



TUGAS AKHIR TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN SENG (Zn) TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN
TEMBAGA-SENG MELALUI PROSES PENGECORAN**

GUNAWAN P.S. HUTAHAEAN
NRP. 2711 100 060

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyana, ST, M.Sc

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT TL141584

**EFFECT OF ZINC (Zn) ADDITION ON HARDNESS AND
MICROSTRUCTURE OF COPPER-ZINC ALLOY BY
CASTING PROCESS**

**GUNAWAN P.S.HUTAHAEAN
NRP. 2711 100 060**

**Advisor
Dr. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc**

**Material and Metallurgical Engineering Dept.
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn) Melalui Proses Pengecoran

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

**Gunawan P.S. Hutahaean
NRP 2711 100 060**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. (Pembimbing)

**SURABAYA
Januari 2015**

**PENGARUH PENAMBAHAN SENG (Zn) TERHADAP
SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN
TEMBAGA-SENG (Cu-Zn) MELALUI PROSES
PENGECORAN**

Nama : Gunawan P.S. Hutahaean
NRP : 2710 100 060
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.

Abstrak

Tembaga banyak digunakan di industri. Tembaga memiliki kekuatan tarik yang tinggi hingga 390 Mpa (N/mm²). Tembaga memiliki sifat termal dan konduktivitas listrik yang baik, mudah ditempa, dapat di daur ulang, dan tahan korosi. Seng merupakan salah satu logam yang dapat dipadukan dengan tembaga. Seng banyak digunakan untuk coating anoda, memproteksi baja dari korosi, dan pengecoran. Paduan tembaga dan seng adalah kuningan (Cu-Zn). Material kuningan memiliki sifat tahan korosi, kekuatan tinggi, kemampuan mesin yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan seng terhadap kekerasan dan struktur mikro paduan tembaga-seng dengan variasi penambahan seng sebesar 32, 34, 36, dan 38 persen berat (%b) . Pengecoran dilakukan dengan meleburkan logam dalam tungku gas pada temperatur 1100°C dan waktu penahanan 1 jam. Setelah itu logam cair didinginkan di dalam tungku gas. Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektroskopi dispersi energi sinar-X (EDS/EDX), difraksi sinar-X (XRD), pengujian sifat kekerasan, dan metalografi. Sifat kekerasan paduan Cu-Zn menunjukkan peningkatan seiring penambahan Seng. Pengamatan metalografi menunjukkan struktur mikro fasa alfa dan beta. Semakin bertambahnya seng maka ukuran butir alfa akan mengalami penurunan.

Kata kunci: Tembaga, Seng, Pengecoran, Sifat kekerasan, Struktur mikro.

EFFECT OF ZINC (Zn) ADDITION ON HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF COPPER-ZINC ALLOY BY CASTING PROCESS

Name : Gunawan P.S. Hutahaean
NRP : 2710 100 060
Department : Material and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.

Abstract

Copper is widely used in industrial. Tensile strength of copper is up to 390 Mpa (N/mm²). Copper have good thermal behavior and electrical conductivity, easy to machining, recycleable, and has good corrosion resistance. Zinc is one of that mostly used as alloy of copper. According to its application, zinc is generally used for anoda coating to protect steel from corrosion attack, and casting. The blend of copper and zinc produce brass metal (Cu-Zn). The properties of brass are good corrosion resistance, high strength, and good machineability. This research is to study the effect of zinc addition on hardness and microstructure of copper-zinc with zinc addition variation 32, 34, 36, and 38 (wt%). Metal Casting started with melted the metal in gas furnace at 1100°C and holding for an hour. After the metal has been melted, it cooled at room temperature in the gas furnace. The examinations that used in this research are Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS/EDX), X-Ray Diffraction (XRD), hardness test, and metalography. The hardness of Cu-Zn alloy increase during the addition of Zinc. In metallographic observation the phase that appear are alpha and betha phase. The grain size of alfa will decrease as long as the addition of Zinc.

Key word : Copper, Zinc, Casting, Hardness, Microstructure

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala anugerah dan petunjuk-Nya, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“Pengaruh penambahan Seng (Zn) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn) melalui proses pengecoran”

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 saya, adik, relasi, dan kerabat terdekat atas segala doa, dukungan moril dan meteril, pengertian dan semangat yang telah diberikan selama ini;
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir;
3. Bapak Ir. Moh. Farid DEA selaku dosen wali Tugas Akhir;
4. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
5. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
6. Teman-teman angkatan 2011 “MT13” Teknik Material Dan Metalurgi FTI ITS;
7. Lusi Meriana Tambunan untuk semua dukungan, semangat, motivasi dan waktu yang telah diberikan sampai saat ini;
8. Teman-teman KP 12 yang selalu memberikan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
9. Teman-teman The Union Yasop 19 atas semangat yang diberikan.

10. Sanipius Simanjuntak dan Bryan Sihotang yang selalu memberikan motivasi dan canda selama ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu membantu pengembangan logam konduktor di Indonesia. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 21 September 2014

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tembaga	5
2.1.1 Sejarah Tembaga.....	5
2.1.2 Sifat-Sifat Tembaga	6
2.1.3 Sistem Penamaan Tembaga dan Paduannya	8
2.1.4 <i>Wrought Copper</i> dan <i>Copper Alloy</i>	10
2.1.5 <i>High Copper Alloy</i>	11
2.2 Seng (Zn)	12
2.2.1 <i>Zinc Alloy Casting</i>	14
2.2.2 Pengaruh Unsur Paduan.....	15
2.3 Kuningan (Cu-Zn).....	17
2.4 Pegecoran.....	25
2.4.1 Proses Peleburan dan Temperatur Tuang Kuningan.....	25
2.4.2 Pola Cetakan	25
2.4.3 Cetakan	26



2.4.5 Toleransi Penyusutan	29
2.5 Pemeriksaan Coran	31
2.6 Furnace	32
2.6.1 Tanur Induksi	34
2.6.2 <i>Gas Furnace</i> (Tungku Gas).....	36
2.7 Aplikasi CuZn	37
2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya	38

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	42
3.2.1 Bahan Penelitian	42
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	42
3.3 Variabel Penelitian.....	47
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	47
3.4.1 Persiapan Bahan	47
3.4.2 Proses Pengujian	47
3.4.2.1 Pengujian Komposisi EDX	47
3.4.2.2 Pengujian XRD	47
3.4.2.3 Pengujian Kekerasan.....	50
3.4.2.4 Pengujian Metalografi.....	51
3.5 Rancangan Penelitian.....	53

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Tembaga-Seng.....	55
4.2 Komposisi Kimia Paduan Coran Cu-Zn.....	55
4.3 Pengamatan Hasil XRD Coran Cu-Zn.....	56
4.4 Hasil Uji Kekerasan.....	59
4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran.....	62

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien pemuaian termal tembaga.....	7
Tabel 2.2 Klasifikasi Wrought Alloy	8
Tabel 2.3 Klasifikasi Cast Alloy	9
Tabel 2.4 Unsur pemuad utama Copper Alloy Families. .	10
Tabel 2.5 Grade dan Komposisi slab zinc.....	14
Tabel 2.6 Komposisi dan Properties Paduan Seng.....	15
Tabel 2.7 Temperatur penuangan untuk berbagai coran. .	30
Tabel 2.8 Toleransi Penyusutan untuk Logam Cor yang Penting	42
Tabel 4.1 Komposisi Al-Si-Mg Pengujian EDX.....	56
Tabel 4.2 Nilai Kekerasan HRB.....	60



(halaman ini sengaja dikosongkan)

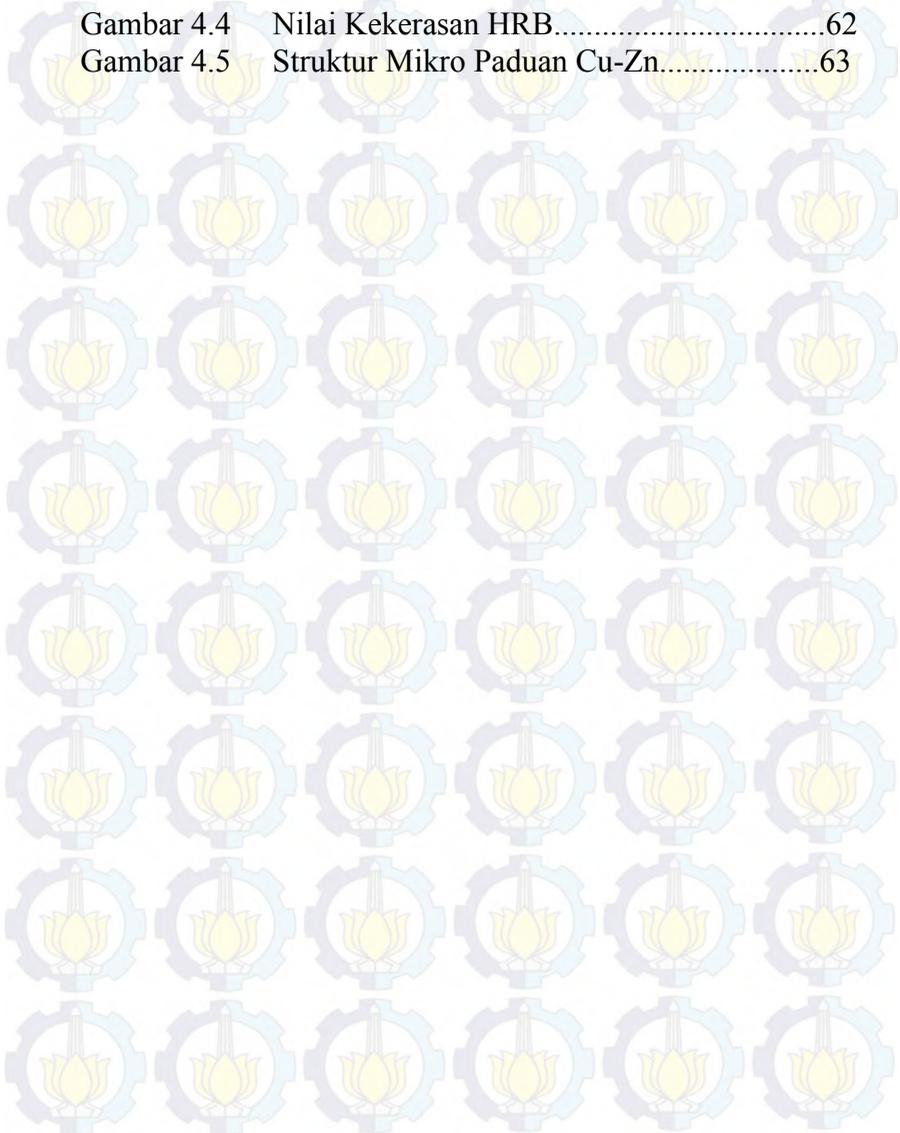


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kristal tembaga.....	6
Gambar 2.2	Struktur kristal heksagonal	13
Gambar 2.3	Struktur mikro CuZn 70-30	19
Gambar 2.4	Diagram fasa CuZn.....	20
Gambar 2.5	Diagram fasa CuZn (0;32;34;36;38).....	21
Gambar 2.6	Kuningan dengan Zn 28%	22
Gambar 2.7	Kuningan dengan Zn 47,5%	23
Gambar 2.8	Dasar proses dari furnace	33
Gambar 2.9	Tanur induksi.....	33
Gambar 2.10	<i>Gas Furnace</i> (Tungku Gas).....	36
Gambar 2.11	<i>Propeller Shaft</i>	38
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	41
Gambar 3.2	Tembaga (Cu)	42
Gambar 3.3	Seng (Zn) Ingot.....	42
Gambar 3.4	<i>Gas Furnace</i> (Tungku Gas).....	43
Gambar 3.5	Krus (<i>crucible</i>).....	43
Gambar 3.6	Timbangan	44
Gambar 3.7	Kikir.....	44
Gambar 3.8	Kertas amplas	45
Gambar 3.9	Gergaji tangan.....	45
Gambar 3.10	Gergaji mesin.....	46
Gambar 3.11	Skema EDX	49
Gambar 3.12	Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD	50
Gambar 3.13	Pengujian kekerasan Rockwell	51
Gambar 3.14	Daerah lingkup ukuran mikro struktur	51
Gambar 3.15	Alur sinar pada pengamatan metalografi.	52
Gambar 4.1	Coran Cu-Zn.....	55
Gambar 4.2	Hasil XRD Coran Cu- 0% Zn.....	57
Gambar 4.3	Hasil XRD Paduan Coran Cu (a) 32 wt% Zn (b) 34 wt% Zn (c) 36 wt% Zn (d) 38 wt	



	% Zn.....	58
Gambar 4.4	Nilai Kekerasan HRB.....	62
Gambar 4.5	Struktur Mikro Paduan Cu-Zn.....	63





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pengolahan bahan logam harus memperhatikan jenis-jenis dan sifatnya terutama pada proses pembentukan dan perilaku selama penggunaannya seperti, sifat mampu las, mampu bentuk, mampu dikerjakan dengan mesin, stabilitas listrik, ketahanan terhadap korosi, perbaikan dan perawatannya sehingga hasil pengolahan akan lebih berkualitas. Perkembangan teknologi yang sangat pesat dan maju menyebabkan kebutuhan logam di berbagai bidang meningkat pesat (Daryanto, 2010).

Salah satu logam non ferro yang banyak digunakan dalam konstruksi maupun permesinan adalah tembaga (Cu). Tembaga dan paduan tembaga merupakan salah satu kelompok utama logam komersial. Logam ini banyak digunakan karena konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik mereka, ketahanan yang luar biasa terhadap korosi, mudah difabrikasi, memiliki kekuatan yang baik, tahan terhadap lelah (*fatigue*), dan tidak bersifat magnetik. Logam tembaga dan paduannya memiliki ketahanan korosi yang tinggi sehingga banyak digunakan untuk membuat pipa, dan katup yang dialiri fluida (ASM Metal Handbook vol.2, 1990).

Tembaga memiliki temperatur melting yang tinggi, selain itu harga tembaga relatif mahal, dan fluiditas rendah. Tembaga memiliki sifat yang ulet dan tahan korosi. Seng memiliki sifat fluiditas yang tinggi dan mampu cor yang baik. Oleh karena itu, studi akan membahas tentang pemaduan Cu-Zn untuk menghasilkan produk yang memiliki sifat mekanik yang lebih baik (Mirza Wibisono, 2009).

Manufaktur logam yang masih digunakan sampai saat ini adalah Pengecoran. Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan parts dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Pengecoran logam merupakan proses awal yang paling penting dalam industri logam, teknologi pengecoranpun



semakin menunjukkan perkembangan sesuai dengan kebutuhan industri logam itu sendiri dan proses pengecoran masih digunakan sampai sekarang untuk memperoleh bentuk logam sesuai dengan yang di minati (I Made Astika, 2010).

Di dalam proses pengecoran logam dalam usaha untuk menghasilkan suatu produk benda coran yang berkualitas baik dengan komposisi yang dikehendaki maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu: bahan baku coran, komposisi bahan baku, kualitas pasir cetak (bila menggunakan cetakan pasir), sistem peleburan, sistem penuangan dan pengerjaan akhir dari produk coran (Surdia Tata dkk., 2000).

