

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Baling-Baling (*Propeller*)



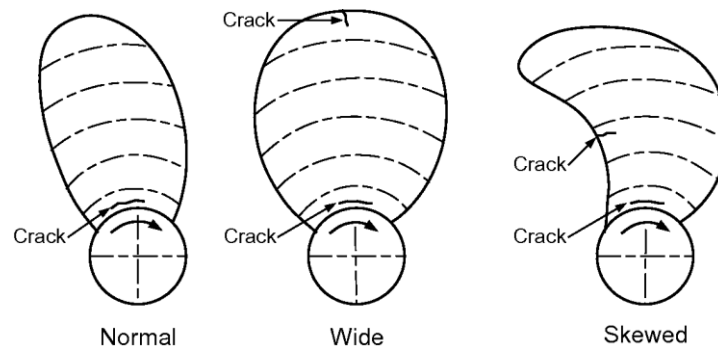
Gambar 2.1 *Propeller*
(Whiteford, 2022)

Baling-baling berfungsi sebagai komponen propulsi pada kapal, dengan salah satu jenis yang paling umum digunakan adalah propeler sekrup. Propeler ini terdiri dari dua atau lebih bilah yang terhubung ke poros pusat atau *hub*. Bilah propeler dapat dicetak secara permanen sebagai satu bagian dengan poros pusat, atau dirancang sebagai komponen yang dapat dilepas dan dipasang kembali ke poros pusat. Selain itu, propeler ini juga dapat diproduksi dalam bentuk yang memungkinkan penyesuaian sudut bilah yang dapat dikendalikan (*controllable pitch propeller*) (Hendrawan, 2020).

Propeler memiliki bentuk yang mirip dengan kipas angin, terdiri dari beberapa bilah yang terpasang pada poros pusat dan terhubung ke ujung poros yang berasal dari mesin utama kapal. Dorongan yang dihasilkan oleh propeler berasal dari gaya angkat yang bekerja pada bilah-bilah saat berputar di dalam air.

Komponen ini harus dipasang sedekat mungkin dengan bagian buritan kapal (Utomo, 2012).

2.2 Karakteristik Baling-Baling



Gambar 2.2 karakteristik Baling-Baling
(Cambridge, 2017)

Baling-baling memiliki karakteristik yang meliputi rasio kekuatan terhadap beban yang tinggi, ketahanan terhadap keausan, dan ketahanan korosi yang baik (Hendrawan, 2020). Baling-baling kapal harus cukup kuat untuk menahan gaya terus-menerus, yang dapat menyebabkan retakan dan berpotensi menyebabkan kerusakan (Salam dkk., 2017). Selain itu, propeler harus memenuhi beberapa kriteria khusus, termasuk kemampuan untuk menghasilkan dorongan, menyediakan kecepatan tinggi, mempertahankan tekanan rendah, dan menghasilkan aliran fluida yang halus (Zakky Zain dkk., 2018).

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

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

2.3.1 *Fixed Pitch Propeller*



Gambar 2.3 *Fixed Pitch Propeller*
(Bergpropulsion, 2025)

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

2.3.2 *Controllable Pitch Propeller*



Gambar 2.4 *Controllable Pitch Propeller*
(Kawasaki, 2025)

Propeler berbilah sudut variabel adalah jenis propeler kapal yang sudut bilahnya dapat disesuaikan sesuai kebutuhan (Hendrawan, 2020). Jenis propeler ini lebih efisien dalam operasinya karena sudut bilahnya dapat disesuaikan melalui

sistem kendali dari ruang kemudi, baik saat kapal bergerak maju maupun mundur (Na'maikalatif, 2022).

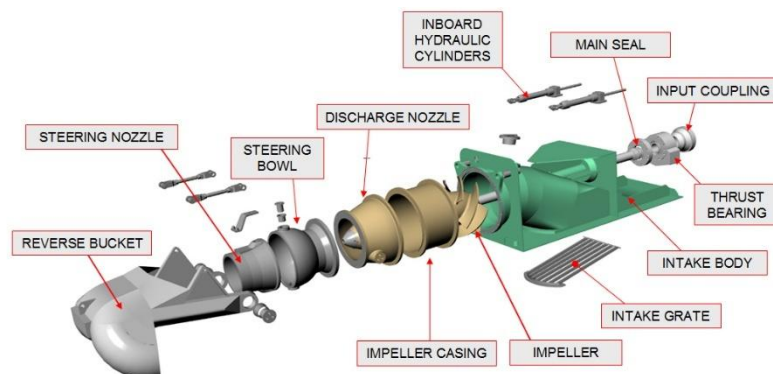
2.3.3 *Adjustable Bolted Propeller*



Gambar 2.5 *Adjustable Bolted Propeller*
(Teignbridge, 2025)

Jenis ini merupakan inovasi dari *Fixed pitch propeller*, di mana bilah baling-baling dapat diproduksi secara terpisah dan kemudian dipasang pada poros baling-baling menggunakan baut. Pendekatan ini memungkinkan penyesuaian sudut serang untuk mencapai nilai optimum yang diinginkan.

