

PEMERINTAH PROVINSI KEPULAUAN RIAU
DINAS PENDIDIKAN

SMK NEGERI 5 TANJUNGPINANG

Kompetensi Keahlian: Teknika Kapal Niaga

BUKU TEKS

ILMU BAHAN

Fabrication and Repair Materials

Oleh:

JOKO DARMONO, ST

NIP 197305312022211003

Metalurgi, Baja, Heat Treatment, Bahan Non-Metallik & Pelumas

TANJUNGPINANG

2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku teks berjudul "Ilmu Bahan (Fabrication and Repair Materials)" ini dapat diselesaikan. Buku ini disusun sebagai bahan ajar utama bagi peserta didik Kompetensi Keahlian Teknik Kapal Niaga di SMK Negeri 5 Tanjungpinang pada tahun 2026.

Ilmu bahan merupakan pondasi penting bagi setiap perwira teknik kapal. Pemilihan material yang tepat, pemahaman terhadap sifat-sifat bahan, serta pengetahuan tentang proses perlakuan panas (heat treatment) menentukan keberhasilan dalam fabrikasi, perbaikan, dan perawatan komponen permesinan kapal. Kesalahan dalam memahami sifat bahan dapat menyebabkan kegagalan komponen yang berpotensi mengancam keselamatan kapal.

Buku ini mencakup delapan topik utama: (1) Pengantar Ilmu Bahan di Kapal, (2) Dasar Metalurgi, (3) Jenis-Jenis Baja, (4) Baja Paduan dan Logam Non-Ferrous, (5) Heat Treatment (Perlakuan Panas), (6) Bahan Non-Metallik, (7) Bahan Pengasah (Abrasive), serta (8) Bahan Pelumas (Lubricants). Setiap bab dilengkapi teori, tabel referensi, contoh aplikasi di kapal, dan latihan soal.

Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan edisi berikutnya. Semoga buku ini bermanfaat bagi peserta didik dan seluruh insan maritim Indonesia.

Tanjungpinang, 2026
Penulis,

Joko Darmono, ST
NIP 197305312022211003

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	v
BAB I — PENGANTAR ILMU BAHAN DI KAPAL	1
1.1 Definisi dan Peran Ilmu Bahan	1
1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai	2
1.3 Klasifikasi Material di Kapal	3
BAB II — DASAR METALURGI	6
2.1 Struktur Kristal Logam	6
2.2 Diagram Fasa Besi-Karbon (Fe-C)	9
2.3 Sifat Mekanik Logam	12
2.4 Pengujian Mekanik Logam	15
2.5 Rangkuman & Latihan Bab II	17
BAB III — JENIS-JENIS BAJA	20
3.1 Besi Tuang (Cast Iron)	20
3.2 Baja Karbon Rendah, Sedang, dan Tinggi	23
3.3 Baja Struktural untuk Konstruksi Kapal	26
3.4 Rangkuman & Latihan Bab III	28
BAB IV — BAJA PADUAN DAN LOGAM NON-FERROUS	31
4.1 Baja Paduan (Alloy Steel)	31
4.2 Baja Tahan Karat (Stainless Steel)	34
4.3 Tembaga dan Paduannya (Bronze & Brass)	36
4.4 Aluminium dan Paduannya	38
4.5 Rangkuman & Latihan Bab IV	40
BAB V — HEAT TREATMENT (PERLAKUAN PANAS)	43
5.1 Prinsip Dasar Perlakuan Panas	43
5.2 Annealing, Normalizing, dan Hardening	46
5.3 Tempering dan Case Hardening	49
5.4 Aplikasi Heat Treatment pada Komponen Kapal	52
5.5 Rangkuman & Latihan Bab V	54
BAB VI — BAHAN NON-METALLIK	57
6.1 Polimer dan Plastik di Kapal	57
6.2 Karet (Elastomer) dan Sealant	60
6.3 Komposit (FRP/GRP) dan Keramik	62
6.4 Bahan Insulasi dan Tahan Api	65
6.5 Rangkuman & Latihan Bab VI	67
BAB VII — BAHAN PENGASAH (ABRASIVE MATERIALS)	70

7.1 Prinsip Kerja Bahan Pengasah	70
7.2 Jenis-Jenis Bahan Pengasah	72
7.3 Alat Pengasah dan Prosedur Penggunaan	75
7.4 Rangkuman & Latihan Bab VII	77
BAB VIII — BAHAN PELUMAS (LUBRICANTS)	80
8.1 Fungsi dan Sifat Pelumas	80
8.2 Jenis-Jenis Pelumas	83
8.3 Klasifikasi dan Standar Pelumas Internasional	86
8.4 Pemilihan dan Perawatan Pelumas di Kapal	88
8.5 Rangkuman & Latihan Bab VIII	91
Daftar Pustaka	94
Glosarium	96

BAB I — PENGANTAR ILMU BAHAN DI KAPAL

1.1 Definisi dan Peran Ilmu Bahan

Ilmu bahan (material science atau material engineering) adalah cabang ilmu yang mempelajari sifat-sifat fisik, mekanik, kimia, dan termal dari berbagai material, serta hubungan antara struktur internal material dengan sifat-sifat yang dimilikinya. Pemahaman ilmu bahan memungkinkan pemilihan material yang tepat untuk setiap aplikasi teknik.

Di kapal, pemilihan material yang tepat merupakan faktor kritis dalam: ketahanan terhadap korosi air laut, kemampuan menahan tekanan dan suhu operasional tinggi, kemudahan fabrikasi dan reparasi, serta efisiensi biaya perawatan kapal selama masa operasinya. Kegagalan material pada komponen kritis (poros propeller, cylinder liner, valve, pipa bertekanan) dapat menyebabkan kerusakan mesin, tumpahan minyak, atau bahkan tenggelamnya kapal.

Contoh Dampak Pemilihan Material yang Salah di Kapal

- Pipa air laut dari baja karbon biasa → korosi cepat dalam 6-12 bulan, kebocoran, kontaminasi sistem pendingin
- Valve seat dari material terlalu lunak → keausan cepat, kebocoran valve, tidak dapat mempertahankan tekanan
- Baut dari baja karbon (bukan stainless) di area basah dek → korosi galvanik, baut macet, sulit dibongkar saat maintenance
- Bearing tanpa pelumas yang sesuai → keausan cepat, kerusakan poros, overhaul lebih awal

1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai

1. Menjelaskan dasar metalurgi: struktur kristal logam, diagram fasa Fe-C, dan sifat mekanik logam.
2. Mengidentifikasi dan menjelaskan sifat-sifat jenis besi tuang dan baja karbon yang digunakan di kapal.
3. Menjelaskan sifat dan aplikasi baja paduan, baja stainless, dan logam non-ferrous (tembaga, aluminium) di kapal.
4. Menjelaskan prinsip dan prosedur heat treatment (annealing, normalizing, hardening, tempering, case hardening).
5. Mengidentifikasi dan menjelaskan sifat bahan non-metallik (polimer, karet, komposit, insulasi) yang digunakan di kapal.
6. Menjelaskan jenis dan penggunaan bahan pengasah (abrasive) yang benar dalam perawatan komponen kapal.
7. Menjelaskan fungsi, jenis, klasifikasi, dan pemilihan pelumas yang tepat untuk sistem permesinan kapal.

1.3 Klasifikasi Material di Kapal

Kategori Material	Sub-Kategori	Contoh Aplikasi di Kapal
LOGAM FERROUS	Besi tuang (cast iron)	Cylinder liner, valve body, housing pompa
LOGAM FERROUS	Baja karbon	Lambung kapal, konstruksi geladak, tangki
LOGAM FERROUS	Baja paduan (alloy steel)	Poros propeller, roda gigi, crankshaft
LOGAM FERROUS	Baja tahan karat (stainless)	Pipa air laut, fitting deck, peralatan dapur
LOGAM NON-FERROUS	Tembaga & paduan (bronze/brass)	Propeller, bush bearing, fitting pipa
LOGAM NON-FERROUS	Aluminium & paduan	Superstructure kapal feri, tangki aluminum
NON-METALLIK	Polimer/Plastik	Pipa PVC, isolasi kabel, komponen ringan
NON-METALLIK	Karet/Elastomer	Gasket, seal, fender, mounting antivibrasi
NON-METALLIK	Komposit (FRP/GRP)	Badan kapal kecil, kapal patroli, lifeboat
NON-METALLIK	Keramik & bahan refraktori	Pelapis tungku, isolasi termal suhu tinggi

BAB II — DASAR METALURGI

Metalurgi adalah ilmu yang mempelajari logam: cara mengekstraksinya dari bijih, cara memurnikannya, cara membentuknya, serta hubungan antara struktur internal logam dengan sifat-sifatnya. Pemahaman metalurgi dasar membantu perwira teknik kapal memahami mengapa suatu material berperilaku tertentu dalam kondisi operasional kapal.

2.1 Struktur Kristal Logam

Logam tersusun dari atom-atom yang tersusun dalam pola berulang dan teratur yang disebut KISI KRISTAL (crystal lattice). Jenis kisi kristal menentukan sifat-sifat fisik dan mekanik logam.

