

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

BUKU TEKS
PERAWATAN DAN PERBAIKAN
PERMESINAN KAPAL
Maintenance and Repair

Oleh:
JOKO DARMONO, ST
NIP 197305312022211003

Troubleshooting, Alat Ukur, Perbaikan Darurat & Planning Maintenance System (PMS)

TANJUNGPINANG
2026

KATA PENGANTAR

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

Perawatan dan perbaikan permesinan kapal adalah inti dari tugas seorang perwira teknik kapal. Kompetensi ini tidak hanya mencakup pengetahuan teknis tentang mesin, tetapi juga kemampuan sistematis dalam mendiagnosis masalah (troubleshooting), menggunakan alat ukur dengan benar, menangani kerusakan darurat, merencanakan dan melaksanakan jadwal perawatan, serta mendokumentasikan semua kegiatan sesuai persyaratan internasional.

Buku ini mencakup delapan topik utama: (1) Pengantar Perawatan dan Perbaikan Kapal, (2) Planning Maintenance System (PMS), (3) Alat Ukur dalam Perawatan Permesinan, (4) Prosedur Troubleshooting Sistematis, (5) Perbaikan Darurat dan Sementara, (6) Perawatan dan Perbaikan Mesin Utama, (7) Perawatan dan Perbaikan Permesinan Bantu, serta (8) Manajemen Suku Cadang dan Dokumentasi. Setiap bab dilengkapi prosedur langkah demi langkah, tabel referensi, contoh kasus nyata, 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 PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL	1
1.1 Definisi, Tujuan, dan Pentingnya Perawatan	1
1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai	3
1.3 Jenis-Jenis Perawatan	4
1.4 Dasar Hukum dan Regulasi Perawatan Kapal	6
BAB II — PLANNING MAINTENANCE SYSTEM (PMS)	9
2.1 Pengertian dan Tujuan PMS	9
2.2 Komponen dan Struktur PMS	11
2.3 Interval dan Kategori Perawatan dalam PMS	14
2.4 Pelaksanaan PMS di Atas Kapal	17
2.5 Rangkuman & Latihan Bab II	20
BAB III — ALAT UKUR DALAM PERAWATAN PERMESINAN	23
3.1 Alat Ukur Dimensi (Jangka Sorong, Mikrometer, Dial Gauge)	23
3.2 Alat Ukur Geometri (Straight Edge, Filler Gauge, Telescoping Gauge)	27
3.3 Alat Ukur Khusus Permesinan Kapal	30
3.4 Kalibrasi dan Perawatan Alat Ukur	33
3.5 Rangkuman & Latihan Bab III	35
BAB IV — PROSEDUR TROUBLESHOOTING SISTEMATIS	38
4.1 Prinsip Dasar Troubleshooting	38
4.2 Metode Troubleshooting Sistematis	40
4.3 Troubleshooting Mesin Utama	43
4.4 Troubleshooting Permesinan Bantu	47
4.5 Rangkuman & Latihan Bab IV	51
BAB V — PERBAIKAN DARURAT DAN SEMENTARA	54
5.1 Prinsip Perbaikan Darurat	54
5.2 Perbaikan Darurat Kebocoran Pipa dan Hull	56
5.3 Perbaikan Darurat Sistem Bahan Bakar dan Oli	59
5.4 Perbaikan Darurat Sistem Kelistrikan	62
5.5 Rangkuman & Latihan Bab V	64
BAB VI — PERAWATAN DAN PERBAIKAN MESIN UTAMA	67
6.1 Prosedur Pembongkaran dan Perakitan	67
6.2 Perawatan Cylinder Liner dan Piston	70
6.3 Perawatan Crankshaft dan Bearing	73
6.4 Perawatan Turbocharger	76

6.5 Rangkuman & Latihan Bab VI	79
BAB VII — PERAWATAN DAN PERBAIKAN PERMESINAN BANTU	82
7.1 Perawatan Pompa dan Kompresor	82
7.2 Perawatan Separator dan Purifier	85
7.3 Perawatan Ketel Uap Bantu	88
7.4 Perawatan Generator dan Panel Listrik	91
7.5 Rangkuman & Latihan Bab VII	94
BAB VIII — MANAJEMEN SUKU CADANG DAN DOKUMENTASI	97
8.1 Manajemen Suku Cadang (Spare Parts Management)	97
8.2 Pencatatan dan Pelaporan Perawatan	100
8.3 Audit Perawatan dan ISM Code	103
8.4 Rangkuman & Latihan Bab VIII	106
Daftar Pustaka	109
Glosarium	111

BAB I — PENGANTAR PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL

1.1 Definisi, Tujuan, dan Pentingnya Perawatan

Perawatan (maintenance) adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan secara terencana dan sistematis untuk menjaga kondisi permesinan dan peralatan kapal agar selalu berfungsi sebagaimana mestinya, mencegah terjadinya kerusakan, dan memperpanjang umur operasional peralatan. Perbaikan (repair) adalah kegiatan yang dilakukan untuk memulihkan kondisi permesinan atau peralatan yang telah mengalami kerusakan atau kegagalan fungsi kembali ke kondisi operasional.

Dua konsep ini tidak dapat dipisahkan dalam operasional kapal — perawatan yang baik meminimalkan kebutuhan perbaikan, namun tidak dapat sepenuhnya menghilangkan kebutuhan perbaikan karena komponen tetap akan mengalami keausan, kerusakan, atau kegagalan meskipun dirawat dengan baik.

Mengapa Perawatan Permesinan Kapal Sangat Kritis?

- KESELAMATAN: Kegagalan mesin utama di tengah laut dapat menyebabkan kapal kehilangan tenaga gerak (loss of propulsion) dan menjadi tak terkendali — mengancam jiwa awak, kapal, dan lingkungan
- KEANDALAN OPERASIONAL: Kapal yang sering rusak akan berdampak pada keterlambatan jadwal, pemutusan kontrak, dan kerugian finansial besar
- EFISIENSI: Mesin yang dirawat baik bekerja pada efisiensi optimal — menghemat bahan bakar yang merupakan biaya operasional terbesar kapal
- REGULASI: ISM Code dan klas kapal mewajibkan sistem perawatan yang terdokumentasi — pelanggaran dapat menyebabkan penahanan kapal (PSC detention)
- BIAYA: Biaya perawatan preventif jauh lebih kecil dibanding biaya perbaikan breakdown — rasio umum 1:5 hingga 1:10

1.2 Kompetensi yang Akan Dicapai

1. Menjelaskan jenis-jenis perawatan dan dasar hukum perawatan kapal.
2. Merencanakan dan menerapkan Planning Maintenance System (PMS) di atas kapal.
3. Menggunakan alat ukur dimensi dan geometri dengan benar untuk pemeriksaan komponen permesinan.
4. Melakukan prosedur troubleshooting sistematis untuk menemukan akar penyebab kerusakan.
5. Menerapkan prosedur perbaikan darurat dan sementara untuk berbagai jenis kegagalan di atas kapal.

6. Melaksanakan perawatan dan perbaikan komponen mesin utama dan permesinan bantu.
7. Mengelola inventori suku cadang dan mendokumentasikan kegiatan perawatan dengan benar.