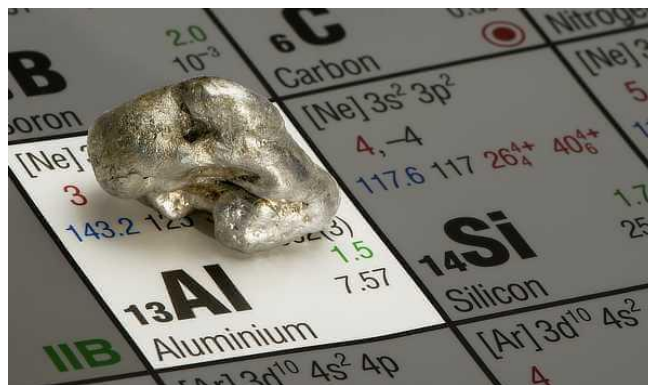
2.3.4 *Waterjets*



Gambar 2.6 *Waterjets*
(Thrustmaster, 2025)

Kapal ini dilengkapi dengan sistem pompa yang menghisap air di bagian depan dan mendorongnya ke bagian belakang, sehingga menghasilkan gerakan maju berdasarkan prinsip momentum. Sistem propulsi ini terbukti lebih efisien untuk kapal yang beroperasi pada kecepatan di atas 25 knot, dengan daya mesin berkisar antara 50 kW hingga 36 MW (Hendrawan, 2020).

2.4 Aluminium



Gambar 2.7 Aluminium
(Weerg.com, 2021)

Aluminium adalah elemen *non-ferrous* yang paling melimpah di bumi. Aluminium memiliki karakteristik ringan, tahan terhadap korosi, dan konduktor listrik dan panas yang baik, serta mudah dibentuk. Paduan aluminium dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu Aluminium *Wrought Alloy* (lembaran) dan Aluminium *Casting Alloy* (batangan cor). Aluminium dengan kemurnian 99,99% memiliki berat jenis 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leleh 660 °C. Aluminium juga memiliki rasio kekuatan-terhadap-berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja. Sifat tahan korosi dari aluminium diperoleh melalui pembentukan lapisan aluminium oksida pada permukaannya. Lapisan oksida ini terikat kuat dan rapat pada permukaan yang stabil dan tidak bereaksi

dengan lingkungan sekitarnya, sehingga melindungi bagian dalam aluminium (Mariam & Ibrahim, 2020).

2.4.1 Aluminium murni

Jenis ini mengacu pada aluminium dengan tingkat kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium dalam kategori ini memiliki sifat yang sangat baik dalam hal ketahanan terhadap korosi, konduktivitas panas, dan konduktivitas listrik. Aluminium murni biasanya diberi nomor seri 1xxx, di mana kandungan aluminium umumnya di atas 99%. Meskipun memiliki banyak keunggulan, aluminium murni memiliki kelemahan yaitu kekuatannya yang relatif rendah. Penggunaan aluminium murni antara lain untuk peralatan kimia, reflektor, konduktor listrik, kapasitor, kertas kado (aluminium foil), serta untuk keperluan dekorasi.

2.4.2 Aluminium *Copper Alloy* (seri 2xxx)

Aluminium dalam kategori ini mengandung antara 2% hingga 10% tembaga dan dapat diberi perlakuan panas, terutama untuk paduan yang mengandung 2,5% hingga 5% Cu. Sifat mekanik dari paduan ini dapat dibandingkan dengan baja lunak, meskipun ketahanan korosinya lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Paduan ini umumnya digunakan dalam aplikasi konstruksi paku keling dan banyak diaplikasikan dalam industri penerbangan, seperti pada super duralumin. Mengingat paduan ini memiliki ketahanan korosi dengan kandungan Cu yang rendah, maka permukaannya perlu dilapisi dengan aluminium murni atau paduan aluminium lain yang memiliki ketahanan korosi yang lebih baik.