Struktur Kristal	Singkatan	Ciri Khas	Contoh Logam
Body-Centered Cubic	BCC	Atom di pusat kubus + 8 sudut; kurang padat, lebih keras	Besi- α (ferrite), kromium, tungsten, molibdenum
Face-Centered Cubic	FCC	Atom di 6 muka kubus + 8 sudut; lebih padat, lebih ulet	Aluminium, tembaga, nikel, perak, emas, besi- γ (austenite)
Hexagonal Close-Packed	HCP	Atom tersusun heksagonal; paling padat, kurang ulet	Seng, titanium, magnesium, kobalt

Butir (Grain) dan Batas Butir (Grain Boundary)

Dalam logam nyata, kisi kristal tidak membentuk satu kristal tunggal yang sempurna, melainkan tersusun dari jutaan butir (grain) kecil yang masing-masing memiliki orientasi kisi yang berbeda. Pertemuan antara dua butir disebut batas butir (grain boundary).

Ukuran Butir dan Sifat Mekanik

Ukuran butir sangat mempengaruhi sifat mekanik logam:

- **BUTIR KECIL** (fine grain): kekuatan dan kekerasan lebih tinggi, ketangguhan lebih baik, lebih tahan kelelahan (fatigue). Ideal untuk komponen yang menerima beban dinamis (shaft, connecting rod).
- **BUTIR BESAR** (coarse grain): keuletan lebih baik, lebih mudah dibentuk. Kelemahan: kekuatan dan kekerasan lebih rendah.

Prinsip Hall-Petch: Kekuatan luluh (yield strength) berbanding terbalik dengan akar kuadrat ukuran butir — semakin kecil butir, semakin tinggi kekuatan.

Cacat Kristal (Crystal Defects)

Kisi kristal logam nyata selalu memiliki cacat, dan paradoksnya, cacat inilah yang memungkinkan logam memiliki sifat tertentu:

- Dislokasi (Dislocation): Cacat garis dalam kisi kristal yang memungkinkan deformasi plastis (logam bisa dibentuk tanpa patah). Mekanisme pergeseran dislokasi yang memerlukan gaya lebih besar adalah dasar dari pengerasan logam (work hardening).
- Vacancy (Kekosongan): Tempat kosong dalam kisi kristal; berperan dalam proses difusi (penting untuk heat treatment).
- Impurity Atoms: Atom asing dalam kisi, baik pada posisi substitusi (menggantikan atom logam) atau interstisi (di antara atom logam) — inilah dasar pembentukan paduan logam.

2.2 Diagram Fasa Besi-Karbon (Fe-C)

Diagram fasa Fe-C (iron-carbon phase diagram) adalah peta yang menunjukkan fasa atau struktur mikro yang stabil pada berbagai kombinasi komposisi karbon dan suhu. Diagram ini merupakan referensi utama dalam memahami baja dan perlakuan panasnya.

Fasa-Fasa dalam Sistem Fe-C

Fasa/Struktur	Komposisi	Sifat	Suhu Stabil
Ferrite (α)	Fe + C maks 0,02%	Lunak, ulet, magnetik	Di bawah 727°C
Austenite (γ)	Fe + C maks 2,14%	Tidak magnetik, kuat, ulet	727-1493°C
Cementite (Fe_3C)	Fe_3C (6,7% C)	Sangat keras, getas	Semua suhu (senyawa tetap)
Pearlite	0,77% C (eutektoid)	Ferrite + cementite berlapis (lamellar) — kekuatan sedang	Di bawah 727°C
Martensite	Bervariasi	Sangat keras, getas — hasil quenching austenite	Hasil transformasi cepat
Bainite	Bervariasi	Lebih keras dari pearlite, lebih ulet dari martensite	Hasil pendinginan terkontrol

Titik Kritis dalam Diagram Fe-C

Titik-titik penting yang harus diingat:

- A1 = 727°C: Temperatur eutektoid — suhu di mana pearlite $\leftrightarrow$ austenite (baja karbon sederhana)
- A3 = 723-910°C (bervariasi dengan kadar C): Batas full austenitization pada baja hipoeutektoid
- Eutektoid Point: 0,77% C, 727°C — baja pearlite murni
- Eutectic Point: 4,3% C, 1148°C — besi tuang eutektik
- Kadar C $\leq$ 2,14% = BAJA; Kadar C $>$ 2,14% = BESI TUANG (cast iron)

2.3 Sifat Mekanik Logam

Sifat mekanik menunjukkan kemampuan material dalam merespons gaya atau beban mekanik yang diberikan. Pemilihan material untuk komponen kapal harus mempertimbangkan kombinasi sifat mekanik yang sesuai dengan kondisi pembebanan yang dihadapi.

Sifat Mekanik	Definisi	Satuan	Relevansi di Kapal
Kekuatan Tarik (Tensile Strength)	Tegangan maksimum yang dapat ditahan sebelum patah	MPa / N/mm ²	Lambung kapal, konstruksi, komponen bertekanan
Kekuatan Luluh (Yield Strength)	Tegangan di mana deformasi plastis mulai terjadi (batas elastik)	MPa	Menentukan batas desain aman komponen struktural
Keuletan (Ductility)	Kemampuan berdeformasi plastis sebelum patah (% elongasi atau % reduksi area)	% elongasi	Memungkinkan fabrikasi (bending, drawing, forming)
Kekerasan (Hardness)	Ketahanan permukaan terhadap indentasi/penetrasi (Brinell/HB, Vickers/HV, Rockwell/HR)	HB, HV, HRC	Ketahanan terhadap keausan pada bearing, liner, gear
Ketangguhan (Toughness)	Kemampuan menyerap energi sebelum patah (area di bawah kurva stress-strain)	J/m ² atau J/cm ²	Komponen yang menerima impact/kejutan: crankshaft, poros
Kelelahan (Fatigue Strength)	Kekuatan di bawah beban siklik berulang tanpa patah	MPa (pada N siklus tertentu)	Poros propeller, crankshaft, connecting rod — beban bolak-balik
Creep	Deformasi lambat-lambat di bawah beban konstan pada suhu tinggi	% per jam	Komponen boiler, valve body, pipa uap suhu tinggi

2.4 Pengujian Mekanik Logam

A. Uji Tarik (Tensile Test)

Spesimen logam ditarik dengan kecepatan konstan hingga patah. Dari uji tarik diperoleh: kekuatan tarik (UTS), kekuatan luluh (YS), perpanjangan (elongation), dan reduksi penampang (reduction of area). Uji tarik adalah uji mekanik paling fundamental dan banyak digunakan dalam standar material kapal (BKI, ABS, Lloyd's).

$$\sigma = F / A_0 \quad | \quad \varepsilon = (\Delta L / L_0) \times 100\%$$

σ = Tegangan (MPa) | F = Gaya (N) | A_0 = Luas penampang awal (mm²)
 ε = Regangan (%) | ΔL = Perubahan panjang (mm) |
 L_0 = Panjang awal (mm)

B. Uji Kekerasan

Metode	Indentor	Beban	Rumus HB	Aplikasi
Brinell (HB)	Bola baja/karbida Ø 10mm	500/1000/3000 kg	$HB = 2P / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}))$	Baja lunak, besi tuang; tidak untuk material sangat keras
Vickers (HV)	Piramida intan (136°)	1-120 kg	$HV = 1,854P/d^2$	Universal — dapat untuk lunak hingga sangat keras, coating
Rockwell (HRC/HRB)	Kerucut intan atau bola baja	60/100/150 kg	Langsung dibaca dari dial/display	Cepat, banyak skala — HRC untuk baja keras, HRB untuk lunak

C. Uji Impak (Charpy/Izod Test)

Uji impak mengukur energi yang diserap material saat patah akibat beban kejut/impak. Hasil uji impak (dalam Joule) menunjukkan KETANGGUHAN material. Sangat penting untuk mengevaluasi material yang akan digunakan di lingkungan suhu rendah (kapal di perairan dingin/arktik) karena logam dapat mengalami transisi dari ulet menjadi getas di bawah suhu tertentu (DBTT — Ductile-to-Brittle Transition Temperature).

Contoh Soal Tegangan dan Regangan

Sebuah spesimen baja untuk lambung kapal memiliki penampang 10 mm × 10 mm. Pada uji tarik, beban maksimum sebelum patah adalah 50.000 N. Panjang awal 50 mm, panjang

setelah patah 60 mm. Hitung UTS dan elongasi! $A_0 = 10 \times 10 = 100 \text{ mm}^2$ $UTS = F/A_0 = 50.000/100 = 500 \text{ MPa} = 500 \text{ N/mm}^2$ Elongasi = $(\Delta L/L_0) \times 100\% = (10/50) \times 100\% = 20\%$

SOAL LATIHAN BAB II

A. Pilihan Ganda

8. Struktur kristal yang paling umum pada tembaga dan aluminium (lebih padat, lebih ulet) adalah... a. BCC b. FCC c. HCP d. FCC dan HCP
9. Fasa besi yang bersifat tidak magnetik dan stabil pada suhu tinggi (727-1493°C) disebut... a. Ferrite b. Cementite c. Austenite d. Martensite
10. Batas kadar karbon antara baja dan besi tuang dalam diagram Fe-C adalah... a. 0,77% b. 1,0% c. 2,14% d. 4,3%

B. Soal Uraian

11. Jelaskan perbedaan struktur kristal BCC, FCC, dan HCP beserta contoh logam masing-masing!
12. Jelaskan bagaimana ukuran butir mempengaruhi sifat mekanik logam (gunakan prinsip Hall-Petch)!
13. Sebuah batang baja memiliki diameter 20 mm. Pada uji tarik, beban patah 120 kN, panjang awal 100 mm, panjang patah 115 mm. Hitunglah UTS dan elongasi!
14. Jelaskan perbedaan antara uji kekerasan Brinell, Vickers, dan Rockwell!

