

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Menurut penelitian Baihaqi (2017) Meneliti dari pengaruh penambahan unsur seng (zn) untuk aplikasi elektroda las. Setelah itu dilakukan pengujian XRD, OES, Metalografi, dan Uji Kekerasan. Paduan Cu36Zn mempunyai nilai kekerasan 55.63 HRV. Paduan Cu38Zn mempunyai nilai kekerasan 60.62 HRV. Paduan Cu-40Zn mempunyai nilai kekerasan sebesar 103 HRV. Paduan Cu42Zn mempunyai nilai kekerasan 106.75 HRV. Paduan elektroda mempunyai nilai kekerasan sebesar 98.30 HRV. Penambahan unsur seng (Zn) pada paduan Cu-Zn meningkatkan sifat kekerasan. Penambahan unsur seng (Zn) pada elektroda akan meningkatkan sifat kekerasannya.

Menurut penelitian Budi (2018) Penelitian ini menggunakan media pendingin yang berbeda yaitu: air laut, air sumur, dan oli SAE 20. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan sifat fisis dan mekanis hasil pengecoran kuningan dengan media pendingin yang berbeda. Dari pengujian kekerasan benda uji dengan media air sumur mempunyai nilai kekerasan lebih baik dibanding air laut dan oli SAE 20. Dari hasil pengujian komposisi kimia terdapat 18 unsur, tetapi hanya 5 unsur yang paling berpengaruh pada kuningan cor yaitu: Cu, Zn, Pb, Fe, dan Sn yang paling dominan. Dilihat dari unsur yang ada pada material ini dapat digolongkan logam kuningan paduan seng (Cu-Zn).

Menurut penelitian Cahyono (2018) Hasil dari membandingkan sifat fisis dan mekanis hasil pengecoran kuningan dengan media pendinginan yang berbeda. Analisa data menunjukkan bahwa dari hasil pengujian komposisi kimia ditemukan beberapa unsur antara lain (Cu) 66,4%, (Zn) 27,9%, (Pb) 2,22 %, (Sn) 1,38%, (Fe) 0,727%, dan (Ni) 0,401%. Dari hasil pengujian kekerasan HRB didapatkan untuk variasi media pendinginan air sumur sebesar 33,08 HRB, media pendinginan udara suhu kamar sebesar 28,31 HRB, dan media pendinginan oli SAE 40 sebesar 27,98 HRB

Menurut penelitian Hardianto (2005) Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Cu, Pb, dan Sn dapat meningkatkan sifat mekanik bahan paduan, perlakuan panas dgn suhu 400°C dengan waktu tunggu 1 jam dan variasi media pendingin dapat meningkatkan kekerasan permukaan material. Paduan tembaga yang dihasilkan memiliki komposisi 76 % Cu, 11,8% Zn, 0.833 Ni, 0.466 Fe, 6.872 Sn dan 5.106 Pb dengan angka kekerasan Brinell 60. Nilai angka keausan 0,000013 gr/min. Setelah dilakukan uji unjuk kerja bantalan luncur yang menggunakan material dapat bertahan selama 4 bulan.

Menurut penelitian Rahayu (2018) Hasil yang telah dilakukan terdapat pengaruh variasi penambahan kuningan terhadap kekerasan dan nilai *impact*, dimana kekerasan paling tinggi didapatkan pada penambahan kuningan sebesar 30% dengan pembentukan susunan CuZn yang rapat dan memiliki ukuran yang kecil dan pendek serta menyebar merata keseluruh bagian aluminium. Selain itu pada nilai *impact* terjadi kenaikan dan penurunan namun tidak terlalu signifikan.

## **2.2 Kuningan**

Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng. Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan, dan kuningan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah untuk di bentuk ke dalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dari air garam.