Salah satu manufaktur logam yang banyak digunakan pada tembaga adalah pengecoran. Hasil peleburan logam tembaga dan seng disebut kuningan, yang memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang baik. Beberapa jenis kuningan yang sering ditemui di dunia industri adalah *yellow alpha brass* atau *cartridge alpha brass* yang memiliki kemampuan tarik yang tinggi (Mirza Wibisono, 2009). Salah satu bahan yang paling banyak dipakai dalam pembuatan komponen-komponen mesin adalah coran kuningan (CuZn). Kuningan lebih murah dari pada perunggu dan mampu coranya lebih baik dari perunggu. Coran kuningan dipakai untuk bagian-bagian pompa, bantalan, *propeller shaft* (poros propeler), peluru dan sebagainya (Untung Nugroho, 2010).

Logam kuningan sendiri memiliki sifat yang tahan tarik yang tinggi, tahan korosi, tahan aus, ringan, dan harganya ekonomis dan terjangkau. Sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan selongsong peluru. Kuningan juga memiliki sifat yang mampu tempa dan ketika diberikan hot working akan meningkatkan sifat mekaniknya (ASM Metal Handbook vol.2, 1990).

Salah satu aplikasi kuningan adalah *propeller shaft* (poros propeller). Poros propeller berfungsi untuk memindahkan atau meneruskan tenaga dari transmisi ke difrential. Material yang digunakan untuk menjadi poros dibutuhkan kekuatan yg tinggi. Pembuatan poros propeller dapat dilakukan dengan pengecoran



logam kuningan. Sifat kuningan yang keras, tahan korosi, dan kekuatan tarik yang tinggi inilah yang menjadi latar belakang untuk pembuatan poros propeler. (ASM Metal Handbook vol.2, 1990).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan Seng (Zn) terhadap kekerasan paduan tembaga-seng?
2. Bagaimana pengaruh kadar Seng (Zn) terhadap struktur mikro paduan tembaga-seng?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Temperatur peleburan dianggap homogen.
2. Pemaduan dianggap homogen.
3. Tidak ada reaksi cetakan dengan logam

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh penambahan Seng (Zn) terhadap kekerasan paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn)
2. Menganalisis pengaruh penambahan Seng (Zn) terhadap struktur mikro paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat menghasilkan paduan logam melalui proses pengecoran. Paduan ini diharapkan mempunyai sifat mekanik dan mikro struktur yang baik sehingga dapat meningkatkan daya guna paduan tembaga dengan merekayasa komposisi berat Seng (Zn) sehingga sangat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang manufaktur.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tembaga

2.1.1 Sejarah Tembaga

Tembaga sudah ditemukan pada zaman Yunani, logam ini dikenal dengan nama *chalkos*. Tembaga merupakan sumber penting bagi orang-orang Roma dan Yunani. Pada zaman Roma, ia dikenal dengan nama *aes Cyprium* (*aes* merupakan istilah umum Latin bagi tembaga seperti gangsa dan logam-logam lain, dan *Cyprium* sendiri karena dulunya tembaga banyak ditambang dari Cyprus). Dari dua kata itulah maka menjadi kata *cuprum*.

Cu (Tembaga) merupakan salah satu unsur logam transisi yang berwarna cokelat kemerahan dan merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Di alam, tembaga terdapat dalam bentuk bebas maupun dalam bentuk senyawa-senyawa, dan terdapat dalam bentuk biji tembaga seperti (CuFeS_2), cuprite (Cu_2O), chalcocite (Cu_2S), dan malachite ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$). Tembaga dengan nama kimia Cuprum 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 bobot atom 63,546. Unsur tambahan di alam dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau dalam senyawa padat dalam bentuk mineral (Friebeg, 1977).

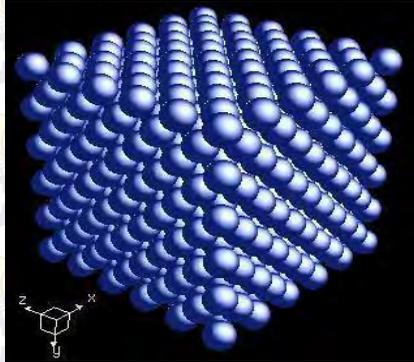
Tembaga (Cu) mempunyai sistem kristal kubik, secara fisik berwarna kuning dan apabila dilihat dengan menggunakan mikroskop bijih akan berwarna pink kecoklatan sampai keabuan. Unsur tembaga terdapat pada hampir 250 mineral, tetapi hanya sedikit yang dapat dikomersialkan (Van Vliet, 1984).

Tembaga 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 mampu coranya dan mampu mesinnya, komposisi kimianya berbeda dalam beberapa komponen (Hakim, 2010).



2.1.2 Sifat-Sifat Tembaga

Struktur kristal yang dimiliki tembaga murni adalah *face centered cubic* (FCC) ditunjukkan dengan **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Struktur Kristal Tembaga (TH Wijaya, 2011)

Secara luas tembaga digunakan sebagai salah satu bahan teknik, baik dalam keadaan murni maupun 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 angka kekerasannya hanya mencapai 45 HB namun dapat ditingkatkan menjadi 90 HB melalui pengerjaan dingin, dimana dengan proses pengerjaan dingin ini akan mereduksi keuletan, walaupun demikian keuletannya dapat ditingkatkan melalui proses annealing dapat menurunkan angka kekerasan. 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 (Sudjana, 2008).

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



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

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

1. Sifat Termal

Temperatur lebur : 1084.62 °C

Temperatur didih : 2562 °C

Koefisien muai termal :

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

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

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

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

2. Sifat Mekanik

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



2.1.3 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 konduktivitas listrik dan termalnya yang sangat baik, selain itu tembaga juga memiliki ketahanan korosi yang baik, mudah difabrikasi, memiliki kekuatan dan ketahanan lelah yang baik (J.R. Davis, 2001).

Sistem penamaan *Unified Numbering Systems* (UNS), tembaga dan alloy-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*), range angka dari C80000 hingga C99999 menunjukkan *cast alloy*. Pada **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3** kedua kategori tembaga ini dibagi menjadi beberapa grup yaitu *copper*, *copper alloys*, *high-copper alloys*, *brasses*, *bronzes*, *copper nickel*, dan *nickel silvers*.

Tabel 2.2 Klasifikasi Wrought Alloy (ASM International, 2001)

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



Copper nickels	C70100-C72950	Cu-Ni-Fe
Wrought Alloys	No.UNS	Komposisi
Nickel silvers	C73500-C79830	Cu-Ni-Zn

Tabel 2.3 Klasifikasi Cast Alloys (ASM International, 2001)

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
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 %



(e) *High-Strength and Leaded High-Strength Yellow Brasses*

2.1.4 *Wrought Copper dan Copper Alloy*

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

Tabel 2.4 Unsur pepadu utama Copper Alloy Families(ASM International, 2001)

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

Tujuan dari penambahan elemen paduan tembaga adalah untuk mengoptimalkan kekuatan, keuletan, dan stabilitas termal, konduktivitas listrik dan termal, dan ketahanan korosi. Paduan tembaga menunjukkan sifat keuletan yang baik saat diberi perlakuan, meskipun biasanya sifatnya tidak sama seperti logam tembaga murni. *Cold working* dan *annealing* pada tembaga perlu diperhatikan agar struktur mikro dan tekstur kristalografi paduan tetap terjaga (ASM International, 2001).



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

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

2.1.5 High-Copper Alloy

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

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

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

Tembaga-berilium tempa dapat dikeraskan dengan pengerasan presipitat untuk meningkatkan nilai kekuatan hingga mencapai kekuatan maksimumnya. Terdapat dua paduan komersial berilium dengan penambahan kobalt dan nikel. Paduan



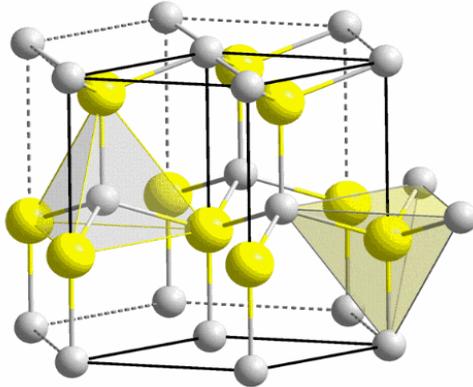
ini dinamakan dengan *red alloys* yang terdiri dari berilium dan nikel atau kobalt sebanyak 0.2-0.7 wt%. *Red alloys* memiliki kekuatan luluh 170-550 Mpa (25-80 ksi) tanpa diberikan perlakuan, dan akan mengalami peningkatan ketika diberikan perlakuan *precipitate hardening*. Beberapa paduan age-hardenable adalah paduan C15000; C15100 (tembaga-zirkonium); C18200, C18400, dan C18500 (tembaga-kromium); C19000 dan C19100 (paduan tembaga-nikel-fospor) (ASM International, 2001).

2.2 Seng (Zn)

Seng merupakan logam keempat yang paling banyak digunakan di dunia industri setelah baja, aluminium, dan tembaga. Menurut aplikasinya, seng banyak digunakan untuk *coating* anoda untuk memproteksi baja dari korosi, pengecoran seng, 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 dapat meningkatkan kekuatan pada temperatur kamar, ketahanan korosi, presipitasi hardening pada beberapa. Seng merupakan salah satu paduan paling sering digunakan pada magnesium, selama pencairan dan pengecoran. Seng membantu meningkatkan fluiditas akan tetapi dapat mendorong terjadinya mikro porositas selama pengecoran. Seng bertindak sebagai grain refiner hal ini meningkatkan kekuatan pada paduan (Barber, 2004).

Seng (*Zinc*) dilambangkan dengan Zn, 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 heksagonal (Lehto, 1968).



Gambar 2.2 Struktur kristal heksagonal (Emel Seran, 2011)

Logam ini keras dan rapuh pada kebanyakan suhu, saat temperaturnya 100-150°C seng akan mudah ditempah. Seng juga dapat menghantarkan listrik. Dibandingkan dengan logam-logam lainnya, seng memiliki titik lebur (420 °C) dan titik didih (900 °C) yang relatif rendah. Dan sebenarnya pun, titik lebur seng merupakan yang terendah di antara semua logam-logam transisi selain raksa dan kadmium. Sifat mekanik seng adalah sebagai berikut (ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992) :

Tensile strength	: 170 Mpa
Hardness	: 52 HB (<i>hot rolled</i>), 60 (<i>cold rolled</i>)
Fatigue strength	: 28 Mpa pada (10^8 cycles)
Shear strength	: 138-152 Mpa
Thermal conductivity	: 104,7 W.m/K

Seng murni tersedia dalam bentuk lembaran, ingot, dan serbuk. Slab seng dibagi menjadi tiga golongan seperti pada **Tabel 2.5**. Unsur impuritis pada proses alloying seng perlu



diperhatikan. Adanya unsur impuritis dapat menurunkan sifat mekanik dan ketahanan korosi.

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

2.2.1 Zinc Alloy Casting

Pengecoran yang paling sering digunakan untuk paduan seng adalah *gravity* dan *pressure die casting*. Pengecoran paduan seng dengan metode lain dapat dilakukan seperti *high-pressure die casting*, *low-pressure die casting*, *sand casting*, *spin casting*, *investment casting*, *semicontinues casting*, dan *centrifugal casting*. Seng memiliki fluiditas yang tinggi, paduan seng dapat dicor dengan ukuran dies yang lebih tipis, dan ketika dicor toleransi dimensi coranya lebih baik. Fluiditas yang tinggi ini memudahkan logam masuk ke sudut-sudut cetakan sehingga hasil coran lebih baik.

Pengecoran seng sudah dilakukan sejak 60 tahun yang lalu. Semua paduan seng berada pada komposisi hipoeutektik, dimana hanya terkandung sedikit aluminium ($\pm 4\%$ Al). Saat ini golongan paduan seng-aluminium dengan komposisi aluminium $> 5\%$ banyak digunakan pada paduan die casting. Paduan ini memiliki kekuatan yang lebih kuat dibandingkan dengan paduan seng hipoeutektik. Adapun sifat lain dari *Zinc Casting* adalah sebagai berikut (ASM Handbook Vol.2, 1992):

1. Memiliki ketahanan korosi yang baik



2. *Excellent vibration* - Memiliki karakteristik redaman yang tinggi
3. Memiliki sifat yang baik pada bantalan (*bearing*) dan tahan terhadap aus
4. Memiliki ketahanan terhadap bunga api (*Spark Incendivity*) kecuali paduan ZA-27

Paduan seng memiliki temperatur lebur yang rendah, ramah lingkungan. Ketika logam ini diberikan perlakuan pada temperatur yang lebih tinggi, maka waktu yang dibutuhkan logam ini menuju fase stabil lebih cepat. Temperatur 100°C merupakan batas temperatur untuk menghindari *blistering* (pelepuhan) pada saat pengecoran. Perlakuan panas yang biasa dilakukan adalah pemanasan logam pada 100°C selama 3-6 jam dengan pendinginan udara. Untuk perlakuan pada temperatur 70°C selama 10-20 jam.

2.2.2 Pengaruh Penambahan Unsur Paduan

Tembaga dan aluminium dengan penambahan magnesium sebanyak <0,08% saat ini banyak digunakan sebagai unsur tambahan untuk pengecoran paduan seng tempa. Tujuan dari penambahan unsur-unsur ini adalah meningkatkan kekuatan, rekristalisasi, pertumbuhan butir kristal. Berikut adalah komposisi dan properties paduan seng.

Tabel 2.6 Komposisi dan Properties Paduan Seng (ASM International, 2001).

UNS No.	Common name	Nominal composition, %	Tensile strength		Elongation, %	Hardness HB(a)
			MPa	ksi		
Die-casting alloys						
Z35541	No. 2,AC43A	Zn-4Al-2.5Cu-0.04Mg	359	52	7	100
Z33520	No. 3,AG40A	Zn-4Al-0.04Mg	283	41	10	82
Z35531	No. 5,AC41A	Zn-4Al-1Cu-0.05Mg	329	48	7	91
Z33523	No. 7,AG40B	Zn-4Al-0.015Mg-0.012Ni	283	41	14	76
Z35635	ZA-8	Zn-8Al-1Cu-0.025Mg	374	54	8	103
Z35630	ZA-12	Zn-11Al-1Cu-0.025Mg	404	58	5	100
Z35840	ZA-27	Zn-27Al-2Cu-0.015Mg	426	62	2	119
Wrought alloys (hot-rolled condition)						
Z21220	...	Zn-0.06Pb-0.06Cd	150-170	21-25	52-30	43
Z44330	...	Zn-1Cu	170-210	24-30	50-35	52
Z41320	...	Zn-0.8Cu-0.15Ti	221-290	32-42	38-21	61

(a) Test duration, 30 s



Pada pengecoran seng penambahan unsur lain akan mempengaruhi sifat-sifat material tersebut. Berikut beberapa logam yang ditambahkan untuk meningkatkan sifat-sifat seng.

