TUGAS AKHIR TL 141584

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR SENG (Zn) TERHADAP SIFAT KEKERASAN PADUAN Cu-Zn UNTUK APLIKASI ELEKTRODA LAS

MUHAMMAD YUSUF BAIHAQI
NRP. 2712100113

Dosen Pembimbing

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

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT TL 141584

THE EFFECT OF ADDITIONAL ELEMENTS ZINC (Zn) NATURE OF VIOLENCE Cu-Zn ALLOY APPLICATIONS FOR WELDING ELECTRODE

MUHAMMAD YUSUF BAIHAQI
NRP. 2712100113

Advisors

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

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR SENG (Zn) TERHADAP SIFAT KEKERASAN PADUAN Cu-Zn UNTUK APLIKASI ELEKTRODA LAS

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 YUSUF BAIHAQI
NRP 2712100113

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

Surabaya,
Januari 2017

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR SENG (Zn) TERHADAP SIFAT KEKERASAN PADUAN Cu-Zn UNTUK APLIKASI ELEKTRODA LAS

Nama : Muhammad Yusuf Baihaqi
NRP : 2712100113
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc
Alvian Toto, S.T.,M.T

ABSTRAK

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti, terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, selain berfungsi sebagai pembangkit, elektroda juga sebagai bahan tambah.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. Penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan, Kemudian dilanjutkan dengan merancang variasi penambahan seng(Zn)dengan komposisi 36,38,40,42%wt. Selanjutnya, logam dilebur kemudian didinginkan dalam cetakan. Setelah itu dilakukan pengujian XRD, OES, Metalografi, dan Uji Kekerasan.Paduan Cu36Zn mempunyai nilai kekerasan 55.63 HRV.Paduan Cu38Zn mempunyai nilai kekerasan 60.62 HRV.Paduan Cu-40Zn mempunyai nilai kekerasan sebesar 103 HRV.Paduan Cu42Zn mempunyai nilai kekerasan 106.75 HRV.Paduan elektroda mempunyai nilai kekerasan sebesar 98.30 HRV.Penambahan unsur seng(Zn) pada paduan Cu-Zn meningkatkan sifat kekerasan. Penambahan unsur seng (Zn) pada elektroda akan meningkatkan sifat kekerasannya.

Kata kunci :Elektroda las ,Paduan Cu-Zn, , Pengecoran,

(halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT OF ZINC (ZN) ELEMENT ADDITION TO HARDNESS PROPERTIES OF CU-ZN ALLOY FOR WELDING ELECTRODE

Name : Muhammad Yusuf Baihaqi
NRP : 2712100113
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc
Alvian Toto, S.T.,M.T

ABSTRACT

Welding using electric arc welding requires welding wire (electrodes) which consists of a core, made of a metal coated by a layer consisting of a mixture of chemicals, in addition to functioning as a generator, electrodes as well as the added material. Casting is a process in which molten metal flows into the mold by means of gravity or by other forces, then the molten metal solidifies in accordance with the shape of the mold.This research begin with preparation of tools and materials needed. Then, melt the metal with addition of Zinc (Zn) varying by 36%,38%,40% and 42% wt. After Solidified, the molten metal is analyzed by XRD, OES, metallography, and hardness testing. Cu36Zn alloy has hardness value of 55.63 HRV. Cu38Zn alloy has hardness value of 60.62 HRV.P Cu-40Zn alloy has hardness value of 103 HRV. Cu42Zn has hardness value of 106.75 HRV. Electrode alloy has hardness value of 98.30 HRV. Addition of Zinc improves the hardness properties of Cu-Zn Alloy. Enriching of Zinc elements improves hardness properties of welding electrode.

Keywords : Weld electrode ,Cu-Zn alloy, Casting.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala anugerah dan petunjuk-Nya, penulis mampu menyelesaikanTugas Akhiryang berjudul :

“Pengaruh Penambahan Unsur Seng (Zn) Terhadap Sifat Kekerasan Paduan Cu-Zn Untuk Aplikasi Elektroda Las”

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Ibu, ayah, kakak, relasi, dan kerabat terdekat atas segala doa, dukungan moril dan meteril, pengertian dan semangat yang telah diberikan selama ini;
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta,S.T.,M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir;
3. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir;
4. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Teman-teman angkatan 2012 Teknik Material Dan Metalurgi FTI ITS

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu memberikan informasi mengenai proses pengecoran terutama pada paduan Cu-Zn. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya,8 Januari2017

Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawat las atau yang sering disebut dengan elektroda adalah suatu material yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik yang berfungsi sebagai pembakar yang akan menimbulkan busur nyala. Penggunaan elektroda pada pengelasan harus memperhatikan hal-hal berikut,seperti :jenis logam yang akan dilas, tebal bahan yang akan dilas, kekuatan mekanis yang diharapkan dari hasil pengelasan, posisi pengelasan, dan bentuk kampuh benda kerja(Lincoln,1994). Kawat las kuningan mempunyai banyak tipe yang bisa diaplikasikan untuk *stainless-steel*, baja, serta kuningan atau penggabungan logam-logam tersebut diatas. Kawat las kuningan juga sangat cocok untuk perbaikan komponen mesin yang terbuat dari, kuningan, tembaga, *stainless steel*, baja, dan untuk perbaikan impeller pompa, propeller kapal dan bagian kapal yang lain seperti reparasi propeller, impeller, Sudut-sudut pompa, propeller kapal(Lincoln,1994).

Bahan baku kawat las 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).

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 dan 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. 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 tidik didih (900 °C) yang relatif rendah.(ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992)

Pengecoran adalah salah satu proses yang digunakan dalam pembuatan kawat las. 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).

Penambahan komposisi unsur seng(Zn) pada kawat las kuningan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan, hal tersebut diharapkan dapat memenuhi kekuatan mekanis yang diharapkan dari proses pengelasan, khususnya pada pengelasan propeller.

Namun sampai saat ini penelitian tentang pengaruh peningkatan penambahan komposisi unsur seng(Zn) pada elektroda CuZn terhadap sifat mekanik masih kurang. Hal tersebut yang melatar belakangi penelitian ini dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap struktur mikro paduan Cu-Zn
2. Bagaimana pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap sifat kekerasan paduan Cu-Zn
3. Bagaimana pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap sifat mekanik paduan Cu-Zn untuk aplikasi elektroda?

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 dianggap homogen
4. Reaksi logam cair dengan lingkungan diabaikan
5. Tempratur pemaduan dianggap homogeny

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap struktur mikro paduan Cu-Zn.
2. Menganalisa pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap sifat kekerasan paduan Cu-Zn.
3. Menganalisa pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap sifat mekanik paduan Cu-Zn untuk aplikasi elektroda.

1.5 Manfaaat Penelitian

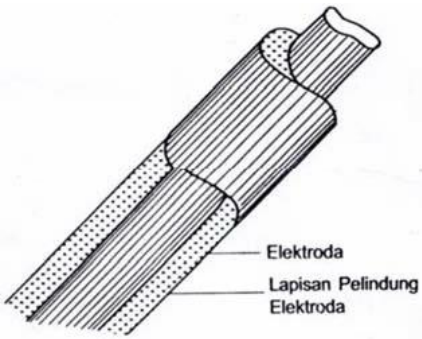
Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap struktur mikro paduan kuningan Cu-Zn, mengetahui pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap sifat kekerasan paduan Cu-Zn, dan mengetahui pengaruh penambahan seng (Zn) terhadap sifat mekanik paduan Cu-Zn untuk aplikasi elektroda, sehingga dapat menghasilkan produk elektroda yang memiliki sifat mekanik yang baik.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) seperti pada gambar 2.1, yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimiaselain berfungsi sebagai pembangkit, elektroda juga sebagai bahan tambah.



Gambar 2.1 Elektroda Las

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*fluks*) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *fluks* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Pada dasarnya bila di tinjau dari logam yang di las, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja

karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material.

Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar sistem *AWS* (*American Welding Society*) dan *ASTM* (*American Society Testing Material*).Elektroda jenis E6013 dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan dengan arus las AC maupunDC. Elektroda dengan kode E6013 untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing-masing yaitu:

a. E menyatakanelektroda untuk las busur listrik.
b. 60Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 Psi (60.000 Ib/in2) atau 42 kg/mm2.
c. 1 menyatakan posisi pengelasan, 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.
d. 3 menyatakan Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC(Suharto; 1991).

2.2 Jenis-Jenis Elektroda

1. Elektroda nikel

Elektroda jenis ini dipakai untuk mengelas logam berbahan nikel,baja dan besi tuang. Elektroda nikel dapat dipakai dalam segala posisi pengelasan.Rigi-rigi las yang dihasilkan elektroda ini bersifat rata dan halus bila dipakai pada pesawat las DC kutub terbalik.

2. Elektroda Baja

Proses pengelasan dengan elektroda baja akan menghasilkan benda las dengan deposit las yang kuat, menyebabkan benda tersebut tidak dapat dikenai proses permesinan. Proses pengelasan dengan elektroda tersebut menggunakan pesawat las AC atau DC kutub terbalik.

3. Elektroda Kuningan

Elektroda kuningan mempunyai banyak tipe yang bisa diaplikasikan untuk *stainless-steel*, baja, serta kuningan atau penggabungan logam-logam tersebut diatas. Juga sangat cocok untuk perbaikan komponen mesin yang terbuat dari, kuningan, tembaga, *stainless steel*, baja, dan untuk perbaikan impeller pompa, propeller kapal dan bagian kapal yang lain seperti reparasi propeller, impeller, Sudut-sudut pompa, propeller kapal.

