

PEMERINTAH PROVINSI KEPULAUAN RIAU
DINAS PENDIDIKAN

SMK NEGERI 5 TANJUNGPINANG

Kompetensi Keahlian: Teknik Kapal Niaga

BUKU TEKS

SISTEM KELISTRIKAN KAPAL

Marine Electrical System

Oleh:

JOKO DARMONO, ST

NIP 197305312022211003

TANJUNGPINANG

2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku teks berjudul "Sistem Kelistrikan Kapal (Marine Electrical System)" ini dapat diselesaikan. Buku ini disusun sebagai bahan ajar utama bagi peserta didik Kompetensi Keahlian Teknik Kapal Niaga di SMK Negeri 5 Tanjungpinang.

Sistem kelistrikan kapal merupakan kompetensi inti yang wajib dikuasai setiap taruna teknik kapal. Kemampuan memahami, mengoperasikan, serta merawat sistem kelistrikan kapal menentukan keselamatan dan keandalan operasional kapal di laut. Buku ini dirancang secara sistematis dan komprehensif agar peserta didik dapat membangun pemahaman dari dasar hingga aplikasi praktis.

Buku ini mencakup lima topik utama: (1) Prinsip Dasar Kelistrikan, (2) Rangkaian Listrik pada Kapal, (3) Alat Ukur Listrik, (4) Generator DC dan AC, serta (5) Perawatan Sistem Kelistrikan Kapal. Setiap bab dilengkapi teori, rumus, tabel referensi, latihan soal, dan rangkuman.

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

Tanjungpinang, 2026
Penulis,

Joko Darmono, ST
NIP 197305312022211003

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	v
BAB I — PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai	2
1.3 Peta Konsep	3
BAB II — PRINSIP DASAR KELISTRIKAN	5
2.1 Muatan Listrik dan Arus Listrik	5
2.2 Tegangan (Voltage)	7
2.3 Hambatan (Resistansi)	9
2.4 Hukum Ohm	11
2.5 Daya dan Energi Listrik	13
2.6 Hukum Kirchhoff	16
2.7 Rangkuman & Latihan Bab II	19
BAB III — RANGKAIAN LISTRIK KAPAL	22
3.1 Rangkaian Seri	22
3.2 Rangkaian Paralel	25
3.3 Rangkaian Campuran	28
3.4 Distribusi Listrik Kapal	30
3.5 Main Switchboard	33
3.6 Proteksi Rangkaian	35
3.7 Rangkuman & Latihan Bab III	38
BAB IV — ALAT UKUR LISTRIK	41
4.1 Voltmeter	41
4.2 Amperemeter	43
4.3 Ohmmeter	45
4.4 Multimeter	47
4.5 Wattmeter	49
4.6 Megger (Insulation Tester)	51
4.7 Clamp Meter	54
4.8 Rangkuman & Latihan Bab IV	56
BAB V — GENERATOR ARUS SEARAH (DC)	59
5.1 Prinsip Kerja Generator DC	59
5.2 Konstruksi Generator DC	62
5.3 Jenis-Jenis Generator DC	65
5.4 Karakteristik Generator DC	68
5.5 Rangkuman & Latihan Bab V	71

BAB VI — GENERATOR ARUS BOLAK-BALIK (AC)	74
6.1 Prinsip Kerja Generator AC	74
6.2 Konstruksi Alternator Kapal	77
6.3 Sinkronisasi Generator Paralel	81
6.4 Panel Kontrol Generator	85
6.5 Rangkuman & Latihan Bab VI	88
BAB VII — PERAWATAN SISTEM KELISTRIKAN	91
7.1 Program Perawatan Berkala (PMS)	91
7.2 Perawatan Generator	94
7.3 Perawatan Panel Listrik	97
7.4 Perawatan Kabel dan Koneksi	100
7.5 Prosedur K3 Kelistrikan Kapal	103
7.6 Rangkuman & Latihan Bab VII	107
Daftar Pustaka	110
Glosarium	112

BAB I — PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal modern merupakan sistem yang sangat kompleks, menggabungkan teknologi mekanik, hidrolik, dan elektronik dalam satu platform bergerak di atas air. Di antara seluruh sistem yang ada di atas kapal, sistem kelistrikan memegang peran yang sangat vital karena menjadi tulang punggung operasional hampir semua perangkat dan mesin di atas kapal.

Sistem kelistrikan kapal mencakup pembangkitan daya listrik melalui generator, distribusi daya ke berbagai konsumen listrik, sistem proteksi, serta sistem penerangan, navigasi, dan komunikasi. Kegagalan pada sistem kelistrikan dapat mengancam keselamatan jiwa, muatan, dan kapal itu sendiri.

Sebagai calon perwira teknik kapal, pemahaman mendalam tentang sistem kelistrikan bukan sekadar kebutuhan akademik, tetapi merupakan tanggung jawab profesional yang terkait langsung dengan keselamatan pelayaran. Standar internasional seperti SOLAS (Safety of Life at Sea) dan regulasi dari International Maritime Organization (IMO) mengharuskan setiap kapal memiliki sistem kelistrikan yang handal dan awak yang kompeten.

Dasar Hukum dan Regulasi

- Permendikbud No. 34 Tahun 2018 tentang Standar Nasional Pendidikan SMK/MAK
- STCW Convention (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) — IMO
- SOLAS (Safety of Life at Sea) — Chapter II-1: Electrical Installations
- UU Pelayaran No. 17 Tahun 2008 tentang keselamatan kapal
- IEC 60092: Electrical Installations in Ships

1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai

Setelah mempelajari buku ini secara tuntas, peserta didik diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prinsip dasar kelistrikan meliputi arus, tegangan, hambatan, daya, dan energi listrik.
2. Menganalisis rangkaian listrik seri, paralel, dan campuran pada sistem kelistrikan kapal.
3. Menggunakan alat ukur listrik (voltmeter, amperemeter, ohmmeter, multimeter, megger) dengan benar dan aman.

4. Menjelaskan prinsip kerja, konstruksi, dan karakteristik generator DC dan AC pada kapal.
5. Melaksanakan prosedur perawatan sistem kelistrikan kapal secara berkala dan sistematis.
6. Menerapkan prosedur keselamatan kerja (K3) dalam pekerjaan kelistrikan kapal.

1.3 Peta Konsep Sistem Kelistrikan Kapal

Sistem kelistrikan kapal dapat dipetakan dalam hubungan antar topik berikut:



PETA KONSEP — SISTEM KELISTRIKAN KAPAL

PRINSIP DASAR KELISTRIKAN |— Arus, Tegangan, Hambatan |— Hukum Ohm dan Kirchhoff |— Daya dan Energi Listrik |— RANGKAIAN LISTRIK |— Seri, Paralel, Campuran |— Distribusi Listrik Kapal |— Main Switchboard & Proteksi |— ALAT UKUR LISTRIK |— Voltmeter, Amperemeter, Ohmmeter |— Megger, Wattmeter, Clamp Meter |— GENERATOR DC & AC |— Prinsip Kerja & Konstruksi |— Jenis dan Karakteristik |— Sinkronisasi Paralel |— PERAWATAN SISTEM KELISTRIKAN |— Planned Maintenance System (PMS) |— Perawatan Generator, Panel, Kabel |— Prosedur K3 Kelistrikan Kapal

BAB II — PRINSIP DASAR KELISTRIKAN

Bab ini membahas konsep dasar kelistrikan yang menjadi fondasi untuk memahami seluruh sistem kelistrikan di atas kapal.

2.1 Muatan Listrik dan Arus Listrik

A. Muatan Listrik

Muatan listrik adalah sifat intrinsik partikel subatomik yang menyebabkan gaya tarik-menarik atau tolak-menolak. Terdapat dua jenis muatan:

- Muatan Positif (+): dimiliki oleh proton di dalam inti atom.
- Muatan Negatif (-): dimiliki oleh elektron yang mengorbit inti atom.

