

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Baling-Baling (*Propeller*)



Gambar 2.1 Baling-Baling
(Putrakaryalogamsukses, 2025)

Baling-baling berfungsi sebagai komponen propulsi pada kapal, salah satu jenis yang paling umum adalah baling-baling ulir. Baling-baling ini terdiri dari dua bilah atau lebih yang memanjang dari poros pusat atau bos. Bilah baling-baling dapat dicetak secara permanen menyatu dengan poros pusat, atau dirancang sebagai komponen yang dapat dilepas dan dipasang kembali pada poros pusat. Selain itu, baling-baling ini juga dapat dibuat dalam bentuk baling-baling *pitch* yang dapat dikontrol (Hendrawan, 2020).

Baling-baling memiliki bentuk yang menyerupai kipas, terdiri dari beberapa bilah yang dipasang pada poros tengah dan terhubung ke ujung poros yang berasal dari mesin utama kapal (*main engine*). Daya dorong yang dihasilkan baling-baling berasal dari gaya angkat yang bekerja pada bilah-bilah baling-baling saat berputar di dalam air. Komponen ini harus dipasang serendah mungkin di buritan kapal

untuk memastikan efisiensi maksimum dalam menghasilkan daya dorong dan meminimalkan hambatan (Utomo, 2012).

2.2 Karakteristik Baling-Baling (*Propeller*)

Baling-baling memiliki karakteristik yang mencakup rasio kekuatan terhadap beban yang tinggi, ketahanan terhadap keausan, serta ketahanan terhadap korosi yang baik (Hendrawan, 2020). Baling-baling harus cukup kuat untuk menahan gaya yang bekerja terus menerus, yang dapat menyebabkan keretakan dan pada akhirnya mengakibatkan kerusakan (Salam et dkk., 2017). Selain itu, baling-baling harus memenuhi beberapa kriteria khusus, yaitu kemampuan untuk menghasilkan daya dorong, memberikan kecepatan tinggi, mempertahankan 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*
(Charlie, 2025)

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

2.3.2 *Controllable Pitch Propeller*



Gambar 2.3 *Controllable Pitch Propellers*
(Nogva, 2025)

Di sisi lain, baling-baling *pitch* yang dapat dikontrol adalah jenis baling-baling kapal yang *stroke* daun baling-balingnya dapat diatur sesuai kebutuhan (Hendrawan, 2020). Baling-baling jenis ini lebih efisien dalam pengoperasiannya karena sudut baling-balingnya dapat diatur melalui sistem kontrol dari anjungan, baik saat kapal bergerak maju maupun mundur (Na'maikalatif, 2022).

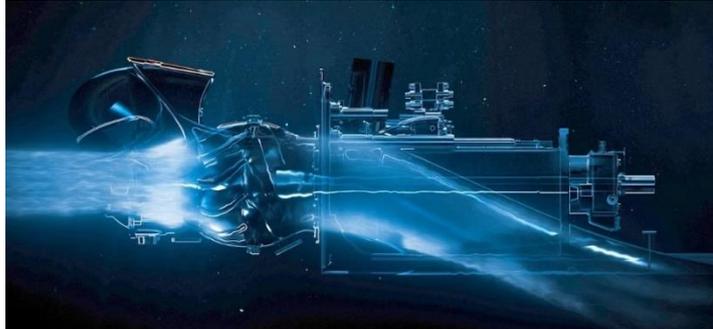
2.3.3 *Adjustable Bolted Propeller*



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

Tipe ini merupakan pengembangan dari baling-baling nada tetap, di mana daun baling-baling dapat dibuat secara terpisah dan kemudian dipasang pada sumbu baling-baling dengan menggunakan baut. Hal ini memungkinkan penyesuaian *pitch* ke nilai optimal yang diinginkan. Dengan kemampuan untuk mengganti atau menyesuaikan daun baling-baling, kapal dapat dioptimalkan untuk berbagai kondisi operasi, meningkatkan efisiensi dan kinerja secara keseluruhan. Desain ini juga memberikan fleksibilitas dalam pemeliharaan dan perbaikan, karena daun baling-baling yang aus dapat diganti tanpa harus mengganti seluruh unit baling-baling.

