

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Baling-Baling (*Propeller*)



Gambar 2.1 Baling-Baling (*Propeller*)
(Gcaptain, 2012)

Baling-baling adalah alat penggerak kapal, salah satu bentuknya yang paling umum adalah baling-baling ulir. Baling-baling ini memiliki daun yang berjumlah dua atau lebih dengan posisi yang menjorok dari hub atau boss. Daun baling-baling tersebut dapat merupakan bagian yang menyatu dengan hub, atau merupakan bagian yang dapat dilepas dari dan dipasang pada hub atau merupakan daun yang dapat dikendalikan (*controllable pitch propeller*) (Hendrawan, 2020).

Baling-baling bentuknya mirip dengan kipas angin, yang terdiri dari beberapa buah daun (*blade*) yang menempel pada boss yang dipasang pada sumbu terakhir dari sambungan poros yang berasal dari mesin induk kapal. Gaya dorong baling-baling sebenarnya dihasilkan oleh gaya mengangkat yang bekerja pada daun baling-baling waktu berputar di air. Baling-baling dikonstruksi sebagai sekrup pendorong dan sehubungan dengan bentuk badan kapal alat tersebut harus dipasang serendah

mungkin diburitan kapal. Untuk kapal-kapal samudra maupun kapal-kapal pantai, baling-baling harus mempunyai diameter sedemikian rupa sehingga pada keadaan muatan penuh ia seluruhnya didalam air sedalam mungkin, dengan demikian tidak terjadi kemungkinan terhisapnya udara masuk kedalam air (Utomo, 2012).

2.2 Karakteristik Baling-Baling

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 memiliki kemampuan yang memadai untuk menahan gaya-gaya yang bekerja terus-menerus, yang dapat menyebabkan terjadinya retakan dan, pada akhirnya, berpotensi kepatahan (Salam dkk., 2017). Baling-baling pada kapal memerlukan beberapa kriteria khusus, termasuk kemampuan untuk menghasilkan daya dorong tinggi pada kecepatan tinggi. Oleh karena itu, desain baling-baling harus memperhitungkan nilai daya dorong tinggi, tekanan rendah, dan aliran yang lancar pada baling-baling (Zakky Zain dkk., 2018).

2.3 Jenis Baling-baling

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

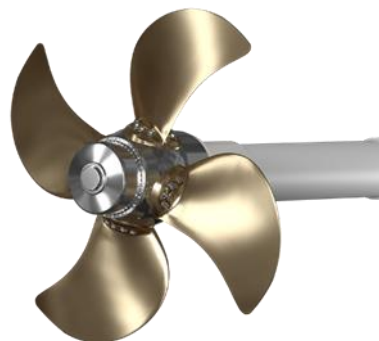
2.3.1 *Fixed Pitch Propeller*



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

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

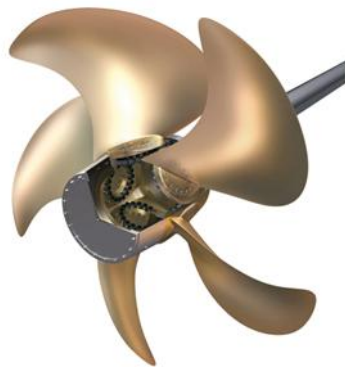
2.3.2 *Controllable Pitch Propellers*



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

Propeller dengan *pitch* yang dapat diubah adalah propeler kapal yang memungkinkan sudut bilah *propeller* disesuaikan sesuai dengan kebutuhan operasional.

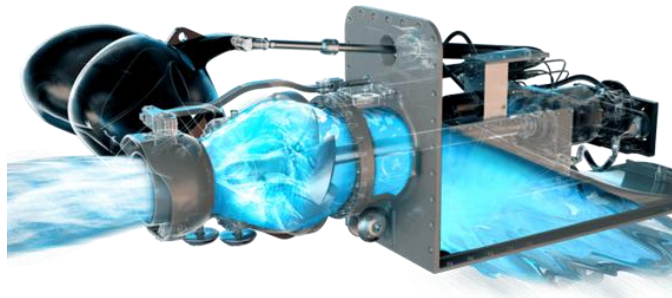
2.3.3 *Adjustable Bolted Propeller*



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

Jenis baling-baling *Adjustable bolted propeller* ini merupakan pengembangan dari *fixed pitch propeller*, dimana bilah baling-baling diproduksi secara terpisah dan kemudian dipasang ke poros baling-baling menggunakan baut. Hal ini memungkinkan sudut kemiringan baling-baling disesuaikan untuk mencapai nilai optimum yang diinginkan.