Satuan Muatan Listrik

Satuan muatan listrik adalah Coulomb (C). Satu Coulomb setara dengan muatan $6,24 \times 10^{18}$ elektron. Muatan satu elektron = $-1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb.

B. Arus Listrik

Arus listrik (I) adalah aliran muatan listrik melalui konduktor per satuan waktu:

$$I = Q / t$$

I = Arus (Ampere, A) | Q = Muatan (Coulomb, C) | t = Waktu (detik, s)

Contoh Soal

Muatan 120 Coulomb mengalir melalui kabel dalam 60 detik. Besar arus: $I = Q / t = 120 / 60 = 2$ Ampere

2.2 Tegangan (Voltage)

Tegangan listrik (V) adalah beda potensial listrik antara dua titik, yang mendorong aliran arus dari potensial tinggi ke rendah.

$$V = W / Q$$

V = Tegangan (Volt, V) | W = Energi (Joule, J) | Q = Muatan (Coulomb, C)

Tegangan standar yang umum digunakan pada sistem kelistrikan kapal:

Jenis Tegangan	Nilai	Kegunaan
Tegangan Rendah AC	220 V / 380 V	Penerangan, peralatan deckhouse
Tegangan Menengah AC	440 V / 690 V	Motor besar, pompa utama
Tegangan Tinggi AC	3.300 V / 6.600 V	Kapal VLCC/tanker besar
Tegangan DC	24 V / 110 V	Starter, baterai, navigasi

2.3 Hambatan (Resistansi)

Hambatan listrik (R) adalah kemampuan material menghambat aliran arus listrik. Bergantung pada jenis material, panjang, luas penampang, dan suhu.

$$R = \rho \times L / A$$

R = Hambatan (Ω) | ρ = Resistivitas ($\Omega \cdot m$) | L = Panjang (m) | A = Luas penampang (m^2)

Material	Resistivitas ($\Omega \cdot m$)	Keterangan
Tembaga (Cu)	$1,72 \times 10^{-8}$	Konduktor terbaik, paling umum
Aluminium (Al)	$2,82 \times 10^{-8}$	Lebih ringan, untuk kabel besar
Besi/Baja	$1,0 \times 10^{-7}$	Konduktor buruk, untuk grounding
Perak (Ag)	$1,59 \times 10^{-8}$	Konduktor terbaik, mahal

2.4 Hukum Ohm

Hukum Ohm menyatakan besar arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan, pada suhu konstan.

$$V = I \times R \quad | \quad I = V / R \quad | \quad R = V / I$$

V = Tegangan (V) | I = Arus (A) | R = Hambatan (Ω)

Contoh Soal Hukum Ohm

Sebuah lampu ruang mesin memiliki hambatan 44Ω disambungkan ke 220 V . $I = V / R = 220 / 44 = 5 \text{ Ampere}$ Daya: $P = V \times I = 220 \times 5 = 1100 \text{ Watt} = 1,1 \text{ kW}$

2.5 Daya dan Energi Listrik

A. Daya Listrik

Daya listrik (P) adalah laju perpindahan energi listrik per satuan waktu:

Arus Searah (DC)	Arus Bolak-Balik 1 Fasa (AC)	Arus Bolak-Balik 3 Fasa
$P = V \times I = I^2 R = V^2 / R$	$P = V \times I \times \cos \phi$	$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \phi$
Satuan: Watt (W)	$\cos \phi = \text{faktor daya}$	$V_L = \text{Tegangan Line, } I_L = \text{Arus Line}$

B. Energi Listrik

$$W = P \times t$$

$W = \text{Energi (Joule / kWh)}$ | $P = \text{Daya (Watt)}$ | $t = \text{Waktu (detik / jam)}$

Contoh Soal Daya & Energi

Motor pompa ballast kapal: 440 V , faktor daya $0,85$, arus 50 A . Daya aktif: $P = V \times I \times \cos \phi = 440 \times 50 \times 0,85 = 18.700 \text{ W} = 18,7 \text{ kW}$ Energi 24 jam: $W = 18,7 \times 24 = 448,8 \text{ kWh}$

2.6 Hukum Kirchhoff

A. Hukum Kirchhoff Arus (KCL)

KCL menyatakan bahwa jumlah arus masuk ke suatu node sama dengan jumlah arus yang keluar. Berdasarkan kekekalan muatan listrik.

$$\Sigma I_{\text{masuk}} = \Sigma I_{\text{keluar}}$$

Berlaku pada setiap titik (node) percabangan rangkaian

B. Hukum Kirchhoff Tegangan (KVL)

KVL menyatakan bahwa jumlah aljabar semua tegangan dalam loop tertutup sama dengan nol. Berdasarkan kekekalan energi.

$$\Sigma V = 0$$

Berlaku dalam setiap loop tertutup rangkaian

Aplikasi KVL pada Panel Distribusi Kapal

Loop: Sumber 220V, kabel $R_1=2\Omega$, beban motor $R_2=20\Omega$. KVL: $220 - I \times 2 - I \times 20 = 0 \rightarrow 220 = 22I \rightarrow I = 10 \text{ A}$ Tegangan motor: $V_{\text{motor}} = 10 \times 20 = 200 \text{ V}$ (tegangan jatuh kabel = 20 V)

2.7 Rangkuman dan Latihan Bab II

RANGKUMAN BAB II

Besaran	Simbol	Satuan	Rumus Utama
Muatan Listrik	Q	Coulomb (C)	$Q = I \times t$
Arus Listrik	I	Ampere (A)	$I = Q/t = V/R$
Tegangan	V	Volt (V)	$V = I \times R$
Hambatan	R	Ohm (Ω)	$R = V/I = \rho L/A$
Daya DC	P	Watt (W)	$P = V \times I$
Daya AC 1 ϕ	P	Watt (W)	$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$
Daya AC 3 ϕ	P	Watt (W)	$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$
Energi	W	Joule / kWh	$W = P \times t$

SOAL LATIHAN BAB II

A. Pilihan Ganda — Pilihlah jawaban yang paling tepat!

7. Arus sebesar 5A mengalir selama 2 menit. Muatan listrik yang berpindah adalah: a. 100 C b. 300 C c. 600 C d. 2,5 C
8. Sebuah resistor 100 Ω disambungkan ke 24V DC. Daya yang dikonsumsi adalah: a. 5,76 W b. 2,4 W c. 0,24 W d. 576 W

9. Hukum Kirchhoff Arus menyatakan bahwa: a. Jumlah tegangan dalam loop = nol b. Arus masuk = arus keluar c. Daya berbanding lurus hambatan d. Arus berbanding lurus hambatan
10. Satuan resistivitas material adalah: a. Ohm (Ω) b. Ω/m c. $\Omega \cdot m$ d. Ω/m^2
11. Faktor daya ($\cos \phi$) bernilai 1 berarti: a. Beban murni induktif b. Beban murni kapasitif c. Beban murni resistif d. Tidak ada arus mengalir

B. Soal Uraian

12. Sebuah elemen pemanas di dapur kapal memiliki hambatan 44Ω dihubungkan ke 220V. Hitunglah: (a) Arus yang mengalir, (b) Daya yang dikonsumsi, (c) Energi dalam 8 jam operasi.
13. Jelaskan perbedaan Hukum Kirchhoff Arus dan Tegangan beserta penerapannya pada sistem distribusi listrik kapal!
14. Kabel tembaga berdiameter 4 mm, panjang 50 m digunakan di atas kapal. Hitunglah hambatan kabel tersebut! (ρ tembaga = $1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)
15. Generator AC 3 fasa kapal menghasilkan tegangan line 440V, arus line 800A, faktor daya 0,85. Hitunglah daya aktif (kW), daya reaktif (kVAR), dan daya semu (kVA)!