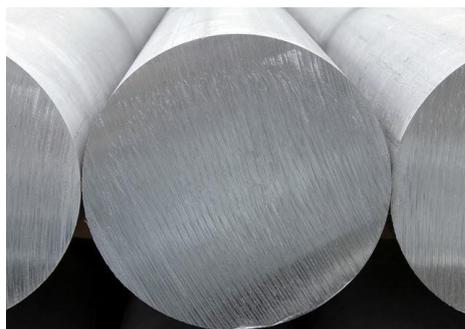
2.3.4 *Waterjets*



Gambar 2.5 *Waterjets*
(Marinelog, 2023)

Kapal ini menggunakan pompa yang menyedot air di bagian depan dan mendorongnya ke bagian belakang, sehingga kapal bergerak maju dengan prinsip momentum. Penggerak ini lebih efisien digunakan untuk kapal dengan kecepatan di atas 25 knot, dengan daya mesin mulai dari 50 KW hingga 36 MW (Hendrawan, 2020).

2.4 **Pengertian Aluminium**



Gambar 2.6 Aluminium
(Said, 2020)

Aluminium adalah elemen non-besi yang paling melimpah di bumi. Aluminium ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, dan mudah dibentuk. Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Aluminium

Wrought Alloy (lembaran) dan *Aluminium Casting Alloy* (batang cor). Aluminium murni (99,99%) memiliki berat jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$, massa jenis $2,685 \text{ kg/m}^3$, dan titik leleh 660°C . Aluminium memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi dari pada baja. Sifat tahan korosi dari aluminium diperoleh dari pembentukan lapisan aluminium oksida pada permukaan logam. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan yang stabil, dan tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya, sehingga melindungi bagian dalam aluminium dari korosi (Mariam & Ibrahim, 2020). Ada beberapa jenis Aluminium berdasarkan jenis paduannya :

2.4.1 Aluminium murni



Gambar 2.7 Aluminium Murni
(Cnchangsong, 2025)

Jenis aluminium yang memiliki tingkat kemurnian antara 99,0% hingga 99,9% biasanya dikenal sebagai aluminium murni, yang diberi nomor seri 1xxx. Aluminium pada seri ini memiliki sifat yang baik dalam hal ketahanan terhadap korosi, konduksi panas, dan konduksi listrik. Namun, salah satu kelemahan aluminium murni adalah kekuatannya yang rendah. Kegunaan dari aluminium

murni ini antara lain untuk peralatan kimia, reflektor, konduktor listrik, kapasitor, kertas kado (aluminium foil), dan aplikasi dekoratif.

2.4.2 Aluminium *Copper Alloy* (seri 2xxx)



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

Di sisi lain, aluminium seri yang mengandung tembaga berkisar antara 2-10% dapat diberi perlakuan panas, terutama yang mengandung 2,5-5% Cu. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai baja lunak, tetapi ketahanan korosinya lebih rendah dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Jenis paduan ini sering digunakan dalam konstruksi paku keling dan banyak diaplikasikan dalam industri penerbangan, seperti pada super duralumin. Karena kandungan tembaga yang rendah pada ketahanan korosinya, paduan ini biasanya dilapisi dengan aluminium murni atau paduan aluminium yang lebih tahan korosi untuk meningkatkan daya tahannya.

2.4.3 Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx)



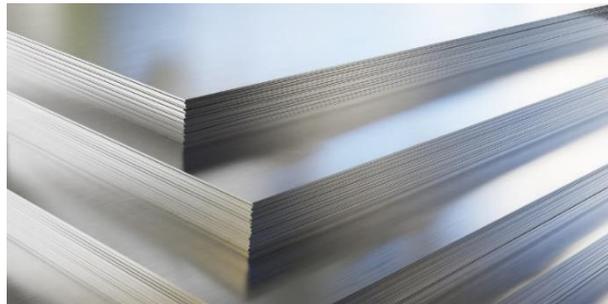
Gambar 2.9 Aluminium *Manganese Alloy*
(Smithc, 2025)

Salah satu elemen yang dapat memperkuat aluminium adalah mangan (Mn) tanpa mengurangi ketahanan terhadap korosi. Paduan aluminium yang mengandung mangan biasanya memiliki kandungan mulai dari 0,05-1,5%. Jika dibandingkan dengan aluminium murni, paduan ini memiliki sifat yang sama dalam hal ketahanan korosi, tetapi dalam hal kekuatan, mereka lebih unggul hingga 620% dibandingkan dengan aluminium murni. Penggunaan paduan aluminium dengan mangan ini meliputi kaleng makanan, peralatan memasak, penukar panas, tangki penyimpanan, furnitur, dan rambu-rambu lalu lintas.

