

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tembaga

Dalam produksi dan konsumsi, tembaga dan paduan menjadi salah satu kelompok logam komersial yang sering digunakan selain baja / besi, dan aluminium. Tembaga banyak digunakan karena konduktivitas termal dan listrik yang baik, ketahanan korosi yang luar biasa, kemudahan fabrikasi, ketahanan lelah dan kekuatan yang baik. Mereka umumnya nonmagnetik. Mereka dapat dengan mudah disolder dan di brazing, dan banyak tembaga dan paduan tembaga dapat dilas dengan berbagai metode gas, busur, dan resistansi. Paduan standar yang memiliki warna tertentu sudah tersedia untuk bagian dekoratif. Paduan tembaga dapat dipoles dan digosok hingga hampir semua tekstur dan kilau yang diinginkan. Mereka dapat dilapisi, dilapisi dengan bahan organik, atau diwarnai secara kimiawi untuk lebih memperluas variasi hasil akhir yang tersedia (Davis, 2001).

Tembaga adalah logam lunak yang berwarna coklat *orange* yang membuatnya populer sebagai logam pelapis yang bersifat dekoratif. Tembaga mempunyai sifat penghantar listrik dan panas yang baik dengan titik didih 1085°C. Pada titik didih tersebut tembaga sering dipilih sebagai bahan yang cocok untuk pembuatan kabel listrik, dan juga tembaga dapat disambungkan sehingga cocok untuk pembuatan pipa untuk *heating systems*. Tembaga termasuk pada logam yang jarang ditemui di alam, hanya sekitar 0,1% yang dapat ditemukan di kerak bumi (Richard, 2001). Tembaga dan paduannya serin sekali digunakan pada banyak aplikasi industri, seperti pada bidang kelautan, energi, transportasi dan lain-lain. Tembaga murni

dapat digunakan untuk keperluan yang sangat luas, seperti kontak listrik, kabel dan kawat, dan berbagai macam aplikasi lain yang sering kita temukan untuk mengalirkan arus listrik. Tembaga dan kuningan, perunggu, dan cupronickels tertentu digunakan secara luas untuk radiator mobil, penukar panas, sistem pemanas rumah, panel untuk menyerap energi matahari, dan berbagai aplikasi lain yang memerlukan konduksi cepat panas melintasi atau di sepanjang bagian logam. Karena kemampuannya yang luar biasa untuk menahan korosi, tembaga, kuningan, beberapa perunggu, dan cupronickels digunakan untuk pipa, katup, dan alat kelengkapan dalam sistem yang membawa air minum, air proses, atau cairan berair lainnya.

Tabel 2.1 Nilai Konduktivitas Termal Logam dan Paduannya (Davis, 2001)

<i>Material</i>	<i>Thermal Conductivity (W/m.K)</i>
<i>Pure Copper</i>	398
C26000 (Cu – 30Zn)	121
<i>Pure Aluminium</i>	317,9
C51100 (Cu – 4,2Sn – 0,2P)	84
<i>Pure Magnesium</i>	155
<i>Pure Nickel</i>	82,9
<i>Pure Zinc</i>	113
<i>Pure Iron</i>	80,4
C71500 (Cu – 25Zn – 0,5Fe)	29
<i>Pure Tin</i>	62,8
C61300 (Cu - 6,8Al - 2,5Fe - 0,35Sn)	55

Seiring dengan kekuatan, ketahanan lelah, dan kemampuan untuk mendapatkan hasil akhir yang baik, kriteria pemilihan utama untuk paduan tembaga

dan tembaga adalah konduktivitas listrik, konduktivitas termal, tahan korosi, warna, kemudahan fabrikasi. Tembaga dan paduannya memiliki sifat konduktor panas yang baik, sehingga tembaga dan paduan dipilih untuk aplikasi perpindahan panas, seperti radiator penukar panas. Menurut Wiedmann-Franz, perubahan konduktivitas termal mengikuti konduktivitas listrik dan suhu. Tabel 2.1 membandingkan konduktivitas termal dari berbagai logam dan paduan. (Davis, 2001).