4. Elektroda perunggu

Hasil proses pengelasan dengan memakai elektroda ini mempunyai ketahanan yang baik terhadap retak, sehingga panjang las dapat ditambah. Kawat inti dari elektroda ini dibuat dari perunggu fosfor dan diberi selaput yang menghasilkan busur stabil.

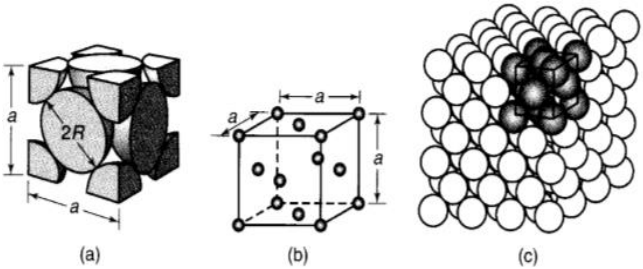
5. Elektroda Aluminium.

Pada logam Aluminium dapat dilakukan proses pengelasan dengan elektroda yang dibuat dari logam yang sama. Pemilihan elektroda aluminium yang sesuai didasarkan pada tabel keterangan dari pabrik yang membuatnya. Contoh dari elektroda aluminium yaitu seri AWS-ASTM AI-43 yang digunakan untuk pengelasan las busur listrik dengan pesawat las DC kutub terbalik (Lincoln,1994) .

2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) merupakan salah satu unsur logam transisi yang berwarna cokelat 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 (CuFeS2), *cuprite*

(Cu2O), *chalcosite* (Cu2S), dan *malasite* (Cu2(OH)2CO3).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 (Fribeg, 1977). Tembaga (Cu) adalah logam non-polimorf dengan kisi FCC seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur kristal tembaga FCC (a) model hard-ball, (b) unit sel , dan (c) satu kristal dengan banyak sel (Kalpakjian, 2009)

Tembaga murni memiliki warna kemerahan, memiliki titik lebur pada 1083 °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 cornya dan sifat mampu mesinnya, komposisi kimianya berbeda dalam beberapa komponen (Hakim, 2010).

2.4 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 memiliki angka kekerasan hanya mencapai 45 HB, namun dapat ditingkatkan menjadi 90 HB dengan dilakukan pengerjaan dingin, dimana dengan proses pengerjaan dingin ini dapat mengurangi sifat ulet yang dimiliki tembaga, walaupun demikian keuletan tembaga dapat ditingkatkan 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) :

a. Tembaga merupakan logam berwarna kuning kemerahan dan sifatnya keras.
b. Tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, dan kawat.

c. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, kedua setelah perak.
d. Tembaga relatif tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi.
e. Tembaga dapat didaur ulang.

Sifat –sifat tembaga yang lain seperti yang tertulis pada ASM Metal Handbook vol.2 (1992) dijelaskan sebagai berikut :
Temperatur lebur :1084.62 °C
Temperatur didih : 2562 °C

Tembaga memiliki koofisien pemuaian thermal seperti pada tabel 2.1 dan sifat mekanik seperti pada tabel 2.2.

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

Rentang Temperatur, ºC	Koefisien Rata-Rata, µm/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 ºC
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

2.5 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 2.3dantabel 2.4kedua 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 Hadnbook 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-phospphorus 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

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 %

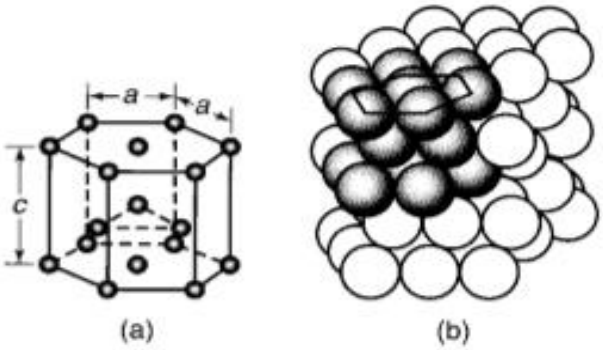
2.6 Seng (Zn)

Seng merupakan logam dengan urutan keempat paling banyak digunakan di dunia industri setelah baja, aluminium, dan tembaga. Menurut penggunaannya, seng banyak digunakan

sebagai *coating* anodauntuk 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, presipatasi 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)seperti pada gambar 2.3 (Lehto, 1968).



Gambar 2.3 Struktur kristal HCP seng (a) unit sel dan (b) satu kritsal dengan banyak sel (Kalpakjian, 2009)

Logam seng memiliki massa jenis 7140 kgm-3 dan memiliki titik lebur pada tempratur 420º C. Seng murni tersedia dalam bentuk lembaran, ingot, dan serbuk. Slab seng dibagi menjadi tiga golongan seperti pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 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

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 tidik didih (900 °C) yang relatif rendah.Dan titik lebur seng merupakan yang terendah di antara semua logam-logam transisi selain raksa dan kadmium. Unsur impuritis pada proses *alloying* seng perlu diperhatikan. Adanya unsur impuritis menurunkan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Sifat mekanik seng adalah sebagai berikut (ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992):

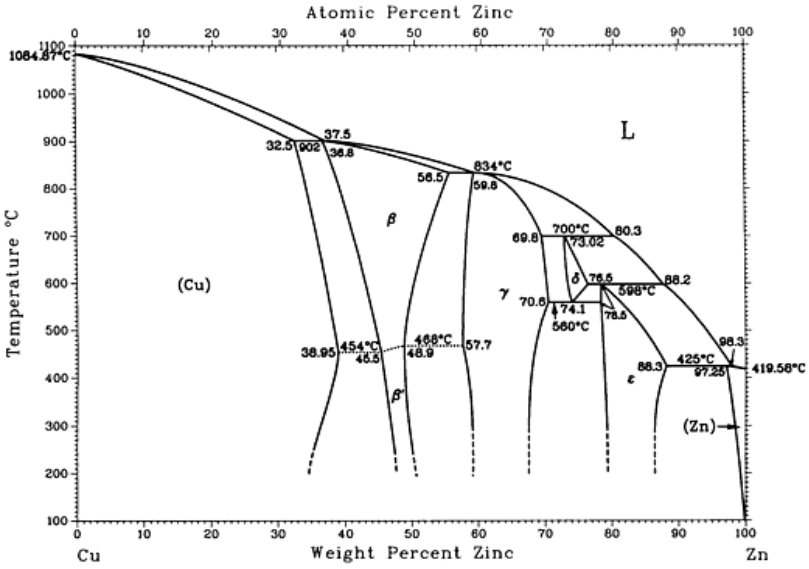
1. Tensile strength : 170 Mpa
2. Hardness : 52 HB (*hot rolled*), 60 (*cold rolled*)
3. Fatigue strength : 28 Mpa pada(10^8 cycles)

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

2.7 Kuningan (Cu-Zn)

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

Dalam diagram fasa Cu-Zn seperti pada gambar 2.4 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. A 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 α+ β 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).

Gambar 2.4 Diagram Fasa Cu-Zn (ASM Metal Handbook Vol.2 ,1992)

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

1. ***Red dan Leaded Red Brasses***

Red brasses (C83300-C83810) adalah hasil pengecoran tembaga, seng, timbal, dant timah. Paduan ini mengandung 2-8 % Zn, untuk *red brasses* Pb kurang dari 0,5 %, dan untuk *leaded redbrasses* 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 ketahan 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 ^{o}C terjadi transformasi peritektik dimana Zn larut sebesar 32,5%. Kelarutan ini meningkat sampai dengan temperatur sekitar 450 ^{o}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 ketermesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya. Pada kuningan dengan kandungan Zn 47,5%, kristal β akan tebentuk terlebih dahulu pada temperatur 890 ^{o}C, fasa ganda (β + sisa cairan) hanya terdapat pada selang yang kecil sehingga segregasi

praktis tidak terjadi. Segera, begitu temperatur mencapai 880 ^{o}C, cairan akan membeku seluruhnya sebagai kristal β yang homogen. Kuningan semacam ini disebut kuningan β (beta) dengan sifat-sifatnya yang keras, rapuh dan ketermesinan 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)

2.8 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 ß 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 ß ini memiliki kekuatan yang sangat tinggi.Penambahan aluminium juga mereduksi ukuran butir, selain itu juga sebagai inokulan yang memperbanyak mukleasi

butir.Selain itu aluminium juga mengubah struktur butir yang awalnya dendritic menjadi *equiaxed* (Sadayappan, 2004).

2. Timah Hitam (Pb)

Timah hitam dapat larut dalam paduan kuningan hanya sampai 0,4% dan kelebihanya 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 232ºC (Hadi, 2008). Karena memiliki titik lebur yang rendah, maka penambahan timah putih pada paduan kuningan dapat mengurangi tempratur 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 soldification* (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 refainer 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 419ºC (Hadi, 2008).

6. Mangan (Mn)

Mangan dengan jumlah yang cukup dan tergabung dengan penambahan nikel akan berperan dalam memainkan fungsi unsur nikel, walaupun tidak bisa secara menyeluruh. 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 1260ºC. (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 industi 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 α+β 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.

2.9. Pengecoran

2.9.1 Definisi

Pengecoran adalah proses dimanalogam 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).

