

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Baling-Baling (*Propeller*)



Gambar 2.1 Baling-Baling (*Propeller*)  
(Logistik, 2021)

Baling-baling berfungsi sebagai komponen penggerak pada kapal, dengan salah satu jenis yang paling umum adalah baling-baling ulir. Baling-baling ini terdiri dari dua atau lebih bilah yang menjulur dari poros pusat atau bos. Bilah baling-baling dapat di cor menyatu secara permanen dengan poros pusat atau dirancang sebagai komponen yang dapat dilepas dan dipasang kembali ke poros pusat, dan dibuat dalam bentuk baling-baling dengan *pitch* yang dapat dikontrol (*controllable pitch propeller*) (Hendrawan, 2020).

Baling-baling memiliki bentuk yang menyerupai kipas angin, terdiri dari beberapa bilah yang terpasang pada poros pusat dan terhubung ke ujung poros yang berasal dari mesin utama kapal (*main engine*). Daya dorong yang dihasilkan oleh baling-baling berasal dari gaya angkat yang bekerja pada bilah Baling-baling saat

berputar di dalam air. Komponen ini harus dipasang serendah mungkin di buritan kapal (Utomo, 2012).

## 2.2 Karakteristik Baling-Baling (*Propeller*)

Baling-baling memiliki karakteristik yang mencakup kekuatan tinggi terhadap rasio beban dan ketahanan terhadap aus, serta ketahanan korosi yang baik (Hendrawan, 2020). Baling-baling kapal harus cukup kuat untuk menahan gaya yang bekerja secara terus-menerus, yang dapat menyebabkan retakan dan akhirnya menyebabkan kerusakan (Salam dkk., 2017). Selain itu, baling-baling harus memenuhi beberapa kriteria khusus, yaitu kemampuan untuk menghasilkan daya dorong serta memberikan kecepatan yang tinggi, tekanan rendah, dan menghasilkan aliran fluida yang lancar (Zakky Zain dkk., 2018)

## 2.3 Jenis-Jenis Baling-Baling (*Propeller*)

Baling-baling (*propeller*) kapal memiliki berbagai jenis, yaitu sebagai berikut:

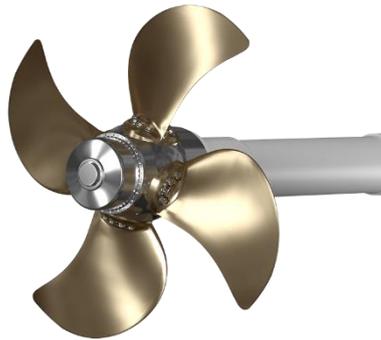
### 2.3.1 Baling-Baling Sudut Tetap (*Fixed Pitch Propeller*)



Gambar 2.2 *Fixed Pitch Propeller*  
(Expo, 2025)

Baling-baling dengan sudut tetap (*fixed pitch propeller*) atau baling-baling dengan langkah tetap umumnya digunakan pada kapal-kapal besar yang beroperasi pada putaran mesin (rpm) yang relatif rendah dan menghasilkan torsi yang tinggi.

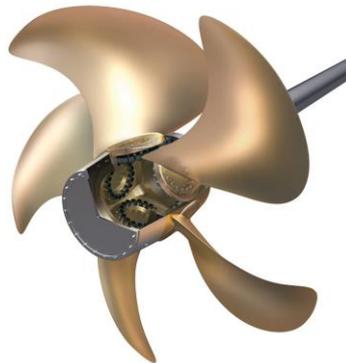
### 2.3.2 Controllable Pitch Propeller



Gambar 2.3 *Controllable Pitch Propellers*  
(Brunvoll, 2024)

Baling-baling dengan sudut yang dapat diubah merupakan jenis baling-baling kapal yang langkah daun propellernya dapat disesuaikan sesuai kebutuhan (Hendrawan, 2020). Jenis baling-baling ini lebih efisien dalam pengoperasiannya karena sudut bilah dapat diatur melalui sistem kontrol dari anjungan, baik saat kapal bergerak maju maupun mundur (Na'maikalatif, 2022).