2.4.3 Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx)

Salah satu elemen yang berfungsi untuk memperkuat aluminium adalah mangan (Mn), yang tidak mengurangi ketahanan terhadap korosi. Paduan ini mengandung mangan dalam kisaran 0,05% hingga 1,5%. Jika dibandingkan dengan aluminium murni, paduan ini memiliki sifat yang sama dalam hal ketahanan korosi. Namun, dalam aspek kekuatan, paduan ini menunjukkan keunggulan yang signifikan, yaitu sekitar 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)

Aluminium silikon adalah paduan aluminium yang memiliki likuiditas yang sangat baik, permukaan yang halus dan tidak menunjukkan kerapuhan termal, sehingga ideal untuk aplikasi pengecoran paduan. Paduan ini mengandung silikon dalam kisaran 3,6% hingga 13,5%. Aluminium silikon memiliki ketahanan panas dan listrik yang baik, ketahanan korosi yang memadai, massa yang ringan, dan koefisien muai yang kecil. Berkat sifat-sifat tersebut, paduan Al-Si banyak digunakan sebagai logam pengisi pada 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.

2.4.5 Aluminium Magnesium Alloy (seri 5xxx)

Paduan aluminium-magnesium (Al-Mg) adalah jenis paduan yang tidak dapat mengalami perlakuan panas tetapi memiliki sifat yang sangat baik dalam hal ketahanan terhadap korosi, terutama terhadap korosi yang disebabkan oleh air laut. Kandungan magnesium dalam paduan ini berkisar antara 0,5% hingga 13%. Paduan Al-Mg banyak digunakan tidak hanya pada konstruksi umum tetapi juga untuk aplikasi yang lebih spesifik seperti tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair, peralatan rumah tangga, dan struktur rangka kendaraan, serta pada industri pembuatan kapal.

2.4.6 Aluminium Magnesium Silikon Alloy (seri 6xxx)

Aluminium yang diberi sedikit tambahan magnesium dapat meningkatkan kekerasan, meskipun peningkatan ini jarang terjadi. Sebaliknya, penambahan silikon dapat memperkuat aluminium setelah melalui proses pelarutan. Paduan ini mengandung 0,2% hingga 1,8% silikon dan 0,35% hingga 1,5% magnesium sebagai elemen paduan utama. Meskipun kekuatan paduan ini relatif lebih kecil daripada paduan lainnya, namun proses penempaan yang dimilikinya sangat baik. Paduan aluminium 6063, khususnya, banyak digunakan dalam aplikasi rangka konstruksi karena memiliki kekuatan yang baik dan juga berfungsi sebagai penghantar listrik yang efisien. Namun, paduan ini mengandung beberapa elemen yang harus dihindari, seperti tembaga (Cu), besi (Fe), dan mangan (Mn), karena dapat menghambat konduktivitas listrik. Selain itu, paduan aluminium 6xxx juga

banyak digunakan pada aplikasi lain, seperti pada piston motor dan silinder panas pada mesin pembakaran.

2.4.7 Aluminium Zink Alloy (seri 7xxx)

Aluminium jenis ini mengandung seng (Zn) sebagai elemen paduan utama, dengan kisaran kandungan antara 0,8% dan 8,2%. Paduan aluminium dan seng ini termasuk dalam kategori yang dapat mengalami perlakuan panas. Pada paduan Al-Zn pokok, magnesium (Mg), tembaga (Cu), dan kromium (Cr) biasanya ditambahkan. Kekuatan tarik yang dapat dicapai oleh paduan ini melebihi 50 kg/mm², sehingga sering disebut sebagai ultra duralumin. Namun, meskipun memiliki kekuatan tarik yang tinggi, paduan ini memiliki sifat kemampuan las dan ketahanan korosi yang kurang baik. 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.

2.4.8 Aluminium Litium Alloy (seri 8xxx)

Aluminium jenis ini memiliki kandungan magnesium berkisar antara 2% hingga 10%, dan kandungan tembaga antara 1,2% hingga 2%. Selain itu, kandungan seng dalam paduan ini berkisar antara 7,5% hingga 9,5%. Paduan aluminium dan lithium ini masuk dalam kategori yang dapat mengalami perlakuan panas. Biasanya, unsur timah juga ditambahkan sebagai unsur paduan. Paduan Al-Li banyak digunakan dalam konstruksi pesawat terbang, terutama pada aplikasi

yang membutuhkan toleransi tinggi terhadap kerusakan. Keuntungan dari paduan ini adalah kombinasi dari kekuatan tinggi dan massa yang ringan, menjadikannya pilihan ideal untuk industri penerbangan (Jamasri, 2020).