2.9.2 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 mememberi 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 tempratur yang diinginkan sehingga logam memiliki tempratur 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) Spesific heat dari sebuah logam mungkin berbeda saat berbentuk solid dan berbentuk cair. (3) Kebanyakan pengecoran paduan logam melebur di atas tempratur antara solidus dan liquidus dibanding melebur pada satu titik lebur.(4) Nilai-nilai sifat yang dibutuhkan dalam perhitungan yang telah dibuat biasanya sebagain 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 tempratur penuangan, kecepatan penuangan, dan *turbulence.* (Groover, 2010)

Salah satu kompenen 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 komposi, 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

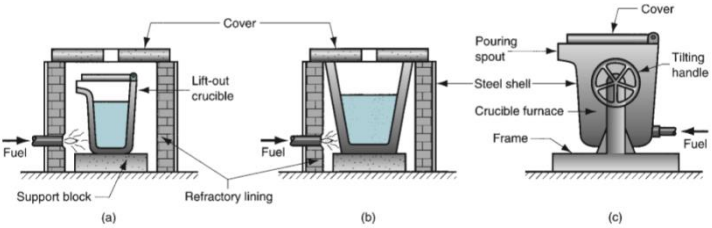
induction furnaces. Pemilihan jenis furnace yang tepat yang akan digunakan berdasarkan faktor seperti paduan yang akan dilebur, tempratur lebur dan penuangan, kapasitas furnace, harga, pemakaian dan pemeliharaan, dan pertimbangan pencemaran lingkungan.(Groover, 2010)

Berdasarkan sumber energi yang digunakan, furnace terbagi menjadi 2 kategori , yaitu melalui *fuel-fired* dan *electric* seperti pada tabel 2.6

Tabel 2.6 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		Reverbatory (air)	Gas; oil	Non-ferrous alloys; cast irons,
			Rotary (rotating or rocking)	Gas; oil	Non-ferrous alloys; cast iron, esp. malleable and special. Duplex holding
	Crucible		Crucible		
			Lift out or pit type	Gas; oil	Most alloys, except steel
			Tilting	Gas; oil	
			Bale out	Gas; oil	Light castings, especially die castings
II. Electric	Hearth	Arc	Direct arc	Arc to charge	Steel; cast iron
			Indirect arc (rocking)	Radiant arc	Non-ferrous alloys; high alloy steel and special irons
	Crucible	Resistance	Resistor (static or rocking)	Radiant resistor rod	Steel; cast iron; copper alloys
			Resistance	Elements (shroud or immersion)	Non-ferrous alloys, especially holding for die casting
		Induction	Coreless induction	Medium frequency induction	Steel, esp. alloy and small tonnage; cast irons; Ni base
	Melting channel		Cored induction	Mains frequency induction	Non-ferrous alloys; holding for die and light castings

Perbedaan yang mendasar dari *furnace* yang memanfaatkan *crucible furnace* dengan *fuel-fired* ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 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 *reverbatory* 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 mampu 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 menuankan logam cair tersebut.Jenis *furnace* yang lainnya yaitu *pot furnace* yang

mepunyai *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 pduan dari seng dan aluminium. Dan kapasitas dari *furnace* seperti ini sangat terbatas (Groover, 2010)

2.9.3 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.

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 pemuaian 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.Temperatur penuangan untuk berbagai coran ditunjukkan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran (Chijiiwa, 2006)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (ºC)
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.

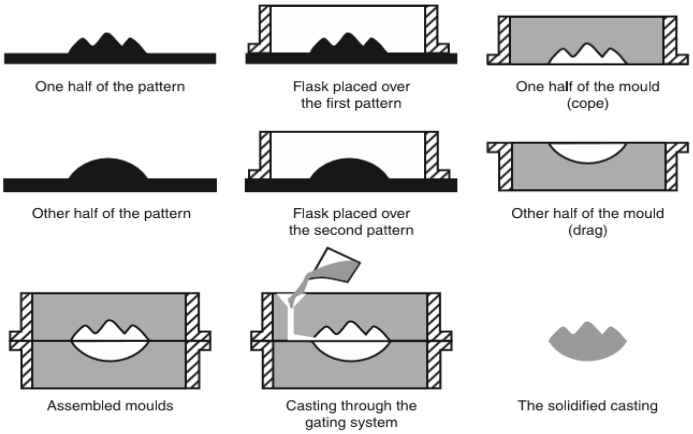
9. Koefisien Pemuaian yang Rendah.

Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuaian yang rendah.

10. Bench *Life*

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

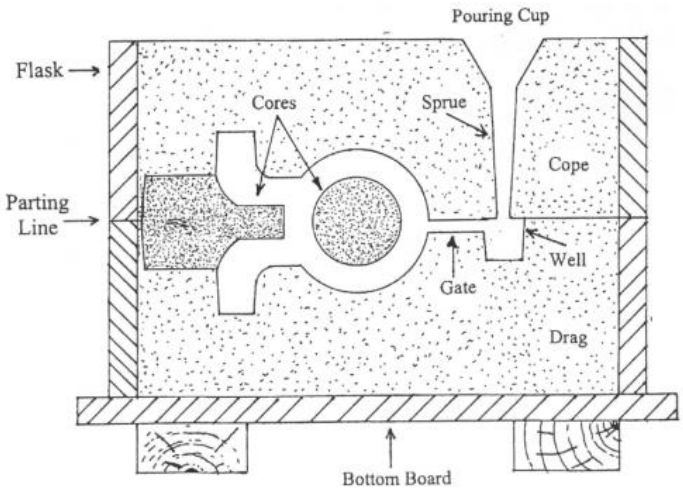
Sand casting tidak terlalu rumit dan tidak terlalu mahal untuk dilakukan. Logam cair dari *furnace* dituang kedalam sand mold yang telah dibuat. Pasir pada mold direkatkan menggunakan sejenis clay dan sedikit air untuk membentuk pasir basah atau *green sand mold*. *Mold* terbuat dari molding sand yg 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 seperti pada gambar 2.6(Chastain, 2004).



Gambar 2. 6 Skema pembuatan cetakan pasir (Lumley, 2011)

2.9.4 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. Coran 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 seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 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 trapesium karena dapat meminimalisir turubulensi 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 dituang dari *ladle* untuk mengisi riser setelah *casting* terisi. *Gate* yang memiliki tebal lebih dari setengah tebal dari coran atau kurang dari dua kali tebal coran akan dapat menyebabkan *hot spot* dan cacat

2.9.5 *Riser*

Riser mempunya 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).

2.9.6 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.
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
   Pemisahanan 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

2.10 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 tempratur
2. Komposisi solid yang memisahkan pertama kali berbeda dengan liquid
3. Terdapat lebih dari satu fasa solid yang memisahkan dari liquid

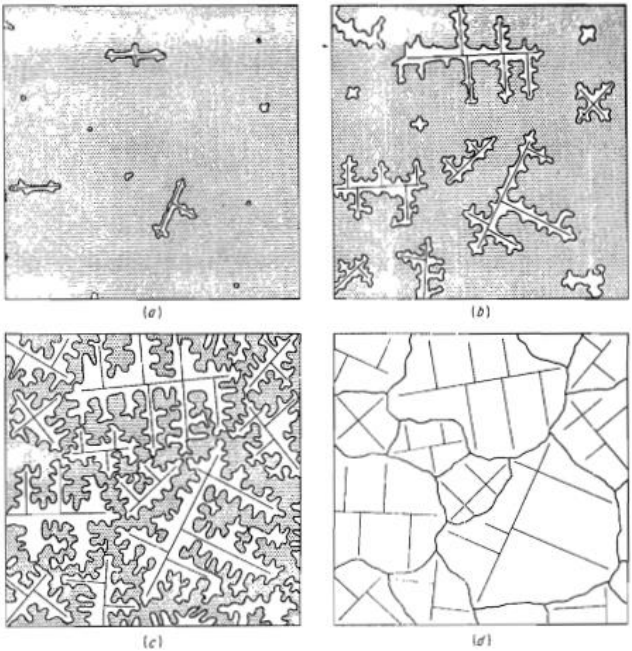
(American Foundrymen's Association, 1973)

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, tempraturnya relatif lebih tinggi sehingga atom memiliki energi yang banyak untuk bergerak.Pada gambar 2.8 merupakan mekaniskme pendinginan pada logam cair.Gambar 2.8 (a) merupakan awal dari pengintian logam cair, dimana mulai terjadi pengintian, dengan turunnya tempratur 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 2.8 (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. 8 (c) Struktur dendrit akan terus tumbuh ke segala arah, sehingga cabang /ranting dendrit hampir bersentuhan dan sisa liqid

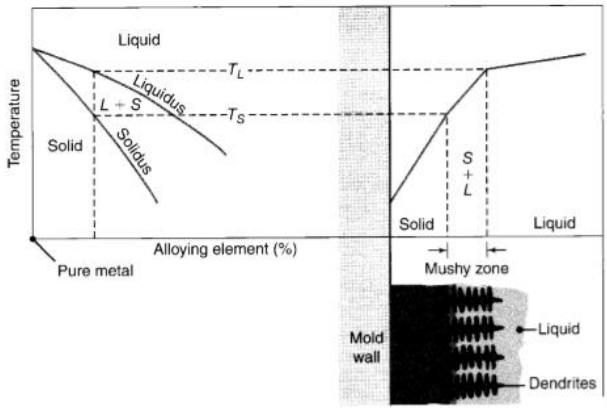
yang terakhir akan membeku di sela-sela dendrit. Gambar 2. 8 (d) Setelah logam cair seluruhnya membeku, terbentuk butir-butir sebagai akhir dari pembekuan (Avner, 1965).



Gambar 2.8 (a) Nukleasi.(b) Pembentukan dendrit.(c) Pertumbuhan dendrit.(d) Butir hasil akhir pembekuan.

