



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM (Al) DAN
PENGUNAAN *CHILL* TEMBAGA PADA CETAKAN
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO
PADUAN Cu-Zn-Al MELALUI PROSES PENGECORAN**

Muhammad Shena Gumilang
NRP 2712 100 116

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

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL141584

**EFFECTS OF ADDITION ALUMINIUM (Al) AND THE
USE OF COPPER CHILL ON MOULD TO MECHANICAL
PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE Cu-Zn-Al
ALLOY THROUGH CASTING PROCESS**

Muhammad Shena Gumilang
NRP 2712 100 073

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

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM DAN
PENGUNAAN CHILL TEMBAGA TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Cu-Zn-Al
MELALUI PROSES PENGECORAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MUHAMMAD SHENA GUMILANG
NRP 2712100116

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. (Pembimbing 2)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) dan Penggunaan Chill Tembaga Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al melalui Proses pengecoran

Nama : Muhammad Shena Gumilang
NRP : 2712100116
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T
Abstrak

Paduan Cu-Zn-Al merupakan salah satu jenis kuningan yaitu high strength yellow brasses yang banyak digunakan pada bantalan, baut atau peralatan dengan aplikasi di laut seperti propeller pada kapal yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ketahanan korosi yang tinggi. Pada penelitian dilakukan penambahan aluminium (Al) dengan variasi 0,1,2,3,4 % Al untuk mengetahui pengaruhnya pada sifat mekanik dan struktur mikro pada proses pengecoran yang dilakukan pada cetakan tanpa chill dan cetakan dengan chill. Paduan ini dilebur menggunakan furnace dengan temperatur 1100°C tanpa holding. Setelah dilebur logam cair dituang pada cetakan tanpa chill dan chill. Paduan Cu-Zn-Al dikarakterisasi dengan uji komposisi Optical Emission Spectroscopy (OES), uji metalografi, uji X-Ray Diffraction (XRD), uji kekerasan Rockwell B, dan uji Impak Charpy. Hasilnya adalah penambahan aluminium dan penggunaan chill tembaga pada cetakan mereduksi butir paduan. Penambahan aluminium dan penggunaan chill tembaga pada cetakan meningkatkan nilai kekerasan dan nilai kekuatan impak paduan.

Kata kunci: Cu-Zn-Al, Kuningan, High Strength Yellow Brasses, Tembaga, Seng, Aluminium, Chill

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Effect of Addition Aluminium (Al) and The Use of Copper Chill on Mould to Mechanical Properties and Microstructure Cu-Zn-Al Alloy Through Casting Process

Name : Muhammad Shena Gumilang
NRP : 2712100116
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Abstract

Cu-Zn-Al alloy is one kind of brass that is high strength yellow brasses are widely used in bearings, bolts or equipment with applications in the sea like a propeller on ships that require high strength and high corrosion resistance. In the study, the addition of aluminum (Al) with variations 0,1,2,3,4% of Al to determine the effect on the mechanical properties and microstructure in the casting process is done on the mold by without using a copper chill and using a copper chill. These alloys melted using a burner furnace with temprature $\pm 1100^{\circ}\text{C}$ without holding. After metal is melted, molten metal is poured in the mold without a chill and with the chill. Specimens Cu-Zn-Al is characterized by a Optical Emission Spectroscopy (OES) test, metallographic test, X-Ray Difrraction (XRD) test, Rockwell B hardness test, and Charpy Impact test. The result showed thats the addition of aluminum and copper chil usage reduce grain size alloy. The addition of aluminum and copper chill in the mold increase the hardness and impact value alloys

Keywords: Cu-Zn-Al, Brass, High Strength Yellow Brasses, Copper, Zinc, Aluminium, Chill

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul *“Pengaruh Komposisi Aluminium (Al) dan Penggunaan Chill Tembaga Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al Melalui Proses Pengecoran”*.

Terimakasih kepada semua pihak yang berperan pada penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang senantiasa menjadi tempat mencurahkan keluh kesah serta senantiasa menjadi “tempat berteduh” penulis.
2. Kedua orang tua penulis, Ibu Ita Irawati dan Bapak Pudjyanto dan adik-adik dari penulis Adik Kirana Albaniar dan Adik Ammara Ghania Fayyaza yang selalu mendoakan dan memberikan dorongan moral.
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. dan Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis
4. Dr Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan Dr. Diah Susanti, S.T, M.T selaku dosen wali yang selalalu memberi bimbingan dan menjadi orang tua kedua selama di perkuliahan.
5. Pak Didik, Pak Chanan, Pak Tari serta seluruh karyawan JTMM yang selalu memberikan semangat serta pengetahuan teknis.
6. Paulindra Pangaribuan dan Soni Aji Pradana serta seluruh rekan Laboratorium Inovasi Material dan Laboratorium Metalurgi yang selalu menjadi “penghangat” dalam mengejarkan Tugas Akhir.

7. Teman-teman MT14 yang selalu menemani dan memberi semangat selama kuliah dan mengerjakan Tugas Akhir
8. Dies Estu Nidaraina yang selalu memberi semangat dan motivas kepada penulis
9. Semua teman-teman YPK 23 yang selalu berada di samping penulis dalam suka dan duka.
10. BSO MB “Train Hard or Go Home” dan BSO MB “Glory For Matrice” yang selalu mengajarkan keikhlasan dan keseraban kepada penulis.
11. Seluruh keluarga besar HMMT, Mas, Mbak, dan kawan-kawan “MATRICE” yang memberikan banyak pembelajaran selama di kampus
12. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya, Juli 2016
Penulis,

Muhammad Shena Gumilang

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kuningan (Cu-Zn).....	5
2.2 Pengaruh Unsur Paduan	9
2.3 <i>High Strength Brasses (Manganese Bronze)</i>	13
2.4 Tembaga.....	16
2.5 Sifat Tembaga	18
2.6 Sistem Penamaan Tembaga dan Paduannya	19
2.6.1 <i>Wrought Copper</i> dan <i>Copper Alloy</i>	23
2.6.1 <i>High-Copper Alloy</i>	24
2.7 Seng (Zn).....	24
2.8 Sifat Seng	26
2.9 Aluminium	27
2.10 Sifat Aluminium	27
2.11 Pengecoran	29
2.11.1 Definisi.....	29
2.11.2 Peleburan.....	30
2.11.3 Pembuatan Cetakan Pasir	34
2.11.4 <i>Gating System</i>	38
2.11.5 <i>Riser</i> dan <i>Chill</i>	40

2.11.6 Cacat dalam Proses Pengecoran	44
2.12 Mekanisme Pembekuan Hasil Pengecoran	46
2.13 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	51
2.13.1 Kajian Uji Kekerasan Cu-Zn	51
2.13.2 Kajian Uji Metalografi Paduan Cu-Zn	53
2.13.3 Kajian Uji XRD Paduan Cu-Zn	54
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	57
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	58
3.2.1 Bahan Penelitian	58
3.2.2 Peralatan Penelitian	59
3.3 Variabel Penelitian	62
3.4 Pelaksanaan Penelitian	62
3.4.1 Prosedur Pengecoran	62
3.4.2 Proses Pengujian.....	64
3.4.2.1 Pengujian XRD (<i>X-ray Diffraction</i>)	64
3.4.2.2 Pengujian OES (<i>Optical Emission Spectroscopy</i>)	65
3.4.2.3 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>).....	66
3.4.2.4 Pengujian Metalografi	67
3.4.2.5 Pengujian Impak.....	68
3.5 Rancangan Penelitian	70
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Coran Paduan Cu-Zn-Al.....	71
4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Zn-Al.....	72
4.3 Pengamatan Pola XRD Paduan Cu-Zn-Al	75
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al	77
4.5 Pengujian Kekerasan Paduan Cu-Zn-Al	84
4.6 Pengujian Impak Paduan Cu-Zn-Al.....	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN.....	xxv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fasa Cu-Zn.....	6
Gambar 2.2 Diagram Fasa Al-Cu	10
Gambar 2.3 Ternary diagram Cu-Zn-Al	14
Gambar 2.4 Contoh aplikasi untuk <i>high strength yellow brass</i> pada (a) <i>rod bearing</i> pesawat, (b) <i>rolling mill</i> , (c) mur dan baut untuk aplikasi di laut, dan <i>propeller</i> pada kapal	16
Gambar 2.5 Struktur kristal tembaga FCC (a) model <i>hard-ball</i> , (b) unit sel , dan (c) satu kristal dengan banyak sel	17
Gambar 2.6 Struktur kristal HCP seng (a) unit sel dan (b) satu kritical dengan banyak sel.....	25
Gambar 2.7 Struktur Kristal aluminium FCC (a) dengan model <i>hard-ball</i> , (b) unit sel , dan (c) satu Kristal dengan banyak sel	28
Gambar 2.8 Beberapa skema <i>heat-flow</i> selama pemanasan terhadap <i>furnace</i> ; (a) <i>hearth</i> , (b) <i>rotary</i> , (c) <i>crucible</i> , dan (d) induksi atau <i>immersion heated bath</i>	32
Gambar 2.9 Tiga jenis crucible furnace: (a) lift-out crucible, (b) stationary pot, dan (c) tilting-pot furnace	33
Gambar 2.10 Skema pembuatan cetakan pasir	38
Gambar 2.11 Skema struktur pada cetakan pasir.....	39
Gambar 2.12 Contoh penggunaan <i>chill</i> eksternal dan <i>chill</i> internal	42
Gambar 2.13 Treatment penggunaan <i>chill</i> eksternal pada intersection	43
Gambar 2.14(a) Nukleasi. (b) Pembentukan dendrit. (c) Pertumbuhan dendrit. (d) Butir hasil akhir pembekuan	47
Gambar 2.15 Ilustrasi skema solidifikasi pada paduan dan distribusi tempratur pada pembekuan logam	48
Gambar 2.16 Struktur mikro columnar.....	49

Gambar 2.17 Struktur mikro equiaxed	50
Gambar 2.18 Struktur mikro paduan kuningan.....	51
Gambar 2.19 Hasil uji metalografi material paduan Cu-Zn setelah dilakukan ekstursi; (a) gambar <i>brightfield</i> , (b) gambar <i>darkfield</i> , dan (c) gambar dari mikroskop cahaya	54
Gambar 2.20 Hasil uji XRD pada coran ingot (a) tanpa Bi, (b) 0.99 % Bi, (c) 2.02 % Bi, dan (d) 2.85 %Bi	54
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	57
Gambar 3.2 Tembaga (Cu)	58
Gambar 3.3 Seng (Zn) dalam bentuk anode	58
Gambar 3.4 Aluminium (Al)	59
Gambar 3.5 Krus (<i>Crucible</i>)	60
Gambar 3.6 Flask	61
Gambar 3.7 Skema cetakan (a) Cetakan tampak atas dan (b) cetakan tampak atas samping	63
Gambar 3.8 Prinsip kerja XRD.....	65
Gambar 3.9 Prinsip pengujian OES.....	66
Gambar 3.10 Pengujian kekerasan Rockwell B.....	67
Gambar 3.11 Daerah lingkup ukuran mikro struktur	67
Gambar 3.12 Alur sinar pada pengamatan metalografi.....	68
Gambar 3.13 Skema uji impak charpy.....	69
Gambar 3.14 Spesimen uji impak charpy tipe A	69
Gambar 4.1 Foto hasil coran paduan (a) Cu-Zn tanpa chill, (b) Cu-Zn-1Al tanpa chill, (c) Cu-Zn-2Al tanpa chill (d) Cu-Zn-3Al, (e) Cu-Zn-4Al tanpa chill, (f) Cu-Zn dengan chill, (g) Cu-Zn-1Al dengan chill, (h) Cu-Zn-2Al dengan chill, (i) Cu-Zn3Al dengan chill, (j) Cu-Zn-4Al tanpa chill	72
Gambar 4.2 Struktur mikro paduan (a) Cu-Zn, (b) Cu-Zn-1Al, (c) Cu-Zn-2Al, (d) Cu-Zn-3Al, dan (e) Cu-Zn-4Al tanpa chill, dengan perbesaran 1000x	76
Gambar 4.3 Struktur mikro paduan (a) Cu-Zn, (b) Cu-Zn-1Al, (c) Cu-Zn-2Al, (d) Cu-Zn-3Al, dan (e) Cu-Zn-4Al dengan chill, dengan perbesaran 1000x	78

Gambar 4.4 Struktur mikro paduan Cu-Zn (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x	79
Gambar 4.5 Struktur mikro paduan Cu-Zn-1Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x	80
Gambar 4.6 Struktur mikro paduan Cu-Zn-2Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x	80
Gambar 4.7 Struktur mikro paduan Cu-Zn-3Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x	81
Gambar 4.8 Struktur mikro paduan Cu-Zn-4Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x	82
Gambar 4.9 Pola XRD Paduan Cu-Zn-Al	83
Gambar 4.10 Grafik pengaruh komposisi Aluminium dan penggunaan chill pada cetakan terhadap nilai Kekerasan Paduan Cu-Zn-Al.....	86
Gambar 4.11 Grafik pengaruh komposisi Aluminium dan penggunaan chill pada cetakan terhadap nilai impak Paduan Cu-Zn-Al	89

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien pemuaian termal tembaga.....	21
Tabel 2. 2 Nilai sifat mekanik tembaga	21
Tabel 2. 3 Klasifikasi Wrought Alloy.....	22
Tabel 2. 4 Klasifikasi Cast Alloys	23
Tabel 2. 5 Unsur pepadu utama Copper Alloy Families	25
Tabel 2. 6 Grade dan Komposisi slab zinc	28
Tabel 2. 7 Macam-macam jenis furnace	35
Tabel 2. 8 Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran	38
Tabel 2. 9 Hasil pengujian kekerasan	53
Tabel 3.1 Komposisi <i>raw material input</i>	64
Tabel 3.2 Rancangan penelitian.....	70
Tabel 3.3 Rancangan kegiatan penelitian	70
Tabel 4.1 Komposisi Perhitungan Bahan Lebur (%)	73
Tabel 4.2 Komposisi Cu-Zn-Al hasil Pengujian OES (%).....	75
Tabel 4.3 Data hasil XRD sampel paduan Cu-Zn-Al	84
Tabel 4.4 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Zn-Al	85
Tabel 4.5 Nilai Impak Paduan Cu-Zn-Al.....	87

(halaman ini sengaja dikosongkan)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tembaga merupakan logam yang memiliki warna kemerahan yang memiliki berat jenis 8,65 (sedikit lebih tinggi dari baja yaitu 7,8). Titik leburnya pada 1083°C an memiliki struktur kristal *face centered cubic* (FCC). Tembaga memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang baik, keuletan yang tinggi serta memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik. (Avner, 1982)

Seng merupakan logam putih kebiruan. Seng (*Zinc*) dilambangkan dengan Zn pada table 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) (Lehto, 1968). 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. (ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992)

Aluminium memiliki sifat yang ringan, selain itu aluminium juga memiliki sifat tahan korosi dan memiliki sifat penghantar listrik yang baik sehingga sering dipakai sebagai alat elektronik, Memiliki efek mereduksi ukuran butir sehingga meningkatkan kekersan dan kekuatan impak paduan. Aluminium mempunyai nomor atom 13 dan mempunyai berat atom 26,981, berstruktur kristal FCC dengan jari-jari atom sebesar 0,1431 nm. (Avner, 1982)

Paduan merupakan campuran dari dua atau lebih elemen yang salah satunya adalah logam sehingga memiliki sifat logam



(Avner, 1982). Kuningan adalah paduan tembaga dan seng sebagai paduan utamanya. Kandungan seng dalam kuningan sampai sekitar 40%. Memiliki sifat ketahanan korosi dan aus yang kurang baik dibanding dengan perunggu, namun memiliki harga yang lebih murah dan mampu cor yang lebih baik. (Nugroho, 2010). Salah satu jenis kuningan adalah *High Strength Yellow Brass* atau juga biasa disebut *Manganese Bronze* walaupun sesungguhnya jenis paduan ini bukan termasuk jenis *bronze* (perunggu) namun masuk dalam ke dalam kelas *brass* (kuningan) dan jumlah mangan yang terkandung juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap paduan ini. Dengan beberapa penambahan elemen selain seng terhadap paduan ini menghasilkan kekuatan tinggi dan sifat tahan korosi yang sangat baik. (American Foundrymen's Society, 1965).

Pengecoran adalah proses dimana logam cair mengalir ke dalam cetakan dengan cara gravitasi maupun diberi gaya lainnya, kemudian logam cair membeku sesuai dengan bentuk cetakan. Prinsip utama dari pengecoran adalah melebur logam lalu dituangkan ke dalam cetakan, dan biarkan hingga membeku (Groover, 2010). Tujuan utama dari peleburan logam adalah untuk dapat melakukan kontrol terhadap komposisi logam yang akan dilebur sehingga dapat menghindari kerugian yang ditimbulkan akibat adanya elemen-elemen yang tidak diinginkan terdapat dalam logam yang dilebur tersebut (Beeley, 2001)

Chill merupakan bahan atau komponen yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi, digunakan untuk mempercepat pendinginan dan mengatur struktur dari logam cair di dalam cetakan, *chill* dapat terbuat dari tembaga atau besi cor (Hurst, 1996).

Setelah diketahui pengaruh dari aluminium terhadap kuningan yang dapat meningkatkan kekuatan dari paduan dan pengaruh penggunaan *chill* yang dapat memberikan efek pendinginan yang baik terhadap struktur mikro maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh aluminium di



dalam paduan Cu-Zn-Al dan pengaruh penggunaan *chill* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

1.2 Perumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap struktur mikro paduan Cu-Zn-Al ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan aluminium pemakaian dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap sifat kekerasan paduan Cu-Zn-Al?
3. Bagaimana pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap sifat impak paduan Cu-Zn-Al ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh oksigen dari lingkungan sekitar dianggap tidak ada
2. *Impurities* dibawah 2% dianggap tidak ada
3. Pemaduan Cu-Zn-Al dianggap homogen
4. Reaksi logam cair dengan lingkungan diabaikan
5. Temperatur pemaduan dianggap homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap struktur mikro paduan Cu-Zn-Al.
2. Menganalisa pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap sifat kekerasan paduan Cu-Zn-Al.
3. Menganalisa pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap sifat impak paduan Cu-Zn-Al.



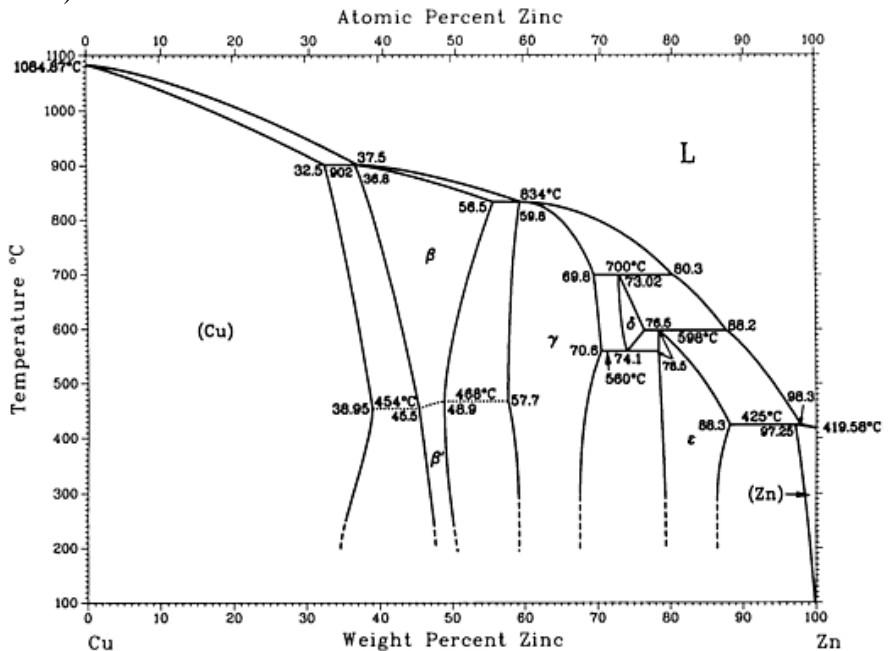
1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap struktur mikro paduan kuningan Cu-Zn-Al, mengetahui pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap sifat kekerasan paduan Cu-Zn-Al, dan mengetahui pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap sifat impak paduan Cu-Zn-Al, sehingga dapat menghasilkan produk kuningan Cu-Zn-Al yang memiliki sifat mekanik yang baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kuningan (Cu-Zn)

Kuningan meru pakan paduan logam yang berbasis tembaga dimana seng menjadi logam paduan utamanya. Tetapi selain seng, terdapat juga beberapa logam lain yang terkandung di dalamnya sebagai pengotor namun dalam jumlah yang sangat kecil. Selain seng, elemen paduan lainnya biasanya ditambahkan ke dalam kuningan ini, yang biasanya bertujuan untuk meningkatkan beberapa sifat sesuai dengan kebutuhan (Collini, 2012).



Gambar 2.1 Diagram Fasa Cu-Zn (ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992)



Dalam diagram fasa Cu-Zn terdapat 6 fasa yaitu: α , β , γ , δ , ϵ , dan η , dari semua fasa itu yang penting secara industri adalah dua, yaitu α dan β . α mempunyai struktur *fcc* dan β mempunyai struktur *bcc*. Ada juga fasa β' dengan kisi super. Seperti telah diketahui dari diagram fasa untuk kuningan 70-30, fasa α merupakan fasa yang lunak dan mudah dikerjakan, sedangkan kuningan 60-40, adalah fasa $\alpha + \beta$ yang mempunyai kekuatan tinggi. Paduan dengan kira-kira 45%Zn mempunyai kekuatan yang paling tinggi akan tetapi tidak dikerjakan, jadi hanya dipergunakan untuk paduan coran (Mirza Wibisono, 2009).

Kuningan memiliki beberapa kelebihan yaitu sifat mampu cor yang baik, biaya produksi lebih murah, kekuatan tinggi, ketahanan korosinya baik. Kuningan dibagi menjadi 6 subkategori dari segi pengecoran (ASM Metal Handbook vol 2, 1992):

1. Red dan Leaded Red Brasses

Red brasses (C83300-C83810) adalah hasil pengecoran tembaga, seng, timbal, dan timah. Paduan ini mengandung 2-8 % Zn, untuk *red brasses* Pb kurang dari 0,5 %, dan untuk *leaded red brasses* Pb lebih dari 0,5 %, serta Sn kurang dari 6 % (American Foundrymen's Society). Paduan ini memiliki struktur kristal FCC α . Konduktivitas listrik logam ini tidak terlalu tinggi. *Leaded red brasses* mengandung 7%Pb. Unsur ini dapat menghasilkan ketahanan tekan dengan cara menyegel poros penyusutan interdendritik saat proses solidifikasi. Timbal dapat meningkatkan *machinability*. Paduan ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan impellar, pipa saluran air, katup, dan beberapa produk lain.

2. Semi-Red and Leaded Semi-Red Brasses

Paduan ini (C84200-C84800) memiliki kandungan sebanyak 2-17 % Zn, Sn kurang dari 6 %, untuk *semi-red brasses* Pb kurang dari 0,5 % dan untuk *leaded semi-red brasses* Pb lebih dari 0,5 % (American Foundrymen's Society). Seng mengurangi ketahanan korosi, dan hanya berpengaruh kecil terhadap nilai kekuatan paduan. Struktur mikro paduan ini kebanyakan dalam fase tunggal α , walaupun terkadang fasa β FCC dapat muncul ketika



diamati. Kebanyakan paduan ini digunakan pada low-pressure valves, dan pipa saluran air.

3. *Yellow and Leaded Yellow Brasses*

(C85200-C85800) Paduan ini mengandung 20-40% Zn dan memiliki mikrostruktur α total dengan satu fasa β ukuran besar. Walaupun β sedikit mengalami penurunan keuletan pada temperatur ruangan, namun keuletan akan meningkat saat mencapai temperatur solidus. Kandungan paduan ini terdapat pada alloy C85800 dengan 40%Zn. Aplikasinya banyak diterapkan pada pengecoran dengan permanent mold casting dan pressure die casting. *Yellow brass* memiliki warna yang terang dan dapat dipoles untuk menghasilkan permukaan yang lebih halus. Kekurangannya adalah ketahanan korosinya lebih rendah dari *semi-red brass*. Aplikasi dari paduan ini banyak digunakan pada perangkat keras dekoratif elektronik, pipa, dan beberapa aplikasi lainnya.

