

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

BUKU TEKS
SISTEM KONTROL
Control System

Oleh:
JOKO DARMONO, ST
NIP 197305312022211003

Instrumentasi, Panel Kontrol & Sistem Kontrol Permesinan Kapal

TANJUNGPINANG
2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku teks berjudul "Sistem Kontrol (Control 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 kontrol merupakan inti dari operasi kapal modern. Hampir setiap aspek operasional kapal — mulai dari pengaturan kecepatan mesin, kontrol tekanan dan suhu, pengaturan distribusi listrik, pengendalian kemudi otomatis, hingga sistem alarm dan keselamatan — dikendalikan oleh sistem kontrol yang semakin canggih dan terotomasi. Perwira teknik kapal yang kompeten wajib memahami prinsip dasar, cara kerja, dan cara mengoperasikan sistem kontrol ini.

Buku ini mencakup delapan topik utama: (1) Pengantar Sistem Kontrol Kapal, (2) Dasar Teori Sistem Kontrol, (3) Alat Pengukuran dan Sensor, (4) Transmitter dan Sinyal Kontrol, (5) Elemen Kontrol dan Aktuator, (6) Instrumen Panel Kontrol, (7) Sistem Kontrol pada Permesinan Kapal, serta (8) Sistem Alarm dan Monitoring Modern. Setiap bab dilengkapi teori, rumus, tabel referensi, contoh aplikasi, 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 SISTEM KONTROL KAPAL	1
1.1 Definisi dan Peran Sistem Kontrol di Kapal	1
1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai	3
1.3 Klasifikasi Sistem Kontrol	4
BAB II — DASAR TEORI SISTEM KONTROL	7
2.1 Sistem Loop Terbuka dan Loop Tertutup	7
2.2 Komponen Dasar Sistem Kontrol	10
2.3 Aksi Kontrol: ON-OFF, Proporsional, Integral, Derivatif (PID)	13
2.4 Rangkuman & Latihan Bab II	17
BAB III — ALAT PENGUKURAN DAN SENSOR	20
3.1 Konsep Dasar Pengukuran	20
3.2 Sensor Tekanan	23
3.3 Sensor Suhu	26
3.4 Sensor Level dan Aliran	29
3.5 Rangkuman & Latihan Bab III	32
BAB IV — TRANSMITTER DAN SINYAL KONTROL	35
4.1 Jenis Sinyal Kontrol	35
4.2 Transmitter dan Konversi Sinyal	38
4.3 Standar Sinyal 4-20 mA	40
4.4 Rangkuman & Latihan Bab IV	43
BAB V — ELEMEN KONTROL DAN AKTUATOR	46
5.1 Controller (Pengontrol)	46
5.2 Final Control Element: Control Valve	49
5.3 Aktuator Elektrik, Pneumatik, dan Hidraulik	52
5.4 Rangkuman & Latihan Bab V	55
BAB VI — INSTRUMEN PANEL KONTROL	58
6.1 Ruang Kontrol Kamar Mesin (ECR)	58
6.2 Panel Instrumen Mesin Utama	61
6.3 Panel Kontrol Generator dan Distribusi Listrik	64
6.4 Pembacaan dan Interpretasi Instrumen Panel	67
6.5 Rangkuman & Latihan Bab VI	70
BAB VII — SISTEM KONTROL PERMESINAN KAPAL	73
7.1 Sistem Kontrol Mesin Utama (Governor)	73
7.2 Sistem Kontrol Bahan Bakar dan Pembakaran	76

7.3 Sistem Kontrol Kemudi Otomatis (Autopilot)	79
7.4 Sistem Kontrol Ballast dan Muatan	82
7.5 Rangkuman & Latihan Bab VII	85
BAB VIII — SISTEM ALARM DAN MONITORING MODERN	88
8.1 Alarm Monitoring System (AMS)	88
8.2 Programmable Logic Controller (PLC)	91
8.3 Distributed Control System (DCS) dan Integrasi Sistem Kapal	94
8.4 Rangkuman & Latihan Bab VIII	97
Daftar Pustaka	100
Glosarium	102

BAB I — PENGANTAR SISTEM KONTROL KAPAL

1.1 Definisi dan Peran Sistem Kontrol di Kapal

Sistem kontrol adalah suatu susunan komponen fisik yang saling berhubungan atau berkaitan satu sama lain untuk mengatur, memerintahkan, mengarahkan, atau mengatur perilaku sistem atau proses agar menghasilkan respons yang diinginkan. Pada konteks kapal, sistem kontrol berfungsi menjaga berbagai parameter operasional (tekanan, suhu, kecepatan, level, dll.) pada nilai yang diinginkan secara otomatis, mengurangi ketergantungan pada tindakan manual terus-menerus.

Perkembangan sistem kontrol kapal telah melalui tiga era utama:

Era	Teknologi Kontrol	Karakteristik
Era Manual (sebelum 1950-an)	Kontrol manual penuh oleh operator	Operator harus terus-menerus memantau dan menyetel setiap parameter secara manual
Era Pneumatik/Analog (1950-1980-an)	Kontroler pneumatik dan elektronik analog	Otomasi terbatas, sinyal udara bertekanan atau arus/tegangan analog
Era Digital Modern (1980-sekarang)	PLC, DCS, jaringan digital	Otomasi tinggi, komunikasi data digital, monitoring terpusat, remote control

Mengapa Sistem Kontrol Sangat Penting di Kapal Modern?

- Meningkatkan keamanan: sistem alarm otomatis mendeteksi kondisi abnormal lebih cepat dari operator manusia
- Meningkatkan efisiensi: kontrol otomatis menjaga parameter pada nilai optimal, menghemat bahan bakar
- Mengurangi kebutuhan awak: kapal dengan Unmanned Machinery Space (UMS) dapat beroperasi tanpa penjagaan kamar mesin 24 jam penuh
- Meningkatkan keandalan: sistem dapat merespons gangguan lebih cepat dan konsisten dibanding operator manusia
- Memenuhi regulasi: SOLAS dan klasifikasi mewajibkan sistem alarm dan kontrol tertentu untuk keselamatan

1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai

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

1. Menjelaskan konsep dasar dan klasifikasi sistem kontrol di kapal.

2. Membedakan sistem kontrol loop terbuka dan loop tertutup beserta kelebihan dan kekurangannya.
3. Menjelaskan fungsi dan cara kerja berbagai alat pengukuran dan sensor yang digunakan di kapal (tekanan, suhu, level, aliran).
4. Menjelaskan jenis sinyal kontrol, fungsi transmitter, dan standar sinyal 4-20 mA.
5. Menjelaskan fungsi dan cara kerja kontroler PID serta aktuator yang digunakan dalam sistem kontrol kapal.
6. Mengidentifikasi, membaca, dan menginterpretasikan instrumen pada panel kontrol kamar mesin.
7. Menjelaskan prinsip kerja sistem kontrol pada permesinan kapal (governor, bahan bakar, autopilot, ballast).
8. Menjelaskan prinsip kerja Alarm Monitoring System (AMS), PLC, dan DCS pada kapal modern.

1.3 Klasifikasi Sistem Kontrol

Sistem kontrol dapat diklasifikasikan dari berbagai sudut pandang:

Kriteria Klasifikasi	Jenis	Deskripsi
Berdasarkan Loop	Open Loop (Loop Terbuka)	Output tidak diumpanbalikkan ke input — tidak ada koreksi otomatis
Berdasarkan Loop	Closed Loop (Loop Tertutup)	Output diumpanbalikkan (feedback) ke input — ada koreksi otomatis
Berdasarkan Sinyal	Analog	Sinyal berkesinambungan (misal: 4-20 mA, 0-10 V, 3-15 psi)
Berdasarkan Sinyal	Digital/Diskret	Sinyal ON/OFF (0/1) — digunakan oleh PLC dan sistem modern
Berdasarkan Media	Pneumatik	Menggunakan udara bertekanan sebagai media sinyal/aktuasi
Berdasarkan Media	Elektrik/Elektronik	Menggunakan sinyal listrik (arus/tegangan) sebagai media
Berdasarkan Media	Hidraulik	Menggunakan cairan bertekanan sebagai media aktuasi
Berdasarkan Aksi Kontrol	ON-OFF	Aksi kontrol biner (mati/nyala), paling sederhana
Berdasarkan Aksi Kontrol	Proporsional (P)	Output proporsional dengan error
Berdasarkan Aksi Kontrol	PID	Kombinasi Proporsional, Integral, Derivatif — paling umum

Contoh Sistem Kontrol di Kapal

Open Loop: Pompa bilge yang dihidupkan/dimatikan secara manual oleh operator berdasarkan pengamatan visual ketinggian air — tidak ada umpan balik otomatis. Closed Loop: Sistem kontrol suhu jacket cooling water — thermostat mengukur suhu air, membandingkan dengan setpoint, dan secara otomatis mengatur valve aliran coolant untuk mempertahankan suhu pada nilai yang ditetapkan.