Komponen utama kuningan adalah tembaga. Jumlah kandungan tembaga bervariasi antara 55% sampai dengan 95% menurut beratnya tergantung pada jenis kuningan dan tujuan penggunaan kuningan. Kuningan yang mengandung persentase tinggi tembaga terbuat dari tembaga yang dimurnikan dengan cara elektrik yang setidaknya menghasilkan kuningan murni 99,3% agar jumlah bahan lainnya bisa di minimalkan. Kuningan yang mengandung persentase rendah tembaga juga dapat dibuat dari tembaga yang dimurnikan dengan elektrik, namun

lebih sering dibuat dari *scrap* tembaga. Ketika proses daur ulang terjadi, persentase tembaga dan bahan lainnya harus diketahui sehingga produsen dapat menyesuaikan jumlah bahan yang akan ditambahkan untuk mencapai komposisi kuningan yang diinginkan. Komponen kedua dari kuningan adalah seng. Jumlah seng bervariasi antara 5% sampai dengan 40% menurut beratnya tergantung pada jenis kuningan

Kuningan dengan persentase seng yang lebih tinggi memiliki sifat lebih kuat dan lebih keras, tetapi juga lebih sulit untuk dibentuk, dan memiliki ketahanan kurang terhadap korosi.

Beberapa kuningan juga mengandung persentase kecil dari bahan lain untuk menghasilkan karakteristik tertentu, hingga 3,8% menurut beratnya. Timbal dapat ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan. Penambahan timah meningkatkan ketahanan terhadap korosi, Membuat kuningan lebih keras dan membuat struktur internal yang lebih kecil sehingga kuningan dapat dibentuk berulang dalam proses yang disebut penempaan. Arsenik dan *antimony* kadang-kadang ditambahkan ke dalam kuningan yang mengandung seng lebih dari 20% untuk menghambat korosi. Bahan lain yang dapat digunakan dalam jumlah yang sangat kecil yaitu mangan, silikon, dan fosfor.

### 2.2.1 Klasifikasi kuningan

Adapun klasifikasi kuningan adalah sebagai berikut:

1. Paduan Cu – (5~20%) Zn, untuk material arsitektur dan peralatan rumah tangga.
2. Paduan Cu – (25~35%) Zn, disebut juga kuningan 7/3 dengan sifat mudah dimesin dengan kekuatan yang memadai sehingga tepat digunakan untuk komponen-komponen yang rumit.
3. Paduan Cu – (35~45%) Zn, disebut juga kuningan 6/4. Berharga lebih murah dan banyak dikerjakan panas, dengan kekuatan yang tinggi. Banyak digunakan untuk pengerjaan plat dan untuk peralatan mesin.
4. Paduan Cu–Zn–Sn (*Naval Brass*, kuningan perkapalan) yang mana kuningan 6/4 ditambahkan timah 0.5 ~ 1.5%. Namun bila kuningan 7/3 ditambah timah sekitar 1% disebut *Admiral Brass*, kuningan laksamana. Memiliki ketahanan korosi air laut yang tinggi. Banyak digunakan untuk kondenser air, komponen kapal laut.

5. Kuningan kekuatan tinggi (Cu-Zn-Mn), merupakan kuningan 6/4 yang dipadu dengan mangan 0.3 ~ 3% dan Al, Fe, Ni dan Sn di bawah 1% untuk meningkatkan kekuatan dan memperbaiki daya tahan korosi. Mn dan Fe melembutkan butiran logam sehingga kekuatan meningkat. Al dan Sn meningkatkan daya tahan korosi dan daya tahan aus. Nikel juga menaikkan kekuatan dan daya tahan aus.