1.3 Jenis-Jenis Perawatan

Jenis Perawatan	Definisi	Kapan Dilakukan	Contoh di Kapal
Preventive Maintenance (PM)	Perawatan terencana dan teratur untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi	Pada interval waktu atau jam operasi yang telah ditetapkan	Penggantian oli mesin setiap 2.000 jam, pembersihan filter bahan bakar setiap bulan
Predictive Maintenance (PdM)	Perawatan berdasarkan kondisi aktual komponen yang dipantau secara berkala	Saat kondisi komponen menunjukkan tanda-tanda akan mendekat batas kritis	Penggantian bearing ketika vibration analysis menunjukkan amplitudo berlebih
Corrective Maintenance (CM)	Perbaikan setelah komponen gagal atau menunjukkan penurunan performa	Setelah kerusakan atau kegagalan terdeteksi	Penggantian gasket bocor, perbaikan pompa yang tidak beroperasi normal
Breakdown Maintenance (BM)	Perbaikan darurat saat kegagalan tiba-tiba mengancam operasi atau keselamatan	Saat terjadi kegagalan mendadak yang tidak terencana	Start darurat generator cadangan saat generator utama trip mendadak
Overhaul	Pembongkaran, pemeriksaan menyeluruh, dan pemulihan kondisi komponen utama	Pada interval panjang sesuai manual pabrikan atau regulasi klas	Overhaul mesin utama setiap 24.000-36.000 jam operasi
Condition-Based Maintenance (CBM)	Inspeksi dan perbaikan berdasarkan kondisi aktual, bukan waktu tetap	Berdasarkan hasil pemantauan kondisi	Penggantian liner saat pengukuran wear melewati batas toleransi

1.4 Dasar Hukum dan Regulasi Perawatan Kapal

Regulasi/Standar	Isi Terkait Perawatan
ISM Code (International Safety Management Code)	Elemen 10: Maintenance of the Ship and Equipment — mewajibkan prosedur tertulis untuk identifikasi peralatan dan sistem yang memerlukan pemantauan berkala, inspeksi, dan perawatan; sistem pelaporan dan analisis ketidaksesuaian; serta tindakan perbaikan
SOLAS Chapter II-1	Persyaratan teknis konstruksi dan perawatan sistem propulsi, kemudi, dan peralatan keselamatan kapal
Classification Society Rules (BKI, DNV, Lloyd's, ABS, dll.)	Mewajibkan survei berkala (annual survey, intermediate survey, special survey) dan memverifikasi kondisi peralatan; perawatan harus memenuhi standar klas
MARPOL Annex I, IV, V, VI	Mewajibkan perawatan peralatan pengolahan limbah (OWS, STP, incinerator) agar memenuhi standar emisi dan pembuangan
MLC (Maritime Labour Convention)	Memastikan kondisi kapal layak huni dan peralatan akomodasi (AC, dapur, sanitasi) dalam kondisi baik — berkaitan dengan kesejahteraan awak

Survei Klas dan Hubungannya dengan Perawatan

Kapal harus menjalani survei berkala oleh badan klasifikasi untuk mempertahankan sertifikat kelasnya yang merupakan syarat izin berlayar. Jenis survei utama:

- Annual Survey (setiap tahun): Pemeriksaan visual dan fungsional peralatan kritis
- Intermediate Survey (setiap 2,5 tahun): Lebih mendalam dari annual
- Special Survey/Dry Dock (setiap 5 tahun): Survei menyeluruh termasuk pemeriksaan lambung, pemeriksaan propeller dan kemudi

Pelanggaran — peralatan dalam kondisi buruk yang tidak diperbaiki — dapat menyebabkan pengeluaran kondisi (condition of class) atau bahkan pencabutan klas, yang berarti kapal tidak boleh berlayar.

BAB II — PLANNING MAINTENANCE SYSTEM (PMS)

2.1 Pengertian dan Tujuan PMS

Planning Maintenance System (PMS) adalah sistem manajemen perawatan yang terstruktur, terdokumentasi, dan berbasis komputer (untuk kapal modern) yang mengatur semua kegiatan perawatan di atas kapal secara terencana. PMS merupakan implementasi praktis dari persyaratan ISM Code elemen 10 tentang perawatan kapal.

Tujuan utama PMS:

- Memastikan seluruh peralatan kapal mendapat perawatan yang diperlukan pada waktu yang tepat.
- Mendistribusikan beban kerja perawatan secara merata sepanjang tahun, menghindari penumpukan pekerjaan.
- Menyediakan dokumentasi lengkap tentang riwayat perawatan setiap peralatan untuk referensi, analisis tren, dan audit.
- Membantu perencanaan pengadaan suku cadang dan material perawatan yang diperlukan.
- Memenuhi persyaratan ISM Code dan survei klas dengan bukti dokumentasi yang lengkap.

2.2 Komponen dan Struktur PMS

A. Equipment Register (Daftar Peralatan)

Equipment Register adalah inventaris lengkap seluruh peralatan dan komponen yang ada di atas kapal, beserta data teknisnya. Setiap item dalam PMS harus terdaftar dalam Equipment Register.

Data yang Tercatat dalam Equipment Register	Contoh untuk Mesin Utama
Kode / Tag Number peralatan	ME-001 (Main Engine)
Nama peralatan	Mesin Diesel Utama (Main Propulsion Engine)
Pabrikan / Merk	MAN B&W 6S50MC-C
Nomor seri	Serial No.: 12345678
Tahun pembuatan / instalasi	2015
Daya / kapasitas nominal	8.580 kW at 127 rpm
Lokasi di kapal	Kamar mesin, deck D

Data yang Tercatat dalam Equipment Register	Contoh untuk Mesin Utama
Manual / dokumentasi teknis yang tersedia	Instruction Book, Maintenance Manual, Parts Catalogue

B. Job Card / Maintenance Task

Job Card adalah kartu pekerjaan yang mendeskripsikan satu tugas perawatan spesifik untuk satu peralatan. Setiap Job Card berisi informasi lengkap tentang apa yang harus dilakukan, kapan, bagaimana, dan oleh siapa.

Informasi dalam Job Card	Detail
Job Code (Kode Pekerjaan)	Kode unik yang mengidentifikasi tugas (misal: ME-001-PM-01)
Deskripsi Pekerjaan	Deskripsi singkat dan jelas tentang apa yang dilakukan
Interval / Periode	Running hours atau kalender (misal: setiap 1000 jam atau setiap 3 bulan)
Prosedur Pekerjaan	Langkah-langkah detail pelaksanaan perawatan
Alat yang Diperlukan	Daftar perkakas dan peralatan khusus yang dibutuhkan
Suku Cadang / Material	Daftar suku cadang dan material yang perlu disiapkan
Estimasi Waktu	Perkiraan durasi pelaksanaan (man-hours)
K3 / Precautions	Tindakan keselamatan yang wajib diikuti
Pelaksana	Jabatan/kualifikasi yang diperlukan untuk melaksanakan tugas

C. Running Hour Meter / Calendar

PMS menggunakan dua jenis pemicu (trigger) untuk interval perawatan: Running Hours (jam operasi aktual) dan Calendar (waktu kalender — hari, minggu, bulan, tahun). Beberapa peralatan menggunakan keduanya, dan yang lebih dahulu tercapai yang diprioritaskan.

2.3 Interval dan Kategori Perawatan dalam PMS

Interval	Contoh Kegiatan PMS
Harian (Daily)	Cek level oli mesin, catat parameter operasi, periksa kebocoran, inspeksi visual kamar mesin
Mingguan (Weekly)	Bersihkan filter udara, cek level elektrolit baterai, test lampu darurat, lubrikasi komponen

Interval	Contoh Kegiatan PMS
Bulanan (Monthly)	Overhaul strainer pompa, kalibrasi alat ukur, test sistem alarm, pemantauan kualitas oli
3 Bulanan	Pembersihan heat exchanger, perawatan separator, overhaul purifier, megger test motor
6 Bulanan / 1.000 jam	Perawatan kompresor udara, overhaul fuel injection system, valve adjustment mesin bantu
Tahunan / 4.000 jam	Overhaul governor, overhaul pompa bilge/ballast, survei tahunan klas
2,5 Tahun (Intermediate)	Survei antara klas — inspeksi lebih mendalam terhadap sistem kritis
5 Tahun (Special/Dry Dock)	Overhaul mesin utama besar (major overhaul), inspeksi propeller, kemudi, lambung

2.4 Pelaksanaan PMS di Atas Kapal

Software PMS yang Umum Digunakan

Software PMS	Pengembang	Fitur Utama
AMOS (Asset Management and Operations System)	DNV (sebelumnya SpecTec)	PMS, purchasing, inventory, HSQE — paling umum digunakan
Kongsberg K-Chief	Kongsberg Maritime	Terintegrasi dengan monitoring sistem kapal
Helm CONNECT	Veson Nautical / Helm Operations	PMS terintegrasi dengan voyage management
TM Master	TM Software AS	PMS, stores management, purchasing
Planned Maintenance Manual	Manual (Microsoft Excel/Word)	Untuk kapal kecil yang belum menggunakan software khusus

Prosedur Pelaksanaan Job PMS

- Cek jadwal PMS yang jatuh tempo — berdasarkan running hours atau tanggal kalender.
- Siapkan Job Card yang relevan — baca prosedur, alat, dan suku cadang yang diperlukan.
- Siapkan suku cadang dan material dari gudang (stores) sesuai daftar dalam Job Card.
- Laksanakan prosedur LOTO (Lock Out-Tag Out) jika pekerjaan memerlukan isolasi energi.
- Laksanakan pekerjaan perawatan sesuai prosedur dalam Job Card — catat temuan dan kondisi aktual komponen.
- Setelah selesai, lakukan test run/function test untuk memverifikasi peralatan berfungsi normal.
- Catat semua kegiatan, temuan, dan penggunaan suku cadang dalam sistem PMS — tutup Job Card.