Solidifikasi dimulai ketika tempratur turun sampai dibawah tempratur *liquidus*, dan berakhir ketika sampai pada tempratur *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

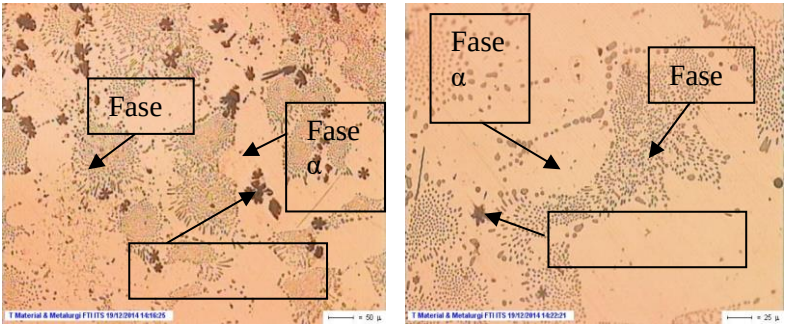
bermula dengan pembentukan banyak inti pada dinding cetakan, kemudian pertumbuhan butir pada daerah dekat dinding cetakan terhenti karena logam cair yang pertama kali membeku tersebut sangat rendah komposisi paduan. Proses tersebut terjadi berulang-ulang sampai semua inti pada logam cair di cetekan telah tumbuh (American Foundrymen's Soiety, 1965). Dilihat pada gambar 2.10terlihat 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 pendinginannnya adalah nol. Tipe struktur yang berkembang setelah solidikasi bergantung pada komposisi eutektik. Pada paduan yang memiliki diagram fasa yang simetris, strukturnya biasanya lamellar, dengan dua atau lebih fasa solid terbentuk.



Gambar 2.9 Ilustrasi skema solidifikasi pada paduan dan distribusi tempratur pada pembekuan logam (Kalpakjian, 2009).

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

Brass. Struktur mikro pada brass atau kuningan terlihat pada gambar 2.11. Pada gambar tersebut merupakan struktur mikro Cu-34%Zn, dimana terbentuk fasa $Cu_{0,951}Zn_{0,049}$, 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 $Cu_{0,951}Zn_{0,049}$ mulai membentuk dendritik. (Gunawan, 2014)



Gambar 2. 10 Struktur mikro paduan kuningan

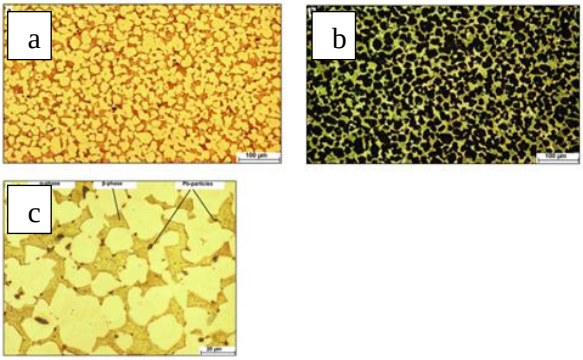
2.11 Kajian Penelitian Sebelumnya

2.11.1 Kajian Uji Metalografi Paduan Cu-Zn

Lalu pada penelitian Pantazopoulos, (2008) yang berjudul Karakterisasi Mikrostruktur Fasa α-ß 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 mikrotruktur 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

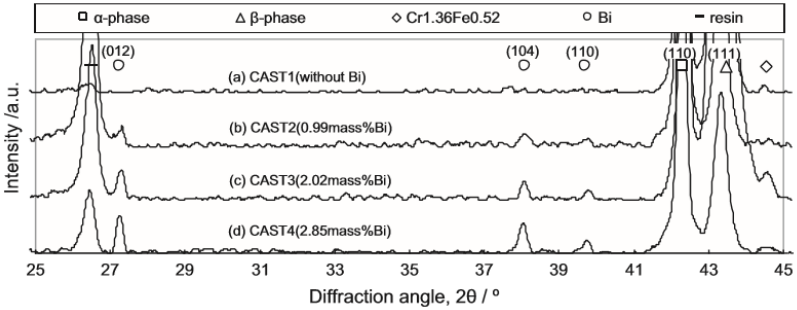
dikeringkan dengan udara panas. Untuk melihat struktur fasa, maka dilakukan perendaman *etching* dengan larutan klorida dengan melarutkan 8.3 gr $FeCl_3$ dalam 10 ml HCldan 90 ml H_20.Hasil dari uji metalografi ditunjukkan pada gambar 2.12



Gambar 2.11 Hasil uji metalografi material paduan Cu-Zn setelah dilakukan ekstursi; (a) gambar brightfield, (b) gambar darkfield, dan (c) gambar dari mikroskop cahaya

2.11.2 Kajian Uji XRD Paduan Cu-Zn

Pada penelitian Atsumi, Haruhiko (2011) yang berjudul tentang *High-strength, lead-free machinable α-ß duplex phase brass Cu-40Zn-Cr-Fe-Sn-Bi alloys*, terdapat pengujian XRD untuk mengetahui komposisi fasa yang terbentuk.Hasil uji XRD terhadap paduan coran ditunjukkan pada gambar 2.13.

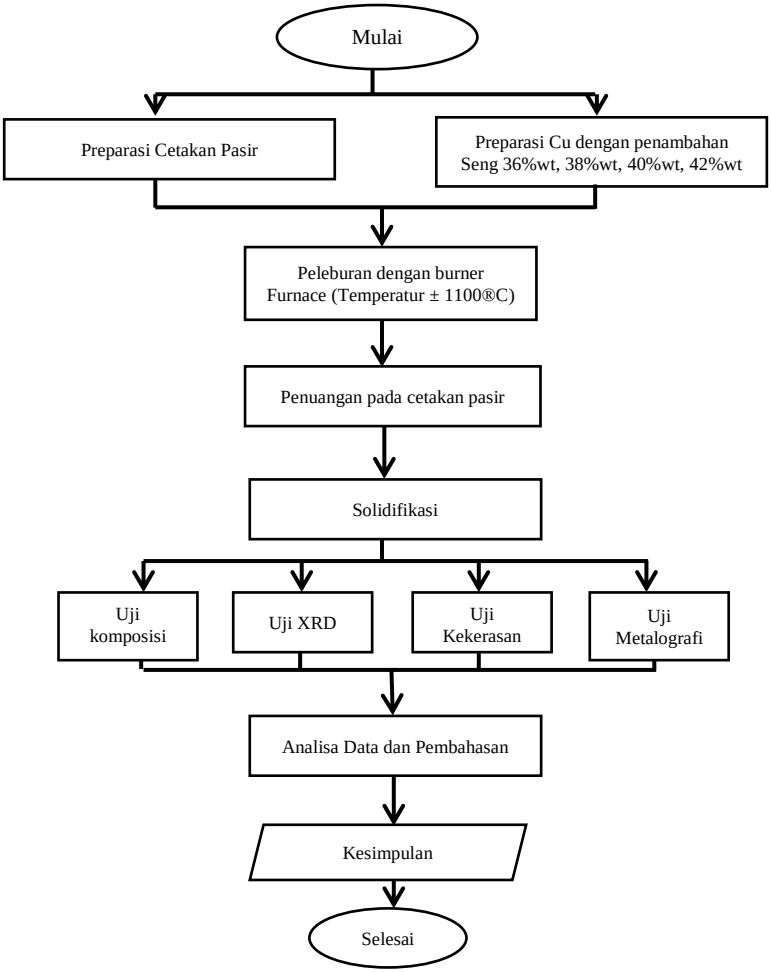


Gambar 2. 12 Hasil uji XRD pada coran ingot (a) tanpa Bi, (b) 0.99 % Bi, (c) 2.02 % Bi, dan (d) 2.85 %Bi

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

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir sesuai Gambar 3.1. Penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan. Kemudian dilanjutkan dengan merancang variasi penambahan Seng(Zn). Selanjutnya, logam dilebur. Logam cair dituang dalam cetakan dan didinginkan, setelah itu dilakukan pengujian XRD, OES, Metalografi, dan Uji Kekerasan. 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. Pasir silika (SiO2)
4. Silver
5. Pasir bentonit
6. 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

Gambar 3.4 Furnace

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 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 speseimen 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 OES

    Mesin OES yang digunakan adalah milik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.Digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia.

14. Mesin Uji XRD

    Mesin Uji XRD yang digunakan adalah milik laboratorium sentral fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam Universitas Negeri Malang.Digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi penambahan kadar unsur pemadu yaitu 36,38,40,42% Zn.

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 36,38,40,42%. Ketiga bahan disiapkan sebelum digunakan, yaitu tembaga, dan unsur seng 36,38,40,42%wt

1. Menimbang Tembaga, dan seng dengan variasi kadar pemadu 36,38,40 dan 42% Zn,

Tabel 3.1 Komposisi *raw material* input

No.	Paduan	Cu (gr)	Zn (gr)
1	Cu-36Zn	51.2	28.8
2	Cu-38Zn	49.6	30.4
3	Cu-40Zn	48	32
4	Cu-42Zn	46.4	33.6
5	Elektroda kuningan	-	-

2. Menyiapkan sistem burner, ditunjukkan pada gambar 3.7.

Gambar 3.7*burner*

3. Memasukkan logam ke dalam krusibel.
4. Memasukkan krusibel ke dalam *furnace* dan memanaskan hingga temperatur 1100°C selama ± 30 menit tanpa melakukan *holding*.

