

PEMERINTAH PROVINSI KEPULAUAN RIAU
DINAS PENDIDIKAN
SMK NEGERI 5 TANJUNGPINANG
Kompetensi Keahlian: Teknika Kapal Niaga

BUKU TEKS
ELEKTRONIKA
Electronics

Oleh:
JOKO DARMONO, ST
NIP 197305312022211003

Dasar Elektronika, Komponen, dan Sistem Elektronik Kapal

TANJUNGPINANG
2026

KATA PENGANTAR

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

Kapal modern dipenuhi oleh sistem elektronik — mulai dari sistem kontrol otomasi mesin (alarm monitoring system), sistem navigasi (GPS, radar, ECDIS), sistem komunikasi (GMDSS), hingga sistem proteksi dan kontrol pada panel listrik. Seluruh sistem elektronik tersebut dibangun dari komponen-komponen dasar elektronika: resistor, dioda, transistor, kapasitor, induktor, dan rangkaian terintegrasi (IC).

Pemahaman terhadap dasar-dasar elektronika menjadi sangat penting bagi perwira teknik kapal, bukan untuk menjadi ahli desain elektronik, tetapi untuk memahami prinsip kerja peralatan elektronik di kapal, melakukan troubleshooting dasar, membaca rangkaian/diagram, serta berkomunikasi efektif dengan teknisi elektronik saat terjadi kerusakan.

Buku ini mencakup delapan topik utama: (1) Pengantar Dasar-Dasar Elektronika, (2) Pengantar dan Bahan Semikonduktor, (3) Dioda dan Aplikasinya, (4) Transistor, (5) Kapasitor dan Induktor, (6) Rangkaian Penguat (Amplifier), (7) Sistem Penerima Sinyal (Receiver), serta (8) Relay dan Aplikasi Kontrol Elektronik di Kapal. Setiap bab dilengkapi teori, gambar simbol komponen, tabel referensi, 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 DASAR-DASAR ELEKTRONIKA	1
1.1 Elektronika di Atas Kapal	1
1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai	2
1.3 Komponen Elektronik dan Simbolnya	3
BAB II — PENGHANTAR ARUS LISTRIK DAN SEMIKONDUKTOR	6
2.1 Konduktor, Isolator, dan Semikonduktor	6
2.2 Struktur Atom Semikonduktor	8
2.3 Doping dan Pembentukan Tipe-P dan Tipe-N	10
2.4 Sambungan P-N (P-N Junction)	12
2.5 Rangkuman & Latihan Bab II	14
BAB III — DIODA DAN APLIKASINYA	17
3.1 Prinsip Kerja Dioda	17
3.2 Jenis-Jenis Dioda	19
3.3 Rangkaian Penyearah (Rectifier)	22
3.4 Rangkuman & Latihan Bab III	25
BAB IV — TRANSISTOR	28
4.1 Transistor Bipolar (BJT)	28
4.2 Transistor Efek Medan (FET dan MOSFET)	31
4.3 Konfigurasi dan Mode Operasi Transistor	34
4.4 Aplikasi Transistor sebagai Saklar dan Penguat	36
4.5 Rangkuman & Latihan Bab IV	38
BAB V — KAPASITOR DAN INDUKTOR	41
5.1 Kapasitor: Prinsip dan Jenis	41
5.2 Perhitungan Dasar Kapasitor	44
5.3 Induktor: Prinsip dan Jenis	46
5.4 Rangkaian RLC dan Filter	48
5.5 Rangkuman & Latihan Bab V	51
BAB VI — RANGKAIAN PENGUAT (AMPLIFIER)	54
6.1 Konsep Dasar Penguatan (Gain)	54
6.2 Kelas-Kelas Penguat	56
6.3 Penguat Operasional (Op-Amp)	59
6.4 Rangkuman & Latihan Bab VI	62
BAB VII — SISTEM PENERIMA SINYAL (RECEIVER)	65
7.1 Konsep Dasar Komunikasi Radio	65

7.2 Receiver AM dan FM	68
7.3 Sistem Komunikasi dan Navigasi Elektronik Kapal	71
7.4 Rangkuman & Latihan Bab VII	74
BAB VIII — RELAY DAN APLIKASI KONTROL ELEKTRONIK	77
8.1 Prinsip Kerja Relay	77
8.2 Jenis-Jenis Relay	79
8.3 Aplikasi Relay dalam Sistem Kontrol dan Alarm Kapal	82
8.4 Rangkuman & Latihan Bab VIII	85
Daftar Pustaka	88
Glosarium	90

BAB I — PENGANTAR DASAR-DASAR ELEKTRONIKA

1.1 Elektronika di Atas Kapal

Elektronika adalah cabang ilmu yang mempelajari aliran elektron dalam komponen-komponen seperti dioda, transistor, dan rangkaian terintegrasi (IC) untuk mengontrol, memperkuat, atau mengolah sinyal listrik. Berbeda dengan kelistrikan (electrical) yang berfokus pada penyaluran dan konversi daya listrik dalam jumlah besar, elektronika berfokus pada pengolahan SINYAL dan INFORMASI.

Di atas kapal modern, sistem elektronik tersebar di hampir semua departemen:

Sistem Elektronik	Lokasi/Departemen	Fungsi
Alarm Monitoring System (AMS)	Kamar mesin / ECR	Memantau dan memberi alarm parameter permesinan
Engine Control System	Kamar mesin	Mengontrol kecepatan, governor, sistem injeksi elektronik
GPS, Radar, ECDIS	Anjungan/navigasi	Penentuan posisi, deteksi target, peta elektronik
GMDSS (Komunikasi)	Anjungan/radio room	Komunikasi darurat dan rutin via radio/satelit
Power Management System (PMS)	Panel listrik	Kontrol otomatis generator dan distribusi listrik
Fire & Gas Detection System	Seluruh kapal	Deteksi dini kebakaran dan gas berbahaya

Mengapa Perwira Mesin Perlu Memahami Elektronika?

- Banyak sistem kontrol mesin modern (governor elektronik, common rail injection) berbasis elektronika dan sensor
- Troubleshooting awal (basic fault finding) sering memerlukan pemahaman dasar sirkuit elektronik (cek tegangan, kontinuitas, sensor)
- Komunikasi efektif dengan technical superintendent/teknisi elektronik saat terjadi kerusakan
- Memahami prinsip kerja alat ukur elektronik (multimeter digital, oscilloscope dasar)

1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai

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

1. Menjelaskan konsep dasar elektronika dan perbedaannya dengan kelistrikan (electrical).
2. Menjelaskan sifat penghantar arus listrik pada konduktor, isolator, dan semikonduktor.
3. Menjelaskan prinsip kerja, jenis, dan aplikasi dioda dalam rangkaian elektronika kapal.
4. Menjelaskan prinsip kerja dan aplikasi transistor sebagai saklar dan penguat.
5. Menjelaskan prinsip kerja kapasitor dan induktor serta melakukan perhitungan dasarnya.
6. Menjelaskan konsep dasar rangkaian penguat (amplifier) dan penguat operasional (op-amp).
7. Menjelaskan prinsip dasar sistem penerima sinyal (receiver) pada peralatan komunikasi dan navigasi kapal.
8. Menjelaskan prinsip kerja relay dan aplikasinya dalam sistem kontrol dan alarm kapal.

1.3 Komponen Elektronik dan Simbolnya

Sebelum mempelajari masing-masing komponen secara mendalam, berikut adalah daftar komponen dasar elektronika yang akan dibahas dalam buku ini beserta fungsinya secara umum:

Komponen	Simbol Singkatan	Fungsi Utama
Resistor	R	Menghambat/membatasi arus listrik
Dioda	D	Menyearahkan arus (mengalirkan arus satu arah)
Transistor	Q/T	Menguatkan sinyal atau berfungsi sebagai saklar elektronik
Kapasitor	C	Menyimpan energi dalam bentuk medan listrik
Induktor	L	Menyimpan energi dalam bentuk medan magnet
Relay	K/RV	Saklar elektromekanis yang dikontrol oleh sinyal elektrik kecil
Integrated Circuit (IC)	U/IC	Rangkaian terintegrasi berisi banyak komponen dalam satu chip

Hubungan Antar Bab dalam Buku Ini

Buku ini disusun secara bertahap: Bab II membahas DASAR material (konduktor, semikonduktor) yang menjadi fondasi seluruh komponen aktif. Bab III dan IV membahas komponen AKTIF (dioda, transistor) yang dibangun dari semikonduktor. Bab V membahas komponen PASIF (kapasitor, induktor) yang menyimpan energi. Bab VI menggabungkan komponen aktif dan pasif menjadi rangkaian PENGUAT. Bab VII menerapkan konsep penguat dan filter pada sistem RECEIVER komunikasi kapal. Bab VIII membahas RELAY

sebagai jembatan antara sinyal elektronik kecil dan kontrol daya besar (kelistrikan) — menghubungkan kembali ke topik kelistrikan kapal.