BAB II — DASAR TEORI SISTEM KONTROL

2.1 Sistem Loop Terbuka dan Loop Tertutup

A. Sistem Kontrol Loop Terbuka (Open Loop)

Pada sistem loop terbuka, output dari proses TIDAK diukur dan TIDAK diumpanbalikkan ke input kontroler. Kontroler hanya merespons sinyal referensi/perintah yang diberikan, tanpa mengetahui apakah output yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.

Diagram Blok Loop Terbuka

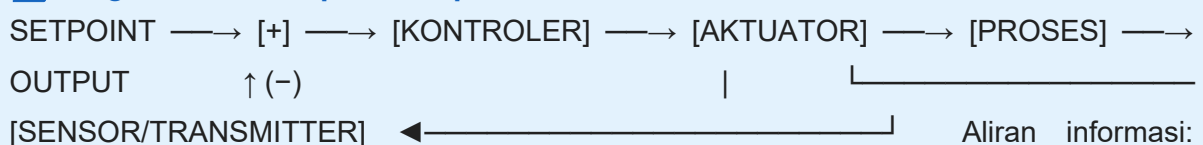
INPUT (Setpoint) $\longrightarrow$ [KONTROLER] $\longrightarrow$ [PROSES/PLANT] $\longrightarrow$ OUTPUT Tidak ada umpan balik dari output ke input. Gangguan (disturbance) pada proses akan menyebabkan penyimpangan output yang TIDAK dapat dikoreksi secara otomatis.

Aspek	Loop Terbuka	Loop Tertutup
Umpan Balik (Feedback)	TIDAK ADA	ADA — output diukur dan dikembalikan ke input
Kemampuan Koreksi Otomatis	Tidak — gangguan tidak bisa dikoreksi	Ya — gangguan dideteksi dan dikoreksi otomatis
Kompleksitas	Sederhana, murah	Lebih kompleks dan mahal
Keandalan	Rendah terhadap gangguan	Tinggi — dapat mengkompensasi gangguan
Contoh di Kapal	Pompa dengan timer, alarm manual	Termostat, governor mesin, autopilot kemudi

B. Sistem Kontrol Loop Tertutup (Closed Loop / Feedback Control)

Pada sistem loop tertutup, output proses diukur oleh sensor, dibandingkan dengan nilai yang diinginkan (setpoint), dan selisihnya (error) digunakan oleh kontroler untuk menghasilkan sinyal koreksi yang menggerakkan aktuator hingga output mendekati setpoint.

Diagram Blok Loop Tertutup



Output diukur sensor → dibandingkan dengan setpoint → error → kontroler → koreksi → aktuator → proses → output baru (mendekati setpoint)

2.2 Komponen Dasar Sistem Kontrol

Komponen	Fungsi	Contoh di Kapal
Setpoint (SP)	Nilai yang diinginkan untuk variabel yang dikontrol	Suhu jacket water 85°C, tekanan oli 4 bar
Sensor/Transmitter	Mengukur nilai aktual variabel proses dan mengubahnya menjadi sinyal standar	Thermocouple, pressure transmitter, flow meter
Error Signal	Selisih antara setpoint dan nilai aktual ($\text{error} = \text{SP} - \text{PV}$)	Digunakan kontroler sebagai dasar perhitungan koreksi
Kontroler	Memproses error dan menghasilkan sinyal perintah ke aktuator	PID kontroler elektronik, pneumatik, atau digital
Aktuator/Final Control Element	Mengubah sinyal perintah kontroler menjadi tindakan fisik pada proses	Control valve, variable speed drive, damper
Proses/Plant	Sistem fisik yang dikontrol	Mesin utama, boiler, tangki bahan bakar
Process Variable (PV)	Nilai aktual variabel yang sedang dikontrol (diukur oleh sensor)	Suhu aktual 83°C, tekanan aktual 3,8 bar
Manipulated Variable (MV)	Variabel yang diubah kontroler untuk mempengaruhi proses	Posisi control valve, kecepatan pompa

2.3 Aksi Kontrol: ON-OFF, Proporsional, Integral, Derivatif (PID)

A. Kontrol ON-OFF (Two-Position Control)

Kontrol ON-OFF adalah aksi kontrol paling sederhana: aktuator berada pada salah satu dari dua posisi ekstrem — PENUH TERBUKA atau PENUH TERTUTUP (tidak ada posisi di antara). Kontroler menyalakan aktuator jika error melebihi batas tertentu dan mematikannya jika error di bawah batas lain.

- Keunggulan: sederhana, murah, mudah diimplementasikan.
- Kelemahan: menghasilkan osilasi (cycling) di sekitar setpoint, tidak cocok untuk proses yang memerlukan kontrol presisi.
- Aplikasi: termostat pemanas air akomodasi kapal, kontrol level tangki ballast sederhana, sistem alarm ON/OFF.

B. Kontrol Proporsional (P)

Pada kontrol proporsional, sinyal output kontroler proporsional (sebanding) dengan nilai error:

$$MV = K_p \times e(t) + MV_bias$$

MV = Sinyal output kontroler | K_p = Penguatan proporsional (Proportional Gain) $e(t)$ = Error saat ini (SP – PV) | MV_bias = Output kontroler saat error = 0

Semakin besar K_p , semakin agresif respons kontroler terhadap error, namun semakin besar pula risiko instabilitas (osilasi). Kontrol P memiliki kelemahan berupa OFFSET PERMANEN (steady-state error) — setelah proses stabil, nilai aktual tidak pernah tepat sama dengan setpoint karena diperlukan error kecil untuk menghasilkan sinyal koreksi yang mempertahankan kondisi baru.

C. Kontrol Integral (I)

Aksi integral menghilangkan offset permanen dengan cara mengintegrasikan (mengakumulasi) error terhadap waktu:

$$MV_I = K_i \times \int e(t) dt$$

K_i = Penguatan integral | $\int e(t)dt$ = Integral error terhadap waktu
Semakin lama error berlangsung, semakin besar kontribusi aksi integral

Aksi integral memastikan bahwa selama masih ada error, output kontroler terus berubah hingga error menjadi nol (tidak ada steady-state error). Namun, aksi integral yang terlalu kuat dapat menyebabkan wind-up (jenuh) dan respons yang lambat serta berosilasi.

D. Kontrol Derivatif (D)

Aksi derivatif merespons LAJU PERUBAHAN error (kecepatan perubahan error), bukan nilai error itu sendiri:

$$MV_D = K_d \times de(t)/dt$$

K_d = Penguatan derivatif | $de(t)/dt$ = Laju perubahan error terhadap waktu Aksi ini bersifat 'antisipatif' — merespons sebelum error terlalu besar

E. Kontroler PID — Kombinasi P + I + D

Kontroler PID menggabungkan ketiga aksi kontrol untuk mendapatkan performa terbaik: respons cepat (P), penghapusan offset (I), dan stabilitas/antisipasi (D):

$$MV = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t) dt + K_d \times de(t)/dt$$

K_p , K_i , K_d = Parameter PID yang harus di-tuning Nilai K_p , K_i , K_d yang optimal menghasilkan respons cepat, stabil, dan tanpa offset

Aksi	Efek pada Respons	Efek pada Stabilitas	Eliminasi Offset
P (Proporsional)	Mempercepat respons	Dapat menyebabkan osilasi jika K_p terlalu besar	Tidak (masih ada steady-state error)
I (Integral)	Memperlambat respons (lambat)	Dapat menyebabkan wind-up dan osilasi	Ya (menghilangkan offset permanen)
D (Derivatif)	Mempercepat respons, mengurangi overshoot	Meningkatkan stabilitas	Tidak
PID (Kombinasi)	Respons cepat dengan overshoot minimal	Stabil jika di-tuning dengan benar	Ya

Analogi PID pada Pengemudi Kapal

Bayangkan seorang juru mudi mempertahankan kapal pada jalur tertentu (setpoint = haluan yang benar):

- P (Proporsional):** Mengoreksi kemudi proporsional dengan seberapa jauh kapal menyimpang dari jalur. Penyimpangan kecil → koreksi kecil; penyimpangan besar → koreksi besar.
- I (Integral):** Mengkompensasi angin/arus yang terus-menerus mendorong kapal ke satu sisi (steady-state drift) — juru mudi secara bertahap menambah koreksi kemudi untuk melawan penyimpangan yang persisten.
- D (Derivatif):** Mengantisipasi — jika kapal mulai berbelok ke kanan dengan cepat, juru mudi mulai mengoreksi SEBELUM penyimpangan menjadi terlalu besar, berdasarkan laju perubahan posisi.

