

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TIORI

2.1 Sifat-sifat tembaga paduan

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin Cuprum. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat perunggu. Logam ini dan aloinya (campuran) telah digunakan di era Roma, tembaga umumnya ditambang di Siprus, yang juga asal dari nama logam ini (cyprium, logam Siprus), nantinya disingkat jadi cuprum. Ikatan dari logam ini biasanya dinamai dengan tembaga(II), ditemukan sebagai bijih tembaga yang masih bersenyawa dengan zat asam, asam belerang atau bersenyawa dengan kedua zat tadi.

Ion Tembaga(II) dapat berlarut ke dalam air, dimana fungsi mereka dalam konsentrasi tinggi adalah sebagai agen anti bakteri, fungisi, dan bahan tambahan kayu. Dalam konsentrasi tinggi maka tembaga akan bersifat racun, tapi dalam jumlah sedikit tembaga merupakan nutrien yang penting bagi kehidupan manusia dan tanaman tingkat rendah. Di dalam tubuh, tembaga biasanya ditemukan di bagian hati, otak, usus, jantung, dan ginjal. Kebanyakan tembaga ditambang atau diekstraksi dalam bentuk tembaga sulfida dari tambang terbuka atau deposit. Contoh tambang yang ada antara lain Chuquicamata di Chile, Bingham Canyon Mine di Utah, dan El Chino Mine di New Mexico, Amerika Serikat. Menurut British Geological Survey tahun 2005, Chile adalah produsen tembaga terbesar di dunia dan menguasai sepertiga pasar dunia, diikuti Amerika Serikat, Indonesia, dan Peru.[1] Tembaga juga dapat diperoleh dengan proses leaching in-situ. Beberapa kawasan tambang di Arizona menggunakan metode ini.[13]

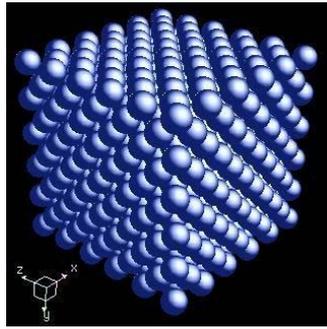


Gambar 2.1. Sebuah Tembaga Kawat tembaga murni, kawat tembaga teroksidasi dan Native copper (~4 cm in size)

Logam ini termasuk logam berat non ferro (logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar) yang memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik (Wikipedia,2010c). Sehingga produksi tembaga sebagian besar dipakai sebagai kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Biasanya dipergunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam – logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn (Van Vliet,et.all.,1984).

Struktur kristal tembaga murni adalah *face centered cubic* (FCC) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 dan memiliki titik leleh 1084,62 oC (WebElements,2009b), pada tabel 2.1 diperlihatkan sifat – sifat fisis mekanik dan sifat panas dari tembaga murni.

Tembaga yang tepat berada pada titik lelehnya akan tetap berwarna merah muda. Tembaga, perak, dan emas berada pada unsur golongan 11 pada tabel periodik dan mempunyai sifat yang sama: mempunyai satu elektron orbital-s pada kulit atom d dengan sifat konduktivitas listrik yang baik. Sifat lunak tembaga dapat dijelaskan oleh konduktivitas listriknya yang tinggi ($59,6 \times 10^6$ S/m) dan oleh karena itu juga mempunyai konduktivitas termal yang tinggi (kedua tertinggi) di antara semua logam murni pada suhu kamar.[1]



Gambar 2.2. Struktur Kristal Tembaga

Tabel 2.1. Sifat – sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni (WebElements, 2009b)

Sifat Fisis	Satuan
Densitas	8920 kg / m ³
Sifat Mekanik	Satuan
Kuat Tarik	200 N / mm ²
Modulus Elastisitas	130 GPa
Brinell Hardness	874 MN m ⁻²
Sifat Panas	Satuan
Koefisien Ekspansi Thermal	16,5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Konduktivitas Panas	400 W / mK

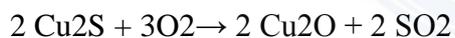


Gambar 2.3 cakram tembaga (kemurnian 99,5%) dibuat dengan continuous casting dan etching

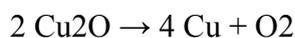
2.2 Struktur Mikro Logam

Struktur mikro merupakan butiran – butiran suatu benda logam yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, sehingga perlu menggunakan mikroskop optic atau mikroskop elektron untuk pemeriksaan butiran – butiran logam tersebut. Struktur material berkaitan dengan komposisi, sifat ,sejarah dan kinerja pengolahan, sehingga dengan mempelajari struktur mikro akan memberikan informasi yang menghubungkan komposisi dan pengolahan sifat serta kinerjanya. Analisis struktur mikro digunakan untuk menentukan apakah parameter struktur berada dalam spesifikasi tertentu dan didalam penelitian digunakan untuk menentukan perubahan – perubahan struktur mikro yang terjadi sebagai akibat komposisi atau perlakuan panas.

Konsentrasi tembaga pada bijih-bijih yang ada rata-rata hanya 0,6%, kebanyakan bijih komersial yang ada adalah sulfida seperti kalkopirit (CuFeS_2) atau kalkosit (Cu_2S).[14] Mineral ini ditingkatkan konsentrasinya sampai 10-15% dengan proses froth flotation atau bioleaching.[15] Memanaskan material ini dengan silika pada flash smelting akan melepaskan kandungan besi dan mengubah besi sulfida menjadi oksidanya. Senyawa produk copper matte yang terdiri dari Cu_2S kemudian dipanggang untuk mengubah sulfida menjadi oksida:[14]



Kuprat oksida kemudian dipanaskan:



Proses matte hanya mengkonversi setengah sulfida menjadi oksida dan kemudian menghilangkan semua sulfur menjadi oksida. Proses ini akan mengubah oksida tembaga menjadi logam tembaga. Gas alam kemudian dialirkan untuk menghilangkan oksigen (proses electrorefining) untuk kemudian mengubah material menjadi tembaga murni:[16]





Gambar 2.4 Tembaga yang tepat berada pada titik lelehnya akan tetap berwarna merah muda

Tembaga telah digunakan sejak 10.000 tahun yang lalu, tapi lebih dari 96% dari jumlah yang ditambang baru diekstraksi setelah 1900. Cadangan tembaga di bumi pun masih amat besar (sekitar 1014 ton), atau cukup untuk 5 juta tahun dengan kecepatan ekstraksi saat ini. Meski begitu, hanya sebagian kecil saja dari jumlah ini yang bernilai ekonomis, dengan teknologi dan harga jual saat ini. Beberapa estimasi mengatakan bahwa cadangan yang ada hanya cukup untuk 25 sampai 60 tahun lagi, tergantung dari seberapa besar peningkatan penggunaannya.[17] Daur ulang tembaga merupakan salah satu sumber utama.[18]

Data mengenai berbagai sifat logam yang mesti dipertimbangkan selama proses akan ditampilkan dalam berbagai sifat mekanik, fisik, dan kimiawi bahan pada kondisi tertentu. Untuk memanfaatkan data tersebut sebaik mungkin, perlu diketahui sifat asal logam yang menyebabkan logam menjadi kuat dan bagaimana sifat itu berubah selama proses produksinya.

Sifat bahan diperoleh dari hasil:

- (i) interaksi antar atom bahan;
- (ii) perilaku gugus-gugus atom tersebut (mungkin mempunyai struktur kristalin yang teratur);
- (iii) atribut yang berkaitan dengan gabungan gugus-gugus atom tersebut.