2.4.4 Aluminium *Silikon Alloy* (seri 4xxx)

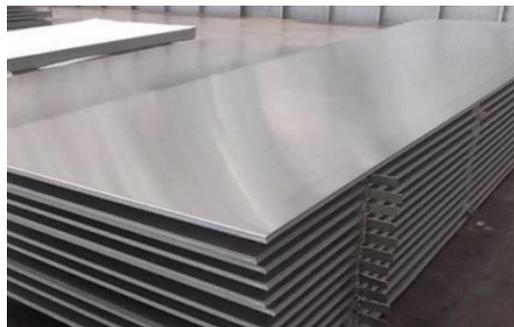
Aluminium silikon adalah paduan aluminium yang sangat baik dalam hal likuiditas, memiliki permukaan yang baik, tidak rapuh karena panas, dan cocok untuk pengecoran paduan. Aluminium jenis ini memiliki kandungan silikon berkisar antara 3,6-13,5%. Paduan aluminium silikon memiliki ketahanan panas dan listrik yang baik, ketahanan korosi yang baik, massa yang ringan, dan koefisien

muai yang kecil. Karena sifat-sifatnya tersebut, paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai logam pengisi pada pengelasan paduan aluminium, baik 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 pembuat piston.



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

2.4.5 Aluminium Magnesium *Alloy* (seri 5xxx)



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

Paduan aluminium magnesium (Al-Mg) adalah kategori paduan yang tidak dapat menjalani perlakuan panas. Meskipun demikian, paduan ini memiliki karakteristik yang unggul dalam hal ketahanan terhadap korosi, terutama terhadap korosi yang disebabkan oleh air laut. Kandungan magnesium dalam paduan ini

bervariasi antara 0,5% dan 13%. Paduan Al-Mg banyak digunakan di sektor konstruksi umum dan dalam aplikasi seperti tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair, peralatan rumah tangga, struktur rangka kendaraan, dan pembuatan kapal.

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



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

Aluminium dengan sedikit magnesium yang ditambahkan dapat mengalami peningkatan kekerasan, meskipun hal ini jarang terjadi. Di sisi lain, penambahan silikon dapat memperkuat aluminium setelah proses pelarutan. Paduan aluminium yang mengandung 0,2-1,8% silikon dan 0,35-1,5% magnesium adalah elemen paduan utama yang memiliki kekuatan relatif lebih rendah dibandingkan dengan paduan lainnya, tetapi proses penempaannya sangat baik. Salah satu paduan aluminium yang terkenal adalah paduan 6063, yang secara luas digunakan sebagai rangka konstruksi. Paduan ini memiliki kekuatan yang baik dan juga merupakan konduktor listrik yang baik. Namun, ada beberapa unsur dalam paduan ini yang harus dihindari, seperti tembaga (Cu), besi (Fe), dan mangan (Mn), karena dapat menyebabkan hambatan pada aliran listrik. Selain itu, paduan aluminium 6xxx juga

banyak digunakan pada aplikasi lain, seperti pada piston motor dan silinder panas pada mesin pembakaran, berkat sifat mekanik dan konduktivitas listriknya yang baik. Berikut komposisi aluminium 6061 dan jenis jenis aluminium pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Aluminium 6061

Unsur	Kandungan (% Berat)
Aluminium (Al)	Sisa / <i>Balance</i>
Magnesium (Mg)	0.8 – 1.2
Silikon (Si)	0.4 – 0.8
Besi (Fe)	Maks 0.7
Tembaga (Cu)	0.15 – 0.4
Mangan (Mn)	Maks 0.15
Kromium (Cr)	0.04 – 0.35
Seng (Zn)	Maks 0.25
Titanium (Ti)	Maks 0.15

