

## PERANAN METALURGI DAN PENGOLAHAN BAHAN GALIAN DALAM ARKEOLOGI

Djamhur Sule

### Pendahuluan

Benda sejarah dapat terbuat dari batu, lempung, keramik, kayu, tulang maupun logam dan lain-lain. Dalam mempelajari benda sejarah akan terungkap waktu pembuatannya serta kebudayaan manusia saat itu. Hal yang serupa didapat pula dari mempelajari benda sejarah yang terbuat dari logam atau paduannya, juga dapat dipelajari pula dari sudut sejarah terbentuknya logam, cara ekstraksi logam dan cara pembentukannya. Mengingat pada umumnya berasal dari bijih yang diekstraksi melalui suatu proses metalurgi, maka dengan mempelajari latar belakang perkembangan proses metalurgi suatu logam diharapkan dapat disingkap tentang waktu dan budaya pada saat benda sejarah tersebut dibuat untuk melengkapi informasi latar belakang benda sejarah tersebut.

Dalam meneliti perkembangan proses metallurgi maka mau tak mau perkembangan pengolahan bahan galianpun akan turut "berbicara" untuk melengkapi informasi bidang sejarah bersangkutan.

### Logam dan Sejarahnya

Metalurgi menurut Bray<sup>5)</sup> dapat didefinisikan sebagai Seni (*art*) dan Ilmu (*science*) eks-

traksi logam secara ekonomis dari bijihnya yang dapat dimanfaatkan atau digunakan untuk kepentingan manusia. Hal tersebut meliputi semua proses pemisahan mineral-mineral yang tidak berharga (*gangue mineral*) dari bijihnya termasuk peleburan, pemurnian dan penggerjaan logamnya. Juga penerapan teknis prinsip-prinsip kimia dan/atau fisika dilakukan dalam proses konsentrasi, ekstraksi, pemurnian, pembuatan paduan logam (*alloy*) dan penggerjaan logamnya untuk memenuhi keperluan/kegunaan manusia.

Kapan metalurgi mulai dikenal masih merupakan kabut dalam kurun waktu prasejarah. Pliny dalam tahun A.D. 23 – 79 pernah menulis dalam Natural History bahwa "dalam kenyataannya api diperlukan pada setiap kegiatan". Demikian pula dengan api suatu batuan misal batugamping dapat dibakar dan menghasilkan kapur tohor yang kemudian dapat dijadikan bahan pengikat dalam pembuatan dinding rumah sebagai kapur padam.

Dalam tahun 1540 buku pertama yang dicetak yang menyinggung bidang metalurgi adalah Pirotechnia dan diterbitkan di Itali. Enam belas tahun kemudian Georgius

Agricola<sup>5) 19)</sup> (1494-1555) menulis De Re Metallica (1556).

Pitrotechnia kemudian diterjemahkan oleh Cyril S. Smith dan diterbitkan oleh AIME (The American Institute of mining and Metallurgical Engineering) sedangkan De Re Metallica diterjemahkan oleh Herbert dan Mrs. Hoover. Penemuan logam oleh manusia ternyata masih gelap. Akan tetapi (native metal), maka oleh sebab itu mungkin emas adalah logam yang pertama yang ditemukan manusia. Lagi pula emas mempunyai sifat halus, menarik (*attractive*) dan berat selain tahan korosi dalam udara. Karena sifat halus dan lunak maka emas juga sering digunakan sebagai perhiasan dan tidak digunakan sebagai alat atau senjata. Permulaan metallurgi kemungkinan besar dimulai pada saat manusia purba membuat unggun api, dan ini dapat terlihat pada bekas unggun api purba yang mengandung butiran-butiran logam mengkilap yang ternyata adalah logam tembaga. Hal ini terjadi karena adanya reduksi pada tanah yang mengandung mineral tembaga oksida oleh karbon atau karbon monoksida yang berasal dari unggun api tersebut. Karena keinginan tahunya manusia purba pada saat itu maka dilakukan uji coba ulang yang ternyata berhasil. Karena keberhasilan tersebut maka percobaannya ditingkatkan prosesnya dan dicoba untuk mereduksi bijih untuk memperoleh timbal. Timbal mungkin logam pertama yang dihasilkan dengan reduksi dari bijihnya, dan menyusul timah lalu kemudian besi. Secara kebetulan dilakukan pula usaha pencampuran antara beberapa logam (*alloy*) dan perunggu (merupakan campuran antara tembaga dan timah) ditemukan pada awal tahun 3500 SM.

Manusia purba pada saat itu telah mempelajari bagaimana membuat api yang cukup panas untuk dapat melelehkan logam yang ditaruh dalam suatu tempat terbuat dari tanah. Orang Romawi menamakan tempat tersebut sebagai Crucibuli<sup>1)</sup> dan saat ini disebut "Crucibles".

Orang pada saat itu menemukan juga bahwa lelehan logam dapat dituang melalui lubang dua keping benda cetak yang terbuat dari tanah liat atau batu, di mana setelah bahan yang dituangkan melalui lubang itu mendingin akan diperoleh benda yang sesuai dengan bentuk

cetakan tadi. Arkeolog menemukan pedang dan ujung panah purba terbuat dengan cara ini.

Seni percampuran logam kemudian berkembang sampai tingkat dimana diperoleh apa yang dinamakan paduan logam atau alloy. Seperti dikemukakan di atas mungkin paduan logam pertama yang dibuat adalah perunggu yaitu berupa campuran antara tembaga dan timah dengan perbandingan 10 : 1. Pekerja-pekerja pada saat itu mengetahui bahwa paduan logam tersebut akan lebih keras jika jumlah timah ditambah. Oleh sebab itu perbandingan timah dalam perunggu tersebut dapat bermacam-macam untuk disesuaikan dengan keperluannya.

Robert E. Peary<sup>1)</sup> sewaktu mengadakan eksplorasi di Greenland pada tahun 1894 melaporkan tentang seorang Eskimo yang membawa dia ke tempat dekat Cape York di mana ditemukan tiga massa logam meteorit. Orang Eskimo menamakannya Saviksue atau "the great iron". Salah satu meteorit itu beratnya 30 ton dan terdiri dari besi, nikel dan kobalt. Meteorit itu kini tersimpan di Hayden Planetarium di Amerika.

Meskipun meteorit yang besar jarang jatuh ke bumi tetapi meteorit kecil sering ditemukan dan biasanya sebagian besar mengandung besi, nikel sekitar 8% dan sedikit kobalt.

Tidak disangkakan lagi bahwa perubahan kebudayaan manusia purba dari jaman batu ke jaman besi karena penemuan serta penggunaan meteorit tersebut. Namun pada saat ini meteorit tidak lagi merupakan sumber untuk logam besi.

Tembaga sering pula ditemukan dalam bentuk logam alami. Massa tembaga terbesar ditemukan di Minnesota di Amerika Utara pada tahun 1857 yang mempunyai berat 420 ton. Kebanyakan logam, terkecuali beberapa logam alami, ditemukan di alam dalam bentuk mineral atau bijih dimana logam tersebut berada dalam bentuk gugusan dengan unsur lainnya dan secara visual sering tidak menunjukkan sifat-sifat logamnya dan malahan ada yang terlihat seperti tanah saja.

Karat besi merupakan gugusan kimia yang mengandung besi demikian pula karat tembaga adalah gugusan kimia yang mengandung tembaga dan terjadi bilamana besi atau tembaga ada dalam udara atau air laut dalam waktu yang lama.

Lomonosov (1711 – 1765)<sup>19)</sup> merupakan penemu ilmu metalurgi di Rusia dan buku pertama di negara itu mengenai metalurgi berjudul Fundamental of Metallurgy or Mining (1763). Dialah yang pertama-tama menerangkan tentang segala oksidasi suatu metal. Ia membuktikan dalam percobaannya bahwa yang mengakibatkan proses oksidasi adalah udara dan bukan bahan bakarnya.

Dari waktu ke waktu cara memproduksi logam atau paduan logam tidak lagi memenuhi keinginan dan kebutuhan manusia, maka Sir Henry Bessemer dalam tahun 1855 menemukan proses baru untuk membuat baja dan ini merupakan awal kebudayaan baru yang lazim disebut revolusi industri.

Bidang metalurgi dapat dibagi dalam dua bagian yaitu metalurgi produksi atau metallurgi ekstraksi, dan metalurgi fisika atau metallurgi "adaptive".