RANGKUMAN BAB II

Topik	Poin Kunci
Loop Terbuka	Tidak ada feedback — tidak bisa mengoreksi gangguan otomatis
Loop Tertutup	Ada feedback sensor → error → kontroler → koreksi aktuator
Komponen Utama	Setpoint, sensor/transmitter, error, kontroler, aktuator, proses, PV
Kontrol ON-OFF	Sederhana, menghasilkan osilasi, untuk aplikasi non-presisi
Kontrol PID	P: respons cepat; I: hapus offset; D: antisipasi; kombinasi PID: terbaik

SOAL LATIHAN BAB II

A. Pilihan Ganda

9. Sistem kontrol yang outputnya diukur dan diumpanbalikkan ke input disebut... a. Open loop b. Closed loop c. Manual control d. Feedforward control
10. Aksi kontrol yang dapat menghilangkan steady-state error (offset permanen) adalah... a. P (Proporsional) b. D (Derivatif) c. I (Integral) d. ON-OFF
11. Error dalam sistem kontrol dihitung dengan rumus... a. $\text{Error} = \text{PV} - \text{SP}$ b. $\text{Error} = \text{SP} - \text{PV}$ c. $\text{Error} = \text{SP} + \text{PV}$ d. $\text{Error} = \text{SP} \times \text{PV}$

B. Soal Uraian

12. Jelaskan perbedaan sistem kontrol loop terbuka dan loop tertutup menggunakan diagram blok!
13. Jelaskan fungsi masing-masing komponen sistem kontrol: setpoint, sensor, error, kontroler, aktuator, dan process variable!
14. Jelaskan aksi P, I, dan D pada kontroler PID beserta dampaknya terhadap respons dan stabilitas sistem!
15. Menggunakan analogi pengemudi kapal, jelaskan bagaimana konsep PID diterapkan dalam mempertahankan kapal pada haluan yang benar!

BAB III — ALAT PENGUKURAN DAN SENSOR

Sensor dan alat pengukuran adalah "mata dan telinga" sistem kontrol. Tanpa pengukuran yang akurat dan andal, sistem kontrol tidak dapat mengetahui kondisi aktual proses dan tidak dapat melakukan koreksi yang tepat.

3.1 Konsep Dasar Pengukuran

Karakteristik Penting Alat Ukur

Karakteristik	Definisi	Pentingnya di Kapal
Akurasi	Kedekatan nilai ukur dengan nilai sebenarnya	Pengukuran yang tidak akurat menyebabkan kontrol yang salah
Presisi/Repeatability	Kemampuan menghasilkan hasil yang sama untuk pengukuran berulang	Memastikan konsistensi pembacaan sepanjang waktu
Sensitivitas	Perubahan output terkecil yang dapat dideteksi untuk perubahan input tertentu	Sensor tekanan harus sensitif terhadap perubahan tekanan kecil
Range (Rentang)	Batas minimum dan maksimum nilai yang dapat diukur	Harus sesuai dengan rentang operasional parameter yang diukur
Linearitas	Kelurusan hubungan antara input dan output sensor	Menyederhanakan kalibrasi dan konversi sinyal
Waktu Respons	Kecepatan sensor dalam merespons perubahan variabel yang diukur	Sensor lambat dapat menyebabkan kontrol terlambat merespons gangguan

Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi adalah proses membandingkan nilai pembacaan alat ukur dengan nilai referensi yang diketahui (standar kalibrasi) dan melakukan penyesuaian jika diperlukan. Kalibrasi berkala wajib dilakukan pada semua alat ukur/sensor di kapal untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem kontrol dan alarm.

3.2 Sensor Tekanan

Sensor tekanan mengukur tekanan fluida (gas atau cairan) dalam suatu sistem. Tekanan merupakan salah satu variabel yang paling banyak diukur di kapal — tekanan oli pelumas, tekanan bahan bakar, tekanan air pendingin, tekanan udara start, dan lainnya.

Jenis Sensor Tekanan

Jenis Sensor	Prinsip Kerja	Aplikasi di Kapal
Bourdon Tube (Pressure Gauge)	Tabung berbentuk C/spiral yang meluruskan saat diberi tekanan, menggerakkan jarum indikator	Pengukuran lokal tekanan oli, air, bahan bakar (pembacaan langsung)
Pressure Transmitter (Strain Gauge)	Tekanan mendistorsi elemen elastis, diukur oleh strain gauge yang mengubahnya menjadi sinyal listrik	Pengukuran jarak jauh ke panel kontrol/AMS
Differential Pressure (DP) Transmitter	Mengukur perbedaan tekanan antara dua titik	Mengukur aliran (flow) berdasarkan prinsip DP, filter differential pressure
Pressure Switch	Menghasilkan sinyal ON/OFF (kontak relay) saat tekanan melewati batas tertentu	Alarm tekanan oli rendah, interlock, proteksi mesin

Tekanan Gauge vs Tekanan Absolut

Penting membedakan dua cara menyatakan tekanan: • Tekanan Gauge (barg/psig): tekanan diukur RELATIF terhadap tekanan atmosfer. Alat ukur biasa di kapal umumnya menunjukkan tekanan gauge. • Tekanan Absolut (bara/psia): tekanan diukur DARI NOLABSOLUT (vakum sempurna). $P_{\text{absolut}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atmosfer}} (\approx 1,013 \text{ bar})$. Contoh: tekanan oli pelumas mesin 4 barg = 5,013 bara.

3.3 Sensor Suhu

Suhu adalah variabel paling kritis dalam sistem mesin kapal — suhu berlebih pada oli, air pendingin, atau gas buang dapat mengindikasikan kerusakan serius yang sedang terjadi.

Jenis Sensor Suhu	Prinsip Kerja	Rentang Suhu	Aplikasi di Kapal
Thermocouple (TC)	Efek Seebeck: tegangan kecil dihasilkan pada sambungan dua logam berbeda akibat perbedaan suhu	-200 hingga +1800°C (tergantung tipe)	Suhu gas buang, suhu turbocharger (suhu tinggi)
RTD / PT100	Tahanan logam platinum berubah secara linear dengan suhu (R naik saat suhu naik)	-200 hingga +600°C	Suhu jacket water, suhu oli, suhu ruang mesin (presisi sedang)
Thermistor	Resistansi berubah drastis dengan suhu (NTC: turun; PTC: naik)	-50 hingga +150°C	Sensor lokal, pelindung motor (winding temperature)

Jenis Sensor Suhu	Prinsip Kerja	Rentang Suhu	Aplikasi di Kapal
Bimetallic (Thermostat)	Dua logam berbeda muai yang melengkung saat panas mengubah posisi kontak	Terbatas	Termostat air tawar pendingin, pemanas sederhana
Temperature Switch	Kontak ON/OFF saat suhu melebihi/melewati batas	Terbatas	Alarm suhu tinggi, interlock mesin

Contoh Soal: Kalibrasi PT100

PT100 adalah RTD platinum yang memiliki resistansi 100 Ω pada suhu 0°C. Sensitivitasnya $\approx 0,385 \Omega/^{\circ}\text{C}$. Jika resistansi yang terukur adalah 138,5 Ω , berapakah suhu yang terukur? Perubahan resistansi: $\Delta R = 138,5 - 100 = 38,5 \Omega$ Perubahan suhu: $\Delta T = \Delta R / (0,385 \Omega/^{\circ}\text{C}) = 38,5 / 0,385 = 100^{\circ}\text{C}$ Suhu terukur: $T = 0^{\circ}\text{C} + 100^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C}$