Aluminium ditambahkan pada pengecoran seng untuk meningkatkan kekuatan paduan, mengurangi ukuran butir, dan menambahkan fluiditas sehingga memudahkan proses pengecoran. Pada komposisi aluminium di bawah 3,5% akan mengurangi kekuatan dan kestabilan dimensi, serta dibutuhkan temperatur yang lebih tinggi untuk melakukan pengecoran yang diinginkan. Komposisi aluminium 4,3 % akan mengurangi kekuatan impact hasil pengecoran. Fase eutektik seng-aluminium berada pada komposisi 5% Al. Pada fase ini paduan akan bersifat *brittle* dan perlu dihindari.

Magnesium ditambahkan untuk mengurangi korosi intergranular yang disebabkan oleh unsur impuritis. Penambahan unsur magnesium yang berlebihan akan mengurangi fluiditas, menyebabkan terjadi *hot cracking*, tetapi nilai kekerasan meningkat, dan menurunkan elongasi (Haruhiko, 2011).

Tembaga mirip seperti magnesium, mengurangi unsur impuritis, meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan hasil pengecoran. Pengecoran dengan komposisi $> 1,25\%$ Cu akan menghasilkan dimensi pengecoran yang kurang stabil. Pada range 0,6-1,25% akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan paduan. (Abd El-Salam, 2006)

Besi, pada komposisi 0,1% akan bersifat merugikan, dan mengurangi kemampuan tempa paduan. Komposisi besi yang besar akan menghasilkan ketumpulan paduan saat dimachining.

Nikel, krom, silikon, dan mangan, tidak akan banyak berpengaruh pada batas kelarutan (0,02% Ni, 0,02% Cr, 0,035% Si, dan 0,5% Mn). Ketika logam-logam ini melebihi batas kelarutannya maka akan terbentuk senyawa intermetallic.

Timbal, kadmium, dan timah pada kondisi berlebih akan menyebabkan die cast akan mengembang atau mengalami distorsi. Pada komposisi timbal 0,005 % akan menghasilkan permukaan yang dapat mencegah korosi. Sedangkan penambahan



kadmium berlebih akan mengurangi sifat-sifat paduan. Batas komposisi kadmium maksimum adalah 0,004%. Penambahan timah juga akan meningkatkan ketahanan korosi paduan pada komposisi 0,003%.

2.3 Kuningan (Cu-Zn)

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

Kuningan memiliki beberapa kelebihan yaitu sifat mampu cor yang baik, biaya produksi lebih murah, kekuatan tinggi, ketahanan korosinya baik. Kuningan dibagi menjadi 6 subkategori dari segi pengecoran (ASM International, 2001):

1. *Red dan Leaded Red Brasses*

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

2. *Semi-Red and Leaded Semi-Red Brasses*

Paduan ini (C84200-C84800) memiliki kandungan sebanyak 15% Zn. 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*

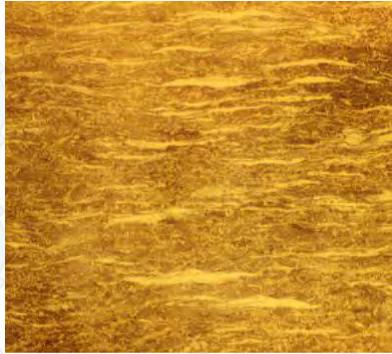
(C85200-C85800) Paduan ini mengandung 20-40% Zn dan memiliki mikrostruktur α total dengan satu fasa β ukuran besar. Walaupun β sedikit mengalami penurunan keuletan pada temperatur ruangan, namun keuletan akan meningkat saat mencapai temperatur solidus. Kandungan paduan ini terdapat pada alloy C85800 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.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.3 (a) Struktur mikro CuZn 70-30. (b) CuZn 70-30 *Cold rolled*. (c) CuZn 70-30 Deep rolled (Metallographic Handbook, 2010)

4. High-Strength Brasses

Logam ini sering disebut sebagai perunggu-mangan dan kuningan dengan kekuatan tarik tinggi. 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. 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.

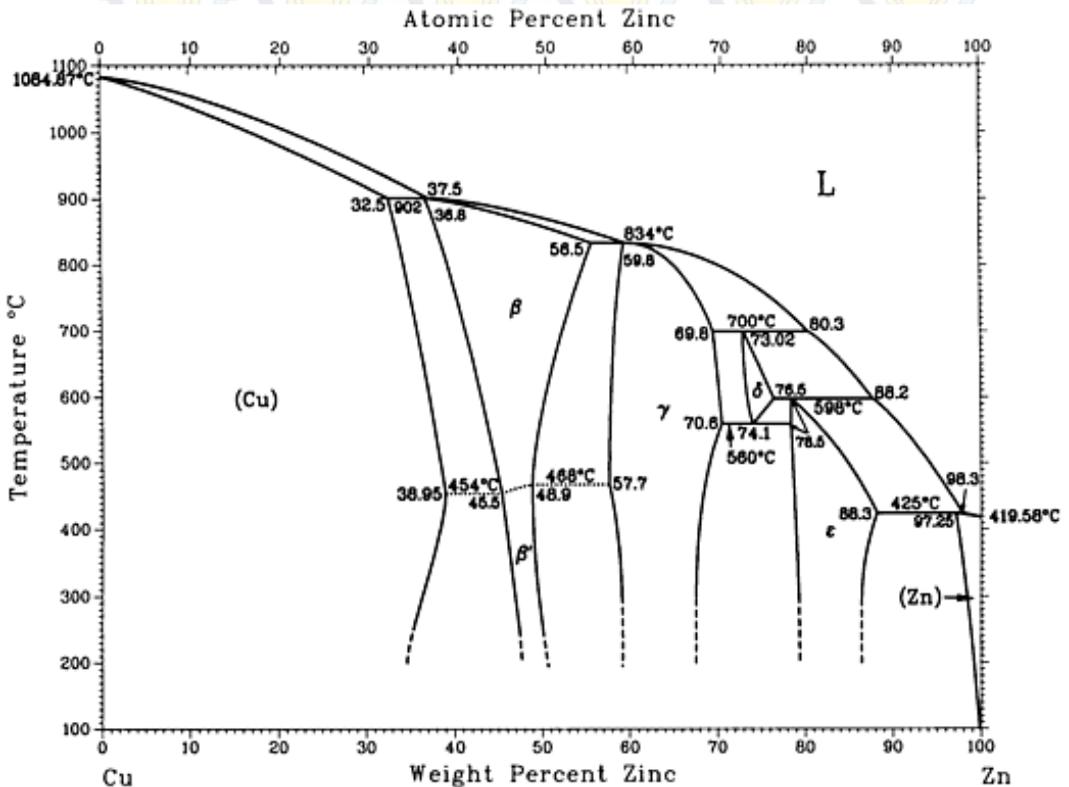
Aplikasi logam ini berupa *bearing* (bantalan), roda gigi, pompa, dan komponen katup.



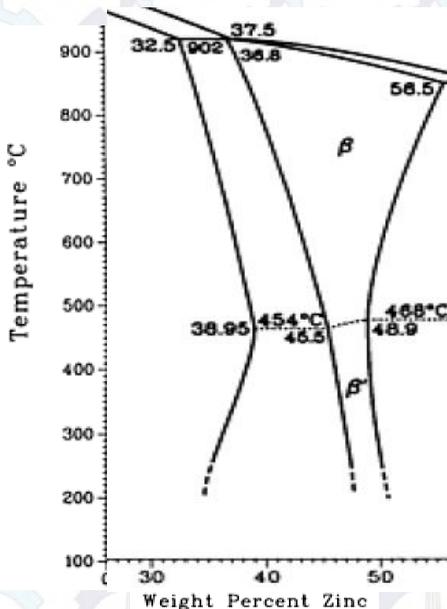
6. *Copper-Bismuth, Copper-Selenium-Bismuth Brasses*

Bismut dan tembaga-selenium-bismut (SeBiLoy) adalah paduan rendah coran timbal banyak digunakan pada alat-alat pembuatan makanan dan pipa saluran. Penurunan kadar timbal akan meningkatkan kemampuan machining dan ketahanan tekan paduan kuningan-timbal.

Berikut adalah diagram fasa kuningan (Cu-Zn) :



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



Gambar 2.5 Diagram Fasa Cu-Zn (0;32; 34;36;38 wt%Zn)

Dalam keadaan padat Cu mampu melarutkan Zn sangat banyak didalam kristal campurannya. Pada temperatur 902 °C terjadi transformasi peritektik dimana Zn larut sebesar 32,5%. Kelarutan ini meningkat sampai dengan temperatur sekitar 450 °C menjadi 39% dan kemudian pada kondisi keseimbangan akan kembali menurun, yaitu pada proses pemanasan panjang dan pendinginan sangat lama. Pada proses pendinginan yang umum dicapai secara teknis, struktur kuningan dengan kandungan Zn 39% setelah perlakuan panas biasanya akan terdiri dari kristal α yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal β . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan α (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki keternesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya. (Schumann, 1983)

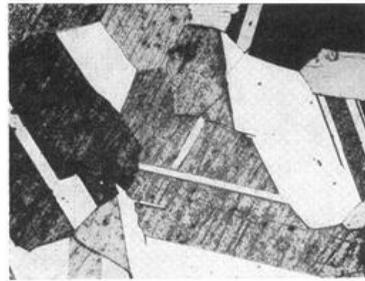


Sebagai contoh untuk kuningan dengan kandungan Zn 28%, secara teoritis pada temperatur 970 °C akan mulai terbentuk kristal-kristal α dendritik yang memiliki kandungan Zn sekitar 24%. Konsentrasi Zn didalam sisa cairan yang semakin menyusut kemudian akan naik bersama turunnya temperatur, sedangkan kristal α tumbuh membesar dengan konsentrasi Zn yang meningkat. Pada saat mencapai temperatur solidusnya (sekitar 930 °C) sisa cairan terakhir dengan konsentrasi Zn sebesar 33% pun membeku sebagai kristal α sehingga seluruh paduan telah berada dalam keadaan padat dengan struktur α yang homogen.

Pada proses pengecoran logam, pendinginan biasanya berlangsung sangat cepat karena energi cairan segera terserap oleh bahan cetakan. Pada keadaan ini terjadi segregasi kristal dimana perbedaan konsentrasi didalam setiap butiran saat pertumbuhannya tidak sempat terseragamkan, maka pada struktur coran ini akan ditemukan dendrit-dendrit yang baru dapat dihilangkan setelah melalui proses pemanasan pada temperatur tinggi serta pendinginan yang lambat untuk menghasilkan butiran α yang homogen dan polieder lengkap dengan struktur kembarnya (Brunhuber,1988).



(a)

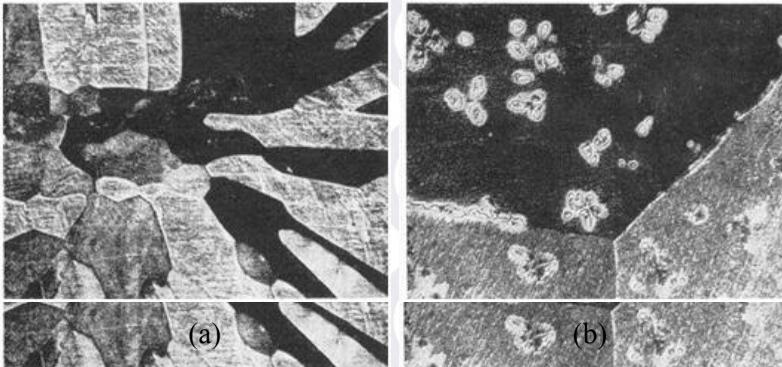


(b)

Gambar 2.6 (a) Kuningan dengan Zn 28% pasca pengecoran (Dendrit-dendrit kristal α inhomogen); (b) Kuningan dengan Zn 28% setelah perlakuan panas pada $T=800$ °C (Kristal α polieder homogen)



Pada kuningan dengan kandungan Zn 47,5%, kristal β akan terbentuk terlebih dahulu pada temperatur 890 °C, fasa ganda (β + sisa cairan) hanya terdapat pada selang yang kecil sehingga segregasi praktis tidak terjadi. Segera, begitu temperatur mencapai 880 °C, cairan akan membeku seluruhnya sebagai kristal β yang homogen. Kuningan semacam ini disebut kuningan β (beta) dengan sifat-sifatnya yang keras, rapuh dan keternesinan rendah serta lebih banyak digunakan pada perangkat instrumen musik. Warna kuningan sangat dipengaruhi oleh kandungan Zn nya. Kuningan α akan mengalami perubahan warna dari merah tembaga menjadi semakin kuning dengan bertambahnya Zn. Sedangkan akibat dari pembentukan kristal β yang kemerahan, maka pada kuningan β fenomena warna tersebut justru terbalik kembali menuju kemerahan.



Gambar 2.7 (a) Kuningan dengan 47,5% Zn pasca pengecoran (Kuningan β homogen); (b) Kuningan dengan 52% Zn pasca pengecoran (Kristal γ diantara struktur dasar β)

Pada kuningan dengan fasa campuran α/β , kandungan Zn digunakan untuk memperkirakan sifat-sifat mekanik bahan ini, mengingat kandungan Zn sangat menentukan persentasi fasa-fasa yang terdapat didalamnya, dimana pada kandungan sampai 39% ternyata struktur masih terdiri dari α seluruhnya sedangkan setelah 46,5% struktur telah terdiri dari β seluruhnya.



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.

Unsur Al akan meningkatkan kekerasan kristal campuran α maupun β , sehingga dengan demikian akan secara umum meningkatkan kekuatan bahan. Selain itu unsur ini akan menggeser daerah α pada diagram binernya menjadi lebih sempit (lihat gambar 1) sehingga pada kandungan Zn yang sama akan memiliki struktur β yang lebih banyak. Kandungan Al sampai dengan 6% atau 7% biasanya diaplikasikan pada pengecoran dengan pasir cetak, pengecoran cetak grafitasi maupun pengecoran sentrifugal (Reza Mozaver, 2011).

Unsur Fe hanya dapat larut sedikit didalam kristal campuran α maupun β . Secara umum Fe hanya diberikan sebanyak 0.2% sampai 1.2%. Apabila secara bersamaan dipadukan pula unsur Al sampai dengan 7%, maka Fe dapat dinaikkan hingga 4.5%, mengingat unsur ini memiliki efek grain refining terhadap paduan CuZn.

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.

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 diindustri kimia maupun pangan sebagai bahan alternatif pengganti stainless steel.

Unsur Si mempersempit daerah α maupun juga β pada diagram biner Cu-Zn, sehingga pada kandungan 4% saja, sudah akan menghasilkan struktur campuran $\alpha+\beta$ walaupun kandungan



Cu masih sangat tinggi. Bahan ini memiliki ketahanan korosi yang baik termasuk terhadap air laut. Secara teknis bahan inipun memiliki kemampuan cor yang baik.

2.4 Pengecoran

Pengecoran adalah salah satu proses yang simpel dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. proses ini dibutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. pengecoran sudah dari lama digunakan oleh manusia. pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia. Pada zaman modern ini pengecoran sudah banyak digunakan untuk memproduksi bagian-bagian dari mesin. (Karl, 2011).