Untuk memperoleh pengertian mendasar mengenai sifat bahan, dalam bab ini akan dibahas pengaruh struktur atom, struktur kristalin, dan perilaku bahan dalam bentuknya yang utuh.

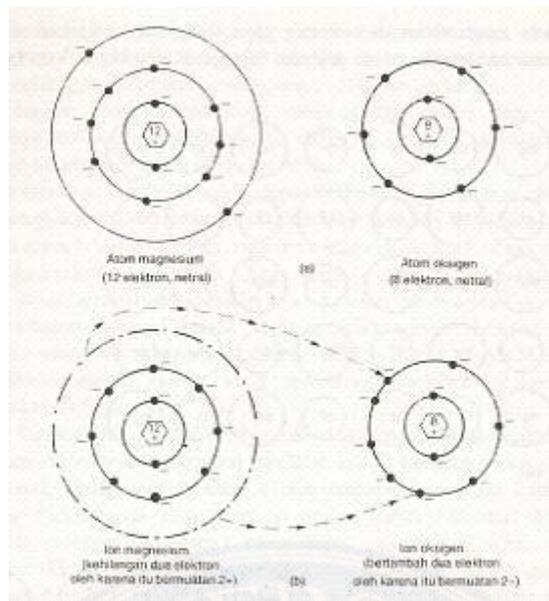
1.1 Jenis Ikatan dalam bahan padat

Atom terdiri atas inti atom bermuatan positif yang dikelilingi oleh sejumlah elektron (yang dianggap tidak bermassa), jumlah muatan elektron sama dengan muatan inti sehingga secara keseluruhan atom itu netral, dan tidak bermuatan. Elektron tersusun dalam beberapa tingkatan energi atau kulit energi. Kulit energi terluar mempunyai ikatan yang paling lemah dengan intinya. Gambar 1.1(a) memperlihatkan gambaran dua dimensi untuk magnesium, jenis atom logam yang memiliki dua elektron pada kulit terluar, dan oksigen, atom unsur bukan logam yang mempunyai enam elektron pada kulit paling luar. Keduanya mempunyai dua elektron pada kulit yang paling dekat dengan intinya.

Kemampuan interaksi antar atom berkurang bila kulit terluar diduduki oleh delapan elektron. Atom yang tidak memiliki konfigurasi ini selalu berusaha untuk membentuk ikatan sedemikian rupa sehingga mencapai konfigurasi ini. Karakteristik inilah yang mendorong terbentuknya tiga jenis ikatan atom yaitu ikatan ionik, ikatan kovalen, dan ikatan logam.

Ikatan Ionik.

Ikatan ionik terjadi antara atom logam dan atom bukan logam dan merupakan ikatan yang sangat kuat. Bahan dengan ikatan ionik mempunyai ciri: temperatur lebur tinggi, keras, dan rapuh. Ikatan ionik terbentuk bila atom oksigen "menangkap" dua elektron terluar atom magnesium (Gambar 1.1(b)). Dengan demikian, atom oksigen bertambah dua muatan negatif dan atom magnesium kehilangan dua elektron terluarnya sehingga mempunyai kelebihan dua muatan positif. Baik oksigen maupun magnesium kini memiliki delapan elektron pada kulit terluarnya dan mencapai keseimbangan kimiawi seperti gas mulia. Akan tetapi, kedua atom yang tadinya netral itu sekarang mempunyai muatan elektrostatik yang berlawanan dan inilah yang menghasilkan ikatan ionik, seperti tampak pada Gambar 1.2(a) yang merupakan gambar dua dimensi senyawa oksida magnesium (MgO).

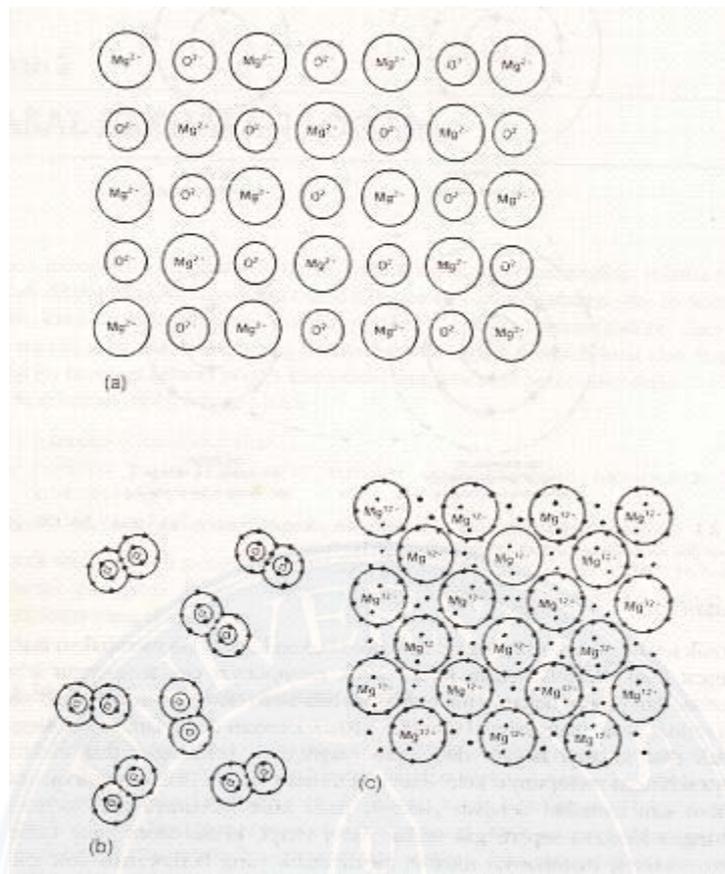


Gambar 2.5: Konfigurasi ikatan atom

Atom bermuatan sejenis tolak menolak, sedangkan atom dengan muatan berlawanan tarik menarik. Jadi, pada bahan utuh yang terdiri atas atom yang berikatan ionik, terbentuk struktur kristal dengan pola teratur dalam tiga dimensi. Tiap atom dikelilingi oleh atom dengan muatan yang berlawanan. Kekuatan senyawa seperti ini ditentukan oleh kekuatan ikatan elektrostatik antar atom tak sejenis, dan kerapuhannya ditentukan oleh ketahanan atom bermuatan terhadap usaha yang memaksanya menduduki posisi dekat dengan atom yang bermuatan sama. Oksida magnesium menentang gaya yang mendekatkan atom oksigen dan atom magnesium dengan atom sejenis. Bila gaya tersebut cukup besar, kristal akan retak.

Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen terjadi antara atom dengan empat elektron atau lebih pada kulit terluarnya, suatu kondisi yang dijumpai pada unsur bukan logam. Sebuah atom tak mungkin menampung semua elektron kulit terluar atom lain. Sekiranya hal itu terjadi, maka kulit elektron terluarnya akan kelebihan elektron (jumlah ideal adalah delapan elektron). Bila terdapat empat elektron atau lebih pada kulit terluar, atom sedemikian rupa sehingga mereka dapat berbagi elektron luar, tampak pada Gambar 1.2b.