2.3.4 *Waterjets Propulsi*



Gambar 2.5 *Waterjets Propulsi*
(Power, 2021)

Kapal ini menggunakan pompa yang menghisap udara dari bagian depan dan mendorong kapal ke bagian belakang, memungkinkan kapal bergerak maju berdasarkan prinsip momentum. Penggerak ini lebih efisien digunakan untuk kapal yang beroperasi pada kecepatan di atas 25 knots, dengan daya mesin berkisar antara 50 kW hingga 36 MW (Hendrawan, 2020).

2.4 Aluminium



Gambar 2.6 Aluminium
(Leo, 2022)

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* (logam bukan besi) yang paling banyak terdapat di bumi. Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, serta mudah dibentuk.

Paduan Aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Aluminium *Wrought Alloy* (lembaran) dan Aluminium *Casting Alloy* (batang cor). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leburnya pada suhu 660 °C. Aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi Aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida Aluminium dari permukaan Aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil atau tidak bereaksi dengan lingkungan sekitar, sehingga melindungi bagian dalam (Mariam & Ibrahim, 2020). Ada beberapa jenis Aluminium berdasarkan jenis paduannya:

2.4.1 Aluminium Murni



Gambar 2.7 Alumunium Murni
(Sunrise, 2025)

Jenis ini adalah aluminium dengan tingkat kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium dalam seri ini selain sifatnya yang baik dalam tahan korosi, konduksi panas, dan konduksi listrik. Aluminium murni biasanya diberi nomor seri 1xxx biasanya kandungan aluminiumnya di atas 99%. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang rendah. Penggunaannya adalah untuk

peralatan kimia, reflektor, konduktor elektrik dan kapasitor, kertas pembungkus (aluminium foil), dan untuk dekorasi (Jamasri, 2020).

2.4.2 Aluminium *Copper Alloy* (seri 2xxx)



Gambar 2.8 Aluminium *Copper Alloy*
(Parquet, 2025)

Aluminium dalam seri ini memiliki kandungan tembaga yang berkisar antara 2% dan 10%, dan diterapkan pada perlakuan panas, terutama untuk komposisi yang mengandung antara 2,5% dan 5% Cu. Sifat mekanik paduan ini dapat mencapai tingkat yang setara dengan baja lunak; Namun demikian, ketahanan korosi paduan ini rendah jika dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Paduan ini umumnya diaplikasikan pada konstruksi paku keling dan banyak digunakan pada industri penerbangan, seperti pada super duralumin. Karena paduan ini memiliki ketahanan korosi yang buruk akibat kandungan Cu, maka perlu dilakukan pelapisan permukaan dengan aluminium murni atau paduan aluminium lain yang memiliki ketahanan korosi yang lebih baik (Jamasri, 2020).

2.4.3 Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx)



Gambar 2.9 Aluminium *Manganese Alloy*
(Parquet, 2025)

Salah satu unsur yang memperkuat aluminium adalah Mn (mangan) tanpa mengurangi ketahanan korosi. Jenis ini memiliki kandungan mangan berkisar 0,05-1,5%. Bila dibandingkan dengan Al murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi. Dalam hal kekuatan, jenis paduan ini lebih unggul 620% daripada jenis Al murni. Penggunaannya meliputi kaleng makanan, peralatan memasak, penukar kalor, tangki penyimpanan, furnitur, dan untuk rambu-rambu lalu lintas (Jamasri, 2020).