### 2.2.2 Sifat-sifat Kuningan (Cu-Zn)

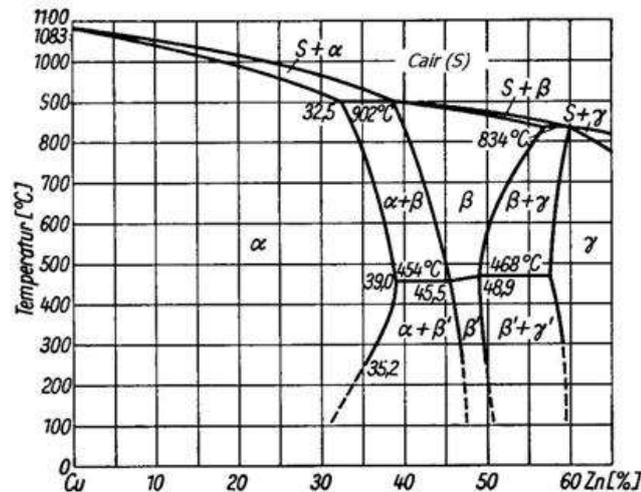
Kuningan memiliki warna kuning diredam yang agak mirip dengan emas. Hal ini relatif tahan terhadap noda dan sering digunakan sebagai hiasan dan untuk koin. Kuningan memiliki kelenturan yang lebih tinggi dari perunggu atau seng. Titik leleh yang relatif rendah dari kuningan (900-940 ° C, tergantung pada komposisi) dan karakteristik aliran yang membuatnya bahan relatif mudah untuk cor. Dengan memvariasikan proporsi dari tembaga dan seng, sifat-sifat kuningan dapat diubah, memungkinkan kuningan keras dan lembut. Kepadatan dari kuningan adalah sekitar £ 0,303 / inci kubik, 8400-8730 kilogram per meter kubik (setara dengan 8,4-8,73 gram per sentimeter kubik).

Saat ini hampir 90% dari semua paduan kuningan daur ulang. Karena kuningan tidak feromagnetik, dapat dipisahkan dari skrap besi dengan melewati memo dekat magnet yang kuat. Memo kuningan dikumpulkan dan diangkut ke pengecoran di mana ia mencair dan menampilkannya kembali ke *billet*. *Billet* yang dipanaskan dan diekstrusi menjadi bentuk yang diinginkan dan ukuran.

### 2.2.3 Paduan Kuningan

Yang memiliki matriks (struktur dasar)  $\alpha$  dan Kuningan- $\beta$  yang memiliki matriks Paduan CuZn dengan kandungan Cu sedikitnya 55% dikenal dengan sebutan Kuningan. Secara umum kuningan terdiri dari Kuningan- $\alpha$ .

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.



Gambar 2.1 Diagram Fasa CuZn  
(Sumber: Maretharamadhanis, 2016)

Pada proses pendinginan yang umum dicapai secara teknis, struktur kuningan dengan kandungan Zn 39% setelah perlakuan panas biasanya akan terdiri dari kristal  $\alpha$  yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal  $\beta$ . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan  $\alpha$  (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki ketemesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya.

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 *Red* dan *Leaded Red Brasses*

*Red brasses* (C83300-C83810) adalah hasil pengecoran tembaga, seng, timbal, dan timah. Paduan ini mengandung 2-8 % Zn, untuk *red brasses* Pb kurang dari 0,5 %, dan untuk *leaded redbrasses* Pb lebih dari 0,5 %, serta Sn kurang dari 6 % . Paduan ini memiliki struktur kristal FCC  $\alpha$ . 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 *impeller*, pipa saluran air, katup, dan beberapa produk lain.

### 1. *Semi-Red and Leaded Semi-Red Brasses*

Paduan ini (C84200-C84800) memiliki kandungan sebanyak 2-17 % Zn, Sn kurang dari 6 %, untuk *semi-red brasses* Pb kurang dari 0,5 % dan untuk *leaded semi-red brasses* Pb lebih dari 0,5 %. Seng mengurangi ketahanan korosi, dan hanya berpengaruh kecil terhadap nilai kekuatan paduan. Struktur mikro paduan ini kebanyakan dalam fase tunggal.

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

### 2. *Yellow and Leaded Yellow Brasses*

(C85200-C85800) Paduan ini mengandung 20-40% Zn dan memiliki mikrostruktur  $\alpha$  total dengan satu fasa  $\beta$  ukuran besar. Walaupun  $\beta$  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.