BAB III — RANGKAIAN LISTRIK PADA KAPAL

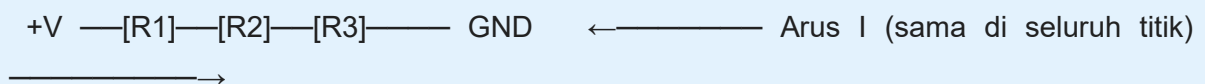
Memahami jenis-jenis rangkaian listrik sangat penting untuk menganalisis dan memperbaiki sistem distribusi listrik kapal.

3.1 Rangkaian Seri

Dalam rangkaian seri, komponen dihubungkan berurutan membentuk satu jalur arus. Karakteristik:

- Arus sama di setiap komponen: $I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$
- Tegangan total = jumlah tegangan komponen: $V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$
- Hambatan total = jumlah hambatan: $R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

Representasi Rangkaian Seri



Contoh Soal Rangkaian Seri

Tiga lampu koridor kapal seri: $R_1=44\Omega$, $R_2=88\Omega$, $R_3=132\Omega$, sumber 220V. $R_{\text{total}} = 44+88+132 = 264 \Omega$ Arus: $I = 220/264 = 0,83 \text{ A}$ Tegangan: $V_1=0,83 \times 44=36,5\text{V}$; $V_2=0,83 \times 88=73,0\text{V}$; $V_3=0,83 \times 132=109,5\text{V}$ Cek: $36,5+73,0+109,5 = 219 \text{ V} \approx 220 \text{ V} \checkmark$

3.2 Rangkaian Paralel

Dalam rangkaian paralel, komponen dihubungkan sejajar antara dua titik yang sama. Karakteristik:

- Tegangan sama di setiap cabang: $V_{\text{total}} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$
- Arus total = jumlah arus cabang: $I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$
- Hambatan total lebih kecil dari hambatan terkecil: $1/R_{\text{total}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$

Keunggulan Rangkaian Paralel pada Kapal

Seluruh sistem distribusi listrik kapal menggunakan rangkaian paralel. Keunggulan: jika satu beban rusak/dimatikan, beban lain tetap beroperasi dengan tegangan penuh. Ini sangat kritis untuk keselamatan kapal.

Contoh Soal Rangkaian Paralel

Dua pompa bilge paralel: $R_1=10\Omega$, $R_2=40\Omega$, tegangan 440V. $1/R_{\text{total}} = 1/10 + 1/40 = 4/40 + 1/40 = 5/40 \rightarrow R_{\text{total}} = 8\Omega$ Arus total: $I = 440/8 = 55\text{ A}$ $I_1 = 440/10 = 44\text{ A}$; $I_2 = 440/40 = 11\text{ A}$; Cek: $44+11 = 55\text{ A}$ ✓

3.3 Rangkaian Seri-Paralel (Campuran)

Rangkaian campuran adalah kombinasi seri dan paralel. Langkah penyelesaian:

16. Identifikasi kelompok komponen yang terhubung paralel.
17. Hitung hambatan ekuivalen setiap kelompok paralel.
18. Gambarkan rangkaian yang disederhanakan (seri ekuivalen).
19. Hitung hambatan total rangkaian seri ekuivalen.
20. Hitung arus total dengan Hukum Ohm.
21. Hitung arus dan tegangan pada setiap komponen.

Contoh Soal Rangkaian Campuran

$R_1=30\Omega$, $R_2=60\Omega$ (paralel), kemudian seri dengan $R_3=5\Omega$, sumber 110V. $R_{\text{paralel}} = (30 \times 60)/(30+60) = 1800/90 = 20\Omega$ $R_{\text{total}} = 20 + 5 = 25\Omega$ $I_{\text{total}} = 110/25 = 4,4\text{ A}$ $V_{\text{paralel}} = 4,4 \times 20 = 88\text{ V}$; $V_{R_3} = 4,4 \times 5 = 22\text{ V}$ $I_{R_1} = 88/30 = 2,93\text{ A}$; $I_{R_2} = 88/60 = 1,47\text{ A}$ ✓

3.4 Sistem Distribusi Listrik Kapal

Sistem distribusi listrik kapal menyalurkan daya dari generator ke seluruh konsumen secara aman, andal, dan efisien.

Topologi	Deskripsi	Kegunaan
Radial	Satu jalur dari sumber ke beban. Sederhana, murah.	Kapal kecil, deckhouse
Loop/Ring	Jalur melingkar, dua arah suplai ke beban.	Kapal menengah

Topologi	Deskripsi	Kegunaan
Ring Bus	Bus utama membentuk lingkaran, mudah switching.	Ferry, RORO, kapal besar
Zonal	Distribusi per zona (fore, mid, aft).	Kapal militer, kapal pesiar

Komponen Utama Sistem Distribusi

- Main Bus Bar: Rel tembaga utama tempat semua generator dan feeder terhubung.
- Main Switchboard (MSB): Panel kontrol dan distribusi utama, biasanya di kamar mesin.
- Emergency Switchboard (ESB): Panel darurat dengan UPS atau generator darurat.
- Section Board / Distribution Panel: Panel distribusi sekunder di setiap zona kapal.
- Shore Power Connection: Sambungan listrik dari darat (pelabuhan) ke kapal.

3.5 Papan Pembagi Utama (Main Switchboard)

Main Switchboard (MSB) adalah pusat kendali dan distribusi seluruh sistem kelistrikan kapal. MSB harus memenuhi standar klasifikasi kapal (BKI, Lloyd's Register, DNV-GL, dll.).

Komponen MSB	Fungsi
Generator ACB/MCCB	Pemutus arus utama generator
Bus Coupler CB	Menghubungkan/memisahkan dua bagian bus bar
Feeder Circuit Breaker	Pemutus untuk setiap feeder ke section board
Metering Panel	Voltmeter, amperemeter, wattmeter, cos ϕ meter, frekuensi meter
Synchronizing Panel	Peralatan sinkronisasi generator paralel
Protection Relay	Relay proteksi (OC, reverse power, undervoltage, dll.)
Shore Connection Panel	Panel untuk penyambungan sumber listrik dari darat

Keselamatan Kerja di Area MSB

Bekerja di area Main Switchboard memerlukan Work Permit dan harus dilakukan tenaga kompeten. Tegangan MSB dapat mencapai 440V atau lebih yang berpotensi fatal. Wajib gunakan APD: sarung tangan isolasi, kaca mata pelindung arc flash, dan sepatu keselamatan.

3.6 Proteksi Rangkaian: Fuse dan Circuit Breaker

A. Fuse (Sekering)

Fuse adalah komponen proteksi yang putus (meleleh) ketika arus melebihi rating-nya. Fuse merupakan komponen sekali pakai.

Jenis Fuse	Karakteristik	Aplikasi di Kapal
HRC Fuse	High Rupturing Capacity, cepat putus	Motor, feeder panel
Cartridge Fuse	Daya interupsi tinggi, aman	Panel distribusi utama
Blade Fuse	Compact, mudah diganti	Panel elektronik navigasi
Semi-enclosed	Murah, kapasitas rendah	Peralatan bantu ringan

B. Circuit Breaker (CB)

Circuit breaker adalah saklar otomatis yang trip saat arus lebih atau hubung singkat. CB dapat direset dan digunakan kembali.

- MCB (Miniature Circuit Breaker): beban kecil, hingga 125A.
- MCCB (Molded Case Circuit Breaker): beban menengah, hingga 1600A.
- ACB (Air Circuit Breaker): arus besar >1600A, digunakan di MSB generator.
- VCB (Vacuum Circuit Breaker): tegangan menengah 3,3kV/6,6kV pada kapal besar.