Metalurgi ekstraksi meliputi konsentrasi bijih, peleburan logam termasuk pula pengambilan produk samping (*by product*) seperti misalnya emas, perak, platina, arsen dan antimaon. Sedangkan metalurgi fisika berkaitan dengan fabrikasi serta pembentukan dan penggerjaan metalmnya sendiri. Oleh sebab itu pembagian bidang metalurgi<sup>5)</sup> adalah sebagai berikut:

1. Metalurgi ekstraksi atau metalurgi kimia atau metalurgi produksi yang terbagi menjadi:
  - a. Konsentrasi atau pengolahan bahan galian atau "ore dressing" atau "mineral process-ing"
  - b. Pirometallurgi atau peleburan
  - c. Hydrometallurgi atau pelarutan
  - d. Elektrometallurgi yang dibagi lagi menjadi:
    - Elektrolisa
    - Elektrotermik
2. Metalurgi fisika atau metalurgi "adaptive" yang terbagi menjadi:
  - a. Metallografi dan "heat treatment"
  - b. Analisa sinar X
  - c. "Physical testing"
  - d. "Protective coatings" dan korosi
  - e. "Mechanical working"

Ilmu arkeologi sebaiknya mengetahui pula tentang pengertian metalurgi awal yang dapat

meliputi Konsentrasi atau Pengolahan Bahan Galian, Pirometallurgi dan beberapa macam proses lain yang termasuk dalam metalurgi fisika sederhana.

Untuk memperoleh logam dari bijihnya diperlukan bijih berkadar logam tinggi. Akan tetapi bijih yang berkadar logam tinggi di alam sangat jarang dan sulit untuk diperoleh. Mengingat dalam proses ekstraksi logam diperlukan kadar logam yang relatif tinggi maka mulai berkembang proses pengolahan bahan galian, di mana dengan proses ini bijih yang berkadar logam rendah dapat ditingkatkan kadar logamnya tanpa menggunakan perubahan sifat kimianya dan hanya menggunakan perbedaan sifat fisik mineral-mineralnya yang terkandung dalam bijih tersebut, misalnya proses kosentrasi gravitasi, pemisahan magnetis, pemisahan elektrostatik dan pemisahan memakai proses flotasi dan lain-lain.

### Sumber Logam

Logam umumnya berasal dari mineral bijih, yaitu mineral yang mengandung logam berharga. Akan tetapi emas, tembaga dan perak dapat ditemukan pula dalam bentuk logam alami, disamping besi yang berasal dari meteorit. Bijih menurut Newton<sup>15)</sup> dapat didefinisikan sebagai agregat mineral di alam yang darinya dapat diekstraksi satu logam atau beberapa logam dengan menguntungkan.

Istilah menguntungkan berarti adanya faktor yang menentukan apakah suatu bahan galian dapat dimasukkan dalam kelompok bijih atau batuan biasanya yang tidak berharga. Pernyataan singkat di atas menyangkut studi yang rinci tidak saja mengenai proses ekstraksi metallurginya akan tetapi menyangkut pula studi mengenai geologi, geografi, penambangan, pengolahan dan ekonominya. Di samping mineral bijih ada pula mineral-mineral yang tidak mengandung metal. Mineral tersebut dinamakan mineral industri.

Dipandang dari sudut metalurgi bijih dapat diklasifikasikan dalam 3 kelompok<sup>6)</sup> yaitu:

- (1) bijih "native"
- (2) bijih oksida
- (3) bijih sulfida

Terminologi lain<sup>6)</sup> dalam menggambarkan bijih dan sering pula dipakai dalam bidang metalurgi adalah "straight ores" atau "simple ores", "free milling ores", bijih kompleks dan bijih refraktori".

Kebanyakan logam mempunyai affinitas yang besar terhadap oksigen dan sulfur. Oleh

karenanya maka di alam jarang ditemukan logam alami. Bila ada logam alami ditemukan maka yang sering dijumpai logam-logam berupa perak, emas, tembaga, platina dan air raksa.

Dalam kelompok bijih oksida termasuk pula berbagai oksida, karbonat dan silikat yang biasanya terdapat dekat mukabumi. Sedangkan bijih sulfida merupakan bijih yang sangat penting dan ditemukan terbanyak pada saat ini. Yang dimaksud dengan "straight ores" atau "simple Ores" adalah bijih yang mengandung hanya satu logam saja misalnya tembaga, besi, emas atau perak. Sedangkan yang dimaksud dengan "free milling ores" adalah bijih emas atau perak yang mempunyai kadar cukup untuk dapat diperoleh logamnya hanya dengan proses sederhana seperti peremukan (*crushing*) dan amalgamasi. Suatu bijih dinamakan bijih kompleks bilamana bijih ini mengandung lebih dari satu logam dan dapat diekstraksi dengan menguntungkan. Misalnya bijih yang mengandung Pbs dan ZnS. Sedangkan bijih refraktori adalah bijih di mana untuk memperoleh logamnya tidak dapat menggunakan cara metallurgi yang sederhana.

Pada umumnya untuk memperoleh logam dari bijihnya (proses ekstraksi) diperlukan dahulu pemisahan mineral yang berharga dari mineral yang tidak berharga (*gangue mineral*). Untuk menyingkap tabir benda sejarah yang terbuat dari logam sebaiknya diperlukan pula wawasan mengenai bijih, cara konsentrasi, cara ekstraksi logamnya, paduan (*alloy*) dan pengerajaannya. Benda sejarah yang terbuat dari logam yang sering ditemukan<sup>2)</sup>, juga yang ditemukan di Indonesia<sup>16)</sup>, kebanyakan mengandung logam tembaga, besi, timah, timbal, zinc, emas ataupun perak, terutama dalam bentuk paduan (*alloy*) seperti perunggu, kuningan, baja dan lain-lain.

#### a. Bijih Tembaga<sup>8) 10) 15)</sup>

Tembaga dapat ditemukan di alam dalam bentuk logam yang disebut tembaga alami (*Native Copper*), akan tetapi yang sangat banyak ditemukan adalah tembaga dalam bentuk bijih. Mineral utama untuk tembaga umumnya adalah chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ), meskipun demikian ditemukan pula chalcocite ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) sebagai sumber primer dari tembaga. Beberapa mineral tembaga sulfida yang penting adalah:

Chalcocite	$\text{Cu}_2\text{S}$	79,8% cu
Covellite	$\text{CuS}$	66,4% cu
Bornite	$\text{Cu}_3\text{FeS}_3$	55,5% cu

Enargite	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$	48,3% cu
Chalcopyrite	$\text{CuFeS}_2$	34,5% cu

Perlakuan air permukaan pada mineral sulfida menghasilkan mineral tembaga oksida dan biasanya terdapat pada lapisan atas dari endapan bijih tembaga tersebut. Mineral tembaga oksida yang penting adalah:

Cuprite	$\text{Cu}_2\text{O}$	88,8% cu
Melaconite atau tenorite	$\text{CuO}$	79,8% cu
Malachite	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57,3% cu
Azurite	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55,1% cu
Chrysocolla	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	37,9% cu

#### b. Bijih Besi<sup>8) 10) 15)</sup>

Mineral utama yang mengandung besi adalah:

Hematite	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	70,0% Fe
Magnetite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72,4% Fe
Limonite	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	59-63% Fe
Siderite	$\text{FeCO}_3$	48,2% Fe

Magnite adalah mineral magnetik. Hematite dan limonite yang berkadar tinggi merupakan mineral utama dalam pembuatan besi sedangkan siderite tidak digunakan sebagai sumber untuk pembuatan besi.

#### c. Bijih Timah<sup>8) 10)</sup>

Mineral utama dari timah adalah cassiterite ( $\text{SnO}_2$ ) dimana secara teoritis mineral ini mengandung 78,6% Sn. Bijih timah ditemukan di alam dalam urat bijih (*vein*) dan alluvial atau placer. Di samping itu ditemukan pula mineral timah sulfida seperti mineral stannite ( $\text{FeCu}_2 \cdot \text{SnS}_4$ ) dan telite ( $\text{PbSnS}_2$ ).

Logam yang sering berasosiasi dengan cassiterite adalah tungsten, kadang-kadang timbal, zinc dan tembaga.

