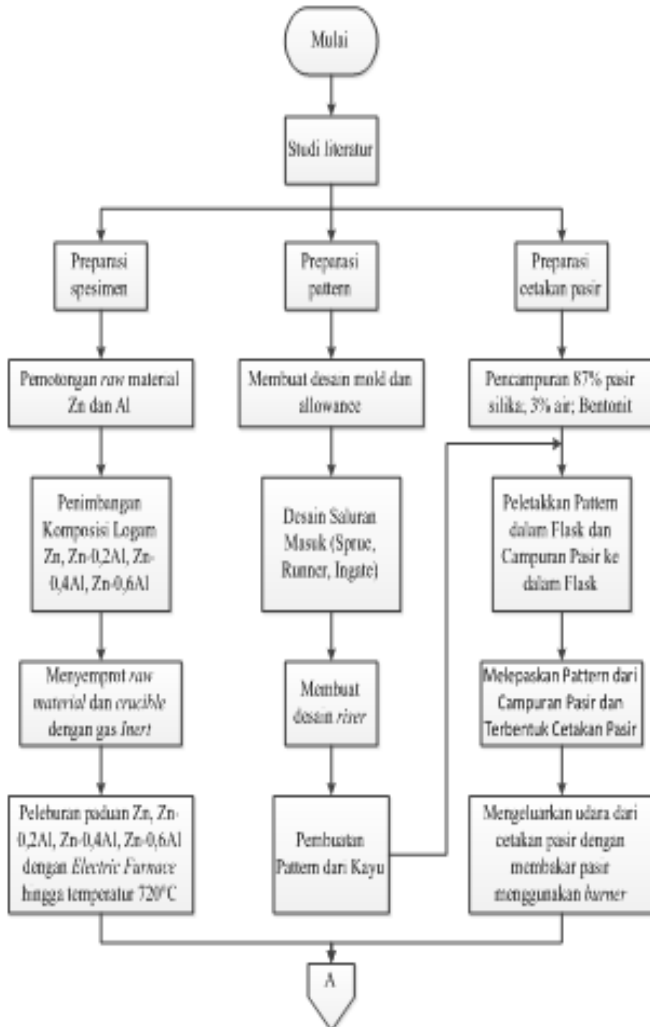
---

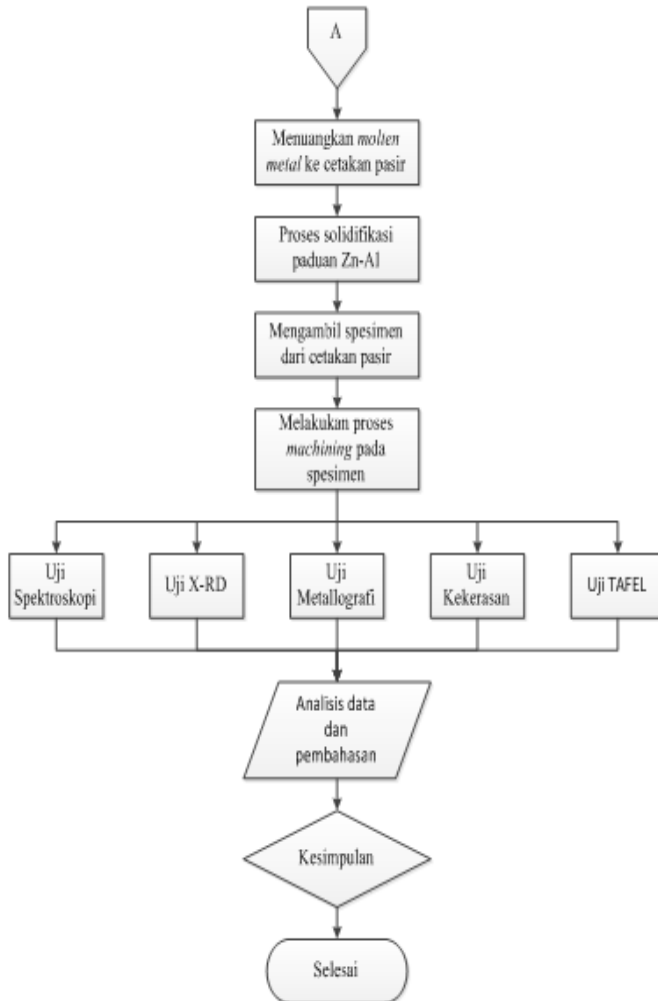
### **2.18.2 Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pelat Tipis Zn Hasil Rol Dingin untuk Aplikasi Anoda Korban**

Proteksi katodik dengan anoda korban banyak digunakan untuk melindungi struktur logam dari korosi pada lingkungan air laut. Proses pembuatan anoda korban Zn tersebut dapat dilakukan melalui proses pengecoran yang dilanjutkan dengan proses rol dingin (cold rolling). Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan pelat tipis Zn sebagai bahan baku anoda korban yang bebas cacat pada skala laboratorium. Pelat Zn hasil cor dan rol dingin dengan ketebalan 1 mm kemudian diuji keras menggunakan alat uji vicker's dan SEM-EDS (scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy). Harga kekerasan tertinggi dari pelat Zn dengan tebal 1 mm adalah rata-rata 95,63 VHN. Tingginya kekerasan pelat Zn dipengaruhi oleh adanya partikel ZnFeAl yang menghasilkan sifat getas dalam material tersebut.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap. Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir yang ditunjukkan Gambar 3.1. Pertama dilakukan studi literature



terkait penelitian, lalu melakukan preparasi cetakan pasir, pattern, dan bahan yaitu Zn-Al dengan variable komposisi Zn 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%wt. Setelah itu melakukan proses peleburan dengan *crucible furnace* pada temperature sampai dengan 700°C lalu dituang pada cetakan pasir yang telah disiapkan. Setelah logam telah tersolidifikasi dan dingin, specimen diambil dari cetakan lalu dilakukan proses *machining*, yaitu *grinding*, *polishing*. Kemudian dilakukan pengujian komposisi kimia untuk menentukan untuk meentukan komposisi kimia paduan dan dilakukan pengujian yang meliputi, uji spektroskopi, uji kekerasan, uji porositas, uji korosi, dan uji metalografi. Selanjutnya dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap hasil uji. Proses terakhir menarik kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan.

### 3.2. Material yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Seng(Zn)

Seng yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan >99% dalam bentuk *ingot* didapatkan dari PT. Isopak Indonesia, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Seng(Zn)





2. Aluminium

Aluminium (Al) dalam bentuk batang dengan kadar >99% didapatkan dari PT. Inalum, Medan. Aluminium digunakan sebagai logam paduan. Ditunjukkan oleh Gambar 3.3



**Gambar 3. 3** Aluminium(Al)

3. Bahan Etsa

Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9.

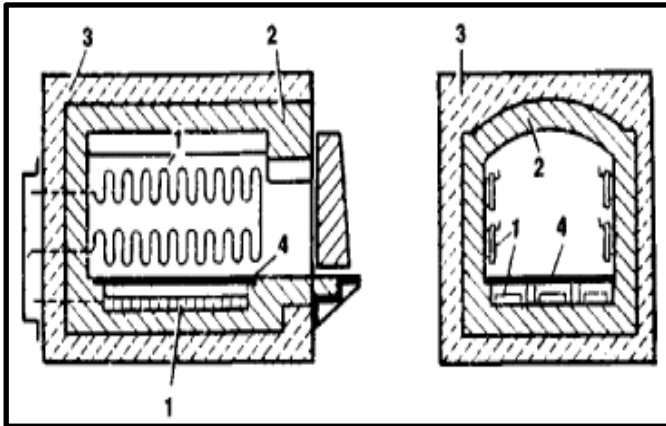
- a. 40 gr  $\text{CrO}_3$
- b. 3 gr  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- c. 200 ml air

### 3.3 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. *Resistance Furnace*

*Furnace* yang digunakan untuk melelehkan dan memadukan bahan merupakan *Electric Resistance Furnace*. *Electric Resistance Furnace* adalah tungku listrik di mana panas dihasilkan oleh konduktor yang memiliki ketahanan terhadap arus yang melalui mereka. Contoh *Electric Resistance Furnace* Ditunjukkan oleh Gambar 3.4



**Gambar 3.4** *Electric Furnace*

1. *Crucible* grafit  
Digunakan sebagai wadah untuk proses peleburan. Krusibel yang digunakan memiliki ukuran A5 dan terbuat dari *insulating brick* tipe C-1 dibeli dari U.D Kampung Dukuh, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.5