BAB III — JENIS-JENIS BAJA

Baja dan besi tuang merupakan material logam ferrous (berbasis besi) yang paling banyak digunakan dalam konstruksi dan permesinan kapal. Bab ini membahas jenis-jenis material ferrous dari segi komposisi karbon, struktur mikro, dan aplikasinya.

3.1 Besi Tuang (Cast Iron)

Besi tuang (cast iron) adalah paduan besi-karbon dengan kadar karbon lebih dari 2,14% (umumnya 2,5-4,0%) ditambah silikon (1-3%). Besi tuang memiliki titik leleh lebih rendah dari baja, mudah dicor, dan relatif murah, namun bersifat rapuh (getas).

Jenis Besi Tuang	Kadar C	Bentuk Karbon	Sifat Utama	Aplikasi di Kapal
Besi Tuang Kelabu (Gray CI)	2,5-4,0%	Grafit serpihan (flake)	Getas, kekuatan tarik rendah, tahan korosi, peredaman vibrasi baik	Cylinder liner, valve body, housing pompa, blok mesin
Besi Tuang Putih (White CI)	2,5-4,0%	Cementite (Fe_3C)	Sangat keras, sangat getas	Lapisan permukaan aus, intermediate dalam proses malleable CI
Besi Tuang Nodular (Ductile/SG CI)	2,5-4,0%	Grafit bulat/nodular	Lebih ulet dari gray CI, kekuatan tinggi	Crankshaft, piston, exhaust manifold kapal
Besi Tuang Mampu Tempa (Malleable CI)	2,0-2,8%	Temper carbon (nodular)	Ulet, dapat dibentuk (cold-worked)	Fitting, klem pipa, komponen ringan

Mengapa Cylinder Liner Dibuat dari Besi Tuang Kelabu?

Besi tuang kelabu (gray cast iron) dipilih untuk cylinder liner karena beberapa alasan teknis:

- Serpihan grafit berfungsi sebagai KANTONG PELUMAS — mempertahankan lapisan film oli antara liner dan piston ring
- KEMAMPUAN PEREDAMAN VIBRASI yang tinggi — grafit

menyerap getaran dari proses pembakaran • TAHAN KEAUSAN yang baik untuk gerakan sliding antara piston ring dan liner • MUDAH DICOR dalam bentuk silinder kompleks dengan presisi dimensi • Relatif murah dan tersedia dalam berbagai ukuran

3.2 Baja Karbon Rendah, Sedang, dan Tinggi

Baja karbon adalah paduan besi-karbon dengan kadar C $\leq 2,14\%$, di mana karbon merupakan elemen paduan utama. Sifat mekanik baja sangat dipengaruhi oleh kadar karbon.

Jenis	Kadar C	Sifat Utama	Kegunaan di Kapal
Baja Karbon Sangat Rendah (Low Carbon Steel / Mild Steel)	< 0,15%	Sangat lunak dan ulet, mudah dikerjakan (las, bending, forming)	Lambung kapal, geladak, pelat tangki, pipa (bukan bertekanan tinggi)
Baja Karbon Rendah	0,15-0,30%	Kekuatan sedang, ulet, mudah dilas	Konstruksi lambung utama (Grade A/B/D/E per klasifikasi), profil struktural
Baja Karbon Sedang (Medium Carbon Steel)	0,30-0,60%	Kekuatan dan kekerasan lebih tinggi, ketangguhan menurun sedikit	Poros, roda gigi, connecting rod, komponen mesin yang menerima beban
Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)	0,60-1,40%	Sangat keras, rapuh, sulit dilas	Pegas, rel, pisau pemotong, alat perkakas, kawat baja kekuatan tinggi

Pengaruh Kadar Karbon pada Sifat Baja

Sebagai aturan umum: • Kadar C naik → Kekerasan & kekuatan tarik NAIK • Kadar C naik → Keuletan & ketangguhan TURUN • Kadar C naik → Kemampuan las (weldability) MENURUN • Kadar C > 0,30% memerlukan preheat sebelum pengelasan untuk mencegah retak hidrogen (hydrogen cracking)

3.3 Baja Struktural untuk Konstruksi Kapal

Lambung kapal dan struktur utama lainnya dibuat dari baja struktural yang telah memenuhi standar klasifikasi kapal (BKI, DNV, Lloyd's, ABS). Baja struktural kapal diklasifikasikan berdasarkan kekuatan luluh minimum dan ketangguhan pada suhu rendah.

Grade Baja	Kekuatan Luluh Min.	Uji Impak	Aplikasi
Grade A (Normal Strength Steel)	235 MPa	Tidak diwajibkan (untuk ketebalan tertentu)	Konstruksi umum, daerah suhu relatif hangat
Grade B	235 MPa	0°C	Konstruksi umum dengan perbaikan ketangguhan
Grade D	235 MPa	-20°C	Daerah suhu sedang, konstruksi kritis
Grade E	235 MPa	-40°C	Daerah dingin, konstruksi kritis
Grade AH/DH/EH/FH (High Strength)	315-390 MPa	-20°C hingga -60°C	Kapal kutub, kapal kargo besar, FPSO — memungkinkan pelat lebih tipis untuk berat sama

SOAL LATIHAN BAB III

A. Pilihan Ganda

15. Jenis besi tuang yang digunakan untuk cylinder liner karena grafit berbentuk serpihan yang menjadi kantong pelumas adalah... a. Besi tuang putih b. Besi tuang nodular c. Besi tuang kelabu d. Besi tuang mampu tempa
16. Baja karbon yang paling mudah dilas dan cocok untuk pelat lambung kapal adalah... a. Baja karbon tinggi (0,8% C) b. Baja karbon sedang (0,4% C) c. Baja karbon rendah (0,2% C) d. Besi tuang

B. Soal Uraian

17. Jelaskan mengapa cylinder liner dibuat dari besi tuang kelabu (gray cast iron) — sebutkan semua alasan teknisnya!
18. Jelaskan bagaimana kadar karbon mempengaruhi: (a) kekerasan, (b) keuletan, (c) kemampuan las pada baja!
19. Jelaskan perbedaan Grade A, D, dan E pada baja struktural kapal dari segi ketangguhan dan aplikasinya!
20. Mengapa baja karbon tinggi sulit dilas? Langkah apa yang harus dilakukan jika harus mengelas baja karbon tinggi?

BAB IV — BAJA PADUAN DAN LOGAM NON-FERROUS

4.1 Baja Paduan (Alloy Steel)

Baja paduan adalah baja yang mengandung satu atau lebih elemen paduan selain karbon (seperti nikel, kromium, molibdenum, vanadium, mangan) dalam jumlah yang cukup untuk mengubah sifat mekaniknya secara signifikan.

Elemen Paduan	Simbol	Pengaruh Utama pada Baja
Nikel	Ni	Meningkatkan ketangguhan dan kekuatan, menurunkan DBTT, tidak mengurangi keuletan
Kromium	Cr	Meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi, meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus
Molibdenum	Mo	Meningkatkan kekuatan pada suhu tinggi (creep strength), mencegah temper brittleness
Vanadium	V	Menyempurnakan butir (grain refiner), meningkatkan ketangguhan dan kekuatan
Mangan	Mn	Meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi kegetasan akibat sulfur
Silikon	Si	Meningkatkan kekuatan dan kekerasan (sebagai deoksidizer saat pembuatan baja)
Tungsten	W	Meningkatkan kekerasan pada suhu tinggi, ketahanan aus tinggi — untuk alat potong (HSS)

Tipe Baja Paduan	Komposisi Tipikal	Sifat	Aplikasi di Kapal
Baja Nikel-Krom	Ni: 1-4%, Cr: 0,5-2%	Kekuatan tinggi + ketangguhan	Poros propeller, crankshaft, roda gigi kritis
Baja Krom-Molibdenum	Cr: 0,5-1,5%, Mo: 0,1-0,5%	Kekuatan suhu tinggi, kelelahan baik	Poros, boiler pipe, valve stem suhu tinggi
High Speed Steel (HSS)	W: 18%, Cr: 4%, V: 1%	Sangat keras, tahan panas hingga 600°C	Mata bor, pahat, alat potong di kapal

4.2 Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Baja tahan karat (stainless steel) mengandung minimum 10,5% kromium (Cr). Kromium bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan oksida kromium (Cr_2O_3) yang tipis, transparan, dan melekat kuat pada permukaan — lapisan inilah yang mencegah korosi lebih lanjut (self-healing/passivation).