#### d. Bijih Timbal<sup>8) 15)</sup>

Satu-satunya mineral timbal yang penting adalah galena ( $\text{PbS}$ ) sedangkan mineral anglesite ( $\text{PbSO}_4$ ) dan Cerussite ( $\text{PbCO}_3$ ) jarang dikategorikan sebagai sumber timbal yang ekonomis dan terdapat biasanya pada bagian atas bijih timbal tersebut. Biasanya mineral galena berasosiasi dengan mineral sulfida lainnya dan umumnya mengandung

perak. Kadar timbal dalam mineral-mineral tersebut secara teoritis adalah sebagai berikut:

Galena	PbS	86,6% Pb
Cerussite	PbCO <sub>3</sub>	77,5% Pb
Anglesite	PbSO <sub>4</sub>	68,3% Pb

Bijih timbal kadang-kadang mengandung zinc yang lebih banyak, oleh sebab itu bijih se macam ini dinamakan bijih PbZn dan merupakan sumber timbal maupun zinc.

#### e. Bijih zinc <sup>6) 8) 15)</sup>

Mineral zinc yang penting adalah sphalerite (ZnS) dan biasa disebut pula "Zinc blende", "blende", "black jack" atau "rosin jack" tergantung dari warnanya. Mineral ini merupakan sumber logam zinc yang utama dan mengandung 67% Zn. Selain mineral sulfida yang penting adalah:

Zincite	ZnO	80% Zn
Franklinite	ZnO. (Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	± 22% Zn
Smithsonite	ZnCO <sub>3</sub>	52,14% Zn
Willemite	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	58,61% Zn
Calamine	Zn <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	47,58% Zn

Smithsonite dan Calamine sering terdapat pada bagian oksidasi dari bijih aphalerite. Sedangkan Zincite, Willemite dan Franklinite hanya diketemukan di dekat Franklin, New Jersey. Mungkin bijih ini satu-satunya yang tidak mengandung zinc sulfida dan juga tidak mengandung timbal yang biasanya terdapat bersama-sama zinc.

## Logam

Logam menurut kamus Siegfried Mandel<sup>13)</sup> adalah sekelompok unsur yang dibedakan dari kelompok non logam berdasarkan sifat-sifat fisiknya seperti "ductile", "malleable", kekerasan, konduktivitas, kilap dan kemampuan membentuk paduan (*alloy*). Bilamana oksidasi logam bersatu dengan air maka akan menghasilkan basa, di samping itu suatu logam akan segera melepaskan electron-electronnya untuk membentuk valensi positif. Kuznetsov<sup>10)</sup> mengelompokkan logam dalam beberapa kelompok seperti terlihat pada tabel I. Dari 55 logam yang dikelompokkan oleh ahli kimia maka hanya ada 25 logam<sup>6)</sup> yang penting bagi ahli metallurgi yaitu:

Aluminium	Besi	Perak
Antimon	Timbal	Natrium

Bismit	Magnesium	Tantalium
Cadmium	Mangan	Timah
Chrom	Air Raksa	Tungsten
Cobalt	Molydenim	Vanadium
Tembaga	Nikel	Zinc
Emas	Platina	
Iridium	Kalium	

Menurut penulis dari 25 logam tersebut di atas yang perlu mendapat perhatian dalam mempelajari benda sejarah yang terbuat dari logam atau paduannya adalah:

Tembaga	Air Raksa	Nikel
Emas	Platina	Cobalt
Besi	Perak	Timbal
Timah	Mangan	Zinc

Sifat fisik beberapa logam, dapat dilihat pada Tabel II

Tabel I Klasifikasi Logam

Grup	Unsur
Besidan Baja	Besi dsn alloynya
LogamBukanBesi	
a. Logam Berat	Cu, Ni, Pb, Zn, Sn
b. Logam Ringan	Al, Mg, Be, Li, Ba, Ca, Sr, K, Na, Rb, Cs
c. Logam Mulia ("Nobel" atau "Precious")	Au, Ag, Pt, Os, Ds, Ir, Ru, Rh, PD
d. Logam Minor ("Secondary")	As, Sb, Bi, Cd, Hg, Co
e. Logam Refraktori	W, Mo, Ta, Nb, Ti, Zr, V
f. Logam "Scattered"	Ge, In, Ga, Tl, Hf, Re
g. Logam Radioaktif	Ra, Ac, Th, Pa, U
h. Logam Jarang (Rare earth)	Y, La, Ce, Nd, Pr, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Pm, Eu, Tb, Ho, Tu, Lu, Sc
i. Ferro-alloy	Cr, Mn

## Proses Ekstraksi Logam

Seperti diutarakan dalam bab sebelumnya, cara ekstraksi logam dapat bermacam-macam yaitu melalui proses Pirometallurgi, Hydrometallurgi atau Elektrometallurgi. Dua proses terakhir merupakan proses ekstraksi logam yang dikategorikan dengan menggunakan teknologi agak maju sedangkan proses ekstraksi logam dengan Pirometallurgi dapat menggunakan tek-

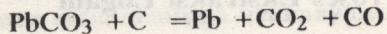
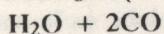
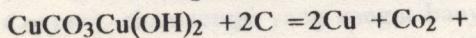
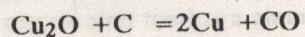
nologi sederhana maupun teknologi maju.

Dalam mempelajari benda sejarah perlu pula dilakukan korelasi dengan teknologi ekstraksi logamnya sehingga dengan begitu akan lebih memudahkan interpretasi perkembangan budaya manusianya. Meskipun demikian dapat diperkirakan bahwa yang banyak membantu usaha tersebut di atas ialah proses ekstraksi logam yang relatif sederhana. Manusia purba memperoleh logam yang berasal dari endapan bijih yang mengandung logam alami, oksida atau karbonat yang ada di mukabumi, yaitu dengan cara memanaskan endapan bijih

Tabel II<sup>6)</sup> Sifat Fisik Beberapa Logam

LOGAM	TTIKLELEH°C	BERATJENIS
AirRakso	- 39	13,6
Timah	232	7,3
Timbal	328	11,4
Zinc	419	7,1
Aluminium	659	25,6
Perak	960	10,5
Emas	1063	19,3
Tembaga	1083	8,8
Nikel	1452	6,7
Chromium	1510	6,8
Besi	1520	7,86
Platina	1755	21,5

tersebut bersama-sama dengan arang kayu. Logam yang diperoleh dengan cara itu berupa hasil reduksi yang sederhana, contohnya sebagai berikut:



Didasarkan pada cara-cara di atas, maka untuk bijih sulfida yang biasanya terdapat lebih dalam dari bijih oksida maka dalam memperoleh logamnya itu diusahakan dengan merubah bijih sulfida tersebut menjadi gugusan oksida. Proses ini dinamakan "roasting" atau pemanggangan. Pada mulanya pemanggangan dilakukan pada

bongkah-bongkah bijih di udara terbuka. Akan tetapi kemudian dikembangkan dengan cara dipasangnya dinding-dinding sekelilingnya yang kemudian dinamakan "stalls". Kemudian dikembangkan lagi dengan dipasangnya tutup sehingga dihasilkan apa yang dinamakan "kiln" atau dapur. Setelah bongkah-bongkah sulit diperoleh maka dengan bantuan proses pengolahan bahan galian akan diperoleh bijih ber kadar tinggi tetapi berbutir halus, sehingga untuk pemanggangannya digunakan "multiple hearth roaster" dan ini merupakan alat standard untuk pemanggangan.

Peleburan adalah proses reduksi mineral bijih atau konsentrat agar supaya diperoleh logamnya. Bijih atau konsentrat tersebut dapat berupa hasil pemanggangan ataupun yang belum. Dengan perkataan lain dalam peleburan diusahakan agar dari bijih atau konsentrat tersebut dapat dipisahkan lelehan logamnya dari lelehan material ganguanya yang disebut "slag". Untuk maksud di atas biasanya dilakukan dengan bantuan reduktor dan "flux". "Flux" adalah suatu material yang ditambahkan dalam peleburan agar supaya dapat menurunkan titik lelehan material ganguanya, yang pada umumnya mempunyai titik leleh tinggi, sehingga dengan begitu dapat dipisahkan dari lelehan logamnya. Contoh "flug" misalnya batu camping dalam peleburan bijih besi.

Untuk memperoleh gambaran mengenai ekstraksi logam, akan ditinjau beberapa logam, di antaranya:

#### a. Logam Tembaga

Tembaga merupakan logam pertama yang diketahui manusia yaitu kira-kira pada tahun 13.000 SM<sup>5)</sup>. Logam itu dalam bentuk tembaga alami, yang kemudian berkembang dalam pemakaiannya karena logam tersebut mempunyai sifat mudah ditempa dan dibentuk selain mempunyai warna yang menarik. Oleh karena logam tembaga alami sulit didapat, maka orang mulai mencari logam ini yang berasal dari bijihnya, terutama yang mudah diperoleh di mukabumi.