2.4.1 Proses Peleburan dan Temperatur Tuang Kuningan

Proses peleburan kuningan dapat dilakukan dengan menggunakan furnace atau burner. Panas yang dihasilkan dari burner akan terkonduksi dan terkonveksi sehingga logam akan melebur. Adapun proses peleburannya adalah memasukkan logam tembaga terlebih dahulu hingga mencair pada temperatur 1080°C kemudian logam seng dapat dimasukkan ke dalam krus hingga mencair dan perlu dilakukan pengadukan agar logam tembaga dan kuningan dapat bercampur dan homogen. Temperatur penuangan kuningan berbeda-beda tergantung dari jenis kuningan apa yang akan dicor. Secara umum dapat diambil contoh *Yellow brass* untuk pengecoran *light casting* adalah berkisar 1095-1150 °C sedangkan untuk pengecoran *heavy casting* temperatur penuangannya adalah berkisar 1010-1095 °C. Setelah itu dilakukan pendinginan udara.

2.4.2 Pola Cetakan

Pola perlu dalam pembuatan coran. Pola yang dipergunakan untuk pembuatan cetakan pada benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu (termasuk pola



plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitasnya lebih tinggi.

Bahan dari pola logam bisa bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya. Sebagai contoh, logam tahan panas seperti: besi cor, baja cor, dan paduan tembaga adalah cocok untuk pola pada pembuatan cetakan kulit, sedangkan paduan ringan, adalah mudah diolah dan dipilih untuk pola yang dipergunakan dalam masa produksi dimana pembuatan cetakan dilakukan dengan tangan.

Pola kayu dibuat dari kayu, murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibandingkan dengan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir (Surdia,2000).

2.4.3 Cetakan

Cetakan 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*, *gas holes*, *mould blasting*, dan lain-lain.

2. Plastisitas atau Mampu Alir

Sifat ini mengarah pada kemampuan pasir cetak untuk mendapat bentuk yang ditentukan dibawah tekanan dan mempertahankannya saat tekanan dihilangkan. Untuk mendapat hasil yang baik dari pola yang ada didalam cetakan, plastisitas yang tinggi diperlukan dari pasir cetak.

3. Adhesivitas

Partikel dari pasir cetak harus mampu melekat ke bagian lain. Berarti tepi dari pasir cetak harus dapat saling melekat.

4. Kohesivitas

Kemampuan dari partikel pasir untuk saling melekat disebut “kohesivitas” atau “kekuatan”. Jika tidak mempunyai kemampuan yang cukup, maka akan menyebabkan runtuhnya pasir saat pengangkatan, pembalikan, penutupan, atau penuangan, hal ini dapat hancur atau rusak sebagian.

5. Sifat Refraktori

Kemampuan pasir cetak untuk tahan terhadap temperatur tinggi dari logam cair tanpa terjadi fusi disebut “sifat refraktori”. Pasir cetak yang mempunyai sifat refraktori yang rendah akan terbakar saat pengecoran. Bagaimanapun, pasir silika mempunyai pemuai termal yang tinggi pada 575°C.

Jika dibandingkan dengan pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang rendah, sifat refraktori ini lebih esensial untuk pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang tinggi seperti baja.



6. Ketahanan Kimiawi

Pasir cetak tidak boleh bereaksi secara kimiawi dengan logam karena jika pasir bereaksi maka bentuk dari coran akan menyimpang dan rusak.

7. Mampu Hancur

Sifat pasir cetak inilah yang menentukan apakah pasir cetak dapat runtuh secara otomatis saat pemadatan coran dan hancur saat pemukulan dan pembersihan.

8. Kehalusan

Pasir cetak yang lebih halus mencegah terjadinya penetrasi logam, dan memberikan permukaan yang halus pula pada coran. Kehalusan pasir dan permeabilitas pasir saling bertolak belakang. Sehingga keduanya harus seimbang untuk mencapai hasil yang optimal. Kedua sifat ini dapat dijaga dengan menggunakan pelapisan cetakan pada permukaan cetakan yang mempunyai permeabilitas yang tinggi.

9. Koefisien Pemuaihan yang Rendah

Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuaihan yang rendah.

10. Bench Life

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

2.4.4 Cetakan Pasir

Pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Surdia, 2000):

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang kedalamnya. Oleh karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.



2. Permeabilitas yang cocok. Dikuatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas yang terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan melalui rongga-rongga diantara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.
3. Distribusi besar butir yang cocok. permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat dalam cetakan yang berbutir halus. Tetapi kalau butir pasir terlalu halus, gas dicegah keluar dan membuat cacat, yaitu gelembung udara. Distribusi besar butir harus cocok mengingat dua syarat yang disebut diatas.
4. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Temperatur penuangan untuk berbagai coran (Surdia, 2000)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (°C)
Paduan Ringan	650 – 750
Brons	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besi Cor	1.250 – 1.450
Baja Cor	1.500 – 1.550

Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau logam cair dengan temperatur tinggi ini dituang kedalam cetakan.

5. komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.
6. Mampu pakai lagi. Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang supaya ekonomis.
7. Pasir harus murah.



2.4.5 Toleransi Penyusutan

Semua logam yang digunakan dalam pengecoran ukurannya akan mengecil dan menyusut setelah pemadatan dan pendinginan di dalam cetakan. Untuk mengimbangi hal ini maka pola dari cetakan harus dibuat lebih besar dari ukuran coran yang sebenarnya, sesuai dengan jumlah yang disebut dengan “pengecilan pembuatan pola”. Pembuatan pola dilengkapi dengan aturan khusus dan skala yang disebut dengan “prinsip pengecilan pembuatan pola”. Dalam menyusun pengukuran dari pola, pembuat pola memperkenankan pengecilan ini dengan menggunakan aturan ini yang sedikit lebih panjang dari aturan yang sama dalam panjang yang sama. Untuk pengecoran logam yang berbeda maka mungkin akan berbeda juga prinsip pengecilannya namun pada umumnya prinsip tersebut digunakan pada setiap sisi, dimana ada 2 skala, jumlah total skalanya adalah 4 untuk 4 logam coran umum, seperti baja, besi cor, kuningan, dan aluminium. Pembagian pada setiap skala ini ukurannya dilebihkan dengan jumlah yang proporsional, contohnya saap membuat pola untuk besi cor, pembuat pola menggunakan pengukuran prinsip pengecilan sekitar 10 mm tiap 1 meter lebih panjang dari ukuran konvensional karena besi cor menyusut 10 mm tiap 1 meter. Pola asal yang digunakan untuk membuat pola logam memerlukan penghitungan toleransi penyusutan yang ganda (Banga, 1981).

Tabel 2.8 Toleransi Penyusutan untuk Logam Cor yang Penting
(Banga, 1981)

No	Logam	Pengecilan (persen)	Pengecilan (mm per meter)
1	Besi Cor Kelabu	0,7 hingga 1,05	7 hingga 10,5
2	Besi Cor Putih	2,1	21
3	Besi Cor Mampu	1,5	15



	Tempa		
4	Baja	2,0	20
5	Kuningan	1,4	14
6	Aluminium	1,8	18
7	Paduan Aluminium	1,3 hingga 1,6	13 hingga 16
8	Tembaga	1,05 hingga 2,1	10,5 hingga 21
9	Magnesium	1,8	18
10	Seng	2,5	24
11	Baja Mangan	2,6	26,5

Jumlah penyusutan yang dicantumkan diatas dan prinsip pengecilan ini hanyalah gambaran rata-rata. Pengecilan yang sebenarnya pada pengecoran tergantung dari faktor-faktor berikut:

1. Ketebalan dan dimensi pengukuran lain dari coran.
2. Desain dan seluk-beluk dari coran.
3. Ketahanan cetakan untuk menyusut.
4. Bahan cetakan yang dipakai dan kekerasannya.
5. Metode pencetakan yang digunakan
6. Temperatur penuangan logam cair.

2.5 Pemeriksaan Coran

Pemeriksaan hasil coran adalah dimana hasil coran yang dilakukan akan diperiksa dan diuji. Pemeriksaan coran mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Memelihara kualitas dan baiknya produk coran harus dijamin dengan jalan memisahkan dengan produk gagal
2. Penekanan biaya dengan mengetahui lebih dulu produk yang cacat dalam pemeriksaan penerimaan bahan baku dan bahan yang diproses sejak dari pembuatan cetakan sampai selesai
3. Penyempurnaan teknik.



Menurut data kualitas yang didapat dari awal pemeriksaan dan percobaan, menyisihkan produk yang cacat dapat dilakukan lebih awal dan selanjutnya tingkat kualitas dapat dijaga.

Pemeriksaan produk coran dapat digolongkan menjadi:

1. Pemeriksaan rupa

Dalam pemeriksaan ini yang dilihat adalah: ketidakteraturan, inklusi retakan dan sebagainya.

2. Pemeriksaan Cacat (pemeriksaan tak merusak)

Dalam pemeriksaan ini diteliti adanya cacat atau tidak dalam hasil coran seperti: rongga udara, rongga penyusutan, retakan dan sebagainya.

3. Pemeriksaan bahan

Dalam pemeriksaan ini ketidakteraturan bahan diteliti. demikian juga halnya dengan komponen, struktur mikro dan sifat mekanik coran dilakukan pemeriksaan.

4. Pemeriksaan dengan merusak.

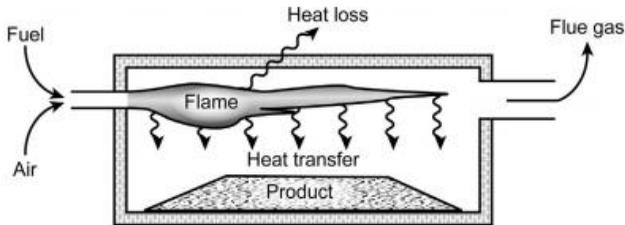
Pemeriksaan dengan merusak dilakukan dengan cara merusak hasil coran tersebut untuk dapat melihat hasil dan kualitas dari hasil coran tersebut dan dapat membedakan dengan produk cacat dengan yang baik. Pemeriksaan kualitas dilakukan sesuai dengan ketentuan yang dibuat sebelumnya mengenai ukuran dan jumlah contoh, sedangkan pemeriksaan kecacatan produk dilakukan setiap kali apabila diperlukan. sebagai hasil dari pemeriksaan produk mengenai macam-macam cacat, bentuk, tempat yang diteliti, keadaan produk dan lain-lainnya harus dicatat secara tepat, selanjutnya bagi produk yang lulus pemeriksaan, tingkat kualitasnya harus dicatat dengan alur yang sama agar dapat membedakan hasil yang cacat dan yang lolos pemeriksaan (Surdia, 2000.)

2.6 Furnace

Furnace menurut *oxford english dictionary* adalah suatu struktur tertutup untuk melakukan pemanasan intens oleh api. sedangkan menurut kiln furnace adalah suatu tempat atau *oven* yang diunakan untuk membakar, mengeringkan.



Konsep dasar furnace dijelaskan pada gambar dibawah



Gambar 2.8 dasar proses dari furnace (Peter, 2011)

Panas yang dilepaskan oleh *burning fuel* dengan udara (kadang-kadang oksigen) atau dari energi listrik, dari proses ini panas ditransfer ke produk. sisa dari panas yang tidak terpakai akan dibuang lewat udara masuk atau output.

efisiensi dari furnace dapat dihitung :

$$\dot{\eta} = Q_p / Q_s \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$\dot{\eta}$ = Efisiensi Furnace

Q_p = Panas yang terserap oleh produk

Q_s = Panas yang disuplai oleh pembakaran.

Pembakaran dalam *furnace* merupakan salah satu proses yang penting dalam penggunaan *furnace*. pembakaran adalah salah satu proses reaksi kimia dimana bahan bakar dan oksigen terbakar bersama-sama dengan baik pada temperatur tinggi untuk meningkatkan panas ke produk pembakaran. bahan bakar bisa berupa natural gas, minyak, atau batubara.

Bahan bakar dalam furnace sangat penting dalam pemilihan furnace. dalam pemilihan bakar biasanya mempengaruhi performa dari furnace tersebut. bahan bakar dipilih dilihat dari:

1. Harga dari bahan bakar



2. energi kalor
3. densitas dari bahan bakar
4. emisifitas dari produk

Gas merupakan salah satu bahan bakar yang sering dipakai untuk penggunaan furnace. Gas juga sering digunakan dikarenakan gas banyak mengandung hidrokarbon dimana furnace membutuhkan hidrokarbon untuk memanaskan furnace dan logam yang akan dileburkan.

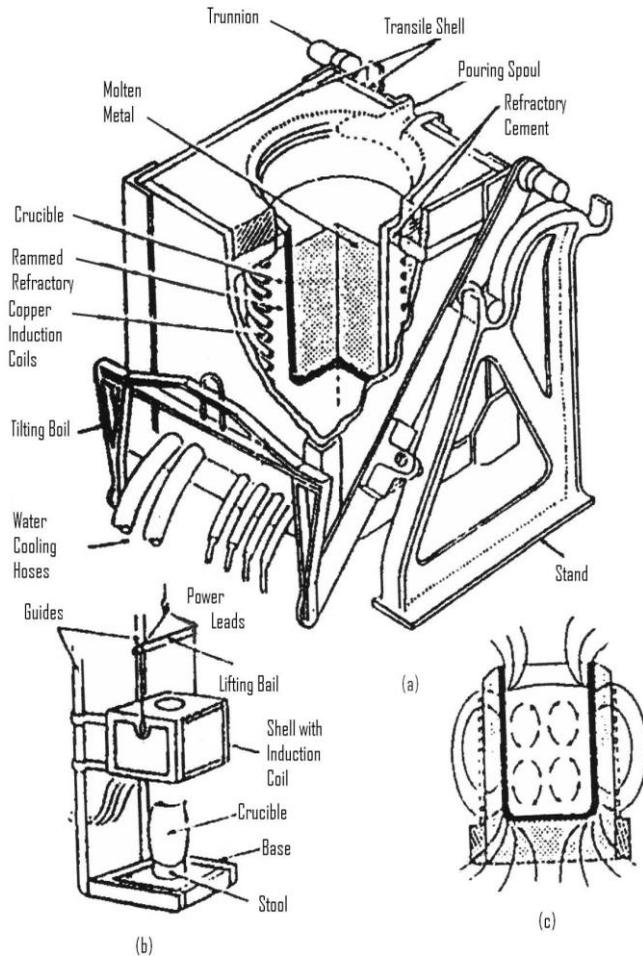
2.6.1 Tanur Induksi

Tanur induksi listrik adalah tanur yang melebur logam dengan medan elektromagnet yang dihasilkan oleh induksi listrik, baik yang berfrekuensi rendah maupun yang berfrekuensi tinggi. Tanur induksi biasanya berbentuk Crucible yang dapat dimiringkan. Tanur ini dipakai untuk melebur baja paduan tinggi, baja perkakas, baja untuk cetakan, baja tahan karat, dan baja tahan panas yang tinggi.

Tanur ini bekerja berdasarkan arus induksi yang timbul dalam muatan yang menimbulkan panas sehingga memanasi crucible dan mencairkan logam di dalam Crucible. Bentuk dari tanur induksi listrik dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.

Tanur induksi bekerja dengan prinsip transformator dengan kumparan primer dialiri arus AC dari sumber tenaga dan kumparan sekunder. Kumparan sekunder yang diletakkan didalam medan magnet kumparan primer akan menghasilkan arus induksi. Berbeda dengan transformator, kumparan sekunder digantikan oleh bahan baku peleburan serta dirancang sedemikian rupa agar arus induksi tersebut berubah menjadi panas yang sanggup mencairkannya.