Tipe SS	Struktur Mikro	Komposisi Tipikal	Sifat Khas	Aplikasi di Kapal
Austenitic (Seri 300)	Austenite	18% Cr, 8-10% Ni (304/316)	Ulet, tidak magnetik, ketahanan korosi sangat baik, tidak bisa di-harden	Pipa air laut/minum, fitting dek, peralatan dapur kapal, baling-baling kecil
Ferritic (Seri 400)	Ferrite	10,5-18% Cr, sedikit Ni	Magnetik, ketahanan korosi baik (tapi < austenitic), lebih murah	Dekorasi interior, komponen tidak kritis
Martensitic (Seri 400-high C)	Martensite	12-14% Cr, C lebih tinggi	Dapat dikeraskan (hardenable), magnetik, ketahanan korosi lebih rendah	Pisau, valve, komponen yang butuh kekerasan + korosi sedang
Duplex (2205, 2507)	Austenite + Ferrite	22% Cr, 5% Ni, 3% Mo	Kekuatan sangat tinggi + ketahanan korosi lubang (pitting) sangat baik	Propeller shaft, pompa air laut, piping sistem bertekanan tinggi

⚠ Korosi Galvanik — Bahaya Pencampuran Logam Berbeda

Ketika dua logam berbeda bersentuhan dalam medium elektrolit (air laut), logam yang lebih aktif (anodik) akan terkorosi lebih cepat, sementara logam yang lebih mulia (katodik) terlindungi. JANGAN memasang baut baja karbon pada fitting stainless tanpa insulasi galvanik — baut baja karbon akan terkorosi sangat cepat! Deret galvanik (dari paling aktif/anodik ke paling mulia/katodik): Magnesium → Aluminium → Seng → Besi/Baja → Timah → Tembaga → Perunggu → Perak → Emas.

4.3 Tembaga dan Paduannya (Bronze dan Brass)

Tembaga dan paduannya memiliki sifat khas yang membuatnya banyak digunakan di kapal, terutama untuk komponen yang bersentuhan dengan air laut.

Material	Komposisi	Sifat Utama	Aplikasi di Kapal
Tembaga Murni (Cu)	≥99,9% Cu	Konduktivitas listrik/panas terbaik, sangat ulet, tahan korosi	Kabel listrik, heat exchanger tube, busbar
Perunggu Naval (Naval Bronze)	Cu + 10%Sn + 2%Zn	Kekuatan tinggi, tahan korosi air laut sangat baik	Propeller kapal, pompa impeller, bush bearing
Aluminium Bronze	Cu + 10%Al (+Fe,Ni)	Kekuatan tinggi + ketahanan korosi erosi (tahan kavitasi)	Propeller kapal besar, valve seat, gear
Kuningan (Brass)	Cu + Zn (30-40%)	Mudah dikerjakan, kekuatan sedang, tahan korosi	Fitting pipa, valve body, kondensor tube (khusus admiralty brass)
Cupronickel 90/10	90% Cu, 10% Ni	Tahan biofouling dan korosi air laut sangat baik	Pipa kondensor, heat exchanger, pipa air laut kritis

4.4 Aluminium dan Paduannya

Aluminium memiliki densitas hanya 2,7 g/cm³ (sekitar sepertiga densitas baja), memberikan rasio kekuatan-berat (strength-to-weight ratio) yang sangat baik. Di kapal, aluminium digunakan terutama pada struktur di atas air (superstructure) untuk mengurangi berat dan meningkatkan stabilitas.

Sifat Aluminium	Nilai	Keterangan
Densitas	2,7 g/cm ³	≈1/3 densitas baja — sangat ringan
Kekuatan Tarik (murni)	70-100 MPa	Rendah, harus dipadukan untuk aplikasi struktural
Kekuatan Tarik (paduan 6061-T6)	≈310 MPa	Memadai untuk struktur ringan
Titik Leleh	660°C	Lebih rendah dari baja — perhatian saat kebakaran
Konduktivitas Listrik	62% dari tembaga	Cukup baik, digunakan untuk busbar kapal besar
Ketahanan Korosi	Sangat baik	Lapisan oksida alami (Al ₂ O ₃) sebagai proteksi pasif

Bahaya Aluminium saat Kebakaran

Aluminium memiliki titik leleh hanya 660°C (dibanding 1480°C untuk baja). Dalam situasi kebakaran, struktur aluminium dapat kehilangan kekuatan struktural dengan sangat cepat. Oleh karena itu, kapal yang menggunakan aluminium untuk superstructure WAJIB memiliki insulasi kebakaran yang memadai dan memenuhi persyaratan SOLAS tentang Fire Safety untuk kapal dengan bahan bakar non-konvensional dan material ringan.

SOAL LATIHAN BAB IV

A. Pilihan Ganda

21. Baja tahan karat tahan korosi karena memiliki lapisan pelindung berupa... a. Lapisan seng b. Lapisan oksida kromium (Cr_2O_3) c. Lapisan nikel d. Cat anti karat
22. Jenis paduan tembaga yang paling cocok untuk propeller kapal karena tahan terhadap kavitasi dan korosi air laut adalah... a. Brass (kuningan) b. Naval Bronze c. Aluminium Bronze d. Cupronickel
23. Keunggulan utama penggunaan aluminium pada superstructure kapal adalah... a. Lebih murah dari baja b. Titik leleh tinggi c. Rasio kekuatan-berat tinggi (sangat ringan) d. Sangat mudah dilas

B. Soal Uraian

24. Jelaskan mengapa baja stainless steel tahan terhadap korosi — mekanisme apa yang melindunginya?
25. Jelaskan fenomena korosi galvanik dan berikan 2 contoh pasangan logam yang berbahaya di kapal!
26. Jelaskan perbedaan antara Bronze (perunggu) dan Brass (kuningan) dari segi komposisi dan aplikasinya di kapal!
27. Jelaskan keunggulan dan kelemahan penggunaan aluminium pada struktur kapal!

BAB V — HEAT TREATMENT (PERLAKUAN PANAS)

Heat treatment (perlakuan panas) adalah serangkaian proses pemanasan dan pendinginan yang dikontrol pada logam untuk mengubah struktur mikro dan sifat mekaniknya — tanpa mengubah bentuk atau komposisi kimianya. Heat treatment memungkinkan satu jenis material dasar menjadi keras dan aus-resistant (untuk tools), atau tetap ulet dan tangguh (untuk konstruksi).

5.1 Prinsip Dasar Perlakuan Panas

Semua proses heat treatment pada baja didasarkan pada perubahan fasa yang terjadi dalam diagram Fe-C. Tiga faktor utama yang menentukan hasil heat treatment:

- **SUHU PEMANASAN:** menentukan fasa yang terbentuk saat dipanaskan (apakah mencapai daerah austenite penuh atau sebagian).
- **LAMA PEMANASAN (soaking time):** memastikan perubahan fasa selesai secara merata di seluruh bagian komponen.
- **LAJU PENDINGINAN (cooling rate):** faktor paling menentukan — pendinginan cepat menghasilkan martensite (keras, getas), pendinginan lambat menghasilkan pearlite atau ferrite+pearlite (lebih lunak, lebih ulet).

Perbandingan Laju Pendinginan dan Struktur Mikro yang Terbentuk

Metode Pendinginan	Laju Pendinginan	Struktur Mikro Terbentuk	Sifat
Furnace cooling (dalam tungku)	Paling lambat	Pearlite kasar (coarse pearlite)	Lunak, ulet — hasil annealing
Air cooling (didinginkan di udara)	Sedang	Pearlite halus (fine pearlite/sorbite)	Kekuatan sedang — hasil normalizing
Oil quenching (celup oli)	Cepat	Bainite / Martensite tidak penuh	Keras, semi-tangguh
Water quenching (celup air)	Sangat cepat	Martensite (penuh)	Sangat keras, sangat getas
Brine quenching (air garam)	Paling cepat	Martensite (penuh)	Maksimum keras, maksimum getas

5.2 Annealing, Normalizing, dan Hardening

A. Annealing (Pelunakan)

Annealing adalah proses memanaskan baja ke suhu tertentu (umumnya di atas A1 atau A3), ditahan untuk waktu tertentu, kemudian **DIDINGINKAN SANGAT LAMBAT** di dalam tungku.

Jenis Annealing	Suhu	Tujuan
Full Annealing	30-50°C di atas A3 (untuk hypoeutektoid)	Melunakkan maksimum, butir seragam, hilangkan tegangan sisa
Process Annealing	550-650°C (di bawah A1)	Menghilangkan work hardening pada baja sangat rendah C
Stress Relief Annealing	400-650°C	Menghilangkan tegangan sisa akibat pengelasan/machining, tanpa mengubah struktur mikro

B. Normalizing

Normalizing mirip dengan full annealing, tetapi baja didinginkan di UDARA (bukan di tungku). Karena pendinginan lebih cepat, butir yang terbentuk lebih halus dan sifat mekanik sedikit lebih baik dibanding annealing. Normalizing menghasilkan struktur lebih seragam dan merupakan proses standar untuk baja struktural.

C. Hardening (Pengerasan)

Hardening dilakukan dengan memanaskan baja ke suhu austenitizing (di atas A3), menahan beberapa saat, kemudian MENCELUPKAN (quenching) ke media pendingin cepat (air, oli, atau larutan garam).

- Pendinginan cepat mencegah difusi atom karbon, sehingga austenite bertransformasi menjadi MARTENSITE — struktur kristal BCT (Body-Centered Tetragonal) yang tertegun (supersaturated) dengan karbon.
- Martensite sangat keras (bisa mencapai HRC 65-67 pada baja karbon tinggi) karena atom karbon yang terperangkap menyebabkan distorsi kisi yang besar, mencegah pergerakan dislokasi.
- Namun martensite juga sangat GETAS — komponen yang baru di-quench harus segera di-temper untuk meningkatkan ketangguhannya.

5.3 Tempering dan Case Hardening

A. Tempering

Setelah hardening, baja martensite bersifat sangat keras namun sangat getas dan memiliki tegangan sisa yang besar. Tempering dilakukan untuk MENGURANGI KEGETASAN dan TEGANGAN SISA dengan cara memanaskan baja yang telah di-hardening pada suhu di bawah A1, ditahan, kemudian didinginkan di udara.