RANGKUMAN BAB III

Topik	Poin Kunci
Rangkaian Seri	Arus sama, tegangan terbagi, $R_{\text{total}} = \sum R_i$
Rangkaian Paralel	Tegangan sama, arus terbagi, $1/R_{\text{total}} = \sum 1/R_i$
Distribusi Kapal	Topologi radial/ring/zonal sesuai ukuran kapal
MSB	Pusat kontrol kelistrikan, wajib standar klasifikasi
Proteksi	Fuse (sekali pakai) dan CB (dapat direset)

SOAL LATIHAN BAB III

22. Dalam rangkaian paralel, besaran yang sama pada semua cabang adalah... (a) Arus (b) Tegangan (c) Hambatan (d) Daya
23. Mengapa sistem distribusi listrik kapal menggunakan rangkaian paralel untuk semua beban? Jelaskan keunggulannya dari segi keselamatan kapal!
24. Tiga resistor 30Ω , 60Ω , dan 90Ω dihubungkan paralel, kemudian dihubungkan seri dengan resistor 5Ω dan sumber $110V$. Hitung hambatan total, arus total, dan daya total!
25. Jelaskan fungsi Main Switchboard pada kapal dan sebutkan minimal 5 komponen yang ada di dalamnya beserta fungsinya!

26. Apa perbedaan antara fuse (sekering) dan circuit breaker dari segi fungsi, cara kerja, dan penggunaannya di kapal?

BAB IV — ALAT UKUR LISTRIK

Alat ukur listrik adalah peralatan esensial dalam pemeliharaan dan troubleshooting sistem kelistrikan kapal. Teknisi wajib mampu menggunakannya dengan benar dan aman.

4.1 Voltmeter

Voltmeter mengukur beda potensial (tegangan) antara dua titik. Dihubungkan PARALEL terhadap komponen yang diukur.

Spesifikasi	Deskripsi
Pemasangan	Paralel terhadap beban/komponen
Hambatan Dalam	Sangat tinggi (megaohm) agar tidak membebani rangkaian
Jenis	Voltmeter AC dan DC (berbeda atau multi-range)
Satuan	Volt (V), miliVolt (mV), kiloVolt (kV)
Skala Umum Kapal	0–250V, 0–500V, 0–750V

Prosedur Penggunaan Voltmeter

1. Pastikan range > tegangan yang akan diukur.
2. Hubungkan probe merah (+) ke potensial lebih tinggi.
3. Hubungkan probe hitam (–) ke potensial lebih rendah/ground.
4. Baca nilai pada skala yang sesuai.
5. Jangan pernah mengukur tegangan melebihi batas alat.

4.2 Amperemeter

Amperemeter mengukur kuat arus listrik. Dihubungkan SERI dalam rangkaian yang diukur.

Spesifikasi	Deskripsi
Pemasangan	Seri dalam rangkaian
Hambatan Dalam	Sangat rendah (miliohm)
Jenis	Amperemeter AC dan DC
Satuan	Ampere (A), miliAmpere (mA)
Pengaman	Gunakan shunt resistor untuk arus besar

PERHATIAN KRITIS — AMPEREMETER

JANGAN hubungkan amperemeter secara PARALEL ke sumber tegangan! Hambatan dalam yang sangat kecil menyebabkan arus sangat besar, merusak alat, dan berpotensi kebakaran atau ledakan!

4.3 Ohmmeter

Ohmmeter mengukur hambatan komponen. Memiliki sumber tegangan internal (baterai). Komponen yang diukur HARUS dalam kondisi tidak bertegangan (de-energized).

- Isolasi komponen dari rangkaian sebelum pengukuran.
- Kalibrasi ohmmeter sebelum penggunaan (short-circuit test → atur nol).
- Pilih range yang sesuai nilai hambatan yang diperkirakan.
- Jika pointer tidak bergerak: hambatan terlalu besar (open circuit) atau range terlalu kecil.

4.4 Multimeter

Multimeter adalah alat ukur serbaguna yang menggabungkan voltmeter, amperemeter, dan ohmmeter dalam satu instrumen.

Fungsi	Simbol	Keterangan
Tegangan DC	VDC / =	Ukur baterai, aki, panel DC
Tegangan AC	VAC / ~	Ukur listrik kapal, generator
Arus DC	ADC	Ukur arus sirkit DC
Arus AC	AAC	Ukur beban motor, heater
Hambatan	Ω	Ukur resistor, kabel, isolasi
Dioda Test	→	Tes kondisi dioda, rectifier
Kontinuitas		Cek kabel putus/tersambung (bunyi buzzer)
Kapasitansi	F	Tes kondisi kapasitor

4.5 Wattmeter

Wattmeter mengukur daya listrik aktif (real power) yang dikonsumsi beban. Memiliki dua kumparan: kumparan arus (seri) dan kumparan tegangan (paralel).

Pada kapal modern, wattmeter analog banyak digantikan power analyzer digital yang mengukur daya aktif (W), daya reaktif (VAR), daya semu (VA), faktor daya, frekuensi, dan harmonik secara bersamaan.

4.6 Megger (Insulation Resistance Tester)

Megger mengukur tahanan isolasi kabel, motor, generator, dan transformator. Menggunakan tegangan DC tinggi (500V, 1000V, atau 5000V).

Peralatan	Tegangan Uji	Nilai Min. Isolasi
Kabel 220V/440V	500V DC	$\geq 1 \text{ M}\Omega$
Motor 440V	500V DC	$\geq 1 \text{ M}\Omega$
Generator 440V	1000V DC	$\geq 2 \text{ M}\Omega$
Kabel 3.3 kV	2500V DC	$\geq 100 \text{ M}\Omega$
Motor 6.6 kV	5000V DC	$\geq 200 \text{ M}\Omega$

Interpretasi Hasil Megger

Nilai baik: $> 1 \text{ M}\Omega$ untuk tegangan operasi 440V. Nilai minimum yang dapat dioperasikan: $\geq 1 \text{ M}\Omega$. Nilai perlu perbaikan segera: $< 1 \text{ M}\Omega$. Rumus praktis: Nilai min = (tegangan kerja dalam kV + 1) $\text{M}\Omega$. Contoh motor 440V: min = $(0,44 + 1) = 1,44 \text{ M}\Omega \rightarrow$ gunakan $1 \text{ M}\Omega$ sebagai batas aman.

Prosedur Megger Test

1. Matikan seluruh tegangan — isolasi sistem (LOTO).
2. Lepaskan koneksi ke peralatan elektronik sensitif (VFD, PLC, relay elektronik).
3. Hubungkan probe sesuai petunjuk (Line ke terminal, Earth ke ground).
4. Atur tegangan uji sesuai peralatan.
5. Ukur selama 1 menit, catat nilai R1min.
6. Bandingkan dengan log sebelumnya (tren menurun = masalah serius).
7. DISCHARGE tegangan sisa setelah pengukuran sebelum melepas probe!

4.7 Clamp Meter (Tang Ampere)

Clamp meter mengukur arus AC dengan prinsip induksi elektromagnetik, tanpa memutus rangkaian (non-invasive). Sangat berguna untuk pengukuran pada kondisi sistem beroperasi.

- Keunggulan: tidak perlu memutus rangkaian, aman pada kondisi live.
- Cocok untuk mengukur arus beban motor, transformer, feeder.
- Clamp meter modern juga dilengkapi fungsi voltmeter dan ohmmeter.
- Posisikan klem melingkupi SATU konduktor saja (tidak dua sekaligus).
- Pastikan kabel dibersihkan dari kotoran dan minyak agar pembacaan akurat.

SOAL LATIHAN BAB IV

27. Alat ukur yang dihubungkan PARALEL dalam rangkaian adalah... (a) Amperemeter (b) Ohmmeter (c) Voltmeter (d) Wattmeter arus
28. Tegangan uji Megger yang tepat untuk motor 440V adalah... (a) 250V DC (b) 500V DC (c) 1000V DC (d) 5000V DC
29. Nilai tahanan isolasi motor 440V yang masih aman dioperasikan minimal... (a) 0,1 M Ω (b) 0,5 M Ω (c) 1 M Ω (d) 10 M Ω
30. Jelaskan prosedur lengkap pengukuran tahanan isolasi motor 440V menggunakan Megger, termasuk persiapan, pelaksanaan, dan interpretasi hasil!
31. Seorang teknisi ingin mengukur arus motor pompa ballast 440V tanpa memutus rangkaian. Alat ukur apa yang digunakan? Jelaskan prosedurnya!
32. Jelaskan mengapa amperemeter harus dipasang seri dan voltmeter harus dipasang paralel! Apa yang terjadi jika pemasangan terbalik?