5. Membuka *furnace* dan mengaduk logam cair paduan Cu-Zn dengan menggunakan pengaduk selama beberapa saat.
6. Menuangkan cairan paduan ke dalam cetakan yang telah disiapkan
7. Mendinginkan paduan yang masih cair di dalam cetakan.
8. Mengeluarkan paduan yang telah padat dari dalam cetakan.

3.4.2 Preparasi Cetakan

Cetakan yang digunakan dalam penelitian terbuat dari pasir silika dan *bentonite*sebagai perekat.

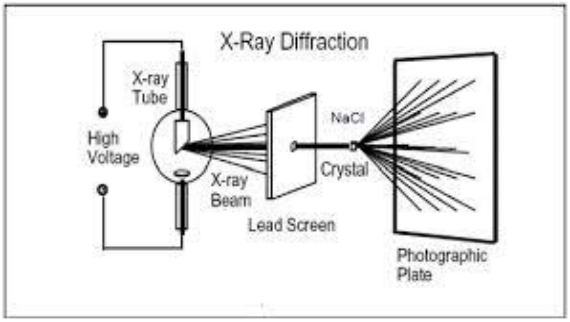
1. Menyiapkan pasir silika, *bentonite*, dan air
2. Menimbang pasir silika dan *bentonite* dengan komposisi 91% pasir silika dan 9% *bentonite*
3. Memasukan pasir silika dan *bentonite* ke dalam wadah dan mengaduknya secara merata dengan menambahkan air secara bertahap
4. Menyiapkan *flask* danpola benda
5. Membuat cetakan

3.4.3 Proses Pengujian

3.4.3.1 Pengujian XRD (X-ray Difraction)

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 sentral fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam Universitas Negeri Malang.Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD.

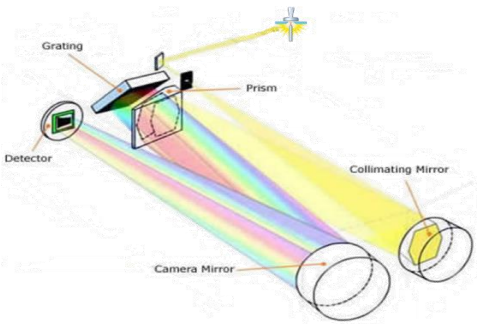


Gambar 3.8 Prinsip kerja pengujian XRD

3.4.3.2 Pengujjian 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 terntenti 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).

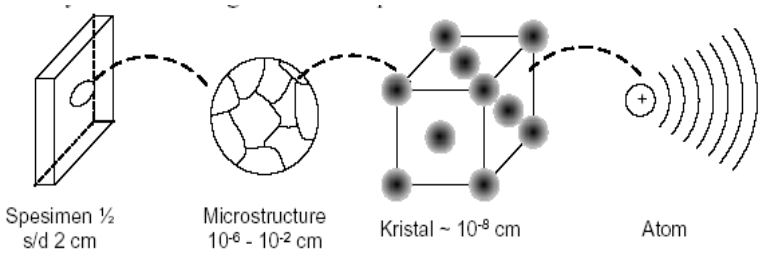


Gambar 3.9 Prinsip pengujian OES

3.4.3.3 Pengujian Kekerasan (Hardness Test)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan.Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E92 dengan menggunakan metode vicker. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A (lihat gambar 3.5) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS.Beban yang diberikan sebesar 60 kgf dan waktu pembebanan selama 10 s.Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 4 kali indentasi.

Gambar 3.10 Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A



Gambar 3.11 Daerah lingkup ukuran mikro struktur

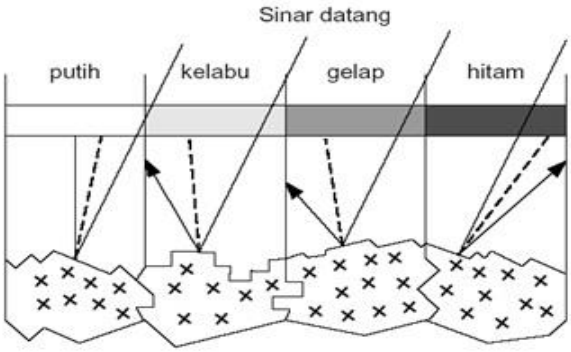
3.4.3.4 Pengujian Metalografi

Metalografimerupakan 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 Alursinar pada pengamatan metalografi

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		Pengujian			
Cu (wt%)	Zn (wt%)	Uji XRD	Uji Kekerasan	Uji Metalografi	Uji EOS
64	36	V	V	V	V
62	38				
60	40				
58	42				

Tabel 3.3 Rencana Kegiatan Penelitian

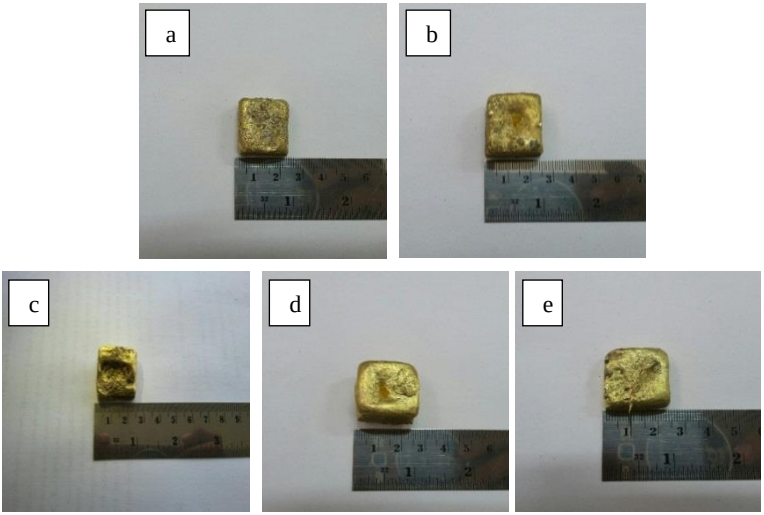
No	Kegiatan	Minggu ke-															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Studi literatur																
2	Preparasi Cu																
3	Preparasi 36,38,40,42 %Zn																
4	Preparasi Cetakan pasir																
5	Peleburan dalam furnace hingga temperatur 1100^0C tanpa holding																
6	Uji OES																
7	Uji Kekerasaan																
8	Uji XRD																
9	Uji Metalografi																
10	Analisa Data dan pemahasan																
11	Kesimpulan																

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengecoran Paduan Cu-Zn

Proses pengecoran pada penelitian ini menggunakan bahan baku tembaga dengan kadar kemurnian 99,9%wt dan seng yang berbentuk *zinc anode* dengan kadar kemurnian 99,9%wt.Setelah proses pengecoran didapatkan hasil coran paduan Cu-Zn seperti pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 menunjukkan foto hasil coran paduan Cu-Zn.. Gambar 4.1 (a) adalah paduan Cu dengan penambahan seng 36wt%. Paduan Cu36Zn berwarna kuning dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Gambar 4.1 (b) adalah paduan Cu dengan penambahan seng 38wt%. Paduan Cu38Zn berwarna kuning dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Gambar 4.1(c) adalah paduan Cu dengan penambahan seng 40wt%. Paduan Cu40Zn berwarna kuning dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Gambar 4.1 (d) adalah paduan Cu dengan penambahan seng 42wt%Paduan Cu32Zn berwarna kuning dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Gambar 4.1 (e) adalah hasil cor elektroda kuningan. Elektroda hasil coran berwarna kuning dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Setiap paduan Cu-Zn dihasilkan melalui proses peleburan di dalam krusibel *furmace*. *Raw material* paduan dipanaskan di dalam krusibel *furnace* selama ± 35 menit hingga melelehkan logam. Setelah paduan meleleh secara sempurna, paduan cair diaduk agarkomposisinya tercampur secara merata. Setelah diaduk,paduan cair dituang kedalam cetakan. Proses solidifikasi dan pendinginan paduan terjadi di dalam cetakan.Hasil paduan yang telah mengalami pendinginan dalam cetakan mempunyai cekungan pada bagian tengah,karena paduan mengalami proses pembekuan pada bagian tepi,hal ini disebabkan lelehan paduan pada bagian tepi bersentuhan dengan cetakan sehingga mengalami proses pembekuan lebih cepat. Pembekuan pada lelehan bagian tepi menyebabkan penyusutan.sehingga bagian tengah paduan

bergerak ke arah tepi dan menyebabkan adanya cekungan*(shrinkage)*.



Gambar 4.1 Foto hasil coran paduan (a) Cu-36Zn, (b) Cu-38Zn, (c) Cu-40Zn (d) Cu-42Zn, (e) elektroda kuningan.