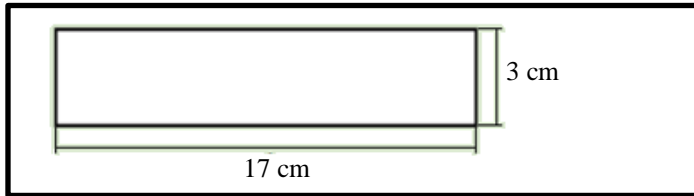


**Gambar 3.5** Krusibel Grafit

2. Pola Cetakan Komponen  
Pola cetakan komponen digunakan untuk membuat cetakan hasil coran pada cetakan pasir. Pola



cetakan hasil coran dibuat dengan bentuk balok dan menyesuaikan jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk pengujian. Contoh pola cetakan yang akan dilakukan pada pengujian tarik ditunjukkan oleh. Gambar 3.6



**Gambar 3.6** Produk Hasil Pengecoran

### 3. Pattern

Pattern cetakan yang digunakan adalah pattern untuk sprue dan riser. Dimensi rancangan dari sprue, riser, runner dan gate yang akan digunakan pada cetakan adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Dimensi Produk

Panjang (mm)	170,698
Lebar (mm)	35,298
Tinggi (mm)	30,3

**Tabel 3.2** Dimensi Runner

Luas Runner 1 (mm <sup>2</sup> )	83,369402
Sisi Runner 1 (mm)	123,4

**Tabel 3.3** Dimensi Riser

Diameter Riser (mm)	50
Tinggi Riser (mm)	44,45
Tipe Riser	Open



4. Kikir  
Kikir yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kikir digunakan untuk meratakan permukaan spesimen.
5. Gelas Ukur 250 ml  
Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.
6. Timbangan digital  
Digunakan untuk mengukur massa bahan lebur. Ditunjukkan oleh Gambar 3.7



**Gambar 3.7** Timbangan Digital

7. Kertas Amplas (taiyo eco)  
Digunakan untuk grinding spesimen pada uji metalografi. Digunakan kertas amplas *silicon carbide grade 80* hingga *2000*
8. Gergaji (newdior)  
Digunakan untuk memotong bahan lebur dan hasil coran.
9. Alat Uji Kekerasan *Universal*  
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen.



10. OES (*Optical Emission Spectroscope*)  
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
11. XRD  
Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari hasil coran
12. Mesin *Grinding & Polishing*  
Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing spesimen dalam uji metalografi.
13. Mikroskop Optikal Metalurgi  
Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro spesimen.
14. Peralatan Uji Tafel  
Alat ini digunakan untuk mengetahui potensial sel dari dan laju korosi material.

### **3.4 Variabel Percobaan**

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi penambahan unsur pepadu Al sebesar 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6% berat.

### **3.5 Prosedur Percobaan**

#### 3.5.1. Prosedur Pengecoran

Persiapan bahan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan allowance untuk mendapatkan volum coran dengan bentuk batangan/persegi panjang.  
Panjang (p) = 170 mm  
Lebar (l) = 30 mm



Tinggi (t) = 30 mm

a. *Shrinkage Allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.9 *shrinkage allowance* untuk beberapa logam, di dapatkan nilai *shrinkage allowance* untuk material *aluminum bronze* sebesar 20 mm/m, maka dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$$p = 170 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 1,7 \text{ mm}$$

$$l = 30 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,3 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}/1000 \text{ mm} = 0,3 \text{ mm}$$

Jadi, dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai masing-masing dimensi yaitu sebesar:

$$p = 170 \text{ mm} + 1,7 \text{ mm} = 171,7 \text{ mm}$$

$$l = 30 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 30,3 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 30,3 \text{ mm}$$

b. *Machining allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.11 *Machining allowance* untuk beberapa material, didapatkan nilai *machining allowance* untuk material *non-ferrous* di *surface* sebesar 1,5 mm untuk satu sisi *surface*, jika saat *machining* dilakukan di dua sisi *surface* berbeda, maka nilai *allowance*-nya dikali 2. Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang, lebar dan tinggi *allowance*-nya sebagai berikut:

$$p = 171,7 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 174,7 \text{ mm}$$

$$l = 30,3 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 33,3 \text{ mm}$$

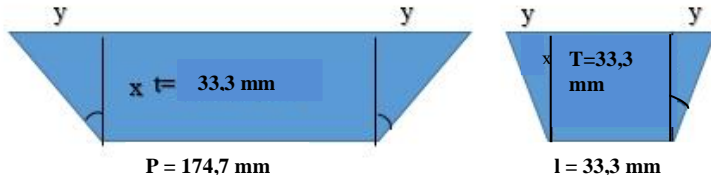
$$t = 30,3 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm}) = 33,3 \text{ mm}$$

c. *Draft allowance*

Dengan menggunakan Tabel 2.10 Nilai *draft pattern* maka di dapatkan sudut *draft*. Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *pattern* dengan berbahan kayu, maka dari Tabel 2.10 di dapatkan nilai



sudut *draft*-nya sebesar  $1,5^\circ$ . Dengan nilai tersebut dapat dicari panjang dan lebar *allowance*-nya sebagai berikut:



$$\tan(1,5^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$y = 0,87 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan masing- dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 174,7 \text{ mm} + 2(y) = 17,7 \text{ mm} + 2(0,87) \\ &= 176,698 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= 33,3 \text{ mm} + 2(y) = 33,3 \text{ mm} + 2(0,87) \\ &= 35,298 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 33,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum casting} &= p \times l \times t \\ &= 176,698 \text{ mm} \times 35,298 \text{ mm} \times 33,3 \text{ mm} \\ &= 207694,9639 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



## 2. Melakukan perhitungan pada *Gatting* Sistem

**Tabel 3.4** Perhitungan *Gatting* Sistem

Dimensi	Ukuran Awal	Shirkage Allowance	Machining Allowance	Draft Allowance
Panjang (mm)	170	171.7	174.7	176.698
Lebar (mm)	30	30.3	33.3	35.298
Tebal (mm)	30	30.3	33.3	33.3
Volume casting (mm <sup>3</sup> )	207694.9639			
Surface Area Casting Awal (mm <sup>2</sup> )	26593.10561			
Casting weight (Kg)	1.482942042			
Riser volume/casting volume	0.42			
Riser volume (mm <sup>3</sup> )	87231.88485			
Riser diameter (mm)	50			
Riser height (mm)	44.44936808			
Surface Area Riser awal (mm <sup>2</sup> )	10903.55079			
Luas kontak (mm <sup>2</sup> )	1962.5			
Surface Area Casting (mm <sup>3</sup> )	24630.60561			
Surface Area Riser (mm <sup>2</sup> )	8941.050788			
Freezing ratio (sumbu X)	1.157006553			
Tipe riser	Exothermic sleeves and topping			
Densitas seng (kg/m <sup>3</sup> )	7140			
Pouring time (s)	15			
Efisiensi faktor	0.9			
Gate type	Bottom gate			





Sprue height(ht) (mm)	44.44936808			
Effective metal height(H) (mm)	27.79936808			
Pouring bashin height(h) (mm)	16.65			
Luas choke sprue (mm <sup>2</sup> )	20.84235074			
Luas top sprue (mm <sup>2</sup> )	34.05433286			
Luas runner (mm <sup>2</sup> )	83.36940296			
Panjang runner (mm)	123.4			

### 3. Perhitungan *Material Balance*

Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap – tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Perhitungan *material balance* menggunakan Persamaan 3.1. Skema peleburan ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan % komposisi serta massa *raw material* yang digunakan dalam proses peleburan ditunjukkan pada Tabel 3.2

$$\frac{\% \text{ Target unsur}}{\% \text{ Rasio Kadar Unsur Pada Bahan}} \times \text{Massa Total} \dots\dots\dots(3.1)$$

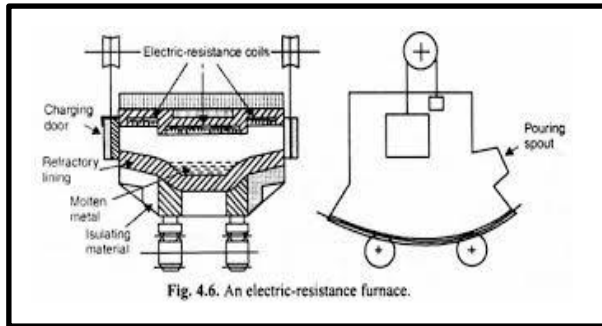
**Tabel 3.5** Komposisi *raw material input*

No.	Paduan	Zn (%)	Al (%)
1	Zn	99,99	-
2	Zn-0,2% Al	99,79	0,2
3	Zn-0,4% Al	99,59	0,4
4	Zn-0,6% Al	99,39	0,6

Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur, *raw material* kemudian diletakkan pada krusibel. Langkah selanjutnya yaitu melakukan peleburan Cu yang telah



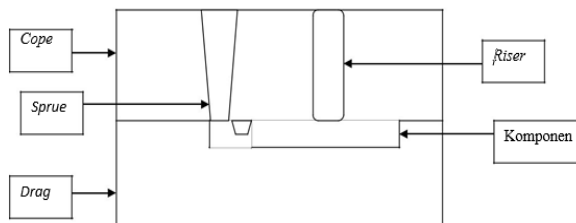
diletakkan dalam krusibel menggunakan *crucible furnace* sampai temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8



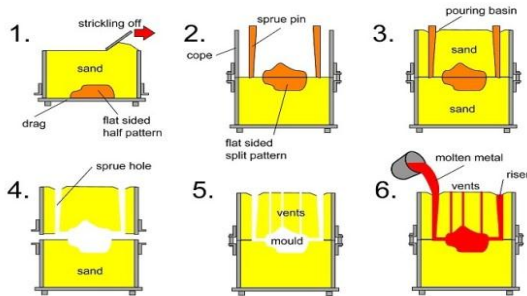
**Gambar 3.8** Skema peleburan dengan *electric furnace*

### 3.5.2. Preparasi Cetakan

Cetakan yang digunakan dalam penelitian terbuat dari pasir silika dan *bentonite* sebagai perekat. Pertama menyiapkan pasir silika, *bentonite*, dan air. Selanjutnya menimbang pasir silika dan *bentonite* dengan komposisi 87% pasir silika, 3% air dan 10% *bentonite*. Kemudian memasukan pasir silika dan *bentonite* ke dalam wadah dan mengaduknya secara merata dengan menambahkan air secara bertahap. Lalu menyiapkan *flask* dan pola benda. Terakhir membuat cetakan sesuai kebutuhan.