### 3. *High-Strength Brasses*

Logam ini sering disebut sebagai perunggu-mangan (*manganese bronze*) dan kuningan dengan kekuatan tarik tinggi (*high tensile brass*). Komposisi kuningan jenis ini adalah lebih dari 17 % Zn, lebih dari 2 % total dari Al, Fe, Mn, Sn, dan Si lebih dari 0,5 %, Pb dibawah 0,5 %, dan Sn kurang dari 6 %. Sifat mekanik seperti kekuatan yang tinggi berasal dari fasa beta yang terkandung pada struktur mikro paduan. Fasa  $\beta$  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.

#### 4. *Silicon Brasses/Bronzes*

Karakteristik paduan ini adalah memiliki temperatur penguapan yang rendah tetapi fluiditasnya tinggi. Dengan komposisi kuningan jenis ini adalah Zn lebih dari 5 % dan Si lebih dari 0,5 %. 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.

#### 5. *Tin Brasses* dan *Tin-Nickel Brasses*

Komposisi kuningan jenis ini adalah Sn lebih dari 6 %, Zn harus lebih dari Sn, dan untuk *tin-nickel brasses* Ni lebih dari 4 %.

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  $\alpha$  yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal  $\beta$ . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan  $\alpha$  (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki keternesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya. Pada kuningan dengan kandungan Zn 47,5%, kristal  $\beta$  akan terbentuk terlebih dahulu pada temperatur 890° C, fasa ganda ( $\beta$  + 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  $\beta$  yang homogen. Kuningan semacam ini disebut kuningan  $\beta$  (beta) dengan sifatsifatnya yang keras, rapuh dan keternesinan rendah serta lebih banyak digunakan pada perangkat instrumen musik.

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*.

### 2.3 Abu Batubara

Saat ini penggunaan batubara di kalangan industri semakin meningkat, karena selain harga yang relatif murah juga harga bahan bakar minyak untuk industri cenderung naik. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pengganti BBM, disatu sisi sangat menguntungkan namun disisi lain menimbulkan masalah, yaitu abu batubara yang merupakan hasil samping pembakaran batubara. Dari sejumlah pemakaian batubara akan dihasilkan abu batubara sekitar 2 – 10 % (tergantung jenis batubaranya, *low calory* atau *hight calory*). Sampai saat ini pengelolaan limbah abu batubara oleh kalangan industri hanya ditimbun dalam areal pabrik saja (*ash disposal*). Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus *amorf* dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran. Dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10 - 20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80 - 90 % berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan *electric precipitator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. *Fly ash* Batubara Menurut SNI 03-6414-2002 mendefinisikan pengertian abu terbang (*fly ash*) batubara adalah limbah hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Abu terbang (*fly*

*ash*) merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pada intinya abu terbang (*fly ash*) mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), 5 alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), *fero* oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu *magnesium* oksida ( $\text{MgO}$ ), *titanium* oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), pospor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan Karbon.



Gambar 2.2 *Fly Ash* Batubara  
(Sumber: Irawan, 2013)

### 2.3.1 Karakteristik Fisik dan Kimia *Fly Ash* Batubara

Menurut *ACI Committee 226*, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 65 – 27 % dengan *specific gravity* antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu terbang (*fly ash*) batubara mengandung silika dan alumina sekitar 80 % dengan sebagian silika berbentuk *amorf*. Sifat-sifat fisik abu terbang (*fly ash*) batubara antara lain densitasnya 2,23 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air sekitar 4 % dan komposisi mineral yang dominan adalah  $\alpha$ -kuarsa dan *mullite*. Selain itu, abu terbang (*fly ash*) batubara mengandung  $\text{SiO}_2 = 58,75 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,82 \%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,30 \%$ ,  $\text{CaO} = 4,66 \%$ , alkali = 1,36 %,  $\text{MgO} = 3,30 \%$  dan bahan lainnya = 0,81 %. Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu terbang (*fly ash*) batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), *chrom* (Cr).