BAB V — GENERATOR ARUS SEARAH (DC)

Generator DC mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus searah. Meski kapal modern banyak menggunakan AC, pemahaman generator DC tetap penting karena banyak prinsip yang serupa.

5.1 Prinsip Kerja Generator DC

A. Hukum Faraday — Induksi Elektromagnetik

Generator DC bekerja berdasarkan hukum induksi elektromagnetik Faraday: jika konduktor digerakkan dalam medan magnet, timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) pada konduktor tersebut.

$$e = B \times L \times v \times \sin \theta$$

B = Kerapatan fluks (Tesla) | L = Panjang konduktor (m) v = Kecepatan (m/s) | θ = Sudut antara v dan B

Untuk kumparan N lilitan yang mengalami perubahan fluks:

$$E = -N \times d\Phi/dt$$

N = Jumlah lilitan | Φ = Fluks magnetik (Weber) | t = Waktu (s)

B. Komutator dan Sikat Arang

GGL yang dihasilkan kumparan jangkar berupa arus AC. Komutator dan sikat arang mengubahnya menjadi DC:

- Komutator: Cincin tembaga tersegmen pada poros rotor. Jumlah segmen = jumlah kumparan.
- Sikat Arang (Carbon Brush): Kontak geser grafit-tembaga yang menyalurkan arus dari komutator ke sirkuit eksternal.
- Brush Holder: Dudukan sikat yang memastikan tekanan kontak tepat pada komutator.

Mekanisme Komutasi

Saat kumparan berputar 180° , polaritas GGL berubah. Namun komutator membalik koneksi kumparan ke sirkuit eksternal pada saat tepat, sehingga arus selalu mengalir satu arah. Hasilnya adalah tegangan DC berpulsasi yang dihaluskan induktansi armature.

5.2 Konstruksi Generator DC

A. Bagian Diam (Stator/Field)

- 33. Yoke (Frame): Rangka besi/baja sebagai jalur fluks dan pelindung mekanik.
- 34. Kutub Utama: Inti besi membawa kumparan medan (field winding) untuk menghasilkan fluks.
- 35. Kutub Bantu (Interpole): Di antara kutub utama, memperbaiki komutasi.
- 36. Kompensasi Winding: Menetralkan distorsi medan akibat reaksi jangkar (pada generator besar).

B. Bagian Berputar (Rotor/Armature)

- 37. Poros (Shaft): Batang baja tempat seluruh komponen rotor dipasang.
- 38. Inti Jangkar: Inti besi lunak berlapis (laminated) untuk mengurangi rugi arus eddy.
- 39. Kumparan Jangkar: Kumparan tembaga pada alur inti jangkar — tempat GGL diinduksikan.
- 40. Komutator: Cincin tembaga tersegmen terhubung ke ujung kumparan jangkar.

Komponen	Material	Fungsi
Yoke/Frame	Besi/Baja tuang	Jalur fluks, perlindungan mekanik
Kutub Utama	Inti besi lunak	Membawa kumparan medan
Inti Jangkar	Besi lunak berlapis	Mengurangi rugi arus eddy
Kumparan Jangkar	Tembaga berinsulasi	Menghasilkan GGL induksi
Komutator	Tembaga keras	Mengubah AC jangkar → DC output
Sikat Arang	Grafit/Tembaga-grafit	Kontak komutator ke sirkuit luar

5.3 Jenis-Jenis Generator DC

Berdasarkan Penguat Medan (Field Excitation)

Klasifikasi generator DC didasarkan pada bagaimana kumparan medan mendapat arusnya:

1. Generator DC Penguat Terpisah (Separately Excited)

Kumparan medan dari sumber DC eksternal terpisah. Kontrol tegangan sangat presisi. Digunakan pada eksitasi generator besar dan sistem pengujian.

2. Generator DC Shunt (Paralel)

Kumparan medan terhubung paralel dengan jangkar. Tegangan output relatif stabil. Digunakan untuk pengisian baterai kapal dan peralatan DC.

3. Generator DC Seri

Kumparan medan terhubung seri dengan jangkar. Tegangan sangat bergantung pada beban — tidak stabil. Jarang digunakan sebagai sumber daya mandiri.

4. Generator DC Compound

Dua kumparan medan: satu paralel dan satu seri. Menggabungkan keunggulan shunt dan seri. Regulasi tegangan baik pada variasi beban — paling umum untuk kebutuhan serbaguna kapal.

Jenis	Karakteristik Utama	Aplikasi di Kapal
Separately Excited	Kontrol tegangan sangat presisi	Eksitasi generator besar
Shunt	Tegangan stabil, self-excited	Charger baterai, penerangan darurat
Seri	Tegangan tidak stabil	Traksi (sangat jarang di kapal)
Compound	Regulasi tegangan baik	Sumber DC serbaguna di kapal

5.4 Karakteristik dan Rumus Generator DC

Persamaan GGL Generator DC

$$E = (P \times \Phi \times N \times Z) / (60 \times A)$$

P = jumlah kutub | Φ = fluks per kutub (Weber) N = kecepatan (rpm) | Z = jumlah konduktor jangkar A = jumlah jalur paralel (= P untuk lap winding)

Tegangan Terminal dan Regulasi Tegangan

Tegangan terminal generator DC saat berbeban:

$$V_t = E - (I_a \times R_a)$$

V_t = Tegangan terminal (V) | E = GGL (V) I_a = Arus jangkar (A)
| R_a = Hambatan jangkar (Ω)

$$VR = (V_{NL} - V_{FL}) / V_{FL} \times 100\%$$

VR = Voltage Regulation | V_{NL} = Tegangan tanpa beban V_{FL} = Tegangan beban penuh

Contoh Soal Generator DC

Generator DC shunt: 4 kutub, $N=1500$ rpm, 400 konduktor, $\Phi=0,02$ Wb, lap winding ($A=P=4$).

GGL: $E = (4 \times 0,02 \times 1500 \times 400) / (60 \times 4) = 48000/240 = 200$ Volt Jika $R_a = 0,5\Omega$ dan

$I_a = 100A$, tegangan terminal: $V_t = 200 - (100 \times 0,5) = 150$ V

SOAL LATIHAN BAB V

41. Fungsi komutator pada generator DC adalah...
a. Mengubah energi mekanik jadi listrik
b. Mengubah AC jangkar menjadi DC output
c. Mengatur kecepatan putar
d. Melindungi belitan stator
42. Jenis generator DC dengan regulasi tegangan terbaik adalah...
a. Seri
b. Shunt
c. Compound
d. Terpisah
43. Jelaskan prinsip kerja generator DC menggunakan Hukum Faraday. Mengapa GGL jangkar adalah AC dan bagaimana komutator mengubahnya menjadi DC?
44. Generator DC: 4 kutub, 1500 rpm, 400 konduktor, $\Phi=0,025$ Wb, lap winding. Hitunglah GGL yang dibangkitkan!
45. Jelaskan perbedaan generator DC shunt dan compound. Dalam situasi apa generator compound lebih dipilih?

BAB VI — GENERATOR ARUS BOLAK-BALIK (AC)

Generator AC (alternator) adalah sumber energi listrik utama pada hampir semua kapal modern. Alternator mengubah energi mekanik dari diesel (prime mover) menjadi energi listrik AC untuk menyuplai seluruh kebutuhan listrik kapal.