**Gambar 3.9** Cetakan pasir pada proses pengecoran



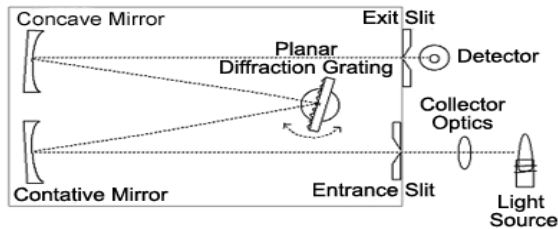
**Gambar 3.10** Skema *Sand Casting* (RUICAN Company)

### 3.6. Proses Pengujian

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi dengan OES, pengujian metalografi untuk melihat struktur mikro. *Hardness test* untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

#### 3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, adalah pengujian dengan menembakkan elektron pada bidang datar spesimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. Mekanisme OES seperti pada Gambar 3.10. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Dimensi spesimen yang dibutuhkan untuk proses pengujian menggunakan OES yaitu lebar, panjang, dan ketebalan berturut-turut 1.5 cm, 1.5 cm, dan 0.5 cm.

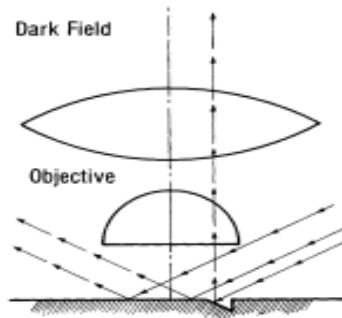


**Gambar 3.11** Prinsip pengujian OES (Boss, 2004)

### 3.6.2 Pengujian Struktru Mikro

Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Gambar 3.11 menunjukkan alur sinar datang pada pemngamatan Metalografi.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikro. Pengujian menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF larutan etsa yang digunakan sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9 untuk *zinc and its alloys*.



**Gambar 3.12** Alur sinar pada pengamatan metalografi  
(Kaufmann, 2003)

### 3.6.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E10 dengan menggunakan metode Brinell. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester HBRV-187.5A* (lihat Gambar 3.13) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Beban yang diberikan sebesar 30 kgf dan waktu pembebanan selama 10 s. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali indentasi. Gambar 3.12 menunjukkan Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A.



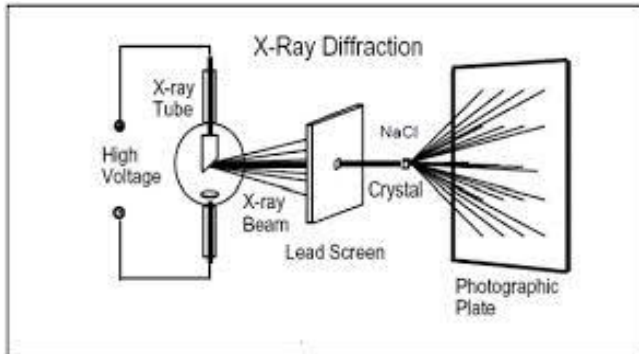
**Gambar 3.13** Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A

#### 3.6.4 Pengujian Fasa

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Zn-Al yang sudah terbentuk selama proses melting. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Gambar 3.13 menunjukkan prinsip kerja pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan



mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm.



**Gambar 3.14** Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003)

### 3.6.5 Pengujian TAFEL

Uji TAFEL dilakukan untuk mendapatkan  $I_{corr}$ , potensial sel, serta arus proteksi yang dimiliki oleh anoda tumbal seng(Zn). Pengujian dilakukan dengan memasukkan arus pada *close circuit* antara anoda seng(Zn); anoda *reference*; dan elektroda kemudian mencatat arus yang didapatkan dari *close circuit* tersebut. Perhitungan laju korosi berdasarkan ASTM G102 dan ASTM G5, dimana perhitungan  $i_{corr}$ , *Equivalent weight*, *Corrosion Rate*:

1. Menghitung  $i_{corr}$ :

$$i_{corr} = \frac{I_{corr}}{A} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana:  $i_{corr}$  : Densitas arus korosi  
 $I_{corr}$  : Total arus anodic  
A : Luas area specimen



2. Menghitung *Equivalent weight*:

a) Untuk *pure element*

$$EW = \frac{W}{n} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana:           EW       : Berat ekuivalen  
                      W         : Berat atom  
                      n         : elektron valensi

b) Untuk *alloyed*

$$Q = \sum \frac{n_i x f_i}{w_i} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$EW = \frac{1}{\sum \frac{n_i x f_i}{w_i}} \dots \dots (3.5)$$

Dimana:           EW       : Berat ekuivalen  
                      W<sub>i</sub>       : Berat atom  
                      f<sub>i</sub>       : Fraksi masa  
                      n<sub>i</sub>       : Elektron valensi

3. Menghitung *Corrosion Rate*:

$$CR = K_1 \frac{i_{corr}}{p} EW \dots \dots \dots (3.6)$$

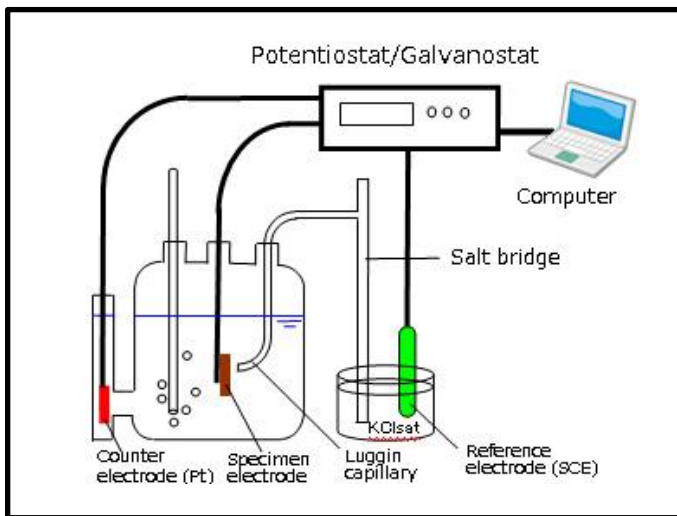
Dimana:           CR       : *corrosion rate*  
                      K<sub>1</sub>       : 3,27 x 10<sup>-3</sup>  
                      p         : *density*  
                      A         : *exposed specimen area*

Contoh alat pengujian untuk uji TAFEL ditunjukkan oleh Gambar 3.12 serta bagian-bagian dari alat yang digunakan untuk melakukan uji TAFEL ditunjukkan oleh Gambar 3.15. Pengujian akan dilakukan di Laboratorium Korosi yang bertempat di gedung Departemen Material. Dimensi dari specimen yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah 3 cm x 1 cm.