Dari semua limbah elektronik yang mengandung tembaga, kabel listrik merupakan media yang baik untuk menghantarkan arus listrik. Limbah elektronik seperti kabel mempunyai kandungan tembaga yang cukup besar yang dapat diolah kembali. Pada Tabel 2.2 merupakan hasil uji kadar pada kabel peralatan listrik.

Tabel 2.2 Hasil Uji Unsur Kimia Konduktor Pada Kabel Peralatan Listrik Rumah Tangga (Ali, 2019).

No.	Cu (%)	Ag (%)	Fe (%)	Zn (%)	Pb (%)	Zr (%)
1.	86,64	0,00034	0,04	0,0054	0,031407	0,005434
2.	96,32	0,000535	0,01	0,000423	0,0022	0,000914
3.	86,37	0,001576	0,34	0,000945	0,003428	0,000523

2.2. Alumunium

Alumunium adalah logam yang ringan dibanding dengan tembaga dan penting untuk kehidupan manusia karena aluminium banyak sekali digunakan di banyak aplikasi kehidupan. Alumunium merupakan unsur kimia dengan golongan IIIA

dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 16,98 gram/mol. Pada udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (Surdia, 2006).

Secara umum, penambahan logam paduan pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan nilai kuat tarik dan kekerasan dan dapat menurunkan titik lebur, tetapi jika kadar konsentrasinya melebihi tingkat tertentu, dapat meningkatkan titik lebur dan dapat meningkatkan kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, kristal atau granula dalam logam. Tetapi kekuatan pada aluminium tidak bergantung hanya pada konsentrasi dari logam paduannya saja, tetapi bisa juga pada proses perlakuannya sehingga aluminium siap digunakan, apakah dengan perlakuan panas, penyimpanan, dengan penempaan, dan sebagainya (Hartomo, 1992).

Aluminium murni dan aluminium paduan memiliki sifat yang dapat dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan pada bahan tersebut, hal tersebut karena fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida pada permukaan logam setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida tersebut dapat mencegah terjadinya oksidasi, tetapi pasivasi bisa terjadi secara lambat jika dipadukan dengan logam yang memiliki sifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Sifat-sifat aluminium adalah sebagai berikut :

a) *Formability*

Proses pengerjaan Aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan

logam/material lainnya dengan pengelasan, *brazing*, solder, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

b) Nilai Kuat Tarik

Kekuatan tarik yang dimiliki aluminium murni memiliki sangat rendah, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan.

c) Nilai Modulus Elastisitas

Aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih baik dari besi dan baja tetapi modulus elastisitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan baja maupun besi, aluminium lebih baik. Aluminium memiliki titik lebur yang rendah, hal ini membuat produk-produk dari aluminium akan mudah dibentuk.

d) *Recyclability*

Aluminium adalah 100% bahan yang didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.

e) *Ductility*

Paduan aluminium memiliki *ductility* yang bervariasi karena tergantung dari konsentrasi paduannya, namun pada umumnya memiliki *ductility* yang lebih rendah dari pada aluminium murni.

f) Nilai Kekuatan

Berat yang dimiliki aluminium lebih ringan dari baja, yaitu sekitar 1/3 beratnya. Aluminium sering digunakan pada aplikasi industri. Aluminium mempunyai

sifat yang kuat jika dipadukan dengan logam lain, dan dapat digunakan sebagai komponen yang memerlukan kekuatan yang tinggi seperti pada pesawat terbang, bejana tekan, kapal laut, dan lain-lain.

g) *Reflectivity*

Aluminium adalah reflektor yang baik dari cahaya serta panas, dan dengan bobot yang ringan, membuatnya ideal untuk bahan reflektor.

h) Tahan terhadap korosi

Aluminium memiliki sifat *durable*, sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia.