BAB II — PENGHANTAR ARUS LISTRIK DAN SEMIKONDUKTOR

Pemahaman tentang sifat material dalam menghantarkan arus listrik adalah dasar dari seluruh teknologi elektronika modern. Bab ini membahas klasifikasi material berdasarkan kemampuan menghantarkan listrik, serta struktur atom semikonduktor yang menjadi dasar pembuatan dioda dan transistor.

2.1 Konduktor, Isolator, dan Semikonduktor

Material dapat diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya menghantarkan arus listrik, yang ditentukan oleh struktur pita energi (energy band) elektron pada atom material tersebut.

Jenis Material	Karakteristik	Contoh	Resistivitas ($\Omega \cdot m$)
Konduktor	Banyak elektron bebas, menghantarkan listrik dengan mudah	Tembaga, perak, aluminium	$10^{-8} - 10^{-6}$
Isolator	Hampir tidak ada elektron bebas, menahan aliran listrik	Karet, kaca, keramik, plastik	$10^8 - 10^{20}$
Semikonduktor	Resistivitas di antara konduktor dan isolator, dapat dikontrol	Silikon (Si), Germanium (Ge)	$10^{-4} - 10^4$

Mengapa Semikonduktor Begitu Penting?

Sifat unik semikonduktor adalah konduktivitasnya dapat DIKONTROL dan DIMODIFIKASI melalui proses doping (penambahan atom pengotor), pemberian tegangan, suhu, atau cahaya. Kemampuan untuk "mengaktifkan" atau "menonaktifkan" konduktivitas material inilah yang menjadi dasar pembuatan dioda (yang menghantarkan arus satu arah) dan transistor (yang dapat berfungsi sebagai saklar atau penguat dikendalikan oleh sinyal kecil).

2.2 Struktur Atom Semikonduktor

Silikon (Si) adalah material semikonduktor yang paling umum digunakan dalam pembuatan komponen elektronik (dioda, transistor, IC). Atom silikon memiliki 4 elektron valensi (elektron pada kulit terluar).

Ikatan Kovalen pada Kristal Silikon

Dalam struktur kristal silikon murni, setiap atom silikon membentuk ikatan kovalen dengan 4 atom silikon tetangganya, masing-masing berbagi 1 elektron valensi. Struktur ini stabil dan pada suhu rendah, silikon murni berperilaku seperti isolator karena hampir tidak ada elektron bebas.

Pembentukan Elektron Bebas dan Hole

Pada suhu kamar, sebagian kecil ikatan kovalen dapat "pecah" akibat energi termal, melepaskan elektron dari ikatannya. Elektron yang terlepas menjadi elektron bebas (free electron) yang dapat bergerak dan menghantarkan arus. Tempat kosong yang ditinggalkan elektron disebut HOLE (lubang) — yang berperilaku seperti partikel bermuatan POSITIF dan juga dapat "bergerak" (sebenarnya yang bergerak adalah elektron tetangga yang mengisi hole tersebut, menciptakan hole baru di posisi sebelumnya).

Dua Pembawa Muatan (Charge Carrier) dalam Semikonduktor

- ELEKTRON (muatan negatif) — bergerak menuju potensial positif
- HOLE (muatan positif semu) — bergerak menuju potensial negatif

Keberadaan DUA jenis pembawa muatan inilah yang membedakan semikonduktor dari konduktor logam (yang hanya memiliki elektron sebagai pembawa muatan).

2.3 Doping dan Pembentukan Tipe-P dan Tipe-N

Doping adalah proses penambahan atom pengotor (impurity) dalam jumlah sangat kecil ke dalam kristal semikonduktor murni untuk meningkatkan dan mengontrol konduktivitasnya.

A. Semikonduktor Tipe-N (Negative)

Dibuat dengan menambahkan atom pentavalen (5 elektron valensi) seperti Fosfor (P) atau Arsenik (As) ke dalam kristal silikon. Atom pengotor ini disebut DONOR karena "menyumbangkan" 1 elektron ekstra yang tidak terlibat dalam ikatan kovalen, menjadi elektron bebas tambahan. Hasilnya: material memiliki KELEBIHAN ELEKTRON BEBAS — pembawa muatan MAYORITAS adalah elektron (negatif), sehingga disebut tipe-N.

B. Semikonduktor Tipe-P (Positive)

Dibuat dengan menambahkan atom trivalen (3 elektron valensi) seperti Boron (B) atau Galium (Ga) ke dalam kristal silikon. Atom pengotor ini disebut ACCEPTOR karena "menerima" elektron, menciptakan HOLE tambahan dalam struktur ikatan. Hasilnya: material memiliki

KELEBIHAN HOLE — pembawa muatan MAYORITAS adalah hole (positif semu), sehingga disebut tipe-P.

Aspek	Tipe-N	Tipe-P
Atom Doping	Pentavalen (P, As) — donor	Trivalen (B, Ga) — akseptor
Pembawa Muatan Mayoritas	Elektron (negatif)	Hole (positif)
Pembawa Muatan Minoritas	Hole	Elektron
Muatan Material Keseluruhan	Netral (jumlah proton = elektron)	Netral (jumlah proton = elektron)

⚠ Kesalahpahaman Umum

Meskipun disebut "tipe-N" dan "tipe-P", kedua material semikonduktor TERSEBUT TETAP BERMUATAN NETRAL secara keseluruhan! Istilah N dan P hanya merujuk pada JENIS PEMBAWA MUATAN MAYORITAS yang tersedia untuk konduksi (elektron pada tipe-N, hole pada tipe-P), bukan muatan total material.

2.4 Sambungan P-N (P-N Junction)

Sambungan P-N terbentuk ketika material tipe-P dan tipe-N digabungkan dalam satu kristal kontinu. Sambungan inilah yang menjadi dasar pembuatan DIODA (akan dibahas detail pada Bab III).

Proses Pembentukan Depletion Region

9. Saat tipe-P dan tipe-N digabungkan, elektron bebas dari sisi-N berdifusi (bergerak) menuju sisi-P, dan hole dari sisi-P berdifusi menuju sisi-N (akibat perbedaan konsentrasi pembawa muatan).
10. Elektron yang berdifusi ke sisi-P akan berrekombinasi dengan hole, dan sebaliknya — menetralkan pembawa muatan di sekitar sambungan.
11. Proses ini menciptakan daerah di sekitar sambungan yang KEHABISAN pembawa muatan bebas, disebut DEPLETION REGION (daerah deplesi/pengosongan).
12. Difusi ini meninggalkan ion-ion bermuatan tetap: sisi-N dekat sambungan menjadi sedikit POSITIF (kehilangan elektron), sisi-P dekat sambungan menjadi sedikit NEGATIF (kehilangan hole). Perbedaan muatan ini menciptakan medan listrik internal (built-in potential/barrier potential) yang melawan difusi lebih lanjut, hingga tercapai kesetimbangan.

💡 Barrier Potential (Tegangan Penghalang)

Pada kesetimbangan, terbentuk barrier potential (tegangan penghalang) di sekitar sambungan P-N, dengan nilai tipikal sekitar 0,7 Volt untuk silikon dan 0,3 Volt untuk germanium. Tegangan eksternal yang diberikan ke sambungan P-N harus melebihi barrier potential ini agar arus dapat mengalir signifikan — inilah prinsip dasar yang menjelaskan mengapa dioda memiliki "tegangan threshold" sebelum mulai menghantarkan arus (akan dibahas lebih lanjut di Bab III).

RANGKUMAN BAB II

Topik	Poin Kunci
Klasifikasi Material	Konduktor (R rendah), isolator (R tinggi), semikonduktor (R dapat dikontrol)
Pembawa Muatan	Elektron (negatif) dan Hole (positif semu)
Doping Tipe-N	Atom pentavalen (donor) → kelebihan elektron bebas
Doping Tipe-P	Atom trivalen (akseptor) → kelebihan hole
P-N Junction	Membentuk depletion region dan barrier potential (~0,7V Si)

SOAL LATIHAN BAB II

A. Pilihan Ganda

13. Material yang resistivitasnya dapat dikontrol melalui doping adalah... a. Konduktor
b. Isolator c. Semikonduktor d. Superkonduktor
14. Atom pentavalen yang ditambahkan ke silikon untuk membentuk tipe-N disebut... a. Akseptor b. Donor c. Katalis d. Isolator
15. Barrier potential pada sambungan P-N silikon bernilai sekitar... a. 0,3 V b. 0,7 V
c. 1,5 V d. 5 V

B. Soal Uraian

16. Jelaskan perbedaan konduktor, isolator, dan semikonduktor dari segi struktur pita energi dan resistivitas!
17. Jelaskan proses terbentuknya elektron bebas dan hole pada kristal silikon murni!
18. Jelaskan perbedaan proses doping untuk membentuk semikonduktor tipe-N dan tipe-P!
19. Jelaskan proses terbentuknya depletion region dan barrier potential pada sambungan P-N!