**Gambar 3.15** Alat Uji TAFEL

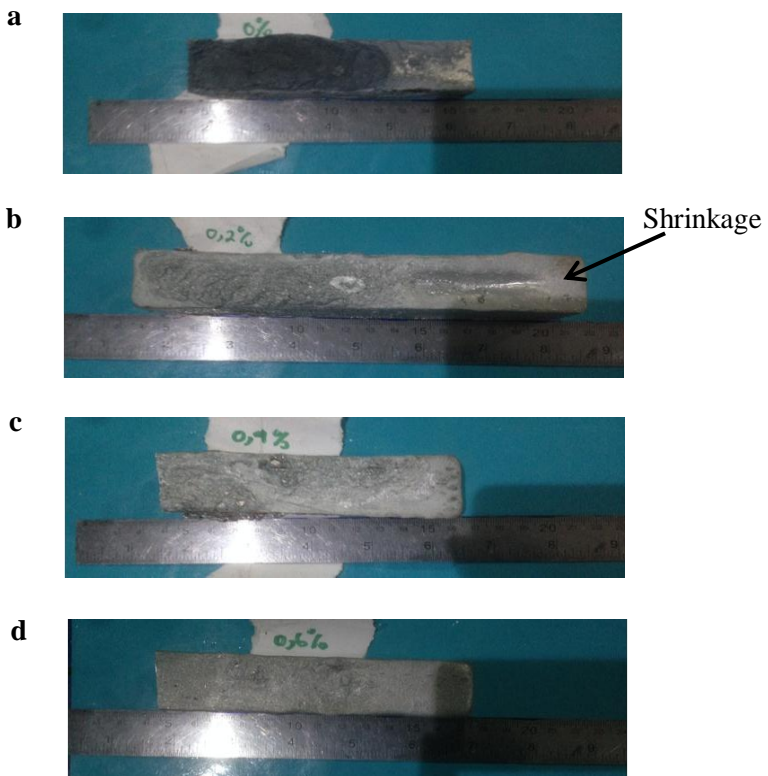


**Gambar 3.16** TAFEL Test Apparatus

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengamatan Hasil Peleburan Paduan Zn-Al

Hasil peleburan yang dilakukan untuk membentuk paduan paduan Zn-Al dapat dilihat pada Gambar 4.1. Warna dari paduan Seng adalah berwarna abu-abu cerah. Seiring bertambahnya unsur Al di dalam paduan, maka paduan akan cenderung berwarna putih keperakan.



**Gambar 4.1** Hasil Coran Paduan Zn-Al (a) Zn (b) Zn-0,2Al (c) Zn-0,4Al (d) Zn-0,6Al



Gambar 4.1 (a) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0Al- dengan kadar massa 99,99% Zn dan 0,01% adalah pengotor lainnya. Gambar 4.1 (b) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0,2Al dengan kadar massa 99,79% Zn, 0,2%Al dan 0,01% adalah pengotor lainnya. Paduan ini menunjukkan warna yang abu-abu yang lebih cerah dikarenakan penambahan unsur Aluminium pada paduan. Pada paduan terdapat shrinkage yang cukup dalam. Gambar 4.1 (c) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0,4Al dengan kadar massa 99,59% Zn, 0,4%Al dan 0,01% adalah unsur pengotor lainnya. Paduan memiliki warna perak dikarenakan bertambahnya unsur Al di dalam paduan.

Gambar 4.1 (d) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0,6Al dengan kadar massa 99,39% Zn, 0,6%Al. Paduan memiliki warna perak terang dikarenakan bertambahnya unsur Al di dalam paduan.

Ada beberapa factor yang menyebabkan cacat *shrinkage* dari pengecoran. Alasan utama untuk cacat ini adalah:

1. Konsentrasi volumetric dari liquid dan solid
2. Kekuatan yang rendah pada temperature tinggi

Perlu dicatat bahwa pembekuan berlangsung dari bagian cetakan yang luar ke yang dalam dan bahwa sudut luar memiliki tingkat pendinginan yang lebih besar daripada sudut yang bagian dalam. (P. N RAO, 1994)

Secara umum dapat diterima bahwa ketika logam coran dibuat, memberi tambahan paduan cair dari sprues atau reservoir untuk mengkompensasi penyusutan paduan di dalam rongga cetakan yang terjadi selama pendinginan dari keadaan cair hingga pemadatan, kontraksi termal dari padatan paduan sebagai penyebab pengecoran mengalami penyusutan. (R. Earnshaw, 1958). Tidak disarankan untuk menghitung ekspansi yang terjadi pada logam karena nilai penyusutan sangat mungkin tergantung pada ukuran dan bentuk spesimen. (Tako Fuyasama, 1959)



## 4.2 Komposisi Kimia Paduan Zn-Al

Proses peleburan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *raw material ingot* Zn 99,99%, Al 99,9%. Rancangan komposisi kimia yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Komposisi Kimia Paduan Zn-Al (% wt)

Paduan	Komposisi Rancangan			Komposisi Aktual			Komposisi Akhir		
	Zn (%wt)	Al (%wt)	Others (%wt)	Zn (%wt)	Al (%wt)	Others (%wt)	Zn (%wt)	Al (%wt)	Others (%wt)
Zn 100%	99.99	0	0.01	99.99	0	0.23	99.69	0.08	0.23
Zn-0,2Al	99.79	0.2	0.01	99.19	0.8	0.124	99.65	0.226	0.124
Zn-0,4Al	99.59	0.4	0.01	98.19	1.8	0.295	99.3	0.405	0.295
Zn-0,6Al	99.39	0.6	0.01	97.29	2.7	0.314	99.0	0.686	0.314

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat beberapa perbedaan hasil pengujian komposisi kimia rancangan sebelum proses peleburan dibandingkan dengan komposisi kimia setelah proses peleburan. Pada logam Zn komposisi Zn menunjukkan hanya sebanyak 99.69% sedangkan komposisi Al yang seharusnya 0% terdapat sebanyak 0.08% dan komposisi total dari elemen pengotor lainnya sebanyak 0.23%. Logam paduan Zn-0,2Al komposisi Zn berkurang sebanyak 0.04% komposisi Al berkurang sebanyak 0.574% dan komposisi total dari elemen pengotor lainnya sebanyak 0.124%. Logam paduan Zn-0,4Al komposisi Zn berkurang sebanyak 0.39% komposisi Al berkurang sebanyak 1.395% dan komposisi total dari elemen pengotor lainnya sebanyak 0.295%. Logam paduan Zn-0,6Al komposisi Zn berkurang sebanyak 0.69% komposisi Al berkurang sebanyak 2.086% dan komposisi total elemen pengotor lainnya sebanyak 0.314%

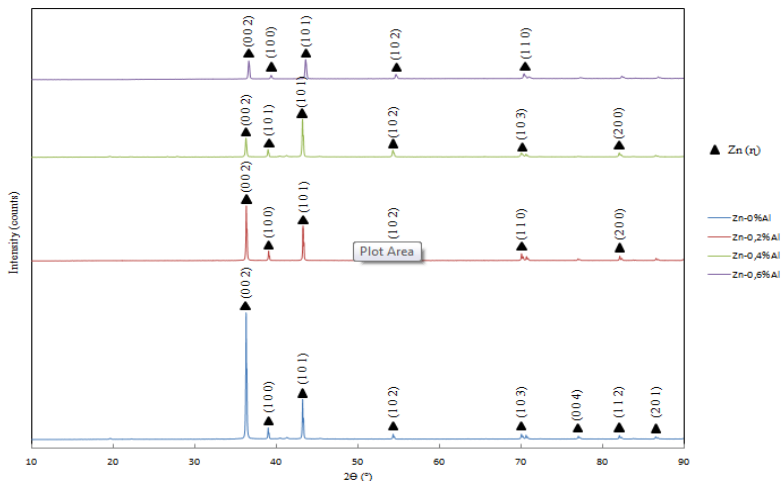
Berdasarkan hasil pengujian, unsur Al mengalami penambahan persentase. Hal ini terjadi karena unsur Al yang ditambahkan pada saat melakukan proses peleburan lebih besar



jumlah massanya daripada jumlah aluminium yang terdapat pada perhitungan. Alasan ditambahkannya massa aluminium sampai melebihi perhitungan yang telah dilakukan karena aluminium mengalami oksidasi selama proses peleburan yang menyebabkan hilangnya massa aluminium pada proses peleburan yang sebelumnya. Menurut diagram ellingham, unsur Al lebih mudah mengalami oksidasi karena memiliki Nilai Energi Bebas Gibbs yang lebih negatif dibandingkan unsur Zn. Unsur Al lebih mudah bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan terlihat sebagai terak (*slag*) yang mengapung diatas paduan cair (Total Materia, 2003).

### 4.3 Pengamatan Hasil XRD Paduan Zn-Al

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS sesuai standar ASTM C958. Bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Zn-Al. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Pola XRD Paduan Zn-Al



Pada logam Zn, *peak* Zn muncul di  $2\theta$   $36,29^\circ$  pada bidang (0 0 2),  $38,78^\circ$  pada bidang (1 0 0),  $43,22^\circ$  pada bidang (1 0 1),  $54,31^\circ$  pada bidang (1 0 2),  $70,07^\circ$  pada bidang (1 0 3),  $77,05^\circ$  pada bidang (0 0 4),  $82,08^\circ$  pada bidang (1 1 2),  $83,75^\circ$  pada bidang (2 0 0),  $86,54^\circ$  pada bidang (2 0 1) dengan nama fasa  $\eta$  *zinc*. Fasa *zinc* yang muncul ini memiliki struktur kristal *hexagonal* sesuai dengan nomor PDF #03-065-5973.