Orang Mesir telah membuat pisau dan senjata yang terbuat dari logam tembaga kira-kira pada tahun 8000 yang lalu sedangkan pembuatan pipa telah dilakukan pada sekitar tahun 2750 SM. Kaca perunggu mungkin dibuat sekitar 1800 SM.

Peleburan bijih tembaga oksida dilakukan dalam "blast furnace" atau tanur tiup dan ini merupakan proses yang sederhana di mana tembaga yang diperoleh sudah dalam bentuk

nologi sederhana maupun teknologi maju.

Dalam mempelajari benda sejarah perlu pula dilakukan korelasi dengan teknologi ekstraksi logamnya sehingga dengan begitu akan lebih memudahkan interpretasi perkembangan budaya manusianya. Meskipun demikian dapat diperkirakan bahwa yang banyak membantu usaha tersebut di atas ialah proses ekstraksi logam yang relatif sederhana. Manusia purba memperoleh logam yang berasal dari endapan bijih yang mengandung logam alami, oksida atau karbonat yang ada di mukabumi, yaitu dengan cara memanaskan endapan bijih

bongkah-bongkah bijih di udara terbuka. Akan tetapi kemudian dikembangkan dengan cara dipasangnya dinding-dinding sekelilingnya yang kemudian dinamakan "stalls". Kemudian dikembangkan lagi dengan dipasangnya tutup sehingga dihasilkan apa yang dinamakan "kiln" atau dapur. Setelah bongkah-bongkah sulit diperoleh maka dengan bantuan proses pengolahan bahan galian akan diperoleh bijih ber kadar tinggi tetapi berbutir halus, sehingga untuk pemanggangannya digunakan "multiple hearth roaster" dan ini merupakan alat standard untuk pemanggangan.

Peleburan adalah proses reduksi mineral bijih atau konsentrat agar supaya diperoleh logamnya. Bijih atau konsentrat tersebut dapat berupa hasil pemanggangan ataupun yang belum. Dengan perkataan lain dalam peleburan diusahakan agar dari bijih atau konsentrat tersebut dapat dipisahkan lelehan logamnya dari lelehan material ganguanya yang disebut "slag". Untuk maksud di atas biasanya dilakukan dengan bantuan reduktor dan "flux". "Flux" adalah suatu material yang ditambahkan dalam peleburan agar-supaya dapat menurunkan titik lelehan material ganguanya,, yang pada umumnya mempunyai titik leleh tinggi, sehingga dengan begitu dapat dipisahkan dari lelehan logamnya. Contoh "flug" misalnya batu camping dalam peleburan bijih besi.

Untuk memperoleh gambaran mengenai ekstraksi logam, akan ditinjau beberapa logam, di antaranya:

#### a. Logam Tembaga

Tembaga merupakan logam pertama yang diketahui manusia yaitu kira-kira pada tahun 13.000 SM<sup>5)</sup>. Logam itu dalam bentuk tembaga alami, yang kemudian berkembang dalam pemakaianya karena logam tersebut mempunyai sifat mudah ditempa dan dibentuk selain mempunyai warna yang menarik. Oleh karena logam tembaga alami sulit didapat, maka orang mulai mencari logam ini yang berasal dari bijihnya, terutama yang mudah diperoleh di mukabumi.

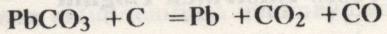
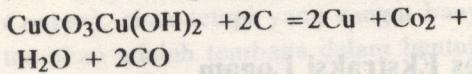
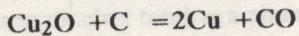
Orang Mesir telah membuat pisau dan senjata yang terbuat dari logam tembaga kira-kira pada tahun 8000 yang lalu sedangkan pembuatan pipa telah dilakukan pada sekitar tahun 2750 SM. Kaca perunggu mungkin dibuat sekitar 1800 SM.

Peleburan bijih tembaga oksida dilakukan dalam "blast furnace" atau tanur tiup dan ini merupakan proses yang sederhana di mana tembaga yang diperoleh sudah dalam bentuk

Tabel II<sup>6)</sup> Sifat Fisik Beberapa Logam

LOGAM	TITIK LELEH °C	BERAT JENIS
AirRakso	- 39	13,6
Timah	232	7,3
Timbal	328	11,4
Zinc	419	7,1
Aluminium	659	25,6
Perak	960	10,5
Emas	1063	19,3
Tembaga	1083	8,8
Nikel	1452	6,7
Chromium	1510	6,8
Besi	1520	7,86
Platina	1755	21,5

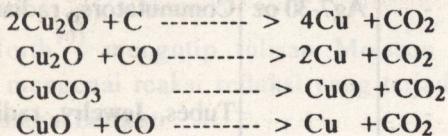
tersebut bersama-sama dengan arang kayu. Logam yang diperoleh dengan cara itu berupa hasil reduksi yang sederhana, contohnya sebagai berikut:



Didasarkan pada cara-cara di atas, maka untuk bijih sulfida yang biasanya terdapat lebih dalam dari bijih oksida maka dalam memperoleh logamnya itu diusahakan dengan merubah bijih sulfida tersebut menjadi gugusan oksida. Proses ini dinamakan "roasting" atau pemanggangan. Pada mulanya pemanggangan dilakukan pada

logam yang mengandung 95-98% Cu, sedangkan pengotorinya yang masih terbawa dalam logam tersebut adalah S, AS, Ag, Au dan Fe. Sudah barang tentu tembaga yang diperoleh dengan proses ini belum dapat dipakai langsung untuk industri kecuali pada jaman dahulu dimana proses pemurnian belum banyak diketahui.

Bijih tembaga oksida yang dilebur dalam tanur tiup dengan bantuan kokas dan "flux" yang tepat akan menghasilkan logam tembaga. Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut:



Bila gangue mineralnya adalah silikat, maka mineral ini akan bereaksi dengan CaO dan FeO (dari bijih) untuk membentuk "Calcium Iron Silicate" yang berupa slag.

Tanur tiup saat ini jarang dipakai lagi dan diganti dengan tanur "Reverberatory". Peleburan bijih tembaga sulfida dapat dilakukan dalam tanur tiup maupun tanur reverberatory, akan tetapi proses yang terjadi berbeda sekali.

Sulfur tidak saja bertindak sebagai bahan bakar yang akan menjadi SO<sub>2</sub> akan tetapi juga bertindak sebagai "pengikat" tembaga dan akan menghasilkan sulfida tembaga dan besi yang disebut "matte". Matte ini tidak larut dalam slag dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari slagnya.

Matte ini kemudian dapat dijadikan logam tembaga dalam "converter" dan kemudian dimurnikan dengan menggunakan api maupun cara elektrolisa. Gambaran mengenai cara eksstraksi dari macam-macam bijih tembaga, dapat dilihat dalam Gambar 1<sup>8)</sup>.

Logam tembaga sangat penting mengingat mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Mempunyai sifat konduktivitas listrik yang tinggi
2. Tahan terhadap korosi
3. Mempunyai konduktivitas panas yang baik
4. Dengan Zn mudah membentuk paduan yang disebut kuningan dimana paduan ini tahan korosi, agak kuat dan elastik
5. Dengan timah juga membentuk paduan seperti di atas yang dinamakan perunggu
6. Mempunyai nilai "bekas" (*scrap*) yang tinggi.

Pada setiap paduan logam tembaga maka bagian yang terbesar adalah logam tembaga-

nya, sedangkan selebihnya adalah Zn, Pb, Ni dan Sn atau unsur lainnya.

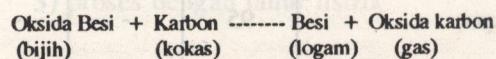
Paduan ini sangat penting karena mempunyai sifat-sifat tahan korosi, dapat dilakukan dengan pengerjaan panas (650° C - 900° C) maupun dingin, mempunyai konduktivitas listrik dan panas yang tinggi, dapat dilas, disolder dan digosok.

Paduan logam tembaga dapat berupa kuningan maupun perunggu. Macam-macam paduan serta komposisinya serta kegunaannya dapat dilihat Tabel III<sup>5)</sup>. Uang perunggu Inggris mempunyai komposisi yang dapat menunjukkan waktu dibuatnya seperti tertera pada Tabel IV<sup>1)</sup>.