Tabel 2.1. Kandungan Logam Berat pada Abu Batubara

---

No	Jenis abu batubara	Kandungan logam berat (ppm)				
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
1	Abu batubara bukit asam	298	19	391	11	224
2	Abu batubara ombilin	87	15	153	11	120

(Sumber: Irawan, 2013)

Tabel 2.2 Komposisi (%) *Fly ash* Batubara

Senyawa	Jenis Batubara		
	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignite (%)
SiO <sub>2</sub>	20 – 60	40 – 60	15 – 45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 – 35	20 – 30	10 – 25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO	1 – 12	5 – 30	14 – 40
MgO	0 – 5	1 – 6	3 – 10
K <sub>2</sub> O	0 – 3	0 – 4	0 – 4
Na <sub>2</sub> O	0 – 4	0 – 2	0 – 6
SO <sub>3</sub>	0 – 4	0 – 2	0 – 10
LOI	0 – 15	0 – 3	0 – 5

(Sumber: Irawan, 2013)

Sifat kimia dari abu terbang (*fly ash*) batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara *lignite* dan *subbituminous* menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada jenis *bituminous*. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit dari pada *bituminous*.

Kandungan karbon dalam abu terbang (*fly ash*) diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method* (LOI), yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang (*fly ash*) batubara. Abu terbang (*fly ash*) batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang (*fly ash*) hasil pembakaran batubara *bituminous* lebih kecil dari 0,075 mm.

Kerapatan abu terbang (*fly ash*) berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang (*fly ash*) batubara jenis *sub-bituminous* 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m<sup>2</sup>/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2–2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kelecakan (*workability*) yang lebih baik.

### 2.3.2 Pengelompokan Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara

Penggolongan abu terbang (*fly ash*) pada umumnya dilakukan dengan memperhatikan kadar senyawa kimiawi ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kadar CaO (*high calcium* dan *low calcium*), dan kadar karbon (*high carbon* dan *low carbon*). Menurut ASTM C618 abu terbang (*fly ash*) dibagi menjadi dua kelas yaitu:

a. Abu Terbang (*Fly Ash*) Kelas F

Abu terbang (*fly ash*) kelas F merupakan abu terbang (*fly ash*) yang diproduksi dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous*, mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. Abu terbang (*fly ash*) kelas F ini kadar kapurnya rendah ( $\text{CaO} < 10\%$ ).

Abu terbang (*fly ash*) yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau *bituminous*.

Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 70%. Kadar CaO < 10% (ASTM 20%, CSA 8%)

Kadar karbon (C) berkisar antara 5% -10%

Abu terbang (*fly ash*) kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

b. Abu Terbang (*Fly Ash*) Kelas C

Abu terbang (*fly ash*) kelas C disebut juga *high-calcium fly ash*. Ini dikarenakan mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat *self-cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah *strength* apabila bereaksi dengan air dengan waktu sekitar 45 menit) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur.

Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 50%.

Kadar CaO  $\geq$  10%

Kadar karbon (C) sekitar 2%

Abu terbang (*fly ash*) yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batubara (batubara muda/*sub-bituminous*)).

Perbedaan utama dari kedua abu tersebut adalah banyaknya *calcium*, silika, aluminium dan kadar besi di *ash* tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan abu terbang (*fly ash*) yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar CaO. Yang penting diketahui, bahwa tidak semua abu terbang (*fly ash*) dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi.

## 2.4 Pengecoran

### 2.4.1 Definisi Pengecoran

Pengecoran adalah proses dimana logam cair mengalir ke dalam cetakan dengan cara gravitasi maupun diberi gaya lainnya, kemudian logam cair membeku sesuai dengan bentuk cetakan. Prinsip utama dari pengecoran adalah; melebur logam, tuangkan ke dalam cetakan, dan biarkan hingga membeku.

Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Proses ini membutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. Pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia.