Pada paduan Zn-0,2Al, *peak* Zn muncul di  $2\theta$   $36,29^\circ$  pada bidang (0 0 2),  $38,78^\circ$  pada bidang (1 0 0),  $43,22^\circ$  pada bidang (1 0 1),  $54,36^\circ$  pada bidang (1 0 2),  $70,63^\circ$  pada bidang (1 1 0), dan  $83,80^\circ$  pada bidang (2 0 0) dengan nama fasa  $\eta$  *zinc*. Fasa *zinc* yang muncul ini memiliki struktur kristal *hexagonal* sesuai dengan nomor PDF #03-065-3358.

Pada paduan Zn-0,4Al, *peak* Zn muncul di  $2\theta$   $36,29^\circ$  pada bidang (0 0 2),  $38,99^\circ$  pada bidang (1 0 0),  $43,22^\circ$  pada bidang (1 0 1),  $54,31^\circ$  pada bidang (1 0 2),  $70,07^\circ$  pada bidang (1 0 3),  $82,08^\circ$  pada bidang (1 1 2) dengan nama fasa  $\eta$  *zinc*. Fasa *zinc* yang muncul ini memiliki struktur kristal *hexagonal* sesuai dengan nomor PDF #03-065-5973.

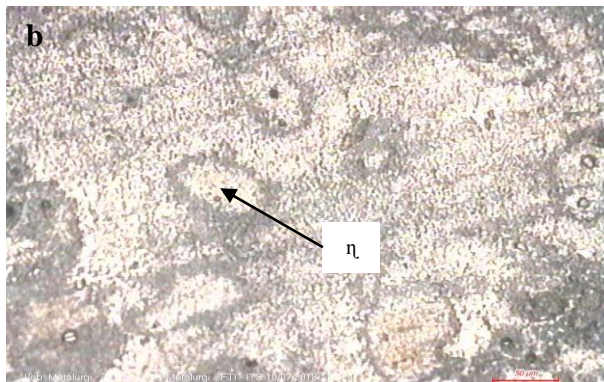
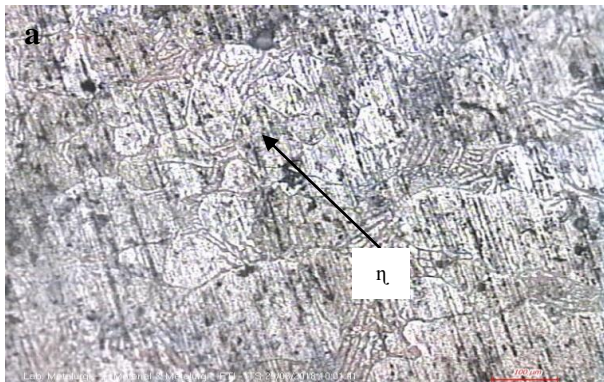
Pada paduan Zn-0,686Al, *peak* Zn muncul pada sudut  $2\theta$   $36,34^\circ$  pada bidang (0 0 2),  $39,31^\circ$  pada bidang (1 0 1),  $43,47^\circ$  pada bidang (1 0 1),  $54,58^\circ$  pada bidang (1 0 2), dan pada  $70,17^\circ$  pada bidang (1 1 0), dengan nama fasa  $\eta$  *zinc*. Fasa *zinc* yang muncul ini memiliki struktur kristal *hexagonal* sesuai dengan nomor PDF # 00-001-1244.

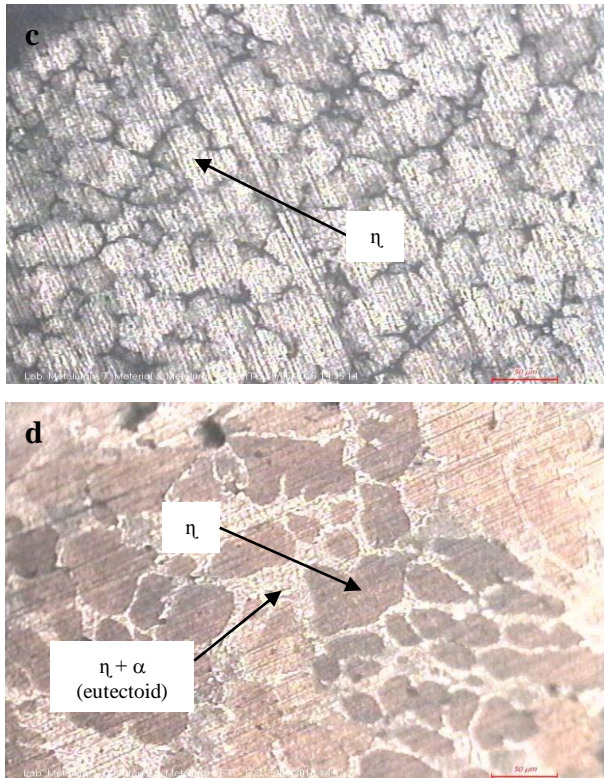
Dari Gambar 4.2 dapat dilihat penurunan intensitas dari *peak zinc* dengan bertambahnya komposisi dari aluminium. Intensitas XRD paduan ini menurun dengan meningkatnya jumlah komposisi yang tergabung. Distorsi kisi intrinsik yang disebabkan oleh penambahan elemen dengan ukuran atom yang berbeda menghasilkan hilangnya kesempurnaan kristalisasi yang signifikan dan efek hamburan X-ray yang parah, yang menyebabkan pola XRD dengan ketinggian puncak yang lebih rendah. (Jien-Wei Yeh, 2007)



#### 4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Zn-Al

Pengamatan struktur mikro paduan Zn-Al dilakukan dengan pengujian metalografi sesuai ASTM E-407. Larutan etsa yang digunakan adalah etsa kode 200 dengan bahan 40 gr  $\text{CrO}_3$ , 3 gr  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan 200 ml *aquades*. Pemberian larutan etsa pada spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *immerse*. *Immerse* dilakukan selama  $\pm 10-15$  s sambil mengaduk aduk Zn didalam larutan. Hasil pengamatan struktur mikro seluruh paduan Zn-Al dapat dilihat pada Gambar 4.3 dimana  $\eta$  adalah *primary Zinc phase*





**Gambar 4.3** Pengamatan Struktur Mikro Paduan Zn-Al (a) Zn 100% perbesaran 20x (b) Zn-0,2Al perbesaran 20x (c) Zn-0,4Al perbesaran 20x (d) Zn-0,6Al perbesaran 20x

Gambar 4.3 (a) menunjukkan pengamatan struktur mikro logam Zn pada perbesaran 20 kali. Struktur mikro yang tampak berupa fasa  $\eta$  Zn.

Gambar 4.3 (b) dan (c) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Zn-0,2Al dan Zn-0,4Al pada perbesaran 20 kali. Butir yang terbentuk adalah fasa  $\eta$  Zn. Pada gambar (b) terlihat batas butir dari Zn yang semakin menghitam dan lebih lebar dari gambar (a) dikarenakan adanya aluminium yang terdapat pada





didalam logam Zn sebagai *solid solution substitution* dikarenakan jari-jari atom aluminium yang lebih besar. Aluminium terlarut didalam Zn karena batas kelarutan aluminium didalam Zn pada temperature kamar samapi dengan 0,3% seperti terlihat pada Gambar 2.9. Pada gambar (c) batas butir Zn semakin terlihat menghitam dan tersebar merata dan semakin lebar dikarenakan mulai terdapat fasa aluminium yang tumbuh pada batas butir Zn. (James Sullivan, 2011)

Pada gambar (d) terlihat butir Zn yang dikelilingi oleh fasa eutektoid dari  $\eta + \alpha$ , dimana  $\eta$  adalah fasa primer Zn dan  $\alpha$  adalah aluminium. Pada diagram fasa yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 terlihat bahwa kelarutan aluminium didalam Zn pada temperatur  $\pm 275^{\circ}\text{C}$  hanya sampai pada 0,6%. Material pertama yang membeku muncul sebagai partikel primer dari larutan padat kaya seng (fase). Kemudian, cairan yang tersisa membeku sebagai eutektoid yang terdiri dari fase dan konstituen temperatur tinggi yang tidak stabil. Aluminium bertindak sebagai pemurni butir dalam cor seng. (ASM Metal Handbook, 2004).

#### 4.5 Pengujian Kekerasan Paduan Zn-Al

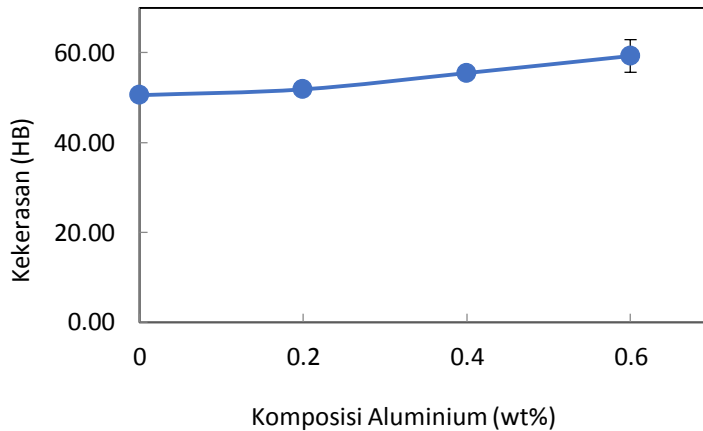
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan paduan Zn-Al terhadap indentasi dan goresan sesuai dengan ASTM E10. Tabel 4.2 menunjukkan nilai kekerasan pada masing-masing paduan Zn-Al. Setiap paduan dilakukan pengujian terhadap 3 titik sehingga didapatkan 3 kekerasan pada masing-masing spesimen. Beban yang digunakan adalah 30 kg dan indentasi dilakukan selama 10 detik. Dari ketiga hasil tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata kekerasan setiap paduan Zn-Al.