2.4.4 Aluminium *Silikon Alloy* (seri 4xxx)



Gambar 2.10 Aluminium *Silikon Alloy*
(Parquet, 2025)

Aluminium silikon merupakan paduan aluminium paduan yang sangat baik tingkat kecairannya, mempunyai permukaan yang baik, tidak memiliki kegetasan panas, dan baik untuk paduan coran. Aluminium jenis ini memiliki kandungan silikon berkisar antara 3,6-13,5%. Aluminium memiliki ketahanan panas dan listrik yang baik, ketahanan korosi baik, massa ringan, dan pemuaian kecil. Karena sifat-sifatnya, maka paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai logam pengisi (filler metal) dalam pengelasan paduan aluminium, baik paduan cor maupun paduan tempa. Paduan ini khususnya seri 4032 dan memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah serta ketahanan terhadap aus yang cukup tinggi, sehingga sering digunakan sebagai material pembuat piston (Jamasri, 2020).

2.4.5 Aluminium Magnesium Alloy (seri 5xxx)



Gambar 2.11 Aluminium *Magnesium Alloy* (Parquet, 2025)

Jenis paduan aluminium-magnesium (Al-Mg) ini termasuk jenis yang tidak dapat di *heat treatment*, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut. Magnesium dalam paduan ini berkisar antara 0,5-13%. Paduan Al-Mg banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum, tetapi juga

untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair, peralatan rumah tangga, struktur rangka kendaraan, dan kapal (Jamasri, 2020).

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



Gambar 2.12 Aluminium *Magnesium Silikon Alloy* (Parquet, 2025)

Aluminium jika diberi sedikit tambahan magnesium maka dapat menyebabkan peningkatan pada kekerasan aluminium sangat jarang terjadi, hal yang lainnya jika menambahkan silikon maka dapat diperkeras setelah melakukan proses pelarutan. Seri ini mengandung 0,2-1,8% silikon dan 0,35-1,5% magnesium sebagai elemen paduan utama. Pada paduan kekuatan relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan paduan lainnya, tetapi proses penempaannya sangat baik. Pada aluminium paduan 6063 biasanya banyak digunakan sebagai rangka konstruksi, karena pada paduan ini memiliki kekuatan yang baik dan menjadi penghantar listrik yang baik. Biasanya pada paduan ini terdapat beberapa unsur yang harus dihindari seperti Cu, Fe, dan Mn karena dapat menyebabkan tegangan listrik jadi terhambat. Untuk pengaplikasian yang lainnya aluminium paduan 6xxx ini banyak digunakan pada piston motor dan *heat silinder* motor bakar (Jamasri, 2020).

2.4.7 Aluminium Zinc Alloy (seri 7xxx)



Gambar 2.13 Aluminium Zinc Alloy
(Parquet, 2025)

Aluminium jenis ini mengandung seng (Zn) sebagai elemen paduan utama, dengan kisaran antara 0,8% hingga 8,2%. Paduan aluminium dan seng ini termasuk jenis yang dapat di *heat treatment*. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm², sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam waktu akhir-akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini memiliki sifat mampu las dan daya tahan terhadap korosi yang lebih daripada paduan dasar Al-Zn (Jamasri, 2020).

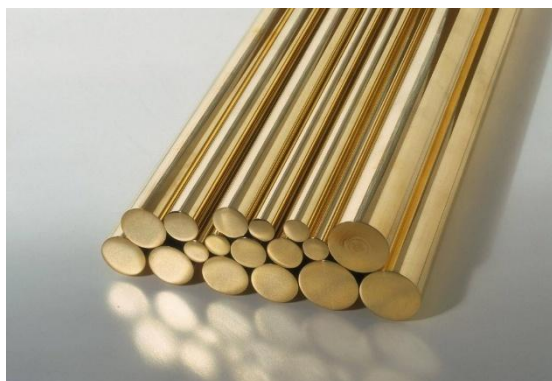
2.4.8 Aluminium Litium Alloy (seri 8xxx)



Gambar 2.14 Aluminium *Litium Alloy*
(Parquet, 2025)

Aluminium jenis ini memiliki kandungan magnesium berkisar antara 2% dan 10%, dan kandungan tembaga berkisar antara 1,2% dan 2%. Selain itu, kandungan seng berkisar antara 7,5% dan 9,5%. Paduan aluminium dan lithium ini termasuk jenis yang dapat di *heat treatment*. Biasanya, dalam paduan ini ditambahkan unsur timah sebagai paduan. Paduan Al-Li digunakan untuk konstruksi pesawat terbang yang mengharuskan toleransi yang tinggi terhadap kerusakan (Jamasri, 2020).