Gambar 2,6 : Konfigurasi ikatan atom

Pada gambar ini terlihat dua atom oksigen berbagi elektron sehingga setiap atom mempunyai delapan elektron. Ikatan antara bagian atom sangat kuat, tetapi ikatan antara pasangan lemah; demikian lemahnya sehingga oksigen tidak dapat beku dan membentuk kristal mencapai temperatur yang sangat rendah. Bahan yang mempunyai ikatan kovalen dapat berbentuk gas, cairan, atau padatan dan ikatan ini merupakan ikatan yang kuat. Untuk penerapan di bidang teknik, kita mengambil contoh yang relevan, misalnya karbon. Atom karbon mempunyai empat elektron pada kulit terluarnya. Agar jumlah elektron tersebut mencapai delapan, karbon dapat bersenyawa dengan atom karbon lainnya atau dengan empat buah atom berelektron tunggal (pada kulit terluar) seperti hidrogen. Dengan hidrogen, karbon akan membentuk metana (CH_4). Dengan dua atom yang mempunyai elektron ganda (pada kulit terluarnya) seperti oksigen, karbon membentuk dioksida karbon (CO_2). Dengan atom karbon lain, akan terbentuk dua jenis kristal karbon. Bentuk pertama adalah intan. Intan mempunyai

struktur kubik dengan atom pada posisi rangkaian tetragonal, sedangkan bentuk kedua mempunyai atom karbon dalam rangkaian bidang heksagonal dan disebut grafit. Grafit dikenal dengan sifat pelumasnya akibat susunan bidangnya yang dapat saling bergeseran. Walaupun atom karbon dikelilingi oleh delapan elektron, jenis ikatannya agak berbeda. Jarak antar bidang lebih besar daripada jarak antar atom dalam bidang itu sendiri, sehingga gaya ikat antar bidang lemah. Selain itu, ikatan semacam ini menggunakan tiga elektron per atom, sedangkan elektron keempat bebas atau dapat bergerak dalam bidang yang sejajar dengan kulit.

Atom karbon yang membentuk ikatan dengan atom lain seperti hydrogen sering kali membentuk rantai atau untai yang panjang. Ikatan antar atom yang seperti rantai ini (yang disebut struktur polimer) tidak selalu mencerminkan sifat ikatan kovalen karena, meskipun kuat, rantai juga fleksibel dan ikatan antar rantai yang berdekatan lemah.

Ikatan Logam

Dua pertiga dari unsur mempunyai kurang dari empat elektron pada kulit terluarnya. Meskipun jumlahnya memadai untuk mengimbangi muatan positif inti, bila dua jenis unsur ini membentuk ikatan, jumlah elektron masih kurang untuk membentuk ikatan keseimbangan kimia dan tidak dapat membentuk ikatan ionik atau ikatan kovalen. Dalam keadaan padat, unsure logam membentuk jenis ikatan yang lain sekali, yang menjadi ciri khas logam. Elektron pada kulit terluar suatu logam bergerak sebagai awan melalui ruang antar inti yang bermuatan positif bersama kulit elektron lainnya, lihat Gambar 1.2c.

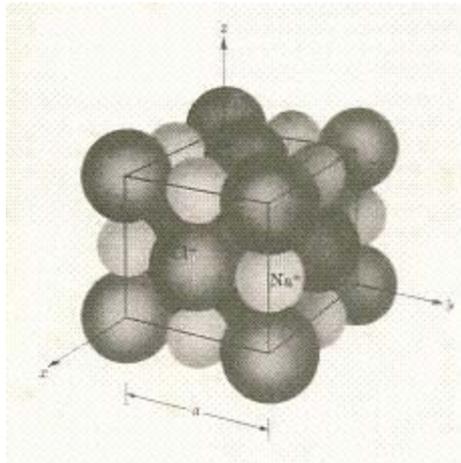
Inti beserta kulit elektron di bagian dalam dianggap sebagai bola keras yang tersusun padat dengan pola teratur, membentuk apa yang disebut *susunan kristal*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.2.c. Susunan ion positif terikat menjadi satu oleh awan elektron bermuatan negatif membentuk ikatan khas yang disebut ikatan *logam*. Oleh karena ion tidak memiliki kecenderungan khusus untuk menempati lokasi tertentu, ion dapat bergerak dalam kisi kristal

tanpa mengganggu keteraturan pola. Selain itu, awan elektron dapat digerakkan ke arah tertentu oleh potensial listrik, dan menghasilkan *arus listrik*. Konduktivitas listrik merupakan karakteristik khas logam. Pada kristal dengan ikatan ion atau ikatan kovalen, elektron terikat dan tidak bebas bergerak. Hanya bila potensial cukup tinggi (potensial tembus), elektron dapat ditarik lepas.

Ikatan dan Pengaruh Gaya Luar

Di samping kemampuan gerak elektron pada ikatan logam, perbedaan besar lain antara ikatan logam dan ikatan lainnya terletak pada perilakunya bila dipengaruhi oleh gaya luar. Gaya kecil tak seberapa pengaruhnya terhadap ketiga jenis ikatan tersebut. Regangan atau perpanjangan yang terjadi lenyap bila gaya ditiadakan. Sifat ini disebut *perpanjangan elastik* atau *kompresi elastik*. Bila gaya cukup besar, pada ikatan logam dapat terjadi pergelinciran ion logam membentuk pola sejenis yang tetap bertahan meski gaya ditiadakan. Ini dimungkinkan karena semua ion memiliki sifat yang sama dan elektron tidak terikat pada atom tertentu. Sebaliknya, atom dengan ikatan ion menentang gerak luncuran tersebut karena antara ion dan elektron terdapat ikatan kuat. Oleh karena itu, bahan dengan ikatan ion cenderung rapuh. Karena adanya kemampuan inti untuk saling meluncur, kristal dengan ikatan logam dapat dibentuk secara mekanik dan ikatan antar atomnya tetap kuat. Sifat ini disebut *keuletan (ductility)* atau kenyal bentuk dan merupakan karakteristik keadaan logam.

Apa pun bentuk ikatannya, bahan umumnya membentuk susunan tiga dimensi (atau struktur kristal) yang teratur dalam ruang. Ada empat belas jenis struktur, tetapi hanya empat yang biasanya ditemukan pada logam yang digunakan dalam penerapan keteknikan. Sel tunggal sederhana mewakili jumlah atom yang tak terhingga dalam susunan tiga dimensi kristal utuh. Semua logam, sebagian besar keramik dan beberapa polimer membentuk kristal ketika bahan tersebut membeku. Dengan ini dimaksudkan bahwa atom-atom mengatur diri secara teratur dan berulang dalam pola 3 dimensi. Struktur semacam ini disebut *kristal* (Gambar 1.3).

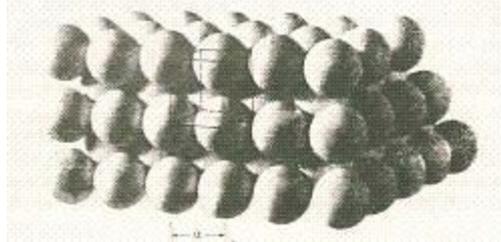


Gambar 2,7 : Struktur Kristal

Pola teratur dalam jangkau panjang yang menyangkut puluhan jarak atom dihasilkan oleh koordinasi atom dalam bahan. Disamping itu pola ini kadang-kadang menentukan pula bentuk luar dari kristal, contoh yang dapat dikemukakan adalah bentuk bintang enam bunga salju. Permukaan datar batu batuan mulia, kristal kwarsa (SiO_2) bahan garam meja biasa (NaCl) merupakan penampilan luar dari pengaturan di dalam kristal itu sendiri. Dalam setiap contoh yang dikemukakan tadi, pengaturan atom di dalam kristal tetap ada meskipun bentuk permukaannya diubah. Struktur dalam kristal kwarsa tidak berubah meskipun permukaan luar tergesek sehingga membentuk butiran pasir pantai yang bulat-bulat. Hal yang sama kita jumpai pada pengaturan heksagonal molekul air dalam es atau bunga salju.