15. Jika ditemukan kondisi abnormal yang tidak termasuk dalam scope Job Card, buat laporan terpisah (Non-Conformity Report atau Defect Report) dan eskalasi kepada KKM/Superintendent.

⚠ Konsekuensi Jika PMS Tidak Dilaksanakan dengan Benar

- Audit PSC (Port State Control) dapat menemukan Job Card yang terlambat dilaksanakan — berpotensi detention
- Survei klas dapat ditangguhkan jika dokumentasi PMS tidak lengkap
- Kegagalan komponen yang seharusnya bisa dicegah dengan perawatan rutin
- Kehilangan data historis perawatan yang berharga untuk analisis dan troubleshooting
- Tanggung jawab hukum perwira dan perusahaan jika terjadi kecelakaan akibat kurangnya perawatan

SOAL LATIHAN BAB II

A. Pilihan Ganda

16. PMS (Planning Maintenance System) wajib diterapkan di kapal berdasarkan persyaratan... a. MARPOL Annex I b. ISM Code Elemen 10 c. SOLAS Chapter III d. MLC 2006
17. Job Card dalam PMS berisi informasi tentang... a. Daftar awak kapal b. Rute pelayaran c. Prosedur, alat, suku cadang, dan interval perawatan d. Anggaran operasional
18. Pekerjaan perawatan yang dipicu berdasarkan jam operasi aktual mesin disebut... a. Calendar-based maintenance b. Running hours-based maintenance c. Predictive maintenance d. Corrective maintenance

B. Soal Uraian

19. Jelaskan 5 tujuan utama Planning Maintenance System (PMS) di atas kapal!
20. Jelaskan komponen-komponen utama PMS dan isi informasi yang terdapat dalam masing-masing komponen!
21. Jelaskan 8 langkah prosedur pelaksanaan Job PMS dari awal hingga penutupan Job Card!
22. Apa konsekuensi yang dapat terjadi jika PMS tidak dilaksanakan dengan benar dan dokumentasinya tidak lengkap?

BAB III — ALAT UKUR DALAM PERAWATAN PERMESINAN

Penggunaan alat ukur yang tepat dan benar adalah dasar dari perawatan yang efektif. Pengukuran yang akurat memungkinkan teknisi menentukan apakah komponen masih dalam toleransi yang dapat diterima atau perlu diganti, serta memantau tren keausan untuk perencanaan perawatan yang lebih baik.

3.1 Alat Ukur Dimensi

A. Jangka Sorong (Vernier Caliper)

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi linear (luar, dalam, dan kedalaman) dengan ketelitian 0,02 mm atau 0,05 mm (vernier), atau 0,01 mm (digital). Merupakan alat ukur paling serbaguna dalam perawatan permesinan.

Fungsi Pengukuran	Cara Menggunakan Rahang
Mengukur dimensi luar (OD)	Gunakan rahang BAWAH (larger jaws) — jepit benda di antara rahang bawah
Mengukur dimensi dalam (ID)	Gunakan rahang ATAS (smaller jaws) — masukkan rahang atas ke dalam lubang
Mengukur kedalaman (depth)	Gunakan BATANG KEDALAMAN yang menonjol dari ujung badan caliper
Mengukur step/tingkat	Gunakan kombinasi rahang bawah dengan referensi bahu caliper

Cara Membaca Jangka Sorong Vernier 0,02 mm

23. Baca skala UTAMA (main scale): nilai yang ditunjuk oleh garis 0 (nol) nonius, ambil angka mm-nya.
24. Baca skala NONIUS (vernier scale): cari garis nonius yang paling berimpit/sejajar dengan garis skala utama.
25. Kalikan nomor garis nonius tersebut dengan nilai ketelitian (0,02 mm): nilai nonius = nomor garis $\times$ 0,02 mm.
26. TOTAL = nilai skala utama + nilai nonius.

Contoh Membaca Jangka Sorong

Skala utama menunjuk angka 25 mm (garis 0 nonius berada setelah angka 25). Garis nonius ke-7 berimpit dengan garis skala utama. Nilai nonius = $7 \times 0,02 = 0,14$ mm Pembacaan total = $25 + 0,14 = 25,14$ mm

B. Mikrometer (Micrometer Screw Gauge)

Mikrometer memberikan ketelitian yang lebih tinggi dari jangka sorong (0,01 mm standar, 0,001 mm untuk mikrometer digital), digunakan untuk pengukuran presisi tinggi pada komponen kritis seperti diameter poros, tebal piston ring, dan clearance bearing.

Jenis Mikrometer	Fungsi	Ketelitian
Outside Micrometer	Mengukur dimensi luar (diameter poros, tebal material)	0,01 mm atau 0,001 mm
Inside Micrometer	Mengukur diameter dalam (bore/lubang)	0,01 mm
Depth Micrometer	Mengukur kedalaman alur, step, lubang buta	0,01 mm
Screw Thread Micrometer	Mengukur diameter pitch ulir secara langsung	0,01 mm

Cara Membaca Mikrometer (0,01 mm)

27. Baca SLEEVE (skala tetap): Catat nilai mm pada garis horizontal (atas dan bawah sleeve), setiap divisi = 0,5 mm.
28. Baca THIMBLE (skala berputar): Catat angka pada thimble yang sejajar dengan garis horizontal sleeve, setiap divisi = 0,01 mm.
29. TOTAL = nilai sleeve + nilai thimble.

Contoh Membaca Mikrometer

Sleeve menunjukkan: Garis utama 12 mm terlihat, satu garis tambahan 0,5 mm terlihat → sleeve = 12,5 mm. Thimble: garis ke-37 sejajar dengan garis referensi → thimble = 0,37 mm. Pembacaan total = $12,5 + 0,37 = 12,87$ mm

C. Dial Gauge (Dial Indicator)

Dial gauge mengukur penyimpangan (defleksi) posisi permukaan relatif terhadap titik referensi. Sangat berguna untuk mengukur kelurusan, kebulatan, kerataan, dan runout (simpangan) komponen permesinan.

- Runout pengukuran poros (shaft runout): Putar poros perlahan sambil membaca dial gauge — beda antara pembacaan maksimum dan minimum = total runout.
- Pemeriksaan kerataan permukaan: Geser dial gauge di atas permukaan sambil mencatat perubahan.
- Pengukuran defleksi (bengkok) poros/crankshaft: Dengan crankshaft di atas V-block, ukur defleksi pada berbagai posisi.