Tabel 2.2 Jenis-Jenis Aluminium 6061

No	Jenis Al	Proses Perlakuan	Kekuatan Mekanik	Kemudahan Dibentuk	Aplikasi Umum
1	6061-O	<i>Full annealed</i>	Paling rendah	Sangat mudah	Pembentukan awal, fabrikasi umum
2	6061-T1	<i>Quenched</i> dari panas & didinginkan	Lebih tinggi dari O	Cukup mudah	Struktur ringan, alat bantu teknik
3	6061-T4	<i>Heat-treated</i> + <i>aging</i> alami	Sedang	Mudah dibentuk dan dilas	Rangka, bodi kendaraan, sepeda
4	6061-T5	Ekstrusi + <i>aging</i> buatan	Tinggi	Kurang mudah	Ekstrusi struktur, konstruksi ringan
5	6061-T6	<i>Heat-treated</i> + <i>aging</i> buatan	Sangat tinggi (± 290 MPa)	Cukup sulit	Rangka pesawat, otomotif, rangka truk
6	6061-T651	T6 + <i>stress relieved</i>	Sangat tinggi + stabil	Sedikit lebih kaku	Komponen presisi, part industri berat

2.4.7 Aluminium Zink Alloy (seri 7xxx)



Gambar 2.13 Aluminium *Zink Alloy*
(Chaluminium, 2023)

Jenis aluminiumnya mengandung seng (Zn) sebagai elemen paduan utama, dengan kisaran antara 0,8% dan 8,2%. Paduan aluminium dan seng ini termasuk dalam kategori yang dapat mengalami perlakuan panas. Biasanya, magnesium (Mg), tembaga (Cu), dan kromium (Cr) ditambahkan ke dalam paduan pokok Al-Zn. Kekuatan tarik yang dapat dicapai oleh paduan ini lebih dari 50 kg/mm², sehingga sering disebut sebagai ultra duralumin. Namun, meskipun paduan ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, sifat kemampuan las dan ketahanan korosinya kurang baik. Dalam beberapa tahun terakhir, paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena memiliki sifat mampu las dan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan paduan dasar Al-Zn. Paduan ini menjadi pilihan yang menarik untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap lingkungan korosif.

2.4.8 Aluminium Litium Alloy (seri 8xxx)



Gambar 2.14 Aluminium Litium Alloy
(Frabrication, 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 dalam paduan ini berkisar antara 7,5% dan 9,5%. Paduan aluminium dan litium ini masuk ke dalam kategori yang dapat mengalami perlakuan panas. Biasanya, timah juga ditambahkan sebagai elemen paduan dalam paduan ini. Paduan Al-Li banyak digunakan dalam konstruksi pesawat terbang, terutama pada aplikasi yang membutuhkan toleransi tinggi terhadap kerusakan. Keuntungan dari paduan ini adalah kombinasi antara kekuatan tinggi dan massa yang ringan, yang sangat penting dalam industri penerbangan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan kinerja pesawat. Paduan ini juga memiliki sifat ketahanan korosi yang baik, sehingga menjadi pilihan ideal untuk aplikasi yang menuntut kinerja tinggi dalam kondisi ekstrem (Jamasri, 2020).

2.5 Pengertian Kuningan



Gambar 2.15 Kuningan
(Europe Ncating, 2025)

Kuningan adalah paduan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan kadar tembaga antara 55%-95% massa. Logam kuningan dapat diperoleh dari proses pengecoran (*Foundry*). Cara pengecoran ini adalah salah satu-satunya cara yang bisa digunakan dalam industri logam kecil ataupun industri besar. Pemanfaatan logam kuningan khususnya pada industri sangat menguntungkan yang diperoleh adalah logam kuningan memiliki sifat tahan korosi. Meskipun demikian, bahan kuningan juga memiliki kekurangan salah satunya adalah biaya perawatannya yang cukup mahal (Pradana & Widyartono, 2020). Berikut jenis-jenis kuningan dan komposisinya pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis-Jenis Kuningan dan Komposisinya.