4. *High-Strength Brasses*

Logam ini sering disebut sebagai perunggu-mangan (*manganese bronze*) dan kuningan dengan kekuatan tarik tinggi (*high tensile brass*). Komposisi kuningan jenis ini adalah lebih dari 17 % Zn, lebih dari 2 % total dari Al, Fe, Mn, Sn, dan Si lebih dari 0,5 %, Pb dibawah 0,5 %, dan Sn kurang dari 6 % (American Foundrymen's Society). Sifat mekanik seperti kekuatan yang tinggi berasal dari fasa beta yang terkandung pada struktur mikro paduan. Fasa β stabil saat berada pada komposisi 39,5 % Zn. Penambahan kekuatan akan dihasilkan jika terdapat sedikit unsur besi, dimana besi mengalami presipitasi dan akan menghasilkan senyawa intermetalik. *High-strength yellow brasses* banyak digunakan untuk roda gigi, baut, katup uap, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, tahan aus, tahan korosi (T. Savaskan, 2003).

5. *Silicon Brasses/Bronzes*

Karakteristik paduan ini adalah memiliki temperatur penguapan yang rendah tetapi fluiditasnya tinggi. Dengan komposisi kuningan jenis ini adalah Zn lebih dari 5 % dan Si



lebih dari 0,5 % (American Foundrymen's Society). Nilai kekuatan dan ketahanan korosi logam ini akan meningkat saat dimanufaktur dengan proses pengecoran. *Silicon brasses* dapat digunakan sebagai pengganti pipa saluran air *lead-brasses*, tetapi sifat mampu mesinnya terbatas. Aplikasi logam ini berupa *bearing* (bantalan), roda gigi, pompa, dan komponen katup.

6. Tin Brasses dan Tin-Nickel Brasses

Komposisi kuningan jenis ini adalah Sn lebih dari 6 %, Zn harus lebih dari Sn, dan untuk tin-nickel brasses Ni lebih dari 4 % (American Foundrymen's Society).

Dalam keadaan padat Cu mampu melarutkan Zn sangat banyak didalam kristal campurannya. Pada temperatur 902 °C terjadi transformasi peritektik dimana Zn larut sebesar 32,5%. Kelarutan ini meningkat sampai dengan temperatur sekitar 450 °C menjadi 39% dan kemudian pada kondisi keseimbangan akan kembali menurun, yaitu pada proses pemanasan panjang dan pendinginan sangat lama. Pada proses pendinginan yang umum dicapai secara teknis, struktur kuningan dengan kandungan Zn 39% setelah perlakuan panas biasanya akan terdiri dari kristal α yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal β . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan α (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki keternesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya. Pada kuningan dengan kandungan Zn 47,5%, kristal β akan terbentuk terlebih dahulu pada temperatur 890 °C, fasa ganda (β + sisa cairan) hanya terdapat pada selang yang kecil sehingga segregasi praktis tidak terjadi. Segera, begitu temperatur mencapai 880 °C, cairan akan membeku seluruhnya sebagai kristal β yang homogen. Kuningan semacam ini disebut kuningan β (beta) dengan sifat-sifatnya yang keras, rapuh dan keternesinan rendah serta lebih banyak digunakan pada perangkat instrumen musik. (Schumann, 1983).

Beberapa aplikasi dari kuningan adalah peluru, roda gigi, shaft propellar. Peluru dalam bahasa asing disebut *cartridge*. Peluru memiliki beberapa bagian yaitu proyektil (*bullet*),



kelongsong peluru (*bullet case*), mesiu (*propellant*) dan pemantik (*rim*). Kelongsong peluru memiliki fungsi sebagai wadah/tempat dari mesiu yang harus memiliki nilai modulus elastisitas minimum 380 MPa. Peluru diproduksi menggunakan proses *Deep drawing*, dimana merupakan proses pengerjaan metal dengan proses *cold working*. *Drawing* merupakan proses pembentukan lembaran logam menjadi bentuk tiga dimensi yang mempunyai dimensi tertentu dengan memberikan tekanan kepada lembaran melalui *punch* dan *dies* (Herryan, 2011)

2.2 Pengaruh Unsur Paduan

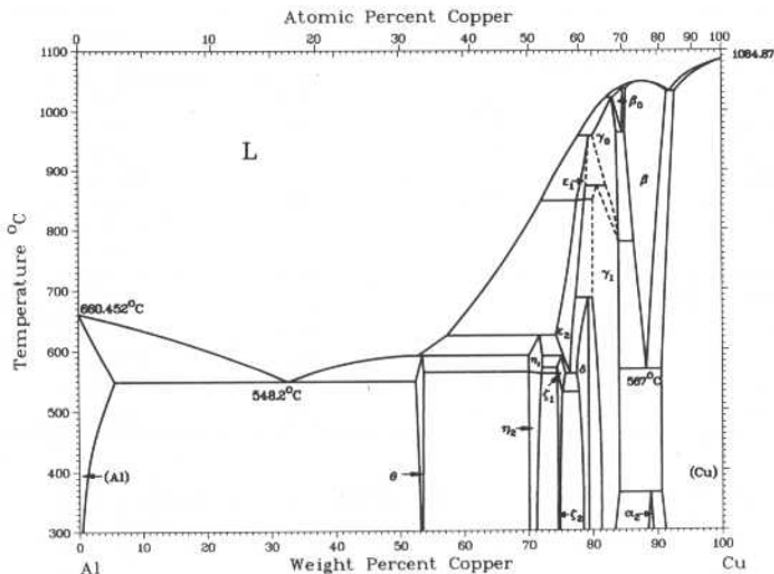
Secara khusus sifat-sifat mekanik kuningan dapat ditingkatkan dengan penambahan sejumlah kecil unsur paduan lainnya tanpa mengurangi karakteristik kuningan secara umum. Tambahan unsur paduan tersebut bertujuan untuk memodifikasi persentasi α maupun β didalam strukturnya.

1. Aluminium (Al)

Aluminium dikenal sebagai promotor fase β dalam paduan Cu-Zn dan pengaruhnya lebih kuat 6 kali dari Zn. Dengan kata lain, 1 % Aluminium sama dengan 6 % seng. Matriks yang berisi banyak fase β ini memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Penambahan aluminium juga mereduksi ukuran butir, selain itu juga sebagai inokulan yang memperbanyak nukleasi butir. Selain itu aluminium juga mengubah struktur butir yang awalnya dendritic menjadi *equiaxed* (Sadayappan, 2004). Penambahan unsur paduan aluminium yang banyak juga dapat menghasilkan *High Tensile Brass* yang kekuatan tarik dan kekerasannya setara dengan Aluminium Bronze dan biasanya digunakan untuk *landing gear* pada pesawat terbang. Unsur Al akan meningkatkan kekerasan kristal campuran α maupun β , sehingga dengan demikian akan secara umum meningkatkan kekuatan bahan. Selain itu unsur ini akan menggeser daerah α pada diagram binernya menjadi lebih sempit sehingga pada kandungan Zn yang sama akan memiliki struktur β yang lebih banyak. Kandungan Al sampai dengan 6% atau 7% biasanya diaplikasikan pada



pegecoran dengan pasir cetak, pengecoran cetak grafitasi maupun pengecoran sentrifugal (Reza Mozaver, 2011). Aluminium juga meminimalisir penguapan seng yang terjadi ketika mendekati titik lebur paduan, yaitu dengan penambahan 0,15 sampai 0,35 % dimana disamping itu meningkatkan fluiditas dari logam cair. Namun semakin tinggi kadar aluminium maka memperbesar kemungkinan terjadinya penyusutan logam coran saat pembekuan, dimana diatasi dengan penggunaan *riser* (ASM Metal Handbook, 1998).



Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Cu

2. Timah Hitam (Pb)

Timah hitam dapat larut dalam paduan kuningan hanya sampai 0,4% dan kebanyakannya mengendap dalam batas butir dan didalam butir terdispersikan secara halus yang hal ini dapat memperbaiki machinability dan surface finish dan ketahanan terhaap korosi. Timah hitam dapat mengurangi ukuran butir dari



kuningan, namun tidak mengubah morfologi dari struktur paduan kuningan. (Sadayappan, 2004).

3. Timah Putih (Sn)

Timah putih dapat memperbaiki ketahanan korosi dan sifat-sifat mekaniknya jika ditambahkan dalam daerah larut padat. Selain itu timah putih juga memperbaiki fluiditas. Timah putih merupakan logam berwarna putih mengkilap, sangat lembek dengan titik cair yang rendah yakni 232°C (Hadi, 2008). Karena memiliki titik lebur yang rendah, maka penambahan timah putih pada paduan kuningan dapat mengurangi temperatur lebur dari paduan walau tidak signifikan. Penambahan timah putih tidak mengubah ukuran butir pada paduan kuningan, namun dapat memperpendek waktu pendinginan pada *primary solidification* maupun *secondary solidification* (Sadayappan, 2004).

4. Besi (Fe)

Unsur paduan besi (Fe) dapat meningkatkan machinability, permukaan akhir, menghaluskan butir, meningkatkan kekerasan dan kuat tarik. Namun unsur ini menurunkan ketahanan korosi pada kuningan. Presipitasi besi saat paduan melebur menjadi penyebab terjadinya *grain refinement*. Namun *grain refinement* yang diakibatkan adanya besi ini terjadi dalam waktu yang cukup lama, yaitu kurang lebih 72 jam *holding time* atau setelah beberapa kali peleburan. Penambahan besi sebagai grain refiner untuk kuningan jenis *aluminium bronze* dan *manganese bronze*. (Sadayappan, 2004).

5. Seng (Zn)

Unsur paduan seng (Zn) meningkatkan kekuatan, kekerasan, machinability, dan surface finish. Namun unsur ini menurunkan keuletan dan ketahanan korosi. Seng (Zn) adalah logam yang berwarna putih kebiruan memiliki titik cair yang rendah yaitu 419°C (Hadi, 2008)

6. Mangan (Mn)

Mangan dengan jumlah yang cukup dan tergabung dengan penambahan nikel akan berperan dalam memainkan fungsi unsur nikel. Akan tetapi penggantian keseluruhan nikel



oleh mangan akan menimbulkan ke tidak praktisan. Mangan dapat meningkatkan kekuatan, machinability, dan surface finish yang cukup baik. Mangan juga berfungsi sebagai deoksidator menghilangkan atau mengusir oksigen yang larut. Mangan mempunyai titik cair 1260°C. (Hadi, 2008). Unsur Mn umumnya disertakan pada paduan CuZn dengan kandungan Al maupun Fe tinggi. Unsur ini memiliki kemampuan larut relatif lebih baik dibandingkan dengan Fe, meningkatkan kekuatan bahan serta ketahanannya terhadap korosi.

7. Nikel (Ni)

Nikel dengan jumlah yang cukup akan menyebabkan peningkatan sifat mekanis dan karakteristik fabrikasi. Nikel sangat efektif didalam mempromosikan pasivasi, khususnya dialam lingkungan yang merugikan. Unsur ini biasanya digunakan dalam lingkungan yang banyak menganung mineral asam. Unsur Ni larut sangat baik didalam paduan CuZn, sehingga dapat diberikan sebanyak 10% sampai 25%. Kuningan dengan paduan Ni sebanyak itu disebut dengan *new silver*, karena berwarna putih seperti perak. Bahan ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik serta banyak diaplikasikan di industri kimia maupun pangan sebagai bahan alternatif pengganti *stainless steel*.

8. Silikon (Si)

Pada penambahan sedikit kadar silikon akan meningkatkan kekuatan kuningan dan ketahanan terhadap korosi, tetapi kadar silikon yang tinggi akan mengakibatkan kegetasan dan menyebabkan reaksi dengan oksigen. Unsur Si mempersempit daerah α maupun juga β pada diagram paduan Cu-Zn, sehingga pada kandu ngan 4% saja, sudah akan menghasilkan struktur campuran $\alpha+\beta$ walaupun kandungan Cu masih sangat tinggi. Bahan ini memiliki ketahanan korosi yang baik termasuk terhadap air laut. Secara teknis bahan inipun memiliki kemampuan cor yang baik.



2.3 High Strength Brasses (*Manganese Bronze*)

High Strength Yellow Brasses atau biasa disebut *Manganese Bronze* walaupun sesungguhnya bukan *bronze*, dan juga pengaruh mangan dalam paduan ini tidak terlalu signifikan terhadap struktur paduan. *High strength yellow brasses* merupakan jenis kuningan *yellow brass* (Cu-Zn) dengan menambahkan beberapa elemen pepaduan. Dengan menambahkan beberapa elemen tersebut membuat *yellow brass* ini mempunyai kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap korosi yang sangat baik sehingga dinamakan *high strength yellow brass*. *High strength yellow brasses* memiliki komposisi elemen lebih dari 17 % kandungan seng, lebih dari 2 % total kandungan dari aluminium, mangan, timah, nikel, dan besi. Kandungan timbal dibawah 0,5 %. Kandungan silikon dibawah 6 %. Namun lebih jelasnya *high strength yellow brasses* terbagi menjadi dua kelompok.

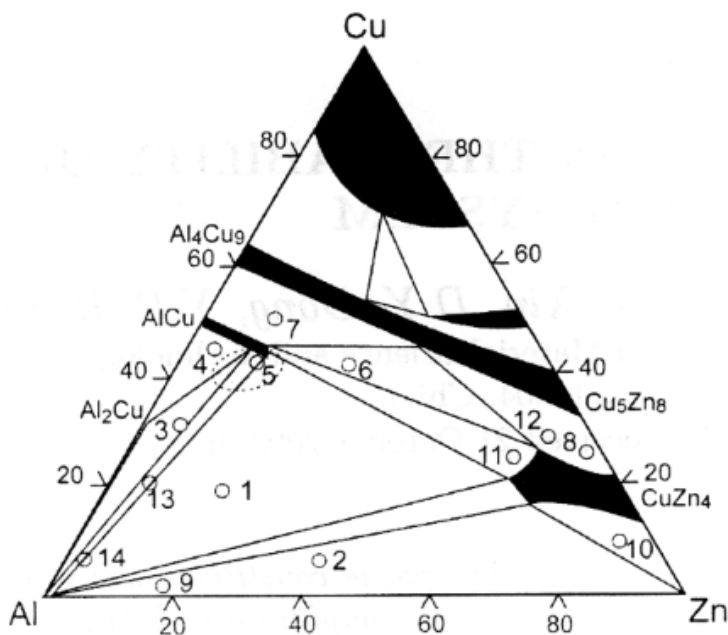
1. *Medium tensile strength* (ASTM B-147-63 paduan 8A) terdapat seng 35-40 %; total untuk penambahan Al, Mn, Fe tidak sampai 4 %; Sn dengan maksimal 1 %; Pb dengan maksimal 0,40 % ; dan tembaga menyesuaikan. Variasi Pb untuk (ASTM B-147-63 paduan 7A) sama seperti paduan 8A kecuali kandungan Pb sampai 0,5-1,5 % dan Sn maksimal 1,5 %.
2. *High tensile strength* (ASTM B-147-63 paduan 8B) dan 8C) dengan kandungan seng 20-30 %; total Al, Mn, Fe 10-15 %; Sn dan Pb maksimal 0,20 %; dan tembaga menyesuaikan.

Struktur mikro pada *high strength yellow brasses* sangat mirip dengan paduan tembaga-seng. Pada paduan ini terdapat struktur alfa-beta, dimana jumlah beta akan meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan seng. Elemen yang ditambahkan ke dalam *high strength yellow brasses* memiliki pengaruh yang sama seperti dengan penambahan seng pada struktur mikro, kecuali nikel, dimana penambahan nikel memiliki



pengaruh yang sama seperti menambahkan tembaga. Pengaruh yang diakibatkan pun bervariasi tergantung setiap elemen yang akan ditambahkan. Total dari efek penambahan elemen dikenal dengan *zinc equivalent*.

Elemen yang memiliki pengaruh paling tinggi dalam struktur mikro diantara elemen pematuyang lain adalah aluminium. Pada *manganese bronze* biasa (*high strength yellow brass*) aluminium memiliki pengaruh hingga enam kali dari pengaruh seng. Pada *high tensile strength*, sejumlah aluminium berkombinasi dengan besi sehingga menghasilkan senyawa intermetalik, sehingga efek dari aluminium sendiri hanya sekitar 4-5 kali dari seng.



Gambar 2.3 Ternary Diagram Cu-Zn-Al pada temperatur ruangan (H. Chen, 2004)

BAB II



Paduan ini juga harus dilebur secara cepat dan membawa ke tempratur dimana seng baru saja mulai terbakar. Pada *low tensile strength manganese bronze* tempratur leburnya sekitar 1010° C sedangkan untuk paduan *high tensile strength* tempraturnya mendekati sekitar 1066° C. *Overheating* sangat dihindari karena akan menyebabkan banyak *zinc losses* dimana akan mengubah komposisi dari paduan dan dapat mengubah sifat dari paduan tersebut. Untuk dapat mempertahankan *balance* yang sesuai antara tembaga dengan seng maka biasanya ditambahkan 0,5-1,5 % seng ke dalam paduan.

Tempratur penuangan biasanya merupakan fungsi dari jenis dan ukuran dari coran yang akan dituang. Tempratur penuangan berkisar pada $954-1121^{\circ}$ C. Tempratur ideal untuk paduan ini hanya sedikit dibawah titik dimana seng akan terbakar.

Keunggulan dari *high strength yellow brass* adalah ketahanan terhadap korosi yang tinggi dan memiliki kekuatan yang tinggi juga. Paduan ini juga sangat mudah untuk dicor (American Foundrymen's Society, 1965). Kehadiran aluminium dalam paduan ini menyebabkan penguapan yang terjadi terhadap seng akibat tempratur lebur paduan yang tinggi diminimalisir, serta kehadiran aluminium membuat fluiditas dari paduan ini meningkat (ASM Metal Handbook vol 2, 1992).

Kelemahan dari *high strength yellow brass* yaitu meskipun paduan ini mudah untuk dicor, namun karena karakteristik dari pembekuan paduan ini sangat mudah untuk terjadi porositas atau penyusutan sehingga diperlukan *gating* dan *risering* yang baik. Sifat mekanik yang maksimum dapat diperoleh dengan melakukan perlakuan panas (American Foundrymen's Society, 1965). Kecenderungan terbentuknya porositas atau penyusutan pada paduan ini sangat tinggi karena terdapat elemen aluminium (ASM Metal Handbook vol 2, 1998).

High strength yellow brass secara umum merupakan paduan jenis *yellow brass* yang memiliki struktur alfa-beta yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik sehingga banyak digunakan pada aplikasi di laut, dimana umumnya



digunakan sebagai propeller pada kapal. Pada struktur tunggal beta, high strength yellow brass mempunyai banyak aplikasi didalam pengecoran struktur, bantalan untuk beban yang berat seperti pada *rolling mill*, baut penahan, dll.



(a)



(b)



(c)



(d)

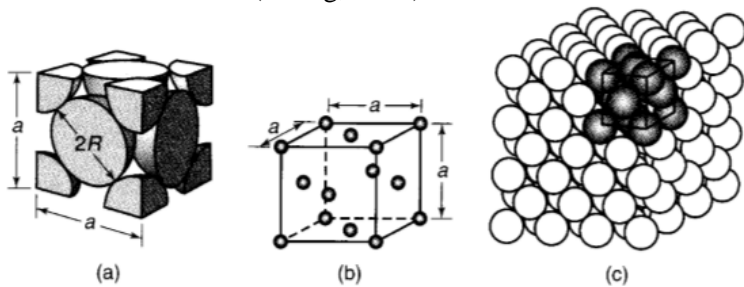
Gambar 2.4 Contoh aplikasi untuk *high strength yellow brass* pada (a) *rod bearing* pesawat (Copper Development Association, 1998), (b) *rolling mill*, (c) mur dan baut untuk aplikasi di laut, dan *propeller* pada kapal (Copper Development Association)

2.4 Tembaga

Tembaga (Cu) merupakan salah satu unsur logam transisi yang berwarna coklat kemerahan dan merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Di alam, tembaga ditemukan dalam bentuk bebas maupun dalam bentuk senyawa-senyawa, dan



terdapat dalam bentuk biji tembaga seperti (CuFeS_2), cuprite (Cu_2O), chalcocite (Cu_2S), dan malasite ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$). Tembaga dengan nama kimia dikenal dengan Cupprum dilambangkan dengan Cu, unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia tembaga menempati posisi dengan nomor atom 29 dan mempunyai berat atom 63,546. Unsur tambahan di alam dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau dalam senyawa padat dalam bentuk mineral (Friebeg, 1977).



Gambar 2.5 Struktur kristal tembaga FCC (a) model *hard-ball*, (b) unit sel, dan (c) satu kristal dengan banyak sel (Kalpakjian, 2009)

Tembaga (Cu) adalah logam non-polimorf dengan kisi FCC. Tembaga murni memiliki warna kemerahan, memiliki titik lebur pada $1083\text{ }^\circ\text{C}$, dan berat jenisnya adalah 8900 kg.m^{-3} yang lebih besar dibandingkan dengan aluminium. Konduktivitas panas dan listrik dari tembaga masih lebih rendah dibandingkan dengan perak, namun 1.5 lebih besar jika dibandingkan dengan aluminium. (Radomila Konečná dan Stanislava Fintová, 2012)

Tembaga (Cu) mempunyai sistem kristal kubik, secara fisik berwarna kuning dan apabila dilihat dengan menggunakan mikroskop butir akan berwarna pink kecoklatan sampai keabuan. Unsur tembaga terdapat pada hampir 250 mineral, tetapi hanya sedikit yang dapat dikomersialkan (Van Vliet, 1984).

Tembaga (Cu) membentuk larutan padat dengan unsur-unsur logam lain dalam daerah yang luas, dan dipergunakan untuk



berbagai keperluan. Paduan tembaga untuk coran hampir mempunyai komposisi kimia yang sama tetapi untuk memperbaiki sifat mampu coranya dan sifat mampu mesinnya, komposisi kimianya berbeda dalam beberapa komponen (Hakim, 2010).

2.5 Sifat Tembaga

Secara luas tembaga digunakan sebagai salah satu bahan teknik, baik dalam keadaan murni maupun dalam bentuk paduan. Tembaga memiliki kekuatan tarik hingga 150 N/mm^2 dalam bentuk tembaga tuangan dan dapat ditingkatkan hingga 390 N/mm^2 melalui proses pengerjaan dingin. Tembaga jenis tuangan mwemiliki angka kekerasan hanya mencapai 45 HB, namun dapat ditingkatkan menjadi 90 HB dengan dilakukan pengerjaan dingin, dimana dengan proses pengerjaan dingin ini daapat mengurangi sifat ulet yang dimiliki tembaga, walaupun demikian keuletan tembaga dapat ditingktkkan melalui proses annealing, disisi lain annealing ini dapat menurunkan angka kekerasannya. Tembaga memiliki sifat *thermal* dan *electrical conductivity* nomor dua setelah perak. Tembaga yang digunakan sebagai penghantar listrik banyak digunakan dalam keadaan tingkat kemurnian yang tinggi hingga 99,9%. Sifat lain dari tembaga adalah sifat ketahanannya terhadap korosi *atmospheric* serta berbagai serangan media korosi lainnya (Hadi, 2008).