Sesuai dengan frekuensi kerja yang digunakan, tanur induksi dikategorikan sebagai tanur induksi frekuensi jala-jala (50 Hz – 60 Hz) dengan kapasitas lebur diatas 1 ton/jam dan tanur induksi frekuensi menengah (150 Hz – 10000 Hz) untuk tanur dengan kapasitas lebur rendah.

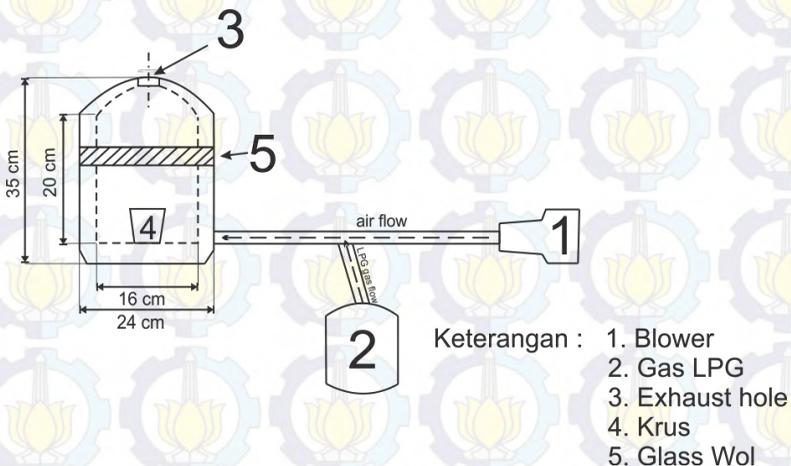


Gambar 2.9 Tanur Induksi (a) Penampang (b) Kumparan yang bias diangkat (c) Garis gaya pada Tanur Induksi



Frekuensi jala-jala pada tanur induksi frekuensi menengah diubah terlebih dahulu dengan menggunakan thyristor menjadi frekuensi yang lebih tinggi sebelum dialirkan ke kumparan primer. Pemanasan hanya dilakukan pada bagian saluran cairan. Bahan cair yang panas akan bergerak ke atas, sedangkan bahan cair yang dingin bergerak kebawah mengisi saluran. Dengan demikian cairan didalam tanur akan mengalami sirkulasi (SSN Situmeang, 2010).

2.6.2 Gas Furnace (Tungku Gas)



Gambar 2.10 Gas Furnace

Tungku gas merupakan *furnace* dalam ukuran yang lebih kecil. Secara umum prinsip kerjanya mirip. Pada gambar 2.10 dapat dilihat komponen-komponen yang terdapat pada gas



furnace. Pada proses peleburan logam dimulai dengan memasukkan spesimen pada tungku pelebur, setelah itu blower dinyalakan dengan kecepatan tertentu dan disesuaikan dengan kecepatan aliran gas elpiji sebagai bahan bakar melebur logam. Kecepatan blower dapat diatur agar kenaikan temperatur tidak terlalu cepat naik.

Pada bagian diantara penutup dan bagian badan tungku terdapat glass wol yang berfungsi untuk menjaga temperatur dan mengurangi *heat loss* pada proses peleburan logam. Untuk meleburkan logam non ferrous seperti tembaga, membutuhkan konsumsi elpiji sebanyak ± 3 kg, dengan kecepatan blower 9000 rpm. Dengan menggunakan tungku pelebur ini dapat meleburkan logam dalam skala kecil dan lebih ekonomis jika dibandingkan dengan muffle furnace, namun kekurangannya adalah pada kontrol temperatur masih susah karena laju api pada tungku dipengaruhi dari kecepatan dan aliran gas elpiji tak sepenuhnya terkontrol dengan baik. Untuk tungku pelebur ini masih butuh proses pengembangan agar dihasilkan produk yang lebih baik

2.7 Aplikasi CuZn

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).

Propeller shaft merupakan salah satu aplikasi dari kuningan. *Propeller Shaft* berfungsi untuk memindahkan tenaga putar dari transmisi ke differential. Proses pembuatan



propellar dapat dilakukan dengan metode pengecoran dengan bahan dasar tembaga dan seng. Komposisi dari poros propeler adalah 60%Cu, 39,2%Zn, dan sekitar 0,8%Sn. Kuningan dengan komposisi ini disebut dengan *naval brasses*. Sifatnya adalah memiliki *hot workabilty* dan *forging ability* yang baik. Sifat mekanik paduan ini adalah (ASM Metal Handbook Vol.2 , 1992) :

- | | |
|---------------------|-----------|
| 1. Tensile strength | :400 MPa |
| 2. Yield strength | :186 Mpa |
| 3. Hardness (HRB) | : 56 HRB |
| 4. Shear Strength | : 275 MPa |



Gambar 2.11 *Propeller Shaft* (Poros Propeller)

2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian tembaga sudah banyak dilakukan sebelumnya. Seperti yang dilakukan oleh Soleh Setiawan, (2006) Di dalam penelitian ini menyelidiki pengaruh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si). Dengan variasi penambahan tembaga (Cu) maka akan mempengaruhi tingkat kekerasan paduan alumunium silikon (Al-Si) pada setiap jenis cetakan yang berbeda. Tingkat kekerasan yang optimal untuk paduan alumunium silikon (Al-Si) yaitu pada penambahan tembaga 8% dengan jenis cetakan logam. Disamping itu, sebagai



bukti tingkat kekerasan logam paduan aluminium silikon (Al-Si) dipengaruhi oleh variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran. Dan juga masih banyak dipengaruhi variasi penambahan tembaga (Cu) dan jenis cetakan pada proses pengecoran terhadap variabel-variabel yang lain.

Sedangkan Waluyo, (2010) mengalisa tentang pengaruh penambahan Seng (Zn) terhadap struktur, kristalisasi, dan sifat termal paduan timbal-seng (Sn-Zn). Pada penelitian ini penambahan persen berat (wt%) Zn terhadap paduan Sn-Zn dapat menghambat kristalisasi Sn, titik leleh yang relatif stabil pada kisaran temperatur 246°C. Penambahan seng juga dapat menyebabkan perubahan struktur paduan dan memunculkan intensitas lain diluar komponen paduan yang merupakan intermetalik unsur lain.



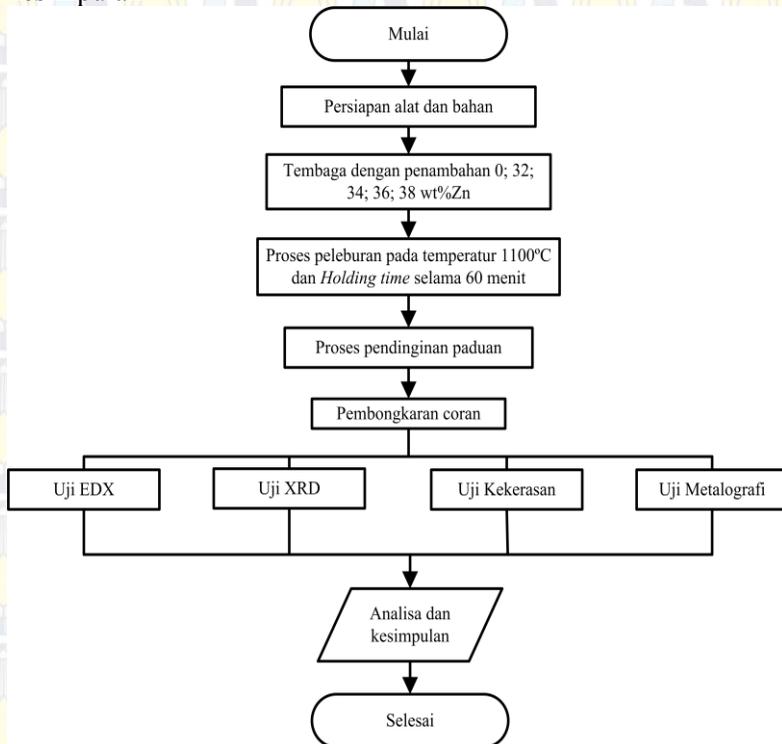
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir sesuai **Gambar 3.1**. Penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan. Setelah itu dilanjutkan dengan merancang variasi penambahan seng. Selanjutnya, logam dilebur pada 1100 °C dan *holding* 60 menit. Logam cair dituang dan didinginkan, setelah dingin coran dibongkar dan dilakukan pengujian EDX, XRD, Kekerasan, Metalografi. Setelah itu hasil pengujian dianalisa dan ditarik kesimpulan



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Tembaga (Cu) murni kadar 95% dalam bentuk *rod* didapatkan dari PT. Sutindo. Tembaga Ditunjukkan pada **Gambar 3.2**



Gambar 3.2 Tembaga (Cu)

2. Seng (Zn) murni dalam bentuk ingot, didapatkan dari PT. Bunga-Melati Indonesia. Seng ditunjukkan pada **Gambar 3.3**



Gambar 3.3 Seng (Zn) ingot

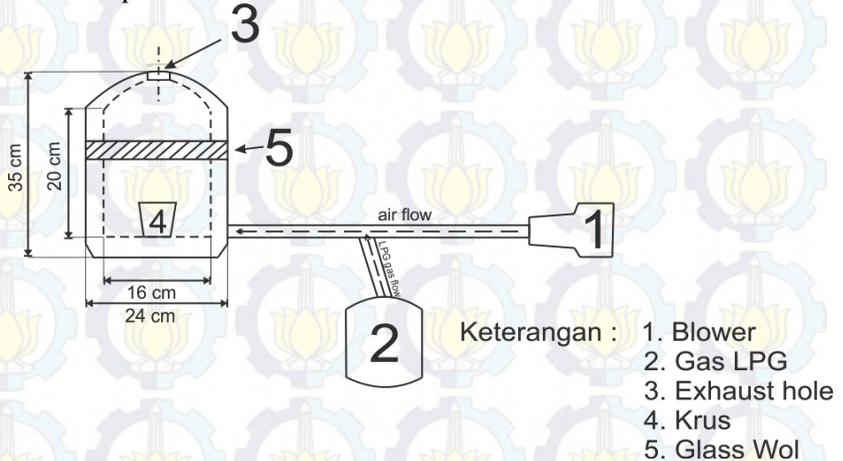
3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Tungku Gas (*Gas Furnace*)
Tungku yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tungku gas ini digunakan



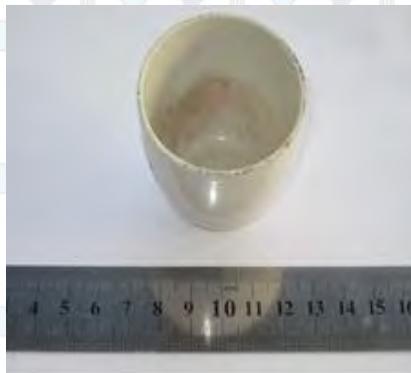
untuk melebur logam tembaga dan seng, ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Tungku Gas (*Gas Furnace*)

2. Krus (*crucible*)

Krus yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Krus Digunakan sebagai cetakan dan wadah paduan tembaga-seng 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, ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Timbangan

4. Kikir

Kikir yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kikir digunakan untuk meratakan permukaan spesimen, ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Kikir

5. Kertas Amplas

Kertas amplas didapatkan dari PT. Bahan Bangunan Keputih. Kertas amplas digunakan untuk grinding permukaan spesimen, ditunjukkan pada **Gambar 3.8**



Gambar 3.8 Kertas Amplas

6. Gergaji Tangan
Gergaji yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Gergaji tangan digunakan untuk memotong bahan, ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Gergaji Tangan

7. Gergaji Mesin
Gergaji mesin yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Gergaji mesin digunakan untuk memotong bahan, ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Gergaji Mesin

8. Pengaduk
Digunakan untuk mengaduk paduan cair. Dibuat dengan baja tulangan yang ujungnya disambung dengan keramik.
9. 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.
10. Mikroskop Optik
Mikroskop optik yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk melihat struktur spesimen dalam skala mikro.
11. Mesin *Grinding & Polishing*
Mesin *Grinding & Polishing* yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk mengikis permukaan spesimen agar rata dan halus.
12. Mesin EDX
Mesin EDX yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Digunakan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung pada spesimen.



13. Mesin XRD
Mesin XRD yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. 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 padu yaitu 32, 34, 36, 38 wt% Zn.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tembaga murni (Cu) yang kemudian ditambahkan unsur paduan Seng (Zn) dengan kadar 32, 34, 36, dan 38 wt% Zn.

1. Kedua bahan disiapkan sebelum digunakan.
2. Menimbang Seng dan Tembaga dengan variasi kadar padu 32, 34, 36, dan 38 wt% Zn, dan memasukkan ke dalam krus.
3. Memasukkan krus ke dalam furnace dan memanaskan hingga temperatur 1100°C tercapai dan dilakukan *holding* pada temperatur tersebut selama 60 menit.
4. Membuka tungku dan mengaduk paduan cair dengan menggunakan pengaduk selama beberapa saat.
5. Mendinginkan paduan yang masih cair di dalam tungku dalam keadaan tertutup hingga mencapai temperature kamar.
6. Mengeluarkan paduan yang telah padat dari dalam tungku.
7. Mengeluarkan hasil coran dari krus.

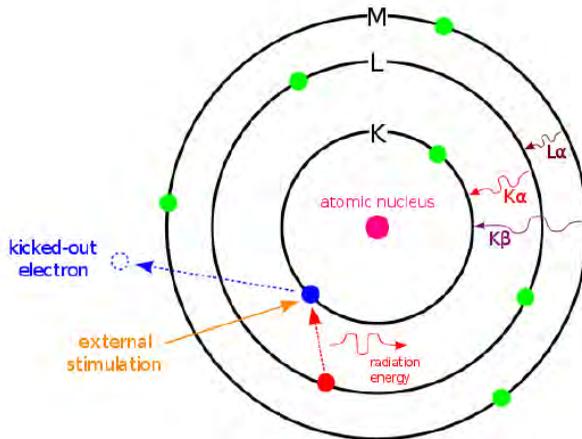


3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian Komposisi EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya.

Untuk merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah spesimen, sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar X, difokuskan ke spesimen yang akan diteliti. Selanjutnya sebuah atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Jumlah dan energi dari sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi-dispersif. Energi dari sinar X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari spesimen dapat diukur. Pengujian EDX ini dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan plat (Zainal, 2008).



Gambar 3.11 Skema EDX

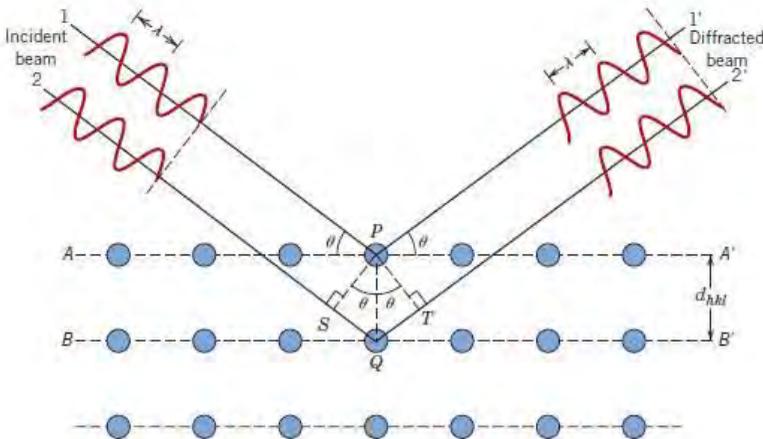
3.4.2.2 Pengujian XRD

XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi kristal. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang datang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron (M.Hilmy Alfaruqi, 2008).

Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. 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. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi.



Gambar 3.12 Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD

3.4.2.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Rockwell. Pengujian kekerasan Rockwell mempunyai cakupan pengujian logam metal baik itu ferrous maupun logam non ferrous. Pada pengujian kekerasan material kuningan digunakan pengujian rockwell B.

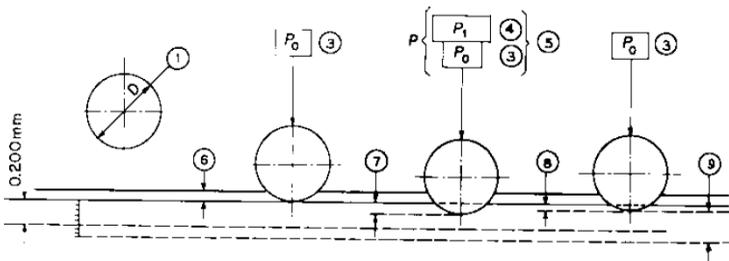
Pengujian kekerasan brinell dilakukan sesuai dengan standar ASTM E18. Diameter indenter yang digunakan sebesar 1/16-in (1.588-mm). Dengan pembebanan sebesar 100 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan kedalaman indentasi yang kemudian akan dikonversikan oleh mesin ke dalam nilai kekerasan Hardness Rockwell B. Nilai kekerasan akan muncul pada skala rockwell pada mesin Hardness.



$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$
 Penguujian kekerasan Rockwell

B menggunakan penumbuk (indenter/ penetrator) yang terbuat dari bola baja. Metode ini dilakukan dengan cara bahan diindentasi dengan indenter pada permukaan benda uji dengan beban tertentu kemudian diukur bekas penekanan yang terbentuk (Callister, 2000).

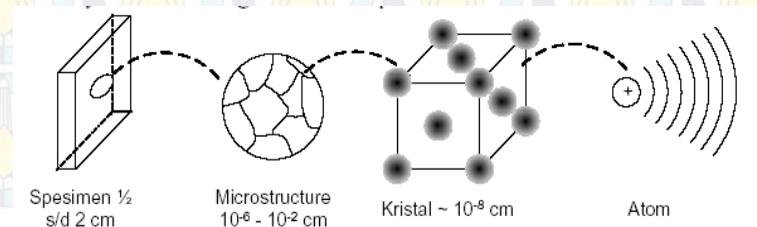
Gambar 3.12 menunjukkan sistem kerja uji kekerasan rockwell.



Gambar 3.13 Penguujian kekerasan Rockwell B

3.4.2.4 Penguujian Metalografi

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop



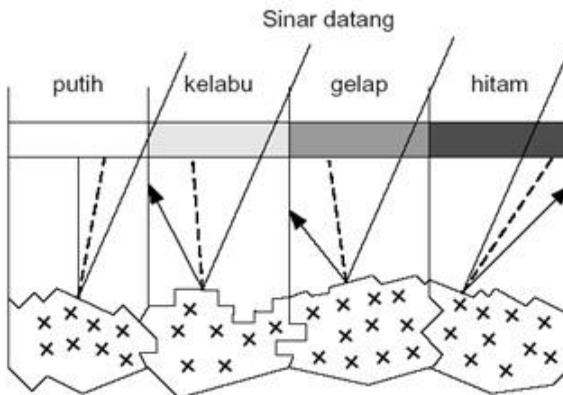
Gambar 3.14 Daerah lingkup ukuran mikro struktur
Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



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 akan 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 akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena.



Gambar 3.15 Alur sinar pada pengamatan metalografi



3.5 Rancangan Penelitian

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

Material		Pengujian			
Cu(wt%)	Zn (wt%)	Uji EDX	Uji XRD	Uji Kekerasan	Uji Metalografi
100	0	V	V	V	V
68	32				
66	34				
64	36				
62	38				



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn)

Paduan kuningan (Cu-Zn) dihasilkan melalui pencampuran seng terhadap tembaga. Paduan Cu-Zn dihasilkan melalui pelelehan di dalam tungku gas. Lelehan paduan didinginkan hingga temperatur kamar di dalam krusibel. Temperatur lebur paduan tembaga-seng (Cu-Zn) adalah 1100°C. Gambar 4.1 menunjukkan hasil coran paduan Cu-Zn. Coran Cu-Zn yang dihasilkan menunjukkan pelelehan dan pepaduan yang homogen. Coran yang dihasilkan menunjukkan warna kuning cerah. Coran tidak menunjukkan adanya segregasi. Coran menunjukkan adanya porositas.



Gambar 4.1 Coran Cu-Zn

4.2 Komposisi Kimia Paduan Coran Tembaga-Seng (Cu-Zn)

Pengujian komposisi kimia coran Cu-Zn dilakukan dengan menggunakan mesin *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS/EDX)*. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi kimia paduan coran. Logam Cu murni memiliki komposisi kimia 94,48 %berat Cu dan 5,52 %berat O. Paduan Cu-Zn dengan komposisi 32 %berat Zn dituliskan dengan notasi Cu-32Zn. Cu-32Zn memiliki komposisi kimia yang terdiri dari 87,47 %berat



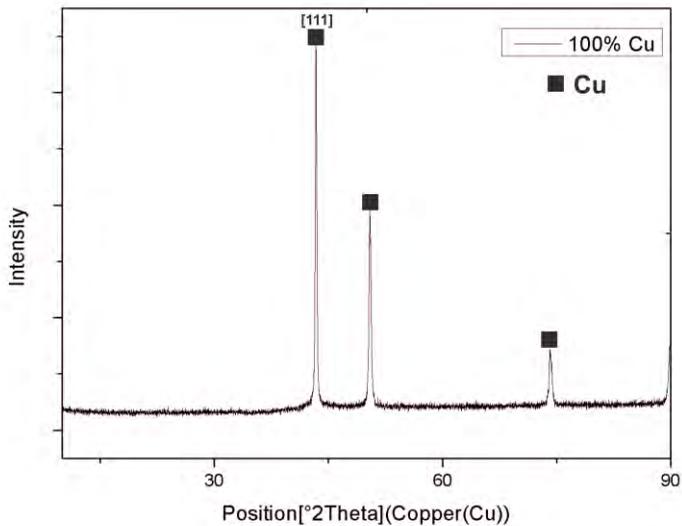
Cu, 8,46 %berat Zn, dan 4,07 %berat O. Paduan Cu-Zn dengan penambahan 34% berat Zn menunjukkan peningkatan kadar tembaga, namun menurunkan kadar oksigen. Paduan Cu-Zn dengan penambahan 36% berat Zn mengalami penurunan kadar tembaga, namun kadar oksigen meningkat. Paduan Cu-Zn dengan penambahan 38% berat Zn mengalami peningkatan kadar tembaga dan oksigen. Komposisi kimia hasil coran berbeda dengan komposisi awal (*feeding*). Komposisi tembaga pada hasil coran berbeda dengan komposisi *feeding*. Komposisi tembaga mengalami peningkatan karena tembaga memiliki kestabilan termal yang lebih tinggi. Komposisi seng pada coran berbeda dengan komposisi awal (*feeding*). Hal ini terjadi karena seng memiliki kestabilan termal yang lebih rendah dan temperatur lebur rendah.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia coran Cu-Zn

Material	Unsur (%berat)			
	Cu	Zn	O	C
Cu	94,48	0	5,52	0
Cu-32Zn	87,47	8,46	4,07	0
Cu 34Zn	56,46	6,44	6,09	31,01
Cu 36Zn	84,79	8,47	6,74	0
Cu-38Zn	81,84	8,53	9,63	0

4.3 Pengamatan Hasil XRD Coran Cu-Zn

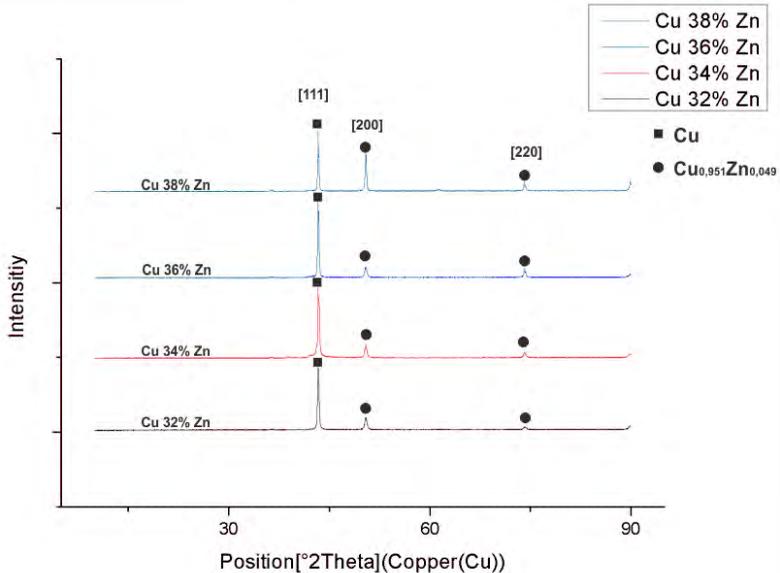
Pengujian XRD dilakukan dengan mengambil sampel hasil coran berupa padatan dari setiap penambahan komposisi seng, kemudian diletakkan disebuah *holder* untuk selanjutnya diuji dengan menggunakan alat *PAN Analytical*. Pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi hasil coran Cu-Zn tanpa penambahan seng terhadap hasil pengujian difraksi sinar-X (XRD). Pengujian dilakukan dengan sinar-X menggunakan *Range* sudut 10° - 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54060 \AA .



Gambar 4.2 Pola XRD Cu

Identifikasi fasa hasil pengujian XRD pada penelitian ini melalui *search match* dengan *Software X'pert Graphic & Identity* serta dengan pencocokan manual dengan kartu PDF dari software PCPDFWIN untuk puncak-puncak yang teridentifikasi saat *search match* dengan sebelumnya mengidentifikasi unsur-unsur atau senyawa yang dapat muncul setelah proses melting.

Dari hasil pengujian XRD 100%Cu (Gambar 4.2) didapatkan bahwa hanya terdapat unsur Cu. Hasil ini menunjukkan bahwa Cu menyebar merata pada spesimen sehingga semua peak yang dihasilkan pada pengujian XRD dimiliki oleh unsur Cu murni dengan puncak tertinggi berada pada 2 theta 43.3341.



Gambar 4.3 pola XRD Paduan Coran Cu (a) 32 wt% Zn (b) 34 wt% Zn (c) 36 wt% Zn (d) 38 wt% Zn

Pada paduan Cu-Zn diberikan variasi komposisi seng 32%, 34%, 36%, dan 38% yang menghasilkan *peak* hasil XRD pada gambar 4.3. Jika grafik XRD antara Cu tanpa penambahan seng dengan Cu dengan variasi komposisi seng terdapat perubahan pada tinggi puncak dan timbulnya *peak* baru.

Berdasarkan hasil uji XRD diatas tampak bahwa terjadi perubahan tinggi *peak* akibat adanya penambahan komposisi seng. Secara umum kelima sampel masih terlihat memiliki pola difraksi yang sama atau belum terjadi perubahan yang signifikan. Namun jika diamatin lebih lanjut dengan *single peak analysis* terdapat kecenderungan terbentuk fasa baru dengan penambahan komposisi seng. Hal ini terbukti dari adanya perbedaan tinggi puncak pada setiap variasi penambahan tembaga sehingga dapat



dikatakan indikasi terbentuknya fasa baru yaitu fasa $\text{Cu}_{0,951}\text{Zn}_{0,049}$.

Berdasarkan Gambar 4.3 tampak adanya perubahan tinggi intensitas *peak* tertinggi Cu pada 2θ 43.3341 yang meningkat pada komposisi 32 % Zn dan selanjutnya masih meningkat pada komposisi 34% Zn, selanjutnya mengalami kenaikan pada komposisi 36 % Zn dan pada komposisi 38 % Zn mengalami penurunan. Pada gambar di atas dapat dianalisis bahwa *peak* tertinggi memiliki bidang kristal (111) dan memiliki struktur kristal FCC, sedangkan *peak* kedua tertinggi berada pada 2θ 50.4251 memiliki bidang kristal (200), dan *peak* tertinggi ketiga adalah pada posisi 2θ 74.1028 terdapat pada bidang kristal (220). Pada *peak* kedua dan ketiga terbentuk senyawa intermetalik $\text{Cu}_{0,951}\text{Zn}_{0,049}$. Semakin bertambahnya komposisi seng maka tinggi intensitas senyawa $\text{Cu}_{0,951}\text{Zn}_{0,049}$ juga akan semakin meningkat. Terlihat ada kenaikan intensitas pada posisi 2θ 50.4251 dan 74.1028 seiring bertambahnya komposisi seng pada paduan coran.

4.4 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan material spesimen dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan Rockwell B (HRB) dengan pemberian beban tekan 100 kgf dan diameter indentor 1/16-inch atau 1.588-mm (ASTM E18). Tabel 4.2 dan Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh penambahan seng pada paduan Cu-Zn. Pengujian dilakukan dengan memberikan 5 indentasi pada setiap 1 spesimen sehingga didapat 5 nilai kekerasan HRB pada setiap spesimen yang kemudian dihitung rata-rata nilai kekerasan HRB untuk setiap spesimen. Hasil pengujian kekerasan pada beberapa titik memiliki sedikit perbedaan hal itu disebabkan oleh beberapa hal seperti preparasi alat, maupun permukaan spesimen yang kurang rata. Grafik nilai kekerasan HRB paduan Cu-Zn



mengalami kenaikan seiring bertambahnya komposisi berat seng pada paduan.