2.5 Kuningan



Gambar 2.15 Kuningan
(Copperleluhur, 2021)

Kuningan adalah paduan logam yang terdiri dari tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan komposisi tembaga berkisar antara 55% hingga 95% dari total massa. Proses pembuatan logam kuningan umumnya dilakukan melalui metode pengecoran, yang merupakan satu-satunya teknik yang dapat diaplikasikan baik dalam skala industri kecil maupun besar. Dalam konteks industri, penggunaan logam kuningan sangat menguntungkan, terutama karena sifatnya yang tahan terhadap korosi. Namun, perlu diperhatikan bahwa kuningan juga memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah tingginya biaya perawatan yang tinggi (Pradana & Widyartono, 2020).

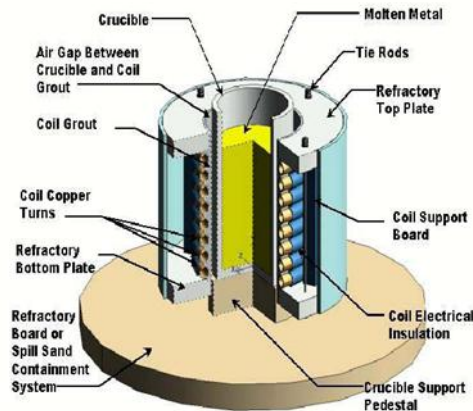
2.6 Tungku



Gambar 2.16 Tungku
(Media, 2024)

Tungku atau *furnace* adalah perangkat yang digunakan untuk melelehkan logam dalam proses pembuatan komponen mesin melalui pengecoran (*casting*), atau untuk memanaskan bahan guna mengubah bentuk dan sifat mekanis melalui perlakuan panas. Berdasarkan metode yang digunakan untuk menghasilkan panas, tungku dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis: tungku pembakaran yang menggunakan bahan bakar fosil, tungku gas, dan tungku listrik (Pudin dkk., 2020).

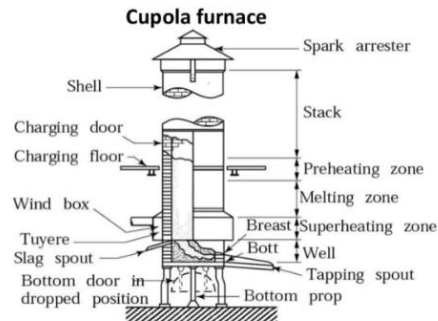
2.6.1 Tungku Listrik



Gambar 2.17 Tungku Listrik
(Company, 2025)

Tungku listrik atau *furnace* listrik adalah jenis tungku yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga titik lelehnya. Proses pemanasan ini dilakukan melalui medium konduktif, biasanya logam. Frekuensi operasi peralatan pemanas listrik bervariasi, mulai dari 60 Hz hingga 400 kHz, dan dapat melebihi angka-angka tersebut tergantung pada jenis material yang akan dilelehkan, kapasitas peralatan pemanas, dan laju pelelehan yang diinginkan. Penggunaan tungku listrik dalam proses peleburan modern semakin populer karena dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode peleburan menggunakan tungku *reverberatory* atau tungku kupola. Kapasitas tungku ini bervariasi, mulai dari satu kilogram hingga seratus ton, dan dapat digunakan untuk melelehkan berbagai jenis logam, termasuk besi, baja, tembaga, dan aluminium. Keuntungan menggunakan tungku listrik meliputi proses pelelehan yang bersih tanpa kontaminasi dari sumber panas, efisiensi energi yang tinggi, dan kemampuan mengontrol proses peleburan dengan baik (Rahmat, 2015).