2.3. Mangan (Mn)

Batu Mangan adalah sumber daya alam yang sangat melimpah di Indonesia, akan tetapi pemanfaatannya belum optimal. Salah satu aplikasi mangan yaitu digunakan dalam paduan terhadap kualitas baling-baling khususnya sifat mekanis dan strukturmikro (Setyadi, 2015). Deposit mineral mangan dapat terjadi dalam beberapa tipe, contohnya hidrotermal, metamorfosa, laterit, sedimenter dan residu. Mangan termasuk unsur terbesar yang terdapat dalam kerak bumi. Bijih mangan utama adalah pirolusit dan psilomelan, mangan mempunyai warna metalik sampai submetalik. Batu mangan mempunyai beragam kegunaan yaitu sebagai campuran membuat baterai, bahan pembuatan ferro mangan, campuran pembuatan besi baja, dan lain-lain. Mangan termasuk golongan transisi yang merupakan logam berwarna putih abu-abu, memiliki titik lebur sekitar 1250°C. Mangan banyak kegunaannya

dalam kehidupan sehari-hari, contohnya dalam tubuh mangan merupakan unsur yang penting dalam untuk penggunaan vitamin B1, dalam produksi baja mangan digunakan dalam campuran besi mangan yaitu ferromangan, pada produksi baja mangan berfungsi pada pemurnian besi melalui reaksi dengan belerang dan oksigen, membenentuk kerak. Mangan juga digunakan untuk membentuk banyak *alloy* yang penting, dengan bismuth dan aluminum, khususnya dengan tembaga membentuk *alloy* yang bersifat *ferro magnetic* (Panjaitan, 2011).

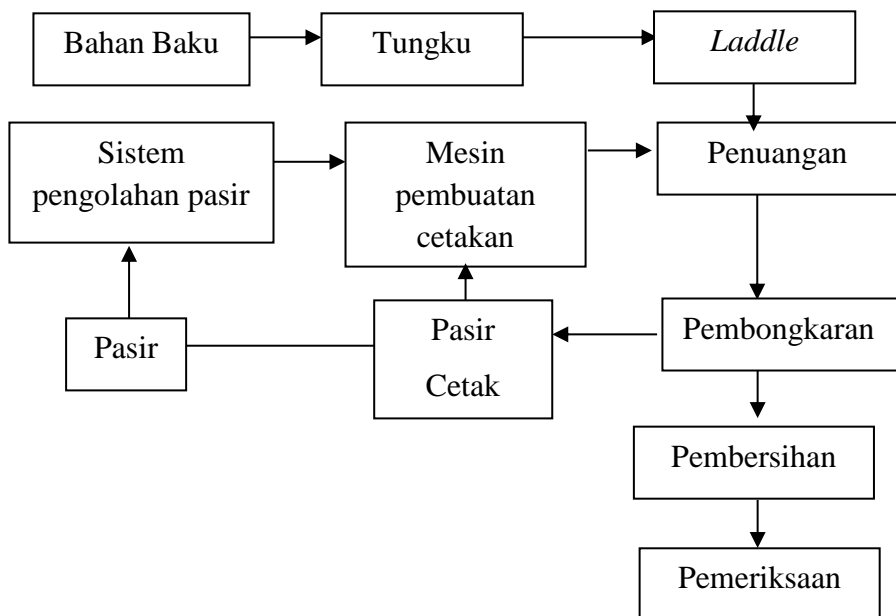
2.4. Pengecoran

Pengecoran merupakan proses pembentukan logam melalui fasa cair menggunakan cetakan. Pengertian lain dari pengecoran adalah menuangkan lelehan cairan logam ke dalam cetakan berongga lalu didinginkan dan membeku. Penggunaan logam diawali oleh ketika orang membuat perhiasan dari perak ataupun emas, dan kemudian membuat senjata atau mata bajak dari tembaga tempa. Lalu kemudian ditemukan bahwa logam dapat mencair sehingga mengetahui cara untuk menuang logam cair ke dalam cetakan dan akhirnya dapat digunakan untuk keperluan hidup sehari-hari seperti perabotan rumah, perhiasan dan sebagainya.