2.5 Kuningan



Gambar 2.8 Kuningan
(Masrurotul, 2024)

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 utama yang digunakan dalam industri logam, baik dalam skala kecil maupun skala besar. Pemanfaatan logam kuningan dalam industri sangat menguntungkan, terutama karena sifat ketahanan korosinya yang baik. Namun, meskipun memiliki banyak kelebihan, kuningan juga memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah biaya perawatan yang tinggi. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam pengaplikasian dan penggunaan logam kuningan di berbagai industri (Pradana, 2020).

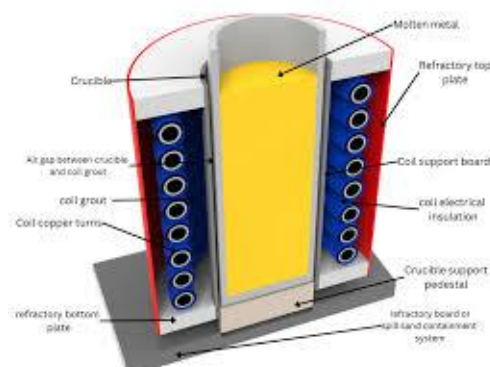
2.6 Tungku (*Furnace*)



Gambar 2.9 Tungku Peleburan
(Virusmetalurgi, 2020)

Furnace atau dikenal juga dengan istilah tungku pemanas, adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mencairkan logam dalam proses pembuatan komponen mesin (*casting*) atau memanaskan material untuk mengubah bentuknya melalui proses penempaan, atau memodifikasi sifat-sifatnya melalui perlakuan panas. Berdasarkan cara produksinya, tungku secara umum dibagi menjadi tiga kategori, tungku pembakaran yang menggunakan bahan bakar fosil, tungku gas dan tungku listrik (Alif, 2020).

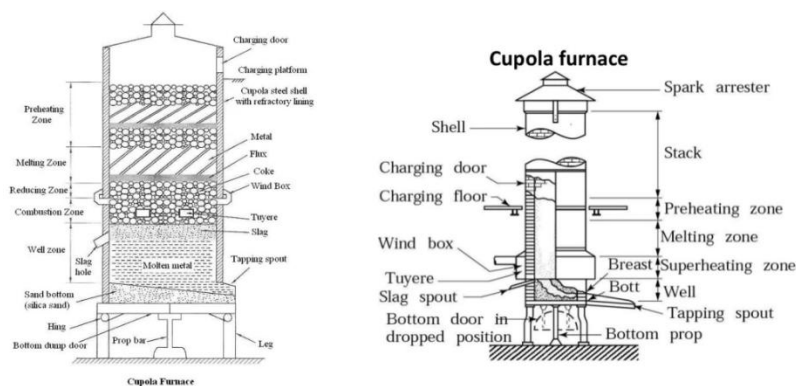
2.6.1 Tungku Listrik



Gambar 2.10 *Electric Furnace*
(Electroheatinduction.com, 2025)

Tungku listrik adalah jenis peralatan pemanas yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga titik lelehnya. Proses pemanasan ini dilakukan melalui medium konduktif, yang umumnya terbuat dari logam. Frekuensi operasi peralatan tungku listrik bervariasi antara 60 Hz dan 400 kHz, dan dapat melebihi rentang ini, tergantung pada jenis material yang akan dilelehkan, kapasitas peralatan pemanas, dan kecepatan pelelehan yang diinginkan. Penggunaan tungku listrik dalam proses peleburan modern semakin populer karena dianggap lebih bersih dibandingkan metode peleburan tradisional seperti tungku *reverberatory* atau kupola. Kapasitas tungku ini bervariasi 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 peleburan 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 2.11 *Cupola Furnace*
(Virusmetalurgi, 2020)

kupola adalah tungku vertikal silinder besar. Tungku ini diisi dengan bahan pengisi, yang terdiri dari besi, kokas, fluks, atau kapur, serta unsur-unsur paduan

yang diperlukan. Sumber energi panas dalam tungku ini berasal dari kokas dan gas, yang berfungsi untuk meningkatkan suhu pembakaran. Hasil peleburan dari tungku kupola ini akan diekstraksi secara berkala untuk menghilangkan besi cor cair (Endramawan dkk., 2023).