3.4 Sensor Level dan Aliran

A. Sensor Level (Ketinggian Cairan)

Jenis	Prinsip Kerja	Aplikasi di Kapal
Float Switch	Pelampung naik/turun menggerakkan kontak saklar	Level alarm tangki air tawar, bilge level alarm
DP Level Transmitter	Mengukur tekanan hidrostatik kolom cairan ($P = \rho gh$)	Level tangki bahan bakar/ballast, akurasi tinggi
Ultrasonic Level Sensor	Mengukur waktu tempuh gelombang ultrasonik ke permukaan cairan	Level tangki tertutup, non-contact measurement
Sight Glass	Visual langsung, fluida dalam tabung kaca di samping tangki	Pembacaan level boiler, tangki harian lokal

B. Sensor Aliran (Flow Sensor)

Jenis	Prinsip Kerja	Aplikasi di Kapal
Orifice Plate/Venturi	Mengukur perbedaan tekanan (DP) akibat penyempitan aliran (Bernoulli)	Pengukuran aliran bahan bakar, air pendingin
Turbine Flow Meter	Turbine berputar sesuai kecepatan aliran, pulsa dikonversi ke sinyal	Fuel oil flow meter (konsumsi bahan bakar)
Magnetic Flow Meter	Aliran konduktif dalam medan magnet menghasilkan tegangan EMF	Aliran air laut, air tawar (cairan konduktif)

Jenis	Prinsip Kerja	Aplikasi di Kapal
Flow Switch	Sinyal ON/OFF jika aliran melebihi/kurang dari batas	Interlock: pompa pelumas harus mengalir sebelum start mesin

SOAL LATIHAN BAB III

A. Pilihan Ganda

16. Sensor suhu yang paling cocok untuk mengukur suhu gas buang mesin ($>500^{\circ}\text{C}$) adalah... a. Thermistor b. PT100/RTD c. Thermocouple d. Bimetallic
17. Pressure switch menghasilkan... a. Sinyal analog 4-20 mA b. Sinyal ON/OFF (digital) c. Sinyal tegangan 0-10 V d. Sinyal frekuensi
18. Sensor level yang bekerja berdasarkan prinsip tekanan hidrostatik ($P=\rho gh$) adalah... a. Float switch b. Ultrasonic sensor c. DP level transmitter d. Sight glass

B. Soal Uraian

19. Jelaskan minimal 5 karakteristik penting alat ukur dan mengapa masing-masing karakteristik penting untuk sistem kontrol di kapal!
20. Jelaskan perbedaan thermocouple dan RTD (PT100) dari segi prinsip kerja, rentang suhu, dan aplikasi di kapal!
21. Jelaskan perbedaan tekanan gauge dan tekanan absolut, serta berikan contoh penggunaannya di kapal!
22. Sebuah PT100 menunjukkan resistansi $119,25\ \Omega$. Jika sensitivitas PT100 adalah $0,385\ \Omega/^{\circ}\text{C}$ dan R pada 0°C adalah $100\ \Omega$, berapakah suhu yang terukur?

BAB IV — TRANSMITTER DAN SINYAL KONTROL

4.1 Jenis Sinyal Kontrol

Sinyal kontrol adalah representasi elektrik atau pneumatik dari informasi (nilai variabel proses, perintah kontrol) yang ditransmisikan antara komponen-komponen sistem kontrol. Pemahaman tentang jenis sinyal sangat penting untuk instalasi, kalibrasi, dan troubleshooting sistem kontrol kapal.

Jenis Sinyal	Rentang	Karakteristik	Aplikasi
Pneumatik	3-15 psi	Menggunakan tekanan udara; cocok di lingkungan berbahaya (Ex-proof)	Sistem kontrol pneumatik lama pada kapal tanker
Arus Analog (4-20 mA)	4-20 mA	Paling umum di industri/kapal; tahan gangguan elektromagnetik (EMI)	Transmitter tekanan/suhu/level modern
Tegangan Analog (0-10 V)	0-10 V	Lebih mudah diukur, namun rentan terhadap interferensi	Panel lokal, PLC I/O analog sederhana
HART (Hybrid)	4-20 mA + data digital	Sinyal 4-20 mA dengan komunikasi digital ditumpangkan	Smart transmitter, kalibrasi jarak jauh
Digital/Fieldbus	Digital (0/1)	Komunikasi digital penuh; banyak perangkat dalam satu kabel	DCS, sistem kontrol modern, Modbus, PROFIBUS

4.2 Transmitter dan Konversi Sinyal

Transmitter adalah perangkat yang mengukur variabel proses dan mengubahnya menjadi sinyal standar (umumnya 4-20 mA) yang dapat dikirimkan ke jarak jauh ke panel kontrol atau sistem DCS/PLC.

Jenis Transmitter	Variabel Terukur	Output Standar
Pressure Transmitter (PT)	Tekanan fluida (gauge, differential, atau absolut)	4-20 mA
Temperature Transmitter (TT)	Suhu dari thermocouple atau RTD	4-20 mA
Level Transmitter (LT)	Ketinggian cairan dalam tangki	4-20 mA
Flow Transmitter (FT)	Laju aliran volume/massa	4-20 mA
Speed Transmitter	Kecepatan putaran (RPM)	4-20 mA atau sinyal frekuensi/pulsa

4.3 Standar Sinyal 4-20 mA

Standar sinyal 4-20 mA adalah standar industri yang paling umum digunakan untuk transmisi sinyal analog jarak jauh. Sinyal arus dipilih dibanding sinyal tegangan karena arus tidak mengalami penurunan (drop) sepanjang kabel jarak jauh selama hambatan total dalam batas yang diizinkan.

Mengapa 4 mA (bukan 0 mA) untuk Nilai Minimum?

Pemilihan 4 mA (bukan 0 mA) sebagai nilai minimum memiliki tujuan penting: 1. LIVE ZERO: Nilai 4 mA saat variabel = 0% memungkinkan sistem membedakan antara "variabel bernilai nol" (4 mA) dengan "kabel putus atau transmitter rusak" (0 mA). Jika pembacaan 0 mA, sistem tahu ada masalah pada transmitter/kabel. 2. POWER LOOP: Arus 4 mA yang selalu mengalir menyediakan daya operasional bagi transmitter dua kawat (two-wire/loop-powered transmitter) — perangkat yang mendapat daya sekaligus mengirimkan sinyal melalui loop 4-20 mA yang sama.

Konversi Nilai 4-20 mA ke Nilai Engineering

$$PV = PV_{\min} + (I - 4) \times (PV_{\max} - PV_{\min}) / 16$$

PV = Nilai proses aktual | $PV_{\min}$ = Nilai minimum range transmitter
 $PV_{\max}$ = Nilai maksimum range | I = Arus terukur (mA) | Faktor 16 = (20-4)

Contoh Soal Konversi Sinyal 4-20 mA

Sebuah pressure transmitter memiliki range 0-10 bar (4 mA = 0 bar, 20 mA = 10 bar). Jika arus yang terukur adalah 12 mA, berapakah tekanan aktual? $PV = 0 + (12 - 4) \times (10 - 0) / 16$
 $PV = 0 + 8 \times 10 / 16$
 $PV = 0 + 80/16$
 $PV = 5$ bar
 Kesimpulan: Arus 12 mA setara dengan tekanan 5 bar (tepat di tengah range).

Contoh Soal Konversi Balik: Nilai ke Arus

Sebuah temperature transmitter berrange 0-200°C. Suhu aktual 75°C setara dengan arus berapa? $I = 4 + (PV - PV_{\min}) \times 16 / (PV_{\max} - PV_{\min})$
 $I = 4 + (75 - 0) \times 16 / (200 - 0)$
 $I = 4 + 75 \times 16 / 200$
 $I = 4 + 1200/200$
 $I = 4 + 6 = 10$ mA

RANGKUMAN BAB IV

Topik	Poin Kunci
Jenis Sinyal	Pneumatik (3-15 psi), arus (4-20 mA), tegangan (0-10V), digital (fieldbus)
Mengapa 4-20 mA?	Tahan EMI, live zero (4mA≠putus kabel), power loop transmitter
Konversi	$PV = PV_{min} + (I-4) \times (PV_{max} - PV_{min}) / 16$
Live Zero	0 mA = kabel putus/transmitter rusak; 4 mA = variabel bernilai minimum

SOAL LATIHAN BAB IV

A. Pilihan Ganda

23. Sinyal 4-20 mA dipilih karena keunggulannya dibanding sinyal tegangan, yaitu...
 a. Lebih murah b. Tidak mengalami drop tegangan di kabel panjang c. Tidak memerlukan daya d. Tidak perlu kalibrasi
24. Nilai arus 0 mA pada sinyal 4-20 mA mengindikasikan...
 a. Variabel bernilai nol b. Kabel putus atau transmitter rusak c. Range maksimum terlampaui d. Alarm kondisi normal

B. Soal Uraian/Hitungan

25. Sebuah level transmitter berrange 0-5 meter (4 mA=0m, 20 mA=5m). Jika arus terukur 16 mA, berapakah level aktual?
26. Sebuah flow transmitter berrange 0-100 m³/jam. Aliran aktual 65 m³/jam setara dengan arus berapa (mA)?
27. Jelaskan konsep 'live zero' dan 'loop-powered transmitter' pada sistem sinyal 4-20 mA!
28. Jelaskan perbedaan sinyal analog dan digital dalam konteks sistem kontrol kapal modern!