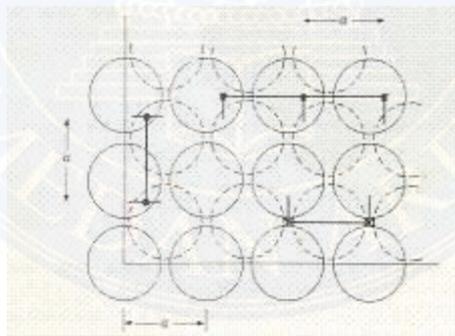
Tata jangkau panjang yang merupakan karakteristik kristal dapat dilihat pada Gambar 1.4. Model ini memperlihatkan beberapa pola atom kisi yang dapat terjadi bila terdapat satu jenis atom. Karena pola atom ini berulang secara tak terhingga, untuk mudahnya kisi kristal ini dibagi dalam *sel satuan*. Sel satuan ini yang mempunyai volum terbatas, masing-masing memiliki ciri yang sama, dengan kristal secara keseluruhan. Jarak yang selalu terulang, yang disebut *konstanta kisi*, dalam pola jangkau panjang kristal, menentukan ukuran sel satuan, jadi dimensi yang berulang atau a , (lihat Gambar 1.4.) juga merupakan dimensi sisi sel satuan. Karena pola kristal Gambar 1.4 identik dalam ketiga arah tegak lurus, sel satuan ini

berbentuk kubik dan a adalah konstanta kisi dalam ketiga arah koordinat. Dalam kristal bukan kubik, konstanta kisi berbeda dalam ketiga arah koordinat.



Gambar 2,8 : Sel satuan

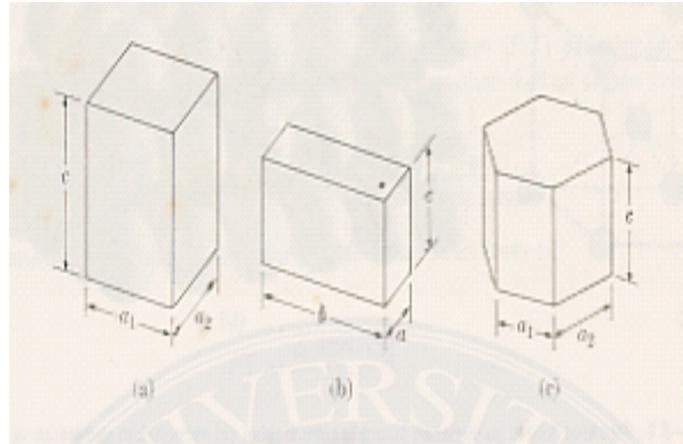
Titik sudut sel satuan dapat ditempatkan *dimana saja* dalam suatu kristal. jadi, sudut tersebut dapat berada dipusat atom, tempat lain dalam atom-atom atau diantara atom-atom, seperti titik pada Gambar 2,9. Dimanapun ia berada, volum yang kecil tadi dapat diduplikasikan dengan volum yang identik disebelahnya (asalkan sel tadi memiliki orientasi yang sama dengan pola kristal) Setiap sel mempunyai ciri-ciri geometrik, yang sama dengan kristal keseluruhan.



Gambar 2,9 :: Konstanta kisi

Kristal kubik memiliki pola yang sama sepanjang ketiga sumbu tegak lurus: $a_1 = a_2 = a_3$. Kebanyakan logam dan beberapa jenis keramik berbentuk kubik. Kristal bukan kubik terjadi bila pola ulangnya tidak sama dalam ketiga arah koordinatnya atau sudut antara ketiga *sumbu kristal* tidak sama dengan 90°. Ada tujuh *sistem kristal*, dengan karakteristik geometriknya seperti tercantum dalam Tabel 1.1. Dalam pelajaran pengantar dasar ilmu logam ini perhatian kita tertuju pada bentuk kristal kubik yang lebih sederhana. Akan tetapi disamping itu kita

perlu mengenal juga sistem heksagonal. Disamping itu, kristal tetragonal dan ortorombik dengan karakteristik sel satuan seperti Gambar. 2,10



Gambar 2,10: Kristal bukan kubik

Tabel 1-1 : Sistem kristal.

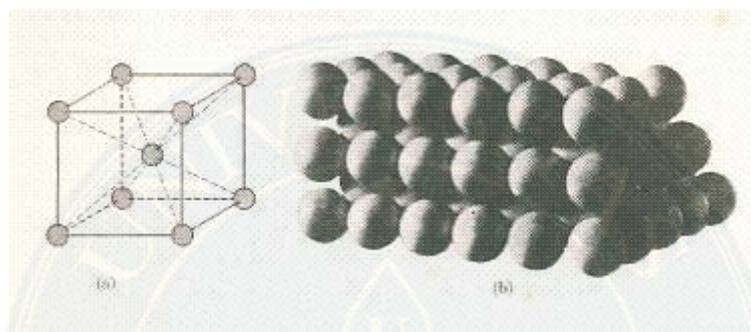
Sistem	Sumbu	Sudut sumbu
Kubik	$a_1 = a_2 = a_3$	semua sudut = 90°
Tetragonal	$a_1 = a_2 \neq a_3$	semua sudut = 90°
Ortorombik	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$	semua sudut = 90°
Monoklinik	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$	dua sudut = 90° satunya $\neq 90^\circ$
Triklinik	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$	semua sudut berbeda; tidak ada yang = 90°
Heksagonal	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	semua sudut 90° dan 120°
Rombohedral	$a_1 = a_2 = a_3$	semua sudut sama, tetapi tidak = 90°

Kristal kubik terdiri dari tiga bentuk kisi, *kubik sederhana*, *kubik pemusatan ruang* dan *kubik pemusatan sisi*. Suatu kisi adalah Pola yang berulang dalam tiga dimensi yang terbentuk

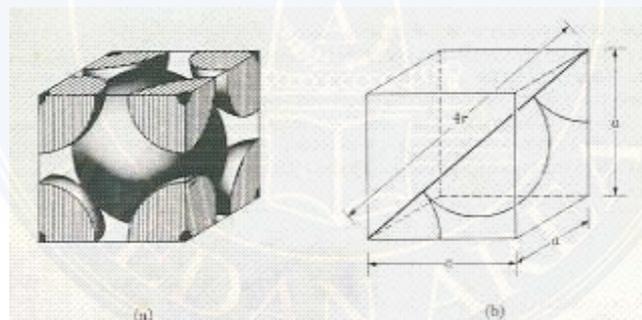
dalam kristal. Sebagian besar logam memiliki kisi kubik pemusatan ruang (kpr) atau kisi kubik pemusatan sisi (kps).

1.2.1. Kubik pemusatan ruang.

Besi mempunyai struktur kubik. Pada suhu ruang sel satuan besi mempunyai atom pada tiap titik sudut kubus dan satu atom pada Pusat kubus (Gambar 2,11.) Besi merupakan logam yang paling umum dengan struktur kubik pemusatan ruang, tetapi bukan satu-satunya. Krom, tungsten dan unsur lain juga memiliki susunan kubik pemusatan ruang.