**Tabel 4.2** Nilai Kekerasan Paduan Zn-Al

No	Paduan	Kekerasan(HB)
1	Zn	50.53 $\pm$ 0.30
2	Zn-0,2Al	51.83 $\pm$ 0.92
3	Zn-0,4Al	55.46 $\pm$ 0.35
4	Zn-0.6Al	59.26 $\pm$ 3.57



Logam Seng(Zn) Zn dengan indentasi pada tiga titik memiliki rata-rata kekerasan *Brinnel* sebesar 50.53 HB. Logam paduan Zn-0,2Al memiliki rata-rata kekerasan *Brinnel* sebesar 51.83 HB. Paduan paduan Zn-0,4Al memiliki rata-rata kekerasan *Brinnel* sebesar 55.46 HB. Paduan paduan Zn-0,6Al memiliki rata-rata kekerasan *Brinnel* sebesar 59.26 HB.



**Gambar 4.4** Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai Kekerasan Paduan Zn-Al

Gambar 4.4 menunjukkan grafik kenaikan nilai kekerasan paduan Zn-Al yang berbanding lurus dengan bertambahnya unsur Al. Semakin besar penambahan unsur Al pada paduan paduan, maka nilai kekerasan semakin besar. Paduan Zn-0,6Al memiliki nilai kekerasan paling besar dibandingkan paduan lainnya. Logam Zn 100% memiliki nilai kekerasan paling rendah.

Hal ini disebabkan karena penambahan unsur aluminium. Pada Zn-0,2Al terjadi kenaikan kekerasan sebesar 1,3 HB dari logam cor Zn. Kenaikan kekerasan terjadi karena adanya unsur aluminium yang terlarut didalam logam Zn membentuk *substitutional solid solutions* pada logam Zn yang menyebabkan



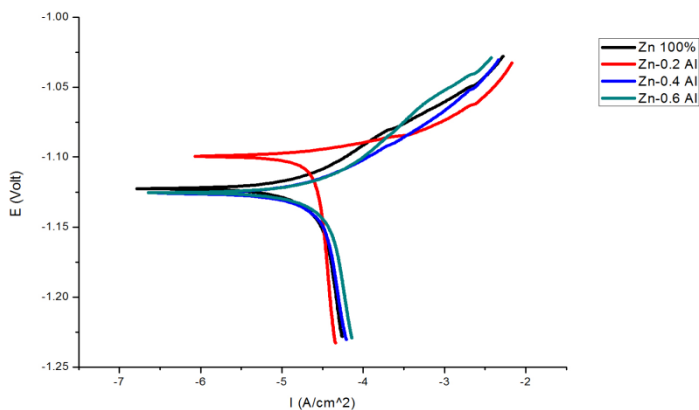
adanya distorsi pada struktur Kristal Zn. Distorsi dari ruang-kisi dari Zn oleh kehadiran Al juga mengatur sifat fisik dari paduan yang dihasilkan, khususnya ketahanan material dan ketahanan terhadap deformasi mekanik pada umumnya. (Walter Rosenhain, 1921)

Pada Zn-0,4Al juga mengalami *substitutional solid solutions* akan tetapi batas kelarutan dari aluminium didalam Zn pada temperatur kamar hanya sampai pada 0,3%, aluminium yang tidak terlarut didalam Zn akan membentuk presipitat pada batas butir Zn yang menyebabkan kekerasan Zn meningkat sebesar 4.93 HB. Kehadiran partikel kecil Al didalam matriks Zn menyebabkan adanya distorsi didalam matriks Zn yang membuat paduan Zn-0,4Al tahan terhadap deformasi mekanik. (T. Ishikawa, 2012)

Pada Zn-0,6Al terdapat fasa eutektoid yang tampak pada struktur kristal Zn. Perubahan pada struktur Kristal Zn yang dikelilingi fasa eutektoid menyebabkan susunan butir dari fasa Zn tidak teratur dan terjadi dislokasi pada susunan struktur Kristal Zn yang menyebabkan ketahanan terhadap deformasi mekanik dari Zn meningkat pesat.

#### **4.6 Pengujian Tafel Paduan Zn-Al**

Pengujian Tafel yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui laju korosi dan mendapatkan nilai dari potensial sel ( $^{\circ}E$ ) dari logam seng(Zn) dan logam paduan Zn-Al. Pengujian Tafel dilakukan di Laboratorium Korosi Departemen Material. Uji Tafel dilakukan sesuai dengan standar ASTM G5 dan ASTM G102. Grafik hasil pengujian Tafel dari logam hasil coran dapat dilihat dari gambar 4.5

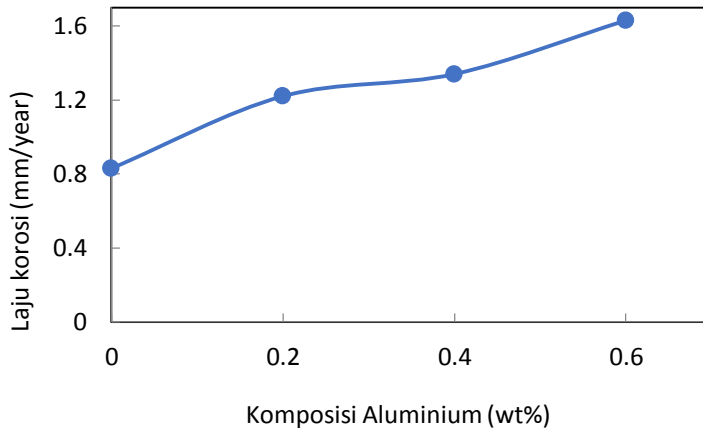


**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Tafel

Dari pengujian Tafel yang telah dilakukan didapatkan data berupa potensial sel ( $^{\circ}E$ ) dan versus arus ( $I$ ) dari logam paduan Zn-Al yang ditunjukkan oleh gambar 4.5 dan pada gambar 4.6 memperlihatkan laju korosi dari logam paduan Zn-Al untuk setiap peningkatan komposisi aluminium pada logam paduan.

**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian TAFEL

Material	$E_{\text{corr}}$ (volt)	$I_{\text{corr}}$ ( $A/cm^2$ )	Laju Korosi (mm/year)
Zn 100%	-1.1224	$2.4356 \cdot 10^{-5}$	0.82544
Zn-0,2% Al	-1.0994	$3.6137 \cdot 10^{-5}$	1.2247
Zn-0,4% Al	-1.1258	$3.9581 \cdot 10^{-5}$	1.3414
Zn-0,6% Al	-1.1254	$4.8106 \cdot 10^{-5}$	1.6303



**Gambar 4.6** Laju Korosi dari Paduan Zn-Al

Bertambahnya komposisi aluminium membuat laju korosi dari logam paduan Zn-Al semakin meningkat dimana pada paduan Zn memiliki laju korosi 0,82544 mm/year, pada paduan Zn-0,2Al memiliki laju korosi 1,2247 mm/year, pada paduan Zn-0,4Al memiliki laju korosi 1,3414 mm/year, dan pada paduan Zn-0,6Al memiliki laju korosi 1,6303 mm/year.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Unsur Al mempengaruhi struktur mikro paduan Zn-Al. Semakin bertambahnya unsur Al dalam paduan, batas butir pada paduan Zn-Al semakin besar dan pada Zn-0,6Al terbentuk fasa eutektoid dimana mempengaruhi nilai kekerasan paduan Zn-Al. Semakin bertambahnya unsur Al dalam paduan, nilai kekerasan paduan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Zn-0,6Al dengan nilai sebesar 59,26 HB. Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh logam Zn 100% dengan nilai sebesar 50,53 HB.
2. Unsur Al mempengaruhi nilai laju korosi dari paduan Zn-Al. Nilai laju korosi terendah pada logam Zn 100% sebesar 0,82544 mm/year dan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Zn-0,6Al sebesar 1,6303 mm/year.