BAB III — DIODA DAN APLIKASINYA

Dioda adalah komponen elektronik dua terminal yang dibangun dari sambungan P-N, berfungsi mengalirkan arus listrik HANYA dalam satu arah (sifat unidirectional). Dioda merupakan komponen dasar yang sangat luas aplikasinya, dari penyearah arus (rectifier) hingga regulasi tegangan dan indikator (LED).

3.1 Prinsip Kerja Dioda

Dioda memiliki dua terminal: ANODA (terhubung ke material tipe-P) dan KATODA (terhubung ke material tipe-N). Simbol dioda berupa segitiga (mengarah dari anoda ke katoda) dengan garis di ujungnya, menunjukkan arah konvensional aliran arus yang diizinkan.

A. Forward Bias (Bias Maju)

Ketika terminal positif sumber tegangan dihubungkan ke ANODA dan terminal negatif ke KATODA, kondisi ini disebut forward bias. Tegangan eksternal akan MELAWAN barrier potential pada sambungan P-N. Jika tegangan forward melebihi barrier potential ($\sim 0,7V$ untuk silikon), depletion region menyempit dan arus dapat mengalir dengan mudah dari anoda ke katoda.

B. Reverse Bias (Bias Mundur)

Ketika terminal positif sumber tegangan dihubungkan ke KATODA dan terminal negatif ke ANODA, kondisi ini disebut reverse bias. Tegangan eksternal akan MEMPERKUAT barrier potential, depletion region melebar, dan praktis TIDAK ADA arus yang mengalir (kecuali arus bocor sangat kecil/leakage current).

Kondisi	Polaritas Eksternal	Depletion Region	Arus yang Mengalir
Forward Bias	(+) ke Anoda, (-) ke Katoda	Menyempit	Besar (jika $V > V_{\text{threshold}}$)
Reverse Bias	(+) ke Katoda, (-) ke Anoda	Melebar	Sangat kecil (leakage), hampir nol

Karakteristik V-I Dioda (Kurva Karakteristik)

Kurva karakteristik dioda menunjukkan hubungan tegangan (V) dan arus (I): pada daerah forward bias, arus tetap sangat kecil hingga tegangan mencapai tegangan threshold/knee voltage ($\sim 0,7V$ untuk silikon, $\sim 0,3V$ untuk germanium), setelah itu arus naik secara eksponensial dengan kenaikan tegangan yang kecil. Pada daerah reverse bias, arus tetap sangat kecil (leakage) hingga mencapai tegangan breakdown — di titik ini, dioda dapat rusak (kecuali jenis zener yang didesain khusus untuk beroperasi pada daerah ini).

3.2 Jenis-Jenis Dioda

Jenis Dioda	Karakteristik Khusus	Aplikasi di Kapal
Dioda Penyearah (Rectifier Diode)	Dioda silikon standar, dirancang untuk arus dan tegangan sedang-tinggi	Rectifier pada sistem charger baterai, AVR generator
Dioda Zener	Didesain untuk beroperasi pada daerah reverse breakdown dengan tegangan stabil (tegangan zener konstan)	Regulator tegangan referensi pada sirkuit kontrol/AVR
Light Emitting Diode (LED)	Memancarkan cahaya saat forward bias (rekombinasi elektron-hole melepas energi sebagai foton)	Indikator panel, lampu navigasi LED, lampu penerangan
Dioda Schottky	Junction logam-semikonduktor, tegangan forward lebih rendah ($\sim 0,2-0,3V$), switching sangat cepat	Rectifier frekuensi tinggi, power supply switching
Dioda Bridge (Bridge Rectifier)	Susunan 4 dioda dalam konfigurasi jembatan untuk penyearah gelombang penuh	Power supply, charger baterai, rectifier AVR alternator
Photodiode	Menghasilkan arus saat terkena cahaya (kebalikan dari LED)	Sensor cahaya, optical receiver pada komunikasi serat optik

Dioda Zener — Penjelasan Detail

Dioda zener bekerja pada daerah REVERSE BIAS, namun didesain khusus agar pada tegangan tertentu (tegangan zener/ V_Z), terjadi breakdown yang TERKONTROL dan TIDAK MERUSAK komponen. Pada tegangan zener ini, tegangan pada dioda tetap RELATIF KONSTAN meskipun arus yang melaluinya berubah-ubah dalam rentang tertentu — sifat inilah yang dimanfaatkan sebagai REGULATOR TEGANGAN sederhana.

Aplikasi Dioda Zener sebagai Voltage Reference

Pada sistem AVR (Automatic Voltage Regulator) generator kapal, dioda zener sering digunakan sebagai referensi tegangan (voltage reference) yang stabil. Sirkuit kontrol AVR membandingkan tegangan output generator dengan tegangan referensi zener; jika tegangan output berbeda dari referensi, AVR menyesuaikan arus eksitasi generator hingga tegangan output kembali sesuai setpoint.

3.3 Rangkaian Penyearah (Rectifier)

Rangkaian penyearah (rectifier) berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), menggunakan sifat unidirectional dioda.

A. Penyearah Setengah Gelombang (Half-Wave Rectifier)

Menggunakan SATU dioda. Hanya setengah siklus gelombang AC (siklus positif, jika dioda forward bias) yang diteruskan ke output; siklus negatif diblokir (dioda reverse bias). Output berupa pulsa DC dengan banyak "gap" — efisiensi rendah dan ripple tinggi.

B. Penyearah Gelombang Penuh (Full-Wave Rectifier)

Menggunakan rangkaian jembatan (bridge) dengan EMPAT dioda (bridge rectifier), atau dua dioda dengan transformator center-tap. Kedua siklus (positif dan negatif) dari gelombang AC dikonversi menjadi pulsa DC yang searah — efisiensi lebih tinggi, ripple lebih rendah dibanding half-wave.

Jenis Rectifier	Jumlah Dioda	Output Frekuensi Ripple	Efisiensi
Half-Wave	1	Sama dengan frekuensi input (50/60 Hz)	Rendah (~40,6%)
Full-Wave (Bridge)	4	2x frekuensi input (100/120 Hz)	Tinggi (~81,2%)

Aplikasi Bridge Rectifier pada Alternator Kapal

Pada sistem brushless excitation alternator kapal (dibahas pada buku Sistem Kelistrikan Kapal), bridge rectifier yang terpasang pada poros rotor mengubah output AC dari exciter generator menjadi DC untuk menyuplai kumparan medan rotor utama. Dioda-dioda ini berputar bersama rotor dan harus tahan terhadap gaya sentrifugal serta panas — kerusakan salah satu dioda dapat menyebabkan ketidakseimbangan tegangan output alternator.

Filter Kapasitor pada Rectifier

Output rectifier masih berupa DC berpulsa (memiliki ripple). Untuk menghaluskan output menjadi DC yang lebih rata, ditambahkan kapasitor filter (smoothing capacitor) paralel dengan output — kapasitor mengisi (charge) saat tegangan naik dan mengosongkan (discharge) secara perlahan saat tegangan turun, mengurangi ripple secara signifikan. (Prinsip kapasitor dibahas lebih detail pada Bab V).

SOAL LATIHAN BAB III

A. Pilihan Ganda

20. Dioda akan menghantarkan arus dengan mudah pada kondisi... a. Reverse bias b. Forward bias dengan $V > V_{\text{threshold}}$ c. Tanpa tegangan d. Reverse breakdown selalu
21. Dioda yang dirancang untuk beroperasi pada daerah reverse breakdown secara terkontrol adalah... a. LED b. Dioda Schottky c. Dioda Zener d. Photodiode
22. Rangkaian bridge rectifier menggunakan... a. 1 dioda b. 2 dioda c. 4 dioda d. 8 dioda

B. Soal Uraian

23. Jelaskan perbedaan kondisi forward bias dan reverse bias pada dioda, termasuk pengaruhnya terhadap depletion region!
24. Jelaskan prinsip kerja dioda zener dan bagaimana aplikasinya sebagai voltage reference pada AVR generator!
25. Jelaskan perbedaan half-wave rectifier dan full-wave (bridge) rectifier dari segi konstruksi, output, dan efisiensi!
26. Jelaskan fungsi kapasitor filter pada rangkaian rectifier dan mengapa output rectifier tanpa filter masih memiliki ripple!