3.2 Alat Ukur Geometri

Alat Ukur	Fungsi	Aplikasi di Perawatan Kapal
Straight Edge (Penggaris Lurus)	Memeriksa kerataan permukaan	Memeriksa kerataan permukaan cylinder head, permukaan flange
Feeler Gauge (Pengukur Celah)	Mengukur celah/clearance sempit antara dua permukaan	Mengukur valve clearance, clearance piston ring, clearance bearing luncur
Telescoping Gauge	Mengukur diameter dalam yang tidak dapat dijangkau mikrometer dalam	Mengukur diameter dalam cylinder liner dengan teliti
Bore Gauge (Small Hole Gauge)	Mengukur diameter dalam dengan teliti, dikombinasi mikrometer	Mengukur bore cylinder liner dalam kondisi terpasang
Plastigage	Material plastik lunak untuk mengukur oil clearance bearing	Tempatkan di antara bearing dan journal, jepit, ukur lebarnya dengan skala yang disertakan
V-Block & Dial Gauge	Memeriksa kebulatan dan runout poros	Letakkan poros di V-block, jalankan dial gauge untuk mengukur runout

3.3 Alat Ukur Khusus Permesinan Kapal

Alat Ukur Khusus	Fungsi	Prinsip Kerja
Wear Ridge Gauge	Mengukur ketinggian wear ridge (tonjolan aus) pada tepi atas cylinder liner	Pengukuran mekanis langsung dengan reference frame
Compression Gauge	Mengukur tekanan kompresi silinder mesin	Dihubungkan ke lubang injector, mesin diputar — baca tekanan puncak
Injector Tester	Menguji tekanan pembukaan (opening pressure) dan pola semprotan injector	Tekanan diterapkan manual — baca tekanan pembukaan katup nozzle
Vibration Analyzer	Mengukur amplitudo dan frekuensi getaran mesin/pompa/bearing	Sensor accelerometer pada bearing housing — analisis FFT spectrum
Thickness Gauge (Ultrasonic)	Mengukur ketebalan pelat lambung dari satu sisi (tanpa membuka struktur)	Gelombang ultrasonik — mengukur waktu tempuh bolak-balik
Tachometer	Mengukur kecepatan putaran (RPM) mesin/poros	Kontak atau non-kontak (optical/laser)

3.4 Kalibrasi dan Perawatan Alat Ukur

- Kalibrasi rutin: Kalibrasi alat ukur secara berkala terhadap standar referensi yang traceable ke standar nasional/internasional. Catat hasil kalibrasi dan tanggal kalibrasi berikutnya.
- Penyetelan nol (zeroing): Sebelum setiap penggunaan, set alat ukur ke posisi nol yang benar (zero/null setting).
- Penyimpanan: Simpan alat ukur di dalam tempat yang terlindung — terlindung dari debu, kelembaban, dan benturan. Mikrometer disimpan tanpa tekanan (sedikit celah antar rahang).
- Bersihkan setelah penggunaan: Lap alat ukur setelah digunakan, beri lapisan tipis anti-karat pada permukaan logam.
- Jangan dijatuhkan: Alat ukur presisi sangat sensitif terhadap benturan — benturan dapat mengubah kalibrasi tanpa tampak rusak secara fisik.

SOAL LATIHAN BAB III

A. Pilihan Ganda

30. Jangka sorong vernier 0,05 mm menunjukkan skala utama 42 mm, garis nonius ke-3 berimpit. Pembacaan totalnya adalah... a. 42,03 mm b. 42,15 mm c. 42,30 mm d. 42,50 mm
31. Alat yang paling tepat untuk mengukur oil clearance antara journal bearing dan crankshaft adalah... a. Feeler gauge b. Dial gauge c. Plastigage d. Telescoping gauge
32. Valve clearance mesin diesel diukur menggunakan... a. Mikrometer b. Feeler gauge c. Dial gauge d. Bore gauge

B. Soal Uraian

33. Jelaskan langkah-langkah membaca jangka sorong vernier 0,02 mm dan berikan contoh perhitungannya!
34. Jelaskan langkah-langkah membaca mikrometer 0,01 mm dan berikan contoh perhitungannya!
35. Jelaskan bagaimana Plastigage digunakan untuk mengukur oil clearance bearing, dan apa yang dimaksud dengan clearance tersebut?
36. Mengapa kalibrasi alat ukur penting dalam perawatan permesinan kapal? Jelaskan prosedur kalibrasi dan penyimpanan mikrometer!

BAB IV — PROSEDUR TROUBLESHOOTING SISTEMATIS

Troubleshooting adalah proses sistematis untuk mengidentifikasi, mendiagnosis, dan memecahkan masalah pada suatu sistem atau peralatan. Troubleshooting yang efektif memerlukan pengetahuan teknis tentang sistem, kemampuan analitis, dan pendekatan metodis yang terstruktur — bukan tebak-tebakan (trial and error).

4.1 Prinsip Dasar Troubleshooting

Prinsip fundamental troubleshooting: CARI AKAR PENYEBAB (ROOT CAUSE), bukan hanya mengatasi gejala (symptom). Mengganti komponen yang rusak tanpa memahami mengapa komponen itu rusak akan mengakibatkan kerusakan berulang.

Perbedaan Gejala (Symptom) vs Akar Penyebab (Root Cause)

GEJALA: Tekanan oli mesin rendah (alarm berbunyi) POTENSI ROOT CAUSE: • Level oli di sump tank terlalu rendah → oli bocor atau terpakai berlebihan • Pompa oli aus sehingga kapasitas pompa menurun • Relief valve terbuka prematur sehingga oli bypass sebelum sampai ke bearing • Bearing clearance terlalu besar sehingga oli mengalir lewat dengan mudah • Sensor/transmitter tekanan rusak (false alarm) Solusi yang benar tergantung pada root cause yang ditemukan — menambah oli saja (memperbaiki gejala) tanpa mencari mengapa oli habis atau tekanan turun, akan menyebabkan masalah berulang.

4.2 Metode Troubleshooting Sistematis

A. Metode 5W+1H

Pertanyaan	Yang Harus Diidentifikasi
WHAT (Apa)	Apa gejala/masalah yang terjadi? Deskripsikan secara spesifik dan terukur
WHEN (Kapan)	Kapan masalah pertama kali muncul? Apakah terjadi tiba-tiba atau berkembang perlahan?
WHERE (Di mana)	Di komponen mana masalah terjadi? Apakah terbatas pada satu area atau menyebar?
WHO (Siapa)	Siapa yang pertama melaporkan/menemukan? Siapa yang terakhir melakukan perawatan?
WHY (Mengapa)	Mengapa kondisi ini bisa terjadi? Apa yang berubah sebelum masalah muncul?

Pertanyaan	Yang Harus Diidentifikasi
HOW (Bagaimana)	Bagaimana masalah ini muncul? Apakah ada kondisi tertentu yang memperparah?

B. Metode Eliminasi (Elimination Method)

Membuat daftar semua kemungkinan penyebab, kemudian mengeliminasi satu per satu berdasarkan bukti dan pemeriksaan, hingga tersisa akar penyebab yang paling mungkin:

37. Buat daftar semua kemungkinan penyebab berdasarkan pengetahuan teknis sistem.
38. Periksa setiap kemungkinan dari yang paling mudah dan paling mungkin.
39. Eliminasi kemungkinan yang tidak sesuai bukti.
40. Fokuslah pada kemungkinan yang tersisa.

C. Metode Split Half (Halvering Method)

Untuk sistem dengan banyak komponen dalam satu rantai/jalur, periksa titik tengah terlebih dahulu — ini membagi kemungkinan masalah menjadi dua grup sekaligus dan lebih efisien.

D. Fishbone Diagram (Cause-and-Effect / Ishikawa Diagram)

Fishbone diagram membantu mengorganisir dan memvisualisasikan semua kemungkinan penyebab suatu masalah dalam kategori-kategori (biasanya: Man/Manusia, Machine/Mesin, Method/Metode, Material, Environment/Lingkungan, Measurement/Pengukuran — 6M). Sangat berguna untuk masalah kompleks yang melibatkan banyak faktor.

4.3 Troubleshooting Mesin Utama

Gejala/Masalah	Kemungkinan Penyebab	Pemeriksaan/Tindakan
Tekanan oli pelumas rendah	Level oli rendah; pompa oli aus; relief valve terbuka; clearance bearing besar; filter tersumbat; sensor rusak	Cek level, tekanan sebelum/sesudah filter, buka relief valve check, periksa sensor
Suhu air pendingin tinggi (overheat)	Sea water pump flow rendah; thermostat rusak/macet; cooler kotor/tersumbat; kebocoran sistem; level expansion tank rendah	Cek aliran sea water, kondisi thermostat, bersihkan cooler, periksa level dan kebocoran
Suhu gas buang per silinder terlalu tinggi (dibanding silinder lain)	Injector rusak/kotor; piston ring bocor; valve intake bocor atau tarlambat buka; timing injeksi salah	Ganti injector, ukur kompresi, periksa valve clearance, cek timing