BAB V — ELEMEN KONTROL DAN AKTUATOR

5.1 Controller (Pengontrol)

Kontroler adalah komponen otak dari sistem kontrol yang menerima sinyal error ($SP - PV$) dan menghitung sinyal perintah (MV) yang akan dikirim ke aktuator berdasarkan algoritma kontrol (ON-OFF, PID, dll.).

Jenis Kontroler Berdasarkan Teknologi

Jenis Kontroler	Teknologi	Karakteristik	Aplikasi
Pneumatik Kontroler	Mekanisme pneumatik (bellow, nozzle-flapper)	Aman di area berbahaya (ATEX), tidak memerlukan listrik	Kapal tanker lama, area dengan gas berbahaya
Elektronik Analog	Komponen elektronik (op-amp, transistor)	Respons cepat, lebih fleksibel dari pneumatik	Sistem kontrol mesin generasi sebelumnya
Single Loop Controller (PID Elektronik)	Mikroprosesor dedicated	Mudah dikonfigurasi, display digital, tuning via tombol	Kontrol suhu, tekanan individual di kapal
PLC (Programmable Logic Controller)	Komputer industri, logika terprogram	Sangat fleksibel, dapat menangani banyak loop dan logika sequencing	Sistem otomasi kamar mesin, sistem ballast
DCS (Distributed Control System)	Sistem terdistribusi dengan jaringan komunikasi	Terintegrasi, monitoring terpusat, historical data	Kapal modern dengan integrasi sistem penuh

Tuning PID Kontroler

Tuning adalah proses penyesuaian parameter K_p , K_i , dan K_d untuk mendapatkan performa kontrol yang optimal. Tuning yang buruk dapat menyebabkan osilasi berlebihan (terlalu agresif) atau respons lambat dan tidak stabil (terlalu lemah).

Metode Tuning	Deskripsi
Trial and Error	Sesuaikan K_p , K_i , K_d secara manual hingga respons memuaskan — memerlukan pengalaman
Metode Ziegler-Nichols	Gunakan penguatan kritis dan periode osilasi untuk menghitung K_p , K_i , K_d secara matematis
Auto-Tuning	Kontroler modern dapat melakukan tuning otomatis dengan memberikan gangguan terukur

5.2 Final Control Element: Control Valve

Control valve (katup kontrol) adalah final control element (elemen kontrol akhir) yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol proses di kapal. Control valve mengatur laju aliran fluida sesuai sinyal perintah dari kontroler.

Komponen Control Valve

- Valve Body: Rumah katup, tempat aliran fluida dikontrol. Jenis: globe valve, butterfly valve, ball valve.
- Valve Trim: Komponen internal yang mempengaruhi karakteristik aliran (plug, seat, cage).
- Actuator: Penggerak yang membuka/menutup katup sesuai sinyal kontrol.
- Positioner: Alat yang memastikan posisi katup tepat sesuai sinyal kontroler (mengoreksi efek gesekan, hysteresis).

Karakteristik Valve (Valve Characteristic)

Karakteristik	Bentuk Kurva Aliran vs. Pembukaan	Aplikasi
Linear	Aliran proporsional linear dengan bukaan katup (10% buka=10% aliran)	Sistem dengan drop tekanan konstan
Equal Percentage	Perubahan aliran relatif konstan per persen bukaan	Sistem dengan drop tekanan bervariasi (paling umum)
Quick Opening	Aliran naik cepat pada bukaan awal, kemudian melambat	Aplikasi ON-OFF, safety valve

Fail-Safe Position (Posisi Aman Saat Kegagalan)

Sangat penting dalam desain sistem kontrol: posisi apa yang harus ditempati katup jika terjadi kegagalan sinyal (listrik putus, udara kontrol habis)?

- Fail Open (FO) / Air-to-Close: Katup MEMBUKA jika sinyal/udara gagal. Digunakan pada sistem pendingin — jika udara kontrol gagal, katup cooling water terbuka penuh untuk mencegah overheating.
- Fail Closed (FC) / Air-to-Open: Katup MENUTUP jika sinyal/udara gagal. Digunakan pada sistem bahan bakar — jika udara kontrol gagal, katup bahan bakar tertutup untuk mencegah kebakaran.

5.3 Aktuator Elektrik, Pneumatik, dan Hidraulik

Jenis Aktuator	Sumber Tenaga	Karakteristik	Contoh Aplikasi di Kapal
Pneumatik	Udara bertekanan (3-15 psi atau 0,2-1 bar control signal)	Cepat, aman di area berbahaya, ketelitian baik	Control valve pada sistem kontrol proses (bahan bakar, pendingin)
Elektrik (Motor)	Motor listrik + gearbox	Presisi tinggi, tidak butuh udara/fluida bertekanan, posisi dapat dikunci	Motorized valve ballast, damper ventilasi, trim valve
Hidraulik	Minyak hidraulik bertekanan	Gaya besar, pergerakan lambat tapi kuat	Steering gear, deck crane, hatch cover, fin stabilizer
Solenoid	Elektromagnetik (arus listrik)	ON/OFF cepat, untuk aliran kecil, compact	Kontrol pneumatik pilot valve, fuel solenoid valve

SOAL LATIHAN BAB V

A. Pilihan Ganda

29. Katup kontrol dengan posisi Fail Open (FO) akan... jika sumber udara kontrol gagal.
 a. Tetap di posisi terakhir b. Menutup penuh c. Membuka penuh d. Bergerak ke posisi 50%
30. Komponen yang memastikan posisi katup tepat sesuai sinyal kontroler disebut... a. Valve body b. Actuator c. Positioner d. Trim
31. Untuk aplikasi pada area dengan risiko gas berbahaya (explosive), jenis aktuator yang paling tepat adalah... a. Elektrik motor b. Pneumatik c. Hidraulik d. Solenoid

B. Soal Uraian

32. Jelaskan perbedaan antara PLC, Single Loop Controller, dan DCS — kapan masing-masing digunakan?
33. Jelaskan konsep Fail-Safe Position pada control valve dan mengapa pertimbangan ini sangat penting dalam desain sistem kontrol kapal!
34. Sebutkan dan jelaskan komponen-komponen utama control valve!
35. Bandingkan aktuator pneumatik, elektrik, dan hidraulik dari segi cara kerja, kecepatan, presisi, dan aplikasinya di kapal!

BAB VI — INSTRUMEN PANEL KONTROL

Instrumen panel kontrol adalah pusat pengoperasian dan pemantauan sistem permesinan kapal. Perwira jaga mesin harus mampu membaca, memahami, dan menginterpretasikan seluruh informasi yang ditampilkan pada panel kontrol untuk mengambil keputusan operasional yang tepat.

6.1 Ruang Kontrol Kamar Mesin (Engine Control Room / ECR)

Engine Control Room (ECR) adalah ruangan terpisah di dalam kamar mesin yang berfungsi sebagai pusat kendali seluruh operasi permesinan kapal. ECR dilengkapi dengan panel-panel instrumen, sistem alarm, sistem komunikasi, dan workstation monitoring yang memungkinkan perwira jaga memantau dan mengontrol seluruh permesinan dari satu lokasi yang lebih aman dan nyaman (terlindung dari kebisingan, panas, dan bahaya permesinan).