BAB IV — TRANSISTOR

Transistor adalah komponen semikonduktor tiga terminal yang dapat berfungsi sebagai SAKLAR elektronik atau PENGUAT (amplifier) sinyal. Transistor merupakan komponen paling fundamental dalam elektronika modern — menjadi dasar pembuatan seluruh rangkaian terintegrasi (IC) dan mikroprosesor.

4.1 Transistor Bipolar (BJT - Bipolar Junction Transistor)

BJT memiliki tiga terminal: BASIS (Base/B), KOLEKTOR (Collector/C), dan EMITOR (Emitter/E). BJT dibangun dari dua sambungan P-N yang disusun bersebelahan, membentuk struktur NPN atau PNP.

Tipe BJT	Struktur	Arah Arus Konvensional
NPN	N-P-N (lapisan tipe-P di tengah sebagai basis)	Arus mengalir dari Kolektor ke Emitor (saat aktif)
PNP	P-N-P (lapisan tipe-N di tengah sebagai basis)	Arus mengalir dari Emitor ke Kolektor (saat aktif)

Prinsip Kerja BJT sebagai Penguat Arus

BJT bekerja berdasarkan prinsip bahwa ARUS BASIS YANG KECIL dapat MENGONTROL ARUS KOLEKTOR-EMITOR YANG JAUH LEBIH BESAR. Perbandingan antara arus kolektor dan arus basis disebut FAKTOR PENGUATAN ARUS (current gain), dilambangkan β (beta) atau h_{FE} :

$$\beta = I_C / I_B$$

β (atau h_{FE}) = Faktor penguatan arus (umumnya 20-200 untuk BJT umum) I_C = Arus kolektor (A) | I_B = Arus basis (A)

Contoh Soal Penguatan Arus BJT

Sebuah transistor BJT memiliki $\beta = 100$. Jika arus basis (I_B) yang diberikan adalah 0,5 mA, berapakah arus kolektor (I_C) yang dihasilkan? $I_C = \beta \times I_B = 100 \times 0,5 \text{ mA} = 50 \text{ mA}$
Kesimpulan: Arus basis yang sangat kecil (0,5 mA) mampu mengontrol arus kolektor yang 100 kali lebih besar (50 mA) — inilah dasar transistor sebagai PENGUAT.

4.2 Transistor Efek Medan (FET dan MOSFET)

FET (Field Effect Transistor) bekerja berdasarkan prinsip yang berbeda dari BJT: alih-alih dikontrol oleh ARUS basis, FET dikontrol oleh TEGANGAN pada terminal GATE. FET memiliki tiga terminal: GATE (G), DRAIN (D), dan SOURCE (S).

Aspek	BJT	FET/MOSFET
Terminal	Basis, Kolektor, Emitor	Gate, Drain, Source
Sinyal Kontrol	Arus basis (I_B)	Tegangan gate (V_{GS})
Impedansi Input	Relatif rendah	Sangat tinggi (hampir tidak ada arus gate)
Konsumsi Daya Kontrol	Lebih besar (perlu arus basis kontinu)	Sangat kecil (hanya saat switching)
Kecepatan Switching	Sedang	Sangat cepat — ideal untuk switching frequency tinggi
Aplikasi Umum	Penguat sinyal analog, switching daya sedang	Switching daya (power MOSFET), digital logic (CMOS)

MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET)

MOSFET adalah jenis FET yang paling umum digunakan, memiliki lapisan oksida (insulator) antara gate dan saluran (channel) — sehingga GATE benar-benar terisolasi secara listrik dari channel, menghasilkan impedansi input yang sangat tinggi (hampir tak terbatas pada DC).

Aplikasi Power MOSFET di Kapal

Power MOSFET banyak digunakan pada sistem elektronik modern di kapal: variable frequency drive (VFD) untuk kontrol kecepatan motor pompa/fan, charger baterai switching mode, serta sistem kontrol injeksi bahan bakar elektronik (common rail) yang memerlukan switching solenoid valve dengan kecepatan dan presisi tinggi.

4.3 Konfigurasi dan Mode Operasi Transistor

BJT dapat dioperasikan dalam tiga konfigurasi dasar berdasarkan terminal mana yang menjadi referensi/ground bersama untuk input dan output:

Konfigurasi	Terminal Bersama	Karakteristik
Common Emitter (CE)	Emitor	Penguatan arus dan tegangan tinggi — paling umum digunakan
Common Base (CB)	Basis	Penguatan arus rendah (<1), penguatan tegangan tinggi, impedansi input rendah
Common Collector (CC)	Kolektor	Penguatan tegangan ~ 1 (disebut emitter follower), impedansi output rendah

Daerah Operasi (Region of Operation) BJT

Daerah Operasi	Kondisi Junction	Karakteristik	Aplikasi
Cut-off	Kedua junction reverse bias	$I_C \approx 0$ (transistor "OFF")	Saklar OFF (kondisi terbuka)
Saturation	Kedua junction forward bias	I_C maksimum, $V_{CE} \approx 0$ (transistor "ON" penuh)	Saklar ON (kondisi tertutup)
Active (Linear)	Basis-Emitor forward, Basis-Kolektor reverse	I_C proporsional dengan I_B (β konstan)	Penguat sinyal (amplifier)

4.4 Aplikasi Transistor sebagai Saklar dan Penguat

A. Transistor sebagai Saklar (Switch)

Saat digunakan sebagai saklar, transistor dioperasikan dalam dua kondisi ekstrem: CUT-OFF (transistor "OFF", seperti saklar terbuka — tidak ada arus mengalir) dan SATURATION (transistor "ON" penuh, seperti saklar tertutup — arus mengalir maksimum dengan tahanan minimal).

Aplikasi Transistor sebagai Saklar di Kapal

- Driver relay: transistor kecil mengontrol relay yang menggerakkan beban besar (motor, solenoid)
- Driver LED indikator pada panel kontrol
- Switching pada power supply (mode switching power supply/SMPS)
- Output digital dari sensor/PLC ke aktuator

B. Transistor sebagai Penguat (Amplifier)

Saat digunakan sebagai penguat, transistor dioperasikan pada DAERAH AKTIF (active region/linear), di mana perubahan kecil pada arus/tegangan input menghasilkan perubahan yang lebih besar (proporsional) pada arus/tegangan output. Konsep penguatan akan dibahas lebih lanjut pada Bab VI.

SOAL LATIHAN BAB IV

A. Pilihan Ganda

27. Tiga terminal BJT adalah... a. Gate, Drain, Source b. Basis, Kolektor, Emitor c. Anoda, Katoda, Gate d. Input, Output, Ground
28. FET dikontrol oleh... a. Arus basis b. Tegangan gate c. Arus kolektor d. Tegangan kolektor
29. Saat transistor digunakan sebagai saklar dalam kondisi "ON" penuh, transistor berada pada daerah operasi... a. Cut-off b. Active/linear c. Saturation d. Breakdown

B. Soal Uraian/Hitungan

30. Jelaskan prinsip kerja BJT sebagai penguat arus, termasuk arti dari faktor penguatan β !
31. Sebuah transistor BJT memiliki $\beta=80$. Jika arus kolektor yang diinginkan adalah 200 mA, berapakah arus basis minimum yang diperlukan?
32. Jelaskan perbedaan utama BJT dan FET/MOSFET dari segi sinyal kontrol dan impedansi input!
33. Jelaskan perbedaan kondisi cut-off, saturation, dan active region pada BJT, serta aplikasinya masing-masing!

BAB V — KAPASITOR DAN INDUKTOR

Kapasitor dan induktor adalah komponen elektronik PASIF yang dapat menyimpan energi — kapasitor menyimpan energi dalam medan listrik, induktor menyimpan energi dalam medan magnet. Kedua komponen ini sangat penting dalam rangkaian filter, tuning, dan penyimpanan energi sementara.

5.1 Kapasitor: Prinsip dan Jenis

Kapasitor terdiri dari dua pelat konduktor (elektroda) yang dipisahkan oleh material isolator (dielektrik). Saat diberi tegangan, muatan listrik terkumpul pada kedua pelat (muatan positif pada satu pelat, negatif pada pelat lainnya), menciptakan medan listrik di antara keduanya — inilah mekanisme penyimpanan energi kapasitor.