Untuk membuat coran harus dilakukan proses-proses seperti: pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar dan membersihkan coran. Cara untuk mencairkan logam memiliki berbagai tanur yang dapat digunakan, umumnya kupola dan tanur industri frekuensi rendah yang digunakan untuk besi cor, tanur frekuensi tinggi atau tanur busur listrik untuk digunakan pada baja cor dan tanur

krus untuk paduan tembaga atau coran paduan ringan, karena tanur-tanur tersebut dapat menghasilkan logam cair yang baik dan dengan harga yang ekonomis.

Adapun proses pengecoran meliputi pembuatan cetakan, proses peleburan logam, penuangan logam cair kedalam cetakan, dan pembersihan coran serta daur ulang pasir cetak. Produk coran disebut benda cor. Aliran proses pengecoran dapat digambarkan dalam bentuk skema seperti berikut:



Gambar 2.1 Aliran Proses Pembuatan Coran (Surdia, 1976)

Cetakan biasanya terbuat dari pasir yang dipadatkan. Pasir yang digunakan terdapat pada pasir alam ataupun pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir sangat mudah dibuat dan murah jika pasir yang digunakan cocok. Bisa juga dicampur dengan pengikat khusus seperti air-kaca, resin, semen, resin fenol atau minyak pengering, resin furan, karena menggunakan zat-zat tambahan tersebut dapat memuat cetakan pasir menjadi lebih kuat, tentu saja dengan

penambahan zat-zat tersebut juga membuat pengeluaran semakin mahal, sehingga harus memilih dan mempertimbangkan bahan, bentuk dan jumlah produk.

Selain dari cetakan pasir, bisa juga menggunakan cetakan logam. Pada penuangan, logam cair mengalir dari pintu cetakan, maka dari itu bentuk dari pintu cetakan dibuat sedemikian rupa agar tidak mengganggu dari aliran logam cair tersebut. Pada umumnya, aliran logam cair dipengaruhi oleh gaya berat, walaupun kadang-kadang dipergunakan tekanan pada logam cair selama atau setelah penuangan. Di bawah ini akan dijelaskan macam-macam dari pengecoran, yaitu sebagai berikut :

1. Pengecoran cetak merupakan salah satu metode pengecoran dimana logam cair ditekan ke dalam cetakan logam dengan tekanan tinggi, coran tipis dapat dibuat dengan cara ini.
2. Pengecoran tekanan rendah adalah salah satu cara pengecoran dimana diberikan tekanan yang sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer pada permukaan logam dalam tanur, tekanan ini mengakibatkan mengalirnya logam cair ke atas melalui pipa ke dalam cetakan.
3. Pengecoran sentrifugal adalah salah satu cara pengecoran dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku. Coran berbentuk pipa dapat dibuat dengan jalan tersebut.

Setelah penuangan, coran dikeluarkan dari cetakan dan dibersihkan, bagian-bagian bagian-bagian yang tidak perlu dibuang dari coran. Kemudian coran diselesaikan dan dibersihkan dengan disemprot mimi atau semacamnya agar

memberikan rupa dan kerusakan, dan akhirnya dilakukan pemeriksaan dimensi. Mudah tidaknya pembuatan coran tergantung pada bentuk dan ukuran benda coran. Oleh karena itu, untuk membuat suatu coran yang baik, perencana dan pembuat coran harus mengerti mengenai pengecoran. Bahan-bahan untuk pengecoran yang biasa digunakan yaitu coran besi cor, coran baja, coran paduan tembaga, coran logam ringan, dan coran paduan lain.



Gambar 2.2 Proses Pengecoran (Sudjana, 2008)

2.5. Mekanisme Penguatan pada Material Logam

Mekanisme penguatan pada logam adalah hubungan antara sifat mekanik dan pergerakan dislokasi pada logam. Kemampuan dari material logam bisa diubah

secara plastis tetapi tergantung dari kemampuan dislokasi untuk dapat bergerak. Dengan cara mengurangi pergerakan dislokasi, dapat meningkatkan kekuatan mekanik, hal itu disebabkan energi mekanik yang dibutuhkan untuk membuat deformasi plastis akan membesar, begitupun sebaliknya, jika tidak ada yang menahan pergerakan dislokasi logam akan semakin mudah untuk terdeformasi. Mekanisme penguatan logam banyak caranya, yaitu dengan pengerasan regang, penguatan presipitasi, penguatan larutan padat, dan penguatan batas butir (Norman, 2010).