Tembaga memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Murphy, 1981) :

- Tembaga merupakan logam berwarna kuning kemerahan dan sifatnya keras.
- Tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, dan kawat.
- Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, kedua setelah perak
- Tembaga relatif tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi



- Tembaga dapat didaur ulang

Sifat –sifat tembaga yang lain seperti yang tertulis pada ASM Metal Handbook vol.2 (1992) dijelaskan sebagai berikut :

9. Sifat Termal

Temperatur lebur : 1084.62 °C

Temperatur didih : 2562 °C

Tabel 2.1 Koefisien pemuaian termal tembaga (ASM Metal Handbook vol.2, 1992)

Rentang Temperatur, °C	Koefisien Rata-Rata, $\mu\text{m/m.K}$
20 hingga 100	17,0
20 hingga 200	17,3
20 hingga 300	17,7

Nilai konduktivitas termal tembaga : 391 W/m.K pada 20 °C

Kapasitas kalor tembaga : 385 J/kg·K pada 20 °C

Tabel 2.2 Nilai sifat mekanik tembaga (ASM Metal Handbook vol.2, 1992)

Kemurniaan, %	Kekuatan Tarik Yield		Kekuatan Tarik		Elongasi pada 50 mm , %
	MPa	Ksi	MPa	Ksi	
99,99	365	53	455	66	51
99,95	345	50	379	55	46

2.6 Sistem Penamaan Tembaga dan Paduannya

Tembaga dan paduan tembaga membentuk satu kelompok utama dari logam komersial. Tembaga berada di urutan ketiga di belakang baja dan aluminium dalam produksi di dunia industri. Tembaga banyak digunakan pada komponen listrik karena sifat konduktivitas listrik dan termalnya yang sangat baik, selain itu tembaga juga memiliki sifat tahan korosi yang baik, mudah difabrikasi, memiliki kekuatan dan ketahanan lelah yang baik (J.R. Davis, 2001).



Sistem penamaan *Unified Numbering Systems* (UNS), tembaga dan paduan tembaga dibuat dengan 5 digit angka yang dimulai dengan huruf “C”. *Range* dari penamaan tembaga adalah dari C10000 hingga C79999 menunjukkan paduan tempa (*wrought Copper*), sedangkan range angka dari C80000 hingga C99999 menunjukkan *cast alloy*. Pada **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3** kedua kategori tembaga ini dibagi menjadi beberapa grup yaitu *copper*, *copper alloys*, *high-copper alloys*, *brasses*, *bronzes*, *copper nickel* dan *nickel silvers*.

Tabel 2.3 Klasifikasi Wrought Alloy (ASM Metal Handbook vol 2, 1992)

Wrought Alloys	No.UNS	Komposisi
Coppers (a)	C10100-C15815	> 99% Cu
High-copper alloys (b)	C16200-C19900	> 96% Cu
Brasses	C20100-28000	Cu-Zn
Leaded brass	C31200-C38500	Cu-Zn-Pb
Tin brasses	C40400-C48600	Cu-Zn-Sn-Pb
Phosphor bronzes	C50100-C52480	Cu-Sn-P
Leaded phosphor bronzes	C53400-C54400	Cu-Sn-Pb-P
Copper-phosphorus and copper-silver-phosphorus alloy (c)	C55180-C55284	Cu-P- Ag
Aluminium bronzes	C60800-C64210	Cu-Al-Ni-Fe-Sn
Silicon bronzes	C64700-C66100	Cu-Si-Sn
Copper-zinc alloys	C66300-C69710	Cu-Zn-Mn-Fe-Sn-Al-Si-Cu
Copper nickels	C70100-C72950	Cu-Ni-Fe
Nickel silvers	C73500-C79830	Cu-Ni-Zn

BAB II



Tabel 2.4 Klasifikasi Cast Alloys (ASM Metal Handbook vol 2, 1992)

Cast Alloys	No.UNS	Komposisi
Coppers (a)	C80100- C81200	> 99% Cu
High-copper alloys (d)	C81400- C82800	> 94% Cu
Red and leaded red brasses	C83300- C83810	Cu-Sn-Zn-Pb (82-94% Cu)
Semi-red and leaded semi-red brasses	C84200- 84800	Cu-Sn-Zn-Pb (75-82% Cu)
Yellow and leaded yellow brasses	C85200- C85800	Cu-Zn-Pb
Manganese bronzes and leaded manganese bronzes (e)	C86100- C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
Silicon brasses/bronzes	C87300- C87800	Cu-Zn-Si
Copper-bismuth and copper-bismuth-selenium alloys	C89320- C89940	Cu-Sn-Bi-Se
Tin bronzes	C90200- C91700	Cu-Sn-Zn
Leaded tin bronzes	C92200- 94500	Cu-Sn-Zn-Pb
Nickel-tin bronzes	C94700- C94900	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb
Aluminium bronzes	C95200- C95900	Cu-Al-Fe-Ni



Cast Alloys	No.UNS	Komposisi
Copper nickels	C96200- C96950	Cu-Ni-Fe
Nickel silvers	C97300- C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
Leaded coppers	C98200- C98840	Cu-Pb
Special alloys	C99300- C99750	Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Co-Sn-Pb

Keterangan :

- (a) Komposisi Cu $\geq 99,3 \%$
- (b) Komposisi Cu $\leq 99,3 \%$
- (c) Paduan logam pengisi
- (d) *High Alloy Cast* $\geq 94,0 \%$

2.6.1 Wrought Copper dan Copper Alloy

Tembaga tempa dan paduan tembaga dapat diklasifikasi lagi menjadi 6 bagian tembaga, *high-copper alloy*, kuningan (*brass*), perunggu (*bronze*), *copper-nickels*, dan perak-nikel. Tembaga murni paling banyak dikomersialkan karena memiliki sifat yang ulet dan unsur impuritis yang terkandung di dalamnya hanya 0,7 %. *High-copper alloy* terdiri dari elemen-elemen *alloy* seperti beryllium, cadmium, chromium, dan besi sebanyak $\leq 8\%$ pada kondisi larut padat. Elemen-elemen ini akan mempengaruhi properties tembaga. Setiap kelompok logam lain yang tersisa terdiri dari satu elemen pepadu utama (**Tabel 2.4**)



Tabel 2.5 Unsur pemadu utama Copper Alloy Families (ASM Metal Handbook vol 2, 1992)

Family	Unsur Pemasu	Solud Solubility pada % (20°C)
Brasses...	Zinc	37
Phosphor bronzes...	Tin	9
Aluminium bronzes...	Aluminium	19
Silicon bronzes...	Silicon	8
Copper-nickels,nickel silvers...	Nickel	100

Tujuan dari penambahan elemen paduan tembaga adalah yaitu untuk mengoptimalkan kekuatan, keuletan, dan stabilitas termal, konduktivitas listrik dan termal, dan ketahanan korosi. Paduan tembaga menunjukkan sifat keuletan yang baik saat diberi perlakuan, meskipun biasanya sifatnya tidak sama seperti tembaga dalam bentuk murni. *Cold working* dan *annealing* pada tembaga perlu diperhatikan agar struktur mikro dan tekstur kristalografi paduan tetap terjaga (ASM Metal Handbook vol 2, 1992).

Wrought coppers (C10100- C15999) terdiri dari $\geq 99,3\%$ Cu, dan terdapat hanya sedikit unsur lain yang terkandung di dalamnya. Logam ini sifatnya lunak, ulet namun dapat ditingkatkan nilai kekuatannya melalui *cold working*. Tembaga memiliki kelebihan pada konduktivitas listriknya yang sangat baik.

Oxygen-free copper (C10100-C10700) banyak digunakan untuk aplikasi atau material yang memerlukan konduktivitas listrik yang paling tinggi. Pada umumnya banyak digunakan untuk kabel listrik sedangkan tembaga fosfor dioksida (C12200) merupakan bahan utama pembuatan pipa saluran air. Logam ini dapat dilas dan aman dari *embrittlement*.



2.6.2 *High-Copper Alloy*

Pada bahasan sebelumnya telah diketahui bahwa tembaga paduan tinggi (C16200-C199000) terdiri dari 94 %Cu dan terdapat unsur-unsur pemadu seperti berilium, kadmium, kromium, besi, sebanyak kurang dari 8% pada kondisi larut padat. Beberapa tembaga paduan tinggi juga terkandung unsur-unsur pemadu seperti nikel, kobalt, dan timah sebanyak 2 %. Pemaduan secara umum berfungsi untuk :

- Meningkatkan sifat mekanik
- Meningkatkan stabilitas termal
- Meningkatkan konduktivitas listrik

Age-hardening alloys juga masuk dalam kategori tembaga paduan tinggi. *Age hardening* menghasilkan peningkatan kekuatan yang sangat signifikan tetapi untuk beberapa jenis paduan tembaga yang mengalami penurunan laju kelarutan yang signifikan ketika terjadi penurunan temperatur tidak akan menghasilkan kekuatan yang tinggi. Tembaga-berilium merupakan salah satu contoh dari paduan ini.

Tembaga-berilium tempa dapat dikeraskan dengan pengerasan presipitat untuk meningkatkan nilai kekuatan hingga mencapai kekuatan maksimumnya. Terdapat dua paduan komersial berilium dengan penambahan kobalt dan nikel. Paduan ini dinamakan dengan *red alloys* yang terdiri dari berilium dan nikel atau kobalt sebanyak 0.2-0.7 wt%. *Red alloys* memiliki kekuatan luluh 170-550 Mpa (25-80 ksi) tanpa diberikan perlakuan, dan akan mengalami peningkatan ketika diberikan perlakuan *precipitate hardening*. Beberapa paduan age-hardenable adalah paduan C15000; C15100 (tembaga-zirkonium); C18200, C18400, dan C18500 (tembaga-kromium); C19000 dan C19100 (paduan tembaga-nikel-fospor) (ASM Metal Handbook vol 2, 1992).

2.7 Seng (Zn)

Seng merupakan logam dengan urutan keempat paling banyak digunakan di dunia industri setelah baja, aluminium, dan

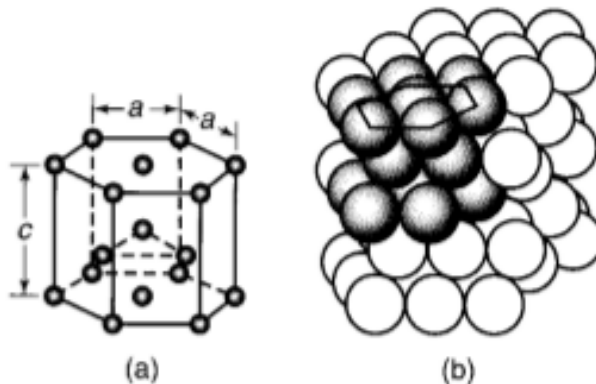
BAB II



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 memiliki banyak efek pada paduan yaitu meningkatkan kekuatan pada temperature kamar, ketahanan korosi, presipitasi hardening pada beberapa. Seng merupakan salah satu paduan paling sering digunakan pada magnesium, Selama pencairan dan pengecoran. Seng membantu meningkatkan fluiditas akan tetapi dapat mendorong terjadinya mikro porositas selama pengecoran. Seng bertindak sebagai grain refiner hal ini meningkatkan kekuatan pada paduan (Barber, 2004).

Seng merupakan logam putih kebiruan. Seng (*Zinc*) dilambangkan dengan Zn pada table 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) (Lehto, 1968).



Gambar 2.6 Struktur kristal HCP seng (a) unit sel dan (b) satu kristal dengan banyak sel (Kalpakjian, 2009)



Logam seng memiliki massa jenis 7140 kgm⁻³ dan memiliki titik lebur pada temperatur 420° C. Seng murni tersedia dalam bentuk lembaran, ingot, dan serbuk. Slab seng dibagi menjadi tiga golongan seperti pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Grade dan Komposisi slab zinc (ASTM B6)

Grade	UNS number	Composition, %							
		Pb	Fe max	Cd max	Al max	Cu max	Sn max	Total nonzinc max	Zn min by difference
Special high grade	Z13001	0.003 max	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.010	99.990
High grade	Z15001	0.03 max	0.02	0.02	0.01	0.10	99.90

2.8 Sifat Seng

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 impuritas pada proses *alloying* seng perlu diperhatikan. Adanya unsur impuritas 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 rolled*)
3. Fatigue strength : 28 Mpa pada (**10⁸** cycles)
4. Shear strength : 138-152 Mpa
5. Thermal conductivity : 104,7 W.m/K

BAB II



2.9 Aluminium (Al)

Aluminium merupakan unsur paling banyak di kerak bumi ketiga dan unsur logam yang paling melimpah, namun hamper lebih dari 50 tahun terkahir, hanya menjadi yang kedua dalam penggunaannya di dunia industry setelah besi. Aluiniun tidak terbentuk dalam keadaan unsur, tetapi dalam bentuk senyawa kimia. Untuk menghasilkan aluminium primer, metode yang paling sering digunakan sampai sekarang adalah proses Hall-Heroult, karena memiliki keekonomisan yang tinggi untuk di produksi dalam skala indurstri. (Lumley, 2011). Dengan konsumsi tahunan di dunia mencapai 25 juta ton, aluminium menjadi pemimpin di dunia metalurgi untuk metal non-ferrous. Produksi aluminium meningkat tajam sejak tahun 1950. Penemuan aluminium awalnya terkesan karena kepadatan yang dimiliki logam ini sangat rendah. Aluminium lebih ringan dari logam umum lainnya. Densitas dari logam ini adalah sekitar 2600 sampai 2800 kg/m³ dimana hampir 3 kali kurang dari baja (Vargel, 2004). Walaupun jumlahnya melimpah dan sudah ditemukan sejak lama namun logam ini tergolong logam yang relatif baru karena teknologi untuk memurnikannya dari oksidanya baru saja ditemukan. Di alam, aluminium berupa oksida yang sangat stabil sehingga tidak dapat direduksi dengan cara yang sama seperti mereduksi logam-logam yang lain. Pereduksian aluminium hanya dilakukan dengan cara elektrolisa.

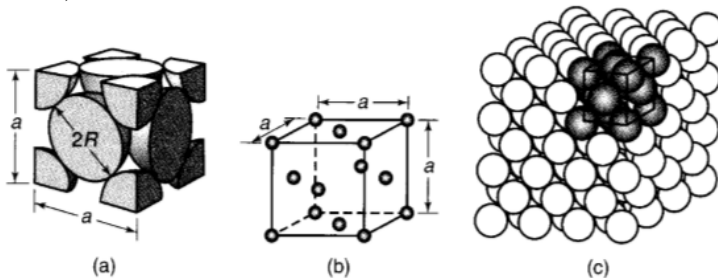
2.10 Sifat Aluminium

Saat ini penelitian tentang aluminium murni sudah banyak dilakukan karena aluminium relatif mudah membuat dalam bentuk murni (99,99%) dank arena sifatnya yang sangat menarik sebagai material murni. Aplikasi aluminium biasanya digunakan pada elektrolitik kapasitor, *cryoelectrics*, *cryomagnetics*, dan semi konduktor.

Selain memiliki sifat yang ringan, aluminium juga memiliki sifat tahan korosi dan oksidasi, memiliki sifat penghantar listrik yang baik sehingga sering dipakai sebagai alat



elektronik, memiliki sifat tahan aus serta koefisien muai yang rendah. Kelebihan-kelebihan yang dimiliki aluminium inilah yang menyebabkan logam ini penggunaannya sangat luas dalam berbagai bidang, mulai transportasi, elektronik, arsitektur, konstruksi, makanan, minuman, peralatan rumah tangga, industri otomotif sampai kesehatan, dan logam ini sangat berperan dalam perkembangan dunia pesawat terbang. Aluminium mempunyai nomor atom 13 dan mempunyai berat atom 26,981, berstruktur kristal FCC dengan jari-jari atom sebesar 0,1431 nm (Avner, 1982)



Gambar 2.7 Struktur Kristal aluminium FCC (a) dengan model *hard-ball*, (b) unit sel, dan (c) satu Kristal dengan banyak sel (Kalpakjian, 2009)

Sifat lain yang sangat menguntungkan yang dimiliki aluminium adalah sifat mudah untuk difabrikasi, dapat dituang dengan metode penuangan apapun dan dapat dideformasi dengan berbagai cara, seperti rolling, forging, drawing, dll. Menjadi bentuk yang cukup rumit sekalipun. Aluminium juga memiliki sifat tahan terhadap korosi, namun sifat tahan korosi yang dimiliki aluminium berbeda dengan sifat tahan korosi yang dimiliki oleh logam lain, seperti tembaga yang memiliki sifat tahan korosi karena sulit untuk bereaksi dengan air atau udara, atau zat-zat di sekitarnya. Aluminium justru sebaliknya yang sangat mudah bereaksi dengan lingkungan sekitarnya sehingga membentuk aluminium oksida (Al_2O_3), aluminium oksida yang terbentuk di permukaan inilah yang tahan terhadap korosi yang melindungi



bagian dalam dari logam tersebut dari lingkungan yang bersifat korosif (Raihandi, 2010).

Aluminium tidak menunjukkan batas fatigue yang tinggi, sehingga kerusakan yang terjadi dapat terjadi pada tegangan yang rendah. Karena temperatur lelehnya yang rendah, aluminium tidak cocok untuk penggunaan pada temperatur tinggi. Aluminium memiliki kekerasan yang rendah, sehingga mengakibatkan tahanan aus yang rendah. Dalam keadaan murni aluminium sangat lunak, ductile dan tidak begitu kuat. Aluminium murni memiliki kekuatan tegangan 49 Mpa dan 700 Mpa. Aluminium memiliki warna perak mengkilap, warnanya berubah menjadi kelabu muda akibat pembentukan oksida yang terjadi di permukaannya. Oksida ini sangat ulet dan tahan api. Dalam keadaan murni, temperatur leleh aluminium 660° C, untuk temperatur lebur paduannya antara 520° C sampai 660° C. (Sanders, 2001)

2.11 Pengecoran

2.11.1 Definisi

Pengecoran adalah proses dimana logam cair mengalir ke dalam cetakan dengan cara gravitasi maupun diberi gaya lainnya, kemudian logam cair membeku sesuai dengan bentuk cetakan. Prinsip utama dari pengecoran adalah melebur logam, tuangkan ke dalam cetakan, dan biarkan hingga membeku (Groover, 2010). Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Proses ini membutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. Pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia (Hadi, 2008).

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-



sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, assesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini (Hadi, 2008).

2.11.2 Peleburan

Tujuan utama dari peleburan logam adalah untuk dapat melakukan control terhadap komposisi logam yang dilebur sehingga dapat menghindari kerugian yang ditimbulkan akibat adanya elemen-elemen yang tidak diinginkan terdapat dalam logam yang dilebur tersebut. Pemilihan praktek yang akan dilakukan di lapangan dapat dilakukan dengan mengatur komposisi atau dengan memberi persyaratan kualitas pada paduan atau logam yang dilebur. Kedua cara tersebut dapat dibedakan sesuai dengan kasus yang terjadi di lapangan. (Beeley, 2001)

Berbagai jenis furnace intinya adalah untuk digunakan dalam memanaskan logam sampai tempratur dimana logam tersebut mencair dan siap untu dicor. Energi yang digunakan adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan tempratur menuju tempratur lebur dari logam, kemudiam panas fusi yang dibutuhkan untuk mengubah logam yang padat menjadi logam



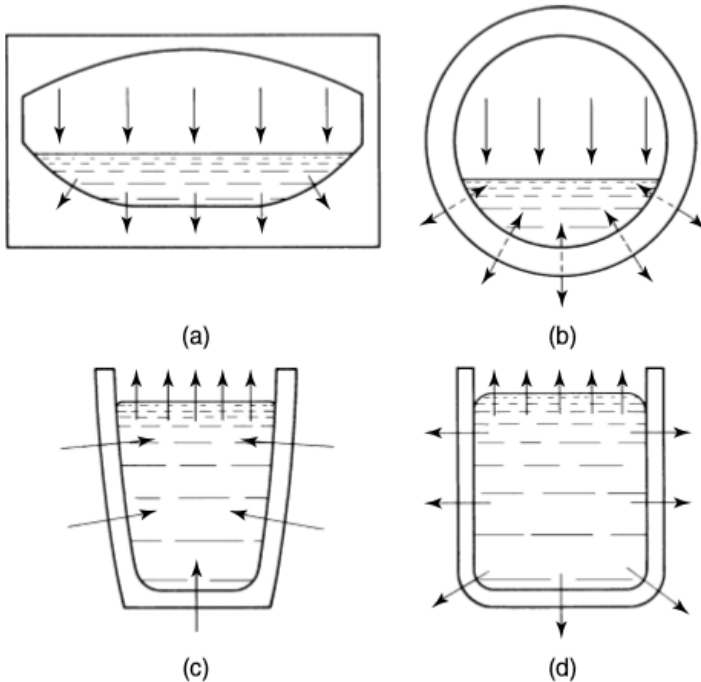
cair, setelah itu menaikkan temperatur yang diinginkan sehingga logam memiliki temperatur yang tepat saat akan dituang.

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan saat melebur logam, antara lain: (1) Heat spessific dan sifat termal yang bervariasi, terlebih saat logam mengalami perubahan fasa selama pemanasan. (2) Spessific heat dari sebuah logam mungkin berbeda saat berbentuk solid dan berbentuk cair. (3) Kebanyakan pengecoran paduan logam melebur di atas temperatur antara solidus dan liquidus dibanding melebur pada satu titik lebur. (4) Nilai-nilai sifat yang dibutuhkan dalam perhitungan yang telah dibuat biasanya sebagian besar tidak terjadi di kebanyakan kasus. (5) Terjadi heat losses yang sangat besar ke lingkungan selama pemanasan logam. Setelah dilakukan pemanasan logam hingga logam melebur hingga siap untuk dituang. Mengalirnya logam cair ke dalam cetakan, yaitu melalui gating system yang telah disiapkan merupakan keadaan paling kritis dari pengecoran. Agar menjadi bentuk coran sesuai dengan yang diinginkan maka logam harus mengalir ke seluruh wilayah cetakan sebelum logam tersebut membeku. Beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut antara lain temperatur penuangan, kecepatan penuangan, dan *turbulence*. (Groover,2010)

Salah satu komponen yang sangat penting dalam proses pengecoran adalah furnace. Furnace berfungsi sebagai alat pelebur logam dengan memberikan pemanasan secara kontinyu. Desain yang dimiliki oleh furnace menjadi syarat yang mutlak sehingga dapat memberikan transfer panas yang efektif, ketersediaan bahan bakar yang memadai, serta harga dan perbaikan yang ekonomis. Selain itu faktor terkait dengan keilmuan metalurgi juga penting diperhatikan, misalnya kemungkinan logam cair berikatan dengan lingkungan, pengendalian komposisi, kadar pengotor, dan jumlah material yang dilebur. (Beeley, 2001). Jenis-jenis yang paling umum digunakan dalam pengecoran adalah kupola, direct fuel-fired furnaces, crucible furnaces, electric-arc furnaces, dan induction furnaces. Pemilihan jenis furnace yang tepat yang akan digunakan



berdasarkan faktor seperti paduan yang akan dilebur, tempratur lebur dan penuangan, kapasitas furnace, harga, pemakaian dan pemeliharaan, dan pertimbangan pencemaran lingkungan. (Groover, 2010)



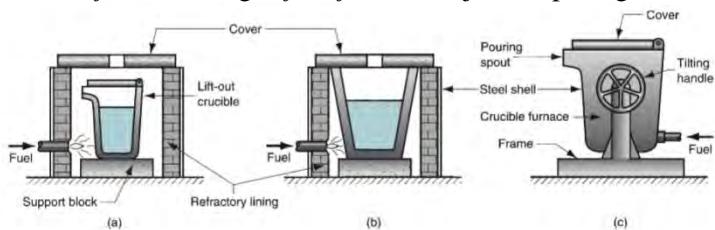
Gambar 2.8 Beberapa skema *heat-flow* selama pemanasan terhadap *furnace*; (a) *hearth*, (b) *rotary*, (c) *crucible*, dan (d) induksi atau *immersion heated bath*



Tabel 2.7 Macam-macam jenis furnace (Beeley, 2001)

Energy	Basic type (see Figure 8.35)	Furnace	Usual means of heating	Main fields of application	
I. Fuel fired	Shaft	Cupola	Coke. Charge in direct contact with fuel. Continuous melting	Cast iron	
	Hearth	Reveratory (air) Rotary (rotating or rocking)	Gas; oil Gas; oil Gas; oil	Non-ferrous alloys; cast irons, esp. malleable and special. Duplex holding	
	Crucible	Crucible Lift out or pit type Tilting Bale out	Gas; oil Gas; oil Gas; oil	Most alloys, except steel Light castings, especially die castings	
II. Electric	Hearth	Arc	Direct arc		Steel; cast iron Non-ferrous alloys; high alloy steel and special irons
			Indirect arc (rocking)		
	Crucible	Resistance	Resistor (static or rocking)	Radiant resistor rod Elements (shroud or immersion)	Steel; cast iron; copper alloys Non-ferrous alloys, especially holding for die casting
			Resistance		
Melting channel	Induction	Coreless induction	Medium frequency induction	Steel, esp. alloy and small tonnage; cast irons; Ni base Non-ferrous alloys; holding for die and light castings	
		Cored induction	Mains frequency induction		

Berdasarkan sumber energi yang digunakan, furnace terbagi menjadi 2 kategori, yaitu melalui *fuel-fired* dan *electric*. Perbedaan yang mendasar dari *furnace* yang memanfaatkan *crucible furnace* dengan *fuel-fired* ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.9 Tiga jenis *crucible furnace*: (a) *lift-out crucible*, (b) *stationary pot*, dan (c) *tilting-pot furnace* (Groover, 2010)

Fuel-fired furnace termasuk juga *rotary* atau *reveratory* telah banyak digunakan dalam melebur logam dengan kapasitas menengah keatas. Logam paduan yang dapat dilebur menggunakan furnace jenis ini antara lain tembaga, aluminium, dan besi tuang mamu tempa. Bahan bakarnya dapat menggunakan kokas atau batubara. (Beeley, 2001) *crucible furnace* meleburkan



logam tanpa melakukan kontak secara langsung dengan campuran bahan bakar yang digunakan. Oleh karena itu kadang-kadang furnace jenis ini disebut *indirect fuel-fired furnaces*. Tiga jenis *crucible furnaces* yang biasa digunakan dalam dunia pengecoran adalah *lift-out*, *stationary*, dan *tilting-pot* seperti pada gambar 2.8. Mereka menggunakan *crucible* yang sesuai dengan material refraktori (seperti *clay*, atau campuran grafit) atau menggunakan paduan besi yang tahan pada temperatur tinggi untuk menahan beban. Pada *lift-out crucible furnace*, *crucible* ditempatkan di dalam furnace dan dipanaskan hingga cukup untuk meleburkan logam. Minyak, gas, dan batubara dalam bentuk bubuk merupakan bahan bakar yang digunakan untuk furnace jenis ini. Ketika logam di lebur, *crucible* kemudian diangkat dan digunakan untuk menuangkan logam cair tersebut. Jenis *furnace* yang lainnya yaitu *pot furnace* yang mempunyai furnace untuk memanaskan dan wadah sebagai satu kesatuan. Pada *stationary pot furnace*, *furnace* bersifat statis dan penuangan logam cair nya dilakukan dengan wadahnya. *Crucible furnace* digunakan untuk logam *nonferrous* seperti perunggu, kuningan, dan paduan dari seng dan aluminium. Dan kapasitas dari *furnace* seperti ini sangat terbatas (Groover, 2010)

2.11.3 Pembuatan Cetakan Pasir

Cetakan dalam proses pengecoran digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. Bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. Bahan yang digunakan untuk cetakan disebut "Moulding Material". Rongga cetakan harus bisa mempertahankan bentuknya agar logam cair yang masuk tidak berubah bentuk pada saat dituang. Cetakan dapat dibagi dua, cetakan permanen dan cetakan sementara. contoh cetakan permanen biasa terbuat dari logam *ferrous*, dan besi cor. cetakan yang bersifat sementara biasanya terbuat dari pasir refraktori, plaster, resin, lilin.