Jenis-Jenis Kapasitor

Jenis Kapasitor	Dielektrik	Karakteristik	Aplikasi
Kapasitor Keramik	Keramik	Nilai kecil (pF-nF), stabil, murah	Filter frekuensi tinggi, decoupling
Kapasitor Elektrolit	Oksida aluminium/tantalum	Nilai besar (μF -mF), polaritas (+/-) HARUS diperhatikan	Filter power supply, smoothing rectifier
Kapasitor Film/Polyester	Film plastik	Stabil, toleransi baik, tidak ada polaritas	Filter sinyal, rangkaian timing
Kapasitor Tantalum	Tantalum oksida	Nilai cukup besar, ukuran kecil, ada polaritas	Rangkaian elektronik kompak
Kapasitor Variabel (Trimmer/Variable)	Udara/film, dapat diubah	Nilai dapat disesuaikan	Tuning rangkaian resonansi (radio)

Bahaya Kapasitor Elektrolit

Kapasitor elektrolit memiliki POLARITAS (+/-) yang HARUS dipasang sesuai. Pemasangan terbalik (reverse polarity) dapat menyebabkan kapasitor RUSAK, BOCOR, bahkan MELEDAK akibat tekanan gas internal yang terbentuk. Selain itu, kapasitor yang menyimpan muatan tinggi (terutama pada power supply/AVR) dapat menyimpan tegangan berbahaya bahkan setelah sumber daya dimatikan — selalu lakukan discharge (pengosongan muatan) sebelum menyentuh rangkaian!

5.2 Perhitungan Dasar Kapasitor

A. Kapasitansi

Kapasitansi (C) menunjukkan kemampuan kapasitor menyimpan muatan per satuan tegangan, dinyatakan dalam satuan Farad (F):

$$C = Q / V$$

C = Kapasitansi (Farad, F) | Q = Muatan tersimpan (Coulomb, C)
| V = Tegangan (Volt, V) Satuan praktis: μ F (mikrofarad), nF (nanofarad), pF (picofarad)

B. Kapasitor Seri dan Paralel

Susunan	Rumus Kapasitansi Total	Karakteristik
Seri	$1/C_{\text{total}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$	C_total LEBIH KECIL dari kapasitor terkecil
Paralel	$C_{\text{total}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$	C_total LEBIH BESAR (penjumlahan langsung)

Perbandingan dengan Resistor

Perhatikan bahwa rumus kapasitor SERI dan PARALEL adalah KEBALIKAN dari rumus resistor! Pada resistor: seri = penjumlahan langsung, paralel = kebalikan penjumlahan. Pada kapasitor: seri = kebalikan penjumlahan, paralel = penjumlahan langsung. Hal ini karena kapasitansi berbanding lurus dengan LUAS PELAT (paralel menambah luas efektif) dan berbanding terbalik dengan JARAK antar pelat (seri menambah jarak efektif).

C. Energi Tersimpan dalam Kapasitor

$$W = \frac{1}{2} \times C \times V^2$$

W = Energi tersimpan (Joule) | C = Kapasitansi (Farad) | V = Tegangan (Volt)

Contoh Soal Kapasitor

Sebuah kapasitor 100 μ F diisi dengan tegangan 50V. (a) Muatan yang tersimpan: $Q = C \times V = 100 \times 10^{-6} \times 50 = 5 \times 10^{-3} \text{ C} = 5 \text{ mC}$ (b) Energi yang tersimpan: $W = \frac{1}{2} \times C \times V^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times 50^2 = 0,125 \text{ J}$

5.3 Induktor: Prinsip dan Jenis

Induktor adalah komponen yang terbuat dari kumparan kawat (coil), menyimpan energi dalam bentuk medan magnet ketika arus mengalir melaluinya. Induktor memiliki sifat "melawan" perubahan arus yang mendadak (sesuai Hukum Lenz).

$$V_L = L \times (di/dt)$$

V_L = Tegangan induksi (Volt) | L = Induktansi (Henry, H) di/dt = Laju perubahan arus terhadap waktu (A/s)

Sifat "Inersia" Induktor

Induktor bersifat seperti "inersia" terhadap arus — sama seperti massa benda yang melawan perubahan kecepatan (hukum Newton I). Induktor melawan perubahan arus yang mendadak: saat arus mencoba naik tiba-tiba, induktor menghasilkan tegangan balik (back-EMF) yang melawan kenaikan tersebut; saat arus mencoba turun tiba-tiba (misalnya saat saklar relay dibuka), induktor menghasilkan lonjakan tegangan tinggi (voltage spike) yang dapat merusak komponen lain — inilah alasan mengapa relay dan solenoid memerlukan dioda flyback (akan dibahas di Bab VIII).

Jenis-Jenis Induktor

- Air Core Inductor: Tanpa inti (hanya kumparan kawat di udara) — induktansi rendah, untuk frekuensi tinggi.
- Iron Core Inductor: Inti besi — induktansi tinggi, untuk frekuensi rendah (transformator, choke).
- Ferrite Core Inductor: Inti ferit — induktansi sedang-tinggi, rugi-rugi rendah pada frekuensi tinggi (banyak digunakan pada power supply switching).

5.4 Rangkaian RLC dan Filter

Kombinasi resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C) dapat membentuk rangkaian FILTER yang menyaring sinyal berdasarkan frekuensinya.

Reaktansi Kapasitif dan Induktif

Berbeda dengan resistansi (konstan terhadap frekuensi), kapasitor dan induktor memiliki REAKTANSI yang bergantung pada frekuensi sinyal AC:

$$X_C = 1 / (2\pi fC) \quad | \quad X_L = 2\pi fL$$

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω) | X_L = Reaktansi induktif (Ω) f = Frekuensi (Hz) | C = Kapasitansi (F) | L = Induktansi (H)

Komponen	Perilaku pada Frekuensi Tinggi	Perilaku pada Frekuensi Rendah/DC
Kapasitor ($X_C = 1/2\pi fC$)	Reaktansi RENDAH (mudah melewati sinyal)	Reaktansi TINGGI (memblokir, seperti rangkaian terbuka pada DC)
Induktor ($X_L = 2\pi fL$)	Reaktansi TINGGI (memblokir sinyal frekuensi tinggi)	Reaktansi RENDAH (mudah melewati, seperti kawat biasa pada DC)

Jenis Filter Dasar

Jenis Filter	Komponen	Fungsi
Low-Pass Filter (LPF)	R-C atau R-L	Melewatkan sinyal frekuensi RENDAH, memblokir frekuensi TINGGI
High-Pass Filter (HPF)	R-C atau R-L	Melewatkan sinyal frekuensi TINGGI, memblokir frekuensi RENDAH
Band-Pass Filter (BPF)	R-L-C	Melewatkan sinyal pada RENTANG frekuensi tertentu saja

Contoh Soal Reaktansi

Sebuah kapasitor 10 μF dihubungkan pada sumber AC 50 Hz. Hitunglah reaktansi kapasitifnya! $X_C = 1/(2\pi fC) = 1/(2 \times 3,1416 \times 50 \times 10 \times 10^{-6})$ $X_C = 1/(2 \times 3,1416 \times 50 \times 0,00001)$ $X_C = 1/(0,00314)$ $X_C \approx 318,3 \Omega$ Jika frekuensi dinaikkan menjadi 5000 Hz (100x), maka X_C akan turun menjadi 1/100 dari nilai semula $\approx 3,18 \Omega$ — menunjukkan kapasitor semakin 'transparan' pada frekuensi tinggi.

RANGKUMAN BAB V

Rumus	Keterangan
$C = Q/V$	Kapasitansi
Seri: $1/C_t = \Sigma 1/C_i$; Paralel: $C_t = \Sigma C_i$	Susunan kapasitor (kebalikan dari resistor)

Rumus	Keterangan
$W = \frac{1}{2}CV^2$	Energi tersimpan kapasitor
$V_L = L(di/dt)$	Tegangan induksi induktor
$X_C = 1/(2\pi fC)$; $X_L = 2\pi fL$	Reaktansi kapasitif dan induktif

SOAL LATIHAN BAB V

A. Pilihan Ganda

34. Kapasitor yang HARUS diperhatikan polaritasnya adalah... a. Kapasitor keramik b. Kapasitor elektrolit c. Kapasitor film d. Kapasitor variabel
35. Pada frekuensi tinggi, reaktansi kapasitif (X_C) akan... a. Naik b. Turun c. Tetap d. Menjadi nol
36. Filter yang melewatkan frekuensi rendah dan memblokir frekuensi tinggi disebut... a. High-pass filter b. Low-pass filter c. Band-pass filter d. Notch filter

B. Soal Uraian/Hitungan

37. Tiga kapasitor masing-masing 20 μF disusun PARALEL. Hitunglah kapasitansi total! Kemudian hitung juga jika disusun SERI!
38. Sebuah kapasitor 220 μF diisi tegangan 25V. Hitunglah muatan dan energi yang tersimpan!
39. Jelaskan mengapa induktor dapat menghasilkan lonjakan tegangan tinggi (voltage spike) saat arus yang melaluinya diputus secara mendadak!
40. Sebuah induktor 0,5 H dihubungkan pada sumber AC 60 Hz. Hitunglah reaktansi induktifnya!