### b. Logam Besi

Sejarah tidak mencatat kapan besi mulai ditemukan. Hal ini disebabkan karena logam ini mudah terkorosi dalam udara. Akan tetapi orang Mesir kemungkinan telah menggunakan besi dalam bangunan piramidanya kira-kira pada tahun 4000 SM, dan ada bukti yang jelas ditemukan bahwa orang Hebrews dan Assyrians telah menggunakan besi pada kira-kira tahun 1500 SM. Besi yang diperoleh saat itu berasal dari bijih yang dimurnikan dan dikerjakan dengan tempaan. Tanur saat itu belum dapat menghasilkan temperatur yang cukup tinggi untuk melelehkan logamnya. Baru pada tahun A.D. 1350 ditemukan proses untuk memperoleh logamnya dengan cara peleohan. Secara kimia besi adalah suatu unsur yang aktif sehingga hampir semua asam dan basa dapat bereaksi, begitu juga dengan oksigen yang ada dalam udara, terutama dengan adanya kelembaban dan temperatur yang tinggi. Korosi pada paduan logam besi sangat mudah, dan hal ini masih merupakan problem bagi ahli metallurgi saat ini. Persoalan korosi ini demikian penting sehingga ada pernyataan: "Bawa pencegahan pengkaratan 1 ton besi jauh lebih penting daripada menghasilkan 1 ton besi dari bijihnya".

Bila suatu bijih besi oksida dipanaskan dengan karbon maka akan dihasilkan logam besi dan proses kimia yang terjadi dalam tanur tiup jumlahnya banyak dan kompleks, akan tetapi dapat di sederhanakan sebagai berikut:



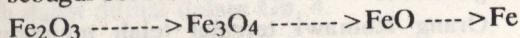
Tabel III Komposisi dan Kegunaan Paduan Logam Tembaga<sup>5)</sup>

Paduan	Komposisi dan Kegunaan Paduan Logam Tembaga						Kegunaan
	Cu	Zn	Pb	Ni	Sn	Others	
Copper							
Electrolytic	99.9 +	-	-	-	-	-	Elec. tubes, structural
Arsenical	99.45	-	-	-	-	As-0.45	Tubes, plates, welding
Phosphorized	99.9	-	-	-	-	-	Tubes, welding
Silver-bearing	99.9	-	-	-	-	Ag7-30 oz	Commutators, radiators
Brass							
Red	85.0	85.0	-	-	-	-	Tubes, Jewelry, radiators
Cartridge	70.0	30.0	-	-	-	-	Ammunition
Yellow	65.0	35.0	-	-	-	-	Drawing, stamping, spinning
Muntz	60.0	40.0	-	-	-	-	Maritime, architectural
Leaded Brass							
Leaded	67.0	32.3	0.8	-	-	-	Machining
Free-cutting	62.0	35.0	3.0	-	-	-	Machining
Architectural	56.0	40.0	2.5	-	-	-	Structural
Tin Brass							
Admiralty	71.0	28.0	-	-	1.0	-	Condenser tubes
Naval	60.0	39.0	-	-	0.75	-	Tubes, heat, forgings
Manganese	59.0	39.0	1.25	-	0.75	-	Paper, mining, valves
Nickel Silver							
18 per cent	64	18	-	18	-	-	Drawing, springs
15 per cent	65	20	-	15	-	-	Architectural
5 per cent	62	33	-	5	-	-	Jewelry
Bronze							
Herculoy A	96.5	-	-	-	0.5	Si-3	Tanks, vats, baskets
Herculoy B	97.8	-	-	-	0.2	Si-2	Hardware, machine parts
Aluminium	91	-	-	-	-	Al-9	Acid-resisting
Cupro-nickel	70	-	-	-	-	-	Condensers, tanks, vats
Phosphor	95	-	-	-	5.0	P-0.05	Diaphragms, machine parts

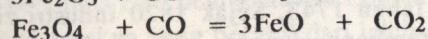
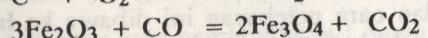
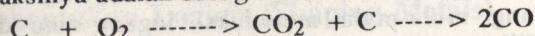
Tabel IV Komposisi Uang Perunggu Inggris<sup>1)</sup>

Tahun	Cu - %	Sn - %	Zn - %
1860 - 1923	95	4	1
923 - 1942	95,5	3	1,5
942 - 1945	97	0,5	2,5
1945 - 1959	95,5	3	1,5
1959 - ?	97	0,5	2,5

Bashforth<sup>10)</sup> mengutip tulisan Moisson tahun 1880 mengenai reaksi reduksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksinya adalah sebagai berikut:



Selain reaksi di atas masih ada reaksi lain yang merubah mineral non-logamnya yang ada dalam bijih menjadi "slag" yaitu berupa oksida dan silikat dari Mg, Ca, Al, Mn, dan lain-lain. Dahulu kala bijih besi dipanaskan dalam nyala arang kayu dan dengan begini diperoleh massa besi yang porous dan dapat ditempa menjadi perkakas atau alat untuk perang. Pada saat itu ditemukan bahwa bila ditiupkan udara, maka api akan menjadi lebih panas sehingga besinya diperoleh dengan cepat. Sejak itu maka tiupan udara selalu digunakan untuk memperoleh besinya. Pada tahun 1620 batubara menggantikan arang kayu dan kemudian pada tahun 1709 digunakan kokas sebagai pengganti batubara. Dalam setiap tanur tiup sebagai bahan bakunya adalah bijih besi, kokas dan batugamping. Dalam proses terbentuknya logam maka besi akan mengabsorbsi pengotor yang berasal dari kokas, bijih maupun batugamping sehingga logam besi yang diperoleh pada bagian bawah tanur akan mengandung 3 - 5% karbon, kira-kira 1% Mn, Silikon sampai 3,5% dan sulfur hanya sebagian kecil saja. Kandungan phospor dalam beberapa type besi bisa mencapai sampai 2%. Fungsi utama dari tiupan udara adalah agar supaya kokas dapat terbakar dan menghasilkan temperatur yang tinggi. Di samping itu fungsi kedua adalah udara

akan bereaksi dengan kokas yang terbakar dan membentuk karbon monoksida di mana karbon monoksida ini merupakan pula reduktor bijih besi tersebut.

Pada mulanya udara dingin yang ditiupkan ke dalam tanur untuk menghasilkan logam besi yang dinamakan "pig iron". Pada tahun 1828 James Neilson menggunakan tiupan udara panas sehingga jumlah bahan bakar yang dipakai menjadi berkurang. Gas yang keluar dari tanur masih mengandung 20 - 25% karbon monoksida di mana bahan ini merupakan bahan bakar pula. Selain itu 14 - 30% dari gas ini dipakai untuk memanaskan udara dingin yang akan dipakai dalam tanur tersebut dimana pekerjaan ini dilakukan oleh apa yang disebut "stoves". "Pig Iron" yang dihasilkan dari tanur tiup merupakan bahan baku untuk pembuatan baja, besi tuang (*cast iron*) dan hanya sedikit menjadi besi tempa (*wrought iron*).

Besi tuang dihasilkan dari tanur yang disebut "cupola" dan besi tuang ini mempunyai sifat lemah dan regas. Besi tempa mempunyai sifat "tough" yaitu kombinasi beberapa sifat fisis seperti elastis, "ductile" dan tahan terhadap "fatigue".

Baja adalah paduan logam besi dengan karbon dimana karbonnya tidak melebihi 2%, sedangkan "pig iron" mengandung karbon sekitar 3 - 4%<sup>17)</sup>. Ada dua macam baja yaitu "plain carbon stell" dan "alloy stell". "Plain carbon steel" dibagi dalam 3 macam:

- a) "Mild" atau "soft steel" dimana kadar karbonnya rendah, yaitu antara 0,1 - 0,3%
- b) "Medium Carbon Steel", dimana kadar karbonnya antara 0,3 - 0,6%
- c) "High Carbon Steel" atau "hard steel", dimana kadar karbonnya antara 0,6 - 1,2%.

"Alloy steel" adalah paduan besi dan karbon dengan penambahan unsur-unsur lain untuk memperoleh sifat-sifat khusus seperti tahan korosi, tahan panas, tahan keausan dan sebagainya. Unsur-unsur yang sering ditambahkan adalah W, Ni, Cr, V, Mn dan Mo.