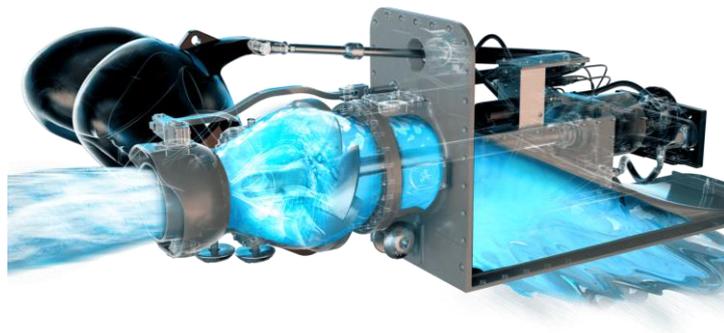
### 2.3.3 Adjustable Bolted Propeller



Gambar 2.4 *Adjustable Bolted Propeller*  
(Kongsberg, 2025)

Jenis ini merupakan pengembangan dari *fixed pitch propeller*, di mana daun baling-baling dapat diproduksi secara terpisah dan kemudian dipasang pada sumbu baling-baling menggunakan baut. Hal ini memungkinkan penyesuaian *pitch* pada nilai optimum yang diinginkan.

### 2.3.4 Waterjets

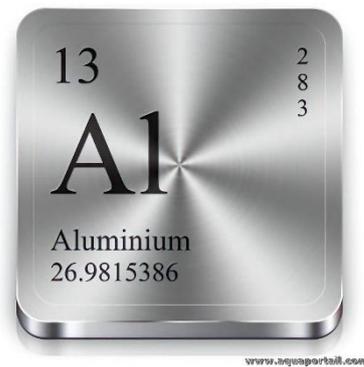


Gambar 2.5 *Waterjets*  
(Power, 2021)

Kapal ini menggunakan pompa yang menghisap air di bagian depan dan mendorongnya ke bagian belakang sehingga kapal bergerak maju berdasarkan prinsip momentum. Sistem propulsi ini lebih efisien untuk kapal dengan kecepatan

di atas 25 knot, dengan daya mesin berkisar antara 50 kW hingga 36 MW (Hendrawan, 2020).

## 2.4 Aluminium



Gambar 2.6 Aluminium  
(Aquaportail, 2025)

Aluminium merupakan unsur *non-ferrous* (logam bukan besi) yang paling melimpah di bumi. Aluminium mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, serta mudah dibentuk. Paduan Aluminium dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Aluminium *Wrought Alloy* (lembaran) dan Aluminium *Casting Alloy* (batang cor). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , densitas  $2,685 \text{ kg/m}^3$ , dan titik lebur  $660^\circ\text{C}$ . Aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Ketahanan korosi aluminium berasal dari pembentukan lapisan oksida aluminium pada permukaan logam. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, stabil dan tidak bereaksi dengan lingkungan sekitar, sehingga melindungi bagian dalam aluminium dari kerusakan korosi. Dengan sifat-sifat unggul ini, aluminium merupakan bahan yang sangat berharga dalam berbagai aplikasi industri dan konstruksi (Mariam dkk.,

2020). Terdapat berbagai jenis aluminium yang diklasifikasikan berdasarkan komposisi paduannya:

#### 2.4.1 Aluminium Murni



Gambar 2.7 Aluminium Murni  
(Parquet, 2020)

Jenis aluminium ini memiliki tingkat kemurnian berkisar antara 99,0% dan 99,9%. Menurut (Setia, 2023), Meskipun aluminium murni 100% tidak mengandung unsur lain selain aluminium itu sendiri, aluminium yang tersedia di pasaran umumnya tidak mencapai tingkat kemurnian ini, karena selalu mengandung kontaminan. Aluminium dalam kategori ini, yang dikenal sebagai seri 1xxx, mengandung lebih dari 99% aluminium dan terkenal karena sifat unggulnya dalam hal ketahanan korosi, konduktivitas termal, dan konduktivitas listrik. Namun, kelemahan aluminium murni adalah kekuatannya yang relatif rendah. Aplikasi aluminium murni meliputi peralatan kimia, reflektor, konduktor listrik, kapasitor, kertas pembungkus (aluminium foil), dan tujuan dekoratif. Terdapat berbagai jenis aluminium yang diklasifikasikan berdasarkan komposisi aloi-nya.