6.1 Prinsip Kerja Generator AC

A. GGL Sinusoidal

Saat kumparan berputar dalam medan magnet seragam, GGL yang dihasilkan berbentuk gelombang sinusoidal:

$$e = E_{\text{max}} \times \sin(\omega t) \quad | \quad E_{\text{max}} = N \times B \times A \times \omega$$

E_{max} = GGL puncak (V) | N = jumlah lilitan | B = kerapatan fluks (T) | A = luas penampang kumparan (m^2) | ω = kecepatan sudut (rad/s)

B. Nilai RMS (Root Mean Square)

Nilai RMS adalah nilai efektif tegangan AC yang menghasilkan efek panas sama dengan DC:

$$V_{\text{rms}} = V_{\text{max}} / \sqrt{2} \approx 0,707 \times V_{\text{max}}$$

V_{rms} = Tegangan efektif (V) | V_{max} = Tegangan puncak (V)

C. Frekuensi Generator AC

$$f = P \times N / 120 \quad (\text{Hz})$$

f = Frekuensi (Hz) | P = Jumlah kutub | N = Kecepatan (rpm)

Frekuensi	Kecepatan 2-Kutub	Kecepatan 4-Kutub	Kecepatan 6-Kutub
50 Hz (Indonesia)	3000 rpm	1500 rpm	1000 rpm
60 Hz (Amerika)	3600 rpm	1800 rpm	1200 rpm

Contoh Perhitungan Frekuensi

Alternator kapal 6 kutub untuk frekuensi 50 Hz: $N = 120 \times f / P = 120 \times 50 / 6 = 1000 \text{ rpm}$

Kesimpulan: prime mover harus dijaga pada kecepatan 1000 rpm oleh governor.

6.2 Konstruksi Alternator Kapal

A. Tipe Revolving Field (Medan Berputar) — PALING UMUM

Kumparan medan (field winding) ada di rotor dan berputar, kumparan jangkar (armature winding) ada di stator dan diam.

- Keunggulan: tegangan tinggi dapat dibangkitkan tanpa slip ring pada output.
- Slip ring hanya digunakan untuk suplai arus eksitasi DC ke rotor (tegangan/arus rendah).
- Konstruksi lebih kuat dan andal untuk rating daya besar.
- Lebih mudah diinsulasi untuk tegangan tinggi pada stator.

B. Sistem Eksitasi Alternator

Sistem eksitasi menyuplai arus DC ke kumparan medan rotor untuk menghasilkan fluks magnet:

Sistem Eksitasi	Deskripsi	Keunggulan
Static Excitation	Diode/thyristor mengubah sebagian output AC jadi DC	Sederhana, responsif
Brushless Excitation	Exciter kecil + rectifier diode pada poros rotor	Tanpa sikat, perawatan minimal
Permanent Magnet	Magnet permanen sebagai sumber fluks awal	Sangat andal, untuk alternator kecil
Compound Excitation	Kombinasi transformator arus dan tegangan	Stabilitas tegangan sangat baik

C. Automatic Voltage Regulator (AVR)

AVR secara otomatis mempertahankan tegangan output alternator tetap konstan meski beban berubah. Cara kerja: jika tegangan turun (beban naik) → AVR meningkatkan arus eksitasi → fluks bertambah → tegangan naik kembali. Sebaliknya jika tegangan naik.

6.3 Sinkronisasi Generator Paralel

Dua atau lebih generator sering dioperasikan paralel untuk memenuhi kebutuhan beban yang bervariasi. Sebelum menghubungkan generator ke bus bar, WAJIB dilakukan sinkronisasi.

● EMPAT SYARAT SINKRONISASI — WAJIB DIPENUHI SEMUA

1. TEGANGAN SAMA: $V_{\text{incoming}} = V_{\text{bus}}$ (toleransi $\pm 5\%$)
2. FREKUENSI SAMA: $f_{\text{incoming}} = f_{\text{bus}}$ (toleransi $\pm 0,5$ Hz)
3. URUTAN FASA SAMA: R-S-T incoming = R-S-T bus (harus identik)
4. SUDUT FASA SAMA: Gelombang sefasa saat dihubungkan (perbedaan $< 5^\circ$)

A. Metode Synchroscope

Synchroscope menampilkan perbedaan frekuensi dan fasa antara generator incoming dan bus bar. Cara membaca:

- Jarum berputar searah jarum jam (CW) → frekuensi incoming LEBIH TINGGI dari bus.
- Jarum berputar berlawanan jarum jam (CCW) → frekuensi incoming LEBIH RENDAH dari bus.
- Jarum diam di posisi 12 → frekuensi sama dan fasa tepat (KONDISI SYNC).
- Masukkan circuit breaker saat jarum tepat di posisi 12 dan bergerak SANGAT PERLAHAN CW.

B. Metode Lampu Sinkronisasi

Tiga lampu dipasang antara generator incoming dan bus bar. Sinkronisasi saat ketiga lampu padam bersamaan (dark lamp method) atau berkedip bersamaan secara sinkron.

C. Auto-Synchronizer

Sistem modern menggunakan automatic synchronizer yang secara otomatis menyesuaikan tegangan, frekuensi, dan sudut fasa sebelum menutup circuit breaker.

⚠ Bahaya Sinkronisasi Tidak Tepat

Jika generator dihubungkan saat tidak tersinkronisasi: • Arus kejut (inrush) sangat besar → merusak belitan generator • Torsi mekanik ekstrem → merusak poros dan kopling • Proteksi trip → blackout total kapal Selalu pastikan SEMUA 4 syarat terpenuhi sebelum masukkan circuit breaker!

D. Pembagian Beban Aktif dan Reaktif

Jenis Beban	Cara Mengatur	Caranya
Beban Aktif (kW)	Governor prime mover	Tambah fuel → kecepatan naik → kW generator bertambah

Jenis Beban	Cara Mengatur	Caranya
Beban Reaktif (kVAR)	Arus eksitasi medan	Tambah eksitasi → fluks naik → kVAR generator bertambah

6.4 Panel Kontrol Generator

Panel kontrol generator (GCP) adalah pusat pemantauan dan pengendalian operasional generator.

Instrumen	Fungsi	Nilai Normal
Voltmeter 3 ϕ	Monitor tegangan output tiap fasa	440V $\pm$ 5%
Amperemeter 3 ϕ	Monitor arus output tiap fasa	$\leq$ Rated current
Frekuensi Meter	Monitor frekuensi output	50 Hz $\pm$ 0,5 Hz
Power Factor Meter	Monitor faktor daya	0,8–1,0 lagging
Wattmeter	Monitor daya aktif output	Sesuai beban
KVARmeter	Monitor daya reaktif	Sesuai beban
Excitation Ammeter	Monitor arus eksitasi rotor	Sesuai setting AVR
Synchroscope	Monitor kondisi sinkronisasi	Posisi 12 saat sync

Sistem Proteksi Generator AC

Relay Proteksi	Kode ANSI	Fungsi
Over Current	50/51	Trip saat arus melebihi batas maksimum
Differential	87G	Proteksi gangguan internal generator
Reverse Power	32	Cegah generator jalan sebagai motor
Over/Under Voltage	59/27	Trip saat tegangan tidak normal
Over/Under Frequency	81O/81U	Trip saat frekuensi tidak normal
Loss of Excitation	40	Trip saat eksitasi hilang
Over Temperature	49	Trip saat suhu belitan terlalu tinggi

SOAL LATIHAN BAB VI

46. Syarat sinkronisasi dua generator AC adalah...
 a. Tegangan, daya, fasa b. Tegangan, frekuensi, urutan fasa, sudut fasa
 c. Arus, tegangan, frekuensi d. Daya, tegangan, kecepatan

47. Fungsi AVR pada alternator adalah... a. Mengatur kecepatan b. Mempertahankan tegangan output konstan c. Mengatur urutan fasa d. Mencegah overload
48. Untuk mengubah pembagian beban aktif (kW) antar dua generator paralel, yang diatur adalah... a. Arus eksitasi b. AVR c. Governor/fuel supply prime mover d. Circuit breaker
49. Alternator kapal 6 kutub, 50 Hz. Hitunglah kecepatan putarnya! Jika tegangan line 440V, arus 800A, $\cos \phi = 0,85$, hitunglah daya aktif, reaktif, dan semu!
50. Jelaskan prosedur sinkronisasi generator kedua ke bus bar menggunakan synchroscope! Apa akibatnya jika CB ditutup saat jarum synchroscope di posisi 6?
51. Jelaskan fungsi Reverse Power Relay (relay 32) dan kondisi apa yang menyebabkannya bekerja!