Area dalam ECR	Isi dan Fungsi
Main Engine Control Panel	Panel kontrol kecepatan dan operasi mesin utama, telegraph, alarm ME
Generator Control Panel	Panel monitoring dan kontrol generator, synchronizing, power management
Auxiliary Systems Panel	Panel kontrol sistem bantu: bilge/ballast, bahan bakar, pendingin, boiler
Alarm Monitoring System (AMS)	Layar/panel alarm yang menampilkan seluruh alarm aktif dan status sistem
Communication System	Telepon internal, PA (Public Address), VHF radio, komunikasi dengan anjungan
Workstation/Computer	SCADA/DCS workstation untuk monitoring dan historical data permesinan

6.2 Panel Instrumen Mesin Utama

Panel instrumen mesin utama menampilkan seluruh parameter operasional mesin yang diperlukan perwira jaga untuk memantau kondisi dan performa mesin.

Instrumen	Parameter	Nilai Normal Tipikal	Tindakan jika Abnormal
Tachometer/RPM Indicator	Kecepatan putar mesin (rpm)	Sesuai setting order telegraph	Cek governor, fuel supply

Instrumen	Parameter	Nilai Normal Tipikal	Tindakan jika Abnormal
Jacket Water Temperature Gauge	Suhu air pendingin silinder	80-90°C (outlet)	Cek cooling system, reduce load
Lube Oil Pressure Gauge	Tekanan minyak lumas	3-5 bar (tergantung mesin)	SEGERA reduce RPM/stop jika sangat rendah
Exhaust Gas Temperature (EGT)	Suhu gas buang tiap silinder	300-500°C (tergantung load)	Bandingkan antar silinder; perbedaan besar = masalah
Scavenging Air Pressure	Tekanan udara bilas (motor 2-tak)	Sesuai load curve mesin	Cek turbocharger, air cooler
Fuel Oil Pressure Gauge	Tekanan suplai bahan bakar	Sesuai spesifikasi mesin	Cek pompa, filter, viscosity
Turbocharger Speed	Kecepatan turbocharger	Sesuai load — bisa sampai 30.000+ rpm	Cek jika hunting atau abnormal noise
Starting Air Pressure	Tekanan udara start	25-30 bar	Segera isi jika rendah (jalankan kompresor)

6.3 Panel Kontrol Generator dan Distribusi Listrik

Panel generator (dibahas juga pada buku Sistem Kelistrikan Kapal) menampilkan parameter penting untuk memastikan operasi generator yang aman dan efisien:

Instrumen	Parameter	Nilai Normal
Voltmeter 3 Fasa	Tegangan output (setiap fasa)	440V $\pm$ 5%
Amperemeter 3 Fasa	Arus output (setiap fasa)	$\leq$ Rated current
Frekuensi Meter	Frekuensi output	50 Hz $\pm$ 0,5 Hz
Power Factor Meter	Faktor daya ($\cos \phi$)	0,8-1,0 lagging
Wattmeter/kWh Meter	Daya aktif yang dihasilkan dan dikonsumsi	Sesuai beban aktual
Synchroscope	Sinkronisasi generator paralel	Jarum di posisi jam 12 saat sinkron
Excitation Current Meter	Arus eksitasi medan rotor	Sesuai setting AVR dan beban

6.4 Pembacaan dan Interpretasi Instrumen Panel

Kemampuan membaca dan menginterpretasikan instrumen panel bukan hanya tentang melihat angka, tetapi memahami MAKNA dan HUBUNGAN antar parameter.

Prinsip Pembacaan Panel yang Efektif

1. POLA NORMAL: Kenali pola pembacaan normal untuk berbagai kondisi operasi (kondisi start-up, beban rendah, beban tinggi, slow steaming, full ahead). Penyimpangan dari pola normal lebih mudah terdeteksi jika pola normalnya dipahami. 2. TREN (Trending): Amati apakah suatu parameter bergerak naik, turun, atau stabil dalam beberapa pembacaan terakhir. Tren naik pada suhu oli pelumas meskipun masih dalam batas normal bisa mengindikasikan masalah yang sedang berkembang. 3. HUBUNGAN ANTAR PARAMETER: Beberapa parameter saling berkaitan. Misalnya, peningkatan suhu gas buang pada satu silinder sering disertai perubahan pada parameter mesin lainnya — ini membantu menentukan penyebab masalah.

Parameter Kritis yang Memerlukan Tindakan Segera

Beberapa parameter memerlukan tindakan LANGSUNG (mengurangi beban atau mematikan mesin) tanpa menunggu konfirmasi lebih lanjut: • Tekanan oli pelumas SANGAT RENDAH (di bawah batas trip) → STOP MESIN SEGERA • Suhu air pendingin SANGAT TINGGI (overheat) → Kurangi beban atau stop mesin • Asap/api di kamar mesin atau gas buang hitam pekat → Alert, identifikasi penyebab • Vibrasi dan suara abnormal mendadak → Kurangi beban, investigasi penyebab

SOAL LATIHAN BAB VI

A. Pilihan Ganda

36. Engine Control Room (ECR) pada kapal berfungsi sebagai... a. Ruang tidur perwira mesin b. Gudang suku cadang c. Pusat kendali seluruh operasi permesinan kapal d. Ruang ibadah
37. Tekanan minyak lumas mesin utama yang sangat rendah di bawah batas trip mengharuskan... a. Dicatat dalam log book dan dilaporkan esok hari b. Mengurangi sedikit beban mesin c. Menghentikan mesin segera d. Menambah minyak lumas segera lalu lanjut operasi

B. Soal Uraian

38. Sebutkan dan jelaskan minimal 5 area/panel yang terdapat dalam ECR beserta fungsinya!
39. Jelaskan prinsip 'tren' dan 'hubungan antar parameter' dalam membaca panel instrumen kapal, serta berikan contoh penerapannya!
40. Sebutkan minimal 4 parameter kritis mesin utama yang memerlukan tindakan segera saat melebihi batas, dan jelaskan tindakan apa yang harus diambil!
41. Jelaskan parameter apa saja yang ditampilkan pada panel generator dan apa artinya jika salah satu parameter di luar nilai normal!

BAB VII — SISTEM KONTROL PERMESINAN KAPAL

Bab ini membahas implementasi sistem kontrol pada berbagai permesinan dan sistem di kapal, menghubungkan teori sistem kontrol dengan aplikasi praktis yang ditemui perwira teknik kapal.

7.1 Sistem Kontrol Mesin Utama (Governor)

Governor adalah sistem kontrol yang mengatur kecepatan (RPM) mesin utama agar tetap konstan pada nilai yang diperintahkan, terlepas dari perubahan beban propeller (akibat perubahan kondisi laut, angin, arus, perubahan draf kapal, dll.).

Prinsip Kerja Governor

Governor bekerja dalam loop closed: jika kecepatan mesin turun akibat beban bertambah, governor MENAMBAH suplai bahan bakar; jika kecepatan naik akibat beban berkurang, governor MENGURANGI suplai bahan bakar.

Komponen Governor	Fungsi
Speed Sensor (Pickup)	Mengukur kecepatan putaran mesin aktual (dalam rpm)
Reference/Setpoint	Nilai kecepatan yang diinginkan (dari telegraph/bridge command)
Comparison Element	Membandingkan kecepatan aktual dengan setpoint, menghasilkan sinyal error
PID Controller	Memproses error dan menghitung perubahan suplai bahan bakar yang diperlukan
Fuel Control Actuator	Menggerakkan fuel rack/fuel pump mengubah jumlah bahan bakar yang diinjeksikan
Engine (Proses)	Merespons perubahan bahan bakar dengan perubahan kecepatan dan torsi

Jenis Governor

Jenis	Teknologi	Aplikasi
Mekanik (Centrifugal Governor)	Flyweight yang berputar — gaya sentrifugal menggerakkan fuel rack secara langsung	Mesin tua, generator sederhana
Hydraulic-Mechanical	Mekanik dikombinasikan hidraulik — lebih presisi dan lebih cepat	Mesin diesel generasi menengah

Jenis	Teknologi	Aplikasi
Electronic Governor	Sensor elektronik + kontroler elektronik (PID) + aktuator elektrik/hidraulik	Mesin modern, common rail engine, generator modern

Governor pada Mesin Penggerak Kapal vs Generator

Governor mesin penggerak (propulsion engine) mengontrol RPM untuk menghasilkan KECEPATAN kapal yang diinginkan — biasanya beroperasi pada berbagai RPM. Governor generator mengontrol RPM untuk menghasilkan FREKUENSI yang konstan (50 atau 60 Hz) — beroperasi pada RPM tetap (misal 1500 rpm untuk 4-kutub 50 Hz). Isochronous governor mempertahankan RPM persis konstan meski beban berubah, yang penting untuk kestabilan frekuensi listrik.