### 2.4.2 Aluminium *Copper Alloy* (seri 2xxx)



Gambar 2. 8 Aluminium *Copper Alloy*  
(Parquet, 2020)

Aluminium seri ini dapat menjalani *heat treatment*, terutama yang mengandung 2,5 hingga 5% Tembaga. Sifat mekanik paduan ini dapat mencapai tingkat yang setara dengan baja karbon rendah, namun, ketahanan korosinya relatif rendah dibandingkan dengan jenis paduan aluminium lainnya. Paduan ini sering digunakan dalam aplikasi konstruksi dan secara luas diterapkan dalam industri dirgantara, seperti pada super duralumin. Karena paduan ini mengandung tembaga, yang berkontribusi pada ketahanan korosinya yang buruk, diperlukan pelapisan permukaan dengan aluminium murni atau paduan aluminium lain yang memiliki ketahanan korosi yang lebih baik (Setia, 2023).

### 2.4.3 Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx)



Gambar 2.9 Aluminium *Manganese Alloy*  
(Parquet, 2020)

Salah satu unsur yang berfungsi untuk memperkuat aluminium adalah mangan (Mn), yang tidak mengurangi ketahanan terhadap korosi. Menurut (Irawan, 2023) penambahan sekitar 1,2% mangan dapat meningkatkan kekuatan aluminium murni sekaligus mempertahankan sifat tahan korosi dan kemampuan mesin yang setara dengan aluminium murni. Dari segi kekuatan, paduan ini menunjukkan peningkatan yang signifikan, mencapai 620% lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium murni. Penggunaan paduan ini meliputi aplikasi pada kaleng makanan, peralatan memasak, penukar panas, tangki penyimpanan, furnitur, serta rambu-rambu lalu lintas.

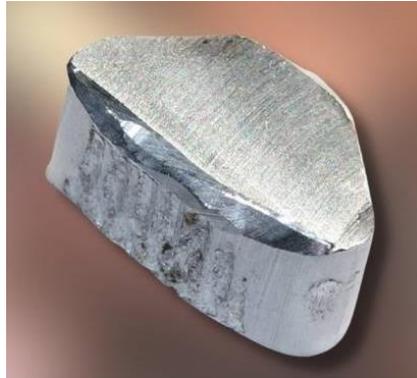
#### 2.4.4 Aluminium Silikon *Alloy* (seri 4xxx)



Gambar 2.10 Aluminium Silikon *Alloy*  
(Parquet, 2020)

Aluminium silikon adalah paduan aluminium yang memiliki likuiditas yang sangat baik, permukaan yang halus, serta tidak menunjukkan kegetasan panas, sehingga ideal untuk aplikasi pengecoran. Paduan dengan komposisi Al-12% Si biasanya dipadukan dengan 0,4-0,15% magnesium (Mg). Paduan Al-Si dikenal dengan ketahanan panas dan listrik yang baik, ketahanan korosi yang memadai, massa yang ringan, dan koefisien muai yang kecil. Berkat sifat-sifat unggul ini, paduan Al-Si banyak digunakan sebagai logam pengisi (*filler metal*) dalam proses pengelasan paduan aluminium, baik untuk paduan cor maupun paduan tempa. Paduan ini, terutama seri 4032, memiliki koefisien muai panas yang rendah dan ketahanan aus yang tinggi, sehingga sering digunakan sebagai bahan pembuatan piston (Sulardjaka, 2020).

#### 2.4.5 Aluminium Magnesium Alloy (seri 5xxx)



Gambar 2.11 Aluminium Magnesium Alloy  
(Parquet, 2020)

Paduan aluminium-magnesium (Al-Mg) yang mengandung 5% magnesium termasuk dalam kategori paduan yang tidak dapat mengalami perlakuan panas, namun memiliki sifat yang unggul dalam hal ketahanan terhadap korosi, terutama terhadap korosi yang disebabkan oleh air laut. Paduan Al-Mg banyak diaplikasikan tidak hanya pada konstruksi umum, tetapi juga pada pembuatan tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair, peralatan rumah tangga, struktur rangka kendaraan, dan industri perkapalan (Sulardjaka, 2020).