BAB II



Sebagian cetakan menggunakan pasir refraktori karena lebih murah dibanding cetakan permanen yang lebih mahal (Banga, 1981).

Sifat Pasir cetakan yang dibutuhkan adalah:

1. Permeabilitas
Logam cair selalu mengandung sejumlah gas yang larut, yang berubah saat logam memadat. Selain itu saat logam cair bersentuhan dengan cetakan akan tercipta uap air. Jika gas dan uap air tersebut tidak dapat keluar dari cetakan maka akan terbentuk lubang gas dan pori pada coran. Karena itu pasirnya harus cukup berpori agar dapat dilewati oleh gas dan uap air saat logam cair dituang. Pasir yang kasar atau mempunyai butir yang bulat mempunyai permeabilitas yang lebih baik. *Ramming* dan penambahan tanah liat akan menaikkan permeabilitas. Permeabilitas yang tidak memadai akan menyebabkan cacat seperti *surface blows*, *gasholes*, *mould blasting*, dan lain-lain.
2. Plastisitas atau Mampu Alir
Sifat ini mengarah pada kemampuan pasir cetak untuk mendapat bentuk yang ditentukan dibawah tekanan dan mempertahankannya saat tekanan dihilangkan. Untuk mendapat hasil yang baik dari pola yang ada didalam cetakan, plastisitas yang tinggi diperlukan dari pasir cetak.
3. Adhesivitas
Partikel dari pasir cetak harus mampu melekat ke bagian lain. Berarti tepi dari pasir cetak harus dapat saling melekat.
4. Kohesivitas
Kemampuan dari partikel pasir untuk saling melekat disebut “kohesivitas” atau “kekuatan”. Jika tidak mempunyai kemampuan yang cukup, maka akan menyebabkan runtuhnya pasir saat pengangkatan, pembalikan, penutupan, atau penuangan, hal ini dapat hancur atau rusak sebagian.
5. Sifat Refraktori
Kemampuan pasir cetak untuk tahan terhadap temperatur tinggi dari logam cair tanpa terjadi fusi disebut “sifat



refraktori”. Pasir cetak yang mempunyai sifat refraktori yang rendah akan terbakar saat pengecoran. Bagaimanapun, pasir silika mempunyai pemuai termal yang tinggi pada 575°C . Jika dibandingkan dengan pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang rendah, sifat refraktori ini lebih esensial untuk pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang tinggi seperti baja.

Tabel 2.8 Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran
 (Chijiwa, 2006)

Macam Coran	Temperatur Penuangan ($^{\circ}\text{C}$)
Paduan Ringan	650 – 750
Brons	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besi Cor	1.250 – 1.450
Baja Cor	1.500 – 1.550

6. **Ketahanan Kimiawi**
 Pasir cetak tidak boleh bereaksi secara kimiawi dengan logam karena jika pasir bereaksi maka bentuk dari coran akan menyimpang dan rusak.
7. **Mampu Hancur**
 Sifat pasir cetak inilah yang menentukan apakah pasir cetak dapat runtuh secara otomatis saat pemadatan coran dan hancur saat pemukulan dan pembersihan.
8. **Kehalusan**
 Pasir cetak yang lebih halus mencegah terjadinya penetrasi logam, dan memberikan permukaan yang halus pula pada coran. Kehalusan pasir dan permeabilitas pasir saling bertolak belakang. Sehingga keduanya harus seimbang untuk mencapai hasil yang optimal. Kedua sifat ini dapat dijaga



dengan menggunakan pelapisan cetakan pada permukaan cetakan yang mempunyai permeabilitas yang tinggi.

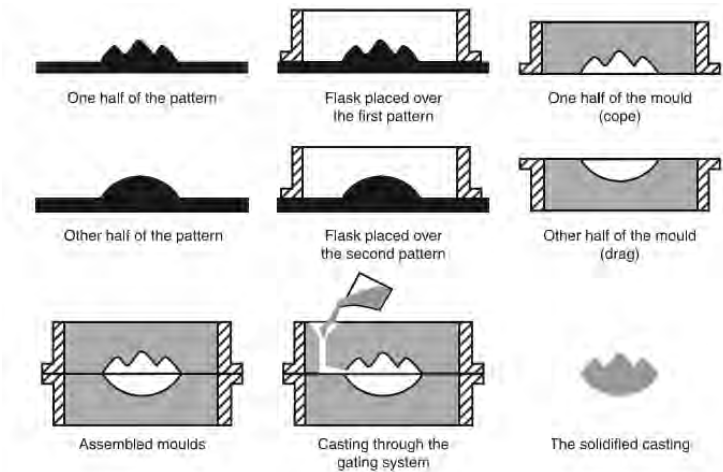
9. Koefisien Pemuaihan yang Rendah.

Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuaihan yang rendah.

10. *Bench Life*

Adalah kemampuan pasir cetak untuk mempertahankan sifatnya selama penyimpanan, penanganan, penggunaan, contohnya pada saat delay.

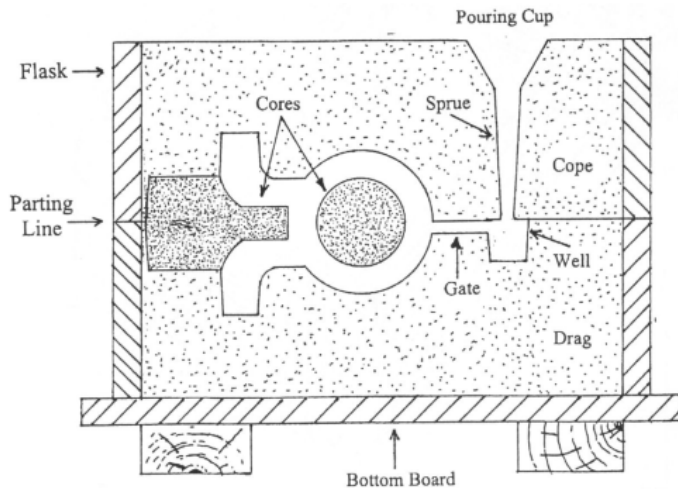
Sand casting tidak terlalu rumit dan tidak terlalu mahal untuk dilakukan. Logam cair dari furnace dituang kedalam sand mold yang telah dibuat. Pasir pada mold direkatkan menggunakan sejenis clay dan sedikit air untuk membentuk pasir basah atau green sand mold. Mold terbuat dari molding sand yg dipadatkan di sekeliling pattern atau duplikat dari part yang akan dicor. Sebuah flask menahan pasir yang mengelilingi pattern. Setelah pasir di padatkan di sekitar pattern, mold dibuka dan pattern dikeluarkan. Kemudian mold ditutup dan logam cair dituangkan kedalam cetakan melalui pouring cup. Kemudian logam cair mengalir melalui lubang yang disebut sprue. Logam cair mengalir kedalam mold melewati ingate . kemudian setelah logam membeku, coram dikeluarkan dari pasir, setelah itu dibersihkan, dan dilakukan finishing. (Chastain, 2004)



Gambar 2.10 Skema pembuatan cetakan pasir (Lumley, 2011)

2.11.4 Gating System

Gating system mengalirkan logam cair dari atas cetakan menuju cetakan coran. logam memasuki cetakan dari atas, dengan *pouring cup* atau *pouring basin*. *Cups* terletak pada bagian atas dari *sprue*. *Cups* dibuat dengan mencetak atau memotong bagian atas dari *sprue*. Dalam membuat *pouring cup*, perlu diperhatikan sudut kecuramannya. Corang yang lebih kecil mungkin menggunakan *cup*, tapi untuk meminimalisir cipratan atau turbulensi, *pouring basin* dibutuhkan. Dari *pouring basin* kemudian masuk melalui *sprue*. Pada bagian bawah *sprue* kemudian terdapat daerah yang membesar. Pada bagian bawah *sprue* biasanya terdapat *choke* yang kemudian mengalirkan logam menuju *runner*. *Choke* biasanya terdapat pada bagian awal dari *runner*. Kemudian *runner* membawa logam menuju *ingate* yang merupakan pintu menuju dari cetakan coran.



Gambar 2.11 Skema struktur pada cetakan pasir

Pouring basin. Bentuk terbaik dari pouring basin adalah kotak dengan dasar yang rata dibandingkan dasar yang membulat. *Basin* harus cukup besar untuk menampung logam ketika dilakukan penuangan logam cair dan harus cukup dalam untuk mencegah terjadinya pusaran.

Sprue. *Sprue* harus berbentuk menyempit dan meruncing ke bawah sehingga meminimalisir terjadinya turbulensi di dalam *sprue*. Pada bagian bawah *sprue* bertujuan untuk mengalirkan logam menuju gating system. Jika *sprue* terlalu besar, maka tidak dapat mengisi dengan baik sehingga menyebabkan tumpahan pada logam, erosi pada bagian sisi *sprue*, dan pembentukan oksida. Pada bagian bawah *sprue* biasanya datar dan tidak dianjurkan untuk berbentuk membulat karena dapat menyebabkan turbulensi pada aliran logam.

Choke. *Choke* mengatur logam mengisi cetakan. Biasanya *choke* dibentuk di runner atau pada bagian bawah *sprue*, dan tidak pernah ditempatkan pada bagian atas *sprue*.



Diameter dari *choke* disesuaikan dengan kecepatan dari penuangan

Runner. Bentuk terbaik untuk *runner* adalah kotak atau trapezium karena dapat meminimalisir turbulensi pada aliran logam. Kerika rasio cukup besar seperti 1:4:4 logam mengalir secara lambat, sehingga cukup untuk slag pengotor memisahkan diri. Untuk besi coran dan paduan non-ferous digunakan *runner* dengan sisi yang dangkal sehingga memberikan lebih banyak permukaan atas untuk menjebak slag dan pengotor. Begaimanapun juga, biasanya dalam aliran ini terjadi *heat losses* dan *frictional losses*. Pada pengecoran besi biasanya dituang dengan *runner* berbentuk kotak untuk meminimalisir *heat losses*. Pada akhir *runner* setelah *ingate* terakhir biasanya diberikan *runner extension* untuk menjebak logam pertama yang dituan, karena biasanya disitu terdapat akumulasi dari pengotor dan gas.

Ingate. *Ingate* berada pada bagian bawah, atas, atau pada sisi pada cetakan. masing-masing dari penempatan *ingate* mempunyai alasan tersendiri. *Ingate* pada bagian bawah memberikan aliran yang tidak turbulen dan lancar. Karena *gating* bagian bawah tidak baik untuk *directional solidification*, maka riser dibutuhkan dengan logam cair ditung dari ladle untuk mengisi riser setelah casting terisi. *Gate* yang memeikiki tebal lebih dari setengah tebal dari coran atau kurang dari dua kali tebal coran akan dapat menyebabkan *hot spot* dan cacat

2.11.5 Riser dan Chill

Chill. *Chill* merupakan bahan atau komponen yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi, digunakan untuk mempercepat pendinginan dan mengatur struktur logam cair di dalam cetakan. *Chill* dapat terbuat dari tembaga atau besi cor, yang terakhir lebih dari biasanya. Letak *chill* diatur menghadap ke wajah cetakan, terhadap permukaan pola. Permukaan *chill* dicat dengan *spirit-based shellac* untuk mencegah oksidasi (Hurst, 1996). *Chill* digunakan untuk mempercepat pembekuan terarah dan sangat efektif bila digunakan pada paduan nonferrous.



Sebuah permukaan yang sangat keras terbentuk ketika *chill* digunakan dengan besi cor. Karena *chill* menyebabkan pembekuan cepat sebelum *feeding channel* menutup, penggunaan *chill* meningkatkan *feeding distance* dari *riser*. *Chill* harus bersih dan kering, akan lebih baik jika dilakukan *sand blasting* terlebih dahulu pada *chill* sebelum digunakan. *chill* harus memiliki ketebalan yang sama dengan dinding yang akan diberikan *chill*. *Chill* yang tipis mungkin akan menekuk saat di bawah panas atau bergabung dengan logam coran. *Chill* yang terlalu besar dapat menyebabkan retak di coran. *Chill* dapat dilakukan *tapered* untuk mengurangi retak di tepi (Chastain, 2004).

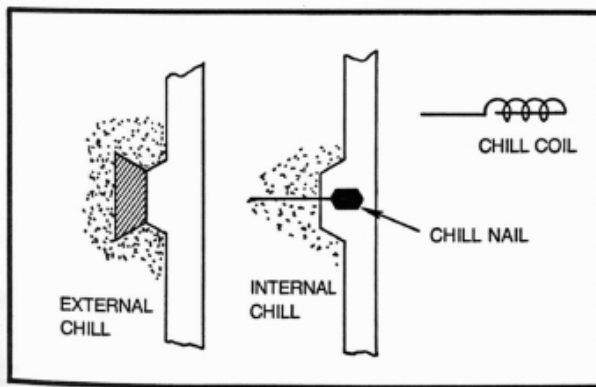
Chill memberikan sarana yang sangat efektif untuk memicu pertumbuhan butir yang searah, pengaruh *chill* sangat kuat dalam memperpanjang *feeding range* dari *feeding heads*. Karena pengaruh umum dari permukaan *chill* adalah untuk membuat gradien temperatur lebih curam di dalam coran. Kecenderungannya adalah terjadinya solidifikasi dengan cara *formation skin* daripada dengan *pasty manner*. Penggunaan umum dari *chill* yaitu untuk mendorong pembekuan selektif dari coran yang memiliki ketebalan dengan meningkatkan *heat extraction*. Peningkatan *cooling rates* memungkinkan coran tersebut menarik *feed metal* melalui bagian tipis yang masih dalam keadaan cair. Dengan demikian masih memungkinkan menghasilkan *sound section* dalam keadaan dapat diakses langsung dengan *head feeder*. Tingkat *cooling rate* yang seragam juga menjadi faktor yang sangat penting dalam memberikan tekanan pada sobekan yang masih memiliki panas.

Chill logam dapat digunakan baik secara internal maupun eksternal dalam pengecoran. *Chill* internal lebih sedikit digunakan: kurangnya homogenitas struktural dan kemungkinan diskontinuitas akibat kurangnya fusi yang terjadi dapat mengurangi kualitas metalurgi dari coran. *Chill* eksternal secara luas digunakan. *Chill* tersebut umumnya terbuat dari baja atau besi coran yang diposisikan terhadap pola selama pencetakan, yang harus disiapkan jika diperlukan adalah kaitan dan kabel



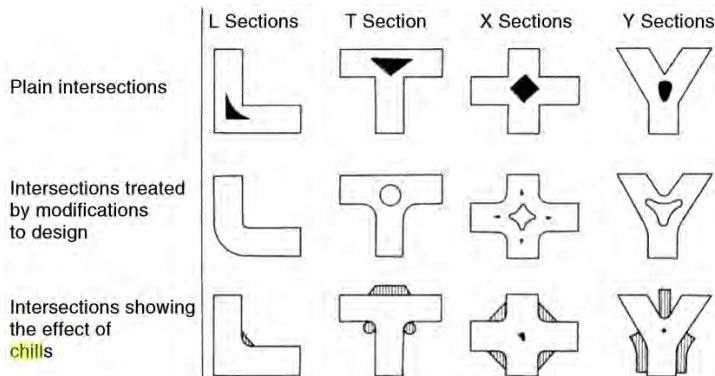
untuk mengaitkan dengan kuat di bahan cetakan. *Chill* paduan aluminium kadang-kadang digunakan dalam membuat paduan ringan (Beeley, 2001)

Chill eksternal terbuat dari baja, grafit atau *carbon blocks* yang dimasukkan kedalam cetakan atau inti meningkatkan laju pemanasan selama pembekuan di sekitar daerah yang diberi *chill* tersebut dan mengurangi cacat penyusutan. *Chill* internal merupakan seperangkat logam yang dimasukkan kedalam cetakan atau inti pada permukaan coran atau dalam cetakan untuk meningkatkan tingkat pemindahan panas, mendorong terjadinya solidifikasi yang searah dan mengurangi cacat penyusutan. *Chill* internal kemungkinan akan menjadi bagian dari coran. (Wang, 2001)



Gambar 2.12 Contoh penggunaan *chill* eksternal dan *chill* internal (<http://astonishingengineering.com>)

Briggs, Gazelius dan Donaldson mendemonstrasikan penggunaan *chill* eksternal dengan berbagai desain untuk mengurangi cacat penyusutan pada bentuk L, T, X dan Y.



Gambar 2.13 Treatment penggunaan chill eksternal pada intersection (American Foundrymen's Society)

Sebuah metode lanjut lain penggunaan *chill* dari Chworinov yang menempatkan *chill* pada sudut permukaan coran dan memberikan efek melalui lapisan *tapering* pada pasir, tingkat pendinginan yang bervariasi dengan jarak dari permukaan casting. Progress pendinginan yang bervariasi dipengaruhi oleh *chill* tidak langsung dapat digunakan untuk mendorong solidifikasi yang searah dari pengecoran (Beeley, 2001).

Penggunaan *chill* internal lebih sensitif daripada *chill* eksternal, dibawah ini merupakan beberapa alsannya:

1. *Chill* mungkin saja tidak dapat menyatu dengan coran, sehingga nantinya membentuk daerah atau titik yang lemah
2. Kebersihan dari *chill* sangat penting karena nantinya *chill* ini akan dikelilingi oleh logam coran, sehingga gas yang terbentuk akibat reaksi tidak mudah untuk keluar
3. *Chill* mungkin saja dapat mengubah sifat mekanik dari logam coran tersebut
4. Komposisi dari *chill* harus sesuai dengan logam yang akan dituang. *Internal chill* tidak untuk digunakan pada pengecoran baja atau *nonferrous*. Biasanya *chill*



yang akan digunakan memiliki komposisi yang hampir sama dengan logam yang akan dituang. (AFS Training & Research Institute, 1972)

Riser mempunyai banyak fungsi, namun fungsi utamanya adalah untuk menyuplai logam cair yang diperlukan untuk meminimalisir menanggulangi terjadinya penyusutan yang terjadi saat pembekuan di dalam coran. Kebutuhan *riser* bergantung pada banyaknya logam yang akan dituang. Baja dan besi cor putih, dan kebanyakan paduan non-ferrous mempunyai *range* pendinginan yang panjang dan membutuhkan *riser* yang besar dan sistem yang rumit. (American Foundrymen's Society, 1973) Hampir semua logam dan paduan berkontraksi saat pembekuan, volume dari logam cair akan berubah karena terjadi kontraksi saat berubah menjadi solid. Untuk meminimalisir terjadinya penyusutan akibat adanya kontraksi dari *liquid* menuju *solid* maka perlu disiapkan *riser* (Flemings, 1974).

Ada dua tipe yang paling umum dipakai dalam pengecoran, yaitu top dan side risers. Dalam menggunakan riser ada beberapa aspek yang diperhatikan, yaitu; (1) bentuk riser, (2) ukuran *riser*, (3) penempatan riser, (4) jenis pengecoran, (5) penghubung *riser* pada coran, (6) penggunaan *chill*, (7) penggunaan insulator dan *exothermic compound*, (8), dan konsisi khusus untuk bagian sambungan (Heine, 1967).

2.11.6 Cacat dalam Proses Pengecoran

Dalam proses pengecoran, hasil yang didapatkan tidak selalu sempurna. Hal itu disebabkan beberapa faktor seperti parameter pengecoran, material yang dilebur, dll. Oleh karena itu, perlu dipelajari *defect* yang terjadi pada saat proses pengecoran. Adapun *defect* atau cacat yang biasa terjadi dalam proses pengecoran yaitu;

1. Shrinkage

Penyusutan akibat adanya perbedaan temperatur pada proses penuangan.

BAB II



2. *Coldshut*

Rongga dengan ujung bulat terjadi karena proses pertemuan dua aliran konvergen yang tidak sempat menyatu akibat proses pembekuannya cepat. Proses pencegahan dari cacat ini yaitu memperbaiki *gating system*.

3. Inklusi keramik

Rongga akibat adanya keramik yang rontok. Cacat ini disebabkan karena lapisan keramik tergerus pada saat proses penuangan

Selain terdapat defect, proses pengecoran juga perlu tahapan finishing untuk menghilangkan beberapa bagian yang tidak diinginkan seperti parting line, *gating system*, dll. Oleh karena itu perlu diketahui proses finishing yang umum yang terdapat dalam proses pengecoran.

Proses finishing dalam pengecoran merupakan proses yang terjadi setelah penuangan dan proses pendinginan. Ada beberapa proses finishing, yaitu ;

1. Casting knock out

Pelepasan cetakan keramik dengan menggunakan mesin knocking atau biasa disebut dengan knocker.

2. Cut Off casting

Pemisahan produk dari *gating system*-nya. Proses ini menggunakan mesin potong yang digunakan adalah tipe roda pemotong dengan posisi tetap

3. Pembersihan

Ada 3 (tiga metode) ada 3 (tiga) metode yang umum digunakan. Pertama pembersihan secara *abrasive*, metode pembersihan abrasive dengan mesin Hook Shot Blasting. Pada proses pembersihan dengan Hook Shot Blasting, produk ditembaki dengan menggunakan bola baja berukuran kecil. Kedua dengan cara kimiawi atau pickling, pada proses ini benda coran dimasukkan ke dalam larutan kimia dengan komposisi 75% air, 8% HF,



17% HNO_3 . Untuk yang ketiga yaitu pembersihan dengan cara penyemprotan air.