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan HRB

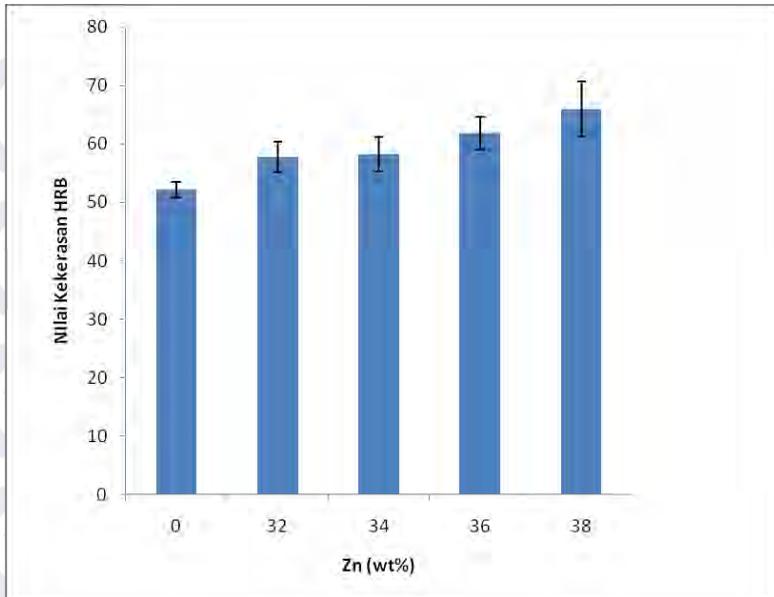
No	Spesimen	Titik	HRB	Rata-Rata
1	Cu 0% Zn	1	51	52,2±1,3
		2	53	
		3	54	
		4	51	
		5	52	
2	Cu 32 % Zn	1	60	57,8±2,59
		2	56	
		3	55	
		4	57	
		5	61	
3	Cu 34 % Zn	1	53	58,2±2,95
		2	60	
		3	59	
		4	59	
		5	60	
4	Cu 36 % Zn	1	57	61,8±2,77
		2	64	
		3	63	
		4	62	
		5	63	
5	Cu 38 % Zn	1	62	66±4,69
		2	64	
		3	62	
		4	72	
		5	70	



Pada komposisi 100%Cu nilai kekerasan rata-rata yang didapat dari lima titik indentasi adalah 52,2 HRB. Komposisi 32 wt % Zn nilai kekerasan mengalami kenaikan menjadi 57,8 HRB, kemudian untuk komposisi 34 wt % Zn didapatkan kenaikan kekerasan menjadi 58,2 HRB, untuk komposisi 36 wt % Zn nilai kekerasan mengalami kenaikan menjadi 61,8 HRB, dan untuk komposisi 38 wt % Zn dihasilkan nilai kekerasan mencapai 66 HRB dan mulai muncul fase beta. Fase ini berperan meningkatkan kekerasan paduan.

Fase beta memiliki struktur kristal BCC dimana struktur ini memiliki sifat yang kuat dan keras. Pembentukan senyawa intermetalik dan fase logam yang berbeda dapat mengurangi pergerakan dislokasi dalam struktur logam akibatnya ketika logam diberi tekanan, maka logam akan mampu menahan beban lebih kuat jika dibandingkan dengan logam murni. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan komposisi Zn dapat meningkatkan nilai kekerasan paduan tembaga-seng.

Pada proses pengecoran tembaga-seng proses pendinginan juga akan mempengaruhi struktur pada paduan. Hasil pendinginan cepat dan lambat juga akan berpengaruh pada nilai kekerasan spesimen. Spesimen pada penelitian ini didinginkan pada tungku (*furnace*) artinya nilai kekerasan akan berbeda dengan spesimen yang langsung didinginkan cepat. Hasil pengujian kekerasan penelitian ini memiliki sedikit deviasi jika dibandingkan dengan hasil pada pengujian-pengujian sebelumnya yang terdapat pada literatur. Nilai kekerasan yang ingin dicapai tergantung dari produk atau aplikasi yang menggunakan paduan tembaga-seng.



Gambar 4.4 Nilai Kekerasan HRB

4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran

Proses metalografi dimulai dengan menghaluskan permukaan spesimen dengan metode *grinding* mulai dari grade 80 hingga grade 2000. Pengujian Metalografi dilakukan sesuai standar ASTM E 407. Larutan etsa yang digunakan adalah campuran antara larutan NH_4OH (*Ammonium hydroxide*) sebanyak 20 mL, 20 mL H_2O , dan 10 mL H_2O_2 (*Hydrogen Peroxide*) (3%). Mikroskop digunakan dengan metode *Brightfield* sehingga permukaan yang tegak lurus arah lensa akan berwarna cerah, sedangkan permukaan yang tidak tegak lurus akan berwarna gelap.

Struktur mikro paduan Cu-Zn dengan variasi komposisi seng dapat dilihat pada gambar 4.5. Struktur mikro pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa dengan setiap kenaikan komposisi seng pada paduan tembaga-seng akan membentuk morfologi struktur mikro yang berbeda.



Pada gambar **a** terlihat jelas bahwa hasil metalografi tembaga murni 100%Cu menghasilkan fase alfa (α). Fase ini memiliki mempunyai striktur *fcc* yang memiliki sifat yang lebih ulet dan kekerasannya lebih rendah. Selain itu struktur ini memiliki sifat yang lunak dan *formability* yang baik. Untuk semua fase tunggal paduan alfa (α), pembekuan dimulai dengan pembentukan dendrit ketika mulai proses pendinginan di bawah temperatur likuidus. Seiring menurunnya temperatur maka morfologi struktur mikro akan mengalami perubahan.

Pada gambar **b** Cu-32% Zn terdapat poros yang terbentuk setelah terjadi proses pendinginan pada hasil pengecoran. Fasa yang terbentuk adalah fasa α . Pada perbesaran 200 kali fase α ditunjukkan dengan wana yang lebih cerah, sedangkan poros ditunjukkan dengan bentuk lubang hitam pada permukaan spesimen. Fase α memiliki struktur kristal *fcc* dimana sifatnya adalah lunak. Poros yang terbentuk hanya sedikit dan terletak hanya pada titik tertentu.

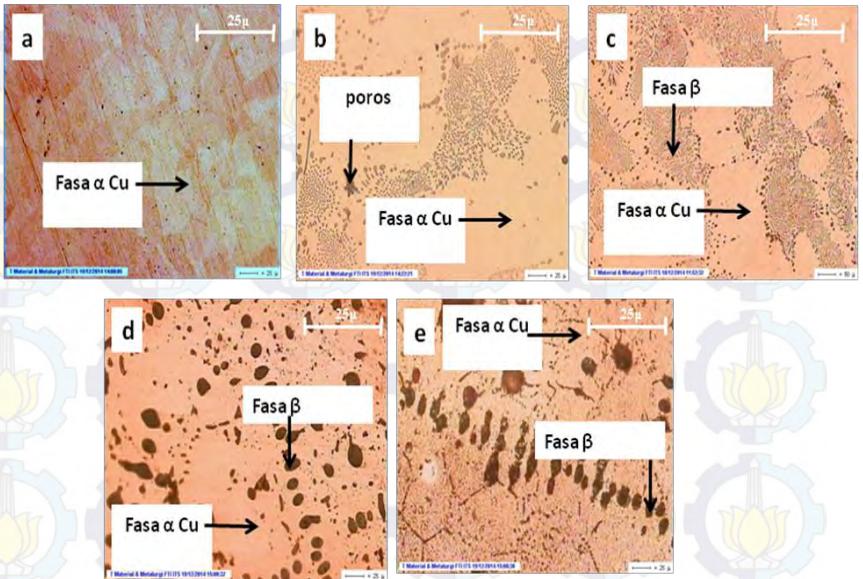
Pada komposisi paduan Cu-34% Zn (gambar **c**) fase yang muncul adalah alfa dan beta. Pada gambar ini jumlah fase α terlihat sedikit mengalami penurunan sedangkan fase β mengalami peningkatan. Komposisi seng yang meningkat pada diagram Cu-Zn akan mengurangi daerah yang membentuk fase α dan sebaliknya dengan fase β akan mengalami sedikit peningkatan. Struktur β merupakan fase penguat sehingga paduan ini memiliki nilai kekerasan yang lebih jika dibandingkan dengan komposisi seng yang lebih rendah.

Pada gambar **d** Cu-36% Zn fasa yang muncul adalah fasa α , dan fase β . Namun pada gambar ini akan terlihat perbedaan bahwa terjadi penurunan jumlah fase β sedangkan jumlah fase α mengalami kenaikan. Hasil ini berbanding terbalik dengan hasil sebelumnya. Hal yang mungkin menyebabkan ini terjadi saat pengambilan dan pemotongan spesimen uji, permukaan yang akan dimetalografi memiliki struktur α dan β yang kurang merata



akibatnya pada sisi tertentu jumlah α banyak namun ada ada juga yang persebarannya sedikit. Pengambilan struktur mikro pada permukaan spesimen yang lebih lebar dan pada banyak sisi akan memungkinkan mendapatkan hasil yang lebih baik. Hasil identifikasi fasa dari beberapa foto struktur dapat dibandingkan untuk menentukan perbedaan yang muncul pada spesimen uji.

Pada komposisi paduan Cu-38% Zn gambar **b** terlihat jelas fasa yang terbentuk adalah masih fasa α , dan fasa β . Dari gambar di atas dapat diidentifikasi perbedaan struktur mikro jika dibandingkan dengan paduan dengan komposisi seng yang lebih rendah. Jumlah fase β mengalami peningkatan dan fase α mengalami. Fasa β yang muncul semakin banyak dan mulai tersebar pada struktur mikro paduan. Pada kondisi ini sifat kekerasan dari paduan akan mengalami peningkatan seiring semakin banyaknya pertumbuhan butir fase β . Jumlah β yang semakin banyak akan mempengaruhi sifat kekerasan spesimen. Dari hasil nilai kekerasan sebelumnya terbukti pada komposisi 38% Zn memiliki nilai kekerasan tertinggi.



Gambar 4.5 Struktur Mikro Paduan (a) Cu -0% Zn (b) Cu -32% Zn (c) Cu -34% Zn (d) Cu -36% Zn (e) Cu -38% Zn



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengaruh penambahan seng pada kekerasan dan struktur mikro dari paduan Cu-Zn telah diteliti. Kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut :

1. Penambahan Seng pada paduan Cu-Zn menaikkan nilai kekerasan. Hasil coran menunjukkan kekerasan tertinggi pada komposisi 38% berat Zn sebesar 66 HRB.
2. Fasa yang terbentuk pada coran Cu-38Zn adalah alfa Cu dengan struktur kristal FCC.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan:

1. Menggunakan metode lain dalam pengujian komposisi kimia, semisal XRF.
2. Menggunakan pengujian SEM untuk menentukan penyebaran komposisi setelah pengujian EDX.
3. Tungku gas dilengkapi termokopel agar kontroling temperatur lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee.
- _____. 1992. *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams*. ASM International Handbook Committee.
- Abidin, Zainal. 2008. Identifikasi Fasa Intermetalik β -AlFeSi Pada Paduan Al-7wt%Si dan Al-11wt%Si yang Mengandung Besi. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Astika, I Made., 2010. Pengaruh Jenis Pasir Cetak dengan Zat Pengikat Bentonit Terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan Pasir (*Sand Casting*) . Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Atsumi, Haruhiko., 2011. *Fabrication and Properties of High-Strength Extruded Brass Using Elemental Mixture of Cu40% Zn Alloy Powder and Mg Particle*. Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka. Japan
- Brunhuber; Giesserei Lexikon. Edisi 14. *Fachverlag Schiele & Schoen GmbH*. Berlin. (1988)
- Callister, William D. 1993. “*Materials Science and Engineering*”, 8rd edition. New Jersey: John Willey & Sons, Inc.
- Davis, J.R., 2001. *Understanding the Basic Alloying*. ASM International. United States of America.
- Daryanto. 2010, ”Proses Pengolahan Besi dan Baja (Ilmu Metalurgi)”. Sarana Tutorial Nurani, Bandung.
- Fan, C.H. 2010. *Effects of the casting temperature on microstructure and mechanical properties of the squeeze-cast Al-Zn-Mg-Cu alloy*. College of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha, PR China.
- Mojaver, Reza. 2011. *Relationship between cooling rate, microstructure features and wear behavior in end-chill cast Zn-27%Al alloys containing more than 2% Cu*.

Tarbiat Modares University, Department of Materials Engineering. Iran.

Nugroho, Untung. 2010. Pengaruh Struktur Mikro dan Kandungan Karbon Pada Kekerasan Coran Kuningan. Universitas Gunadarma.

Osório, W. 2003. *Mechanical properties as a function of thermal parameters and microstructure of Zn–Al castings*. Department of Materials Engineering, State University of Campinas. Brazil.

Salam, Abd L. 2006. *Effect of Cu additions on the structural and mechanical properties of Sn–Zn alloy*. Physics Department, Faculty of Education, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

Situmeang, Saut.2010. Perancangan dan Pembuatan Alat Pemanas Pada Dapur Crucible Untuk Peleburan Aluminium/Paduan Dengan Kapasitas 30 kg. Universitas Sumatra Utara, Medan.

Syaputra, Herryan. 2011. Pembuatan Kelongsong Peluru Menggunakan CuZn 65%-35% Melalui Metode Metalurgi Serbuk Dengan Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Modulus Elastisitas Sebagai Metode Alternatif Dari Proses *Deep Drawing*. Teknik Material dan Metalurgi ITS.

Triharya Wijaya, 2010, Analisis Struktur Paduan Akibat Pengaruh Temperatur Pemanasan Dan Pendinginan Terhadap Sifat Mekanik Dan Espansi Termal Paduan CuPbSn Sebagai Bussing, Tesis FMIPA USU, Medan.

Wibisono, Mirza., 2009. Studi Pengaruh Temperatur dan waktu pemanasan proses anil cepat terhadap besar butir , mampu bentuk pelat, difraksi sinar x dan kekasaran pelat kuningan 70/30. Teknik Metalurgi dan Material UI.

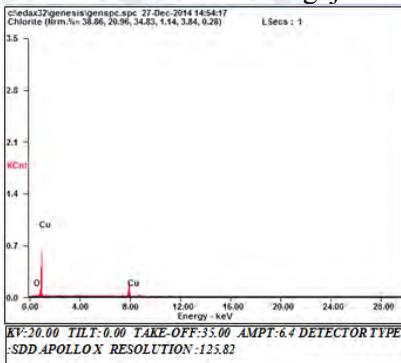


(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran A :

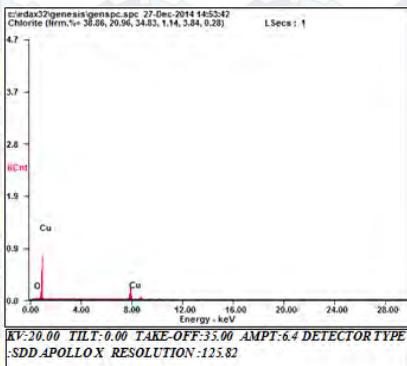
Hasil Pengujian EDX

Hasil Pengujian EDX Cu-0% Zn



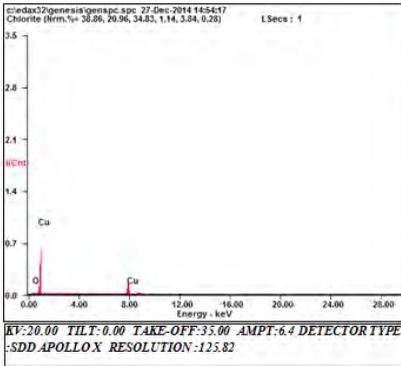
Element	Wt %	At %
OK	05.75	19.51
CuK	94.25	80.49

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	06.43	21.45
CuK	93.57	78.55

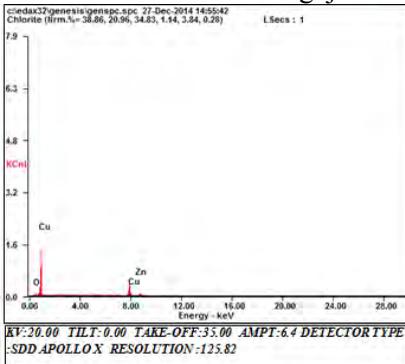
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	05.75	19.51
CuK	94.25	80.49