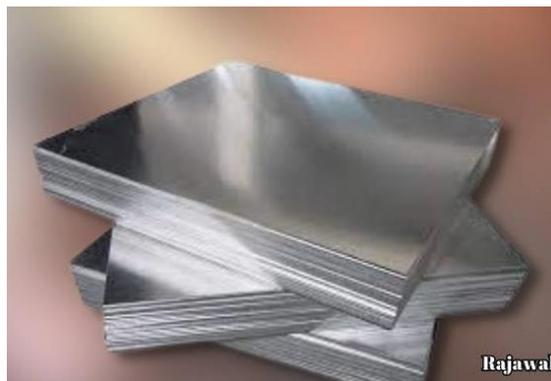
#### 2.4.6 Aluminium Magnesium Silikon Alloy (seri 6xxx)



Gambar 2.12 Aluminium Magnesium Silikon Alloy  
(Parquet, 2020)

Aluminium jenis ini memiliki komposisi yang terdiri dari Aluminium (Al) sebesar 94,4% hingga 98,2%, Magnesium (Mg) antara 0,8% hingga 1,2%, dan Silikon (Si) di kisaran 0,4% hingga 0,8%. Meskipun paduan ini memiliki kekuatan relatif yang lebih rendah dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya, namun proses penempaannya sangat baik. Paduan aluminium 6063 umumnya digunakan sebagai rangka konstruksi, karena memiliki kekuatan yang memadai dan juga berfungsi sebagai konduktor listrik yang baik. Namun, beberapa elemen harus dihindari dalam paduan ini, seperti tembaga (Cu), besi (Fe), dan mangan (Mn), karena dapat menghambat konduktivitas listrik. Selain itu, paduan aluminium 6xxx ini juga banyak digunakan pada aplikasi lain, seperti pada piston motor dan silinder pemanas pada mesin pembakaran (Sulardjaka, 2020).

#### 2.4.7 Aluminium Zink Alloy (seri 7xxx)

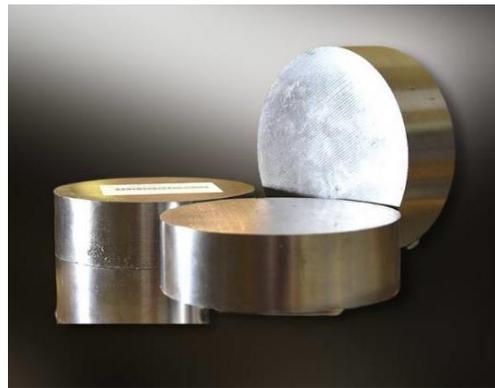


Gambar 2.13 Aluminium Zink Alloy  
(Parquet, 2020)

Aluminium zink adalah paduan yang terdiri dari 55% aluminium, 43,4% seng, dan 1,6% silikon. Paduan ini masuk ke dalam kategori yang dapat menjalani perlakuan panas. Biasanya, dalam paduan Al-Zn pokok, ditambahkan unsur-unsur

seperti magnesium (Mg), tembaga (Cu), dan kromium (Cr). Kekuatan tarik yang dapat dicapai oleh paduan ini melebihi  $50 \text{ kg/mm}^2$ , sehingga sering disebut sebagai ultra duralumin. Namun, meskipun memiliki kekuatan tarik yang tinggi, paduan ini kurang menguntungkan dalam hal kemampuan las dan ketahanan terhadap korosi. Dalam beberapa tahun terakhir, paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam aplikasi konstruksi las, karena menawarkan sifat mampu las dan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan paduan dasar Al-Zn (Sulardjaka, 2020).

#### 2.4.8 Aluminium Lithium Alloy (seri 8xxx)



Gambar 2.14 Aluminium Lithium Alloy (Parquet, 2020)

Paduan aluminium dan lithium yang mengandung 0,5% hingga 2,7% lithium termasuk dalam kategori paduan yang dapat menjalani perlakuan panas (*heat treatment*). Pada paduan ini, unsur timah sering ditambahkan sebagai paduan tambahan. Paduan Al-Li banyak digunakan dalam konstruksi pesawat terbang, terutama pada aplikasi yang membutuhkan toleransi tinggi terhadap kerusakan. Sifat-sifat unggul paduan ini, seperti kekuatan tinggi dan massa yang ringan, menjadikannya pilihan ideal untuk industri penerbangan (Sulardjaka, 2020).