Gejala/Masalah	Kemungkinan Penyebab	Pemeriksaan/Tindakan
Asap hitam pekat dari exhaust	Injeksi berlebihan; atomisasi buruk (injector kotor); bahan bakar viskositas tidak sesuai; udara masuk kurang (filter tersumbat)	Cek injector, filter udara, air cooler turbocharger, viskositas bahan bakar
Asap putih/biru dari exhaust	Oli terbakar (ring/liner aus, valve stem seal bocor); air masuk ruang bakar (liner crack, head gasket bocor)	Cek konsumsi oli, kompresi, periksa air di oil/oil di water
Mesin tidak bisa start	Tekanan udara start rendah; valve start macet; dekompresi terbuka; mesin overload/seize; bahan bakar tidak ada	Cek tekanan udara start, kondisi start valve, dekompresi, bahan bakar
RPM mesin hunting (tidak stabil)	Governor rusak atau hunting; bahan bakar tidak teratur (vapour lock, udara dalam sistem); turbocharger tidak stabil	Cek dan tuning governor, purge udara dari sistem bahan bakar, periksa turbocharger
Knocking/ketukan tidak normal	Bearing rod/main bearing aus; detonation; pre-ignition; timing injeksi salah; piston pin aus	Kurangi RPM, cek tekanan oli, periksa individual silinder dengan cutout test

4.4 Troubleshooting Permesinan Bantu

Permesinan Bantu	Gejala	Kemungkinan Penyebab	Tindakan Awal
Pompa Sentrifugal	Tidak ada aliran / aliran berkurang	Kavitasi; impeller aus; valve tertutup; seal bocor; motor terbalik	Cek NPSH, arah putaran, kondisi impeller, valve, shaft seal
Pompa Sentrifugal	Tekanan terlalu rendah	Impeller aus; clearance impeller-casing besar; speed rendah	Ukur clearance, cek RPM, ukur wear impeller
Kompresor Udara	Tekanan udara tidak tercapai	Piston ring/liner aus; valve bocor; intercooler bocor; unloader tidak tutup	Cek kompresi, kondisi valve, intercooler, unloader
Separator/Purifier	Pemisahan tidak sempurna (air/sludge dalam produk)	Gravity disc tidak sesuai; suhu terlalu rendah; flow terlalu tinggi; bowl tersumbat	Ganti gravity disc yang sesuai, naikan suhu, kurangi flow, bersihkan bowl
Generator	Tegangan tidak stabil / turun	AVR rusak; beban berlebih; eksitasi rendah; koneksi longgar	Cek AVR, ukur beban, cek eksitasi, kencangkan koneksi
Boiler Bantu	Tekanan tidak tercapai / turun	Burner masalah; safety valve bocor/membuka prematur; kebocoran steam; blowdown berlebihan	Cek burner, kondisi safety valve, periksa kebocoran steam

SOAL LATIHAN BAB IV

A. Pilihan Ganda

41. Dalam troubleshooting, yang dimaksud 'root cause' adalah... a. Gejala yang terlihat pertama kali b. Alarm yang berbunyi c. Akar penyebab mendasar dari masalah d. Komponen pertama yang diganti
42. Mesin utama mengeluarkan asap biru tebal dari exhaust — kemungkinan penyebabnya adalah... a. Bahan bakar berlebihan b. Udara masuk kurang c. Oli terbakar (piston ring/liner aus) d. Timing injeksi terlalu cepat

B. Soal Uraian

43. Jelaskan mengapa mencari 'root cause' (akar penyebab) lebih penting daripada hanya memperbaiki gejala (symptom) dalam troubleshooting!
44. Jelaskan metode troubleshooting 5W+1H dan bagaimana pendekatan ini membantu menemukan akar penyebab masalah!
45. Tekanan oli mesin utama turun secara tiba-tiba dari 4 bar menjadi 1,5 bar saat berlayar. Jelaskan: (a) tindakan segera yang harus dilakukan, (b) kemungkinan penyebab yang harus diperiksa, (c) urutan pemeriksaan yang efisien!
46. Pompa bilge tidak bisa memompa air meskipun motor berputar normal. Dengan menggunakan metode eliminasi, jelaskan urutan pemeriksaan yang harus dilakukan!

BAB V — PERBAIKAN DARURAT DAN SEMENTARA

Perbaikan darurat (emergency repair) dan perbaikan sementara (temporary repair) adalah tindakan yang dilakukan untuk memulihkan fungsi minimum suatu sistem atau peralatan yang kritis dalam waktu singkat, menggunakan sumber daya yang tersedia di atas kapal, tanpa harus menunggu perbaikan permanen yang ideal. Tujuannya adalah mempertahankan keselamatan kapal hingga perbaikan permanen dapat dilakukan.

Prinsip Penting Perbaikan Darurat

Perbaikan darurat/sementara adalah SOLUSI SEMENTARA yang HARUS DIGANTI dengan perbaikan permanen sesegera mungkin. JANGAN membiarkan perbaikan sementara menjadi 'solusi permanen'. Semua perbaikan darurat HARUS dicatat dalam log book dengan detail: kapan dilakukan, apa yang dilakukan, alasan darurat, dan kapan harus diganti dengan perbaikan permanen.

5.1 Prinsip Perbaikan Darurat

Kondisi yang Memerlukan Perbaikan Darurat

- Kegagalan yang mengancam keselamatan kapal: kebocoran lambung, kehilangan propulsi, hilang kemudi.
- Kegagalan yang mengancam keselamatan awak kapal: kebakaran, kebocoran gas beracun, kegagalan sistem pemadam.
- Kegagalan yang akan menyebabkan kerusakan lebih lanjut jika tidak segera ditangani: kebocoran oli pada mesin yang berjalan, kebocoran sistem bahan bakar di dekat sumber panas.
- Kegagalan peralatan kritis yang tidak ada penggantinya langsung: generator tunggal yang mati, pompa ballast saat kondisi trim kritis.

Urutan Prioritas dalam Keadaan Darurat

47. Keselamatan personel — pastikan semua orang aman.
48. Cegah kerusakan lebih lanjut — isolasi sumber masalah jika memungkinkan.
49. Pulihkan fungsi minimum untuk mempertahankan keselamatan kapal.
50. Beritahu Nakhoda/KKM dan catat semua kejadian.
51. Rencanakan dan laksanakan perbaikan sementara atau permanen.

5.2 Perbaikan Darurat Kebocoran Pipa dan Hull

A. Kebocoran Pipa (Pipe Leaks)

Metode Perbaikan Sementara	Aplikasi	Keterbatasan
Clamp & Patch (klem pipa)	Kebocoran pada badan pipa lurus; pasang karet pad di atas kebocoran, kencangkan klem	Tidak cocok untuk kebocoran di sambungan flange atau fitting
Repair Compound / Epoxy Putty	Kebocoran kecil/retak pada pipa; campurkan epoxy putty, tutupi area bocor, biarkan mengeras	Perlu permukaan kering; tidak tahan tekanan tinggi
Self-fusing Silicone Tape	Kebocoran kecil pada pipa air bertekanan rendah	Hanya untuk tekanan sangat rendah; sementara saja
Pipe Repair Clamp (manufactured)	Klem pipa yang tersedia sebagai suku cadang darurat di kapal	Perlu klem berukuran sesuai tersedia di gudang
Bypass Valve Arrangement	Jika valve bocor — pasang bypass line sementara	Memerlukan space dan fitting yang kompatibel

B. Kebocoran Lambung/Hull (Hull Leaks)

Kebocoran lambung adalah kondisi darurat yang sangat serius. Tindakan segera:

52. ALARM dan beritahu Nakhoda — aktifkan rencana darurat (emergency plan).
53. Aktifkan pompa bilge/ballast — cegah air menggenangi kamar mesin.
54. Tutup SEMUA watertight door di sekitar area kebocoran.
55. Lokasikan sumber kebocoran seakurat mungkin.
56. Jika memungkinkan dan aman, pasang patch darurat dari dalam menggunakan: cement box (box yang diisi semen marine/hydraulic cement), wooden plug/wedge (pasak kayu), atau collision mat (matras karet dari luar).
57. Pantau ketinggian air dan stabilitas kapal terus-menerus.
58. Siapkan abandon ship jika situasi tidak terkendali.