2.6.3 Tungku Besalen



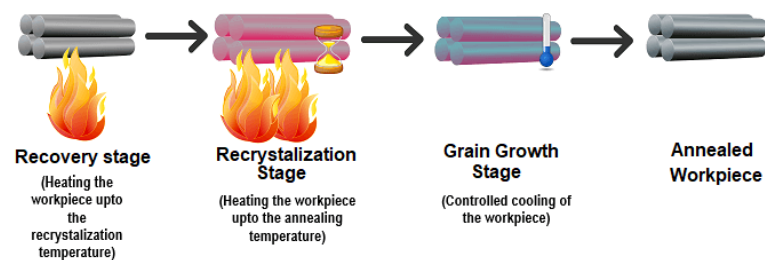
Gambar 2.12 Tungku Besalen
(Virusmetalurgi, 2020)

Tungku besalen adalah jenis peralatan pemanas yang telah digunakan selama berabad-abad, terutama pada tahap awal perkembangan industri pengecoran logam. Peralatan pemanas ini memiliki bentuk pipa yang terbuat dari bata dan dilapisi dengan tanah liat tahan api. Bahan bakar yang digunakan dalam tungku besalen adalah arang, yang ditiup dengan bantuan blower. Di sisi lain, tungku yang lebih besar memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tungku besalen. Tungku-tungku ini juga menggunakan kayu sebagai bahan bakar, tetapi blower yang digunakan dioperasikan dengan tenaga diesel (Endramawan dkk., 2023).

2.7 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas adalah proses yang melibatkan kombinasi pemanasan dan pendinginan logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mencapai sifat-sifat tertentu. Kecepatan pendinginan dan batas suhu yang diterapkan memiliki dampak yang signifikan terhadap hasil akhir. *Mikrostruktur* yang terbentuk setelah proses perlakuan panas akan mempengaruhi sifat-sifat material yang dihasilkan. Selain itu, pembentukan *mikrostruktur* ini dipengaruhi oleh komposisi kimia material, proses perlakuan panas yang dilalui, serta kondisi awal material (Saktisahdan dkk., 2019).

2.7.1 *Annealing*



Gambar 2.13 *Annealing*
(Bainitaheat, 2024)

Annealing adalah proses perlakuan panas yang diterapkan pada logam atau paduan logam. Prinsip dasar *annealing* melibatkan pemanasan baja hingga suhu di atas suhu kritisnya, diikuti dengan waktu pemanasan, dan kemudian pendinginan perlahan dalam tungku hingga mencapai suhu ruangan. Berbagai jenis *annealing* dapat diterapkan, tergantung pada kondisi benda kerja, suhu pemanasan, durasi waktu pemanasan, laju pendinginan, dan faktor lain. Tujuan dari perlakuan panas *annealing* adalah untuk meningkatkan ketangguhan dan kemudahan permesinan,

memperhalus ukuran butir, mengurangi ketidakhomogenan struktural, dan mengurangi tegangan sisa (Fathu Rohman dkk., 2014).

2.7.2 *Tempering*



Gambar 2.14 *Tempering*
(Kwoh, 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 butiran. Dalam proses ini, sifat mekanik paduan aluminium ditingkatkan dengan membentuk cacat kisi yang bertindak sebagai penghalang pergerakan dislokasi. Hasil dari proses pengerasan presipitasi adalah pembentukan cacat berupa partikel halus yang terdistribusi secara merata, yang dikenal sebagai presipitat (Berkat dkk., 2017).

2.7.3 *Quenching*

Proses pendinginan logam dibagi menjadi dua metode, yaitu metode pendinginan lambat dengan menggunakan pendingin udara dan metode pendinginan cepat yang dikenal dengan istilah *quenching*. *Quenching* adalah proses pendinginan yang dilakukan secara cepat pada paduan setelah mengalami perlakuan panas. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses *quenching* antara lain jenis media pendingin yang digunakan, kondisi proses, serta komposisi kimia dan *hardenability* dari logam. *Hardenability* adalah kemampuan logam untuk mengeras pada saat pendinginan, yang merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi logam juga mempengaruhi hasil akhir dari proses *quenching*, karena ukuran dan bentuk logam dapat mempengaruhi laju pendinginan dan distribusi tegangan pada material (Harningsih, 2020).