BAB VI — RANGKAIAN PENGUAT (AMPLIFIER)

Penguat (amplifier) adalah rangkaian elektronik yang meningkatkan amplitudo sinyal (tegangan, arus, atau daya) tanpa mengubah bentuk/karakteristik dasar sinyal tersebut. Penguat dibangun menggunakan komponen aktif (transistor, op-amp) yang dikombinasikan dengan komponen pasif (resistor, kapasitor).

6.1 Konsep Dasar Penguatan (Gain)

Penguatan (gain) adalah perbandingan antara sinyal output dengan sinyal input:

$$A_v = V_{out} / V_{in} \quad | \quad A_i = I_{out} / I_{in} \quad | \quad A_p = P_{out} / P_{in}$$

A_v = Penguatan tegangan | A_i = Penguatan arus | A_p = Penguatan daya

Satuan Desibel (dB)

Penguatan sering dinyatakan dalam satuan desibel (dB), yang merupakan skala logaritmik:

$$A_v(\text{dB}) = 20 \times \log_{10}(V_{out}/V_{in}) \quad | \quad A_p(\text{dB}) = 10 \times \log_{10}(P_{out}/P_{in})$$

Faktor 20 untuk tegangan/arus, faktor 10 untuk daya (karena $P \propto V^2$)

Contoh Soal Penguatan dalam dB

Sebuah penguat memiliki tegangan input 0,1V dan tegangan output 10V. Penguatan linear: $A_v = V_{out}/V_{in} = 10/0,1 = 100$ Penguatan dalam dB: $A_v(\text{dB}) = 20 \times \log_{10}(100) = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$ Kesimpulan: Penguatan 100 kali setara dengan 40 dB. Aturan praktis: setiap kenaikan 20 dB setara dengan penguatan 10 kali lipat.

6.2 Kelas-Kelas Penguat

Penguat dapat diklasifikasikan berdasarkan bagaimana transistor aktif beroperasi terhadap siklus sinyal input (kelas operasi):

Kelas	Daerah Operasi Transistor	Efisiensi	Distorsi	Aplikasi
Kelas A	Aktif sepanjang siklus (360°)	Rendah (~25-30%)	Sangat rendah	Penguat sinyal kecil, audio kualitas tinggi
Kelas B	Aktif setengah siklus (180°), 2 transistor saling melengkapi	Sedang (~70-78%)	Crossover distortion	Penguat audio daya menengah-besar
Kelas AB	Kompromi antara A dan B	Sedang-tinggi	Rendah (crossover diminimalkan)	Penguat audio umum (paling banyak)
Kelas C	Aktif kurang dari 180° (hanya sebagian kecil siklus)	Sangat tinggi (~85%+)	Tinggi (perlu filter)	Penguat RF (radio frequency) frekuensi tetap
Kelas D	Switching (ON/OFF penuh, PWM)	Sangat tinggi (~90%+)	Perlu filter output	Penguat audio digital, switching power supply

6.3 Penguat Operasional (Op-Amp)

Operational Amplifier (Op-Amp) adalah IC penguat dengan penguatan sangat tinggi, yang dirancang untuk dikonfigurasi dengan komponen eksternal (resistor, kapasitor) guna menghasilkan berbagai fungsi: penguat, filter, komparator, integrator, dan lainnya.

Karakteristik Ideal Op-Amp

- Impedansi input sangat tinggi (idealnya tak terbatas) — tidak menarik arus dari sumber sinyal.
- Impedansi output sangat rendah (idealnya nol) — dapat menggerakkan beban tanpa kehilangan tegangan.
- Penguatan open-loop sangat tinggi (idealnya tak terbatas) — penguatan aktual ditentukan oleh komponen feedback eksternal.
- Bandwidth sangat luas (idealnya tak terbatas).

Konfigurasi Dasar Op-Amp

Konfigurasi	Rumus Penguatan	Karakteristik
Inverting Amplifier	$A_v = -R_f/R_{in}$	Output berlawanan fasa (terbalik) dengan input
Non-Inverting Amplifier	$A_v = 1 + (R_f/R_{in})$	Output sefasa dengan input, penguatan minimal 1
Comparator	-	Membandingkan dua tegangan, output saturasi (high/low)

Konfigurasi	Rumus Penguatan	Karakteristik
Voltage Follower (Buffer)	$A_v = 1$	Impedansi tinggi ke rendah, tanpa penguatan tegangan

Aplikasi Op-Amp pada Sistem Sensor Kapal

Op-Amp sangat umum digunakan dalam sirkuit pengkondisi sinyal (signal conditioning) untuk sensor di kapal. Contoh: sensor suhu (thermocouple/RTD) menghasilkan sinyal tegangan yang sangat kecil (milivolt); op-amp dalam konfigurasi non-inverting amplifier menguatkan sinyal ini ke level yang dapat dibaca oleh sistem monitoring (misalnya 0-5V atau 4-20mA), sehingga dapat ditampilkan pada panel alarm monitoring system (AMS) di kamar mesin.

SOAL LATIHAN BAB VI

A. Pilihan Ganda

41. Penguatan tegangan 1000 kali setara dengan... a. 30 dB b. 40 dB c. 60 dB d. 100 dB
42. Kelas penguat yang transistornya aktif sepanjang 360° siklus, menghasilkan distorsi terendah namun efisiensi terendah adalah... a. Kelas A b. Kelas B c. Kelas C d. Kelas D
43. Konfigurasi op-amp dengan output yang sefasa dengan input adalah... a. Inverting amplifier b. Non-inverting amplifier c. Comparator d. Differentiator

B. Soal Uraian/Hitungan

44. Sebuah penguat memiliki $V_{in}=0,2V$ dan $V_{out}=20V$. Hitunglah penguatan tegangan (A_v) dalam bentuk linear dan dalam dB!
45. Jelaskan perbedaan kelas A, B, AB, dan C dari segi daerah operasi transistor, efisiensi, dan distorsi!
46. Jelaskan karakteristik ideal op-amp dan mengapa karakteristik tersebut membuat op-amp serbaguna untuk berbagai aplikasi!
47. Sebuah non-inverting amplifier menggunakan $R_f=100k\Omega$ dan $R_{in}=10k\Omega$. Hitunglah penguatan tegangannya!

BAB VII — SISTEM PENERIMA SINYAL (RECEIVER)

Sistem penerima sinyal (receiver) adalah rangkaian elektronik yang menangkap sinyal elektromagnetik (gelombang radio) dari udara dan mengubahnya menjadi informasi yang dapat digunakan (suara, data, gambar). Receiver merupakan komponen kunci pada sistem komunikasi dan navigasi kapal.

7.1 Konsep Dasar Komunikasi Radio

Komunikasi radio bekerja dengan memodulasi (menumpangkan) sinyal informasi (suara, data) pada gelombang pembawa (carrier wave) berfrekuensi tinggi, memancarkannya melalui antena, kemudian menangkap dan mendemodulasi sinyal tersebut di sisi penerima untuk memperoleh kembali informasi aslinya.

Jenis Modulasi Dasar

Jenis Modulasi	Prinsip	Karakteristik
AM (Amplitude Modulation)	Amplitudo carrier wave diubah sesuai sinyal informasi	Sederhana, rentan terhadap noise, bandwidth sempit
FM (Frequency Modulation)	Frekuensi carrier wave diubah sesuai sinyal informasi	Kualitas lebih baik, lebih tahan noise, bandwidth lebih lebar
PM (Phase Modulation)	Fasa carrier wave diubah sesuai sinyal informasi	Digunakan pada sistem digital modern (basis untuk modulasi digital)
Digital Modulation (FSK, PSK, QAM)	Sinyal digital (0/1) memodulasi carrier	Digunakan pada GMDSS, AIS, sistem komunikasi data modern

7.2 Receiver AM dan FM

A. Receiver AM — Superheterodyne

Receiver superheterodyne adalah arsitektur receiver yang paling umum digunakan, bekerja dengan cara mengubah (mixing) sinyal RF (radio frequency) yang diterima menjadi frekuensi tetap yang lebih rendah, disebut Intermediate Frequency (IF), sebelum didemodulasi.