#### **5.2 Saran**

Adapun beberapa saran yang dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian ini kedepannya, diantaranya :

1. Menggunakan jenis cetakan selain *sand casting* pada proses pengecoran logam paduan.
2. Menggunakan alat *temperature control* untuk mengamati proses peleburan logam di dalam *crucible furnace* dan saat penuangan *molten metal* kedalam cetakan.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

\_\_\_\_\_.1999. *ASTM C958 Standard Test Method for Particle Size Distribution of Alumina or Quartz by X-Ray Monitoring of Gravity Sedimentation*. USA: ASM International.

\_\_\_\_\_.1999. *ASTM E10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Material*. USA: ASM International

\_\_\_\_\_.1999. *ASTM E407 Standard Test Method for Microetching Metals and Alloys*. USA: ASM International

\_\_\_\_\_.1999. *ASTM G102 Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. USA: ASM International

\_\_\_\_\_.1999. *ASTM G5 Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*. USA: ASM International

\_\_\_\_\_.2004. *ASM Handbook Volume 9Metallography and Microstructures*. USA: ASM International

Callister, W. D. (2014). *Materials Science and Engineering (9th International student edition)*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Demirtas, M. (2015). Effect of Chemical Composition and Grain Size on RT Superplasticity of Zn-Al alloys processed by ECAP. *Letters on Materials* 5, 328-334.

El-khair, A. (2003). Effect of different Al contents on the microstructure, tensile and wear properties of Zn-based alloy. *Materials Letter*.




- Franke, H. B. (1997). *Galvanic (Sacrificial) Anode*. Houston: Gulf Professional Publishing.
- Fuyasama, T. (1959). Factors and Technique of Precision Casting. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 486-497.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*. Hoboken: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Ishikawa, T. (2012). *Microstructure Evolution in Metal Forming Processes*. Nagoya: Woodhead Publishing.
- Kalpakjian, S. (2009). *Manufacturing, Engineering and Technology*. London: Pearson Education.
- Kaufman, J. G. (1931). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. Materials Park: ASM Internasional.
- Kukli'k, V. (2016). *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*. Kidlington: Elsevier Ltd.
- Lehto, R. S. (1968). *The Encyclopedoa of the Chemical Elements*. New York: Reinhold Book Corporation.
- Misra, S. C. (2016). *Design Principles of Ships and Marine Structures*. New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- Porter, F. C. (1994). *Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Rao, P. N. (2001). *Manufacturing Technology : Foundry, Forming & Welding, 2e*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Rosenhain, W. (1921). *The Hardness of Solid Solutions*. London: The Royal Society.

- Saefudin. (2014). Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pelat Tipis Zn Hasil Rol Dingin untuk Aplikasi Anoda Korban. *Metalurgi dan Material*, 213.
- Shreir, L. L. (1963). *Corrosion Metal/Environment Reactions*. London: George Newnes Ltd.
- Singh, R. (2006). *Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology*. New Delhi: New Age International (P) Ltd.
- Sudjana, H. (2008). *Teknik Pengecoran Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sullivan, J. (2011). In situ monitoring of the microstructural corrosion mechanisms. *Corrosion Science*.
- SUMARYANTO. (2013). *Konsep Dasar Kapal*. Jakarta: Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik & Tenaga Kependidikan, th.
- Vaghasia, D. (2009). Gating System Design Optimization for Sand Casting. *Manufacturing Technology*, 1–7.
- Yeh, J.-W. (2007). Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu–Ni–Al–Co–Cr–Fe–Si alloy systems with multi-principal elements. *Materials Chemistry and Physics*, 41–46.
- Zhang, X. G. (1996). *Corrosion and Electrochemistry of Zinc*. New York: Plenum Press.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

# LAMPIRAN

	<b>Laboratorium Uji Bahan</b> <b>Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya</b>	No. Dok	: F.03.8-LUB-PPNS
	<b>FORMULIR HASIL PENGUJIAN</b>	No. Rev	: 0
	<b>KOMPOSISI KIMIA (CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS)</b>	Tanggal	: 02/10/2017
		Halaman	: -

No. .... / LUB-PPNS / 2018

Kode : HERALD MATUS UNGGUL / ITS

Data benda uji : CAST ZnAl 0%  
20 x 17 x 5.4 mm

Proses las/Posisi/Juru las : -

Standar acuan : PR.LUB.T-15

<b>Peralatan:</b>									
<input checked="" type="checkbox"/> OES Foundry Master Pro SN. I21064600004					<input checked="" type="checkbox"/> Jangka sorong Mitutoyo 300mm Digital SN. 1781				
<b>Data pengujian:</b>									
No	KOMPOSISI (%)								
	Unsur	Zn	Al	Cd	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni
	Nilai	99.69	0.0824	<0.0001	0.00906	0.00404	0.00773	0.00565	<0.002
	Unsur	Sb	Sn	As	Bi	Ag	In		
2	Nilai	>0.06	0.0527	0.00017	<0.0001	0.00036	0.00201		
	Unsur								
	Nilai								
	Unsur								
	Nilai								

Surabaya, 06 April 2018

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,	Disaksikan oleh,
		

Modul Formulasi Hasil Pengujian Laboratorium T. 1.1.2018.01.04.01.001



Laboratorium Uji Bahan  
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
 FORMULIR HASIL PENGUJIAN  
 KOMPOSISI KIMIA (CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS)

No. Dok : F.03.8-LUB-PPNS  
 No. Rev : 0  
 Tanggal : 02/10/2017  
 Halaman : -

No. .... / LUB-PPNS / 2018

Kode : HERALD MATIUS UNGGUL / ITS

Data benda uji : CAST Zn-0.2%A1

20 x 16 x 7 mm

Proses las/Posisi/Juru las : -

Standar acuan : PR.LUB.T-15

**Peralatan:**  
 OES Foundry Master Pro SN. I21064600004  
 Jangka sorong Mitutoyo 300mm Digital SN. 1781

**Data pengujian:**

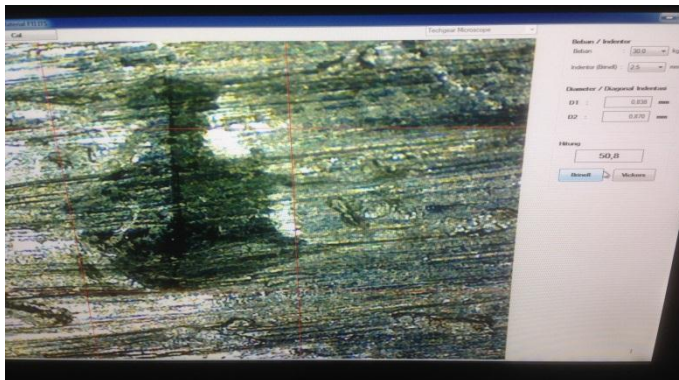
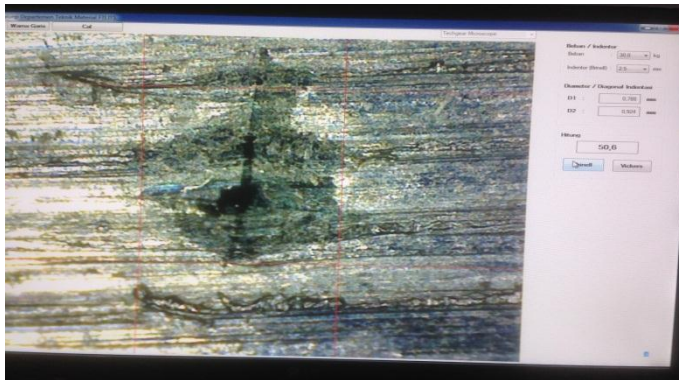
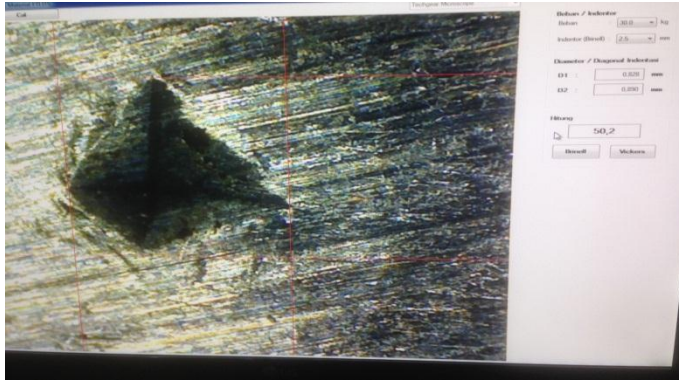
No	KOMPOSISI (%)								
	Unsur	Zn	Al	Cd	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni
3	Unsur	Sb	Sn	As	Bi	Ag	In		
	Nilai	0.0119	0.06	0.056	0.00028	0.00074	0.00032		
	Unsur								
	Nilai								
	Unsur								
	Nilai								