## 2.5 Kuningan



Gambar 2.15 Kuningan  
(Copperleluhur, 2021)

Kuningan adalah paduan logam yang terdiri dari tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan kandungan tembaga berkisar antara 55% hingga 95% berdasarkan massa. Logam kuningan dapat diperoleh melalui proses pengecoran, yang merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam industri logam kecil maupun besar. Pemanfaatan logam kuningan dalam industri sangat menguntungkan, terutama karena sifat ketahanan korosinya yang baik. Meskipun demikian, kuningan juga memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah biaya perawatan yang tinggi. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam pengaplikasian dan penggunaan logam kuningan diberbagai industri (Pradana & Widyartono, 2020).

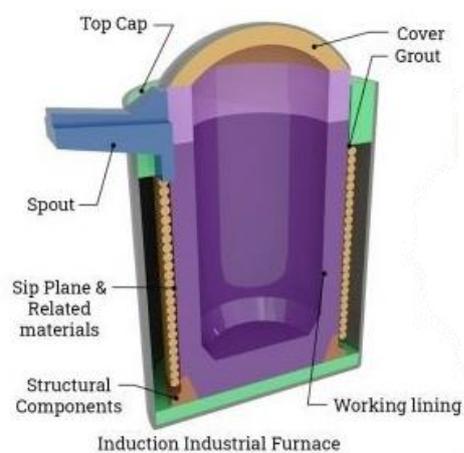
## 2.6 Tungku



Gambar 2.16 Tungku  
(Furnace, 2021)

Tungku atau *furnace* adalah alat yang digunakan untuk melelehkan logam dalam proses pembuatan bagian mesin (*casting*) atau untuk memanaskan bahan guna mengubah bentuk dan sifat mekanik material melalui perlakuan panas. Berdasarkan metode pembangkitan panas, tungku secara umum dibagi menjadi 3 jenis, tungku pembakaran yang menggunakan bahan bakar fosil, tungku gas dan tungku listrik (Pudin dkk., 2020).

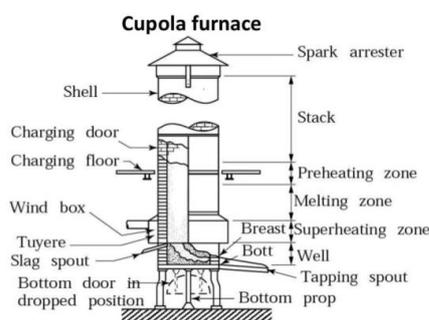
### 2.6.1 Tungku Listrik



Induction Industrial Furnace  
Gambar 2.17 Tungku Listrik  
(Kythuatldc, 2023)

Tungku listrik merupakan jenis tungku yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga mencapai titik leburnya. Proses pemanasan ini dilakukan melalui medium konduktif, yang umumnya berupa logam. Frekuensi operasi *furnace* listrik bervariasi, berkisar antara 60 Hz hingga 400 kHz, dan bahkan dapat melebihi angka tersebut, tergantung pada jenis material yang akan dicairkan, kapasitas tungku, serta kecepatan pencairan yang diinginkan. *Furnace* listrik banyak diterapkan dalam proses peleburan modern karena dianggap lebih bersih dibandingkan dengan metode peleburan yang menggunakan tungku *reverberatory* atau kupola. Kapasitas tungku ini bervariasi, mulai dari satu kilogram hingga seratus ton, dan dapat digunakan untuk melebur berbagai jenis logam, termasuk besi, baja, tembaga, dan aluminium. Keunggulan penggunaan *furnace* listrik meliputi proses peleburan yang bersih tanpa kontaminasi dari sumber panas, efisiensi energi yang tinggi, serta kemampuan untuk mengontrol proses peleburan dengan baik (Rahmat, 2015).

### 2.6.2 Tungku Kupola



Gambar 2.18 Tungku Kupola  
(Metalurgi, 2020)

Kupola adalah tungku berbentuk silinder vertikal yang memiliki kapasitas besar. Tungku ini diisi dengan material pengisi, yang terdiri dari besi, kokas, *flux* atau batu kapur, serta elemen paduan yang diperlukan. Sumber energi panas dalam tungku ini berasal dari kokas dan gas, yang berfungsi untuk meningkatkan temperatur pembakaran. Hasil peleburan dari tungku kupola ini akan di *tapping* secara periodik untuk mengeluarkan besi cor yang telah mencair (Endrawan, Tito, 2023).