Ada 3 proses utama dalam pembuatan baja, yaitu:

- 1) proses "Bessemer"
- 2) proses "open hearth"
- 3) proses dengan tanur listrik

Bagan alir pembuatan besi dan baja dapat dilihat pada Gb.3.

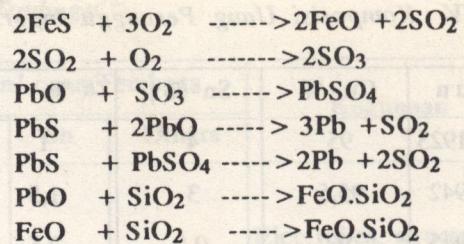
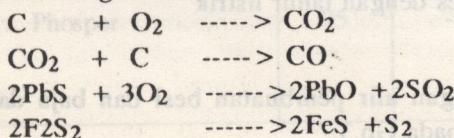
### c. Logam Timbal

Oleh karena beberapa mineral timbal sangat mudah untuk direduksi menjadi logamnya dengan bantuan karbon atau karbon monoksida maka logam timbal telah dibuat sejak dahulu kala. Logam timbal mungkin ditemukan sekitar tahun 5000 SM. Logam timbal alami tidak pernah ada dan dihasilkan hanya dari bijihnya. Logam timbal merupakan logam dasar yang paling berat yaitu mempunyai berat jenis 11,37.

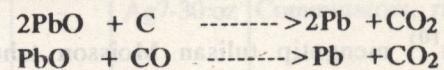
Logam timbal murni sangat "malleable" dan dapat digiling (di-roll) menjadi lembaran-lembaran tetapi tidak mempunyai sifat "ductile" yang cukup dibuat kawat. Paduan antara logam timbal dan timah maupun Sb dipakai di antaranya untuk "pewter", "bearing" dan "solder" dengan komposisi sebagai berikut:

pewter : 20% Pb	80% Sb
bearing : 86 - 95% Pb	4 - 11% Sb 1 - 3% Sn
solder : 50 - 66% Pb	34 - 50% Sn

Logam timbal pada umumnya diekstraksi dari bijihnya dengan cara pirometallurgi. Mula-mula bijih dipanggang (*roasted*) agar supaya dapat menghilangkan sulfur dan sebagian pengotornya dengan cara penguapan. Timbal oksida dan timbal sulfat yang diperoleh, kemudian dilebur dalam tanur "reverberatory", "ore hearth" atau tanur tiup sehingga diperoleh logam timbal kasar yang disebut "bullion" yang perlu dimurnikan lagi. Bahan baku dalam tanur adalah bijih yang telah dipanggang, kokas dan kapur sebagai fluks yang tepat. Kapur akan bersatu dengan  $\text{SiO}_2$  membentuk lelehan silikat yaitu slag. Sudah barang tentu ada kehilangan timbal, karena ada timbal yang turut bersama-sama dengan slag yaitu dalam bentuk timbal silikat. Cara peleburan yang paling tua yaitu dengan menggunakan "ore hearth" dengan syarat bijihnya minimal mengandung 55% Pb, sehingga kadar bijih yang relatif rendah memerlukan peninggian kadar timbalnya. Proses peninggian kadar ini dapat dilakukan oleh proses pengolahan bahan galian di antaranya dengan konsentrasi gravitasi maupun flotasi. Reaksi yang terjadi dalam ekstraksi logam timbal adalah sebagai berikut:



Dalam beberapa hal, timbal dapat direduksi dengan karbon ataupun karbon monoksida sebagai berikut:



### d. Logam Zinc

Orang Romawi tercatat telah menggunakan logam ini sekitar tahun 200 SM. Cina yang mula-mula mereduksi logam zinc dari bijihnya dan cara peleburan ini dibawa ke Inggris pada tahun 1743. Sejak 1820 industri zinc telah berkembang dengan baik di Eropa dengan pesatnya di Jerman dan Belgia sedangkan di Amerika Utara baru tahun 1835.

Pada mulanya logam zinc diekstraksi dari bijihnya dengan cara distilasi. Garis besar proses ini adalah merubah bijih sulfida dengan cara pemanggangan menjadi  $\text{ZnO}$ . Kemudian  $\text{ZnO}$  bersama-sama dengan antrasit atau "coke breeze" dipanaskan pada temperatur  $1100^\circ\text{C}$  dalam "retort" yang terbuat dari "fire clay". Pada kondisi tersebut maka  $\text{ZnO}$  akan direduksi menjadi logam Zn dan kemudian ditangkap dalam kondensor yang dipasang pada ujung retort.

Sphalerite ( $\text{ZnS}$ ) merupakan mineral zinc sulfida yang sangat sulit dipanggang sehingga diperlukan waktu bahan bakar yang banyak sehingga untuk menghindari itu kemudian dipakai cara elektrolisa. Zinc sering dipakai sebagai pelapis logam besi agar supaya tahan korosi. Logam pelapis lainnya yaitu Sn, Ni, Cr dan Cd.

Kuningan merupakan paduan logam zinc dengan tembaga. Ada dua macam kuningan yaitu kuningan alpha dimana kadar Zn sampai 38% dan kuningan alpha beta bila kadar Zn antara 38-46%. Kuningan alpha banyak dipakai dalam dekoratif sedangkan kuningan alpha beta digunakan untuk keperluan pengecoran dan lain-lain.

### e. Logam Timah

Salah satu sifat logam timah adalah tahan terhadap korosi dan mempunyai titik leleh ren-

dah. Oleh sebab itu sering dipakai untuk "bearing", solder, "foil", "pewter", perunggu, "tin plate" dan bahan kimia.

Pada umumnya bijih timah ditemukan sebagai endapan alluvial terutama di Asia Tenggara. Kadar timah dalam bijih biasanya rendah yaitu sekitar 0,02% Sn, sedangkan peleburan timah biasanya memerlukan konsentrat timah yang berkadar sekitar 70% Sn. Oleh sebab itu maka proses pengolahan bahan galian sangat diperlukan misalnya dengan menggunakan "panlong" atau sluice box dan jig, kadang-kadang diperlukan pula meja goyang, pemisahan magnetis maupun pemisahan elektrostatik. Diagram proses ekstraksi logam timah dari konsentrat timah dapat dilihat dalam Gb. 4.

## Pembentukan Logam (Shaping Metals)

Ada beberapa cara pembentukan Logam<sup>1)</sup> yaitu:

- a. Pembentukan yang berasal dari lelehan logam
- b. Pembentukan logam panas
- c. Pembentukan logam dingin
- d. Pembentukan dengan penyambungan logam
- e. Pembentukan berasal dari serbuk logam

Pada mulanya untuk melelehkan logam atau paduannya digunakan tanur "Crucible", di mana untuk pemanasannya mula-mula digunakan arang kayu, kemudian dipakai kokas, minyak maupun gas. Untuk memperoleh hasil yang baik maka dipakai cara lain yaitu dengan digunakan tanur "reverberatory". Pada abad 20 ini digunakan pula tanur listrik. Lelehan logam dicetak dengan menggunakan cetakan pasir, makin halus butiran pasirnya makin baik permukaan benda cetak tersebut. Yang penting adalah pemilihan pasir yang cocok dan baik. Oleh karena itu untuk cetakan pasir diperlukan pengulangan dalam pembentukannya, maka kemudian digunakan cetakan dari logam (*diecasting*), misalnya untuk zinc, aluminium dan paduan magnesium.

Penuangan lelehan logam ke dalam cetakan dapat dilakukan dengan gravitasi maupun dengan tekanan. Pembentukan logam dapat pula dilakukan dalam keadaan dingin (*cold working*) maupun panas (*hot working*).

Cara pembentukan logam panas dapat dilakukan dengan pemukulan (*hammering*), penekanan (*pressing*), penggilingan (*rolling*) dan ekstraksi (*extrusion*). Cara pembentukan dengan pemukulan dan penekanan disebut penempaan

(*forging*).

Pemukulan adalah cara yang mula-mula dipakai oleh manusia dalam proses pembentukan logam. Cara ini mulanya dilakukan dengan tangan dan baru kemudian dengan tenaga mesin. "Steam hammer" yang pertama di Perancis dibuat pada tahun 1842<sup>14)</sup>, sedangkan "Hydraulic forging press" ditemukan pada tahun 1861 dan diperkenalkan di Amerika Utara pada tahun 1887.