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan

dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, *automotiof*, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, assesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini.

#### **2.4.2 Peleburan**

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

Berbagai jenis *furnace* intinya adalah untuk digunakan dalam memanaskan logam sampai tempratur dimana logam tersebut mencair dan siap untuk dicor. Energi yang digunakan adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan tempratur menuju tempratur lebur dari logam, kemudiam panas fusi yang dibutuhkan untuk mengubah logam yang padat menjadi logam cair, setelah itu menaikkan tempratur yang diinginkan sehingga logam memiliki tempratur yang tepat saat akan dituang.

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan saat melebur logam, antara lain: (1) *Heat spessific* dan sifat termal yang bervariasi, terlebih saat logam mengalami perubahan fasa selama pemanasan. (2) *Spesific heat* dari sebuah logam mungkin berbeda saat berbentuk solid dan berbentuk cair. (3) Kebanyakan pengecoran paduan logam melebur di atas tempratur antara *solidus* dan *liquidus* dibanding melebur pada satu titik lebur.(4) Nilai-nilai sifat yang dibutuhkan dalam

perhitungan yang telah dibuat biasanya sebagian besar tidak terjadi di kebanyakan kasus. (5) Terjadi *heat losses* yang sangat besar ke lingkungan selama pemanasan logam. Setelah dilakukan pemanasan logam hingga logam melebur hingga siap untuk dituang. Mengalirnya logam cair ke dalam cetakan, yaitu melalui gating sistem yang telah disiapkan merupakan keadaan paling kritis dari pengecoran. Agar menjadi bentuk coran sesuai dengan yang diinginkan maka logam harus mengalir ke seluruh wilayah cetakan sebelum logam tersebut membeku. Beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut antara lain temperatur penuangan, kecepatan penuangan, dan *turbulence*.

Salah satu komponen yang sangat penting dalam proses pengecoran adalah *furnace*. *Furnace* berfungsi sebagai alat pelebur logam dengan memberikan pemanasan secara kontinyu. Desain yang dimiliki oleh *furnace* menjadi syarat yang mutlak sehingga dapat memberikan transfer panas yang efektif, ketersediaan bahan bakar yang memadai, serta harga dan perbaikan yang ekonomis. Selain itu faktor terkait dengan keilmuan metalurgi juga penting diperhatikan, misalnya kemungkinan logam cair berikatan dengan lingkungan, pengendalian komposisi, kadar pengotor, dan jumlah material yang dilebur.

Jenis-jenis yang paling umum digunakan dalam pengecoran adalah kupola, *direct fuel-fired furnaces*, *crucible furnaces*, *electric-arc furnaces*, dan *induction furnaces*. Pemilihan jenis *furnace* yang tepat yang akan digunakan berdasarkan faktor seperti paduan yang akan dilebur, temperatur lebur dan penuangan, kapasitas *furnace*, harga, pemakaian dan pemeliharaan, dan pertimbangan pencemaran lingkungan.

Berdasarkan sumber energi yang digunakan, *furnace* terbagi menjadi 2 kategori, yaitu melalui *fuel-fired* dan *electric*.

### **2.4.3 Pembuatan Cetakan**

Cetakan dalam proses pengecoran digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. Bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. Bahan yang digunakan untuk cetakan disebut "*Moulding Material*". Rongga cetakan harus bisa mempertahankan bentuknya agar

logam cair yang masuk tidak berubah bentuk pada saat dituang. Cetakan dapat dibagi dua, cetakan permanen dan cetakan sementara. contoh cetakan permanen biasa terbuat dari logam *ferrous*, dan besi cor. cetakan yang bersifat sementara biasanya terbuat dari pasir refraktori, plaster, resin, lilin.

Tabel 2.3 Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran

Macam coran	Temperatur penuangan C
Paduan ringan	650 – 750
<i>Brons</i>	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besin cor	1.250 – 1.450
Baja cor	1.500 – 1.550

(Sumber: Hardianto, 2005)