Suhu Tempering	Warna Oksida	Kekerasan Hasil	Aplikasi
150-200°C	Kuning muda	Masih sangat keras (HRC 60-65)	Alat potong, mata bor, pisau
200-300°C	Kuning-coklat	Keras (HRC 55-60)	Pegas, gigi gergaji
300-450°C	Ungu-biru	Kekuatan tinggi (HRC 45-55)	Shaft, poros transmisi kapal
450-600°C	Biru tua-gelap	Kekuatan sedang, ketangguhan tinggi	Connecting rod, crankshaft, komponen mesin

Quench and Temper (QT) — Proses Standar untuk Komponen Mesin Kapal

Proses kombinasi Hardening + Tempering disebut Quench and Temper (QT). Proses ini menghasilkan kombinasi kekuatan tinggi + ketangguhan yang baik — jauh lebih baik dibanding baja karbon yang hanya dinormalizing. Komponen mesin kapal seperti poros propeller, crankshaft, connecting rod, dan baut kritis umumnya menjalani proses QT untuk mendapatkan sifat mekanik optimal.

B. Case Hardening (Pengerasan Permukaan)

Case hardening adalah proses pengerasan hanya pada LAPISAN PERMUKAAN komponen, sementara bagian inti (core) tetap relatif lunak dan tangguh. Ini ideal untuk komponen yang memerlukan permukaan tahan aus namun inti yang tangguh (tidak mudah patah akibat impact).

Metode Case Hardening	Proses	Elemen Tambahan	Kedalaman Case	Aplikasi
Carburizing (Karburisasi)	Memanaskan baja rendah C dalam lingkungan kaya karbon → C berdifusi ke permukaan	C (Karbon)	0,5-3 mm	Roda gigi, poros dengan kerja berat
Nitriding	Memanaskan dalam atmosfer amonia → N berdifusi ke permukaan	N (Nitrogen)	0,1-0,5 mm	Crankshaft, valve, silinder
Flame Hardening	Pemanasan permukaan cepat dengan api (oxy-acetylene), quench segera	—	1-5 mm	Rel, roda gigi besar
Induction Hardening	Pemanasan induksi elektromagnetik frekuensi tinggi, quench segera	—	1-5 mm	Poros, pin, komponen dengan profil tertentu

5.4 Aplikasi Heat Treatment pada Komponen Kapal

Komponen Kapal	Proses Heat Treatment	Tujuan
Poros propeller	Quench and Temper	Kekuatan tinggi + ketangguhan untuk tahan torsi dan impact
Crankshaft	Quench and Temper + Nitriding permukaan	Kekuatan inti tinggi + permukaan sangat keras dan tahan aus
Roda gigi transmisi	Carburizing + Hardening + Tempering ringan	Permukaan keras tahan aus, inti tangguh tahan impact
Valve seat (dudukan katup)	Hardening tingkat tinggi atau Stellite overlay	Kekerasan tinggi untuk tahan keausan dari gerakan katup
Spring (pegas)	Hardening + Tempering suhu sedang	Kekuatan lelah (fatigue) tinggi, elastisitas baik
Pelat lambung kapal	Normalizing (di pabrik baja)	Struktur mikro seragam, sifat mekanik konsisten untuk pengelasan

SOAL LATIHAN BAB V

A. Pilihan Ganda

28. Proses heat treatment yang menghasilkan struktur martensite adalah... a. Annealing
b. Normalizing c. Hardening (quenching) d. Tempering
29. Tempering dilakukan setelah hardening dengan tujuan untuk... a. Menambah kekerasan b. Mengurangi kegetasan dan tegangan sisa c. Membentuk austenite
d. Meningkatkan kadar karbon
30. Case hardening yang menggunakan difusi atom nitrogen ke permukaan komponen disebut... a. Carburizing b. Flame hardening c. Nitriding d. Induction hardening

B. Soal Uraian

31. Jelaskan mengapa laju pendinginan (cooling rate) merupakan faktor paling menentukan dalam heat treatment baja!
32. Jelaskan perbedaan antara annealing dan normalizing dari segi proses pendinginan, struktur yang terbentuk, dan sifat hasil!
33. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proses Quench and Temper (QT) dan mengapa proses ini banyak digunakan untuk komponen mesin kapal!
34. Jelaskan perbedaan carburizing dan nitriding sebagai metode case hardening — kapan masing-masing digunakan?

BAB VI — BAHAN NON-METALLIK

Bahan non-metallik mencakup polimer (plastik dan karet), komposit, keramik, dan bahan insulasi. Meskipun tidak sepopuler logam dalam struktur utama kapal, bahan non-metallik memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai aplikasi khusus — mulai dari pipa, gasket, isolasi termal hingga badan kapal ringan.

6.1 Polimer dan Plastik di Kapal

Polimer adalah material yang tersusun dari molekul rantai panjang (makromolekul) yang terbentuk dari pengulangan unit monomer. Plastik teknik (engineering plastics) telah menggantikan logam dalam banyak aplikasi kapal karena ringan, tahan korosi, dan biaya rendah.

Jenis Plastik	Nama Dagang	Sifat Utama	Aplikasi di Kapal
Polyvinyl Chloride (PVC)	PVC	Tahan korosi, mudah difabrikasi, harga murah	Pipa air tawar, saluran drainase, kabel conduit
Polyethylene (PE/HDPE)	Polietilen	Tahan bahan kimia, ringan, fleksibel	Tangki air tawar, pipa air tidak bertekanan tinggi
Nylon (Polyamide/PA)	Nilon	Kekuatan baik, tahan aus, tahan minyak	Bearing bush, roda gigi kecil, impeller pompa
PTFE (Polytetrafluoroethylene)	Teflon	Koefisien gesek sangat rendah, tahan kimia, tahan suhu tinggi (-200 hingga +260°C)	Seal, valve lining, bearing tanpa pelumas
Polycarbonate (PC)	Lexan	Sangat kuat (impact strength tinggi), transparan	Kaca pelindung jendela, visor, pelindung gauge
Fiberglass/GRP	GRP	Kuat, ringan, tahan korosi air laut	Tangki air, lifeboat, badan kapal kecil

Klasifikasi Plastik: Thermoplastic vs Thermoset

Tipe	Karakteristik	Contoh	Relevansi Kapal
Thermoplastic	Dapat dilunakkan berulang dengan pemanasan, dapat di-recycle	PVC, PE, Nylon, PTFE	Mudah dibentuk ulang; dapat dilas dengan panas; tidak tahan suhu sangat tinggi

Tipe	Karakteristik	Contoh	Relevansi Kapal
Thermoset	Setelah mengeras (curing), TIDAK dapat dilunakkan kembali dengan panas	Epoxy, polyester, phenolic	Digunakan untuk komposit struktural (FRP), coating anti-korosi yang tahan panas

6.2 Karet (Elastomer) dan Sealant

Karet (elastomer) adalah polimer dengan kemampuan elastis yang luar biasa — dapat diregangkan hingga beberapa kali panjang awalnya dan kembali ke bentuk semula. Di kapal, karet dan sealant digunakan untuk mencegah kebocoran dan meredam getaran.

Jenis Elastomer	Sifat Khas	Suhu Kerja	Aplikasi di Kapal
Natural Rubber (NR)	Elastisitas tinggi, tidak tahan oli/bahan bakar	−50 hingga +100°C	Fender kapal, selang air tawar
Neoprene (CR)	Tahan oli, cuaca, api — serbaguna	−40 hingga +120°C	Seal poros, gasket, selang bilge
Nitrile (NBR)	Tahan oli dan bahan bakar (minyak) sangat baik	−40 hingga +120°C	Seal oli mesin, gasket bahan bakar, selang oli
Viton (FKM)	Tahan suhu tinggi, tahan hampir semua kimia	−20 hingga +200°C	Seal suhu tinggi (exhaust, boiler), aplikasi kimia agresif
EPDM	Tahan air, uap, ozon, sinar UV	−50 hingga +150°C	Gasket pipa uap, seal pontoon, selang sistem pendingin
Silicone (VMQ)	Tahan suhu ekstrem (sangat tinggi DAN rendah)	−60 hingga +230°C	Gasket cover mesin, seal suhu tinggi, konektor listrik

Pemilihan Material Seal yang Tepat

Pemilihan material seal/gasket yang salah adalah penyebab umum kebocoran di kapal. Sebagai panduan:

- Seal kontak OLI MESIN → NBR (Nitrile) atau Viton
- Seal kontak BAHAN BAKAR (HFO/MDO) → NBR atau Viton (Viton lebih tahan untuk HFO aromatic)
- Seal kontak AIR/UAP SUHU SEDANG → EPDM atau Neoprene
- Seal kontak AIR/UAP SUHU TINGGI → Viton atau PTFE
- Seal kontak KIMIA AGRESIF → Viton atau PTFE
- Fender/bumper kapal → Natural Rubber atau Neoprene

6.3 Komposit (FRP/GRP) dan Keramik

A. Komposit Serat Kaca (FRP/GRP — Fiber-Reinforced Plastic/Glass-Reinforced Plastic)

Komposit adalah material yang dibuat dari dua atau lebih bahan berbeda yang digabungkan untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari masing-masing komponennya. FRP/GRP terdiri dari serat kaca (sebagai penguat/reinforcement) yang ditanamkan dalam matriks resin thermoset (biasanya polyester atau epoxy).