4. Grinding

Proses grinding ini bertujuan untuk meratakan permukaan hasil coran.

5. Pressing

Proses ini untuk mempresisikan produk hasil coran

2.12 Mekanisme Pembekuan Hasil Pengecoran

Proses solidifikasi. Proses pendinginan pada logam paduan dengan logam murni dibedakan dalam tiga hal, yaitu:

1. Pendinginan pada paduan yang biasanya terjadi pada rentang temperatur
2. Komposisi solid yang memisahkan pertama kali berbeda dengan liquid
3. Terdapat lebih dari satu fasa solid yang memisahkan dari liquid

(American Foundrymen's Association, 1973)

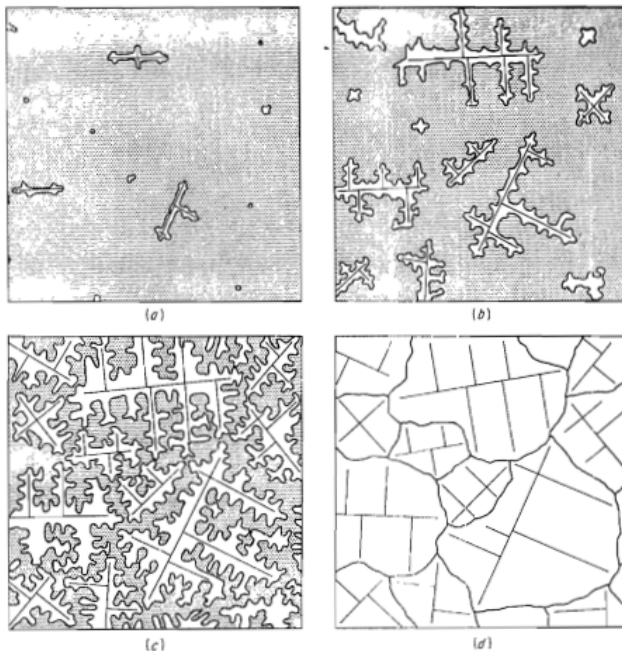
Solidifikasi dimulai dengan pembentukan kristal yang disebut kristalisasi. Kristalisasi terjadi saat pembekuan, yaitu perubahan dari fasa liquid ke fasa solid. Kristalisasi dibagi menjadi dua tahap:

1. Pembentukan inti (*nucleation*)
2. Pertumbuhan kristal (*crystal growth*)

Dalam keadaan liquid atom-atom tidak memiliki susunan teratur tertentu, temperturnya relatif lebih tinggi sehingga atom memiliki energi yang banyak untuk bergerak. Pada gambar 2.14 merupakan mekanisme pendinginan pada logam cair. Gambar 2.14 (a) merupakan awal dari pengintian logam cair, dimana mulai terjadi pengintian, dengan turunnya temperatur maka energi atom juga turun dan semakin sulit bergerak dan mulai mengatur kedudukannya relatif terhadap atom lain. Beberapa atom lain mulai menyusun diri membentuk inti kristal. Inti-inti ini akan menjadi pusat dari proses kristalisasi. Gambar 2.14 (b) Dengan



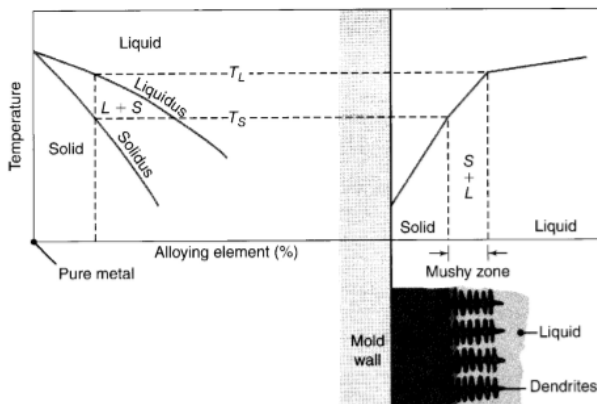
semakin turunnya temperatur semakin banyak banyak atom yang ikut bergabung dengan inti yang sudah ada atau membentuk inti baru, setiap inti akan tumbuh dengan menarik atom lain dari liquid atau dari inti yang tidak sempat tumbuh, untuk mengisi tempat kosong pada *lattice* yang akan dibentuk. Pertumbuhan yang terjadi pada kristal tidak hanya bergerak lurus saja tetapi mulai membentuk cabang-cabang dan ranting-ranting, struktur ini disebut dendritic. Gambar 2.14 (c) Struktur dendrit akan terus tumbuh ke segala arah, sehingga cabang /ranting dendrit hampir bersentuhan dan sisa liquid yang terakhir akan membeku di sela-sela dendrit. Gambar 2.14 (d) Setelah logam cair seluruhnya membeku, terbentuk butir-butir sebagai akhir dari pembekuan (Avner, 1965).



Gambar 2.14 (a) Nukleasi. (b) Pembentukan dendrit. (c) Pertumbuhan dendrit. (d) Butir hasil akhir pembekuan.



Solidifikasi dimulai ketika temperatur turun sampai dibawah temperatur *liquidus*, dan berakhir ketika sampai pada temperatur *solidus*. Selama rentang waktu tersebut, paduan berada pada keadaan *mushy* atau *pasty*, yang memicu pertumbuhan *columnar dendritic*. Lebar dari daerah *mushy* ini sangat penting dalam pembekuan (Kalpakjian, 2009). Sebelumnya pembekuan bermula dengan pembentukan banyak inti pada dinding cetakan, kemudian pertumbuhan butir pada daerah dekat dinding cetakan terhenti karena logam cair yang pertama kali membeku tersebut sangat rendah komposisi paduan. Proses tersebut terjadi berulang-ulang sampai semua inti pada logam cair di cetakan telah tumbuh (American Foundrymen's Society, 1965). Dilihat pada gambar 2.14 terlihat bahwa pada logam murni rentang pendinginannya adalah nol, sehingga solidifikasi yang terjadi tanpa membentuk bentuk *mushy*. Pada keadaan eutektik keadaannya sama seperti pada logam murni, dimana rentang pendinginannya adalah nol. Tipe struktur yang berkembang setelah solidifikasi bergantung pada komposisi eutektik. Pada paduan yang memiliki diagram fasa yang simetris, strukturnya biasanya lamellar, dengan dua atau lebih fasa solid terbentuk.



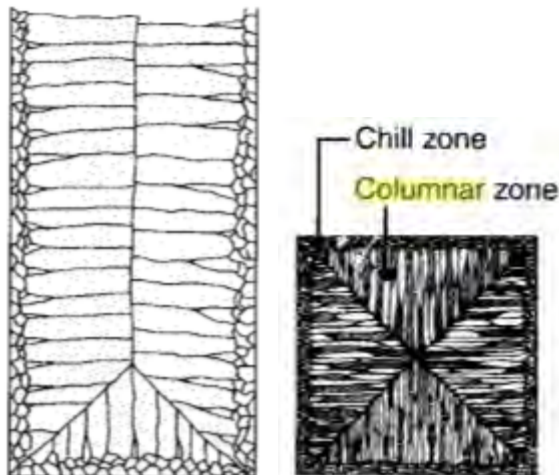
Gambar 2.15 Ilustrasi skema solidifikasi pada paduan dan distribusi temperatur pada pembekuan logam (Kalpakjian, 2009).

BAB II



Pada logam paduan, short freezing range biasanya pada perbedaan temperatur kurang dari 50°C dan long freezing range lebih dari 100°C (Kalpakjian, 2009).

Columnar. Kita tahu bahwa awalnya paduan membentuk larutan padat secara kontinu, itu diperlihatkan dengan cara membentuk kristal yang dipengaruhi oleh temperatur dan gradient komposisi pada logam cair. Pertumbuhan columnar yang berawal dari dinding cetakan menuju ke tengah coran diharapkan dengan adanya gradien temperatur yang curam, sehingga meningkatkan kemungkinan pertumbuhan baru pada interface sebelum pendinginan yang cukup membuat pertumbuhan inti di tempat lain. Pertumbuhan columnar juga biasanya disebabkan adanya pendinginan lambat, yang memungkinkan lebih banyak waktu untuk mengalirkan logam cair dan mengurangi konsentrasi gradient pada interface. (Beeley, 2001)

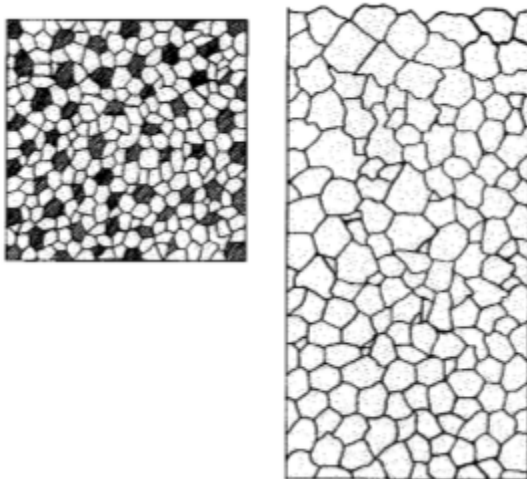


Gambar 2.16 Struktur mikro columnar

Equiaxed. Struktur equiaxed disebabkan temperatur tuang yang rendah, tidak hanya meningkatnya laju pendinginan

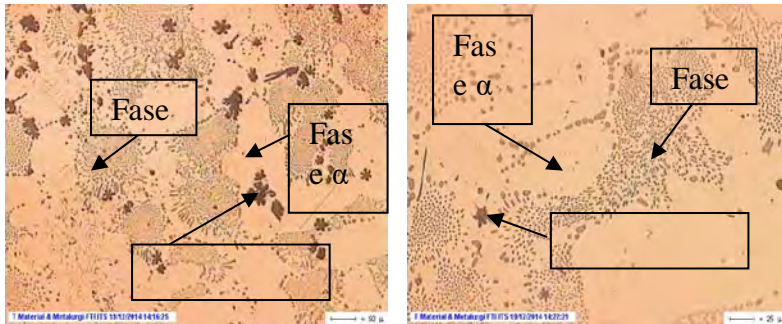


namun juga dapat menyebabkan turbulensi pada saat penuangan dalam mendistribusikan kristal yang terbentuk pada tahap awal. (Beeley, 2001). Pada tahap awal pembekuan equiaxed, dendrit mengambang bebas dan beberapa *feeding* untuk penyusutan yang sedang terjadi dengan pergerakan secara solid maupun *liquid*. Fasa semisolid yang terbentuk pada bagian yang lebih dingin di *mushy zone* sangat lemah karena *interdendritic liquid* dan memicu terjadinya *hot tear* yang dikarenakan *strain thermal* yang dipaksakan. (Flemings, 1974)



Gambar 2.17 Struktur mikro equiaxed

Brass. Struktur mikro pada brass atau kuningan terlihat pada gambar 2.x. pada gambar tersebut merupakan struktur mikro Cu-34%Zn, dimana terbentuk fasa $\text{Cu}_{0,951}\text{Zn}_{0,049}$, fasa α , dan fasa β . Pada gambar dengan perbesaran 100x dan 200x ini fasa α terlihat lebih terang, dan fasa β terlihat gelap. Lalu untuk fasa $\text{Cu}_{0,951}\text{Zn}_{0,049}$ mulai membentuk dendritik. (Gunawan, 2014)



Gambar 2.18 Struktur mikro paduan kuningan

2.13 Kajian Penelitian Sebelumnya

2.13.1 Kajian Uji Kekerasan Cu-Zn

Penelitian tentang paduan tembaga atau lebih khususnya tentang kuningan sudah sangat banyak dilakukan. Antara lain oleh Gunawan, (2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan seng dalam paduan Cu-Zn. Dengan melakukan variasi pada seneng dengan komposisi 40, 38, 36, 34, dan 0 berat % Zn, maka akan mempengaruhi sifat kekerasan dari paduan Cu-Zn tersebut. Setelah melakukan pemaduan maka diukur kekerasan material spesimen dengan menggunakan metode uji kekerasan Rockwell B (HRB) dengan pemberian beban tekan 100 kgf dan diameter indentor 2,5 mm. Dari hasil pengujian kekerasan menunjukkan pengaruh penambahan seng pada paduan Cu-Zn. Pengujian dilakukan dengan memberikan 5 indentasi pada setiap 1 spesimen sehingga didapat 5 nilai kekerasan Rockwell B pada setiap spesimen yang kemudian dihitung rata-rata nilai kekerasan brinell untuk setiap spesimen.



Tabel 2.9 Hasil pengujian kekerasan

No	Spesimen	Titik	HRB	Rata-Rata
1	Cu 0% Zn	1	51	52,2±1,3
		2	53	
		3	54	
		4	51	
		5	52	
2	Cu 34 % Zn	1	60	57,8±2,59
		2	56	
		3	55	
		4	57	
		5	61	
3	Cu 36 % Zn	1	53	58,2±2,95
		2	60	
		3	59	
		4	59	
		5	60	
4	Cu 38 % Zn	1	57	61,8±2,77
		2	64	
		3	63	
		4	62	
		5	63	
5	Cu 40 % Zn	1	62	66±4,69
		2	64	
		3	62	
		4	72	
		5	70	

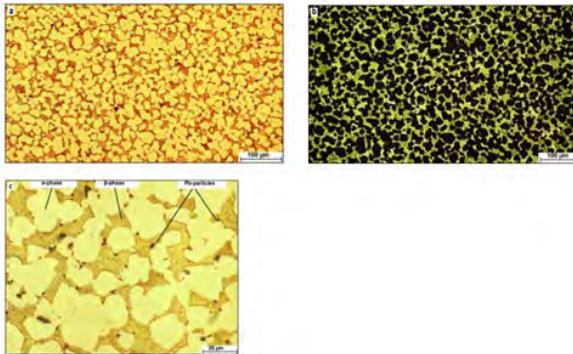


Hasil pengujian kekerasan pada beberapa titik memiliki sedikit perbedaan hal itu disebabkan oleh beberapa hal seperti preparasi alat, maupun permukaan spesimen yang kurang rata. Grafik nilai kekerasan HRB paduan Cu-Zn mengalami kenaikan seiring bertambahnya komposisi berat seng pada paduan. Setelah itu pada pengujian metalografi dengan menggunakan larutan etsa NH_4OH (Ammonium hydroxide) sebanyak 20 mL, 20 mL H_2O , dan 10 mL H_2O_2 (Hydrogen Peroxide)(3%). Mikroskop yang digunakan adalah dengan metode *Brightfield* sehingga permukaan yang tegak lurus arah lensa bewarna cerah, sedangkan permukaan yang tidak tegak lurus berwarna gelap. Struktur mikro dengan variasi penambahan dilihat bahwa mereka memiliki morfologi struktur mikro yang berbeda

2.13.2 Kajian Uji Metalografi Paduan Cu-Zn

Lalu pada penelitian Pantazopoulos, (2008) yang berjudul Karakterisasi Mikrostruktur Fasa α - β Kuningan Terhadap Sifat Mampu Mesin. Dalam penelitian ini digunakan pengujian metalografi menggunakan Nikon Epiphot 300 *light microscope*. Sampel uji diteliti sisi gelap dan terangnya dengan pantulan cahaya menggunakan objektif 10 X NA 0.3, 20X NA 0.46, 50 X NA 0.8 dan 100 X NA 0.9. pengujian metalografi ini meneliti tentang pengaruh penambahan Pb pada paduan Cu-Zn terhadap mikrostruktur mampu mesin fasa alfa-beta.

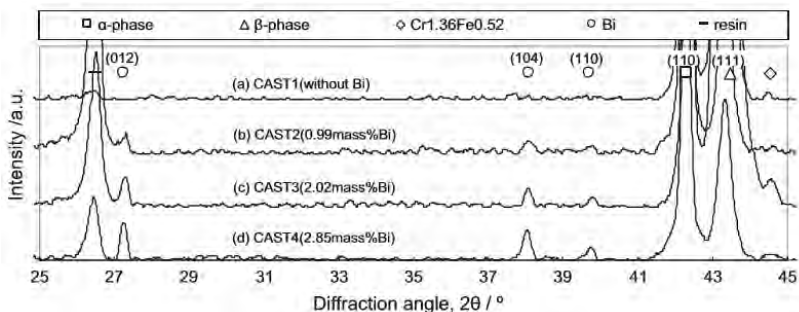
Karakterisasi mikrostruktur dan morfologi menggunakan *mounting* pada penampang yang dibuat sejajar dan melintang terhadap arah ekstursi. *Grinding* dilakukan dengan menggunakan kertas amplas SiC kemudian dilakukan *polishing* dengan *diamond* maupun dengan *silica*. Kemudian membilas dengan alkohol dan dikeringkan dengan udara panas. Untuk melihat struktur fasa, maka dilakukan perendaman *etching* dengan larutan klorida dengan melarutkan 8.3 gr FeCl_3 dalam 10 ml HCL dan 90 ml H_2O .



Gambar 2.19 Hasil uji metalografi material paduan Cu-Zn setelah dilakukan ekstursi; (a) gambar *brightfield*, (b) gambar *darkfield*, dan (c) gambar dari mikroskop cahaya

2.13.3 Kajian Uji XRD Paduan Cu-Zn

Pada penelitian Atsumi, Haruhiko (2011) yang berjudul tentang *High-strength, lead-free machinable α - β duplex phase brass Cu-40Zn-Cr-Fe-Sn-Bi alloys*, terdapat pengujian XRD untuk mengetahui komposisi fasa yang terbentuk. Dibawah ini merupakan hasil uji XRD terhadap paduan coran.



Gambar 2.20 Hasil uji XRD pada coran ingot (a) tanpa Bi, (b) 0.99 % Bi, (c) 2.02 % Bi, dan (d) 2.85 % Bi



Dari hasil XRD maka terbukti bahwa pada spesimen CAST1-4 menunjukkan *peak* yang besar dikarenakan kehadiran fasa α pada 42.3° dengan kristal (111) dan untuk fasa β pada 43.5° dengan kristal (110). *Peak* kecil pada 44.5° sesuai dengan $\text{Cr}_{1.36}\text{Fe}_{0.52}$, yang telah dicocokkan dengan kartu ICDD PDF, yang telah dideteksi pada setiap spesimen selain pada *peak* utama dimana terdapat struktur fasa α dan β .

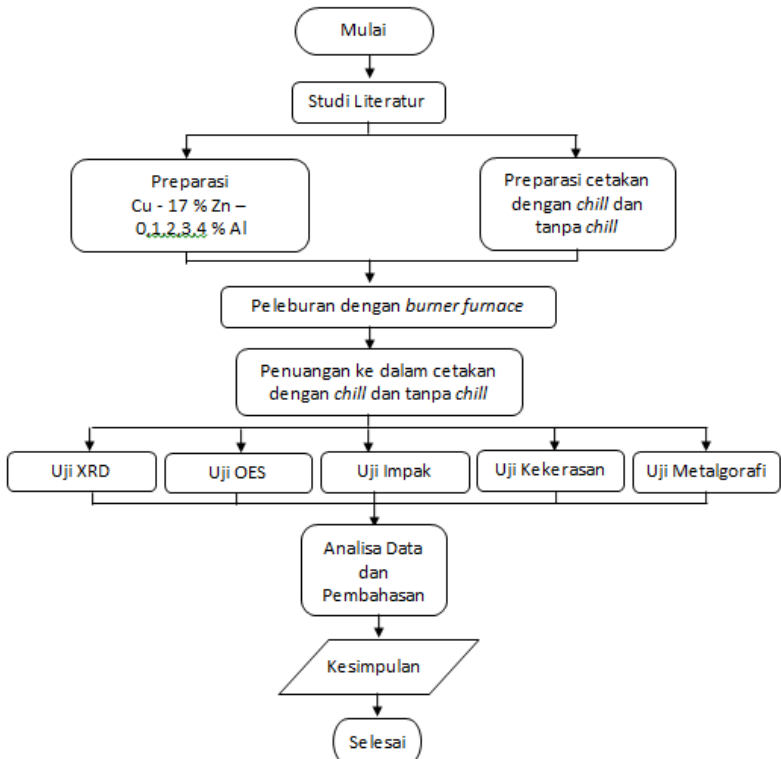


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir pada



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan. Kemudian dilanjutkan dengan merancang variasi penambahan Aluminium. Selanjutnya, logam dilebur. Logam cair dituang



dalam cetakan dan didinginkan, setelah itu dilakukan pengujian XRD, OES, Metalografi, Uji Kekerasan, dan Uji Impak. Setelah itu hasil pengujian dianalisa dan ditarik kesimpulan.

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Tembaga (Cu) murni kadar 99% dalam bentuk *rod* didapatkan dari PT. Sutindo. Tembaga digunakan sebagai logam paduan Ditunjukkan pada **Gambar 3.2**



Gambar 3.2 Tembaga (Cu)

2. Seng (Zn) dalam bentuk *zinc anode* dengan kadar 99.5% didapatkan dari PT. Kartini Utama. Seng digunakan sebagai logam paduan.



Gambar 3.3 Seng (Zn) dalam bentuk anode



3. Aluminium (Al) dalam bentuk *rod*. Aluminium digunakan sebagai logam paduan



Gambar 3.4 Aluminium (Al)

4. Tembaga (Cu) murni dengan kadar 99% didapatkan dari PT. Sutindo. Tembaga digunakan sebagai logam *chill*
5. Pasir silika (SiO_2)
6. Silver
7. Pasir bentonit
8. Air

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Furnace
Furnace yang digunakan adalah *burner furnace* milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. *Furnace* digunakan untuk melebur logam paduan Cu-Zn-Al.
2. Krus (*crucible*)
Krus yang digunakan adalah krus yang terbuat dari grafit milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Krus Digunakan sebagai cetakan dan wadah paduan Cu-Zn-Al dalam proses peleburan, ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Krus (*crucible*)

3. Timbangan
Timbangan yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Timbangan digunakan untuk menimbang massa bahan.
4. Kikir
Kikir yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kikir digunakan untuk meratakan permukaan specimen.
5. Kertas Amplas
Kertas amplas digunakan untuk grinding permukaan spesimen untuk preparasi pengujian
7. Gergaji Mesin
Gergaji mesin yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Gergaji mesin digunakan untuk memotong bahan.
8. Pengaduk
Pengaduk digunakan untuk mengaduk logam paduan cair.
9. *Flask*
Flask digunakan untuk membuat cetakan pasir,



Gambar 3.6 *Flask*

10. Pola cetakan komponen
Pola cetakan digunakan untuk membuat cetakan coran pada cetakan pasir. Cetakan komponen berbentuk balok.
11. Mesin Uji Kekerasan
Mesin uji kekerasan yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk menguji kekerasan spesimen. Metode yang digunakan adalah uji kekerasan Rockwell B.
12. Mikroskop Optik
Mikroskop optik yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk melihat struktur spesimen dalam skala mikro.
13. Mesin *Grinding & Polishing*
Mesin *Grinding & Polishing* yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk mengikis permukaan spesimen agar rata dan halus.
14. Mesin OES
Mesin OES yang digunakan adalah milik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia.
15. Mesin Uji XRD
Mesin Uji XRD yang digunakan adalah milik Universitas Islam Negeri Jakarta. Digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan



cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

16. Mesin Uji Impak

Mesin uji impak yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Perkapalan ITS yang digunakan untuk menguji kekuatan impak dari material. Metode yang digunakan adalah uji impak charpy.