2.6.2 Tungku Kupola



Gambar 2.18 Tungku Kupola
(Metalurgi, 2020)

Kupola adalah tungku silinder vertikal berkapasitas besar. Tungku ini diisi dengan bahan baku, yang terdiri dari besi, kokas, fluks, atau batu kapur, serta elemen paduan yang diperlukan. Sumber energi panas dalam tungku ini berasal dari kokas dan gas, yang berfungsi untuk meningkatkan suhu pembakaran. Besi cair yang dihasilkan oleh tungku kupola secara berkala ditapping keluar untuk mengeluarkan besi cor yang mencair (Endramawan dkk., 2023).

2.6.3 Tungku Besalen



Gambar 2.19 Tungku Besalen
(Muzhaffar, 2019)

Tungku besalen adalah jenis tungku yang telah digunakan selama berabad-abad, terutama pada awal perkembangan industri pengecoran logam. Tungku ini

memiliki bentuk pipa yang terbuat dari bata dan dilapisi dengan tanah liat tahan api. Bahan bakar yang digunakan dalam peralatan pemanas besalen adalah kayu arang, yang ditiup dengan bantuan blower. Sementara itu, tungku tukik atau tungku tukik memiliki kapasitas yang lebih besar daripada tungku besalen. Tungku ini juga menggunakan kayu sebagai bahan bakar, tetapi blower yang digunakan digerakkan oleh mesin diesel (Endramawan dkk., 2023).

2.7 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)



Gambar 2.20 *Heat Treatment*
(Sabhadiya, 2025)

Perlakuan panas adalah proses yang melibatkan kombinasi pemanasan dan pendinginan logam atau paduannya dalam keadaan padat, dengan tujuan memperoleh sifat-sifat tertentu. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, laju pendinginan dan batas suhu sangat kritis. Mikrostruktur yang terbentuk pada akhir proses perlakuan panas akan mempengaruhi sifat-sifat material yang dihasilkan. Selain itu, pembentukan mikrostruktur ini dipengaruhi tidak hanya oleh komposisi kimia material, tetapi juga oleh proses perlakuan panas yang dijalani dan kondisi awal material (Saktisahdan, 2019).

2.7.1 *Annealing*



Gambar 2.21 *Annealing*
(Steeltreating, 2025)

Annealing adalah metode perlakuan panas yang diterapkan pada logam atau paduan logam. Prinsip dasar annealing melibatkan pemanasan baja hingga suhu di atas titik kritisnya, diikuti dengan periode pemanasan, dan kemudian pendinginan secara bertahap dalam tungku hingga mencapai suhu ruangan. Berbagai jenis annealing dapat diterapkan, tergantung pada kondisi benda kerja, suhu pemanasan, durasi pemanasan, laju pendinginan, dan faktor-faktor lain. 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*
(Machinedesign, 2023)

Proses yang dikenal sebagai perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik bahan, seperti kekuatan tarik, ketahanan, elongasi, ketahanan benturan, dan kekerasan. Berbeda dengan logam *ferrous*, paduan logam non-*ferrous* seperti aluminium hanya dapat mengalami pengerasan yang signifikan melalui proses yang dikenal sebagai pengerasan presipitasi. Proses ini merupakan langkah tambahan yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan bahan melalui penghalusan butir. Dalam proses ini, sifat mekanik paduan aluminium ditingkatkan dengan membentuk cacat kisi (*lattice defect*) yang bertindak sebagai penghalang bagi pergerakan dislokasi. Hasil dari proses pengerasan presipitasi ini adalah pembentukan cacat berupa partikel halus yang tersebar merata, yang dikenal sebagai presipitat (Berkat dkk., 2017).

2.7.3 *Quenching*



Gambar 2.23 *Quenching*
(Sciencephoto.com, 2025)