Cara penggilingan (*roll*) mulai dipakai di Perancis pada tahun 1553 yaitu untuk memperoleh lapisan pada logam yang rata untuk pembuatan uang logam dari emas dan perak sedangkan penggilingan panas (*hot rolling*) ditemukan oleh Henry Cort pada tahun 1783.

Cara ekstraksi mungkin diperkenalkan sekitar tahun 1824 dalam pembuatan pipa. Cara pembentukan dengan penyambungan logam dapat dilakukan dengan mekanis, "soldering", "brazing" dan terakhir pengelasan. Sedangkan pembentukan dari serbuk logam dapat dilakukan dengan pemanasan dan penekanan, khususnya digunakan untuk logam-logam yang sulit dilelehkan pada kondisi yang menguntungkan.

## Hubungan Antara Metalurgi, Pengolahan Bahan Galian dan Arkeologi

Setiap benda sejarah yang terbuat dari logam perlu pula ditinjau dari sudut metallurginya maupun pengolahan bahan galiannya agar supaya diperoleh suatu kesimpulan yang "bulat" mengenai asal-usul benda sejarah tersebut serta dapat mengevaluasi peradaban manusia saat benda sejarah tersebut dibuat. Oleh sebab itu dalam penelitian benda sejarah perlu diper-tanyakan:

1. Terbuat dari unsur-unsur logam apa saja benda sejarah tersebut, secara kualitatif maupun kuantitatif.
2. Apakah ada hubungan antara unsur-unsur logam tersebut dengan teknologi ekstraksi saat benda sejarah tersebut dibuat.
3. Apakah bahan baku benda sejarah tersebut dibuat berasal dari logam alami, bijih oksida atau bijih sulfida
4. Apakah pengolahan bahan galian telah diterapkan untuk menunjang ekstraksi logam tersebut
5. Apakah paduan logam dari benda sejarah tersebut telah diketahui sebagai hasil "kabetul-

- an" atau teknologi "alloying"
6. Apakah alat bantu untuk ekstraksi logam dapat diteliti dan apakah ada kaitannya dengan benda sejarah pada suatu kurun waktu tertentu seperti bekas tanur lama, bahan "lining" dari tanur, alat pengolahan yang mungkin dipakai saat itu seperti "dulang", jig atau meja goyang.
  7. Apakah saat dibuatnya benda sejarah tersebut telah digunakan arang kayu, batubara atau kokas
  8. Apakah teknologi ekstraksi logam telah dipakai di Indonesia pada saat benda sejarah tersebut dibuat ataukah hanya menyangkut proses pembentukan saja misalnya keris, tombak dan sebagainya.

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut sebaiknya diadakan penelitian yang mendalam mengenai sejarah bahan baku, teknologi ekstraksi serta teknologi pembentukannya.

## Kesimpulan

1. Evaluasi mengenai logam yang terkandung dalam benda sejarah akan membantu informasi "sejarah" benda tersebut menjadi lengkap dan bulat.
2. Analisa unsur-unsur logam yang ada dalam benda sejarah baik kualitatif maupun kuantitatif mungkin dapat melengkapi usaha mengevaluasi "history" nya
3. Perlu adanya pengumpulan "bank data" mengenai unsur utama maupun unsur penunjang yang terkandung dalam benda sejarah logam di Indonesia
4. Perlu adanya penelitian bersama antara pakar Arkeologi dengan pakar dalam bidang yang ada kaitannya dengan logam, yaitu bidang pengolahan bahan galian, bidang ekstraksi metalurgi, bidang metalografi maupun penunjangnya

## Kepustakaan

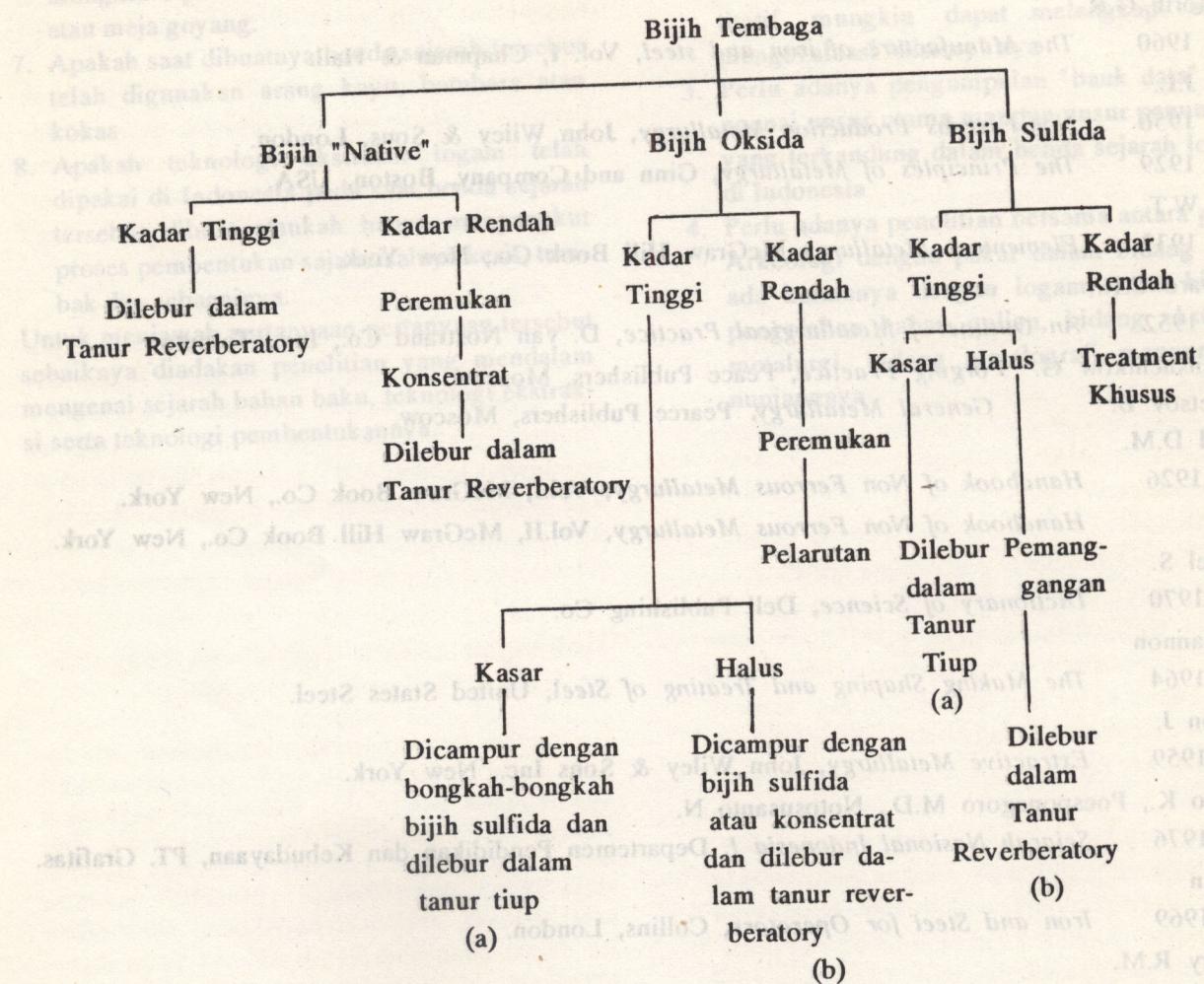
- Alexander, W., Street A.  
1972 *Metals in the Service of Man*, Penguin Books, Great Britain.
- Allibone T.E. et. al.  
1970 *The Impact of the Natural Science on Archaeology*, Oxford University Press.
- Bashforth G.R.  
1960 *The Manufacture of iron and steel*, Vol. I, Chapman & Hall.
- Bray J.L.  
1956 *Non-Ferrous Production Metallurgy*, John Wiley & Sons, London.  
1929 *The Principles of Metallurgy*, Ginn and Company, Boston, USA.
- Frier W.T.  
1932 *Elementary Metallurgy* McGraw Hill Book Co., New York.
- Hayward C.R.  
1952 *An Outline of Metallurgical Practice*, D. van Nostrand Co., Inc., Toronto.
- Kamenshchikow G. *Forging Practice*, Peace Publishers, Moscow.
- Kusnetsov B. *General Metallurgy*, Pearce Publishers, Moscow.
- Liddel D.M.  
1926 *Handbook of Non Ferrous Metallurgy*, Vol.I, McGraw Book Co., New York.  
1926 *Handbook of Non Ferrous Metallurgy*, Vol.II, McGraw Hill Book Co., New York.
- Mandel S.  
1970 *Dictionary of Science*, Dell Publishing Co.
- Mc Gannon  
1964 *The Making Shaping and Treating of Steel*, United States Steel.
- Newton J.  
1959 *Extractive Metallurgy*, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Sartono K., Poesponegoro M.D., Notosusanto N.  
1976 *Sejarah Nasional Indonesia I*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, PT. Grafitas.
- Stephen  
1969 *Iron and Steel for Operators*, Collins, London.
- Tupkary R.M.  
1980 *Introduction to Modern Steel Making*, Khana Publishers Delhi.
- Volsky A., Sergievskaya E.  
1978 *Theory of Metallurgical Process*, Mir Publishers, Moscow.
- Zakharov B.  
1962 *Heat Treatment of Metals*. Peace Publishers, Moscow.