4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Zn

Setelah didapatkan hasil coran seperti pada gambar 4.1, kemudian dilakukan proses pengujian *Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Hal ini bertujuan untuk membandingkan antara komposisi rancangan yang dilakukan sebelum proses pengecoran dengan komposisi hasil coran paduan Cu-zn setelah proses pengecoran seperti pada tabel 4.1. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi paduan Cu-Zn. Paduan Cu36Zn memiliki rancangan berat total 100gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 64gr dengan 64%wt dan Zn sebesar 36gr dengan 36%wt. Hasil pengecoran paduan Cu36Zn memiliki berat total 91,69gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 64gr dengan 69,8%wt dan

Zn sebesar 27,69gr dengan 30,2%wt. Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 8,31gr. Paduan Cu38Zn memiliki rancangan berat total 100gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 62gr dengan 62%wt dan Zn sebesar 38gr dengan 38%wt. Hasil pengecoran paduan Cu38Zn memiliki berat total 90,11gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 62gr dengan 68,8%wt dan Zn sebesar 28,11 dengan 31,2%wt. Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 9,89gr. Paduan Cu40Zn memiliki rancangan berat total 100gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 60gr dengan 60%wt dan Zn sebesar 40gr dengan 40%wt. Hasil pengecoran paduan Cu40Zn memiliki berat total 98,4gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 60gr dengan 60,7%wt dan Zn sebesar 38,84gr dengan 39,3%wt. Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 1,16gr. Paduan Cu42Zn memiliki rancangan berat total 100gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 58gr dengan 58%wt dan Zn sebesar 42gr dengan 42%wt. Hasil pengecoran paduan Cu42Zn memiliki berat total 97,31gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar58gr dengan 59,6%wt dan Zn sebesar 39,31gr dengan 40,4%wt. Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 2,69gr. Elektroda kuningan memiliki rancangan berat total 100gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar57-61gr dengan 57-61%wt dan Zn sebesar 39-43gr dengan 39-43%wt. Hasil pengecoran paduan Cu36Zn memiliki berat total 89,76gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 57gr dengan 63,5%wt dan Zn sebesar 32,76gr dengan 36,5%wt.Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 6,24-7,94gr.

Tabel 4.1 Komposisi kimia paduan Cu-Zn

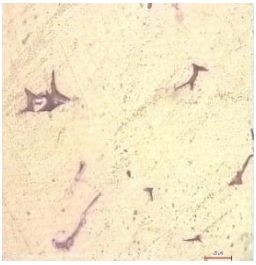
Material	Komposisi Rancangan					Komposisi Hasil Pengecoran					Zn Loss (gr)
	Cu (gr)	Cu (%wt)	Zn (gr)	Zn (%wt)	Berat total (gr)	Cu (gr)	Cu (%wt)	Zn (gr)	Zn (%wt)	Berat Total (gr)	
Cu36Zn	64	64	36	36	100	64	69,8	27,69	30,2	91,69	8.31
Cu38Zn	62	62	38	38	100	62	68,8	28,11	31,2	90,11	9,89
Cu40Zn	60	60	40	40	100	60	60,7	38,84	39,3	98,4	1,16
Cu42Zn	58	58	42	42	100	58	59,6	39,31	40,4	97,31	2,69
Kumingan elektroda	57-61	57-61	39-43	39-43	100	57-61	63,5	32,76-35,06	36,5	89,76-96,06	6,24-7,94

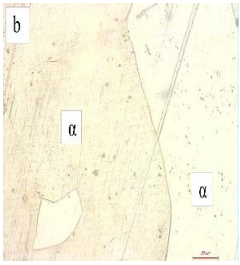
Pada proses pengecoran,terjadinya pengurangan komposisi Zn disebabkan karena perbedaan yang sangat besar antara titik didih Zn yaitu:906^0C dengan titik lebur Cu yaitu:1100^0C. Hal ini menyebabkan unsur seng pada paduan ini mengalami proses penguapan.

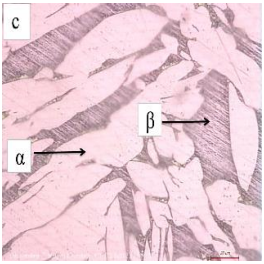
4.3 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn

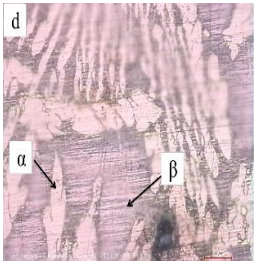
Pengujian Metalografi dilakukan di Laboratorium Metalurgi menggunakan Olympus BX. Hasil pengamatan struktur mikro pada paduan Cu-Zn dapat dilihat pada gambar 4.2 di bawah ini. Pada gambar 4.2 (a) struktur mikro paduan Cu-36Zn,hasil coran dengan presentase seng 30%wt berada pada fasa sepenuhnya α . Gambar 4.2 (b) struktur mikro paduan Cu-38Zn, hasil coran dengan presentase seng 31%wt berada pada fasa sepenuhnya α. Gambar 4.2 (c) struktur mikro paduan Cu40Zn, hasil coran dengan presentase seng 39%wt berada pada fasa α dan β.Fasa α pada struktur mikro berwarna terang,dan fasa β pada struktur mikro berwarna gelap. Fasa α pada gambar 4.2 (C)mempunyai butiran kasar. Fasa β pada gambar 4.2(c) mempunyai luasan yang lebih

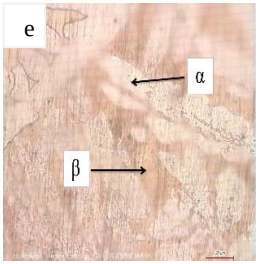
sedikit dibandingkan gambar 4.2(d) tetapi memiliki luasan yang lebih banyak dibandingkan gambar 4.2(e).Gambar 4.2 (d) struktur mikro paduan Cu-42Zn, hasil coran dengan presentase seng 40%wt berada pada fasa α dan β.Fasa α pada struktur mikro berwarna terang. Fasa beta pada struktur mikro berwarna gelap. Fasa α pada gambar 4.2(d)mempunyai butiran halus. Fasa β pada gambar 4.2(d) mempunyai luasan yang paling banyak dibandingkan gambar 4.2(d) dan 4.2(e).Gambar 4.2 (e) Struktur mikro elektroda kuningan, berada pada fasa α dan β. Fasa α pada struktur mikro berwarna terang. Fasa β pada struktur mikro berwarna gelap. Fasa α pada gambar 4.2(e)mempunyai butiran medium. Fasa β pada gambar 4.2(e) mempunyai luasan yang paling sedikit dibandingkan gambar 4.2(c) dan 4.2(d). pada daerah α dan beta(α+β). Daerah berwarna terang merupakan alpha(α) sedangkan daerah berwarna gelap merupakan daerah beta(β) (American Foundrymen's Society,1965).











Gambar 4.2 Struktur mikro paduan (a) Cu-36Zn, (b) Cu-38Zn, (c) Cu-40Zn, (d) Cu-42Zn, dan (e)elektroda kuningan, dengan perbesaran 20x

Tabel 4.2%Luas area β pada paduan CuZn

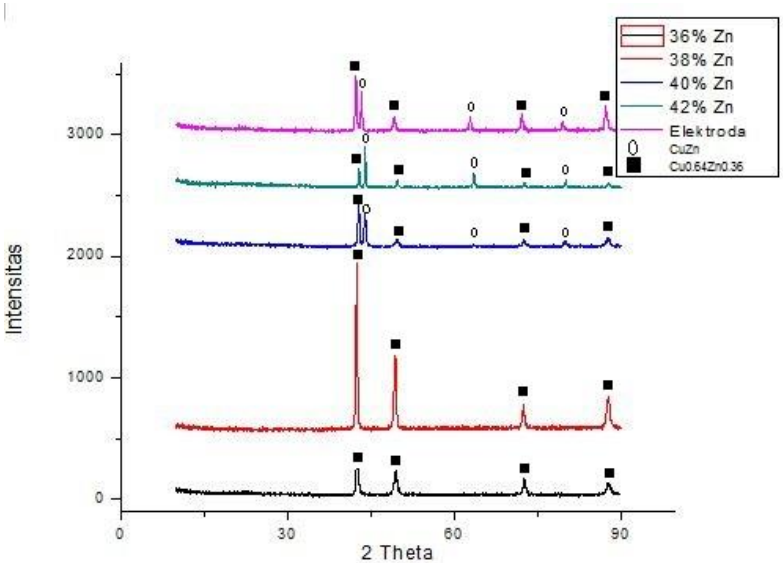
Paduan	%Luas area α	% Luas area β
Cu36Zn	100	-
Cu38Zn	100	-
Cu40Zn	45.6	54.4
Cu42Zn	34.4	65.6
Elektroda kuningan	51.6	48.4

Tabel 4.2 menunjukkan %luas area α dan β.Paduan Cu36Zn memiliki luas area α 100%.Pada proses pengecoran paduan ini memiliki presentase Zn sebesar30.2%wt,menyebabkan paduan Cu36Zn berada pada fasa α.pada fasa α unsur Zn terlarut dalam fasa tersebut. Paduan Cu38Zn memiliki luas area α 100%.Pada proses pengecoran paduan ini memiliki presentase Zn sebesar 31.2%wt,menyebabkan paduan Cu38Zn berada pada fasa α.pada fasa α unsur Zn terlarut dalam fasa tersebut. Paduan Cu40Zn memiliki luas area α 45.6% dan β 54.4%. Pada proses pengecoran paduan ini memiliki presentase Zn sebesar 39.3%wt,menyebabkan paduan Cu40Zn berada pada fasa α dan β.Pada fasa α unsur Zn terlarut dalam fasa tersebut,serta membentuk fasa β. Paduan Cu42Zn memiliki luas area α 34.4% dan β 65.6%. Pada proses pengecoran paduan ini memiliki presentase Zn sebesar 40.4%wt,menyebabkan paduan Cu42Zn berada pada fasa α dan β. Pada fasa α unsur Zn terlarut dalam fasa tersebut,serta membentuk fasa β. Paduan elektroda memiliki luas area α 51.6.% dan β 48.4%. Pada proses pengecoran paduan ini

memiliki presentase Zn sebesar 36.6%wt, menyebabkan paduan elektroda berada pada fasa α dan β. Pada fasa α unsur Zn terlarut dalam fasa tersebut,serta membentuk fasa β. Kelarutan maksimum Zn pada fasa α sebesar 32%. Kelebihan Zn pada fasa tersebut akan membentuk fase β.Jumlah β akan meningkat seiring dengan meningkatnya unsur seng hingga 46.5%wt(American Foundrymen's Society, 1965).