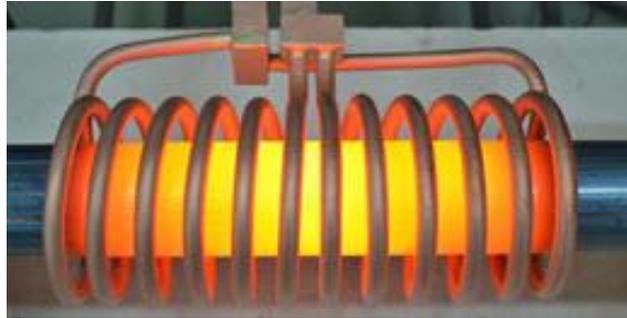
### 2.6.3 Tungku Besalen



Gambar 2.19 Tungku Besalen  
(Muzhaffar, 2019)

Tungku besalen adalah jenis tungku yang telah digunakan selama ratusan tahun, terutama pada awal perkembangan industri pengecoran logam. Tungku ini memiliki bentuk pipa yang terbuat dari batu bata dan dilapisi dengan tanah tahan api. Bahan bakar yang digunakan dalam tanur besalen adalah kayu arang, yang dihembuskan dengan bantuan blower. Sementara itu, tungku memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan tungku besalen. Tanur ini juga menggunakan bahan bakar kayu, namun blower yang digunakan dioperasikan dengan tenaga diesel (Endrawan, Tito, 2023).

## 2.7 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)



Gambar 2.20 Perlakuan Panas  
(Induction, 2022)

Perlakuan panas merupakan suatu proses yang melibatkan kombinasi antara pemanasan dan pendinginan logam atau paduannya dalam keadaan padat, dengan tujuan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Kecepatan pendinginan dan batas temperatur yang diterapkan sangat berpengaruh terhadap hasil akhir. Struktur mikro yang terbentuk setelah proses perlakuan panas akan memengaruhi sifat-sifat material yang dihasilkan. Selain itu, pembentukan struktur mikro ini dipengaruhi oleh komposisi kimia material, serta proses perlakuan panas yang dijalani dan kondisi awal material tersebut (Saktisahdan, 2019).

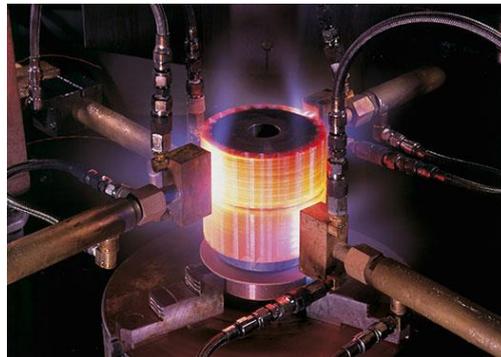
### 2.7.1 Annealing



Gambar 2.21 *Annealing*  
(Indiamart, 2018)

*Annealing* merupakan suatu proses perlakuan panas yang diterapkan pada logam atau paduan. Prinsip dasar dari annealing melibatkan pemanasan baja hingga melebihi temperatur kritis, diikuti dengan periode penahanan (*holding time*), dan pendinginan yang dilakukan secara perlahan di dalam tungku hingga mencapai temperatur kamar. Terdapat berbagai jenis annealing yang dapat diterapkan, yang bergantung pada kondisi benda kerja, temperatur pemanasan, durasi waktu penahanan, laju pendinginan, serta faktor-faktor lainnya. Tujuan dari *heat treatment annealing* adalah untuk memperbaiki keuletan dan *machineability*, memperhalus ukuran butir, menurunkan ketidak homogenan stuktur, dan mengurangi tegangan sisa (Rohman dkk., 2014).