3.3 Variabel Penelitian

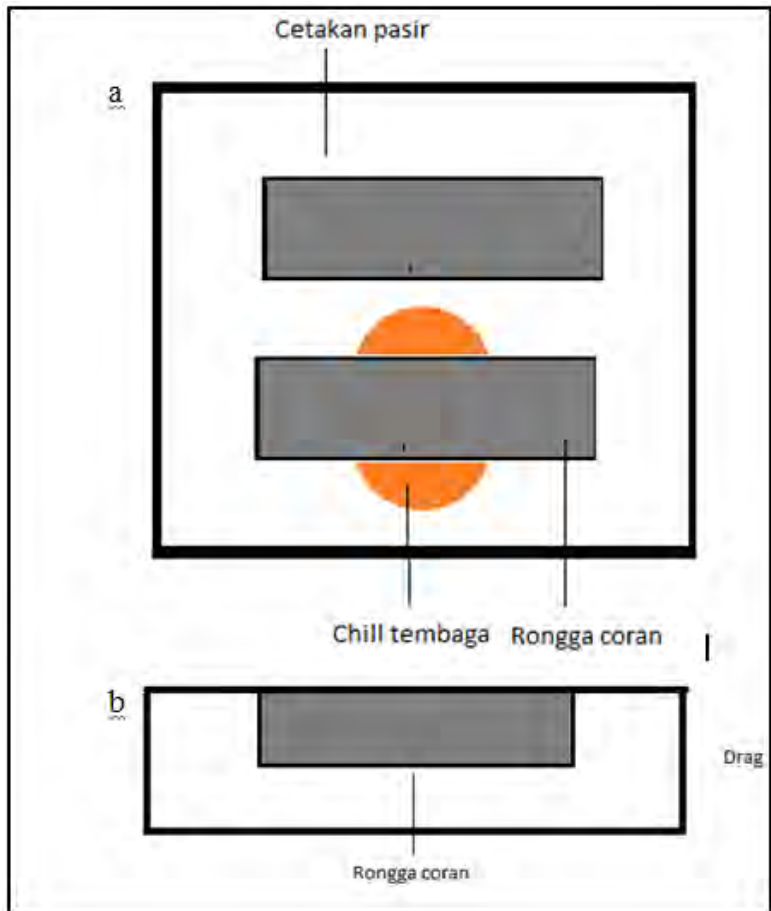
Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi penambahan kadar unsur padu yaitu 0, 1, 2, 2, 4 % Al dan variasi cetakan dengan pemakaian *chill* dan tanpa pemakaian *chill*.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Prosedur Pengecoran

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tembaga (Cu) ditambahkan unsur paduan Seng (Zn) dengan kadar 17% dan ditambahkan unsur paduan Aluminium 0, 1, 2, 3, dan 4 % Al. Dan dua buah cetakan dengan pemakaian *chill* dan tanpa pemakaian *chill*. *Chill* yang digunakan yaitu *chill* tembaga

1. Ketiga bahan disiapkan sebelum digunakan, yaitu tembaga, seng 17 %, dan aluminium 0, 1, 2, 3, 4 %
2. Menyiapkan cetakan pasir dengan pemakaian *chill* tembaga dan tanpa pemakaian *chill* pada dinding cetakan coran.



Gambar 3.7 Skema cetakan (a) Cetakan tampak atas dan (b) cetakan tampak atas samping

3. Menimbang Tembaga, Seng 17%, dan Aluminium dengan variasi kadar pemadu 0, 1, 2, 3, dan 4% Al,



Tabel 3.1 Komposisi *raw material* input

No.	Paduan	Cu (gr)	Zn (gr)	Al (gr)
1	Cu-Zn	415	95	-
2	Cu-Zn-1Al	410	95	5
3	Cu-Zn-2Al	405	95	10
4	Cu-Zn-3Al	400	95	15
5	Cu-Zn-4Al	395	95	20

4. Memasukkan logam ke dalam krusibel.
5. Memasukkan krusibel ke dalam *furnace* dan memanaskan hingga temperatur 1100°C selama \pm 23 meni tanpa melakukan *holding*.
6. Membuka *furnace* dan mengaduk logam cair paduan Cu-Zn-Al dengan menggunakan pengaduk selama beberapa saat.
7. Menuangkan cairan paduan ke dalam cetakan yang telah disiapkan
8. Mendinginkan paduan yang masih cair di dalam cetakan.
9. Mengeluarkan paduan yang telah padat dari dalam cetakan.

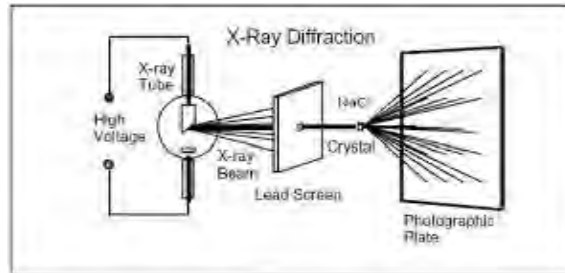
3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian XRD (*X-ray Diffraction*)

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan 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 3.8 menunjukkan pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Negeri Jakarta. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD.



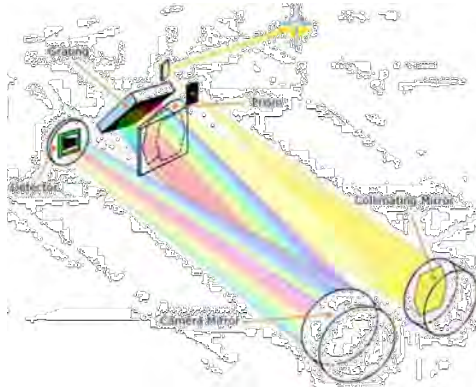
Gambar 3. 8 Prinsip kerja pengujian XRD

3.4.2.2 Pengujian OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Optical Emission Spectroscopy (OES) merupakan pengujian untuk mengetahui presentase komposisi kimia dalam spesimen dengan cara 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. Emisi yang terbentuk pada frekuensi tertentu dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis unsur pada spesimen uji. Berdasarkan teori kuantum, elektron menempati level energi yang terendah saat kondisi normal (*ground state*). Namun, ketika atom diberi energi potensial dari luar maka elektron dapat tereksitasi keluar kulit dan menempati tingkat energi yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dinamakan kondisi terkesitasi. Elektron yang ditangkap oleh *receiver* kemudian dikenali dengan konfigurasi energi dari elektronnya, sehingga unsur yang terdapat pada spesimen dapat diketahui secara kualitatif maupun kuantitatif. Mekanisme OES seperti pada Gambar 3.9. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada



penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS).

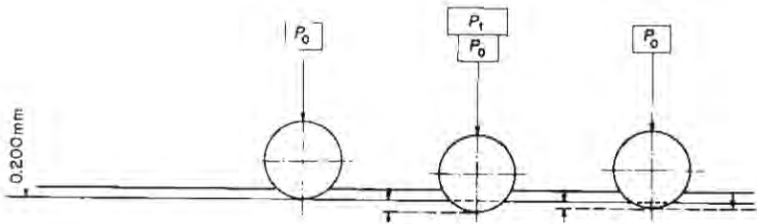


Gambar 3. 9 Prinsip pengujian OES

3.4.2.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

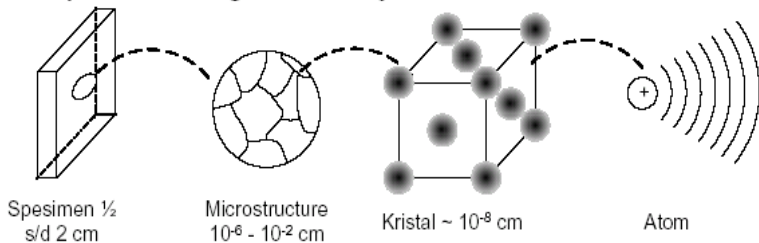
Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Rockwell B. Pengujian kekerasan Rockwell B digunakan untuk paduan tembaga, aluminium, dan baja karbon rendah. Pengujian kekerasan Rockwell B dilakukan sesuai dengan standar ASTM E18. Diameter indenter yang digunakan sebesar 2,5 mm. Dengan pembebanan sebesar 100 kgf. Pengujian kekerasan Rockwell B menggunakan penumbuk (indenter/ penetrator) yang terbuat dari bola baja.

Metode ini dilakukan dengan cara bahan diindentasi dengan indenter pada permukaan benda uji dengan beban minor sebesar 10kg lalu dilanjutkan dengan memberi beban mayor sebesar 100kg dengan waktu indentasi 10-20 detik. Kemudian alat hardness membaca angka kekerasan yang dihasilkan (Callister, 2000). Gambar 3.10 menunjukkan sistem kerja uji kekerasan Rockwell B.



Gambar 3.10 Pengujian kekerasan Rockwell B

3.4.2.4 Pengujian Metalografi



Gambar 3.11 Daerah lingkup ukuran mikro struktur

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. 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

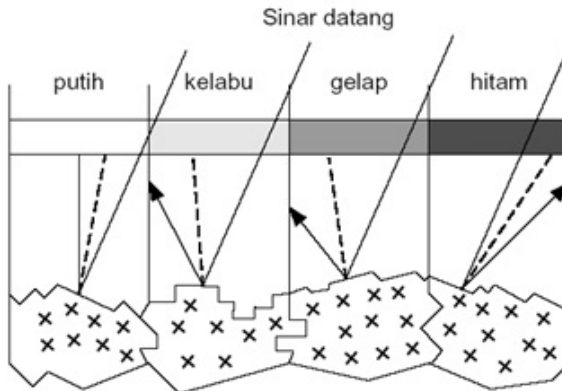
Penyelidikan mikro struktur tersebut berkisar antara 10^{-6} cm (batas kemampuan elektron mikroskop hingga 10^{-2} cm batas atas kemampuan mata manusia). Meskipun daerah lingkup pengamatan metallography ini mencakup suatu daerah yang luas ($10^{-6} - 10^{-2}$ cm) namun demikian obyek pengamatan yang biasanya digunakan yaitu 10^{-5} cm atau order pembesaran 5.000 –



30.000 kali untuk mikroskop elektron dan 10^{-3} cm atau order pembesaran 100 – 1000 kali untuk mikroskop optis.

Pengamatan Metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (polish) kemudian di etsa dengan larutan kimia, maka permukaan logam tersebut akan dilarutkan.

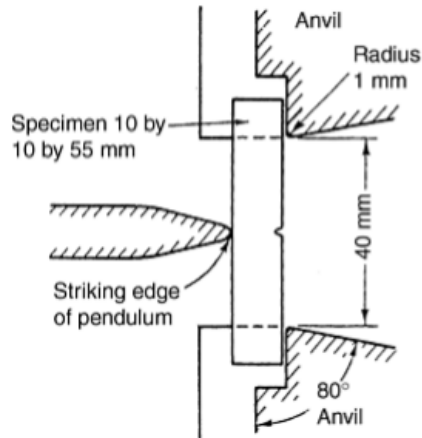
Struktur mikro yang berbeda dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah di test maka sinar tersebut dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena.



Gambar 3.12 Alur sinar pada pengamatan metalografi

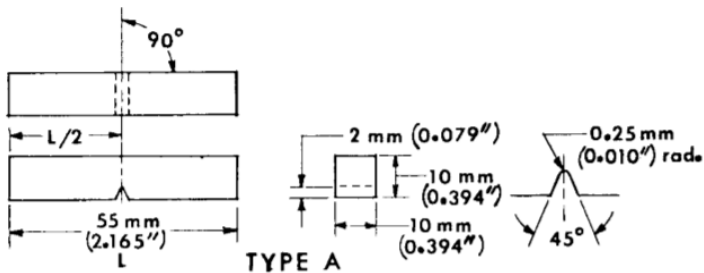
3.4.2.5 Pengujian Impak

Metode uji impak ini dilakukan karena dalam aplikasinya logam mengalami pengerjaan yang mengakibatkan logam mendapat tekanan multi-aksial dengan pemberian notch, ditambah dengan tingginya tingkat pembebanan dan dalam beberapa kasus dengan temperatur tinggi atau rendah. Untuk



Gambar 3.13 Skema uji impact charpy

Spesimen dalam uji impact *charpy* kedua ujung ditahan menggunakan *anvil* kemudian bagian tengah spesimen dihancurkan menggunakan satu pendulum dari sisi yang tidak diberi notch. Spesimen akan patah pada bagian *notch*. Ketinggian jatuh dikurangi ketinggian dari pendulum naiknya pendulum menghasilkan jumlah energi yang terlibat dalam deformasi dan mematahkan spesimen. Spesimen uji impact yang akan dipakai adalah spesimen uji impact charpy tipe A



Gambar 3.14 Spesimen uji impact charpy tipe A



3.5 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada table di bawah.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Material			Cetakan		Pengujian				
Cu (wt%)	Zn (wt%)	Al (wt%)	Tanpa Chill	Dengan Chill	Uji XRD	Uji Impak	Uji Kekerasan	Uji Metalografi	Uji OES
83	17	0	V	V	V	V	V	V	V
82	17	1			-				
81	17	2			-				
80	17	3			-				
79	17	4			V				

Tabel 3.3 Rencana Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Minggu ke-															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Studi literatur	■	■														
2	Preparasi Cu sebagai kompondan dan Cu sebagai chill			■	■												
3	Preparasi 0, 1, 2, 3, 4 % Al			■	■												
4	Preparasi Zn					■	■										
5	Preparasi cetakan pasir					■	■										
6	Peleburan dalam furnace hingga temperatur 1100°C tanpa holding					■	■										
7	Uji OES							■	■								
8	Uji Impak								■	■							
9	Uji Kekerasan									■	■						
10	Uji XRD										■	■					
11	Uji Meta											■	■				
12	Analisa D												■	■	■	■	■
13	Kesimpulan																■

BAB IV

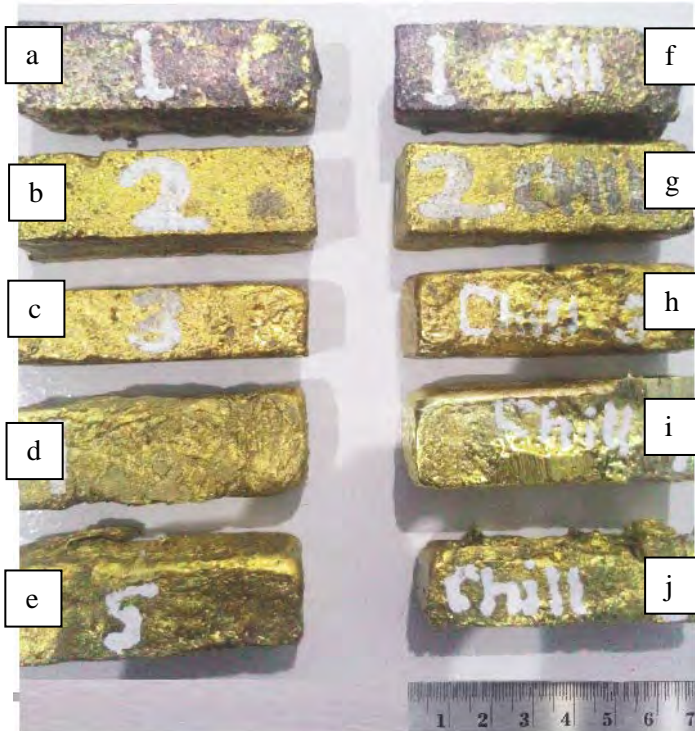
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Paduan Cu-Zn-Al

Hasil coran paduan Cu-Zn-Al dapat dilihat pada Gambar 4.1. Bentuk coran paduan berbentuk balok menyesuaikan bentuk cetakan coran. Paduan Cu-Zn-Al dihasilkan melalui peleburan di dalam *burner furnace*. *Raw material* paduan dipanaskan di dalam *furnace* selama ± 23 menit hingga temperatur logam cair mencapai $\pm 1100^\circ$ C. Setelah temperatur mencapai $\pm 1100^\circ$ C, logam cair di dalam diaduk agar tercampur secara merata. Setelah diaduk, logam cair dituang kedalam cetakan dan dibiarkan di dalam cetakan hingga temperatur logam mencapai temperatur kamar. Gambar 4.1 (a) adalah paduan Cu-Zn-Al tanpa penambahan aluminium dan dengan cetakan tanpa chill, (b) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 1wt% dan dengan cetakan tanpa chill, (c) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 2wt% dan dengan cetakan tanpa chill, (d) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 3wt% aluminium dan dengan cetakan tanpa chill, (e) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 4wt% dan dengan cetakan tanpa chill, (f) paduan Cu-Zn-Al tanpa penambahan aluminium dan dengan cetakan chill, (g) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 1wt% dan dengan cetakan chill, (h) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 2wt% dan dengan cetakan chill, (i) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 3wt% dan dengan cetakan chill, dan (j) paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 4wt% dan dengan cetakan chill. Tembaga murni memiliki warna coklat kemerahan, namun dengan penambahan seng pada paduan Cu-Zn warna berubah menjadi kuning kecoklatan. Penambahan seng menghasilkan warna kuning pada kuningan (Skočovský, 2000). Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium kembali berubah warna, menjadi kuning keemasan yang semakin terang seiring meningkatnya kadar komposisi aluminium. Hasil pengecoran paduan memperlihatkan permukaan yang kasar, ini



disebabkan cetakan pasir yang digunakan tidak dipadatkan secara baik sehingga terdapat rongga.



Gambar 4.1 Foto hasil coran paduan (a) Cu-Zn tanpa *chill*, (b) Cu-Zn-1Al tanpa *chill*, (c) Cu-Zn-2Al tanpa *chill* (d) Cu-Zn-3Al, (e) Cu-Zn-4Al tanpa *chill*, (f) Cu-Zn dengan *chill*, (g) Cu-Zn-1Al dengan *chill*, (h) Cu-Zn-2Al dengan *chill*, (i) Cu-Zn3Al dengan *chill*, (j) Cu-Zn-4Al tanpa *chill*,

4.3 Komposisi Kimia Paduan Cu-Zn-Al

Pengujian komposisi paduan Cu-Zn-Al dilakukan di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengujian Komposisi kimia ini menggunakan alat uji *Optical Spectroscopy*



Emission (OES). Pengujian komposisi ini dilakukan untuk mengetahui komposisi hasil pengecoran paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 0-4wt% aluminium.

Berdasarkan *mass balance* yang telah ditentukan sebelumnya, presentase unsur yang dimasukkan dalam proses pengecoran ditunjukkan pada Tabel 4.1. Pada komposisi paduan Cu-Zn, komposisi unsur Cu sebesar 83wt% dan Zn 17wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-1Al memiliki komposisi unsur tembaga 82wt%, seng 17wt%, dan aluminium 1wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-2Al, memiliki komposisi unsur tembaga 81wt%, seng 17wt%, dan aluminium 2wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-3Al memiliki komposisi unsur tembaga 80wt%, seng 17wt%, dan aluminium 3wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-4Al memiliki komposisi unsur tembaga 79wt%, seng 17wt%, dan aluminium 4wt%. Raw Material yang digunakan dalam proses pengecoran yaitu tembaga 99% Cu dengan berbentuk rod, seng 99% Zn dalam bentuk *zinc anode*, dan aluminium 99% Al dalam bentuk *rod*

Tabel 4.1 Komposisi Perhitungan Bahan Lebur (%)

Paduan	Cu	Zn	Al
Cu-Zn	83	17	-
Cu-Zn-1Al	82	17	1
Cu-Zn-2Al	81	17	2
Cu-Zn-3Al	80	17	3
Cu-Zn-4Al	79	17	4

Tabel 4.3 menunjukkan komposisi paduan Cu-Zn-Al hasil pengecoran. Komposisi paduan Cu-Zn memiliki komposisi unsur tembaga 83.1wt%, seng 16.5wt%, dan pengotor <0.2wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-1Al memiliki komposisi unsur tembaga 82.5wt%, seng 16wt%, aluminium 1.36wt%, dan pengotor <0.3wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-1Al memiliki komposisi unsur tembaga 82.5wt%, seng 14.3wt%, aluminium



2.76wt% dan pengotor <0.4wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-3Al memiliki komposisi unsur tembaga 80wt%, seng 14.4wt%, aluminium 3.13wt%, dan pengotor <0.2wt%. Komposisi paduan Cu-Zn-4Al memiliki komposisi unsur tembaga 79.9wt%, seng 15.2wt%, aluminium 4.39wt%, dan pengotor <0.4wt%. Dalam komposisi paduan yang diinginkan dan hasil pengujian komposisi paduan hasil pengecoran terdapat perbedaan presentase unsur. Presentase unsur yang sangat berbeda adalah presentase unsur seng, dimana setiap komposisi paduan terdapat perbedaan presentase yang cukup besar antara 1-2.3wt%Zn. Unsur tembaga dan aluminium juga mengalami perbedaan namun tidak terlalu besar. Perbedaan presentase seng yang sangat besar ini disebabkan seng yang menguap saat peleburan paduan. Temperatur didih seng adalah 906° C, sedangkan temperatur lebur dari paduan Cu-Zn-Al sendiri adalah 1100° C. Untuk mengatasi seng yang mudah menguap tersebut telah ditambahkan sebanyak 5wt% seng untuk setiap komposisi paduan, namun karena temperatur peleburan yang sangat sulit dikontrol dan furnace yang tidak vakum sehingga penguapan seng tetap tidak dapat dikontrol. Selama peleburan kuning, seng menguap sehingga perlu ditambahkan seng tambahan selama peleburan (American Foundrymen's Society, 1965). Aluminium tidak hilang menguap seperti seng, dikarenakan aluminium memiliki temperatur didih yang tinggi, yaitu 2470° C.



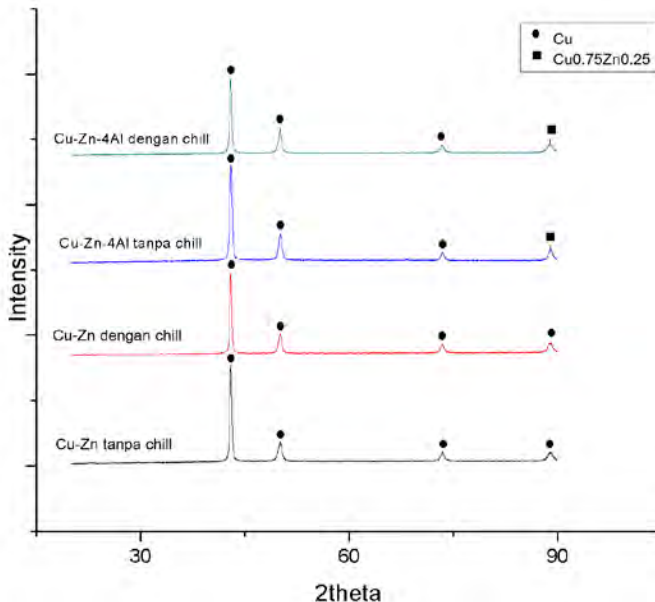
Tabel 4.3 Komposisi Cu-Zn-Al hasil Pengujian OES (%)

Paduan	Cu	Zn	Al	Others
Cu-Zn	83.1	16.5	0.08	<0.2
Cu-Zn-1Al	82.5	16	1.36	<0.3
Cu-Zn-2Al	82.5	14.3	2.76	<0.4
Cu-Zn-3Al	80.0	14.4	3.13	<0.2
Cu-Zn-4Al	79.9	15.2	4.39	<0.4

4.3 Pengamatan Pola XRD Paduan Cu-Zn-Al

Pengujian XRD dilakukan di Universitas Islam Jakarta dengan mengambil sampel hasil coran dari komposisi tanpa penambahan alumini um yaitu paduan Cu-Zn dan komposisi aluminium paling tinggi pada penelitian ini yaitu Cu-Zn-4Al. Pengujian dilakukan dengan sinar-X menggunakan *Range* sudut 10° - 90° dan dengan gelombang Cu $K\alpha$ sebesar 1.54060 A. Selanjutnya analisa *peak* XRD menggunakan Highscore PANalytical. Pengujian XRD ini untuk membuktikan senyawa apa yang terbentuk di dalam hasil pengecoran paduan Cu-Zn-Al

Pada pengujian XRD ini, digunakan sampel paduan Cu-Zn-Al tanpa penambahan aluminium dan Cu-Zn-Al dengan 4wt%Al. Paduan Cu-Zn dengan *chill*, Cu-Zn tanpa *chill*, Cu-Zn-4Al dengan *chill* dan Cu-Zn-4Al tanpa *chill* menghasilkan *peak* hasil XRD seperti pada gambar 4.2. Keempat spesimen memiliki *peak* yang hampir sama, namun jika diamati lebih jauh, *peak* setiap spesimen memiliki intensitas yang berbeda sesuai dengan komposisi paduan tersebut.