**Gambar 1 Gambaran Umum Ekstraksi Bijih Tembaga**

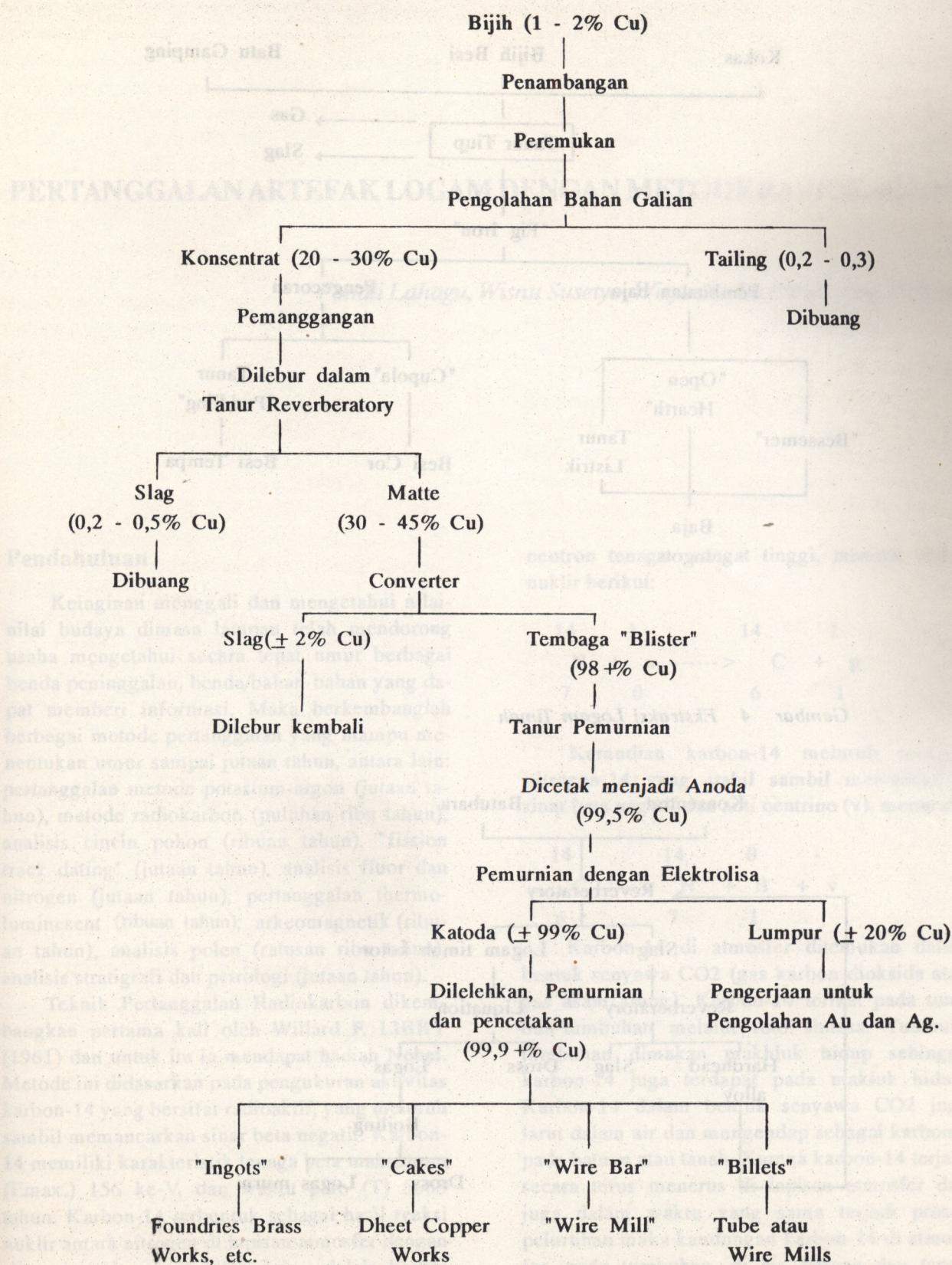
a. Cara Lama.

Dalam cara baru ada pengolahan bahan galian

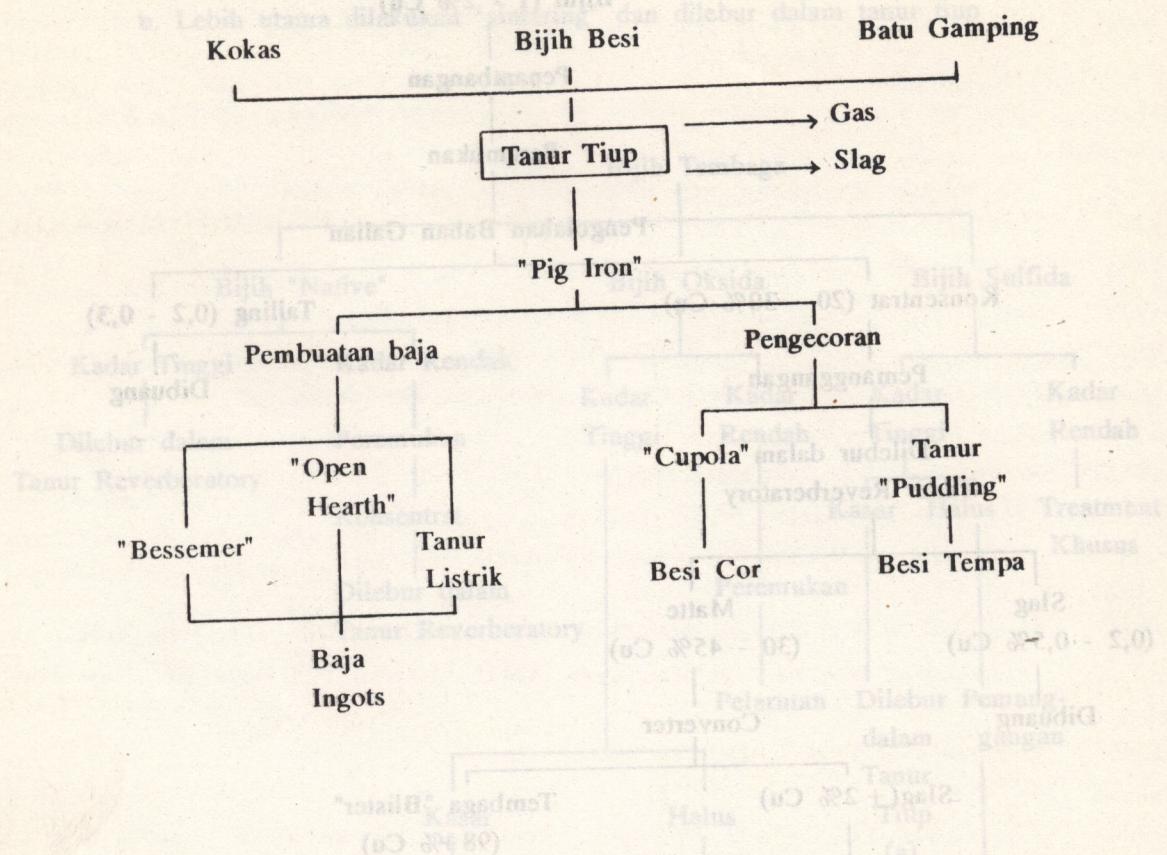
b. Lebih utama dilakukan "sintering" dan dilebur dalam tanur tiup



Gambar 2 Cara Ekstraksi Bijih Tembaga Berkadar Rendah



Gambar 3 Pembuatan Besi dan Baja



Gambar 4 Ekstraksi Logam Timah