Penghalusan butir adalah salah satu cara yang terbaik bagi penguatan dengan menghalangi pergerakan dislokasi di area sekitar batas butir, karena dengan mengecilnya ukuran butir, akan meningkatkan batas butir per unit volume dan mengurangi garis sebar bebas dari dislokasi.

2.6. Inokulan

Ada aplikasi komersial yang luas dari perawatan paduan cor yang memodifikasi karakteristik pematangan awal untuk menyediakan sarana untuk kontrol yang efektif dari ukuran butir dan morfologi. Sejumlah metode tersedia untuk mengontrol ukuran butir, termasuk pengadukan elektromagnetik atau mekanis, kavitasi ultrasonik, dan aliran fluida terarah. Namun, inokulasi tampaknya memberikan hasil yang paling konsisten dan merupakan pendekatan yang paling ekonomis (ASM Handbook Vol.15, 1988). Inokulasi adalah penambahan unsur-unsur tertentu (inokulan) pada logam cair dengan tujuan untuk membentuk inti-inti pada proses rekristalisasi, tujuan utama inokulasi adalah untuk meningkatkan

jumlah inti-inti grafit bulat sebanyak-banyaknya, disamping itu untuk mencegah terbentuknya karbida-karbida besi yang tidak diinginkan (Basuki, 1986). Atau menurut sumber lain, inokulasi Secara umum proses ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah inti pembekuan sehingga dengan demikian akan meningkatkan pula jumlah grafit eutektik, mengurangi “*under cooling*” serta menurunkan tendensi terbentuknya struktur pembekuan putih (ledeburit). Ada 2 cara metode inokulasi, yaitu (Wiwekananda, 2020) :

1) Metode ladle inokulasi

Cara ini adalah dengan memasukkan inokulan ke dalam *ladle*. Kelemahan dari metode ini adalah penurunan suhu cukup besar saat melakukan proses *tapping* (*furnace to ladle*).

2) Metode late inokulasi

Metode ini dilakukan dengan cara penambahan inokulan sesaat sebelum logam cair dituang ke dalam cetakan (*ladle to mold*). Kelemahan pada metode ini adalah tidak akan meratanya proses inokulasi yang terjadi sehingga kemungkinan kegagalan proses cukup besar.

Perlakuan inokulasi yang efektif biasanya menghasilkan morfologi butir *equiaxed* dengan ukuran butir minimum dalam kisaran 100 hingga 150 μm . Dalam praktik komersial, inokulan digunakan sebagai tambahan pada banyak paduan cair untuk menghasilkan ukuran butir halus. Dalam besi tuang, ferosilikon ditambahkan ke grafit nukleat; zirkonium atau karbon dapat ditambahkan ke paduan magnesium; besi, kobalt, atau zirkonium ditambahkan ke paduan berbasis tembaga; fosfor diperkenalkan ke paduan aluminium-silikon untuk memperbaiki ukuran fase

silikon; arsenik atau telurium dapat ditambahkan ke paduan timbal; dan titanium ditambahkan ke sistem berbasis seng. Aditif lain, seperti natrium dalam paduan aluminium-silikon, digunakan untuk memodifikasi morfologi pertumbuhan. Selain itu, ada banyak pengalaman dalam penyempurnaan butir paduan berbasis aluminium dengan penambahan aluminium-titanium, aluminium-titanium-boron, dan aluminium-titanium-karbon meleleh (ASM Handbook vol.15, 1988).