7.2 Sistem Kontrol Bahan Bakar dan Pembakaran

Sistem kontrol bahan bakar memastikan mesin mendapatkan bahan bakar dalam jumlah, tekanan, dan kondisi (viskositas/suhu) yang tepat untuk pembakaran yang optimal.

Loop Kontrol pada Sistem Bahan Bakar

Loop Kontrol	Variabel yang Dikontrol	Aktuator
Viskositas/Suhu HFO	Viskositas bahan bakar (diukur oleh viscosimeter) → mengontrol suhu heater	Steam valve/heater control valve
Tekanan Suplai Bahan Bakar	Tekanan di header injeksi	Booster pump speed / bypass valve
Flow Rate / Fuel Index	Jumlah bahan bakar per siklus (dikendalikan governor)	Fuel rack actuator, common rail pressure
Common Rail Pressure	Tekanan di common rail (pada mesin common rail)	HP fuel pump stroke control / pressure regulating valve

7.3 Sistem Kontrol Kemudi Otomatis (Autopilot)

Autopilot adalah sistem kontrol yang secara otomatis mempertahankan haluan (heading) kapal pada nilai yang ditetapkan, tanpa perlu juru mudi manusia terus-menerus memegang kemudi.

Prinsip Kerja Autopilot

42. Sensor GYROCOMPASS atau GYRO + GPS mengukur haluan aktual kapal.
43. Kontroler membandingkan haluan aktual dengan haluan yang ditetapkan (setpoint) — menghasilkan sinyal error.
44. Kontroler PID memproses error dan menghitung berapa sudut kemudi (rudder angle) yang diperlukan untuk mengoreksi penyimpangan haluan.
45. Sinyal perintah dikirim ke steering gear (aktuator hidrolik) yang menggerakkan rudder.
46. Kapal merespons dengan perubahan haluan, yang kemudian diukur kembali oleh sensor (loop tertutup).

Parameter Tuning Autopilot

Autopilot kapal memiliki parameter yang dapat disetel oleh perwira jaga:

- Weather Adjustment/Yaw Damping: menentukan seberapa sensitif sistem merespons gelombang dan angin (terlalu sensitif → kemudi terlalu aktif → boros bahan bakar; terlalu lemah → haluan tidak terjaga).
- Off Course Alarm: batas penyimpangan haluan yang memicu alarm untuk memperingatkan perwira navigasi.
- Rudder Limit: batasan sudut kemudi maksimum yang diizinkan oleh autopilot (mencegah gerakan berlebihan).

7.4 Sistem Kontrol Ballast dan Muatan

Sistem kontrol ballast mengatur distribusi air ballast dalam tangki-tangki ballast kapal untuk mempertahankan stabilitas, trim, dan list (kemiringan) kapal yang sesuai — terutama saat kondisi muatan berubah selama bongkar muat.

Komponen Sistem Kontrol Ballast

- Ballast Pump: Pompa sentrifugal besar (kapasitas ratusan hingga ribuan ton/jam) untuk mengisi dan mengosongkan tangki ballast.
- Remote Operated Valves: Valve yang dapat dibuka/ditutup dari ECR atau panel ballast tanpa harus turun ke lokasi valve secara fisik.
- Level Transmitter: Mengukur level air di masing-masing tangki ballast dan mengirimkan data ke sistem monitoring.
- Loading Computer: Komputer yang menghitung stabilitas, trim, dan tegangan lambung kapal berdasarkan data muatan dan ballast aktual, memandu operator dalam pengambilan keputusan.
- Draft Gauges: Sensor draft (sarat) yang mengukur kedalaman kapal terendam air di haluan, midship, dan buritan.

SOAL LATIHAN BAB VII

A. Pilihan Ganda

47. Governor pada motor diesel kapal berfungsi untuk mengontrol... a. Suhu air pendingin b. Tekanan oli pelumas c. Kecepatan (RPM) mesin d. Tekanan bahan bakar
48. Pada sistem autopilot, sensor yang mengukur haluan aktual kapal adalah... a. Inclinator b. GPS saja c. Gyrocompass d. Radar
49. Loading computer pada sistem ballast kapal berfungsi untuk... a. Menghitung konsumsi bahan bakar b. Menghitung stabilitas dan trim kapal c. Mengontrol kecepatan pompa ballast d. Memprogram autopilot

B. Soal Uraian

50. Jelaskan prinsip kerja governor sebagai sistem kontrol loop tertutup, sebutkan semua komponen yang terlibat!
51. Jelaskan mengapa governor generator kapal harus menggunakan isochronous control (RPM benar-benar konstan), sedangkan governor mesin penggerak dapat menggunakan droop control!
52. Jelaskan cara kerja autopilot kapal menggunakan prinsip sistem kontrol loop tertutup (sebutkan: sensor, setpoint, kontroler, aktuator, proses)!
53. Jelaskan komponen-komponen sistem kontrol ballast dan bagaimana sistem ini digunakan untuk menjaga stabilitas kapal selama bongkar muat!

BAB VIII — SISTEM ALARM DAN MONITORING MODERN

8.1 Alarm Monitoring System (AMS)

Alarm Monitoring System (AMS) adalah sistem terpadu yang memantau ratusan hingga ribuan parameter permesinan dan sistem kapal secara kontinu, memberikan peringatan alarm kepada operator jika ada parameter yang keluar dari batas normal, serta menyimpan data historis untuk analisis dan dokumentasi.

Fungsi Utama AMS

- Pemantauan kontinu (24/7) terhadap parameter permesinan: suhu, tekanan, level, aliran, kecepatan, tegangan, arus, dll.
- Alarm notification: menampilkan dan membunyikan alarm visual dan audio saat parameter melampaui batas yang ditetapkan (High/High-High atau Low/Low-Low alarm).
- Alarm acknowledgement: perwira jaga harus mengakui (acknowledge) setiap alarm yang muncul — alarm yang tidak di-acknowledge terus dibunyikan sebagai pengingat.
- Alarm management: memprioritaskan alarm berdasarkan tingkat urgensi (critical, major, minor) agar operator tidak terlalu terbebani saat terjadi banyak alarm sekaligus.
- Historical data logging: menyimpan seluruh data pembacaan dan alarm secara digital untuk analisis tren, investigasi insiden, dan audit.
- UMS support: memungkinkan operasi UMS dengan meneruskan alarm ke kabin perwira jaga via deadman alarm system.

Level Alarm	Simbol	Arti	Tindakan
Low-Low (LL) / High-High (HH)	LL / HH	Kondisi kritis — batas trip/shutdown	Tindakan segera — shutdown mungkin otomatis
Low (L) / High (H)	L / H	Kondisi abnormal — perlu perhatian	Investigasi dan koreksi segera
Warning	W	Kondisi mendekati batas — peringatan dini	Monitor ketat, persiapkan tindakan
Normal	OK / Green	Parameter dalam batas operasi normal	Tidak ada tindakan diperlukan

8.2 Programmable Logic Controller (PLC)

PLC adalah komputer industri yang diprogram untuk menjalankan logika kontrol, sekuensing, dan otomasi sistem di kapal. PLC menggantikan rangkaian relay mekanis yang kompleks dengan program logika yang dapat diubah tanpa rewiring.

Komponen PLC

Komponen	Fungsi
CPU (Central Processing Unit)	Otak PLC — mengeksekusi program logika, memproses data input/output
Power Supply	Menyuplai daya ke seluruh modul PLC
Input Module (Digital)	Menerima sinyal digital ON/OFF dari sensor, switch, push button
Output Module (Digital)	Mengirimkan sinyal ON/OFF ke relay, solenoid, lampu indicator, motor starter
Input Module (Analog)	Menerima sinyal analog (4-20 mA, 0-10 V) dari transmitter/sensor
Output Module (Analog)	Mengirimkan sinyal analog (4-20 mA) ke control valve positioner, VFD speed reference
Communication Module	Menghubungkan PLC ke jaringan industri (Modbus, PROFIBUS, Ethernet)

Bahasa Pemrograman PLC

PLC dapat diprogram menggunakan beberapa bahasa standar (IEC 61131-3):

- Ladder Diagram (LD): paling umum — mirip diagram wiring relay, mudah dipahami teknisi elektrik
- Function Block Diagram (FBD): blok fungsional yang dihubungkan, cocok untuk sistem kontrol proses
- Structured Text (ST): mirip bahasa pemrograman tingkat tinggi (PASCAL), untuk algoritma kompleks
- Sequential Function Chart (SFC): untuk sequencing dan state machine

Pada kapal, Ladder Diagram paling umum digunakan untuk logika kontrol permesinan dan interlock.