4.4 Pengamatan Pola XRD Paduan Cu-Zn

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan yang sudah terbentuk selama proses solidifikasi. Pengujian tersebut menghasilkan *peak* hasil XRD seperti pada gambar 4.4. Gambar 4.4 menunjukkan Pola XRD paduan Cu-Zn. Pada paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 36%wt, *peak* terdapat pada 2θ 42. 7062, 49. 5432, 72. 5434, 87. 6484 dengan fasa seluruhnya Cu0.64Zn0.36. Pada paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 38%wt,*peak* terdapat pada 2θ 42. 5230, 49. 4794, 72. 5458, 87. 7071 dengan fasa seluruhnya Cu0.64Zn0.36. Pada paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 40%wt, *peak* terdapat pada 2θ 42.8930, 49.7233, 72.5440, 87.7457 dengan fasa Cu0.64Zn0.36 dan pada 2θ 44.0180, 63.5063, 80.0681 dengan fasa CuZn. Pada paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 42%wt, *peak* terdapat pada 2θ 42.8629, 49.8248, 72.6740, 87.8147 dengan fasa Cu064Zn0.36 dan pada 2θ 44.0229, 63.6089, 80.0499 dengan fasa CuZn. Pada paduan elektroda kuningan terdapat pada 2θ 42.324, 49.200, 72.177, 87.279 dengan fasa Cu0.64Zn0.36 dan pada 2θ 43.342, 62.866, 79.484 dengan fasa CuZn. Data hasil XRD yang meliputi fasa,peak dan HKL ditunjukkan pada tabel 4.3.



Gambar 4.3 Pola XRD paduan Cu-Zn

Tabel 4.3 Data hasil XRD paduan Cu-Zn

Paduan	Peak	HKL	Fasa
Cu36Zn	42. 7062	1 1 1	Cu0.64Zn0.36
	49. 5432	2 0 0	Cu0.64Zn0.36
	72. 5434	2 2 0	Cu0.64Zn0.36
	87. 6484	3 1 1	Cu0.64Zn0.36
Cu38Zn	42. 5230	1 1 1	Cu0.64Zn0.36
	49. 4794	2 0 0	Cu0.64Zn0.36
	72. 5458	2 2 0	Cu0.64Zn0.36
	87. 7071	3 1 1	Cu0.64Zn0.36
Cu40Zn	42. 8930	1 1 1	Cu0.64Zn0.36
	49.7233	2 0 0	Cu0.64Zn0.36
	72.5440	2 2 0	Cu0.64Zn0.36
	87.7457	3 1 1	Cu0.64Zn0.36
	44.0180	1 0 0	CuZn
	63.5063	1 1 0	CuZn
	80.0681	1 1 1	CuZn
Cu42Zn	42.8629	1 1 1	Cu0.64Zn0.36
	49.8248	2 0 0	Cu0.64Zn0.36
	72.6740	2 2 0	Cu0.64Zn0.36
	87.8147	3 1 1	Cu0.64Zn0.36
	44.0229	1 0 0	CuZn
	63.6089	1 1 0	CuZn
	80.0499	1 1 1	CuZn
Elektroda Kuningan	42.324	1 1 1	Cu0.64Zn0.36
	49.200	2 0 0	Cu0.64Zn0.36
	72.177	2 2 0	Cu0.64Zn0.36
	87.279	3 1 1	Cu0.64Zn0.36
	43.342	1 0 0	CuZn
	62.866	1 1 0	CuZn
	79.484	1 1 1	CuZn

4.5Pengujian Kekerasan Paduan Cu-Zn

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi menggunakan*Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari hasil coran paduan Cu-Zn seperti pada tabel 4.4. Tabel 4.4 menunjukkan nilai kekerasan paduan Cu-Zn. Paduan Cu36Zn mempunyai nilai kekerasan 55,63 HRV. Nilai kekerasan paduan Cu36Zn dipengaruhi oleh besarnya presentase unsur Zn yang larut dalam fase α. Paduan Cu38Zn mempunyai nilai kekerasan 60,62 HRV. Nilai kekerasan paduan Cu38Zn dipengaruhi oleh besarnya presentase unsur Zn yang larut dalam fase α. Paduan Cu-40Zn mempunyai nilai kekerasan sebesar 103 HRV. Nilai kekerasan paduan Cu40Zn dipengaruhi olehbesarnya presentase Zn yang larut dalam fase α dan yang membentuk fase β . Paduan Cu42Zn mempunyainilai kekerasan 106,75 HRV. Nilai kekerasan paduan Cu42Zn dipengaruhi oleh besarnya presentase Zn yang larut dalam fase α dan yang membentuk fase β . Paduan elektroda mempunyai nilai kekerasan sebesar 98,30 HRV. Nilai kekerasan paduan elektroda dipengaruhi oleh besarnya presentase Zn yang larut dalam fase α dan yang membentuk fase β .

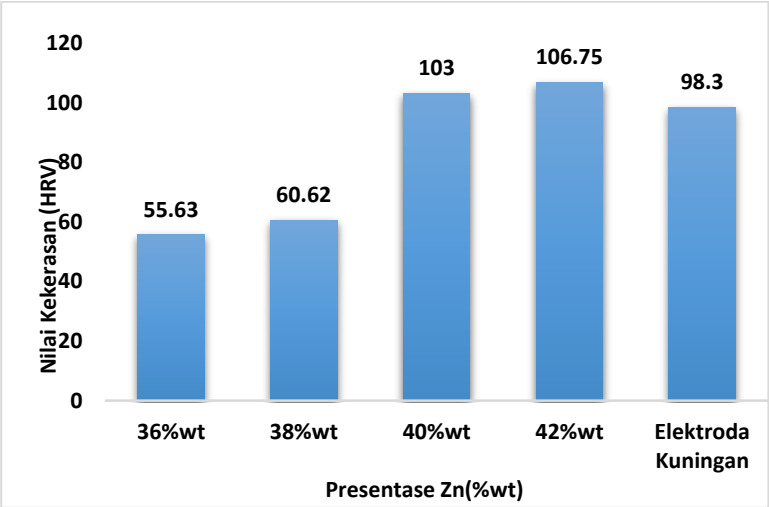
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Paduan Cu-Zn

Paduan	**Kekerasan rata-rata (HRV)**
Cu-36Zn	55.63
Cu-38Zn	60.62
Cu-40Zn	103
Cu-42Zn	106.75
Elektroda Kuningan	98.30

Gambar 4.3 menunjukkan grafik nilai kekerasan terhadap presentase Zn(%wt). Paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 38%wt memiliki jumlah unsur Zn terlarut pada fase α lebih banyak

dibandingkan paduan Cu-Zn dengan unsur Zn36%wt,sehingga mengalami kenaikan nilai kekerasan. Paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 40%wt mempunyai unsur Zn yang membentuk fasa β dan memiliki jumlah unsur Zn terlarut pada fase α lebih banyak dibandingkan paduan Cu-Zn dengan unsur Zn38%wt, sehingga mengalami kenaikan nilai kekerasan. Paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 42%wt memiliki jumlah unsur Zn pembentuk fase β lebih banyak dibandingkan paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 40%wt, sehingga mengalami kenaikan nilai kekerasan.

Paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 42%wt dan paduan Cu-Zn dengan unsur Zn 40%wt memiliki jumlah unsur Zn pembentuk fase β lebih banyak dibandingkan paduan elektroda,sehingga mengalami kenaikan nilai kekerasan. Matriks yang berisi banyak fase ß ini memiliki kekuatan yang sangat tinggi.(Sadayappan, 2004).



Gambar 4.4 Grafik nilai kekerasan terhadap presentase Zn(%wt)

(halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Penambahan unsur seng(Zn) pada paduan Cu-Zn meningkatkan presentase Zn terlarut pada fasa alpha(α) dan memicu pembentukan fasa beta (β).
2. Penambahan unsur seng(Zn) pada paduan Cu-Zn meningkatkan sifat kekerasan dengan jumlah terlarut unsur seng pada fasa alpha (α) dan terbentuknya fase beta (β).
3. Penambahan unsur seng (Zn) pada elektroda akan meningkatkan sifat kekerasannya.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Penggunaan *burner* tidak disarankan karena kenaikan pemanasan pada saat peleburan tidak dapat terkontrol dengan baik.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

_. 1992. **ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram**.The Materials Information Society

___.1965.***Copper-Base Alloys Foundry Practice*.** Des Plaines:.American Foundrymen's Society

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

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

Banga, T. 1981. ***Foundry Engineering.*** New Delhi: Khanna Publisher.

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

Chastain, S.D. 2004. ***Metal Casting: A Sand Casting Manual For the Small Foundry* Vol. II.** USA: Chastain Publisher

Flemings, Merton C. 1974. **Solidification Processing.** USA: McGraw-HilI, Inc.

Heine. R. W. 1967.***Principles of Metal Casting*.** New York: McGraw-Hill

Hutahaean, Gunawan dan Ardhyananta, 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

Avner, Sidney H. 1974. ***Introduction to Physical Metallurgy.*** New York: McGraw-Hill International Book Company

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

Beeley, Peeter. 2001. ***Foundry Technology Second Edition*.** Oxford: Butterworth-Heinemann

Konečná, Radomila dan Fintová, Stanislava. 2012. ***Copper and Copper Alloys: Casting, Classification and Characteristic Microstructures.***University of Žilina

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

Groover, M. 2010.***Fundamental of Modern Manufacture 4th edition*.** USA: John Wiley & Sons, Inc

Davis, J.R., 2001. ***Understanding the Basic Alloying*.** ASM International.United States of America.