Gambar 4.2 Pola XRD Paduan Cu-Zn-Al

Pada paduan Cu-Zn-Al ini terdapat empat *peak* yang paling tinggi. Terdapat dua fasa yang terlihat pada pengujian XRD ini yaitu fasa Cu dan fasa $\text{Cu}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}$. Pada paduan Cu-Zn tanpa *chill*, *peak* Cu terdapat pada 2θ 42.9735, 50.0546, 73.3835 dan 88.9005. Paduan Cu-Zn dengan *chill* memiliki intensitas yang hampir sama dengan paduan Cu-Zn tanpa *chill*, *peak* untuk fasa Cu terdapat pada 2θ 42.9611, 50.0470, 73.3769, dan 88. Kemudian pada paduan Cu-Zn-4Al tanpa *chill* menunjukkan fasa Cu pada *peak* 2θ 42.9871, 50.0836, dan 73.4001 dan fasa $\text{Cu}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}$ terdapat pada 2θ 88.9353, lalu paduan Cu-Zn-4Al dengan *chill* menunjukkan fasa Cu pada *peak* 2θ 42.9297, 49.9866, dan 73.3421 dan fasa $\text{Cu}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}$ pada *peak* 2θ 88.7838. kedua paduan Cu-Zn-4Al ini memiliki *peak* dan intensitas yang hampir sama pula. Namun untuk paduan Cu-Zn dan Cu-Zn-4Al memiliki intensitas yang berbeda pada *peak*



untuk fasa Cu_{0.75}Zn_{0.25}, dimana pada paduan Cu-Zn-4Al peak tersebut memiliki intensitas lebih tinggi

Tabel 4.3 Data hasil XRD sampel paduan Cu-Zn-4Al

Cu-Zn	Fasa		Cu	Cu	Cu	Cu
	Tanpa Chill	Peak	42.9735	50.0546	73.3835	88.9005
		Hkl	1 1 1	2 0 0	2 2 0	3 1 1
	Chill	Peak	42.9611	50.0470	73.3769	88.8933
Hkl		1 1 1	2 0 0	2 2 0	3 1 1	
Cu-Zn-4Al	Fasa		Cu	Cu	Cu	Cu _{0.75} Zn _{0.25}
	Tanpa Chill	Peak	42.9871	50.0836	73.4001	88.9353
		Hkl	1 1 1	2 0 0	2 2 0	3 1 1
	Chill	Peak	42.9297	49.9866	73.3421	88.7383
Hkl		1 1 1	2 0 0	2 2 0	3 1 1	

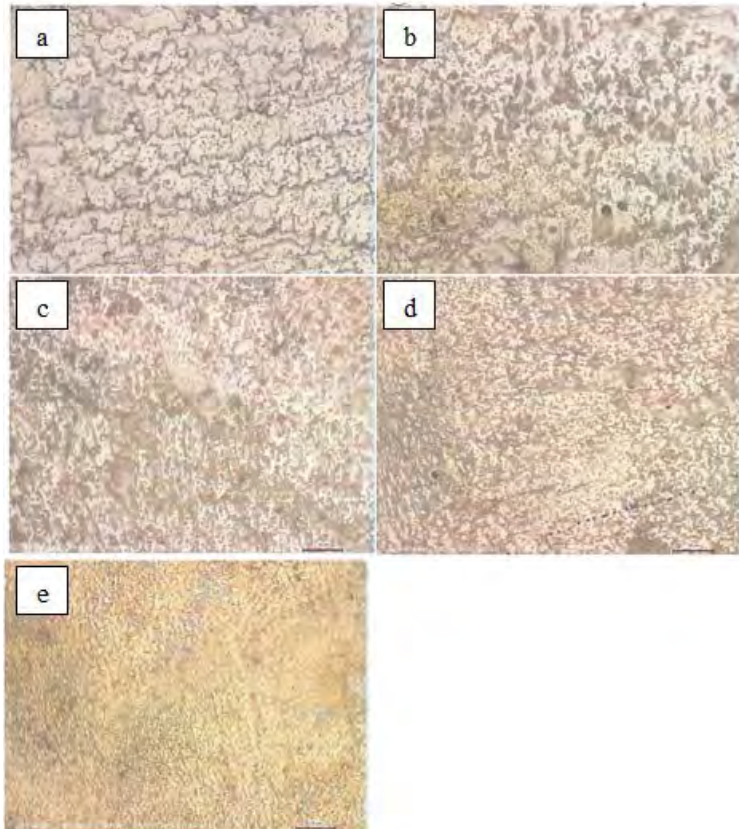
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al

Pengujian Metalografi dilakukan di Laboratorium Metalurgi menggunakan Olympus BX. Larutan etsa yang digunakan adalah 8ml FeCl₃ 25ml HCl dan 200ml aquades sesuai dengan ASM Metals Handbook vol.9. Etsa dilakukan dengan mencelupkan paduan pada larutan etsa selama ±1 menit.

Hasil pengamatan struktur mikro pada paduan Cu-Zn-Al tanpa chill dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini. Pada gambar 4.3 (a) struktur mikro paduan Cu-Zn dengan fasa seluruhnya Cu. Gambar 4.3 (b) struktur mikro padua Cu-Zn-Al dengan penambahan 1wt% aluminium, yang fasa seluruhnya Cu. Gambar 4.3 (c) struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 2wt% aluminium, yang memiliki fasa seluruhnya Cu. Gmbar 4.3 (d) struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 3wt% aluminium, yang memiliki fasa seluruhnya Cu. Gambar 4.3 (e) struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 4wt% aluminium, dengan fasa Cu. Pada gambar 4.3 ini dapat dilihat bahwa seiring penambahan komposisi aluminium, struktur mikro yang terbentuk semakin halus dengan



butiran yang semakin kecil dan banyak. Penambahan aluminium pada kuningan memperkecil ukuran butir. Aluminium juga berperan sebagai inokulan, yang membuat nukleasi lebih banyak (Sadayappan, 2014). Dengan mereduksi ukuran butir dan memperbanyak nukleasi dan memperkecil ukuran butir, penambahan aluminium mampu meningkatkan kekerasan dan kekuatan impak paduan.

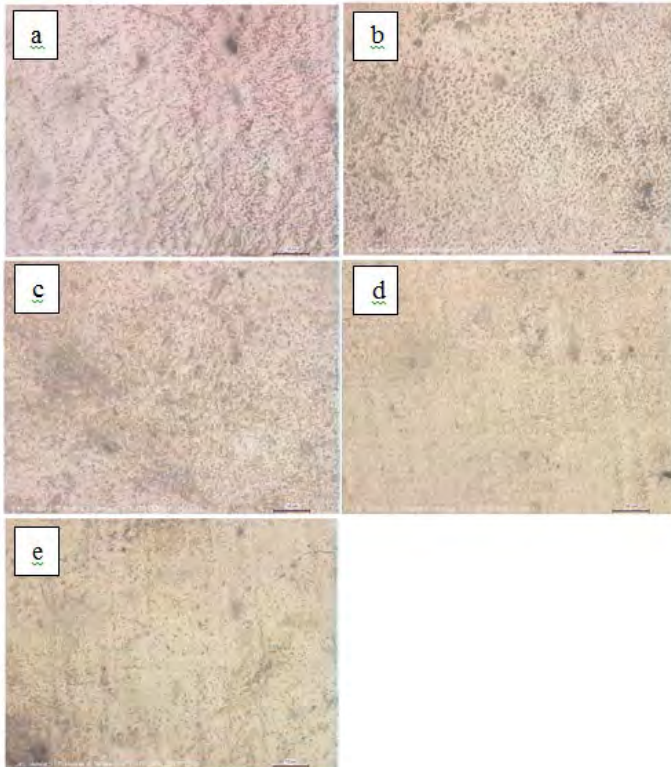


Gambar 4.3 Struktur mikro paduan (a) Cu-Zn, (b) Cu-Zn-1Al, (c) Cu-Zn-2Al, (d) Cu-Zn-3Al, dan (e) Cu-Zn-4Al tanpa chill, dengan perbesaran 1000x



Pada gambar 4.4 merupakan struktur mikro dari paduan Cu-Zn-Al dengan penggunaan chill pada cetakan. Pada gambar 4.4 (a) struktur mikro paduan Cu-Zn dengan fasa paduan seluruhnya Cu. Gambar 4.4 (b) struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 1wt% aluminium, yang fasa seluruhnya Cu. Gambar 4.4 (c) struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 2wt% aluminium, yang fasa seluruhnya Cu. Gambar 4.4 (d) struktur mikro paduan Cu-Zn-3Al dengan penambahan 3wt% aluminium, yang fasa seluruhnya Cu. gambar 4.4 (e) struktur mikro paduan Cu-Zn-4Al dengan penambahan 4wt% aluminium, yang memiliki fasa Cu. Pada gambar 4.4 ini dapat dilihat bahwa seiring penambahan komposisi aluminium, terjadi perubahan bentuk butir yang semakin halus. Ini disebabkan efek yang ditimbulkan dari aluminium itu sendiri yaitu mereduksi ukuran butir. Dengan ukuran butir yang kecil dan banyak tersebut, membuat paduan memiliki kekerasan dan kekuatan impact yang baik.

Penggunaan *chill* tembaga pada cetakan mempengaruhi pendinginan logam cair saat berada di dalam cetakan pasir. Keberadaan *chill* tembaga pada cetakan menghasilkan *cooling rate* pada logam cair yang tinggi. *Cooling rate* yang tinggi membuat nukleasi juga tinggi dan dengan pertumbuhan butir yang kecil (Haque dan Khan, 2007). Dengan membuat butir lebih kecil dan banyak, penggunaan *chill* pada cetakan meningkatkan kekerasan dan kekuatan impact paduan Cu-Zn-Al.

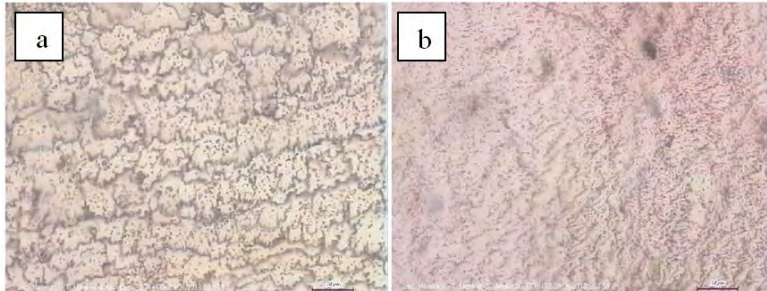


Gambar 4.4 Struktur mikro paduan (a) Cu-Zn, (b) Cu-Zn-1Al, (c) Cu-Zn-2Al, (d) Cu-Zn-3Al, dan (e) Cu-Zn-4Al dengan *chill*, dengan perbesaran 1000x

Struktur mikro paduan Cu-Zn-Al tanpa penambahan aluminium dapat dilihat pada gambar 4.5. Dari gambar tersebut dapat dilihat dengan komposisi yang sama, namun berbeda jenis cetakan. Gambar 4.5 (a) Paduan Cu-Zn dengan cetakan tanpa chill dan (b) paduan Cu-Zn dengan cetakan chill. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa morfologi dari kedua paduan ini berbeda, struktur mikro paduan Cu-Zn dengan cetakan chill

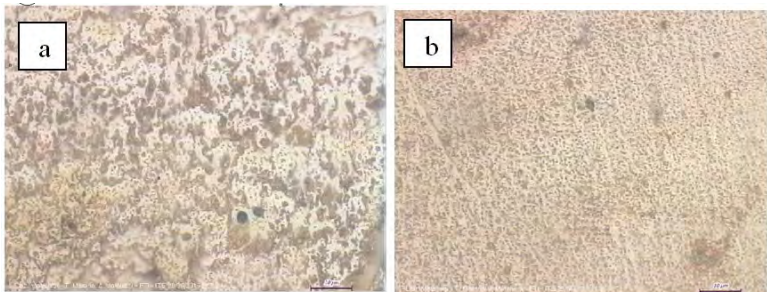


terlihat lebih halus dibanding struktur mikro paduan Cu-Zn dengan cetakan tanpa chill. Fasa yang terbentuk pada kedua paduan tersebut memiliki fasa yang sama yaitu fasa Cu. Warna hitam memperlihatkan dendrit fasa Cu.



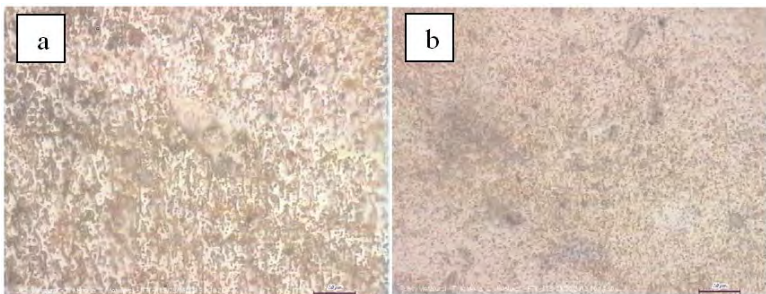
Gambar 4.5 Struktur mikro paduan Cu-Zn (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x

Pada gambar 4.6 merupakan paduan Cu-Zn-Al dengan komposisi penambahan aluminium sebanyak 1wt% dengan masing-masing perbesaran 1000x. Gambar 4.6 (a) struktur mikro paduan Cu-Zn-1Al dengan cetakan tanpa chill dan (b) paduan Cu-Zn-1Al dengan cetakan chill. Pada komposisi fasa ini paduan tetap memiliki fasa Cu, namun dengan morfologi bentuk butir yang lebih halus dibanding dengan paduan tanpa penambahan aluminium lebih halus. Fase Cu ini memiliki struktur kristal *FCC*, dengan sifat yang lebih ulet dan *formability* yang baik, namun kekerasannya lebih rendah.



Gambar 4.6 Struktur mikro paduan Cu-Zn-1Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x

Pada gambar 4.7 merupakan struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan komposisi aluminium 2wt%. ini dibawah ini merupakan paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 2wt% Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill tembaga pada cetaknya. pada komposisi ini fasa yang terbentuk pada paduan masih berupa fasa Cu dengan morfologi butiran yang lebih halus lagi dibanding dengan paduan Cu-Zn dan Cu-Zn-1Al

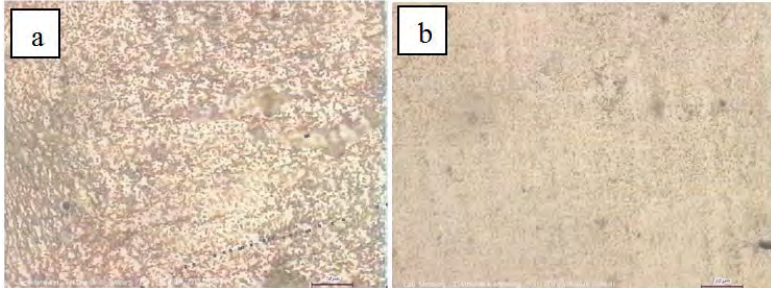


Gambar 4.7 Struktur mikro paduan Cu-Zn-2Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x

Pada gambar 4.8 merupakan paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 3wt% Al. gambar 4.8 (a) struktur mikro paduan Cu-Zn-3Al dengan cetakan tanpa chill dan (b) struktur mikro paduan Cu-Zn-3Al dengan cetakan chill. pada komposisi ini fasa yang

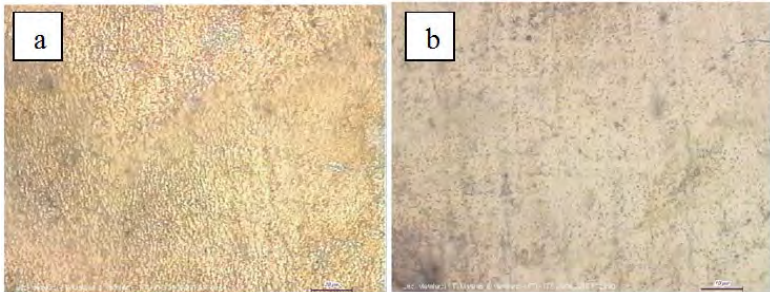


terentuk pada paduan masih berupa fasa Cu, namun dengan morfologi yang lebih halus lagi dan dengan sifat mekanik yang lebih baik.



Gambar 4.8 Struktur mikro paduan Cu-Zn-3Al (a) tanpa chill dan (b) dengan chill, dengan perbesaran 1000x

Gambar 4.9 merupakan struktur mikro paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 4wt% aluminium. Gambar 4.9 (a) struktur mikro paduan Cu-Zn-4Al dengan cetakan tanpa chill dan (b) struktur mikro paduan dengan cetakan chill. Pada struktur mikro paduan Cu-Zn-4Al masih hanya terdapat fasa Cu, belum terbentuk fasa β pada paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan komposisi Al sampai 4wt%. Pada gambar terlihat morfologi paduan sangat lebih halus dibanding dengan paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 0-3wt% Al. Dengan butiran paduan yang lebih kecil dan banyak maka paduan ini memiliki kekuatan yang baik. Dendrit dari fasa Cu juga semakin kecil pada paduan ini.



Gambar 4.9 Struktur mikro paduan Cu-Zn-4Al (a) tanpa *chill* dan (b) dengan *chill*, dengan perbesaran 1000x

4.5 Pengujian Kekerasan Paduan Cu-Zn-Al

Pengujian kekerasan coran paduan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan Rockwell B dengan standar ASTM E10. Menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm, beban 100kgf dan waktu indentasi 10 detik. Pengujian kekerasan ini untuk mengetahui nilai kekerasan hasil pengecoran paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 0-4wt% aluminium.

Tabel 4.4 menunjukkan perbedaan nilai kekerasan terhadap komposisi aluminium dan penggunaan chill pada cetakan paduan Cu-Zn-Al. Pengujian dilakukan pada 5 indentasi untuk setiap 1 spesimen sehingga didapat 5 nilai kekerasan Rockwell B lalu dirata-rata. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa dengan penambahan aluminium dan penggunaan *chill* pada cetakan mempengaruhi nilai kekerasan.



Tabel 4.4 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Zn-Al

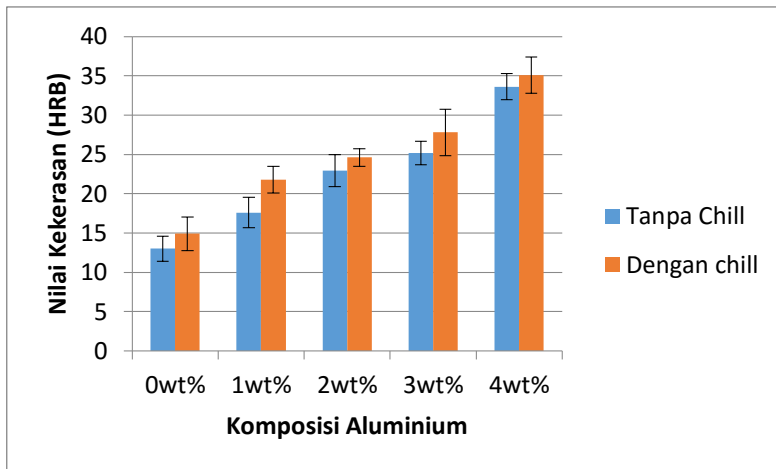
Paduan	Kekerasan rata-rata (HRB)	
	Tanpa <i>Chill</i>	<i>Chill</i>
Cu-Zn	13	14.5
Cu-Zn-1Al	17.6	21.8
Cu-Zn-2Al	22.94	24.3
Cu-Zn-3Al	25.2	26.9
Cu-Zn-4Al	33.6	35.08

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan paduan dengan cetakan tanpa chill Cu-Zn memiliki nilai kekerasan 13 HRB. Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 1wt% meningkat kekerasannya menjadi 17.6 HRB. Nilai kekerasan paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 2wt% meningkat lagi sebesar 22.94 HRB. Kekerasan paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 3wt% meningkat dengan memiliki nilai kekerasan 25.2 HRB. Nilai kekerasan paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 4wt% sebesar 33.6 HRB. Pada paduan dengan cetakan chill Cu-Zn-Al tanpa penambahan aluminium memiliki nilai kekerasan 14.5 HRB. Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 1wt% kekerasannya sebesar 21.8 HRB. Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 2wt% kekerasannya sebesar 24.3 HRB. Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 3wt% kekerasannya sebesar 26.9 HRB. Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 4wt% kekerasannya adalah 35.08 HRB.

Dari tabel data hasil pengujian pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pada paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan tanpa chill maupun cetakan chill terjadi peningkatan kekerasan paduan hingga penambahan aluminium sebesar 4wt%. Pada paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan tanpa chill dan cetakan chill terlihat terjadi perbedaan nilai kekerasan paduan dimana nilai kekerasan paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan chill memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibanding paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan tanpa



chill. Meningkatnya nilai kekerasan paduan Cu-Zn-Al seiring penambahan aluminium dan perbedaan nilai kekerasan paduan Cu-Zn-Al cetakan tanpa chill dengan paduan Cu-Zn-Al cetakan chill dapat dilihat pada gambar 4.10. Meningkatnya nilai kekerasan seiring penambahan aluminium ini disebabkan penambahan aluminium memiliki pengaruh yang sama dengan penambahan seng, namun pengaruh aluminium ini lebih kuat 6 kali dibanding seng. Penambahan aluminium sebagai inoculan membuat nukelasi pada paduan menjadi tinggi, selain itu penambahan aluminium juga mereduksi ukuran butir (Sadayappan, 2004). Pengaruh penggunaan *chill* tembaga pada cetakan mempercepat pendinginan logam cair di dalam cetakan, sehingga membuat *cooling rate* logam cair menjadi tinggi dan membentuk butiran yang menjadi lebih banyak dan lebih kecil. Dengan butiran yang lebih banyak dan kecil tersebut meningkatkan kekerasan paduan Cu-Zn-Al.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh komposisi Aluminium dan penggunaan chill pada cetakan terhadap nilai Kekerasan Paduan Cu-Zn-Al



4.6 Pengujian Impak Paduan Cu-Zn-Al

Pengujian impak coran paduan dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Perkapalan dengan menggunakan metode uji impak Charpy dengan standar ASTM E23. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al. Pada tabel 4.5 ini menunjukkan nilai impak terhadap komposisi aluminium dan penggunaan chill pada paduan Cu-Zn-Al. Pengujian impak ini untuk mengetahui nilai kekuatan impak hasil pengecoran paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan 0-4wt% aluminium..

Tabel 4.5 Nilai impak paduan Cu-Zn-Al

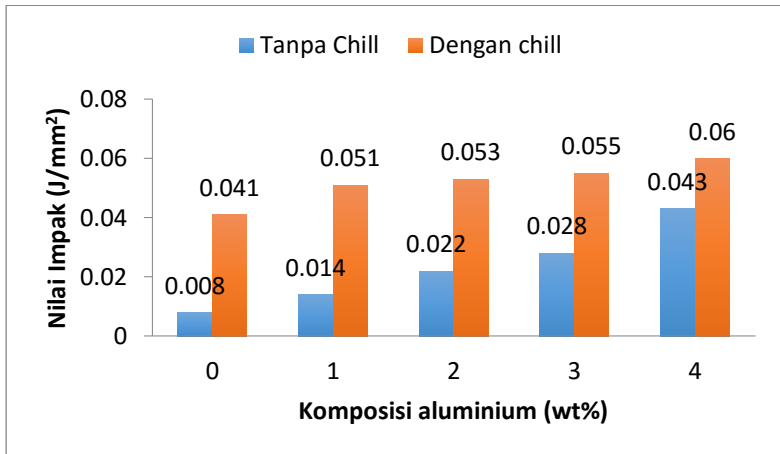
Paduan	Nilai Impak tanpa Chill (J/mm²)	Nilai Impak dengan Chill (J/mm²)
Cu-Zn	0.008	0.041
Cu-Zn-1Al	0.014	0.051
Cu-Zn-2Al	0.022	0.053
Cu-Zn-3Al	0.028	0.055
Cu-Zn-4Al	0.043	0.06

Dari tabel 4.5 dapat dilihat nilai impak paduan dengan cetakan tanpa chill Cu-Zn sebesar 0.008 J/mm². Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 1wt% nilai impaknya menjadi 0.014 J/mm². Nilai impak paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 2wt% sebesar 0.022 J/mm². Nilai impak paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 3wt% sebesar 0.028 J/mm². Nilai impak paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 4wt% sebesar 0.043 J/mm². Pada paduan dengan cetakan chill Cu-Zn-Al tanpa penambahan aluminium memiliki nilai impak 0.041 J/mm². Pada paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 1wt% nilai impaknya sebesar 0.051 J/mm². Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 2wt%



nilai impaknya sebesar 0.053 J/mm^2 . Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 3wt% nilai impaknya sebesar 0.055 J/mm^2 . Paduan Cu-Zn-Al dengan penambahan aluminium 4wt% nilai impaknya adalah 0.06 J/mm^2 .