Blok Diagram Receiver Superheterodyne

Blok	Fungsi
Antena	Menangkap gelombang elektromagnetik dari udara

Blok	Fungsi
RF Amplifier	Menguatkan sinyal RF lemah yang diterima antenna (low-noise amplifier)
Mixer	Mencampur sinyal RF dengan sinyal dari Local Oscillator, menghasilkan sinyal IF
Local Oscillator (LO)	Menghasilkan sinyal frekuensi tetap untuk pencampuran di mixer
IF Amplifier & Filter	Menguatkan dan menyaring sinyal IF (frekuensi tetap, lebih mudah diproses)
Demodulator/Detector	Mengekstrak sinyal informasi asli dari sinyal IF (sesuai jenis modulasi: AM/FM)
Audio Amplifier	Menguatkan sinyal informasi (audio) ke level yang dapat didengar/diproses

💡 Mengapa Menggunakan Intermediate Frequency (IF)?

Mengonversi sinyal RF (yang frekuensinya bervariasi sesuai channel/stasiun yang dipilih) menjadi IF (frekuensi TETAP) memungkinkan rangkaian penguat dan filter IF dirancang dan dioptimalkan untuk SATU frekuensi spesifik, menghasilkan selektivitas (kemampuan memisahkan channel yang berdekatan) dan sensitivitas yang jauh lebih baik dibanding jika harus dirancang untuk seluruh rentang frekuensi RF yang dapat diterima.

B. Receiver FM

Receiver FM memiliki arsitektur dasar yang serupa dengan AM (superheterodyne), namun menggunakan demodulator yang berbeda — mendeteksi PERUBAHAN FREKUENSI (bukan amplitudo) untuk mengekstrak sinyal informasi. Receiver FM umumnya juga dilengkapi limiter (untuk menghilangkan variasi amplitudo akibat noise) sebelum demodulator.

7.3 Sistem Komunikasi dan Navigasi Elektronik Kapal

Berbagai sistem komunikasi dan navigasi kapal menggunakan prinsip receiver yang telah dibahas, dengan adaptasi sesuai kebutuhan spesifik:

Sistem	Fungsi	Prinsip Kerja Terkait
GPS (Global Positioning System)	Penentuan posisi kapal	Receiver menerima sinyal dari satelit, menghitung posisi berdasarkan selisih waktu tempuh sinyal (triangulasi)

Sistem	Fungsi	Prinsip Kerja Terkait
Radar	Deteksi target (kapal lain, daratan, cuaca)	Memancarkan pulsa RF, receiver menerima pantulan (echo), menghitung jarak dari waktu tempuh
VHF Radio	Komunikasi suara jarak dekat antar kapal/pelabuhan	Receiver FM pada band frekuensi maritim (156-174 MHz)
AIS (Automatic Identification System)	Identifikasi dan tracking kapal	Transceiver (transmitter+receiver) digital VHF, broadcast data posisi/identitas kapal
GMDSS (Global Maritime Distress Safety System)	Sistem komunikasi darurat global	Kombinasi receiver/transmitter HF/MF/VHF dan satelit (Inmarsat)
NAVTEX	Penerimaan informasi navigasi dan cuaca tertulis	Receiver dedicated pada frekuensi 518 kHz, mencetak/menampilkan pesan teks otomatis

Peran Perwira Mesin terkait Sistem Elektronik Navigasi

Meskipun pengoperasian sistem navigasi/komunikasi umumnya menjadi tanggung jawab perwira deck, perwira mesin tetap perlu memahami prinsip dasarnya karena: (1) sistem ini menggunakan sumber daya listrik dari sistem kelistrikan kapal yang menjadi tanggung jawab departemen mesin, (2) UPS (Uninterruptible Power Supply) untuk peralatan navigasi/komunikasi vital harus dipastikan berfungsi, (3) gangguan elektromagnetik (EMI) dari peralatan mesin (VFD, welding) dapat mengganggu sistem komunikasi/navigasi jika instalasi grounding/shielding tidak tepat.

SOAL LATIHAN BAB VII

A. Pilihan Ganda

48. Modulasi yang mengubah amplitudo carrier wave sesuai sinyal informasi disebut... a. FM b. AM c. PM d. PWM
49. Fungsi mixer pada receiver superheterodyne adalah... a. Memperkuat sinyal audio b. Mencampur sinyal RF dengan LO menjadi IF c. Memancarkan sinyal d. Menyaring noise
50. NAVTEX beroperasi pada frekuensi... a. 121,5 MHz b. 156 MHz c. 518 kHz d. 2,4 GHz

B. Soal Uraian

51. Jelaskan perbedaan modulasi AM dan FM dari segi prinsip kerja dan karakteristik kualitas sinyal!
52. Jelaskan fungsi masing-masing blok pada receiver superheterodyne (minimal 5 blok)!
53. Mengapa konsep Intermediate Frequency (IF) digunakan pada receiver superheterodyne? Jelaskan keuntungannya!
54. Jelaskan mengapa perwira mesin perlu memahami dasar sistem elektronik navigasi/komunikasi meskipun bukan tanggung jawab utamanya!

BAB VIII — RELAY DAN APLIKASI KONTROL ELEKTRONIK

Relay adalah saklar elektromekanis yang dioperasikan oleh sinyal listrik (umumnya arus kecil), digunakan untuk mengontrol rangkaian dengan arus/tegangan yang lebih besar. Relay menjadi JEMBATAN antara sirkuit kontrol elektronik (sinyal kecil) dan sirkuit daya (beban besar) — sangat relevan untuk sistem kontrol dan alarm di kapal.

8.1 Prinsip Kerja Relay

Relay elektromekanis terdiri dari kumparan elektromagnet (coil) dan kontak saklar (contact) yang dapat digerakkan oleh medan magnet kumparan tersebut.

55. Saat arus mengalir melalui coil relay, timbul medan magnet di sekitar coil (sesuai prinsip elektromagnetisme).
56. Medan magnet menarik armature (tuas/jangkar besi) yang terhubung dengan kontak saklar.
57. Gerakan armature mengubah posisi kontak saklar — kontak yang sebelumnya terbuka (NO/Normally Open) menjadi tertutup, dan/atau kontak yang sebelumnya tertutup (NC/Normally Closed) menjadi terbuka.
58. Saat arus coil dihentikan, medan magnet hilang, dan pegas (spring) mengembalikan armature dan kontak ke posisi semula (default).

Istilah	Singkatan	Definisi
Normally Open	NO	Kontak yang dalam kondisi TIDAK AKTIF (coil tidak energized) berada dalam posisi TERBUKA
Normally Closed	NC	Kontak yang dalam kondisi TIDAK AKTIF (coil tidak energized) berada dalam posisi TERTUTUP
Pole	-	Jumlah set kontak yang dikendalikan oleh satu relay (SP=single, DP=double)
Throw	-	Jumlah posisi yang dapat dicapai kontak (ST=single throw, DT=double throw)

Dioda Flyback pada Coil Relay

Sesuai prinsip induktor (Bab V), coil relay bersifat induktif. Saat arus pada coil diputus secara mendadak (relay di-deenergize), induktor akan menghasilkan LONJAKAN TEGANGAN TINGGI (voltage spike/back-EMF) yang dapat MERUSAK komponen elektronik di sekitarnya (terutama transistor/IC driver). Untuk mencegah hal ini, dipasang DIODA FLYBACK (dioda penyearah biasa) secara paralel dengan coil, dengan polaritas reverse bias saat kondisi

normal — dioda ini akan menghantarkan dan "menyerap" lonjakan tegangan saat coil di-deenergize, melindungi komponen driver.

8.2 Jenis-Jenis Relay

Jenis Relay	Karakteristik	Aplikasi di Kapal
Electromechanical Relay (EMR)	Menggunakan kontak fisik/mekanis, dapat menangani arus/tegangan tinggi	Kontrol motor, starter, kontrol umum
Solid State Relay (SSR)	Menggunakan komponen semikonduktor (tanpa kontak fisik), switching cepat, tanpa suara/percikan	Kontrol heater, aplikasi switching frekuensi tinggi
Time Delay Relay	Memiliki waktu tunda (delay) antara sinyal kontrol dan perubahan kontak	Sequencing start motor, sistem interlock
Protection Relay	Relay khusus untuk proteksi sistem listrik (over current, under voltage, dll.)	Proteksi generator dan motor (dibahas detail pada buku Kelistrikan Kapal)
Latching Relay	Mempertahankan posisi kontak meskipun coil di-deenergize (memerlukan pulsa untuk mengubah status)	Sistem memori status, indikator alarm yang harus di-reset manual

8.3 Aplikasi Relay dalam Sistem Kontrol dan Alarm Kapal

A. Relay sebagai Interface Sensor-Aktuator

Sensor di kapal (pressure switch, temperature switch, level switch, dll.) umumnya menghasilkan sinyal kontak ON/OFF dengan kapasitas arus sangat kecil. Relay digunakan sebagai "penguat" sinyal ON/OFF ini untuk mengontrol beban yang lebih besar (motor, lampu alarm, solenoid valve).