Proses pendinginan dibagi menjadi dua metode, yaitu metode pendinginan lambat dengan menggunakan udara dan metode pendinginan cepat yang dikenal dengan istilah *quenching*. *Quenching* adalah proses pendinginan cepat suatu paduan setelah mengalami perlakuan panas. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses ini antara lain jenis media pendingin dan kondisi proses yang diterapkan, serta komposisi kimia dan kemampuan pengerasan logam. Kemampuan pengerasan adalah fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada suhu tertentu. Selain itu, dimensi logam juga memengaruhi hasil akhir dari proses *quenching*. Media yang umum digunakan dalam proses ini adalah air dan oli. Media *quenching* memiliki karakteristik tertentu pada temperatur yang lebih rendah, dimana kemungkinan terjadinya retak meningkat, sehingga penggunaan air untuk *quenching* biasanya terbatas pada pendinginan sederhana. Penggunaan media air menghasilkan laju pendinginan yang cepat, yang dapat menyebabkan kekerasan dan tegangan yang tidak merata. Akibatnya, distribusi tegangan yang tidak seimbang dapat mengakibatkan distorsi atau pembentukan titik lunak. Selain itu, pendinginan dengan air pada produk baja dapat menyebabkan korosi, sehingga membutuhkan

penanganan yang lebih cepat. Di sisi lain, media oli memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air atau air garam, sehingga dapat mengurangi distorsi dan retakan pada hasil pendinginan (Hariningsih dkk., 2022).

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 (Hafid dkk., 2023).

2. Air



Gambar 2.24 Air
(Sulbarkita, 2018)

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 0oC (32o F) – 100oC, air berwujud cair. Suhu 0oC merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu 100o C merupakan titik didih (*boiling point*) air. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik (Hafid dkk., 2023).

3. Oli SAE 40



Gambar 2.25 Oli
(Evalube, 2023)

Minyak atau Oli, 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 gesekan 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

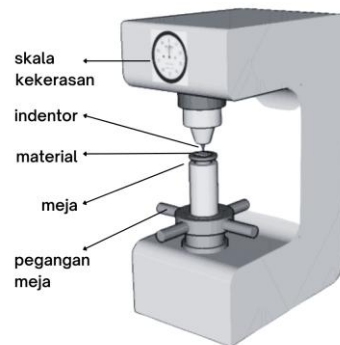
baik sampai 10° C, dan memiliki viskositas sama seperti oli SAE 40 pada temperatur 100° C (Aprialdi, 2021).

2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah 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 bahan (baja) dapat diketahui (Nasution & Halila, 2020).

2.8.1 Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*

Uji kekerasan digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan suatu material berdasarkan energi regangan yang diberikan oleh *indentor* pada material yang diuji, baik logam maupun non-logam. Alat uji kekerasan yang dirancang dengan strategi ini memiliki keuntungan karena memungkinkan penggunaan dua teknik pengujian, khususnya teknik *Brinell*. Dalam konteks fasilitas penelitian, susunan *indentor* dirancang sedemikian rupa sehingga memberikan pilihan untuk menerapkan kedua teknik tersebut (Maulana dkk., 2022).



Gambar 2.26 Mesin Uji Kekerasan *Brinell*
(Metallography, 2021)

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan tingkat kekerasan suatu material melalui daya tahan bola baja (*indenter*) yang ditekan pada permukaan material yang di uji (spesimen). Metode uji kekerasan ini di perkenalkan oleh J.A. Brinell pada awal tahun 1900-an dan merupakan uji kekerasan lekukan pertama yang banyak diterapkan serta memiliki standar yang terstruktur. Proses pengujian ini melibatkan pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan menggunakan *indenter*. *Indenter* yang digunakan dalam pengujian *Brinell* berbentuk bola dengan variasi diameter, yaitu 10 mm, 2,5 mm, dan 1 mm, yang semuanya merupakan ukuran standar internasional. Bola *Brinell* yang sesuai dengan standar internasional dapat terbuat dari 2 jenis material, yaitu baja yang telah dikeraskan atau di lapisi krom, serta *tungsten carbide*. 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 & Halila, 2020).

2.8.2 Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*



Gambar 2.27 Mesin Uji Kekerasan *Rockwell*
(Worldoftest, 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 & Halila, 2020).

2.8.3 Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*



Gambar 2.28 Mesin Uji Kekerasan *Vickers*
(Hardnessgauge, 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, mulai untuk logam yang memiliki nilai *Vickers*

rendah 5 HV pada logam yang lunak, sampai logam dengan nilai *Vickers* tinggi sekitar 1500 HV pada logam yang sangat keras (Nasution & Halila, 2020).