Dari hasil pengujian impak pada tabel 4.5 terjadi kenaikan nilai kekuatan impak pada paduan Cu-Zn-Al seiring penambahan aluminium pada cetakan chill maupun cetakan tanpa chill. Paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan chill dpaan tanpa chill terjadi perbedaan nilai kekuatan impak, dimana nilai kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan chill lebih tinggi dibanding paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan tanpa chill. Grafik kekuatan nilai kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al dapat dilihat pada gambar 4.11 bahwa dengan panambahan aluminium kedalam paduan menambah kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al. Dari gambar 4.11 juga dapat dilihat dengan penggunaan chill pada cetakan, kekuatan impak paduan meningkat. Penambahan aluminium meningkatkan kekuatan impak paduan karena aluminium bertindak sebagai inokulan yang mereduksi ukuran butir kristal, sehingga menambah kekuatan impak paduan. Penggunaan chill pada cetakan juga meningkatkan nilai kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al, nilai impak paduan Cu-Zn-Al dengan cetakan chill lebih tinggi dibanding paduan tanpa chill pada cetakan. Hal ini disebabkan *chill* membuat pendinginan pada logam cair lebih cepat saat memasuki cetakan, sehingga meningkatkan *cooling rate*. *Cooling rate* yang tinggi pada logam cair juga membat butiran lebih halus sehingga meningkatkan kekuatan impak paduan. Penggunaan *chill* logam meningkatkan *cooling rate* sehingga menghasilkan butir yang lebih kecil dibanding dengan cetakan tanpa *chill*, dan menghasilkan kekerasan dan kekuatan impak yang tinggi (Haque dan Khan, 2007).



Gambar 4.7 Grafik pengaruh komposisi Aluminium dan penggunaan chill pada cetakan terhadap nilai impact Paduan Cu-Zn-Al

Dengan penambahan aluminium dan penggunaan *chill* tembaga pada cetakan membuat struktur mikro paduan memiliki butiran yang lebih kecil dan banyak. Dengan butiran yang lebih kecil dan banyak tersebut, tenaga yang diperlukan untuk mendeformasi paduan lebih besar dibanding paduan dengan struktur mikro yang memiliki butiran lebih besar. Sehingga paduan dengan penambahan aluminium dan penggunaan *chill* tembaga yang memiliki struktur mikro dengan butiran yang kecil dan banyak memiliki kekerasan dan kekuatan impact yang tinggi.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A :

Spesifikasi Material Lebur

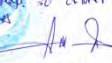
Aluminium

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
- LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 (T-MATERIAL) ITS Material : Aluminium ingot
 Customer : Sdr. Huffal Azhar F Dimension : -
 Lab-no : Uji Bahan Heat-no : -
 Operator : elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI
 Date : 10/30/2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER								Grade :										
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr		Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	
1	97.7	0.261	0.875	0.0537	0.121	0.0015	0.788	0.0248		0.0074	0.0125	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0513	0.0022	< 0.0001	
2	97.7	0.255	0.854	0.0528	0.110	0.0012	0.789	0.0223		0.0067	0.0138	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0516	0.0043	< 0.0001	
3	97.8	0.276	0.822	0.0519	0.0917	0.0010	0.785	0.0176		0.0061	0.0127	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0547	0.0039	< 0.0001	
Ave	97.7	0.264	0.850	0.0528	0.107	0.0012	0.788	0.0216		Ave	0.0067	0.0130	< 0.0001	< 0.0001	0.0525	0.0034	< 0.0001	
	V	Na	B	Zr	B	Ga	Cd	Co		V	Na	B	Zr	B	Ga	Cd	Co	
1	0.0067	0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0128	0.0028	0.0026		0.0067	0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0114	0.0030	0.0025	
2	0.0091	< 0.0001	0.0013	< 0.0003	< 0.0002	0.0114	0.0030	0.0025		0.0072	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0113	0.0027	0.0024	
3	0.0072	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0113	0.0027	0.0024		Ave	0.0077	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	0.0118	0.0028	0.0025	
Ave	0.0077	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0118	0.0028	0.0025			Ag	Hg	In	Sb	P	As	Ce	La
1	0.0028	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0053	< 0.0030	0.0071	0.0060	0.0031	1	0.0028	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0026
2	0.0062	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0053	< 0.0030	0.0053	0.0016	0.0016	2	0.0062	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0026
3	0.0001	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0026	0.0026	3	0.0001	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0026
Ave	0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0047	0.0038	0.0040	0.0025	0.0025	Ave	0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0047	0.0038	0.0040	0.0025

Surabaya, 30 Oktober 2015

 (Elham A.)

Kampus ITS Sukolilo
 Jl. Pahlawan Merah

Zinc Anode

PT. KARTINI UTAMA
 Jl. Kartini Utama Raya, Selindang Raya, Petauhkilang - Bangka
 Phone: 0971 71421334, 421195, 421137
 Fax: 097171 421331

Manufacturer Certificate of Analysis

No. : 90MCAZN/II/2015
 Date : FEBRUARY 6, 2015
 Client : -
 Client's Order Number : -
 Anode Type : SAP FFF - Z - 11.0
 Alloy Type : SAPZINC1
 Project Name : -
 SAP Packing List : -

CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS

No (Pcs)	Item Number	Date of Production	Al	Pb	Sn	Ca	Fe	Mg	Ni	Cu	Mn	Si	Zn
20	60/II/212	26-04-2014 15-16	0.437	0.00021	0.00025	0.0376	0.00034	0.00003	<0.00003	0.00034	0.00005	<0.00002	99.514

REMARKS : Manufacturer by PT. Kartini Utama and All Within Specification

Inspected by : *[Signature]*
Aquaf Syalrazi
 Laboratory

Approved by : *[Signature]*
Her Muli Rini
 QA/QC
 Page 01 of 01

LAMPIRAN B:

Material Hasil Pengecoran

Komposisi 1 Cu-Zn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM DT NDT								
OES Chemical Results								
Sample ID :	1	Material :	Cu Zn Brass					
Customer :	Sdr. Angga (T.Material ITS)	Dimension :	-					
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-					
Operator :	ELHAM	Ka. Labororium :	M. THORIQ WAHYUDI					
Date:	03/06/2016							
Spektralanalyse Foundry-MASTER				Grade :				
	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	83.1	16.5	0.0094	0.0051	0.0016	< 0.0002	0.0052	0.0176
2	83.1	16.5	0.0098	0.0052	0.0014	< 0.0002	0.0077	0.0198
3	83.1	16.4	0.0102	0.0048	0.0014	< 0.0002	0.0077	0.0177
Ave	83.1	16.5	0.0098	0.0051	0.0015	< 0.0002	0.0069	0.0184
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Se	Ag
1	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0005	0.0953	0.0002	0.0020	< 0.0001	0.0015
2	< 0.0002	0.0005	< 0.0005	0.0963	< 0.0001	0.0016	< 0.0001	0.0017
3	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0005	0.0803	< 0.0001	0.0020	< 0.0001	0.0015
Ave	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0005	0.0907	< 0.0001	0.0019	< 0.0001	0.0016
	Co	Bi	Cd	Sb	Zr	B	Se	Te
1	0.0011	< 0.0002	0.0014	0.0060	0.0002	0.0003	0.0009	0.0090
2	< 0.0010	< 0.0002	0.0013	0.0070	0.0004	0.0004	0.0003	0.0078
3	0.0012	< 0.0002	0.0012	0.0041	0.0003	< 0.0001	0.0008	0.0088
Ave	0.0010	< 0.0002	0.0013	0.0057	0.0003	0.0002	0.0007	0.0086
	Ti	C	Nb					
1	< 0.0001	> 0.0500	0.0038					
2	< 0.0001	> 0.0500	0.0065					
3	< 0.0001	> 0.0500	0.0038					
Ave	< 0.0001	> 0.0500	0.0047					

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Teknika 1, Malang

Komposisi 2 Cu-Zn-1Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : CHILL 2 Material : High Strength Yellow Brass
Customer : Sdr. Muh. Shena G (T.Material) Dimension : -
Lab-no. : Uji Bahan Heat-no. : -
Operator : Elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI
Date: 26/04/16

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	82.5	16.0	0.0071	0.0093	0.0003	< 0.0002	0.0052	0.0201
2	82.5	16.0	0.0075	0.0081	0.0013	< 0.0002	0.0027	0.0197
3	82.4	16.1	0.0062	0.0079	< 0.0001	< 0.0002	0.0026	0.0188
Ave	82.5	16.0	0.0069	0.0084	0.0005	< 0.0002	0.0035	0.0195

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	0.0022	< 0.0005	1.36	0.0011	0.0018	0.0052	< 0.0010
2	< 0.0003	0.0023	< 0.0005	1.35	0.0008	0.0013	0.0025	< 0.0010
3	< 0.0003	0.0018	< 0.0005	1.36	0.0006	0.0022	0.0046	< 0.0010
Ave	< 0.0003	0.0021	< 0.0005	1.36	0.0008	0.0018	0.0041	< 0.0010

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	< 0.0005	0.0013	0.0120	< 0.0002
2	< 0.0005	0.0013	0.0031	< 0.0002
3	< 0.0005	0.0014	0.0060	< 0.0002
Ave	< 0.0005	0.0013	0.0071	< 0.0002



Kampus ITS Sukolilo
Jl. Telekomunikasi

Komposisi 3 Cu-Zn-2Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 3 Material : High Strength Yellow Brass
Customer : Sdr. Muh. Shena G(T.Material) Dimension : -
Lab-no. : Uji Bahan Heat-no. : -
Operator : Elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI
Date: 26/04/16

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	82.5	14.8	0.0060	0.0096	0.0004	< 0.0002	0.0105	0.0195
2	82.6	14.5	0.0062	0.0090	0.0005	< 0.0002	0.0063	0.0178
3	82.6	14.9	0.0067	0.0072	0.0005	< 0.0002	0.0052	0.0208
Ave	82.5	14.7	0.0063	0.0086	0.0004	< 0.0002	0.0073	0.0194

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	0.0010	< 0.0005	2.72	0.0022	0.0030	0.0029	< 0.0010
2	< 0.0003	0.0008	< 0.0005	3.00	0.0023	0.0028	0.0026	< 0.0010
3	< 0.0003	0.0016	< 0.0005	2.57	0.0029	0.0021	0.0047	< 0.0010
Ave	< 0.0003	0.0012	< 0.0005	2.76	0.0024	0.0026	0.0034	< 0.0010

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	< 0.0005	0.0008	0.0116	< 0.0002
2	< 0.0005	0.0007	0.0142	< 0.0002
3	< 0.0005	0.0010	0.0160	< 0.0002
Ave	< 0.0005	0.0008	0.0139	< 0.0002

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Teknokratik



Komposisi 4 Cu-Zn-3Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 4 Material : High Strength Yellow Brass
 Customer : Sdr. Muh. Shena G (T.Material) Dimension : -
 Lab-no. : Uji Bahan Heat-no. : -
 Operator : Elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI
 Date: 26/04/16

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	79.8	14.7	0.0068	0.0064	0.0019	< 0.0002	0.0461	0.0243
2	80.3	15.0	0.0067	0.0049	0.0022	< 0.0002	0.0463	0.0229
3	80.0	14.8	0.0061	0.0051	0.0012	< 0.0002	0.0454	0.0233
Ave	80.0	14.8	0.0065	0.0055	0.0018	< 0.0002	0.0459	0.0235

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Be	Ag
1	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0005	3.15	0.0033	0.0019	< 0.0001	0.0019
2	< 0.0002	< 0.0005	0.0010	3.14	0.0038	0.0017	< 0.0001	0.0019
3	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0005	3.10	0.0028	0.0023	< 0.0001	0.0018
Ave	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0005	3.13	0.0033	0.0020	< 0.0001	0.0018

	Co	Bi	Cd	Sb	Zr	B	Se	Te
1	< 0.0010	< 0.0002	< 0.0001	0.0064	0.0001	0.0014	< 0.0001	0.0039
2	< 0.0010	< 0.0002	< 0.0001	0.0137	0.0001	0.0017	< 0.0001	0.0032
3	< 0.0010	< 0.0002	< 0.0001	0.0048	< 0.0001	0.0009	< 0.0001	0.0127
Ave	< 0.0010	< 0.0002	< 0.0001	0.0090	< 0.0001	0.0013	< 0.0001	0.0066

	Ti	C	Nb
1	0.0001	> 0.0500	0.0045
2	< 0.0001	> 0.0500	< 0.0005
3	< 0.0001	> 0.0500	0.0039
Ave	< 0.0001	> 0.0500	0.0029



Kampus ITS Sukolilo
B. Teknik Kimia

Komposisi 5 Cu-Zn-4Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 5 Material : High Strength Yellow Brass
Customer : Sdr. Muh. Shena G (T.Material) Dimension : -
Lab-no. : Uji Bahan Heat-no. : -
Operator : Elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI
Date : 26/04/16

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	79.6	15.7	0.0208	0.0088	< 0.0001	< 0.0002	0.131	0.0258
2	80.3	15.0	0.0100	0.0033	0.0070	< 0.0002	0.123	0.0272
3	80.0	14.9	0.0174	0.0049	0.0101	< 0.0002	0.103	0.0318
Ave	79.9	15.2	0.0160	0.0057	0.0057	< 0.0002	0.119	0.0283
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Be	Ag
1	< 0.0002	0.0035	0.0057	4.45	0.0099	0.0070	< 0.0001	0.0020
2	< 0.0002	0.0047	0.0042	4.41	0.0064	0.0043	< 0.0001	0.0021
3	< 0.0002	0.0042	0.0029	4.31	0.0057	0.0035	0.0010	0.0021
Ave	< 0.0002	0.0041	0.0043	4.39	0.0077	0.0049	0.0003	0.0021
	Co	Bi	Cd	Sb	Zr	B	Se	Te
1	0.0144	< 0.0002	0.0001	0.0346	0.0035	0.0026	0.0037	0.0080
2	0.0143	< 0.0002	< 0.0001	< 0.0005	0.0019	0.0064	< 0.0001	< 0.0005
3	0.0231	< 0.0002	< 0.0001	< 0.0005	0.0020	0.0059	0.0009	0.0193
Ave	0.0173	< 0.0002	< 0.0001	0.0115	0.0025	0.0050	0.0015	0.0091
	Ti	C	Nb					
1	0.0009	> 0.0500	0.0087					
2	0.0004	> 0.0500	0.0161					
3	0.0008	> 0.0500	0.0145					
Ave	0.0007	> 0.0500	0.0131					

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Telekomunikasi



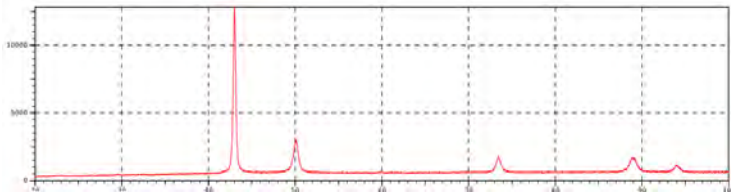
(halaman ini sengaja dikosongkan)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 4:

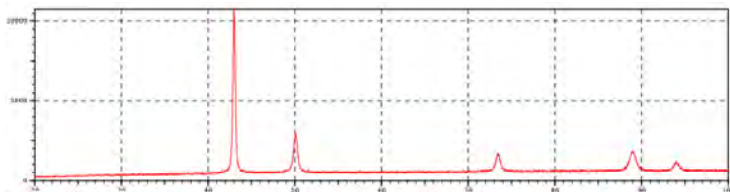
Hasil Pengujian XRD

Hasil XRD Paduan Cu-Zn Tanpa Chill



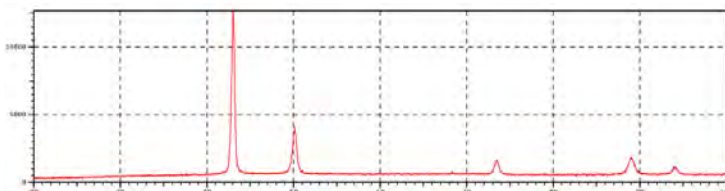
	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.9900	7187.82	0.2952	100.00
50.0869	1416.08	0.3542	19.70
73.3858	624.25	0.2755	8.68
88.9209	597.70	0.2362	8.32
93.9212	293.48	0.2362	4.08

Hasil XRD Paduan Cu-Zn-Al Dengan Chill



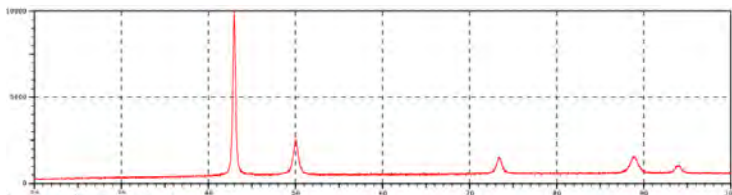
	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.0248	5957.97	0.1968	100.00
50.0676	1411.23	0.4330	23.69
73.4115	631.90	0.3936	10.61
88.9291	678.82	0.2755	11.39
93.9949	313.34	0.1968	5.26

Hasil XRD Paduan Cu-Zn-4Al Tanpa Chill



	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.0145	7030.38	0.2558	100.00
50.1674	1954.49	0.0720	27.80
73.4529	614.96	0.3542	8.75
88.8411	620.91	0.2362	8.83
94.0378	341.09	0.2755	4.85

Hasil XRD Paduan Cu-Zn-4Al Dengan Chill



	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.9925	5665.35	0.2755	100.00
50.0341	1134.59	0.4330	20.03
73.3177	521.75	0.1968	9.21
88.8773	539.27	0.4330	9.52
93.8802	237.01	0.7085	4.18

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Pengaruh penambahan aluminium dan penggunaan *chill* tembaga pada cetakan membuat struktur mikro paduan lebih halus dengan ukuran butir menjadi lebih kecil dan banyak.
2. Pengaruh penambahan aluminium dan penggunaan *chill* tembaga pada cetakan meningkatkan kekerasan paduan Cu-Zn-Al. Nilai kekerasan paduan Cu-Zn-Al meningkat seiring penambahan komposisi aluminium, Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan Cu-Zn-4Al dengan *chill* pada cetakan dengan nilai kekerasan 35.08 HRB.
3. Pengaruh penambahan aluminium dan penggunaan *chill* tembaga pada cetakan meningkatkan kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al. Nilai kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al meningkat seiring penambahan komposisi aluminium. Nilai kekuatan impak tertinggi terdapat pada paduan Cu-Zn-4Al dengan *chill* pada cetakan dengan nilai impak 0.06 J/mm².

5.2 Saran

Penelitian Selanjutnya disarankan:

1. Menggunakan furnace dengan termokopel sehingga dapat mengatur dan menjaga temperatur dengan baik
2. Menggunakan *furnace* tertutup sehingga tidak menghasilkan *heat loss* yang besar dan mengurangi penguapan seng yang terjadi.

BAB II



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1992. *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. USA: ASM International Handbook Committee.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagram*. USA: ASM International Handbook Committee.
- _____. 1998. *ASM Handbook Volume 15: Casting Copper and Copper Alloys*. USA: ASM International Handbook Committee.
- _____. 1965. *Copper-Base Alloys Foundry Practice*. Des Plaines: American Foundrymen's Society
- _____. 1973. *Basic Principle of Gating & Riser*. Des Plaines: AFS Training & Research Institute
- _____. 2006. *Copper Tube Handbook*. New York: Copper Development Association Inc.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Banga, T. 1981. *Foundry Engineering*. New Delhi: Khanna Publisher.
- Beeley, Peeter. 2001. *Foundry Technology Second Edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann
- Brady, G. S. 2002. *Materials Handbook Fifteenth Edition*. New York : McGraw-Hill Company.
- Callister, William D. 1940. *Material Science and Engineering and Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Chastain, S.D. 2004. *Metal Casting: A Sand Casting Manual For the Small Foundry Vol. II*. USA: Chastain Publisher
- Davis, J.R., 2001. *Understanding the Basic Alloying*. ASM International. United States of America.
- Flemings, Merton C. 1974. **Solidification Processing**. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Groover, M. 2010. *Fundamental of Modern Manufacture 4th edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc
- Harvey, P. D. 1982. *Engineering Properties of Steels*. Metals Park: American Society for Metals
- Haque dan Khan. 2007. *Investigation on Structure and Properties of Brass Casting*. Kuala Lumpur: International Islamic University Malaysia
- Heine. R. W. 2967. *Principles of Metal Casting*. New York: McGraw-Hill
- Hurst, Steve. 1996. *Metal Casting: Appropriate Technology in Small Foundry*. London: Intermediate Technology Publications
- Hutahaean, Gunawan dan Ardhyanta, Hosta. 2015. **Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn) Melalui Proses Pengecoran**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Kalpakjian, Serope dan Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI Units*. Singapura: Pearson
- Konečná, Radomila dan Fintová, Stanislava. 2012. *Copper and Copper Alloys: Casting, Classification and Characteristic Microstructures*. University of Žilina
- Lumley, Roger. 2011. *Fundamental Metalurgy of Aluminium: Production, Processing, and*

Applications. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Moissan, H. 1904. *The Electric Furnace*. London: Edward Arnold.

Nugroho, Untung. 2010. **Pengaruh Struktur Mikro dan Kandungan Karbon pada Kekerasan Coran Kuningan**. Jakarta: Fakultas Industri, Universitas Gunadarma

Pantazopoulou, G dan Vazdirvanidis, A. 2008. *Characterization of the Microstructural Aspects of Machinable a-b Phase Brass*. Athena: ELKEME Hellenic Research Centre for Metals

Sadayappan, M. 2004. *Grain Refinement of Permanent Mold cast Copper Base Alloys*. USA: Materials Technology Laboratory

Sanders, Robert. 2001. *Technology Innovation of Aluminium Product*. JOM

Syaputra, Widyastuti, dan Sadino. 2011. **Pembuatan Kelongsong Peluru Menggunakan CuZn 65%-35% Melalui Metode Metalurgi Serbuk Dengan Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Modulus Elastisitas Sebagai Metode Alternatif Dari Proses Deep Drawing**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Sudjana, Hadi. 2008. **Teknik pengecoran untuk SMK**. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Surdia, Tata dan Chijjiwa, K. 2006. **Teknik Pengecoran Logam**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Taufikurrahman dan Safei. 2005. **Analisa Sifat Mekanik Bahan Paduan Tembaga-Seng Sebagai Alternatif**

**Pengganti Bantalan Gelinding pada Lori
Pengangkut Buah Sawit .** Surabaya: Universitas
Kristen Petra

Van Vliet, GLJ dan Both, W. 1984. **Teknologi Bahan –
Bahan Untuk Bangunan Mesin.** Jakarta: Gramedia

Vargel, Christian. 2004. *Corrosion of Aluminium.* UK:
Elsevier Ltd.

Wang, Wanlong, dkk. 2001. *Mechanical Engineering
Series: Rapid Tooling Guidelines for Sand Casting.*
London: Springer

Wibisono, Mirza., 2009. **Studi Pengaruh Temperatur dan
waktu pemanasan proses anil cepat terhadap
besar butir , mampu bentuk pelat, difraksi sinar x
dan kekasaran pelat kuningan 70/30.** Depok:
Iniversitas Indonesia

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Shena Gumilang. Sehari-hari penulis dipanggil Shena. Dilahirkan dari keluarga sederhana oleh pasangan bernama Pudjiyanto dan Ita Irawati pada tanggal 23 Desember 1993. Penulis menempuh pendidikan formal di SD-2 Yayasan Pupuk Kaltim, Bontang (2000-2006), SMP Yayasan Pupuk Kaltim, Bontang (2006-2009), SMA Yayasan

Pupuk kaltim, Bontang (2009-2012) dan menjalani dunia perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS mulai 2012.

Di dunia kampus, penulis aktif dalam BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS sebagai staff pada tahun kedua dan pada tahun ketiga menjabat sebagai Kepala Divisi Olahraga BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS. Selain aktif dalam organisasi kampus, penulis juga aktif di organisasi luar kampus dengan menjadi Kepala Departemen Internal HMB Cabang Surabaya. Di bidang akademik, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Metalurgi untuk mata kuliah Teknologi Cor pada tahun 2015 dan 2016. Penulis mengerjakan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) dan Penggunaan Chill Tembaga Pada Cetakan Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al Melalui Proses Pengecoran”

Muhamad Shena Gumilang

shenagumilang@gmail.com

085652273007