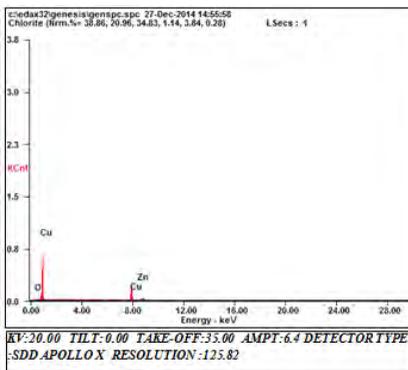
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Cu-32% Zn



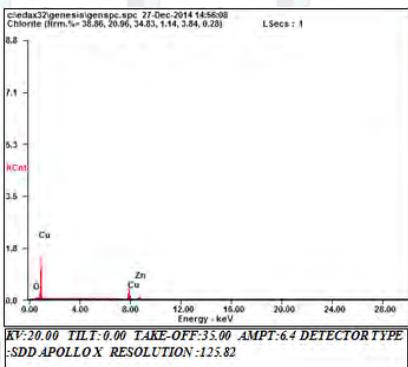
Element	Wt %	At %
O K	04.76	16.61
CuK	86.18	75.66
ZnK	09.06	07.73

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
OK	03.05	11.14
CuK	90.14	82.78
ZnK	06.81	06.08

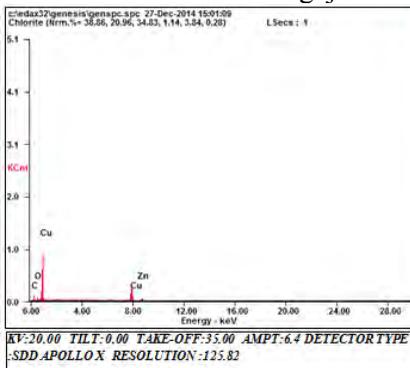
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
OK	04.40	15.48
CuK	86.10	76.33
ZnK	09.51	08.19

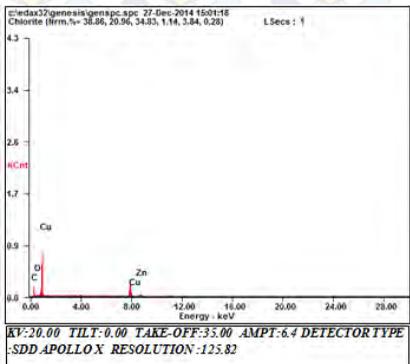
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Cu-34% Zn



Element	Wt %	At %
C K	25.47	60.08
O K	05.12	09.07
Cu K	60.96	27.19
Zn K	08.45	03.66

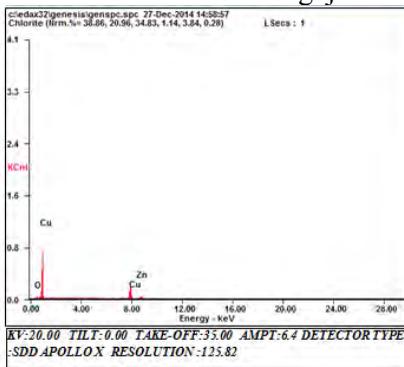
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	37.91	72.23
O K	05.10	07.29
Cu K	51.90	18.69
Zn K	05.10	01.78

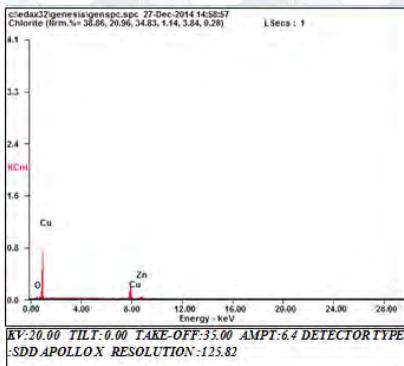
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Cu-36% Zn



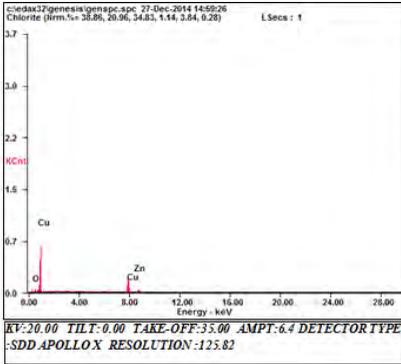
Element	Wt %	At %
O K	05.56	19.00
Cu K	84.88	73.01
Zn K	09.56	07.99

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE: DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	05.56	19.00
Cu K	84.88	73.01
Zn K	09.56	07.99

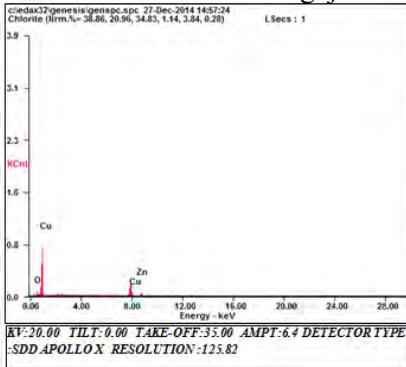
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE: DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	06.98	23.01
CuK	84.82	70.38
ZnK	08.19	06.61

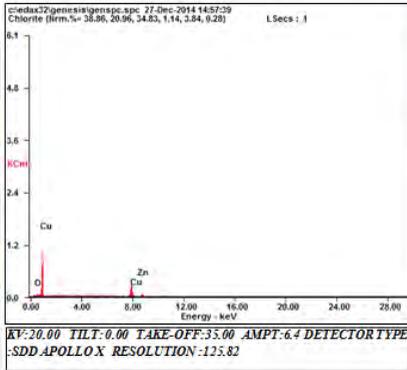
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Cu-38% Zn



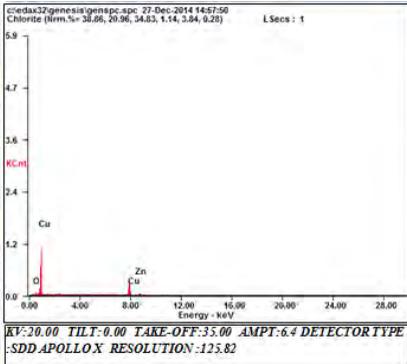
Element	Wt %	At %
O K	12.02	35.23
CuK	80.07	59.10
ZnK	07.91	05.68

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	07.93	25.55
CuK	82.77	67.12
ZnK	09.29	07.33

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	08.93	28.08
CuK	82.69	65.47
ZnK	08.38	06.45

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT

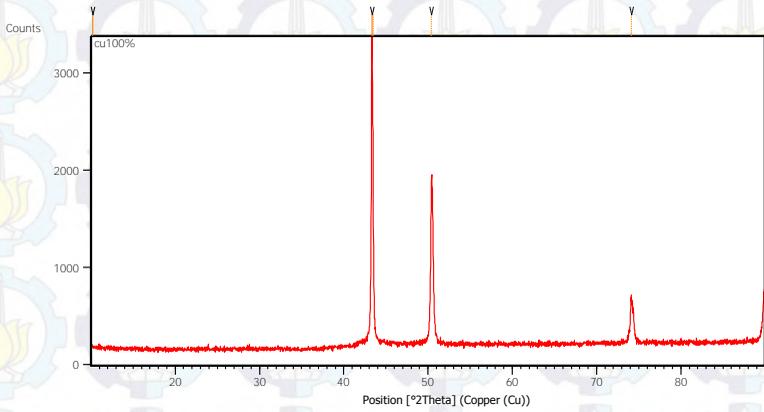


(halaman ini sengaja dikosongkan)

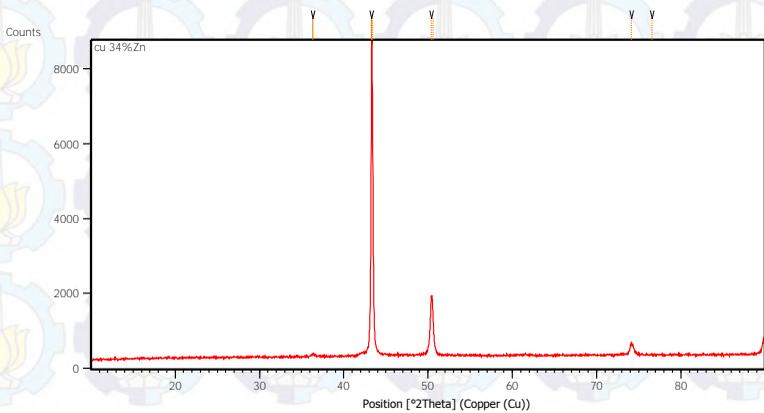
Lampiran B :

Hasil Pengujian XRD

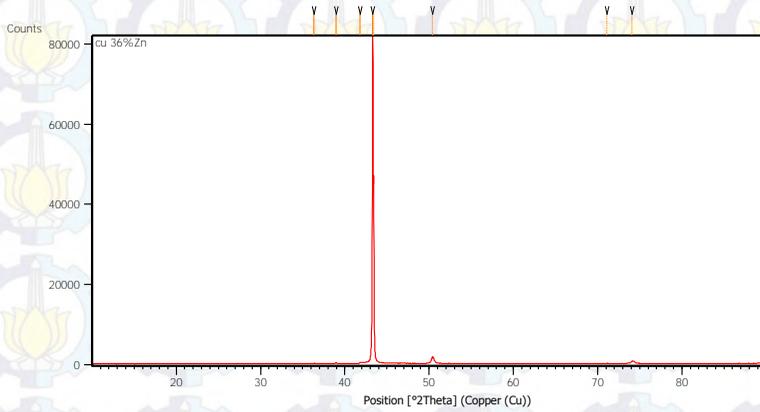
Hasil Pengujian XRD Cu-0%Zn



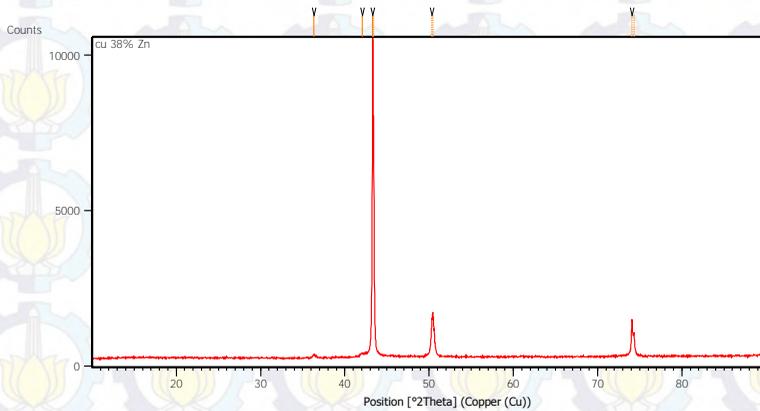
Hasil Pengujian XRD Cu-32%Zn



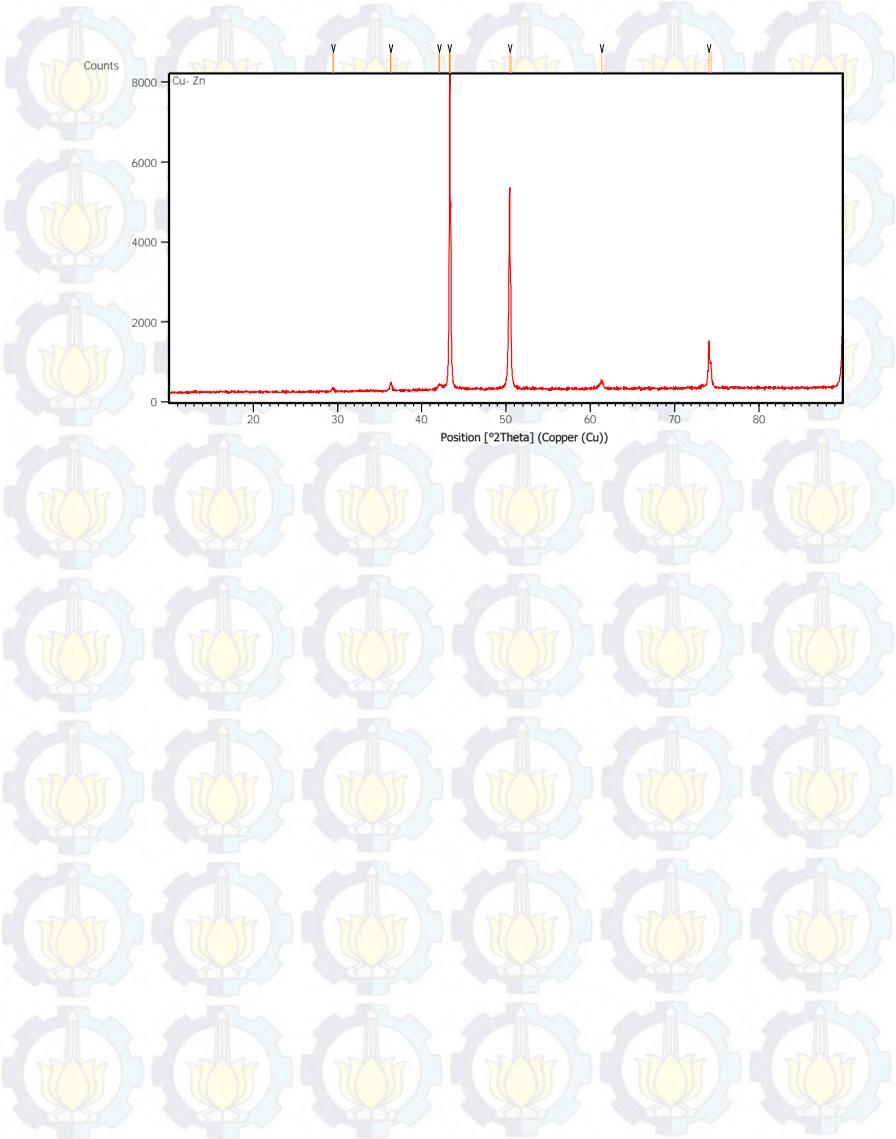
Hasil Pengujian XRD Cu-34%Zn



Hasil Pengujian XRD Cu-36%Zn



Hasil Pengujian XRD Cu-38%Zn



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Gunawan P.S. Hutahae dilahirkan di desa Sitorang Jae, 13 Mei 1993, merupakan putra dari pasangan Bapak Janner Hutahae dan Ibu Rismaya Marpaung. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SD N 173538 Tampubolon, SMP N 4 Balige, dan SMA N 2 Balige. Setelah lulus dari SMA tahun 2011, penulis diterima

menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS melalui jalur SNMPTN tulis.

Penulis aktif sebagai staff Badan Semi Otonom HMMT FTI-ITS periode 2012/2013 dan periode 2013/2014, serta Menjadi Ketua Departemen Minat Bakat paguyuban Mahasiswa Bona Pasogit ITS (MBP-ITS) 2013/2014. Pada masa perkuliahan, penulis pernah menjadi OC Rangkaian Acara Silver Parade HMMT FTI ITS tahun 2014.

Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Indonesia Asahan Aluminium Kuala Tanjung Sumatra Utara. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Metalurgi Manufaktur.

Alamat penulis saat ini adalah Jln Gereja HKBP Tampubolon, Toba Samosir, Sumatra Utara. Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 085360943165 atau alamat email hutahaeangunawan@gmail.com