2.7. Paduan Tembaga

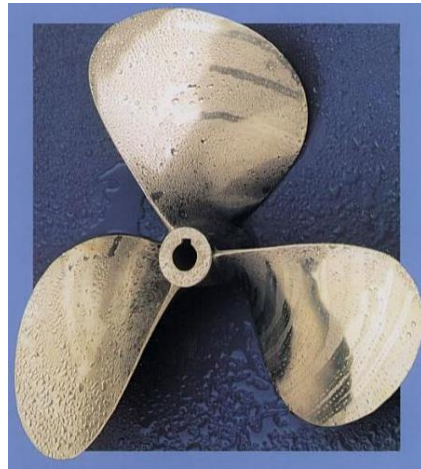
Paduan tembaga atau *copper alloy* adalah logam yang memiliki kandungan tembaga di bawah 94% tetapi tidak lebih rendah dari 50%. salah satu contoh dari paduan tembaga yaitu penambahan 1% Sn dan 28% Zn yang disebut material C44200 dimana material ini telah dikembangkan oleh British Admiralty, material tersebut digunakan pada pembuatan produk pelat, kabel, dan pipa. Tembaga murni dapat menahan serangan korosi cukup baik di bawah kondisi yang paling korosif. Namun, beberapa paduan tembaga memiliki kegunaan terbatas di lingkungan tertentu dikarena serangan *hidrogen embrittlement* atau *stress corrosion cracking* (SCC). Paduan tembaga dibagi atas 9 (Sembilan) kelompok dengan metode *Unified Numbering System* (UNS). Setiap metode dilakukan dengan penomoran 5 deret angka yang diawali dengan huruf C. Untuk paduan logam yang digunakan proses penempaan digunakan nomor C1xxxx sampai C7xxxx. Untuk paduan pengecoran ditandai dengan C8xxxx sampai C9xxxx (Davis, 2001).

Tembaga dan paduan sering sekali digunakan pada banyak aplikasi industri seperti dalam bidang energi, kelautan, transportasi dan lain-lain (Shaik, 2019).

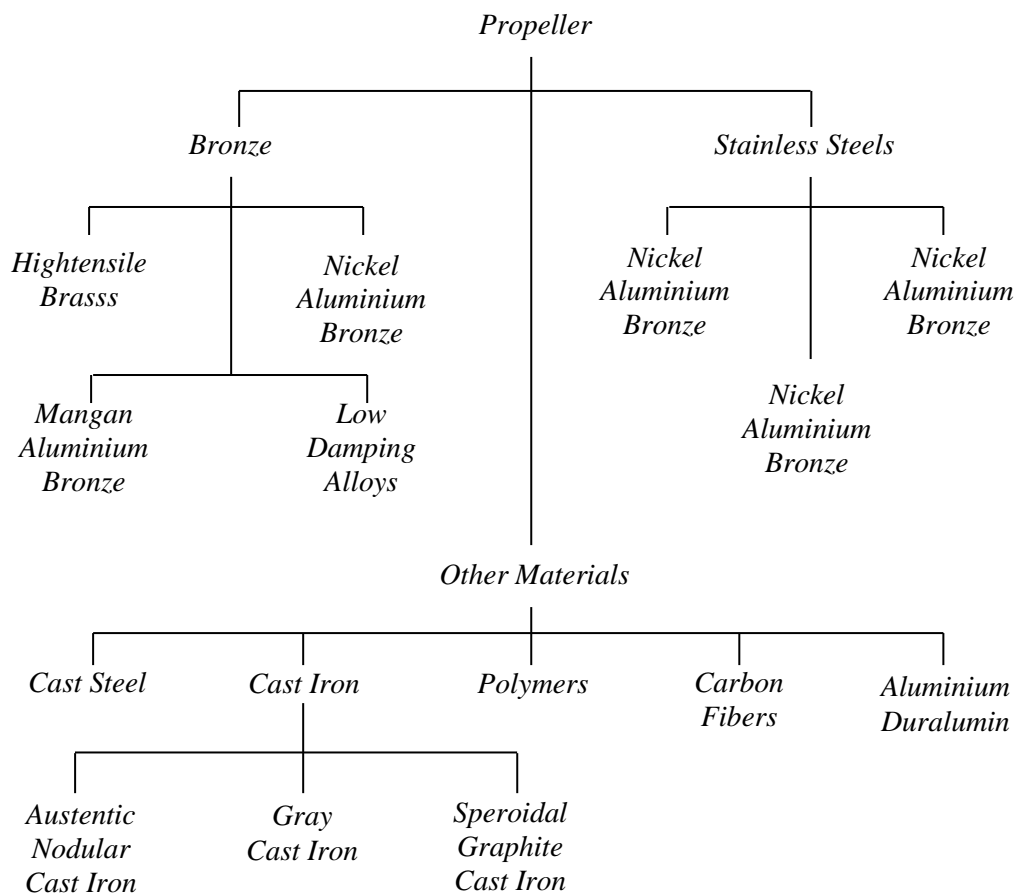
Paduan tembaga sering digunakan karena konduktivitas listrik dan termal yang baik dan kekuatan, keuletan, dan ketahanan korosi yang baik. Selain itu, tembaga paduan mudah dibuat, ia dapat diproduksi menjadi produk komersial dengan semua teknik tempa, pengecoran, dan metalurgi serbuk. Pada pembuatan produk tempa, tembaga dan paduan dapat dikerjakan dengan semua pemrosesan panas dan dingin yang umum seperti *billet and rod casting, hotworking, extruding, rolling, drawing*, dan *swaging*. Pada pembuatan produk, tembaga dan paduan mudah dilakukan *old formed, upset, wire drawn, bent, stamped, machined, crimped*, dan *coined*. Tembaga dapat dilapisi dengan hampir semua bahan pelapis, emas, timah, nikel, dan perak. Tembaga dan paduan juga memiliki keuletan untuk menahan sebuah proses sampai pengurangan ketebalan yang cukup besar, sehingga cocok digunakan untuk pengukur foil dan kawat tipis, selain itu, tembaga dan paduan bisa digabungkan secara metalurgi dengan pengelasan dan penyolderan (Caron, 2017).