No	Jenis Kuningan	Komposisi	Struktur/ Fase	Sifat Mekanik & Fisik	Contoh Aplikasi
1	Kuningan Alfa (α)	Cu: 65–85% Zn: 15–35%	Fase α (FCC)	Lunak, ulet, mudah ditempa dingin, tahan korosi	Koin, hiasan logam, alat musik, kancing

2	Kuningan Alfa-Beta ($\alpha+\beta$)	Cu: 55–65% Zn: 35–45%	Campuran $\alpha + \beta$	Lebih keras, lebih kuat dari α , dikerjakan panas	Komponen mekanik, <i>fitting</i> pipa, roda gigi
3	Kuningan Beta (β)	Cu: 50–55% Zn: 45–50%	Fase β (BCC)	Sangat keras dan kuat, rapuh pada suhu rendah	Komponen struktural berat, mur, poros
4	Kuningan Timbal	Cu: ~60% Zn: ~37% Pb: 1–3%	α atau $\alpha+\beta$ + partikel Pb	Mudah dibubut, sedikit menurunkan kekuatan	Bantalan, <i>valve</i> , <i>fitting</i> , komponen CNC
5	Kuningan Khusus	Cu + Zn + elemen tambahan: • Sn: 0,5–2% • Ni: 10–20% • Al: 1–2%	Variatif	Tahan korosi tinggi, beberapa memiliki warna estetik	Baling-baling kapal, gagang alat makan, <i>heat exchanger</i>

2.6 Pengertian *Quenching*

Proses pendinginan dapat dikategorikan menjadi dua metode, yaitu metode pendinginan lambat dengan menggunakan air (*water cooling*) 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 yang bersangkutan. Kemampuan pengerasan itu sendiri merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada suhu tertentu. Selain itu, dimensi logam juga memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap hasil proses *quenching*.



Gambar 2.16 *Quenching*
(Aluminum, 2024)

Media yang umum digunakan dalam proses pendinginan ini adalah air dan oli. Media pendingin memiliki beberapa karakteristik pada temperatur yang lebih rendah, di mana kemungkinan terjadinya retakan meningkat, sehingga penggunaan air untuk pendinginan biasanya terbatas pada aplikasi pendinginan yang sederhana. Penggunaan air sebagai media pendingin menghasilkan laju pendinginan yang cepat, yang dapat menyebabkan perbedaan kekerasan dan tegangan yang tidak merata. Akibatnya, distribusi tegangan yang tidak seimbang dapat mengakibatkan distorsi atau pembentukan titik lunak. Selain itu, pendinginan air pada produk baja dapat memicu korosi, sehingga membutuhkan perawatan yang lebih cepat. Di sisi lain, media oli memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air atau air garam. Oleh karena itu, penggunaan media oli dapat mengurangi risiko distorsi dan retakan akibat proses pendinginan (Wani dkk., 2022).

2.6.1 Udara

Udara merupakan salah satu media pendingin yang digunakan dalam proses pengecoran logam, terutama sebagai media pendingin alami. Dalam konteks ini, udara berfungsi sebagai (konduktor) yang menyerap panas dari logam cair atau

logam tuang, sehingga suhunya menurun secara bertahap hingga mencapai suhu yang diinginkan. Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat, yang penting untuk menghindari retakan atau deformasi pada logam. Proses ini memungkinkan struktur mikro logam terbentuk dengan baik, sehingga meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap keausan. Dengan menggunakan udara sebagai media pendingin, proses pengecoran dapat dilakukan dengan lebih efisien dan aman (Hafid, 2023).

2.6.2 Air



Gambar 2.17 Air
(Pennyu, 2025)

Pendinginan air dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya, garam dapur dilarutkan ke dalam air sebagai upaya untuk mempercepat penurunan temperatur benda kerja dan menyebabkan material menjadi keras. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lainnya. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut: pada rentang suhu yang sesuai untuk kehidupan, yaitu 0°C (32°F) hingga 100°C , air berwujud cair. 0°C adalah titik beku dan 100°C adalah titik didih air. Perubahan suhu air berlangsung lambat, sehingga air memiliki sifat penyimpanan panas yang

sangat baik. Sifat ini menjadikan air sebagai media pendingin yang efektif dalam berbagai proses industri, termasuk dalam pengecoran logam, di mana kontrol suhu yang tepat sangat penting untuk mencapai kualitas material yang diinginkan (Hafid, 2023).