BAB VII — PERAWATAN SISTEM KELISTRIKAN KAPAL

Perawatan (maintenance) sistem kelistrikan kapal adalah serangkaian kegiatan terencana dan sistematis untuk menjaga seluruh komponen tetap berfungsi baik, aman, dan andal. Perawatan yang baik mencegah kerusakan tak terduga yang membahayakan keselamatan kapal.

7.1 Program Perawatan Berkala (Planned Maintenance System)

PMS (Planned Maintenance System) adalah sistem perawatan terencana yang mengatur jadwal, prosedur, dan catatan perawatan seluruh peralatan kapal. PMS diwajibkan oleh ISM Code untuk semua kapal.

Jenis Perawatan	Deskripsi	Contoh
Preventive	Perawatan rutin sesuai jadwal untuk mencegah kerusakan	Pembersihan, pelumasan, pengecekan
Predictive	Pemantauan kondisi untuk memprediksi kerusakan	Vibration analysis, IR thermography
Corrective	Perbaikan setelah terjadi kerusakan	Penggantian komponen rusak
Breakdown	Penanganan darurat saat kerusakan kritis	Emergency repair
Overhaul	Pembongkaran dan pemeriksaan menyeluruh	Annual/5-year major overhaul

Jadwal Perawatan Sistem Kelistrikan

Interval	Kegiatan Perawatan Utama
Harian	Cek parameter operasi generator (V, I, f, cos ϕ , suhu, getaran)
Mingguan	Bersihkan panel, cek level elektrolit baterai, test lampu darurat
Bulanan	Bersihkan filter udara generator, kencangkan terminal, test CB manual
3 Bulanan	Megger test motor & kabel, kalibrasi alat ukur, cek tahanan isolasi panel
Tahunan	Overhaul generator (brush, bearing, komutator), uji sistem proteksi lengkap
5 Tahunan	Rewinding jika perlu, penggantian kabel tua, full system audit & survey

7.2 Perawatan Generator

A. Perawatan Harian

52. Catat parameter operasi: tegangan output, arus, frekuensi, faktor daya, suhu, tekanan oli.
53. Cek level minyak pelumas dan air pendingin (jika water-cooled).
54. Cek kondisi sistem eksitasi: tegangan dan arus eksitasi.
55. Dengarkan suara generator — bunyi abnormal (ketukan, gesekan, dengung) = indikasi masalah.
56. Periksa kondisi vibrasi secara visual atau dengan vibration meter.

B. Perawatan Mingguan

57. Bersihkan permukaan luar generator dari debu, minyak, dan kontaminasi.
58. Periksa kondisi komutator/slip ring — harus mulus dan bersih tanpa bekas busur api.
59. Periksa sikat arang (brush) — ukur panjang sisa, ganti jika $< 1/3$ panjang asli.
60. Periksa bearing: dengarkan suara, cek temperatur ($< 70^{\circ}\text{C}$), periksa getaran.
61. Cek kondisi dan kekencangan koneksi terminal output generator.

Komponen	Parameter yang Diperiksa	Nilai Normal / Tindakan
Sikat Arang	Panjang sisa brush	Ganti jika $< 1/3$ panjang asli
Komutator/Slip Ring	Kondisi permukaan	Mulus, tidak ada lekukan/bekas busur
Bearing	Temperatur, getaran, suara	$T < 70^{\circ}\text{C}$, tidak ada getaran/suara abnormal
Insulasi Belitan	Tahanan isolasi (Megger)	$\geq 2 \text{ M}\Omega$ (generator 440V)
Ventilasi	Aliran udara, kondisi filter	Bersih, tidak tersumbat
Coupling/Kopling	Kondisi, keselarasan (alignment)	Tidak retak, alignment dalam toleransi

C. Prosedur Overhaul Generator Tahunan

62. LOTO (Lock Out-Tag Out) — isolasi seluruh sumber energi.
63. Buat catatan kondisi awal (foto, data pengukuran terakhir, log book).
64. Lepaskan dan bersihkan casing/tutup generator.
65. Periksa stator: kencangkan baut, periksa insulasi, bersihkan dengan vacuum.
66. Periksa rotor: balance, kondisi slip ring/komutator, kondisi poros.
67. Ganti bearing sesuai jadwal atau jika kondisi tidak baik.
68. Bersihkan dan periksa sistem eksitasi, AVR, dan rectifier.
69. Ukur tahanan isolasi semua belitan dengan Megger sebelum dan sesudah pembersihan.
70. Rakit kembali, kencangkan semua baut dengan torque wrench sesuai spesifikasi.
71. Test run dan verifikasi semua parameter (V , I , f , $\cos \phi$, T , vibrasi) dalam rentang normal.

7.3 Perawatan Panel Listrik

Perawatan Main Switchboard (MSB)

72. Pemeriksaan Visual: Cek bekas panas, perubahan warna, bau terbakar, atau tanda kontaminasi.
73. Pembersihan Panel: Bersihkan debu menggunakan vacuum cleaner dan lap kering. JANGAN gunakan compressed air bertekanan tinggi.
74. Pemeriksaan Koneksi: Kencangkan semua terminal dengan torque wrench sesuai spesifikasi. Koneksi kendur = panas berlebih dan risiko kebakaran.
75. Uji Circuit Breaker: Lakukan trip test secara berkala untuk memastikan mekanisme trip berfungsi.
76. Kalibrasi Instrumen: Kalibrasi voltmeter, amperemeter, dan instrumen panel lainnya.
77. IR Thermography: Scanning inframerah pada semua koneksi untuk mendeteksi titik panas tidak normal.

7.4 Perawatan Kabel dan Koneksi

Kabel adalah infrastruktur distribusi listrik yang sangat penting. Kerusakan isolasi kabel dapat menyebabkan hubung singkat, kebakaran, dan bahaya electrocution.

- Inspeksi Visual: Periksa kondisi fisik kabel secara rutin — keretakan, pengerasan, atau kerusakan mekanis pada insulasi.
- Megger Test Berkala: Uji tahanan isolasi sesuai jadwal PMS.
- Pemeriksaan Klem/Klip Kabel: Pastikan semua klem kondisi baik, tidak berkarat, tidak menyebabkan tekukan tajam.
- Pemeriksaan Terminal: Periksa kondisi terminal — korosi, kendur, atau bekas panas berlebih.

Faktor yang Mempercepat Degradasi Isolasi Kabel di Kapal

1. Kelembaban dan air laut — menyebabkan korosi dan penurunan tahanan isolasi.
2. Suhu tinggi di kamar mesin.
3. Getaran dan gerakan kapal — menyebabkan kelelahan mekanis.
4. Ozon dan UV — terutama pada kabel di deck terbuka.
5. Bahan kimia: minyak, bahan bakar, dan cat. → Gunakan kabel tipe marine grade sesuai standar IEC 60092.

7.5 Prosedur Keselamatan Kerja (K3) Kelistrikan Kapal

A. Regulasi K3 Kelistrikan

- SOLAS Chapter II-1: Persyaratan konstruksi dan proteksi sistem listrik kapal.
- IEC 60092: Standar instalasi listrik di atas kapal.
- ISM Code: Persyaratan sistem manajemen keselamatan termasuk prosedur kerja aman.
- Permenaker No. 12/1989 tentang K3 dalam Bidang Kelistrikan.

B. Prosedur Lock Out — Tag Out (LOTO)

LOTO adalah prosedur WAJIB sebelum pekerjaan pada sistem berenergi. Mencegah energisasi tidak disengaja saat pekerjaan berlangsung.