### 2.7.2 Tempering



Gambar 2.22 *Tempering*  
(Subhakanta, 2022)

Proses yang dikenal sebagai perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material, seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), ketahanan, perpanjangan (*elongation*), ketahanan benturan (*impact resistance*), dan kekerasan (*hardness*). Berbeda dengan logam *ferrous*, paduan logam *non-ferrous*, seperti

aluminium, hanya dapat mengalami pengerasan secara signifikan melalui proses yang dikenal sebagai *precipitation hardening*. Proses ini merupakan langkah tambahan yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan material melalui penghalusan butir. Dalam proses ini, sifat mekanik paduan aluminium ditingkatkan dengan cara pembentukan cacat kisi (*lattice defect*) yang berfungsi sebagai penghambat pergerakan dislokasi. Hasil dari proses *precipitation hardening* ini adalah terbentuknya cacat yang berupa partikel-partikel halus yang terdistribusi secara merata, yang dikenal sebagai presipitat (Berkat dkk., 2017).

### 2.7.3 Quenching



Gambar 2.23 *Quenching*  
(Mech, 2020)

Proses pendinginan logam dibagi menjadi dua metode, yaitu pendinginan lambat (menggunakan udara) dan pendinginan cepat (*quenching*). *Quenching* adalah proses pendinginan cepat yang dilakukan pada paduan logam setelah mengalami perlakuan panas. Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh jenis media pendingin yang digunakan serta kondisi proses yang diterapkan, komposisi kimia dan *hardenbility* dari logam tersebut. *Hardenbility* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari

material logam memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil akhir dari proses *quenching*. Media pendingin yang umum digunakan dalam proses ini meliputi air dan minyak. Penggunaan media pendingin seperti air pada suhu rendah dapat meningkatkan kemungkinan retak, sehingga pendinginan dengan air umumnya dibatasi untuk aplikasi pendinginan sederhana. Penggunaan media air mengakibatkan laju pendinginan yang cepat sehingga menghasilkan kekerasan tinggi, tetapi juga menyebabkan tegangan internal yang tidak merata. Hal ini berpotensi menyebabkan distorsi atau pembentukan titik lemah pada material. Selain itu, pendinginan dengan air pada produk baja dapat menyebabkan masalah korosi, yang memerlukan perawatan tambahan. Di sisi lain, minyak memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air atau air garam. Oleh karena itu, penggunaan minyak sebagai media pendingin dapat mengurangi risiko distorsi dan retak pada proses pendinginan akhir, menjadikannya lebih menguntungkan dalam aplikasi yang memerlukan integritas struktural tinggi (Harningsih, Sumpena, 2020).

#### 1. Udara

Udara adalah salah satu media pendingin yang digunakan dalam proses pengecoran logam, terutama sebagai media pendingin alami (*natural cooling*). Dalam konteks ini, udara berfungsi sebagai penghantar panas (konduktor) yang menyerap panas dari logam cair atau logam yang telah dicor, sehingga suhunya menurun secara bertahap hingga mencapai suhu sekitar. Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat (Bambang HP, Achmad Hafid, 2023).

## 2. Air



Gambar 2.24 Air  
(Pendidik, 2020)

Air Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut. Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) -  $100^{\circ}\text{C}$ , air berwujud cair. Suhu  $0^{\circ}\text{C}$  merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  merupakan titik didih (*boiling point*) air. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik (Bambang HP, Achmad Hafid, 2023).

### 3. Oli SAE 40



Gambar 2.25 Oli  
(Motor, 2021)

Minyak atau oli sebagai media pendingin yang lebih lunak jika dibandingkan dengan air. Digunakan pada material yang kritis, antara lain material yang mempunyai bagian tipis atau ujung yang tajam. Umumnya oli terdiri dari 90% minyak dasar (*base oil*) dan 10% zat tambahan. Pada sistem penggerakannya ketika mesin dihidupkan mesin yang bergerak akan terjadi pergesekan pada logam yang akan menyebabkan pelepasan partikel dari peristiwa tersebut. SAE Viskositas dan kualitas oli diklasifikasikan dengan standard SAE (*The Society of Automotive Engineers*). Huruf W artinya *winter* dan menjamin oli pada temperatur rendah, mudah mengalir. Sebagai contoh, dalam *Multigrade* SAE 10W 40, oli ini mempunyai kemampuan yang baik sampai 10° C, dan memiliki viskositas sama seperti oli SAE 40 pada temperatur 100° C (Aprialdi, 2021).