5.3 Perbaikan Darurat Sistem Bahan Bakar dan Oli

Kondisi Darurat	Perbaikan Sementara	Peringatan K3
Pipa bahan bakar bocor di area dingin	Clamp + gasket karet; epoxy putty jika permukaan kering	BAHAYA KEBAKARAN — jauhkan dari sumber panas, matikan ignition source
Injector bocor (fuel leaking past injector)	Tightening union nut; ganti copper washer/olive; ganti injector jika tersedia	Jangan bekerja di dekat bagian mesin panas; gunakan protective gloves
Pipa oli pelumas bocor	Clamp darurat; pastikan level oli terjaga	Cegah oli menetes ke permukaan panas — bahaya kebakaran dan slip
Shaft seal bocor berlebihan (stuffing box)	Kencangkan gland packing sedikit demi sedikit	Terlalu ketat dapat menyebabkan overheat poros — perlu tetap sedikit menetes

Kondisi Darurat	Perbaikan Sementara	Peringatan K3
Kebocoran bahan bakar dari tangki settling ke double bottom	Tutup valve pengisian dan transfer; aktifkan spill containment	SEGERA — cegah tumpahan ke laut (MARPOL violation)

5.4 Perbaikan Darurat Sistem Kelistrikan

Blackout (Kehilangan Daya Total)

Prosedur pemulihan blackout (black start procedure):

59. Cek apakah emergency generator start otomatis — jika tidak, start manual.
60. Emergency generator menyuplai beban esensial: navigasi, komunikasi, pompa bilge darurat, penerangan darurat.
61. Identifikasi penyebab blackout: trip generator utama, overload, gangguan pada supply bahan bakar.
62. Atasi penyebab blackout — reset trip, koreksi overload, perbaiki supply bahan bakar.
63. Start dan sinkronisasi generator utama.
64. Transfer beban secara bertahap dari emergency generator ke generator utama.
65. Catat seluruh kejadian dalam log book dengan waktu yang akurat.

Tips Penting: Beban Prioritas Saat Pemulihan Blackout

Saat memulihkan daya setelah blackout, hidupkan beban secara BERTAHAP untuk menghindari overload berulang: Prioritas 1: Sistem navigasi dan komunikasi (radar, GPS, VHF) Prioritas 2: Penerangan esensial dan sistem alarm Prioritas 3: Pompa pendingin mesin utama dan bantu (sebelum start mesin) Prioritas 4: Pompa lainnya, kompressor, heater Prioritas 5: Beban non-esensial (HVAC tidak kritis, dll.) JANGAN start semua beban sekaligus — ini akan menyebabkan blackout berulang!

SOAL LATIHAN BAB V

A. Pilihan Ganda

66. Urutan prioritas pertama dalam kondisi darurat di kapal adalah... a. Pulihkan mesin
b. Selamatkan muatan c. Keselamatan personel d. Beritahu perusahaan
67. Perbaikan sementara kebocoran pipa menggunakan klem (pipe repair clamp) termasuk dalam kategori... a. Perbaikan permanen b. Perbaikan darurat sementara yang harus diganti dengan perbaikan permanen c. Perawatan preventif d. Perawatan prediktif

B. Soal Uraian

68. Jelaskan 5 langkah prosedur pemulihan blackout (black start procedure) di atas kapal!
69. Jelaskan metode-metode perbaikan darurat sementara untuk kebocoran pipa beserta keterbatasan masing-masing!
70. Saat berlayar di malam hari, ditemukan kebocoran bahan bakar dari union nut injector mesin utama. Jelaskan tindakan yang harus dilakukan secara berurutan!
71. Jelaskan tindakan darurat yang harus dilakukan saat terdeteksi kebocoran lambung kapal!

BAB VI — PERAWATAN DAN PERBAIKAN MESIN UTAMA

6.1 Prosedur Pembongkaran dan Perakitan

Prinsip Umum Pembongkaran (Dismantling)

72. PERSIAPAN: Baca manual pabrikan sebelum memulai. Siapkan alat yang tepat, suku cadang pengganti, dan tempat kerja yang bersih. Pasang LOTO.
73. DOKUMENTASI: Foto kondisi sebelum dibongkar, terutama posisi komponen yang dapat terpasang dengan orientasi berbeda. Buat catatan atau label untuk setiap komponen yang dibongkar.
74. BERSIHKAN sebelum membongkar lebih jauh untuk mencegah kontaminasi komponen dalam yang peka.
75. PROSEDUR BERLAWANAN: Pada umumnya, urutan pembongkaran adalah kebalikan dari urutan perakitan. Ikuti prosedur dalam manual.
76. TANDAI POSISI: Tandai posisi relatif komponen yang berpasangan (misalnya: marking pada bearing cap dan journal sebelum melepas).
77. SIMPAN DENGAN BENAR: Simpan komponen yang dibongkar dalam wadah bersih, hindari pencampuran komponen yang serupa (misal: shim dari lokasi berbeda).

Prinsip Umum Perakitan (Assembly)

78. BERSIHKAN SEMUA KOMPONEN: Cuci bersih semua komponen sebelum dirakit, gunakan cleaning solvent yang sesuai.
79. PERIKSA KOMPONEN: Periksa kondisi setiap komponen sebelum dirakit — ganti yang melampaui toleransi atau menunjukkan tanda kerusakan.
80. GANTI SEMUA GASKET DAN SEAL: Selalu ganti gasket, O-ring, dan seal dengan yang baru — jangan menggunakan kembali item sekali pakai.
81. PELUMASAN: Berikan pelumas yang sesuai pada semua permukaan geser dan ulir sebelum perakitan, kecuali ditentukan lain.
82. TORQUE YANG BENAR: Kencangkan baut dengan torque yang sesuai spesifikasi menggunakan kunci torsi (torque wrench). Overdrive baut dapat merusak ulir atau menyebabkan deformasi komponen.
83. VERIFIKASI: Setelah perakitan, verifikasi backlash, clearance, dan alignment sesuai spesifikasi.

6.2 Perawatan Cylinder Liner dan Piston

Pemeriksaan dan Pengukuran Cylinder Liner

Cylinder liner mengalami keausan akibat gesekan dengan piston ring. Keausan tidak merata — bagian atas liner (dekat TMA) umumnya mengalami keausan paling besar.

Parameter Pengukuran	Alat	Prosedur	Nilai Batas (Tipikal)
Diameter dalam liner (bore)	Telescoping gauge + mikrometer atau bore gauge	Ukur di beberapa posisi aksial (TMA, mid, TMB) dan dua arah tegak lurus	Maksimum wear: 0,5-0,8% dari diameter nominal
Ovality (kebulatan)	Bore gauge	Ukur diameter pada arah port-starboard dan fore-aft pada posisi yang sama	Maksimum ovality: 0,05% dari diameter nominal
Wear ridge (tonjolan aus)	Wear ridge gauge atau caliper	Ukur tinggi tonjolan pada tepi atas liner	Maksimum: 0,3-0,5 mm (tergantung pabrikan)
Kekasaran permukaan	Profilometer	Periksa kondisi cross-hatch pattern — harus masih terlihat jelas	Ra 0,5-1,6 μ m (cross-hatch pattern harus ada untuk oil retention)

Perawatan Piston dan Piston Ring

- Pemeriksaan visual piston: periksa mahkota piston terhadap deposit karbon (jika tebal, menunjukkan pembakaran tidak sempurna), keretakan, atau erosi.
- Ukur diameter piston pada posisi yang ditentukan manual — bandingkan dengan diameter liner untuk menghitung piston-liner clearance.
- Periksa piston ring: ukur end gap ring (celah ujung ring saat dalam liner), side clearance ring dalam alur (groove), dan ketebalan ring.
- Bersihkan alur piston ring dari deposit karbon menggunakan ring groove cleaner — deposit yang berlebihan mencegah ring bergerak bebas dan mengurangi efektivitas penyegelan.

Piston Ring Measurement	Prosedur	Batas Servis Tipikal
End Gap (celah ujung ring)	Masukkan ring ke dalam liner yang bersih pada posisi TMB (paling sedikit aus); ukur celah dengan feeler gauge	Maks end gap = Wear limit $\times$ 1,5 dari nilai baru; misal jika baru 0,3mm, limit 0,8mm
Side Clearance (celah samping)	Ukur celah antara ring dan alur piston dengan feeler gauge	Maks: sekitar 0,15-0,20 mm tergantung pabrikan
Ketebalan (radial thickness)	Ukur dengan mikrometer	Ganti ring yang telah aus melampaui batas minimum ketebalan

6.3 Perawatan Crankshaft dan Bearing

Pengukuran Defleksi Crankshaft

Defleksi crankshaft (crankshaft deflection) adalah perbedaan diameter crankshaft throw yang diukur dengan dial gauge pada posisi crankshaft yang berbeda (TMA, port, TMB, starboard, TMA kembali). Pengukuran ini mendeteksi apakah crankshaft bengkok atau apakah bearing alignment tidak tepat.