Gambar 2,11: Struktur Kubik pemusatan ruang



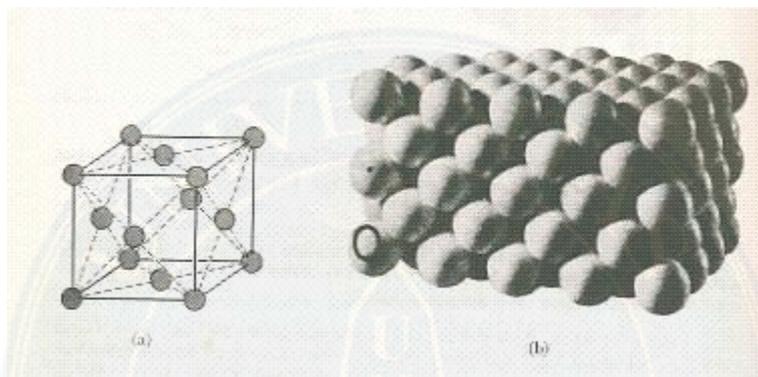
Gambar 2,12: Struktur Kubik pemusatan ruang

Tiap atom besi dalam struktur kubik pemusatan ruang (kpr) ini dikelilingi oleh delapan atom tetangga; hal ini berlaku untuk setiap atom, baik yang terletak pada titik sudut maupun atom dipusat sel satuan. Oleh karena itu setiap atom mempunyai lingkungan geometrik yang sama (Gambar 2,11). Sel satuan logam kpr mempunyai dua atom. Satu atom dipusat kubus dan delapan seperdelapan atom pada delapan titik sudutnya (Gambar 2,12).

Kita dapat menerapkan konsep *tumpukan atom* (F.T) pada logam kpr, dengan menggunakan model bola keras maka fraksi volum dari sel satuan yang ditempati oleh bola-bola tersebut.

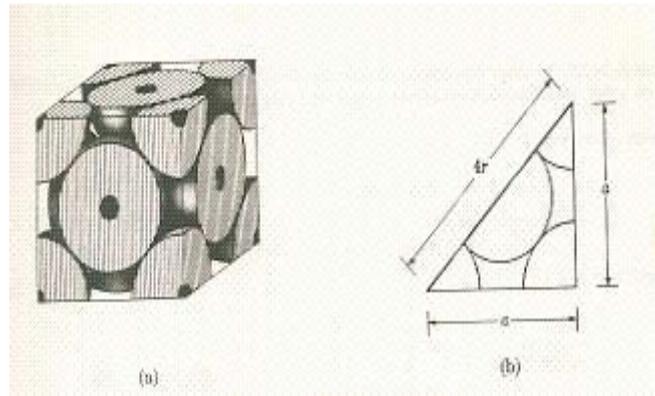
Kubik permusatan sisi.

Pengaturan atom dalam tembaga (Gambar 2,13) tidak sama dengan pengaturan atom dalam besi, meski keduanya kubik. Disamping atom pada setiap titik sudut sel satuan tembaga, terdapat sebuah atom ditengah setiap bidang permukaan, namun tak satupun dititik pusat kubus. Struktur kubik pemusatan sisi (kps) ini lebih sering dijumpai pada logam, antara lain, aluminium, tembaga, timah hitam, perak dan nikel mempunyai pengaturan atom seperti ini (demikian pula halnya dengan besi pada suhu tinggi).



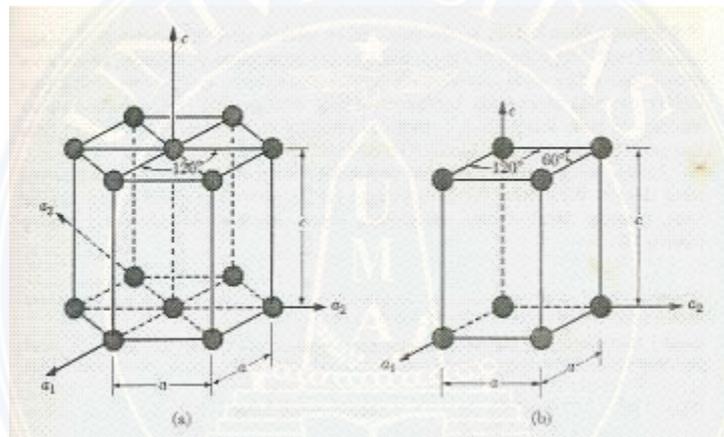
Gambar 2,13 : Struktur Kubik pemusatan sisi

Logam dengan struktur kps mempunyai empat kali lebih banyak atom. Kedelapan atom pada titik sudut menghasilkan satu atom, dan keenam bidang sisi menghasilkan 3 atom per sel satuan. (Gambar 2,13). Faktor tumpukan untuk logam kps adalah 0.74, yang ternyata lebih besar dari nilai 0.68 untuk logam kpr. Hal ini memang wajar oleh karena setiap atom dalam logam kpr dikelilingi oleh delapan atom . Sedang setiap atom dalam logam kps mempunyai dua belas tetangga. Hal ini dibuktikan dalam Gambar 2,13, dimana kita lihat bahwa atom pada sisi depan mempunyai empat tetangga, empat tetangga yang bersinggungan dengannya dibagian belakang dan empat lagi yang serupa dibagian depannya.

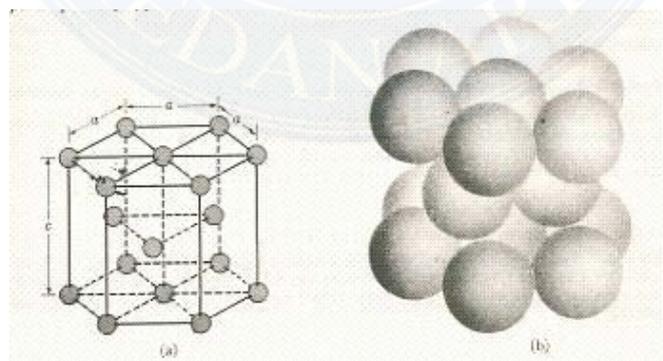


Gambar 2,14: Struktur Kubik pemusatan sisi

Kristal Heksagonal.



Gambar 2,15 : Sel satuan heksagonal sederhana



Gambar 2,16 : Struktur heksagonal tumpukan padat

2.3 Sifat Mekanik Material

Pemahaman yang menyeluruh mengenai sifat-sifat material, perlakuan, dan proses pembuatannya sangat penting untuk perancangan mesin yang baik. Sifat material umumnya diklasifikasikan menjadi sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimiawi. Sifat mekanik secara umum ditentukan melalui pengujian destruktif dari sampel material pada kondisi pembebanan yang terkontrol. Sifat mekanik yang paling baik adalah didapat dengan melakukan pengujian prototipe atau desain sebenarnya dengan aplikasi pembebanan yang sebenarnya. Namun data spesifik seperti ini tidak mudah diperoleh sehingga umumnya digunakan data hasil pengujian standar seperti yang telah dipublikasikan oleh ASTM (*American Standard testing and material*).

Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik logam adalah uji tarik. Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Karena dengan pengujian tarik dapat diukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan.

Proses pemurnian tembaga

Proses pemurnian tembaga diawali dengan penggilingan bijih tembaga kemudian dicampur dengan batu kapur dan bahan fluks silika. Tepung bijih dipekatkan terlebih dahulu, sesudah itu dipanggang sehingga terbentuk campuran FeS , FeO , SiO_2 , dan CuS . Campuran ini disebut kalsin dan dilebur dengan batu kapur sebagai fluks dalam dapur *reverberatory*. Panas oksidasi yang dihasilkan cukup tinggi sehingga muatan tetap cair dan sulfida tembaga

akhirnya berubah menjadi oksida tembaga dan sulfat. Setelah itu, tembaga ini dilebur dan dicor menjadi slab, kemudian diolah lebih lanjut secara elektronik menjadi tembaga murni.