2.8. Baling-baling

Baling-baling (*Propeller*) merupakan salah satu komponen penting dalam kapal laut karena baling-baling adalah alat untuk menghasilkan gaya dorong pada sebuah kapal laut, baling-baling diputar dengan poros yang digerakan oleh penggerak utama dengan sebuah mesin. Sebelum baling-baling ditemukan, kapal laut digerakan dengan hembusan angin atau dengan dayung, karena hal tersebut membuat kecepatan kapal laut ditentukan oleh alam yang tidak dapat diatur (Hendrawan, 2019). Baling-baling pertama ditemukan oleh Hooke pada tahun 1681 (Carlton, 2012).



Gambar 2.3 *Propeller* (Gerr, 1989)



Gambar 2.4 *Material Propeller* (Carlton, 2012).

Material dari baling-baling untuk saat ini sebagian besar dapat digolongkan dari tembaga atau baja tahan karat, bahan dari besi tuang yang dulunya populer namun pada saat ini hampir menghilang. Sifat-sifat yang diperlukan dari material baling-baling akan sangat bergantung pada tugas dan kondisi kapal. Namun, beberapa sifat yang paling diinginkan yang harus dimiliki adalah ketahanan korosi yang baik, ketahanan terhadap erosi kavitasi, karakteristik *casting* yang baik, dan memiliki nilai kekuatan terhadap berat yang tinggi (Carlton, 2012), berikut adalah spesifikasi dari *Propeller* dari paduan tembaga :

Tabel 2.3. Standar Spesifikasi *Marine Nickel Alumunum Bronze Propeller* (Ali, 2019)

Sifat Mekanik	Nilai
<i>Modulus Elasticity</i>	1.05 x 10 ⁶ kgf/mm ²
<i>Tensile Strength</i>	66 – 71 kgf/mm ²
<i>%Elongation</i>	25
<i>Brinell Hardness</i>	160 – 190
<i>Specific Gravity</i>	7.6
<i>0.15% Proof Stress</i>	27.5