Komponen FRP	Fungsi	Jenis
Serat (Reinforcement)	Memberikan kekuatan dan kekakuan	Serat kaca (E-glass, S-glass), serat karbon (CFRP), serat aramid (Kevlar)
Matriks (Resin)	Mengikat serat, mendistribusikan beban	Polyester (murah), epoxy (kuat), vinyl ester (tahan kimia)

Sifat FRP/GRP	Nilai/Keterangan
Densitas	1,5-2,0 g/cm ³ (jauh lebih ringan dari baja 7,8 g/cm ³)
Kekuatan Tarik	200-400 MPa (setara baja sedang dalam satuan per berat)
Ketahanan Korosi	Excellent — tidak berkarat, tahan air laut
Biaya Fabrikasi	Lebih murah untuk bentuk kompleks, tidak perlu pengecatan anti karat
Kelemahan	Tidak dapat dilas, sulit perbaikan permukaan, rentan terhadap abrasi dan impact lokal

B. Keramik Refraktori di Kapal

Keramik refraktori adalah material anorganik non-metallik yang tahan terhadap suhu sangat tinggi dan serangan kimia. Di kapal, material refraktori digunakan untuk melapisi ruang bakar incinerator, lubang gas buang, dan bagian-bagian yang bersentuhan langsung dengan api atau gas panas suhu sangat tinggi.

6.4 Bahan Insulasi dan Tahan Api

Bahan Insulasi	Fungsi	Aplikasi di Kapal
Mineral Wool (Rockwool/Glasswool)	Insulasi termal untuk suhu sedang-tinggi, tidak mudah terbakar	Insulasi pipa uap, boiler, ruang mesin (noise + thermal)
Ceramic Fiber (Kaowool)	Insulasi termal suhu sangat tinggi (>1000°C), sangat ringan	Pelapis furnace incinerator, lapisan dalam boiler
Calcium Silicate Board	Insulasi termal + proteksi api struktural	Partisi tahan api kapal, pelapis bulkhead (A60 rating)

Bahan Insulasi	Fungsi	Aplikasi di Kapal
Foam Insulation (PU/PIR)	Insulasi termal untuk suhu dingin (refrigerasi)	Ruang muat berpendingin (reefer), pipa refrigerant
Intumescent Material	Mengembang saat terkena panas, menutup celah dari rambatan api	Fire stopping pada penetrasi pipa/kabel melalui bulkhead tahan api

SOAL LATIHAN BAB VI

A. Pilihan Ganda

35. Jenis karet yang paling tahan terhadap kontak dengan oli dan bahan bakar (cocok untuk seal dan gasket sistem bahan bakar kapal) adalah... a. Natural Rubber b. Neoprene c. NBR (Nitrile) d. Silicone
36. Perbedaan utama antara plastik thermoplastic dan termoset adalah... a. Termoset lebih murah b. Thermoplastic dapat dilunakkan dan dibentuk ulang dengan panas, termoset tidak c. Termoset lebih ringan d. Thermoplastic tidak tahan panas sama sekali
37. Material refraktori di kapal digunakan untuk... a. Membuat propeller b. Pipa air tawar c. Pelapis tungku/area suhu sangat tinggi d. Gasket sistem bahan bakar

B. Soal Uraian

38. Jelaskan mengapa pemilihan material seal/gasket yang tepat sangat penting, dan berikan panduan pemilihan material seal untuk: (a) sistem oli mesin, (b) pipa uap suhu tinggi, (c) sistem bahan bakar HFO!
39. Jelaskan struktur dan keunggulan material FRP/GRP dibanding baja untuk aplikasi kapal!
40. Jelaskan perbedaan antara thermoplastic dan termoset dan berikan contoh aplikasinya di kapal!
41. Sebutkan minimal 4 jenis bahan insulasi yang digunakan di kapal beserta aplikasinya masing-masing!

BAB VII — BAHAN PENGASAH (ABRASIVE MATERIALS)

Bahan pengasah (abrasive) adalah material keras yang digunakan untuk memotong, mengikir, menggosok, memoles, atau menghaluskan permukaan material lain melalui proses abrasi (pengikisan). Di kapal, bahan pengasah digunakan secara rutin dalam pekerjaan perawatan dan perbaikan — dari pengasahan alat perkakas hingga persiapan permukaan sebelum pengecatan.

7.1 Prinsip Kerja Bahan Pengasah

Bahan pengasah bekerja dengan cara memindahkan material dari permukaan benda kerja melalui mekanisme pemotongan mikro (micro-cutting) oleh butiran abrasif yang keras. Setiap butiran abrasif bertindak seperti pahat pemotong kecil yang mengangkat serpihan material dari permukaan.

Tiga faktor yang menentukan performa abrasif:

42. **KEKERASAN ABRASIF:** harus lebih keras dari material yang dikerjakan. Kekerasan diukur dalam skala Mohs (1-10) atau skala Knoop/Vickers.
43. **UKURAN BUTIRAN (GRIT/MESH):** menentukan kekasaran permukaan hasil akhir — grit kecil (nomor tinggi) menghasilkan permukaan lebih halus; grit besar (nomor rendah) memotong lebih agresif.
44. **KEKUATAN DAN KETANGGUHAN ABRASIF:** butiran tidak boleh terlalu getas (hancur sebelum memotong) namun harus dapat diperbaharui (fracture untuk mengekspos tepi tajam baru — self-sharpening).

Sistem Penomoran Grit (Mesh Number)

Nomor Grit	Ukuran Butiran (µm)	Kekasaran Hasil	Aplikasi
24-60 (Coarse)	700-290 µm	Sangat kasar	Pengikisan permukaan berkarat tebal, pembentukan kasar
80-120 (Medium)	180-125 µm	Kasar-sedang	Penghalusan awal, penghilangan goresan dalam
150-240 (Fine)	100-58 µm	Sedang-halus	Persiapan permukaan sebelum cat primer
320-600 (Very Fine)	46-23 µm	Halus	Penghalusan antara lapisan cat, poles logam
800-2000 (Ultra Fine)	23-10 µm	Sangat halus	Poles akhir, mirror finish

7.2 Jenis-Jenis Bahan Pengasah

A. Abrasif Alami (Natural Abrasives)

Jenis	Kekerasan Mohs	Karakteristik	Aplikasi
Intan (Diamond)	10 (paling keras)	Paling keras, mahal, tidak dapat digantikan untuk material super keras	Gerinda diamond, bor diamond untuk keramik/karbida
Korundum (Aluminium Oksida alami)	9	Keras, tahan aus	Pengasah alat potong sebelum era abrasif sintetik
Emery	7-9	Campuran korundum dan magnetit — keras tapi tidak murni	Emery cloth/paper — pengasah umum logam
Batu Pasir (Sandstone)	7	Lunak, murah	Penggunaan kasar dan tradisional
Gamping (Chalk)	3	Sangat lunak	Poles halus permukaan kaca, cermin

B. Abrasif Sintetik (Synthetic Abrasives) — Paling Banyak Digunakan

Jenis	Kekerasan Mohs	Warna	Karakteristik	Aplikasi di Kapal
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	9	Putih/coklat/merah muda	Tangguh, tahan aus, serbaguna — paling umum	Amplas, roda gerinda untuk baja, perbaikan lambung
Silicon Carbide (SiC)	9,5	Hitam/hijau	Lebih keras dari Al_2O_3 , lebih tajam, lebih getas	Pengasahan besi tuang, keramik, non-ferrous
CBN (Cubic Boron Nitride)	9,8	Kuning kecoklatan	Sangat keras (hampir setara intan), tahan panas tinggi	Pengasahan baja keras ($\text{HRC} > 50$) — alat perkakas kapal
Intan Sintetik (Synthetic Diamond)	10	Kuning/transparan	Paling keras, mahal	Grinding karbida, keramik, material composite
Zirconia Alumina	8-9	Biru	Tangguh, tahan panas, tahan beban berat	Heavy-duty grinding pada baja karbon, baja stainless

7.3 Alat Pengasah dan Prosedur Penggunaan

Jenis Alat Pengasah yang Umum di Kapal

Alat	Material Abrasif	Prosedur Penggunaan	K3
Roda Gerinda (Grinding Wheel)	Al ₂ O ₃ atau SiC terikat resin/vitrified	Periksa kondisi roda sebelum digunakan (ring test), pasang penutup pelindung, jangan gunakan samping roda untuk gerinda lurus	Kacamata + face shield, pelindung telinga, periksa kecepatan maksimum roda (RPM rating)
Amplas (Sandpaper)	Al ₂ O ₃ , SiC, atau Emery pada kertas/kain	Gosok searah serat logam, ganti amplas sering untuk efisiensi	Sarung tangan, masker debu
Batu Asah (Whetstone/Oilstone)	Al ₂ O ₃ atau SiC, berbagai grit	Gunakan pelumas (oli/air) saat mengasah, jaga sudut konsisten	Hati-hati tepi tajam
Sabuk Gerinda (Belt Grinder)	Al ₂ O ₃ pada sabuk kain	Periksa kondisi sabuk, jangan terlalu tekan	Face shield, pelindung telinga
Mata Gerinda Portabel	Al ₂ O ₃ atau SiC	Gunakan guard, periksa kondisi cutting disc sebelum pakai	WAJIB face shield + kacamata, sarung tangan kulit