2.6.3 Oli SAE 40



Gambar 2.18 Oli
(Wuling, 2025)

Oli atau minyak sebagai media pendingin memiliki sifat yang lebih lembut jika dibandingkan dengan air. Oli digunakan pada material yang kritis, seperti material yang memiliki bagian yang tipis atau ujung yang tajam. Umumnya oli terdiri dari 90% minyak dasar dan 10% zat aditif. Pada sistem penggerak, ketika mesin dihidupkan, pergerakan mesin akan menyebabkan gesekan pada logam, yang dapat mengakibatkan pelepasan partikel dari peristiwa tersebut. Kekentalan dan kualitas oli diklasifikasikan berdasarkan standar SAE (*The Society of Automotive Engineers*). Huruf “W” dalam klasifikasi ini adalah singkatan dari “*winter*”, yang menunjukkan bahwa oli dapat mengalir dengan baik pada temperatur rendah. Sebagai contoh, pada oli *multigrade* SAE 10W-40, oli ini memiliki kemampuan mengalir yang baik pada suhu hingga 10°C, dan memiliki viskositas yang sama

dengan oli SAE 40 pada suhu 100°C. Dengan demikian, oli *multigrade* memberikan fleksibilitas yang lebih baik dalam berbagai kondisi temperatur, memastikan pelumasan yang efektif dan perlindungan komponen mesin (Aprialdi, 2023).

2.7 Pengertian Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik yang penting dalam pengujian material, yang didefinisikan sebagai ketahanan suatu material (benda kerja) terhadap penetrasi atau daya tembus material lain yang lebih keras (*penetrator*). Sifat kekerasan ini secara signifikan dipengaruhi oleh komposisi elemen paduan yang terkandung dalam material. Selain itu, kekerasan suatu material dapat berubah ketika proses pengerjaan dingin diterapkan, seperti pengerolan, penarikan, dan ekstrusi. Untuk mencapai tingkat kekerasan yang diinginkan, perlakuan panas juga dapat diterapkan. Pengujian kekerasan pada material, seperti baja, dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan melalui tiga metode yang umum digunakan, yaitu metode *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers* (Nasution & Nasution, 2020).

2.7.1 Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*



Gambar 2.19 Uji Kekerasan *Brinell*
(Sistemmonitoring, 2025)

Uji kekerasan dilakukan untuk mengukur tingkat kekerasan suatu material berdasarkan energi regangan yang diberikan oleh indenter pada material yang diuji, baik itu logam maupun non-logam. Alat uji kekerasan yang dirancang dengan pendekatan ini memberikan keuntungan karena dapat menerapkan dua teknik pengujian, khususnya teknik *Brinell*. Dalam konteks fasilitas penelitian, alat ini dilengkapi dengan susunan *indenter* yang memungkinkan pengguna untuk memilih di antara kedua teknik tersebut sesuai dengan kebutuhan pengujian (Maulana dkk., 2022).

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Brinell* bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu material melalui ketahanan bola baja (*indenter*) yang ditekan pada permukaan spesimen yang diuji. Metode uji kekerasan ini diperkenalkan oleh J.A. *Brinell* pada awal abad ke-20 dan merupakan salah satu metode pengujian kekerasan lekukan yang pertama kali diaplikasikan secara luas dengan standar yang terstruktur. Proses pengujian kekerasan melibatkan pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan menggunakan *indenter*

berbentuk bola. *Indentor* untuk pengujian *Brinell* tersedia dalam beberapa ukuran, yaitu dengan diameter 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, dan 1 mm, yang kesemuanya merupakan ukuran bola yang terstandardisasi secara internasional. Bola *Brinell* yang sesuai dengan standar internasional ini dapat dibuat dari dua jenis bahan, yaitu baja yang dikeraskan atau dilapisi krom dan tungsten karbida (Nasution & Nasution, 2020).

2.7.2 Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*



Gambar 2.20 Uji Kekerasan *Rockwell*
(123dok, 2025)

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* menggunakan *indentor*, yang dapat berupa bola baja yang dikeraskan atau kerucut berlian. Beban atau gaya yang diberikan dalam proses penekanan bervariasi, tergantung pada jenis logam yang diuji. Nilai kekerasan yang diperoleh berdasarkan kedalaman lekukan yang terbentuk selama pengujian (Nasution & Nasution, 2020).

2.7.3 Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*



Gambar 2.21 Uji Kekerasan *Vickers*
(News, 2025)

Prinsip pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* mirip dengan metode *Brinell*. *Indentor* yang digunakan dalam uji *Vickers* adalah piramida intan dengan sudut 136° . Aplikasi metode ini sangat luas, termasuk untuk menguji logam dengan nilai *Vickers* yang tinggi, mencapai sekitar 1500 HV, pada material yang sangat keras (Nasution & Nasution, 2020).