Defleksi = Pembacaan Posisi Berlawanan – Pembacaan Posisi Referensi

Setiap nilai defleksi dibandingkan dengan batas yang ditetapkan pabrikan
Nilai melebihi batas → investigasi alignment bearing dan kondisi crankshaft

Pengukuran dan Pemeriksaan Main Bearing dan Connecting Rod Bearing

- Ukur journal diameter dengan mikrometer — bandingkan dengan diameter bantalan untuk menghitung oil clearance.
- Periksa kondisi permukaan journal: scratch (goresan), scoring (goresan dalam), atau pitting mengindikasikan problem pelumasan atau kontaminan.
- Periksa kondisi bearing shell: wear (keausan lapisan babbitt), fatigue/fretting, atau wiping (leleh lokal akibat kontak metal-to-metal).
- Ukur oil clearance dengan Plastigage atau dial gauge — bandingkan dengan spesifikasi (tipikal 0,05-0,15% dari diameter journal).

6.4 Perawatan Turbocharger

Turbocharger memanfaatkan energi gas buang untuk mengompresi udara masuk mesin. Komponen berputar pada kecepatan sangat tinggi (20.000-100.000+ rpm) dan terpapar suhu ekstrem — memerlukan perawatan yang sangat hati-hati.

Kegiatan Perawatan Turbocharger	Prosedur	Interval
Water washing (wet washing) compressor	Suntikkan air demineralisasi saat mesin berjalan — membersihkan deposit dari sisi udara (compressor)	Sesuai jadwal PMS — biasanya bulanan atau saat tekanan turbocharger menurun
Dry cleaning compressor	Injeksi material abrasif (nutshell grit) — lebih efektif untuk deposit keras	Berkala atau saat wash air tidak cukup efektif
Inspeksi Turbocharger	Periksa blades compressor dan turbin melalui port inspeksi; cek kondisi bearing housing; periksa aliran oli pelumas turbocharger	Setiap 2.000-4.000 jam atau sesuai PMS
Overhaul Turbocharger	Bongkar total, bersihkan semua komponen, ukur clearance bearing, ganti komponen aus	Sesuai manual pabrikan — umumnya 12.000-24.000 jam

⚠ K3 Perawatan Turbocharger

JANGAN pernah menyentuh turbocharger yang masih panas — suhu casing dapat mencapai 400-600°C dan menyebabkan luka bakar serius. Tunggu minimal 2-3 jam setelah mesin berhenti sebelum melakukan inspeksi atau perawatan. Gunakan sarung tangan tahan panas dan face shield saat bekerja di sekitar turbocharger panas.

SOAL LATIHAN BAB VI

A. Pilihan Ganda

84. Saat mengukur end gap piston ring, ring dimasukkan ke dalam silinder liner pada posisi... a. TMA (atas) — daerah keausan maksimum b. TMB (bawah) — daerah keausan minimum c. Tepat di tengah liner d. Di luar liner
85. Pengukuran defleksi crankshaft bertujuan untuk mendeteksi... a. Keausan cylinder liner b. Kondisi piston ring c. Kebengkokan crankshaft atau misalignment bearing d. Tekanan kompresi silinder

B. Soal Uraian

86. Jelaskan 6 prinsip umum pembongkaran (dismantling) komponen mesin yang benar!
87. Jelaskan parameter apa saja yang harus diukur pada cylinder liner dan piston ring dalam pemeriksaan overhaul, serta alat ukur yang digunakan!
88. Jelaskan cara mengukur oil clearance connecting rod bearing menggunakan Plastigage!
89. Jelaskan kegiatan perawatan turbocharger dan mengapa ketelitian K3 sangat penting dalam perawatan komponen ini!

BAB VII — PERAWATAN DAN PERBAIKAN PERMESINAN BANTU

7.1 Perawatan Pompa dan Kompresor

A. Perawatan Pompa Sentrifugal

Kegiatan	Interval	Prosedur Singkat
Inspeksi visual dan parameter operasi	Harian	Cek tekanan, aliran, kebocoran shaft seal, suhu bearing, getaran/suara abnormal
Pelumasan bearing	Bulanan / sesuai PMS	Tambahkan grease yang sesuai melalui fitting bearing; jangan berlebihan
Bersihkan strainer pompa	Bulanan atau sesuai kondisi	Tutup valve suction, buka strainer, bersihkan dari kotoran, pasang kembali
Pemeriksaan shaft seal	3-6 bulanan	Periksa kebocoran shaft seal; mechanical seal: ganti jika bocor; gland packing: sesuaikan strep
Overhaul pompa	Sesuai PMS / 2-3 tahun	Bongkar, ukur clearance impeller-casing, ukur keausan impeller, ganti bearing dan seal, bersihkan semua komponen

Pengukuran Wear Impeller dan Casing Clearance

Clearance antara impeller (terutama bagian wear ring) dan casing menentukan efisiensi pompa. Clearance yang terlalu besar menyebabkan recirculation internal dan penurunan head/kapasitas pompa.

- Ukur diameter luar wear ring impeller dengan mikrometer atau outside caliper.
- Ukur diameter dalam wear ring casing dengan inside caliper atau telescoping gauge.
- $\text{Clearance} = (\text{Diameter casing} - \text{Diameter impeller}) / 2$
- Batas maksimum clearance biasanya 3-4 kali clearance baru. Jika terlampaui → ganti wear ring.

B. Perawatan Kompresor Udara

Kegiatan	Interval	Detail
Drain kondensat dari air receiver	Harian	Buka drain valve di bawah air receiver, buang air dan oli yang terkumpul (cegah korosi internal dan risiko ledakan)
Bersihkan filter udara suction	Bulanan	Lepas filter, bersihkan dengan udara bertekanan atau cuci sesuai jenis; filter kotor mengurangi kapasitas
Periksa dan ganti packing valve (suction & discharge valve kompresor)	1.000-2.000 jam	Valve bocor mengurangi kapasitas signifikan; gejala: tekanan naik lambat, suhu buang tinggi

Kegiatan	Interval	Detail
Ganti oli pelumas kompresor	Per running hours sesuai PMS	Gunakan oli khusus kompresor — oli biasa dapat menghasilkan deposit karbon berbahaya di head dan valve
Overhaul kompresor	5.000-10.000 jam	Ukur bore silinder dan piston, ganti ring, valve, dan packing; bersihkan intercooler dan aftercooler

7.2 Perawatan Separator dan Purifier

Kegiatan	Interval	Detail Prosedur
Operasi purifier kontinu	Kontinu saat mesin beroperasi	Monitor flow rate, suhu, dan water discharge; pastikan purifier beroperasi dalam kondisi optimal
Manual cleaning bowl	1.000 jam atau sesuai PMS	Matikan purifier, biarkan dingin, bongkar bowl, bersihkan disc stack dari deposit sludge yang mengeras dengan sikat dan solvent yang sesuai
Periksa dan ganti seals bowl	Per manual cleaning	Selalu ganti O-ring dan packing bowl dengan yang baru setiap kali bowl dibongkar
Periksa dan ganti disc stack	Sesuai kondisi / 5 tahun	Jika disc mengalami distorsi, korosi, atau spacing tidak benar, ganti seluruh disc stack
Overhaul besar (gearbox, bearing)	5-10 tahun atau sesuai kondisi	Periksa kondisi gear, shaft, dan bearing; ukur clearance; ganti sesuai kondisi

7.3 Perawatan Ketel Uap Bantu

Pentingnya Kualitas Air Boiler

Kualitas air dalam ketel uap (boiler water treatment) adalah faktor yang sangat menentukan umur dan keandalan boiler. Air yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan: scaling (kerak mineral yang mengurangi transfer panas dan menyebabkan lokal overheating), korosi internal (pitting pada tube dan shell), dan carryover (air terbawa uap yang merusak turbin atau sistem uap).