Gambar 2.15 *Quenching*
(Puspitasari, 2021)

Media yang biasa digunakan dalam proses ini adalah air dan minyak. Media pendingin memiliki beberapa pada suhu yang lebih rendah, di mana keretakan lebih mungkin terjadi sehingga pendinginan air biasanya terbatas pada pendinginan sederhana. Penggunaan media air menghasilkan laju pendinginan yang cepat sehingga menghasilkan kekerasan dan tegangan yang tidak merata. Oleh karena itu,

distribusi tegangan yang tidak merata menghasilkan distorsi atau titik lunak. Pendinginan dengan air pada produk baja juga dapat menyebabkan korosi, sehingga membutuhkan perawatan yang lebih cepat. Media oli memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air atau air garam. Oleh karena itu, media pendingin ini dapat mengurangi distorsi dan retakan pada produk yang didinginkan (Harningsih, 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 dkk., 2023).

2. Air

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°C (32°F) – 100°C , air berwujud

cair. Suhu 0°C merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu 100°C merupakan titik didih (*boiling point*) air. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik (Bambang dkk., 2023).

3. Oli

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 standar 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).

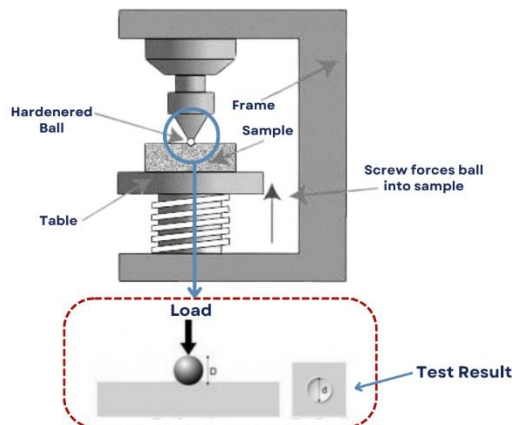
2.8 Pengertian Uji Kekerasan

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 (Nasution & Rini, 2020). Kekerasan suatu bahan (baja) dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness testers*) menggunakan tiga metode umum yang dilakukan yaitu metode:

2.8.1 Pengujian kekerasan *Brinell*

Uji kekerasan digunakan untuk menentukan kekerasan suatu material dengan mengukur energi regangan yang diberikan oleh *indentor* terhadap material yang diuji, baik itu logam maupun non-logam. Alat uji kekerasan yang direncanakan dengan strategi ini memiliki keuntungan dalam memberikan pilihan untuk menggunakan dua teknik pengujian yang berbeda. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah metode *Brinell*, yang melibatkan penggunaan bola *indentor* yang ditekan ke permukaan material untuk mengukur kedalaman atau diameter bekas lekukan. Keuntungan dari pendekatan ini adalah kemampuan untuk mendapatkan data kekerasan yang lebih komprehensif dan akurat, serta meningkatkan efisiensi dalam proses pengujian. Dengan demikian, alat uji kekerasan ini dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam penelitian dan pengembangan material (Maulana dkk., 2022).



Gambar 2.16 Uji Kekerasan *Brinell*
(Worldoftest.com, 2024)

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk mengetahui kekerasan suatu material berdasarkan ketahanan bola baja (*indenter*) yang ditekan pada permukaan material uji (spesimen). Metode uji kekerasan ini diperkenalkan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900-an dan merupakan salah satu metode uji kekerasan lekukan yang pertama kali digunakan secara luas dan telah distandarisasi. Uji kekerasan *Brinell* melibatkan pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan menggunakan *indenter* berbentuk bola. *Indenter* untuk pengujian *Brinell* tersedia dalam beberapa ukuran diameter, yaitu 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, dan 1 mm, yang semuanya merupakan ukuran bola standar internasional. Bola *indenter* yang digunakan dalam pengujian *Brinell* dapat dibuat dari dua bahan. Yang pertama adalah baja yang dikeraskan atau dilapisi dengan krom, sedangkan yang lainnya terbuat dari tungsten karbida. 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. Pemilihan bahan dan

ukuran *indentor* yang tepat sangat penting untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil uji kekerasan (Nasution & Rini, 2020).

2.8.2 Pengujian Kekerasan *Rockwell*



Gambar 2.17 Uji Kekerasan *Rockwell*
(Worldoftest.com, 2024)

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

2.8.3 Pengujian Kekerasan *Vickers*



Gambar 2.18 Uji Kekerasan *Vickers*
(Worldoftest.com, 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 & Rini, 2020).