2.3.1 Uji Tarik dan *Tensile Strength*

Spesimen uji standar yang biasa dipakai ditunjukkan pada gambar 2.3. Batang yang dipakai untuk pengujian material biasanya mempunyai diameter standar d_0 dan panjang ukur standar l_0 . Panjang ukur adalah panjang tertentu sepanjang bagian yang berdiameter kecil dari spesimen yang ditandai dengan dua takikan sehingga pertambahan panjangnya dapat diukur selama pengujian. Pengujian dilakukan dengan menarik batang uji perlahan-lahan sampai patah, sementara beban dan jarak panjang ukur dimonitor secara kontinyu. Contoh hasil pengujian ini adalah kurva tegangan-regangan seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.6. Hasil uji tarik dapat ditampilkan dalam bentuk kurva “Tegangan-regangan”. Dimana Tegangan (σ) didefinisikan sebagai beban per satuan luas dan untuk spesimen uji tarik dirumuskan sebagai berikut :

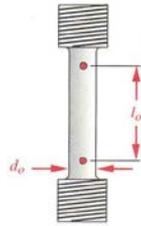
$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana P adalah beban yang bekerja sedangkan A_0 adalah luas penampang spesimen. Satuan untuk tegangan adalah Psi atau Pa.

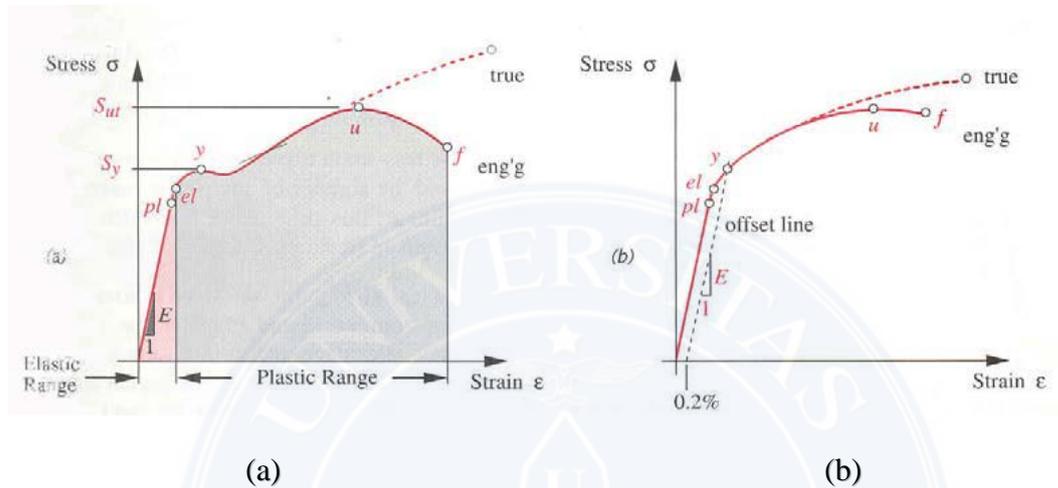
Regangan adalah perubahan panjang per satuan panjang dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana l_0 adalah panjang awal sedangkan l adalah panjang spesimen setelah mendapat beban P .



Gambar 2.17 specimen uji tarik



Gambar 2.18 Kurva tegangan-regangan hasil uji tarik, (a) baja karbon rendah, (b) baja karbon tinggi(*annealed*)

Sifat-sifat material yang dapat ditentukan dari uji tarik adalah :

2.3.2 Modulus elastisitas

Titik *pl* pada gambar 2.17 menunjukkan batas “proporsional” dimana dibawah titik itu tegangan sebanding dengan regangan. *E* adalah kemiringan kurva tegangan-regangan sampai batas proporsional dan disebut sebagai Modulus Elastisitas material atau Modulus Young. *E* adalah merupakan ukuran kekakuan material pada batas elastisnya.

2.3.3 Batas elastis (*elastic limit*)

Titik *el* pada gambar 2.4a adalah batas elastis, atau titik dimana bila batas ini terlewati, material akan mengalami perubahan permanen atau deformasi plastis. Batas elastis ini juga merupakan tanda batas daerah perilaku elastis dengan daerah perilaku plastis.

2.3.4 Kekuatan luluh (*Yield Strength*)

Pada titik y , material mulai mengalami luluh dan laju deformasinya meningkat. Titik ini disebut titik luluh (*yield point*) dan nilai tegangan pada titik ini didefinisikan sebagai kekuatan luluh material (S_y). Untuk material yang tidak mempunyai titik luluh yang jelas, kekuatan tariknya harus didefinisikan dengan menggunakan garis offset. Garis offset ini digambar paralel dengan kurva elastis dan di-offset sejauh 0,2% dari regangan total pada sumbu regangan.

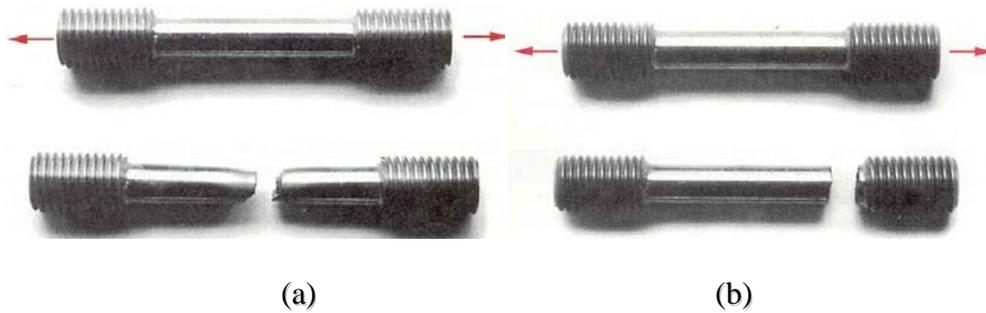
2.3.5 Kekuatan tarik ultimat (*Ultimate Tensile Strength*)

Tegangan pada kurva tegangan-regangan akan terus meningkat sampai mencapai puncak atau nilai kekuatan tarik ultimat (S_u) pada titik u . Pada gambar 2.18 terdapat dua kurva pada masing-masing gambar. Kedua kurva ini adalah kurva tegangan-regangan teknik (*engineering stress-strain curve*) dan kurva tegangan-regangan sebenarnya (*true stress-strain curve*). Pada kurva tegangan-regangan teknik, perhitungan tegangan dan regangan dilakukan dengan menggunakan luas penampang awal A_0 , dan panjang ukur awal l_0 , sedangkan pada kurva tegangan-regangan sebenarnya perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan perubahan luas penampang dan panjang sebenarnya.

2.3.6 Keuletan dan kegetasan

Keuletan (*ductility*) adalah sifat material yang didefinisikan sebagai kecenderungan material untuk mengalami deformasi secara signifikan sebelum patah. Adapun ukuran keuletan suatu material diukur dengan menggunakan persen perpanjangan sebelum patah atau persen pengurangan luas sebelum patah. Material dengan perpanjangan lebih dari 5% pada saat patah dianggap sebagai material ulet.