## 2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan ialah salah satu bentuk sifat mekanik dari suatu pengujian material, dan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah material (benda kerja) terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang akan lebih keras

(penetrator). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur paduan dan kekerasan dari suatu bahan tersebut dapat berubah bila dikerjakan dengan *cold worked* seperti pengerolan, penarikan, pemakanan serta kekerasan dapat dicapai sesuai kebutuhan dengan perlakuan panas. Kekerasan suatu material dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness testers*) menggunakan tiga metode umum yang dilakukan yaitu metode *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers* (Nasution & Nasution, 2020).

### 2.8.1 Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*

Menurut (Maulana dkk., 2022) uji kekerasan adalah metode yang digunakan untuk mengukur kekerasan suatu bahan berdasarkan energi regangan yang diberikan oleh *indentor* pada bahan yang diuji, baik logam maupun non logam. Alat pengujian kekerasan yang dirancang dengan metode ini memberikan keunggulan signifikan, karena memungkinkan penggunaan dua teknik pengujian yang berbeda. Secara khusus, teknik *Brinell* dapat diterapkan pada skala fasilitas penelitian, di mana desain perakitan *indentor* dirancang untuk memberikan fleksibilitas dalam memilih antara kedua teknik tersebut.



Gambar 2.26 Uji Kekerasan *Brinell*  
(Alatuji, 2025)

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan tingkat kekerasan suatu material dengan mengukur daya tahan bola baja (*indenter*) yang ditekan ke permukaan spesimen uji. Metode pengujian kekerasan ini diperkenalkan oleh J.A. Brinell pada awal abad ke-20 dan merupakan salah satu metode pengujian kekerasan pertama yang diterapkan secara luas dan distandardisasi. Proses pengujian ini melibatkan pembentukan lekukan pada permukaan logam yang disebabkan oleh *indenter*. *Indenter* yang digunakan dalam pengujian *Brinell* adalah bola dengan beberapa ukuran diameter, yaitu 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, dan 1 mm, yang merupakan standar internasional. Bola *Brinell* yang memenuhi standar internasional ini dapat dibuat dari dua jenis bahan, yaitu baja yang telah dikeraskan atau baja yang dilapisi krom, dan karbida tungsten. Skala kekerasan *Brinell* ditentukan oleh kombinasi antara indenter dan gaya uji yang diterapkan. Tabel tersebut menyajikan skala kekerasan *Brinell* standar beserta gaya uji yang digunakan, yang sesuai dengan rasio gaya terhadap diameter indenter sebesar 1, 1,25, 2,5, 5, 10, dan 30 mm. Nilai kekerasan *Brinell* harus ditentukan dan dilaporkan berdasarkan salah satu skala standar tersebut (ASTM, 2022). Metode *Brinell* dinilai paling sesuai untuk logam lunak seperti aluminium karena tekanan yang tersebar merata mampu menghasilkan lekukan yang jelas tanpa merusak struktur material. Selain itu, metode ini memberikan hasil yang akurat, mudah direproduksi, dan telah menjadi standar dalam pengujian kekerasan aluminium di industri (Nasution & Nasution, 2020).

### 2.8.2 Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*



Gambar 2.27 Alat Uji Kekerasan *Rockwell*  
(Kompasiana, 2025)

Pengujian kekerasan pada suatu metode *Rockwell* menggunakan indenter berupa bola baja yang dikeraskan atau dapat juga menggunakan indenter berupa kerucut intan. Beban atau gaya yang digunakan untuk dapat melakukan penakan adalah bervariasi tergantung pada logam yang diuji, nilai kekerasannya didasarkan pada kedalaman indentasi yang terjadi (Nasution & Nasution, 2020).

### 2.8.3 Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*



Gambar 2.28 Alat Uji Kekerasan *Vickers*  
(Taharia, 2024)

Prinsip ini terdiri dari cara pengujian kekerasan metode *Vickers* mirip dengan metode *Brinell*. Sudut indenter piramida berlian pengujian *Vickers* adalah

136°. Aplikasi dari metode ini sangat luas sampai logam dengan nilai *Vickers* tinggi sekitar 1500 HV pada logam yang sangat keras (Nasution & Nasution, 2020).