Surabaya, 06 April 2018

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,	Disaksikan oleh,

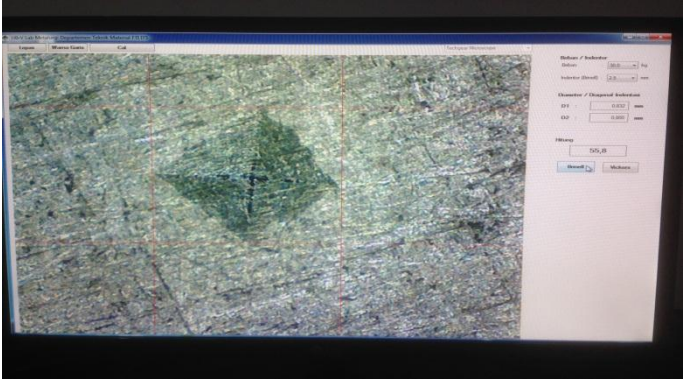
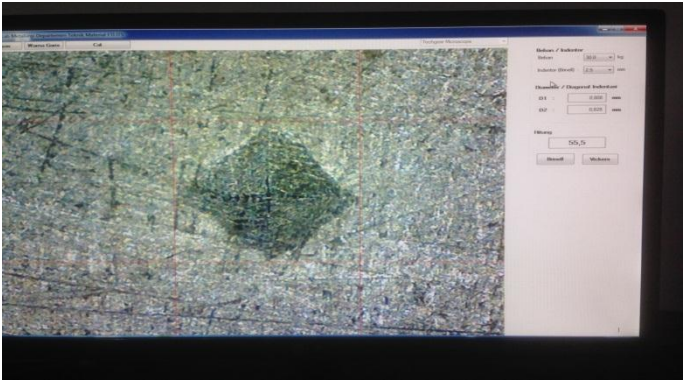
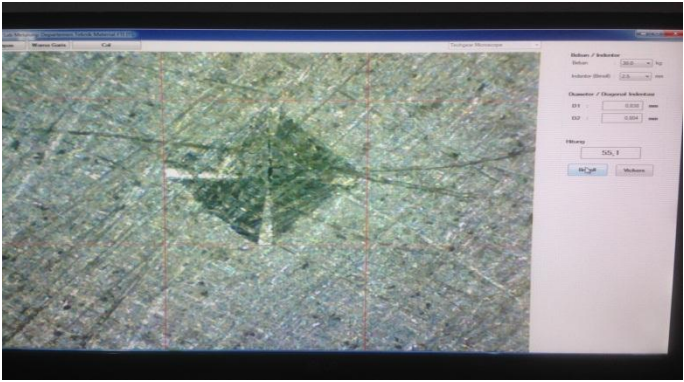




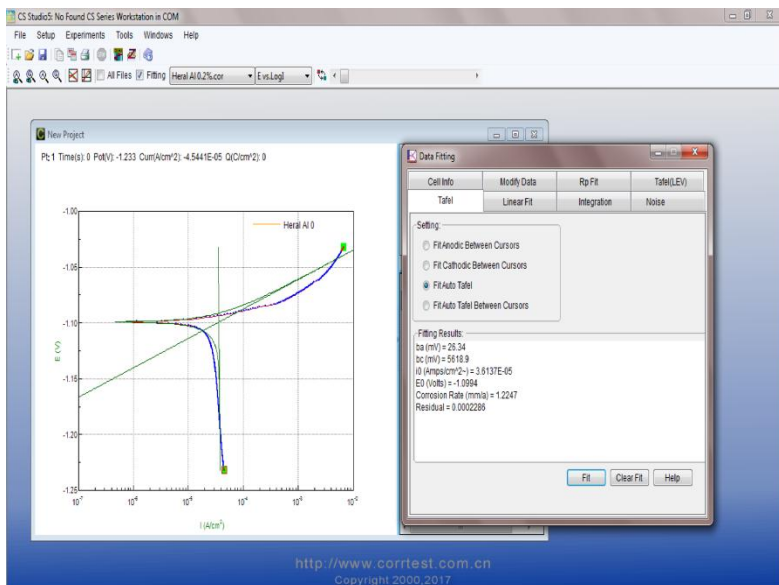
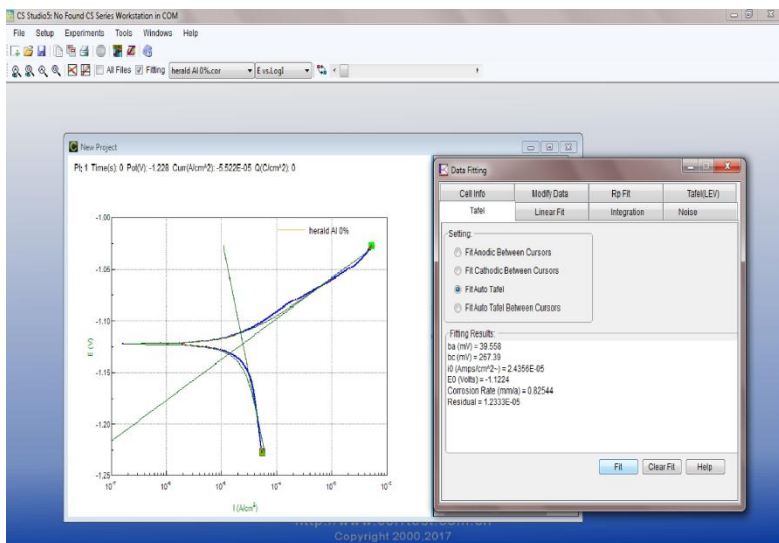


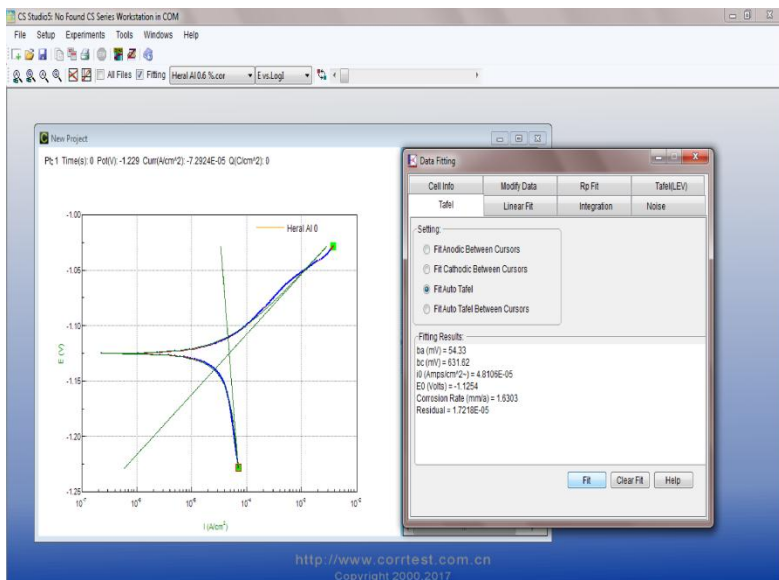
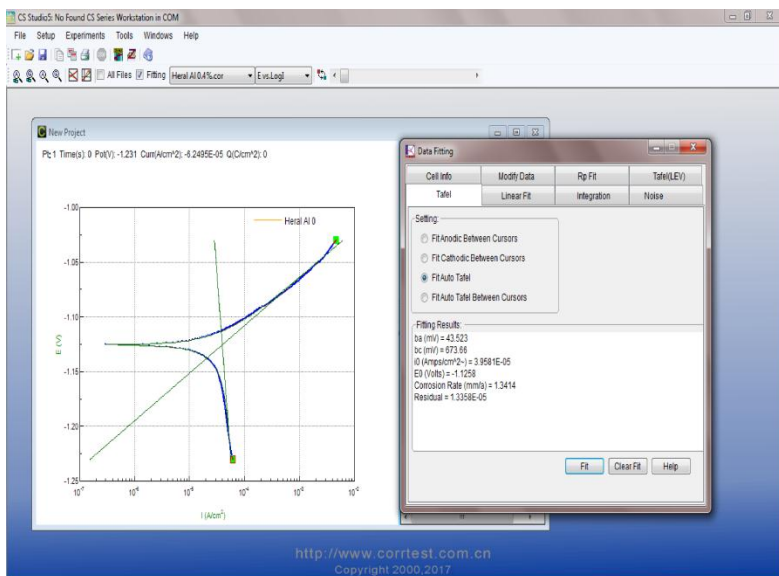












*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Herald Matius Unggul, Lahir di Jakarta pada tanggal 4 Februari 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD St. Theresia II. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMP St. Fransiskus 2. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 21 Jakarta. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis sudah mengikuti beberapa pelatihan, seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar atau LKMM Pra-TD, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah dan Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar. Selain itu, penulis juga menjadi staff Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi pada tahun kedua, dan menjadi staff RND INDOCOR SC ITS pada tahun Ketiga. Penulis sempat melakukan kerja praktek di PT TIMAH Bangka di bagian *Metallurgy*

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu adalah bidang Manufaktur dengan judul “ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ALUMINIUM (Al) TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN LAJU KOROSI ANODA TUMBAL BERBASIS SENG (Zn) UNTUK KAPAL DENGAN METODE PENGECORAN”.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*