Kegetasan adalah sifat material yang didefinisikan sebagai ukuran tidak adanya deformasi sebelum patah. Contoh bentuk patahan spesimen untuk material ulet dan getas ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 (a) Spesimen baja ulet setelah patah, (b) Spesimen besi cor getas setelah patah

2.3.2 Elongation (perpanjangan)

Pertambahan panjang suatu bahan setelah mengalami uji tarik disebut elongation. Nilai keuletan suatu bahan biasa ditunjukkan dari harga elongation ini. Apabila harga elongation besar maka bahan tersebut dikatakan ulet (ductility). Keuletan (ductility) adalah kemampuan logam untuk berdeformasi plastis sebelum putus. Persentase elongation dinyatakan dengan persamaan berikut

$$\% \text{ elongasi} = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

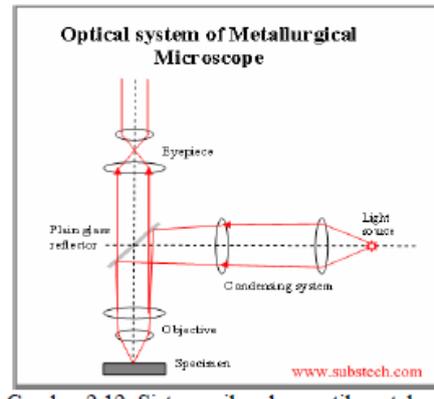
L_o = panjang mula – mula (mm)

L = panjang setelah bahan putus (mm)

Panjang mula – mula di ukur pada dua batas bagian tengah sampel uji tarik dan panjang akhir sampel di ukur pada batas yang sama setelah kedua bagian yang putus disatukan kembali.

2. 5 Mikroskop Metalurgi

Mikroskop metalurgi merupakan mikroskop optik yang berbeda dari yang lain yaitu dalam metode iluminasi specimen mikroskop. Metode ini menyebabkan bahan logam harus diterangi oleh pencahayaan frontal, sehingga cahaya berada di dalam tabung mikroskop. Skema mikroskop metalurgi optik diperlihatkan pada gambar 2.20,



Gambar 2.21. Sistem mikroskop optik metalurgi

Parameter yang penting dalam mikroskop metalurgi meliputi pembesaran dan resolusi. Umumnya perbesaran dari mikroskop metalurgi berada dalam kisaran 50 kali sampai 1000 kali sedangkan resolusi merupakan ketajaman gambar suatu objek oleh perangkat optik yang baik. Mikroskop metalurgi digunakan untuk berbagai aplikasi diantaranya manufaktur wafer semikonduktor silicon, inspeksi dan pengendali mutu, kristalografi, analisis besi tuang dalam pengecoran logam dan juga dapat digunakan untuk analisis mikrostruktur.

2.6 Koefisien Ekspansi Termal

Pada umumnya material apabila dipanaskan atau didinginkan akan mengalami perubahan panjang dan volume secara bolak – balok (reversible), sepanjang material tersebut tidak mengalami kerusakan (distorsi) yang permanen. Sifat ekspansi termal dari paduan logam CuPbSn sangat penting karena ada kaitannya dengan aplikasinya yaitu pada bushing. Untuk bushing yang baik, diharapkan koefisien bahan tersebut harus kecil. Pengujian ekspansi termal untuk bahan ini digunakan thermomechanical analyzer (TMA). Thermomechanical analyzer (TMA) merupakan bagian dari instrumen analisis termal, seperti DTA, TGA dll. yang digunakan untuk menentukan perubahan sifat – sifat mekanik dari bahan uji melalui pemanasan atau pendinginannya. Melalui analisa grafik yang dicatat recorder TMA, dapat dihitung besarnya koefisien ekspansi termal dengan persamaan (Tipler, P.A., 1998),

$$\alpha = \frac{\Delta L}{l_o \Delta T} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

α = koefisien ekspansi thermal (/ oC)

l_o = panjang sampel uji mula – mula (mm)

ΔT = perubahan temperatur pemanasan (oC)

ΔL = perubahan panjang (mm)

Temperatur pemanasan atau perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat – sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (education.web,2009).

Secara umum perlakuan panas (heat treatment) diklasifikasikan dalam 2 jenis, yaitu :

a. Near Equilibrium (Mendekati Kesetimbangan)

Tujuan dari perlakuan panas near equilibrium adalah untuk :

- melunakkan struktur kristal
- menghaluskan butiran
- menghilangkan tegangan dalam
- memperbaiki machineability

Jenis dari perlakuan panas near equilibrium, misalnya :

- full annealing (annealing)
- stress relief annealing
- process annealing
- normalizing
- homogenizing

2. Non Equilibrium (tidak setimbang)

Tujuan panas non equilibrium adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi.

Jenis dari perlakuan panas non equilibrium, misalnya :

- hardening
- martempering
- austempering

Jenis perlakuan panas yang diterapkan pada tembaga dan paduannya antara lain :

- Homogenisasi, yang diterapkan untuk melarutkan dan menyerap segregasi dan coring dari cor struktur, terutama yang mengandung timah dan nikel serta menciptakan struktur yang lebih seragam
- Annealing, untuk melunakkan bahan pada suhu rekristalisasi dan jika diinginkan pelunakkan maksimum dilakukan pemanasan diatas suhu rekristalisasi
- Menghilangkan Stress, bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan tegangan sisa yang menyebabkan retak atau korosi
- Pengerasan Presipitasi, untuk memberikan peningkatan penguatan

(William C, 2006)

2.7 Aplikasi Tembaga

Tembaga dapat dijadikan paduan sebagai bushing atau yang dikenal sebagai bantalan merupakan elemen atau bagian dari peralatan mesin yang dirancang agar dapat menahan beban yang diterimanya, khususnya beban yang bergerak seperti poros sehingga putaran atau gerak bolak – baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. Bushing harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik, karena bushing permesinan sama halnya dengan pondasi pada gedung, dan hampir semua bagian mesin yang berputar ditumpu oleh bushing (J.J.M.Hangendorm,1989). Gambar di bawah memperlihatkan

sebuah bush – bantalan perunggu.



Gambar 2.22. Bantalan Bushing dan Contoh tembaga(I) oksida.

Dalam memilih bahan bushing yang perlu diperhatikan adalah :

- a. Dapat menahan beban tanpa mengalami patah atau perubahan bentuk, tahan terhadap beban yang berubah – ubah dan tahan terhadap temperatur tinggi
- b. Tahan gesekan dan tahan aus
- c. Tahan terhadap korosi
- d. Dapat menghantar panas
- e. Pelekatan yang baik untuk bidang luncur yang di cor
- f. Koefisien muai kecil
- g. Sifat dapat dikerjakan (mampu tempa) yang baik (Wikipedia,2010b)

Pemakaian bushing ini, antara lain bushing pada poros engkol, bushing pada mesin perkakas, bushing pada roda kereta api, bushing untuk penggunaan umum, dan masih banyak lagi sesuai dengan yang dibutuhkan.

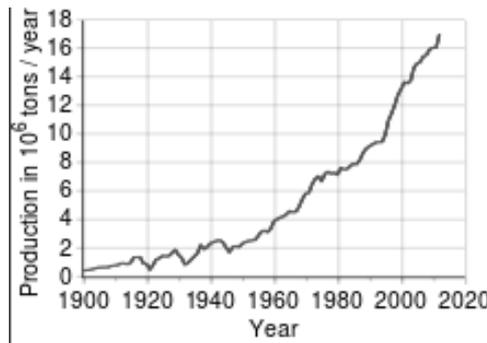
Bahan baku yang sering dipergunakan dalam pembuatan bushing salah satunya adalah paduan logam CuPbSn. Bahan baku ini termasuk kepada kelompok copper – base alloys, yang artinya tembaga merupakan logam dasar untuk perunggu tuang atau disebut juga sebagai paduan tembaga. Untuk memahami kinerja paduan yang berbeda, perlu di pahami

apa yang terjadi pada struktur dasar tembaga bila sejumlah kecil timah hitam dan timah putih ditambahkan.