Collini, Luca. (2012). **Copper Alloys - Early Applications and Current Performance - Enhancing Processes**. InTech

LAMPIRAN

Dokumentasi Kegiatan

Hasil Pengujian OES

Paduan Cu36Zn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	5	Material :	Cu-Zn
Customer :	Sdr. Yusuf B (T.MATERIAL)	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ WAHYUDI
Date:	30/12/2016		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	69.2	30.3	0.0086	0.0319	0.0017	0.0073	0.184	0.0305
2	69.5	30.1	0.0095	0.0135	0.0016	0.0113	0.185	0.0239
3	69.5	30.2	0.0088	0.0135	< 0.0001	0.0072	0.132	0.0198
Ave	69.4	30.2	0.0090	0.0196	0.0011	0.0086	0.167	0.0247

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	0.0017	0.0103	0.0630	< 0.0001	0.0020	0.0109	0.0024
2	< 0.0003	0.0012	0.0060	0.0689	< 0.0001	0.0020	0.0143	0.0020
3	< 0.0003	0.0013	0.0028	0.0680	< 0.0001	0.0031	0.0122	0.0021
Ave	< 0.0003	0.0014	0.0064	0.0666	< 0.0001	0.0024	0.0125	0.0021

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	0.0008	0.0002	< 0.0005	0.0003
2	< 0.0005	0.0002	< 0.0005	0.0012
3	< 0.0005	< 0.0002	0.0105	0.0006
Ave	< 0.0005	0.0002	0.0035	0.0007

Paduan Cu38Zn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	3	Material :	Cu-Zn
Customer :	Sdr. Yusuf B (T.MATERIAL)	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ WAHYUDI
Date:	28/12/2016		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	68.7	31.1	0.0069	0.0102	0.0010	0.0062	0.0021	0.0116
2	68.6	31.2	0.0072	0.0125	0.0002	0.0046	0.0015	0.0122
3	68.6	31.3	0.0066	0.0075	0.0005	0.0010	< 0.0005	0.0104
Ave	68.6	31.2	0.0069	0.0101	0.0006	0.0039	0.0012	0.0114

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	0.0024	< 0.0005	0.0425	< 0.0001	0.0029	0.0061	0.0040
2	< 0.0003	0.0011	< 0.0005	0.0335	< 0.0001	0.0020	0.0079	0.0024
3	< 0.0003	0.0005	< 0.0005	0.0277	< 0.0001	0.0011	0.0062	< 0.0010
Ave	< 0.0003	0.0013	< 0.0005	0.0346	< 0.0001	0.0020	0.0067	0.0021

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	0.0036	0.0006	0.0079	0.0014
2	< 0.0005	0.0005	0.0103	0.0003
3	0.0017	0.0004	0.0030	< 0.0002
Ave	0.0017	0.0005	0.0071	0.0006

Paduan Cu40Zn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	1	Material :	Cu-Zn
Customer :	Sdr. Yusuf B (T.MATERIAL)	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ WAHYUDI
Date:	28/12/2016		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	60.0	39.7	0.0079	0.0631	0.0015	0.0007	0.0283	0.0104
2	60.4	39.4	0.0074	0.0164	0.0002	< 0.0002	0.0200	0.0096
3	60.9	38.8	0.0081	0.0210	0.0009	0.0007	0.0185	0.0090
Ave	60.4	39.3	0.0078	0.0335	0.0009	0.0005	0.0223	0.0097

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	0.0009	< 0.0005	0.0733	< 0.0001	0.0034	0.0113	0.0015
2	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	0.0720	< 0.0001	0.0028	0.0102	< 0.0010
3	< 0.0003	0.0005	< 0.0005	0.0745	< 0.0001	0.0030	0.0093	0.0015
Ave	< 0.0003	0.0006	< 0.0005	0.0733	< 0.0001	0.0031	0.0103	0.0011

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	< 0.0005	0.0033	< 0.0005	< 0.0002
2	< 0.0005	0.0037	0.0028	< 0.0002
3	< 0.0005	0.0037	0.0025	< 0.0002
Ave	< 0.0005	0.0036	0.0018	< 0.0002

Paduan Cu42Zn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	2	Material :	Cu-Zn
Customer :	Sdr. Yusuf B (T.MATERIAL)	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	M. Thoriq Wahyudi
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	
Date:	28/12/2016		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	59.4	40.4	0.0079	0.0044	0.0009	< 0.0002	< 0.0005	0.0092
2	59.5	40.3	0.0083	0.0035	0.0012	< 0.0002	< 0.0005	0.0083
3	59.1	40.6	0.0074	0.0061	0.0024	0.0015	< 0.0005	0.0083
Ave	59.3	40.4	0.0079	0.0047	0.0015	0.0005	< 0.0005	0.0086

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	0.0769	< 0.0001	0.0039	0.0103	0.0010
2	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	0.0752	< 0.0001	0.0037	0.0095	< 0.0010
3	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	0.0752	< 0.0001	0.0039	0.0118	< 0.0010
Ave	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	0.0758	< 0.0001	0.0039	0.0105	< 0.0010

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	< 0.0005	0.0028	0.0026	< 0.0002
2	< 0.0005	0.0030	0.0084	< 0.0002
3	< 0.0005	0.0033	0.0119	< 0.0002
Ave	< 0.0005	0.0031	0.0076	< 0.0002

Kuningan Elektroda

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	4	Material :	Cu-Zn
Customer :	Sdr. Yusuf B (T.MATERIAL)	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ WAHYUDI
Date:	28/12/2016		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	62.1	36.6	0.0197	0.977	0.0037	0.0005	0.0139	0.0201
2	62.0	36.6	0.0199	1.05	0.0072	< 0.0002	0.0136	0.0212
3	62.2	36.4	0.0198	0.976	0.0041	0.0009	0.0136	0.0201
Ave	62.1	36.5	0.0198	1.00	0.0050	0.0004	0.0137	0.0205

	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	0.179	0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0001	< 0.0002	0.0115	0.0013
2	0.180	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0001	0.0010	0.0104	0.0012
3	0.168	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0001	0.0037	0.0107	0.0010
Ave	0.176	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0001	0.0015	0.0108	0.0012

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	< 0.0005	< 0.0002	0.0046	< 0.0002
2	0.0018	< 0.0002	0.0153	< 0.0002
3	< 0.0005	< 0.0002	< 0.0005	< 0.0002
Ave	0.0006	< 0.0002	0.0066	< 0.0002

PDF Card

00-050-1333 α-Brass

Name and formula

Reference code:	00-050-1333
Compound name:	Copper Zinc
Common name:	α-brass
Empirical formula:	$Cu_{0.64}Zn_{0.36}$
Chemical formula:	$Cu_{0.64}Zn_{0.36}$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3.6961
b (Å):	3.6961
c (Å):	3.6961
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	8.44
Measured density (g/cm^3):	8.43
Volume of cell (10^6 pm^3):	50.49
Z:	4.00
RIR:	-

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.13370	42.325	100.0
2	2	0	0	1.84780	49.275	38.0
3	2	2	0	1.30670	72.243	17.0
4	3	1	1	1.11440	87.454	15.0
5	2	2	2	1.06700	92.428	5.0
6	4	0	0	0.92390	112.971	2.0
7	3	3	1	0.84800	130.563	6.0
8	4	2	0	0.82660	137.463	6.0

00-002-1231 β-Brass

Name and formula

Reference code:	00-002-1231
Mineral name:	Zhanghengite, syn
Compound name:	Copper Zinc
Common name:	β-brass
Empirical formula:	CuZn
Chemical formula:	CuZn

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Pm-3m
Space group number:	221
a (A):	2.9480
b (A):	2.9480
c (A):	2.9480
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10^6 pm^3):	25.62
Z:	1.00
RIR:	-

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetalic Common Phase Inorganic Mineral
Quality:	Indexed (I)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	2.95000	30.273	6.0
2	1	1	0	2.08000	43.473	100.0
3	1	1	1	1.70200	53.819	1.0
4	2	0	0	1.47400	63.013	15.0
5	2	1	0	1.31900	71.465	2.0
6	2	1	1	1.20300	79.691	29.0
7	2	2	0	1.04200	95.335	5.0
8	3	0	0	0.98300	103.187	1.0
9	3	1	0	0.93200	111.482	8.0
10	3	1	1	0.88900	120.104	1.0
11	2	2	2	0.85100	129.692	5.0
12	3	2	1	0.78800	155.666	3.0
13	4	0	0	0.73800		4.0

BIOGRAFI PENULIS

Muhamad Yusuf Baihaqi, dilahirkan di Surakarta pada 10 Juli 1993. Penulis merupakan anak ke-4 dari 4 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Al Islam 2 Surakarta, Pondok Modern Darussalam Gontor, Ponorogo, SMA Pondok Pesantren Muhammadiyah Imam Syuhodo Sukoharjo, dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengambil jurusan Teknik Material dan Metalurgi pada tahun 2012.

Penulis aktif di berbagai organisasi mulai dari sekolah dasar hingga ke perguruan tinggi.Mulai dari kegiatan kepramukaan, keolahragaan, hingga social. Di perguruan tinggi penulis berkesempatan menjadi Kepala Divisi Teknis Unit Kerja Kusus Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi.

Selain aktif dalam bidang organisasi, penulis juga memiliki berbagai prestasi. Segala kritik dan saran silahkan kirim melalui email ke yusufbaihaqi1993@gmail.com.