Contoh Rangkaian: Alarm Tekanan Oli Rendah

Pressure switch pada sistem pelumasan akan menutup kontakannya jika tekanan oli turun di bawah setpoint. Kontak kecil ini mengaktifkan COIL relay. Relay kemudian menutup kontak yang lebih besar, yang terhubung ke: (1) lampu alarm panel, (2) buzzer/sirine, (3) sinyal ke sistem AMS (Alarm Monitoring System) untuk pencatatan dan kemungkinan shutdown otomatis jika kondisi berlanjut. Dengan relay, sinyal kontrol kecil dari pressure switch dapat mengaktifkan berbagai output secara bersamaan tanpa membebani sensor itu sendiri.

B. Relay dalam Sistem Interlock dan Sequencing

Interlock adalah rangkaian logika yang mencegah operasi suatu peralatan kecuali kondisi-kondisi tertentu terpenuhi. Relay (dan kombinasinya dengan timer/time delay relay) sering digunakan untuk membangun logika interlock sederhana sebelum era PLC (Programmable Logic Controller).

Contoh Interlock Sederhana Menggunakan Relay

Sebelum motor pompa dapat di-start (dikontrol oleh relay utama K1), sistem mensyaratkan: (1) Tidak ada sinyal trip dari overload protection (kontak NC), (2) Level tangki suction tidak rendah (kontak NO dari level switch), (3) Valve discharge tidak tertutup penuh (kontak NO dari limit switch). Ketiga kontak ini disusun SERI dalam rangkaian coil relay K1 — jika SALAH SATU kondisi tidak terpenuhi (kontak terbuka), coil K1 tidak akan energized, dan motor tidak dapat distart. Inilah dasar logika "AND" menggunakan kontak relay seri.

C. Hubungan Relay dengan PLC Modern

Pada sistem kontrol modern, banyak fungsi logika relay telah digantikan oleh PLC (Programmable Logic Controller) yang dapat diprogram ulang tanpa mengubah pengkabelan fisik. Namun, RELAY OUTPUT tetap digunakan sebagai interface antara output PLC (level sinyal elektronik kecil) dengan aktuator (motor, solenoid, lampu) yang membutuhkan arus/tegangan lebih besar. Pemahaman tentang relay tetap relevan sebagai dasar memahami sistem kontrol modern.

RANGKUMAN BAB VIII

Topik	Poin Kunci
Prinsip Kerja Relay	Coil elektromagnet menggerakkan armature, mengubah posisi kontak NO/NC
Dioda Flyback	WAJIB pada coil relay untuk mencegah voltage spike merusak driver
Jenis Relay	EMR, SSR, time delay, protection relay, latching relay
Aplikasi Utama	Interface sensor-aktuator, interlock, sequencing, output PLC
Logika Interlock	Kontak seri = logika AND; kontak paralel = logika OR

SOAL LATIHAN BAB VIII

A. Pilihan Ganda

59. Kontak relay yang dalam kondisi tidak aktif (coil tidak energized) berada pada posisi TERBUKA disebut... a. Normally Closed (NC) b. Normally Open (NO) c. Latching d. Time delay
60. Dioda flyback dipasang pada coil relay untuk... a. Meningkatkan arus coil b. Mencegah voltage spike merusak driver c. Mempercepat switching d. Menambah penguatan
61. Susunan kontak relay SERI dalam rangkaian interlock merepresentasikan logika... a. OR b. AND c. NOT d. XOR

B. Soal Uraian

62. Jelaskan prinsip kerja relay elektromekanis secara lengkap, dari coil diaktifkan hingga kontak berubah posisi!
63. Jelaskan mengapa dioda flyback diperlukan pada coil relay, kaitkan dengan sifat induktor yang dibahas pada Bab V!
64. Jelaskan perbedaan Electromechanical Relay (EMR) dan Solid State Relay (SSR) beserta aplikasinya masing-masing!
65. Rancang sebuah rangkaian interlock sederhana menggunakan relay untuk sistem start generator, dengan minimal 3 kondisi prasyarat yang harus terpenuhi! Jelaskan logika kontakannya (seri/paralel)!

DAFTAR PUSTAKA

- Boylestad, R. L. & Nashelsky, L. (2013). *Electronic Devices and Circuit Theory* (11th ed.). Boston: Pearson Education.
- Floyd, T. L. (2017). *Electronic Devices* (10th ed.). Boston: Pearson Education.
- IMO. (2018). *Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) Handbook*. London: IMO.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2018). *Silabus Mata Pelajaran SMK Kompetensi Keahlian Teknik Kapal Niaga*. Jakarta: Kemendikbud.
- Malvino, A. P. & Bates, D. J. (2016). *Electronic Principles* (8th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Sembiring, J. (2017). *Dasar Elektronika untuk Teknik Kapal*. Jakarta: Pustaka Maritim.
- Sedra, A. S. & Smith, K. C. (2014). *Microelectronic Circuits* (7th ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Theraja, B. L. & Theraja, A. K. (2005). *A Textbook of Electrical Technology Volume IV: Electronic Devices and Circuits*. New Delhi: S. Chand Publishing.
- Tooley, M. (2019). *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications* (5th ed.). London: Routledge.
- Witherby Publishing Group. (2017). *Marine Electrical and Electronics Technology*. Edinburgh: Witherby Seamanship.

GLOSARIUM

Istilah / Singkatan	Definisi
AM (Amplitude Modulation)	Modulasi yang mengubah amplitudo carrier wave sesuai sinyal informasi.
AVR	Automatic Voltage Regulator — pengatur tegangan otomatis generator.
Barrier Potential	Tegangan penghalang pada sambungan P-N (~0,7V untuk silikon).
BJT	Bipolar Junction Transistor — transistor dengan terminal Basis, Kolektor, Emitor.
Depletion Region	Daerah pengosongan pembawa muatan di sekitar sambungan P-N.
Dioda Zener	Dioda yang didesain beroperasi pada reverse breakdown dengan tegangan stabil.
Doping	Penambahan atom pengotor untuk mengubah konduktivitas semikonduktor.
FET/MOSFET	Field Effect Transistor — transistor dikontrol oleh tegangan gate.
Flyback Diode	Dioda pelindung pada coil relay/induktor untuk mencegah voltage spike.
Forward Bias	Kondisi dioda menghantarkan arus (anoda lebih positif dari katoda).
Gain (Penguatan)	Perbandingan sinyal output terhadap sinyal input pada penguat.
Hole	Pembawa muatan positif semu dalam semikonduktor, akibat kekosongan elektron.
IF (Intermediate Frequency)	Frekuensi tetap hasil konversi sinyal RF pada receiver superheterodyne.
Induktansi (L)	Kemampuan komponen menyimpan energi dalam medan magnet, satuan Henry.
Kapasitansi (C)	Kemampuan komponen menyimpan muatan listrik, satuan Farad.
NPN/PNP	Dua struktur dasar transistor bipolar berdasarkan susunan lapisan semikonduktor.
NO/NC	Normally Open/Normally Closed — kondisi kontak relay saat tidak aktif.
Op-Amp	Operational Amplifier — IC penguat serbaguna dengan gain sangat tinggi.
Penyearah (Rectifier)	Rangkaian dioda yang mengubah AC menjadi DC.
Reaktansi	Hambatan terhadap arus AC pada kapasitor (X_C) atau induktor (X_L), bergantung frekuensi.
Relay	Saklar elektromekanis yang dikontrol oleh sinyal elektrik kecil.
Reverse Bias	Kondisi dioda tidak menghantarkan arus (katoda lebih positif dari anoda).

Istilah / Singkatan	Definisi
Saturation	Daerah operasi transistor dengan arus kolektor maksimum ("ON" penuh).
Semikonduktor	Material dengan konduktivitas di antara konduktor dan isolator, dapat dikontrol.
Tipe-N/Tipe-P	Semikonduktor hasil doping dengan pembawa muatan mayoritas elektron/hole.