Keselamatan Kerja Penggunaan Alat Gerinda

Roda gerinda yang retak atau berputar melebihi kecepatan maksimumnya dapat MELEDAK dan menjadi proyektil mematikan. WAJIB: 1. Lakukan RING TEST sebelum memasang roda gerinda — ketuk dengan benda keras, bunyi harus jernih (tidak retak) 2. Periksa KECEPATAN MAKSIMUM roda (tertera di label) tidak melebihi kecepatan mesin 3. SELALU pasang GUARD (penutup pelindung) roda gerinda 4. Gunakan FACE SHIELD (bukan hanya kacamata biasa) untuk pekerjaan gerinda 5. JANGAN menggunakan permukaan samping roda gerinda lurus untuk cutting — gunakan roda yang dirancang untuk itu

SOAL LATIHAN BAB VII

A. Pilihan Ganda

45. Abrasif sintetik yang paling umum digunakan untuk mengasah dan menggerinda baja adalah... a. Silicon Carbide b. Aluminium Oksida c. CBN d. Intan sintetik
46. Nomor grit amplas yang menghasilkan permukaan paling halus adalah... a. Grit 24 b. Grit 80 c. Grit 320 d. Grit 60

47. Ring test pada roda gerinda bertujuan untuk... a. Mengukur kecepatan putaran b. Mendeteksi keretakan pada roda c. Mengukur kekerasan roda d. Menentukan nomor grit

B. Soal Uraian

48. Jelaskan tiga faktor yang menentukan performa bahan pengasah dan bagaimana pengaruhnya terhadap hasil pengerjaan!
49. Jelaskan perbedaan antara Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Silicon Carbide (SiC) sebagai abrasif — kapan masing-masing digunakan?
50. Jelaskan prosedur keselamatan kerja yang wajib dilakukan sebelum dan selama penggunaan roda gerinda!
51. Mengapa Silicon Carbide lebih cocok untuk mengasah besi tuang (cast iron) dibanding baja karbon?

BAB VIII — BAHAN PELUMAS (LUBRICANTS)

Pelumas adalah zat (cairan, semi-padat, atau padat) yang ditempatkan di antara dua permukaan yang bergerak relatif satu sama lain untuk mengurangi gesekan, keausan, dan panas yang dihasilkan dari kontak tersebut. Pelumas merupakan salah satu material paling penting dalam operasi permesinan kapal — sistem pelumasan yang baik menentukan umur komponen dan andalan permesinan.

8.1 Fungsi dan Sifat Pelumas

Fungsi Utama Pelumas

Fungsi	Penjelasan	Contoh Aplikasi
Mengurangi Gesekan (Friction Reduction)	Membentuk lapisan film di antara permukaan bergerak, mencegah kontak metal-to-metal	Bearing oli, piston ring-liner
Mencegah Keausan (Wear Prevention)	Memisahkan permukaan, mengurangi keausan abrasif dan adhesif	Semua komponen sliding/rotating berbeban
Pendinginan (Cooling)	Menyerap dan membuang panas dari daerah kontak	Cooling dalam bearing connecting rod, turbocharger
Pembersihan (Cleaning)	Membawa partikel keausan dan kontaminan ke filter/purifier	Sistem sirkulasi oli mesin diesel
Anti-Korosi (Corrosion Protection)	Melapisi permukaan logam, mencegah kontak dengan air dan oksigen	Semua permukaan metal dalam sistem tertutup
Menyekat (Sealing)	Memperkuat seal antara piston ring dan cylinder liner	Mesin diesel — mengurangi blow-by gas
Menetralkan Asam (Neutralization)	TBN (Total Base Number) dalam oli menetralkan asam hasil pembakaran	Cylinder oil pada mesin diesel bahan bakar HFO

Sifat-Sifat Penting Pelumas

Sifat	Definisi	Satuan	Pentingnya
Viskositas	Ukuran kekentalan pelumas — hambatan terhadap aliran	cSt (centistokes) pada 40°C dan 100°C	Sifat paling fundamental — menentukan kemampuan membentuk film pelumas
Viskositas Indeks (VI)	Ukuran stabilitas viskositas terhadap perubahan suhu (VI tinggi = viskositas stabil)	Angka tanpa dimensi	Oli dengan VI tinggi lebih stabil pada

Sifat	Definisi	Satuan	Pentingnya
			variasi suhu operasi mesin
Flash Point	Suhu minimum di mana uap pelumas dapat terbakar sesaat	°C	Keamanan — oli harus memiliki flash point jauh di atas suhu operasi
Pour Point	Suhu terendah di mana pelumas masih dapat mengalir	°C	Penting untuk start pada suhu dingin atau kapal di daerah arktik
TBN (Total Base Number)	Ukuran kemampuan oli menetralkan asam	mgKOH/g	Menentukan kemampuan oli melindungi dari korosi asam hasil pembakaran sulfur
Oxidation Stability	Ketahanan oli terhadap degradasi akibat reaksi dengan oksigen pada suhu tinggi	—	Menentukan umur oli sebelum perlu diganti

8.2 Jenis-Jenis Pelumas

A. Minyak Pelumas Mineral (Mineral/Petroleum-Based Oil)

Minyak pelumas mineral diperoleh dari pemurnian minyak bumi (petroleum). Merupakan jenis pelumas yang paling banyak digunakan dan paling ekonomis untuk sebagian besar aplikasi permesinan kapal.

- Group I: Solvent-refined — kualitas dasar, VI sedang, masih banyak impuritas
- Group II: Hydrotreated — lebih murni, VI lebih baik, lebih stabil
- Group III: Hydrocracked — VI tinggi (≥ 120), hampir setara sintetis dalam beberapa aplikasi

B. Minyak Pelumas Sintetik (Synthetic Oil)

Minyak pelumas sintetik dibuat secara kimia (bukan dari minyak bumi) dengan struktur molekul yang lebih seragam dan terkontrol, menghasilkan sifat yang lebih unggul dari minyak mineral:

- PAO (Poly Alpha Olefin): Sintetis paling umum — VI sangat tinggi (>150), pour point sangat rendah, stabilitas oksidasi baik, harga lebih mahal dari mineral.
- Ester Sintetik: Tahan suhu tinggi, biodegradable — untuk turbocharger oil, aviation oil, aplikasi lingkungan sensitif.
- PAG (Polyalkylene Glycol): Sering digunakan dalam kompresor, gearbox — sifat khusus yang tidak bercampur dengan oli mineral.

C. Gemuk Pelumas (Grease)

Gemuk (grease) adalah pelumas semi-padat yang terbuat dari minyak dasar (mineral atau sintetis) yang dikentalkan dengan THICKENER (umumnya metallic soap: lithium, kalsium, natrium, dll.). Gemuk digunakan di mana oli cair tidak dapat ditahan di tempatnya (bearing terbuka, sliding surface vertikal).

Jenis Gemuk	Thickener	Sifat Khas	Aplikasi di Kapal
Lithium Grease	Lithium soap	Serbaguna, tahan air baik, suhu -20 hingga +130°C	Bearing motor listrik, ball bearing, pelumasan umum
Calcium Complex Grease	Calcium complex soap	Tahan air sangat baik, tahan tekanan tinggi	Bearing terkena air laut, windlass, deck machinery
Molybdenum Disulfide Grease	Li + MoS ₂ solid lubricant	Tekanan ekstrem (EP), anti-seize	Baut dan coupling yang sulit dilumasi — mencegah galling
Silicone Grease	Silicone thickener	Suhu sangat luas (-60 hingga +200°C), tahan air	Gasket karet, konektor listrik, seal O-ring

D. Pelumas Padat (Solid Lubricants)

- Molybdenum Disulfide (MoS₂): pelumas padat yang sangat efektif pada tekanan sangat tinggi dan dalam vakum — digunakan sebagai additive gemuk EP atau coating pada baut.
- Grafit (Graphite): pelumas padat tahan panas — digunakan pada suhu di mana oli cair tidak dapat digunakan (>300°C).
- PTFE (Teflon): powder PTFE sebagai additive oli atau coating pada bearing — koefisien gesek sangat rendah.

8.3 Klasifikasi dan Standar Pelumas Internasional

Sistem Klasifikasi	Badan Standar	Yang Diklasifikasikan	Contoh Grade
SAE (Society of Automotive Engineers)	SAE	Viskositas minyak pelumas mesin dan transmisi	SAE 30, SAE 40, SAE 15W-40 (multigrade)
ISO VG (Viscosity Grade)	ISO	Viskositas minyak industri pada 40°C	ISO VG 32, 46, 68, 100, 150, 220
API (American Petroleum Institute)	API	Kualitas dan aplikasi oli mesin (gasoline dan diesel)	API CF, CI-4, CJ-4 (diesel engine oil)
NLGI (National Lubricating Grease Institute)	NLGI	Konsistensi/kekerasan gemuk (0-6, makin tinggi makin keras)	NLGI 2 (paling umum), NLGI 3 (lebih keras)

Memahami Label Oli SAE Multigrade

Oli SAE 15W-40 berarti: • '15W' (Winter): Viskositas oli pada suhu dingin (W=Winter) — semakin kecil angka W, semakin mudah mengalir pada suhu dingin • '40': Viskositas oli pada suhu operasi (100°C) — semakin besar angka, semakin kental. Keunggulan oli multigrade (seperti 15W-40) dibanding monograde (SAE 40): dapat digunakan untuk start di suhu dingin karena encer saat dingin, namun cukup kental saat mesin panas untuk membentuk film pelumas yang memadai. Oli monograde SAE 40 akan sangat kental saat start dingin, menyebabkan beban berat pada mesin.