8.3 Distributed Control System (DCS) dan Integrasi Sistem Kapal

DCS (Distributed Control System) adalah sistem kontrol canggih di mana fungsi-fungsi kontrol didistribusikan di beberapa kontroler yang terhubung dalam jaringan komunikasi digital, semua dipantau dan dikendalikan dari satu atau lebih workstation operator terpusat.

Karakteristik DCS vs PLC

Aspek	PLC	DCS
Fokus Utama	Logika sekuensial, ON/OFF, interlock	Kontrol proses kontinu (loop PID, regulatory control)
Skala	Beberapa ratus I/O per sistem	Ribuan hingga puluhan ribu I/O terintegrasi

Aspek	PLC	DCS
Integrasi	Biasanya sistem terpisah, dihubungkan via gateway	Terintegrasi by design — semua kontrol dalam satu platform
Penggunaan di Kapal	Otomasi sistem spesifik (ballast, cargo, bilge)	Kapal besar modern: integrasi seluruh sistem permesinan

Integrasi Sistem di Kapal Modern (Integrated Automation System / IAS)

Kapal modern mengintegrasikan berbagai sistem ke dalam satu platform terpadu yang disebut Integrated Automation System (IAS) atau Integrated Monitoring and Control System (IMCS):

- Alarm Monitoring System (AMS): pemantauan dan alarm seluruh parameter kapal
- Power Management System (PMS): kontrol otomatis generator, load sharing, blackout prevention
- Machinery Control System (MCS): kontrol mesin utama, sistem pendingin, pelumasan, bahan bakar
- Cargo Control System (CCS): untuk tanker/kapal curah — kontrol pompa kargo, level tangki, inert gas
- Ballast Control System (BCS): monitoring dan kontrol tangki ballast
- Fire & Gas Detection: alarm kebakaran dan deteksi gas di seluruh kapal

Komunikasi Data antara Sistem Kapal

Semua subsistem di atas dihubungkan melalui jaringan komunikasi industri menggunakan protokol standar:

- Modbus RTU/TCP: protokol sederhana, banyak digunakan untuk menghubungkan perangkat ke PLC/DCS
- PROFIBUS/PROFINET: standar Siemens, umum pada kapal Eropa
- CANbus: digunakan pada beberapa sistem permesinan diesel modern
- IEC 61850: untuk sistem proteksi dan kontrol listrik
- NMEA 2000/0183: untuk peralatan navigasi (GPS, radar, AIS)

Integrasi jaringan ini memungkinkan satu workstation di ECR menampilkan informasi dari SEMUA sistem kapal.

RANGKUMAN BAB VIII

Sistem	Fungsi	Keunggulan
AMS	Pemantauan alarm dan logging data permesinan	Deteksi dini, mendukung UMS, dokumentasi
PLC	Logika kontrol terprogram, menggantikan relay	Fleksibel, dapat diubah program tanpa rewiring

Sistem	Fungsi	Keunggulan
DCS	Kontrol terdistribusi untuk proses kompleks	Terintegrasi, skala besar, operator workstation terpusat
IAS/IMCS	Integrasi seluruh sistem kapal dalam satu platform	Satu titik monitoring, efisiensi operasional maksimal

SOAL LATIHAN BAB VIII

A. Pilihan Ganda

54. Alarm High-High (HH) pada AMS mengindikasikan kondisi...
 a. Parameter mendekati batas atas b. Parameter sangat kritis — tindakan segera atau shutdown otomatis c. Kondisi normal tapi perlu monitor d. Sensor rusak
55. Bahasa pemrograman PLC yang paling sering digunakan di industri maritim adalah...
 a. Structured Text b. Sequential Function Chart c. Ladder Diagram d. C++
56. Power Management System (PMS) pada kapal berfungsi untuk...
 a. Mengelola keuangan kapal b. Kontrol otomatis generator dan beban listrik c. Mengontrol pompa ballast d. Memantau posisi kapal

B. Soal Uraian

57. Jelaskan minimal 5 fungsi utama Alarm Monitoring System (AMS) pada kapal!
58. Jelaskan komponen-komponen PLC dan fungsinya masing-masing!
59. Jelaskan perbedaan antara PLC dan DCS dari segi fokus aplikasi, skala, dan penggunaan di kapal!
60. Jelaskan konsep Integrated Automation System (IAS) dan sebutkan subsistem apa saja yang terintegrasi di dalamnya pada kapal niaga modern!

DAFTAR PUSTAKA

- Bolton, W. (2015). *Instrumentation and Control Systems* (2nd ed.). Oxford: Newnes/Butterworth-Heinemann.
- Bela, I. & Unbenhauen, H. (2005). *Adaptive Control Systems*. London: Elsevier.
- IMO. (2021). *SOLAS Consolidated Edition 2020*. London: International Maritime Organization.
- Johnson, C. D. (2014). *Process Control Instrumentation Technology* (8th ed.). Boston: Pearson.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2018). *Silabus Mata Pelajaran SMK Kompetensi Keahlian Teknik Kapal Niaga*. Jakarta: Kemendikbud.
- Lipták, B. G. (Ed.) (2005). *Instrument Engineers' Handbook, Volume 2: Process Control and Optimization* (4th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Sembiring, J. (2018). *Sistem Kontrol dan Instrumentasi Kapal*. Jakarta: Pustaka Maritim.
- Smith, C. A. & Corripio, A. B. (2005). *Principles and Practice of Automatic Process Control* (3rd ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Woud, H. K. & Stapersma, D. (2002). *Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems*. London: IMarEST.

GLOSARIUM

Istilah / Singkatan	Definisi
AMS	Alarm Monitoring System — sistem pemantauan alarm permesinan kapal secara terpusat.
Aktuator	Komponen yang mengubah sinyal perintah kontroler menjadi tindakan fisik pada proses.
Autopilot	Sistem kontrol otomatis yang mempertahankan haluan kapal tanpa juru mudi manual.
Closed Loop	Sistem kontrol dengan umpan balik (feedback) dari output ke input kontroler.
Control Valve	Katup kontrol yang mengatur aliran fluida sesuai sinyal dari kontroler.
DCS	Distributed Control System — sistem kontrol terdistribusi untuk proses kompleks skala besar.
ECR	Engine Control Room — ruang kontrol pusat operasi permesinan kapal.
Error	Selisih antara setpoint (SP) dan process variable (PV): $e = SP - PV$.
Fail-Safe	Posisi aman yang ditempati aktuator saat terjadi kegagalan sinyal/sumber daya.
Feedback	Umpan balik — output proses dikembalikan ke input untuk perbandingan.
Fieldbus	Jaringan komunikasi digital untuk perangkat kontrol industri (PROFIBUS, Modbus, dll.).
Governor	Sistem kontrol yang mengatur kecepatan (RPM) mesin diesel secara otomatis.
IAS	Integrated Automation System — sistem terpadu seluruh kontrol dan monitoring kapal.
Loop Terbuka	Open Loop — sistem kontrol tanpa umpan balik dari output ke input.
Manipulated Variable (MV)	Variabel yang dimanipulasi kontroler untuk mempengaruhi proses.
Offset	Steady-state error — penyimpangan permanen pada kontrol P saja.
Open Loop	Sistem kontrol tanpa umpan balik (lihat loop terbuka).
PID	Proportional-Integral-Derivative — algoritma kontrol paling umum di industri.
PLC	Programmable Logic Controller — komputer industri untuk otomasi logika kontrol.
PMS	Power Management System — kontrol otomatis generator dan distribusi listrik kapal.
Positioner	Alat yang memastikan posisi control valve tepat sesuai sinyal kontroler.
Process Variable (PV)	Nilai aktual variabel yang dikontrol, diukur oleh sensor.

Istilah / Singkatan	Definisi
Setpoint (SP)	Nilai yang diinginkan untuk variabel yang dikontrol.
Sinyal 4-20 mA	Standar sinyal arus analog industri dengan live zero.
Transmitter	Perangkat yang mengukur variabel proses dan mengubahnya menjadi sinyal standar (4-20 mA).