Tembaga, seperti aluminium, dapat didaur ulang 100% tanpa mengurangi kualitasnya. Dilihat dari volumenya, tembaga adalah logam paling banyak ketiga yang didaur ulang, setelah besi dan aluminium. Diperkirakan bahwa 80% dari seluruh tembaga yang pernah ditambang masih digunakan saat ini.[22] Menurut laporan International Resource Panel, pemakaian tembaga per kapita global adalah sekitar 35–55 kg. Pemakai terbesarnya adalah negara-negara maju (140–300 kg per kapita) sedangkan di negara-negara berkembang sekitar 30–40 kg per kapita. Proses daur ulang tembaga pada umumnya sama dengan proses ekstraksi, namun prosesnya lebih sedikit. Tembaga bekas dengan kemurnian tinggi dilelehkan di furnace dan kemudian direduksi dan dibentuk kembali menjadi billet dan ingot; sedangkan tembaga bekas dengan kemurnian lebih rendah diproses ulang dengan electroplating di dalam asam sulfat.[23]



Gambar 2.23 Chuquibambilla di Chile adalah salah satu penambangan tembaga terbuka terbesar di dunia.



Gambar 2.24 Tren produksi dunia dan ingot

Penggunaan tembaga terbesar adalah untuk kabel listrik (60%), atap dan perpipaan (20%) dan mesin industri (15%). Tembaga biasanya digunakan dalam bentuk logam murni, tapi ketika dibutuhkan tingkat kekerasan lebih tinggi maka biasanya dicampur dengan elemen lain untuk membentuk aloi.[10] Sebagian kecil tembaga juga digunakan sebagai suplemen nutrisi dan fungisida dalam pertanian. Meski bersaing dengan material lainnya, tembaga tetap dipilih sebagai konduktor listrik utama di hampir semua kategori kawat listrik kecuali di bagian transmisi tenaga listrik dimana aluminium lebih dipilih.[26][27] Kawat tembaga digunakan untuk pembangkit listrik, transmisi tenaga, distribusi tenaga, telekomunikasi, sirkuit elektronik, dan berbagai macam peralatan listrik lainnya.[28] Kawat listrik adalah pasar paling penting bagi industri tembaga.[29] Hal ini termasuk kabel pada gedung, kabel telekomunikasi, kabel distribusi tenaga, kabel otomotif, kabel magnet, dsb. Setengah dari jumlah tembaga yang ditambang digunakan untuk membuat kabel listrik dan kabel konduktor.[30] Banyak alat listrik menggunakan kawat tembaga karena memiliki konduktivitas listrik tinggi, tahan korosi, ekspansi termal rendah, konduktivitas termal tinggi, dapat disolder, dan mudah dipasang.

Ada tiga kemungkinan cara timah hitam dan timah putih menemukan tempatnya di kisi tembaga , yaitu :

a . Mengganti atom tembaga dalam kisi fcc

Di sini komposisi Sn kurang dari 11 % dan pada kondisi kesetimbangan, fase padat yang terbentuk adalah fase alfa fcc dimana atom Sn menempati kisi di tempat atom tembaga. Sehingga menghasilkan satu-fasa larutan padat timah putih ditembaga, yang mengakibatkan paduan tembaga mengalami kenaikan kekuatan dan mempertahankan keuletan yang tinggi .

b. Bergabung dengan tembaga dan membentuk fase, dimana terbentuk struktur Kristal yang berbeda dari kristal fcc tembaga. Di sini komposisi Sn lebih dari 11 % serta fase baru muncul yang diselingi oleh seluruh kristal alfa fcc yaitu fase delta. Fase delta membuat paduan tembaga menjadi lebih keras dan kuat juga meningkatkan ketahanan aus material, akan tetapi mengurangi keuletan.

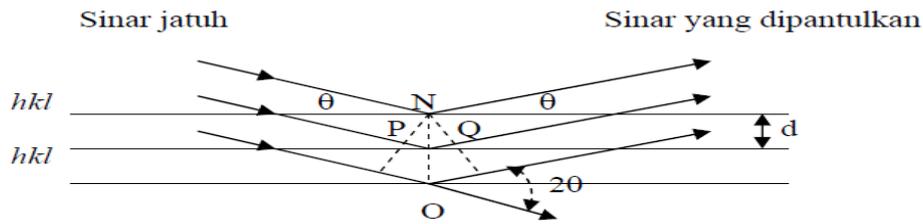
c. Tidak bergabung memperkuat kisi tembaga , akan tetapi terperangkap dalam paduan kristal saat membeku.

Di sini timah hitam (Pb) sama sekali tidak dapat bergabung dalam kisi tembaga, akan tetapi membuat bushing menjadi lebih baik (William C. 2010).

Dengan demikian, bushing yang terbuat dari paduan ini mempunyai sifat penting yaitu mampu mesin yang baik dan mempunyai daya lumas pada suhu tinggi sehingga dapat menjadi pelumas cadangan bagi mesin.

2.8 X-Ray Diffraction (XRD)

Struktur kristal (jarak antar kristal dan jarak antar atom) dari suatu sampel Kristal tunggal biasanya ditentukan dengan difraksi sinar – x. Pada gambar 2.8, menunjukkan suatu berkas sinar – X dengan panjang gelombang λ jatuh pada sudut θ pada sekumpulan bidang kristal berjarak d ,



Gambar 2,25. Difraksi bidang kristal (Sears Zemanscy, Fisika Dasar)

Sinar yang dipantulkan dengan sudut θ hanya dapat terlihat jika berkas dari setiap bidang yang berdekatan saling menguatkan. Oleh sebab itu, jarak tambahan satu berkas diabaikan dari setiap bidang yang berdekatan dan menempuh jarak sesuai dengan perbedaan kisi, yaitu sama dengan panjang gelombang $n \lambda$. Sebagai contoh, berkas kedua yang ditunjukkan pada gambar 2.8, menempuh jarak lebih jauh dari berkas pertama, yaitu $PO + OQ$. Syarat pemantulan dan saling

menguatkan dinyatakan dengan hukum Bragg dan sudut kritis θ dikenal dengan sudut Bragg (Smallman, R.E., 1991; Pecahrsky, V, K, et. al., 2005)

$$n \lambda = PO + OQ = 2 ON \sin \theta = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots (2.5)$$

Arah berkas sinar yang dipantulkan sepenuhnya tergantung oleh geometri kisi, dimana sebaliknya geometri kisi diatur oleh orientasi dan jarak antara bidang – bidang kristal. Jika untuk suatu kristal kubus simetri, diberikan ukuran struktur sel a , sudut – sudut dimana berkas sinar didifraksikan oleh bidang – bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan mudah dari rumus jarak antar bidang (Smallman, R.E., 1991),

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk memastikan bahwa hukum Bragg dapat terpenuhi dan pemantulan dari berbagai bidang kristal dapat terjadi, maka penting untuk memberikan batas ambang pada harga θ atau λ . Berbagai cara dimana hal tersebut mengawali metode standar difraksi sinar-X yang dinamakan dengan metode Laue, metode perputaran kristal dan metode serbuk.