Langkah	Tindakan	Keterangan
1. IDENTIFY	Identifikasi semua sumber energi	Listrik, pneumatik, hidrolik, gravitasi
2. NOTIFY	Beritahu semua pihak terkait	Teknisi, operator, pengawas
3. ISOLATE	Isolasi semua sumber energi	Buka CB/switch/valve
4. LOCK	Pasang kunci pada isolator	Kunci pribadi teknisi yang bekerja
5. TAG	Pasang label peringatan	Nama, tanggal, jenis pekerjaan
6. VERIFY	Verifikasi energi sudah terisolasi	Ukur tegangan dengan voltmeter
7. DISCHARGE	Buang energi residual	Kapasitor, energi gravitasi

Alat Pelindung Diri (APD) Wajib — Pekerjaan Kelistrikan Kapal

- Sarung tangan isolasi listrik (insulated gloves) sesuai class tegangan kerja
 - Kacamata atau face shield pelindung arc flash
 - Pakaian tahan api (FR clothing) — Arc flash suit untuk tegangan > 1kV
 - Sepatu keselamatan dengan sol isolasi (dielectric footwear)
 - Helm keselamatan
- Pastikan semua APD dalam kondisi baik dan tidak melewati tanggal kadaluarsa!

C. Tindakan Pertolongan Pertama — Kecelakaan Listrik

78. JANGAN langsung sentuh korban! Pastikan sumber listrik sudah diputus terlebih dahulu.
79. Putuskan sumber listrik dengan CB atau switch terdekat.
80. Jika sumber tidak bisa diputus, gunakan benda non-konduktor (kayu kering, tali nilon) untuk memindahkan korban.
81. Panggil bantuan medis segera melalui komunikasi kapal.
82. Periksa kondisi korban: kesadaran, pernapasan, denyut nadi.
83. Jika tidak bernapas dan tidak ada denyut nadi: mulai CPR (Cardio Pulmonary Resuscitation).
84. Tangani luka bakar dengan kompres dingin — JANGAN buka pakaian yang menempel pada luka.
85. Buat laporan kecelakaan (accident report) sesuai prosedur ISM Code.

SOAL LATIHAN BAB VII

86. LOTO singkatan dari... a. Lock Out-Take Over b. Lock Out-Tag Out c. List Out-Turn Off d. Load Out-Turn On
87. Nilai minimum tahanan isolasi yang aman untuk motor 440V adalah... a. 0,5 M Ω b. 1 M Ω c. 5 M Ω d. 10 M Ω
88. Sikat arang (carbon brush) generator harus diganti jika panjang sisa mencapai... a. 1/2 panjang asli b. 1/3 panjang asli c. 2/3 panjang asli d. 3/4 panjang asli
89. Jelaskan prosedur LOTO lengkap sebelum merawat motor pompa ballast 440V yang sedang beroperasi! Sebutkan semua langkah dari awal hingga selesai.
90. Teknisi menemukan tahanan isolasi motor pompa bilge 440V = 0,3 M Ω . Apa artinya? Tindakan apa yang harus dilakukan? Apa bahayanya jika motor tetap dioperasikan?
91. Buat program perawatan bulanan untuk generator kapal 400 kW, 440V, 3 fasa, 50 Hz yang mencakup: daftar kegiatan, alat yang diperlukan, prosedur K3, dan format pencatatan hasil!

DAFTAR PUSTAKA

- Chakrabarti, A. & Nath, S. (2018). Basic Electrical Engineering (3rd ed.). Tata McGraw-Hill Education.
- Chapman, S. J. (2012). Electric Machinery Fundamentals (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Det Norske Veritas (DNV GL). (2021). Rules for Classification: Ships — Part 4 Chapter 8: Electrical Installations. Oslo: DNV GL.
- IEC 60092-101. (2018). Electrical Installations in Ships — Part 101: Definitions and General Requirements. Geneva: IEC.
- IMO. (2010). STCW Including 2010 Manila Amendments. London: International Maritime Organization.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2018). Silabus Mata Pelajaran SMK Kompetensi Keahlian Teknik Kapal Niaga. Jakarta: Kemendikbud.
- McGeorge, H. D. (2002). Marine Electrical Equipment and Practice (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Mohan, N. (2012). Electric Power Systems: A First Course. Hoboken: John Wiley & Sons.
- SOLAS. (2020). International Convention for the Safety of Life at Sea, Consolidated Edition 2020. London: IMO.
- Wildi, T. (2014). Electrical Machines, Drives, and Power Systems (6th ed.). Upper Saddle River: Pearson Education.

GLOSARIUM

Istilah / Singkatan	Definisi
Alternator	Generator arus bolak-balik (AC) — mengubah energi mekanik menjadi energi listrik AC.
Amperemeter	Alat ukur kuat arus listrik; dipasang secara seri dalam rangkaian.
Armature	Bagian generator/motor yang membawa kumparan tempat GGL diinduksikan.
AVR	Automatic Voltage Regulator — komponen yang mengatur tegangan output generator secara otomatis.
Bus Bar	Rel konduktor tempat generator dan beban dihubungkan dalam sistem distribusi listrik kapal.
Circuit Breaker	Pemutus tenaga otomatis yang trip saat arus lebih atau hubung singkat; dapat direset.
Commutator	Cincin tembaga tersegmen yang mengubah arus AC jangkar menjadi DC pada output generator.
Cos ϕ	Faktor daya — rasio daya aktif (kW) terhadap daya semu (kVA). Nilai 0–1.
DC	Direct Current — arus searah, mengalir dalam satu arah tetap.
Eksitasi	Proses penyediaan arus DC ke kumparan medan untuk menghasilkan fluks magnet.
Frekuensi	Jumlah siklus per detik, satuan Hz. Standar kapal: 50 Hz (Indonesia) atau 60 Hz (Amerika).
GGL	Gaya Gerak Listrik (EMF/Electromotive Force) — tegangan yang dihasilkan sumber energi.
Hambatan	Resistansi — kemampuan material menghambat aliran arus listrik, satuan Ohm (Ω).
Hukum Ohm	$V = I \times R$ — hubungan fundamental antara tegangan, arus, dan hambatan.
IEC 60092	Standar internasional untuk instalasi listrik di atas kapal laut.
IMO	International Maritime Organization — badan PBB yang mengatur keselamatan pelayaran.
Induksi Elektromagnetik	Prinsip timbulnya GGL akibat perubahan fluks magnet (Hukum Faraday).
ISM Code	International Safety Management Code — regulasi manajemen keselamatan kapal.
KCL	Kirchhoff's Current Law — jumlah arus masuk = jumlah arus keluar pada suatu node.
KVL	Kirchhoff's Voltage Law — jumlah tegangan dalam loop tertutup = 0.
LOTO	Lock Out-Tag Out — prosedur keselamatan isolasi energi sebelum pekerjaan perawatan.

Istilah / Singkatan	Definisi
Main Switchboard	Panel distribusi listrik utama kapal — pusat kontrol dan distribusi seluruh kelistrikan.
Megger	Insulation resistance tester — mengukur tahanan isolasi menggunakan tegangan DC tinggi.
PMS	Planned Maintenance System — sistem perawatan terencana yang diwajibkan ISM Code.
Relay Proteksi	Perangkat yang memantau parameter listrik dan memberikan sinyal trip ke CB.
Sinkronisasi	Proses menyamakan V, f, urutan fasa, dan sudut fasa sebelum paralel generator.
SOLAS	Safety of Life at Sea — konvensi internasional tentang keselamatan kapal.
Stator	Bagian diam dari generator/motor.
Synchroscope	Instrumen yang menampilkan perbedaan frekuensi dan fasa untuk sinkronisasi generator.
Tegangan	Beda potensial listrik antara dua titik, satuan Volt (V).
VFD	Variable Frequency Drive — penggerak frekuensi variabel untuk kontrol kecepatan motor.