8.4 Pemilihan dan Perawatan Pelumas di Kapal

Pemilihan Pelumas yang Tepat

Selalu ikuti rekomendasi pabrikan mesin yang tertuang dalam instruction manual. Beberapa pertimbangan umum:

52. Gunakan viskositas (SAE grade / ISO VG) yang direkomendasikan untuk kondisi operasi mesin.
53. Perhatikan API service classification yang sesuai — untuk mesin diesel kapal biasanya API CF ke atas.
54. Untuk cylinder oil mesin diesel bahan bakar HFO, pilih TBN yang sesuai dengan kadar sulfur bahan bakar (lihat Bab IV buku Mesin Penggerak Utama).
55. Untuk gemuk, pilih jenis yang sesuai dengan lingkungan (tahan air untuk marine application) dan suhu operasi.
56. Jangan mencampur oli dari merek/tipe berbeda tanpa memastikan kompatibilitas.

Program Perawatan Pelumas di Kapal

Kegiatan	Interval	Tujuan
Periksa level oli	Harian	Memastikan level cukup, deteksi kebocoran awal
Analisis sampel oli (oil analysis)	Bulanan / per running hours	Deteksi dini keausan komponen, degradasi oli
Pengoperasian purifier/separator	Kontinu/berkala	Membersihkan kontaminan air dan partikel dari oli
Penggantian filter oli	Per PMS/running hours	Mempertahankan kebersihan oli yang bersirkulasi
Penggantian oli (oil change)	Per running hours atau per analisis oli	Mengganti oli yang telah terdegradasi melebihi batas
Penggantian gemuk bearing	Per running hours atau inspeksi	Memastikan pelumasan bearing tetap efektif

⚠ Akibat Kegagalan Sistem Pelumasan

Kegagalan sistem pelumasan — baik karena kehabisan oli, viskositas tidak sesuai, atau kontaminasi parah — dapat menyebabkan kerusakan mesin yang sangat serius dalam hitungan menit:

- Tekanan oli < batas minimum → trip mesin otomatis (interlock)
- Bearing overheat → seizure/macet → kerusakan crankshaft atau connecting rod
- Film pelumas gagal → kontak metal-to-metal langsung → scoring (goresan dalam) pada cylinder liner dan piston

Biaya reparasi akibat kegagalan pelumasan dapat mencapai puluhan kali lebih besar dari biaya pelumas yang seharusnya digunakan.

RANGKUMAN BAB VIII

Topik	Poin Kunci
Fungsi Pelumas	Mengurangi gesekan, keausan, pendinginan, pembersihan, anti-korosi, sealing
Sifat Kunci	Viskositas (paling penting), VI, flash point, pour point, TBN
Jenis Pelumas	Mineral (Gr I/II/III), Sintetik (PAO, Ester), Gemuk, Padat (MoS_2 , grafit)
SAE Multigrade	15W-40: 15W=dingin, 40=panas — lebih serbaguna dari monograde
TBN	Makin tinggi kadar sulfur bahan bakar → makin tinggi TBN yang dibutuhkan
Oil Analysis	Predictive maintenance — deteksi keausan dan degradasi lebih awal

SOAL LATIHAN BAB VIII**A. Pilihan Ganda**

57. Sifat pelumas yang PALING PENTING dan menentukan kemampuannya membentuk film pelumas adalah... a. Flash point b. TBN c. Viskositas d. Pour point
58. SAE 15W-40 pada pelumas mesin, angka '15W' menunjukkan... a. Viskositas pada suhu operasi 100°C b. Viskositas pada suhu dingin (cold start) c. Kandungan aditif anti-wear d. Kebasaan/TBN oli
59. Pelumas padat yang sering digunakan sebagai anti-seize compound pada baut adalah... a. Grafit b. PTFE c. Molybdenum Disulfide (MoS_2) d. Kalsium sulfonat

B. Soal Uraian

60. Jelaskan minimal 5 fungsi utama pelumas pada motor diesel kapal!

61. Jelaskan perbedaan antara minyak pelumas mineral dan sintetis (PAO) dari segi proses produksi, sifat unggul, dan aplikasinya!
62. Jelaskan mengapa oli multigrade (seperti SAE 15W-40) lebih unggul dari oli monograde (SAE 40) untuk mesin diesel kapal modern!
63. Jelaskan konsep TBN pada cylinder oil dan hubungannya dengan kadar sulfur bahan bakar — mengapa kapal yang menggunakan HFO berkadar sulfur tinggi memerlukan cylinder oil TBN tinggi?

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M. F. & Jones, D. R. H. (2012). Engineering Materials 1 & 2 (4th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2018). Silabus Mata Pelajaran SMK Kompetensi Keahlian Teknika Kapal Niaga. Jakarta: Kemendikbud.
- MAN Energy Solutions. (2021). Marine Lubrication Handbook. Copenhagen: MAN Energy Solutions.
- Pounder, C. (2009). Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines (9th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Shackelford, J. F. (2015). Introduction to Materials Science for Engineers (8th ed.). Boston: Pearson.
- Shell Global Solutions. (2020). Marine Lubricants Technical Manual. The Hague: Shell.
- Smith, E. H. (2013). Marine Auxiliary Machinery (8th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Taylor, D. A. (1996). Introduction to Marine Engineering (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Tottle, C. R. (1984). An Encyclopaedia of Metallurgy and Materials. London: Macdonald & Evans.

GLOSARIUM

Istilah / Singkatan	Definisi
Abrasive	Bahan pengasah keras yang digunakan untuk memotong, mengikis, atau memoles permukaan material lain.
Annealing	Perlakuan panas dengan pendinginan sangat lambat di dalam tungku — melunakkan dan menghilangkan tegangan sisa.
Austenite	Fasa besi-karbon yang stabil pada suhu tinggi (727-1493°C), tidak magnetik, dapat menyimpan karbon lebih banyak.
BCC	Body-Centered Cubic — struktur kristal logam dengan atom di pusat kubus dan 8 sudut.
Besi Tuang (Cast Iron)	Paduan Fe-C dengan kadar C >2,14% — lebih mudah dicor dari baja namun lebih getas.
Carburizing	Proses case hardening dengan memperkaya karbon pada lapisan permukaan baja rendah karbon.
Case Hardening	Proses pengerasan hanya pada lapisan permukaan komponen, inti tetap tangguh.
Cementite (Fe_3C)	Senyawa besi-karbon dengan 6,7% C — sangat keras namun sangat getas.
Deformasi Plastis	Perubahan bentuk permanen yang terjadi saat material melampaui batas elastiknya.
Dislokasi	Cacat garis dalam kisi kristal yang memungkinkan deformasi plastis logam.
DBTT	Ductile-to-Brittle Transition Temperature — suhu di bawahnya logam berubah dari ulet menjadi getas.
Elastomer	Polimer dengan elastisitas tinggi — dapat diregangkan jauh dan kembali ke bentuk semula (karet).
FCC	Face-Centered Cubic — struktur kristal logam dengan atom di setiap muka kubus dan 8 sudut.
Ferrite (α)	Fasa besi murni/rendah karbon (<0,02% C) yang lunak, ulet, dan magnetik, stabil di bawah 727°C.
FRP/GRP	Fiber/Glass-Reinforced Plastic — komposit serat kaca dalam matriks resin termoset.
Grain (Butir)	Kristal tunggal dalam struktur mikro logam polikristal.
Hardening (Quenching)	Proses pengerasan baja dengan pemanasan ke zona austenite lalu pendinginan cepat — membentuk martensite.
HCP	Hexagonal Close-Packed — struktur kristal logam heksagonal yang paling rapat.
ISO VG	International Standards Organization Viscosity Grade — klasifikasi viskositas oli industri pada 40°C.
Korosi Galvanik	Korosi dipercepat akibat kontak antara dua logam berbeda dalam medium elektrolit.

Istilah / Singkatan	Definisi
Martensite	Fasa baja yang sangat keras terbentuk akibat pendinginan cepat (quenching) austenite.
Nitriding	Case hardening dengan difusi nitrogen ke permukaan baja — menghasilkan lapisan sangat keras.
Normalizing	Perlakuan panas dengan pendinginan di udara — menghasilkan struktur lebih seragam dari annealing.
Passivation	Proses pembentukan lapisan oksida pelindung pada permukaan logam (seperti Cr_2O_3 pada stainless steel).
Pearlite	Struktur mikro lamellar ferrite + cementite — terbentuk pada komposisi eutektoid (0,77%C) di bawah 727°C.
Quench and Temper (QT)	Proses kombinasi hardening + tempering untuk mendapatkan kekuatan tinggi + ketangguhan optimal.
SAE	Society of Automotive Engineers — badan yang menetapkan standar viskositas pelumas.
TBN	Total Base Number — ukuran kemampuan pelumas menetralkan asam hasil pembakaran (mgKOH/g).
Tempering	Pemanasan baja martensite pada suhu di bawah A_1 — mengurangi kegetasan dan tegangan sisa.
Viskositas	Ukuran kekentalan/hambatan aliran fluida — sifat paling penting pada pelumas.