Parameter Air Boiler	Nilai Target Tipikal	Frekuensi Pengujian
pH	10,5 - 11,5	Harian
Chloride (Cl ⁻)	< 200 ppm	Harian
Total Hardness	< 5 ppm	Harian
Total Dissolved Solids (TDS)	< 3500 ppm	Harian

Parameter Air Boiler	Nilai Target Tipikal	Frekuensi Pengujian
Phosphate (PO_4^{3-})	20-40 ppm	Harian
Dissolved Oxygen (O_2)	< 0,01 ppm	Harian atau sesuai PMS
Sulfite (SO_3^{2-}) — oksigen scavenger	20-50 ppm (untuk sistem non-catalytic)	Harian

- Blowdown berkala: Pembuangan sebagian air boiler melalui blowdown valve untuk mengeluarkan kotoran dan menjaga TDS dalam batas. Surface blowdown: mengeluarkan zat yang mengapung di permukaan air. Bottom blowdown: mengeluarkan endapan dari dasar boiler.
- Penambahan chemical treatment: Tambahkan chemical perawatan air boiler (phosphate, oxygen scavenger, pH booster) sesuai dosis yang direkomendasikan berdasarkan hasil pengujian.

7.4 Perawatan Generator dan Panel Listrik

Kegiatan Perawatan Generator	Interval	Prosedur
Cek parameter operasi	Harian	Monitor tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, suhu belitan, suhu bearing
Bersihkan filter udara	Bulanan	Lepas dan bersihkan filter udara pendingin alternator dari debu
Periksa dan bersihkan carbon brush	500-1.000 jam	Periksa panjang brush, tekanan spring, kondisi permukaan slip ring; ganti jika brush < 1/3 panjang asli
Megger test insulasi belitan	3-6 bulanan	Ukur tahanan insulasi dengan Megger — harus $\geq 2 \text{ M}\Omega$ (nilai < $1 \text{ M}\Omega$ = berbahaya, jangan dioperasikan)
Cek koneksi panel	3-6 bulanan	Kencangkan semua koneksi terminal dengan torque yang sesuai; cek tanda panas atau busur api
Overhaul generator	Sesuai PMS / 4-5 tahun	Ganti bearing, bersihkan belitan dengan cleaning spray, cek dan setel AVR, uji proteksi

SOAL LATIHAN BAB VII

A. Pilihan Ganda

90. Tanda bahwa valve suction atau discharge kompresor udara bocor adalah... a. Tekanan udara naik sangat cepat b. Tekanan naik lambat dan suhu buang tinggi c. Kompresor berhenti sendiri d. Tekanan terlalu tinggi
91. Parameter kualitas air boiler yang menunjukkan kandungan mineral terlarut total adalah... a. pH b. Chloride c. TDS (Total Dissolved Solids) d. Phosphate

B. Soal Uraian

92. Jelaskan cara mengukur dan menentukan apakah wear ring pompa sentrifugal perlu diganti!
93. Jelaskan mengapa kualitas air boiler sangat penting dan apa akibat jika kualitas air tidak memenuhi standar!
94. Jelaskan prosedur manual cleaning bowl separator/purifier — kapan dilakukan dan bagaimana prosedurnya?
95. Jelaskan prosedur megger test insulasi generator dan apa tindakan yang harus dilakukan jika hasilnya di bawah batas minimum!

BAB VIII — MANAJEMEN SUKU CADANG DAN DOKUMENTASI

8.1 Manajemen Suku Cadang (Spare Parts Management)

Suku cadang (spare parts) yang tepat harus tersedia di atas kapal untuk memungkinkan perbaikan cepat tanpa harus menunggu pengiriman dari darat. Namun, membawa terlalu banyak suku cadang juga berarti biaya inventori tinggi, kebutuhan ruang penyimpanan besar, dan risiko kerusakan suku cadang yang tersimpan terlalu lama. Manajemen suku cadang yang efektif menyeimbangkan antara ketersediaan dan efisiensi biaya.

Kategori Suku Cadang

Kategori	Definisi	Contoh	Kebijakan Penyimpanan
Critical Spare Parts	Suku cadang yang jika tidak tersedia akan menyebabkan loss of propulsion atau penahanan kapal (PSC detention)	Fuel injector, relief valve, emergency pump impeller	WAJIB tersedia di atas kapal minimal 1 set sesuai regulasi klas
Maintenance Spare Parts	Suku cadang yang secara rutin digunakan dalam PMS	Gasket sets, O-ring, filter elements, bearing	Stok berdasarkan interval pemakaian dan waktu pengiriman (lead time)
Consumables	Material habis pakai yang digunakan dalam perawatan	Oli, grease, cleaning solvent, sealant, wire, sandpaper	Stok volume berdasarkan konsumsi bulanan × buffer lead time
Regulatory Spare Parts	Suku cadang yang diwajibkan oleh regulasi klas atau flag state	Liferaft gas cylinder, rescue boat engine parts, EPIRB battery	Harus tersedia sesuai persyaratan dan dalam kondisi unexpired

Pengelolaan Gudang Suku Cadang (Stores Management)

- Identifikasi dan pelabelan: Setiap item suku cadang harus memiliki kode unik (part number) yang tertera di SUKU CADANG tersebut dan dalam sistem komputer/inventori.
- Penyimpanan yang tepat: Komponen sensitif (seal, gasket, bearing) harus disimpan dalam kemasan asli atau kedap udara, terlindung dari suhu ekstrem, kelembaban, cahaya UV, dan kontaminan.

- FIFO (First In, First Out): Suku cadang yang lebih dulu masuk harus lebih dulu digunakan — terutama penting untuk item dengan shelf life terbatas (seal karet, baterai, filter).
- Minimum stock level: Tetapkan tingkat minimum stok (re-order point) untuk setiap item — ketika stok mencapai level minimum, proses pemesanan ulang diinisiasi.
- Inventori periodik: Lakukan penghitungan fisik stok secara berkala dan bandingkan dengan catatan komputer.

8.2 Pencatatan dan Pelaporan Perawatan

Jenis-Jenis Dokumen Perawatan

Dokumen	Isi	Fungsi
Engine Log Book	Parameter operasi mesin yang dicatat setiap jam jaga: RPM, suhu, tekanan, dll.	Catatan harian kondisi permesinan; bukti hukum; referensi troubleshooting
Maintenance Record	Catatan pekerjaan perawatan yang telah dilaksanakan sesuai PMS	Riwayat perawatan komponen; persyaratan ISM Code; referensi perencanaan
Defect Report	Laporan kerusakan atau kondisi abnormal yang ditemukan	Eskalasi ke KKM/Superintendent; perencanaan perbaikan; tracking status
Non-Conformity Report (NCR)	Pelaporan ketidaksesuaian terhadap prosedur SMS atau regulasi	Persyaratan ISM Code; analisis tren; perbaikan sistem manajemen
Near-Miss Report	Pelaporan kejadian yang hampir menyebabkan kecelakaan	Pembelajaran dari hampir-kecelakaan untuk mencegah kecelakaan nyata
Oil Record Book (ORB)	Catatan penanganan minyak: transfer, purging, disposal sesuai MARPOL	Persyaratan MARPOL — dokumen hukum yang dapat disita PSC
Garbage Record Book	Catatan pengelolaan sampah sesuai MARPOL Annex V	Persyaratan MARPOL — dokumentasi lingkungan wajib
Hours of Rest Record	Catatan jam istirahat setiap anggota kapal	Persyaratan STCW Reg. VIII/1 dan MLC 2006

Prinsip Pencatatan yang Benar

- Akurat dan jujur: Catat kondisi aktual, bukan kondisi yang "diharapkan" atau yang seharusnya. Pemalsuan dokumen kapal adalah tindak pidana.
- Tepat waktu: Catat segera setelah kejadian/pengukuran — jangan menunda karena detail mudah terlupakan.
- Lengkap: Sertakan semua informasi yang relevan: tanggal/waktu, komponen, nilai pengukuran, tindakan yang diambil, material/suku cadang yang digunakan, nama pelaksana.
- Tidak dihapus: Koreksi kesalahan dengan satu garis (single strike-through) dan diparaf — jangan menggunakan tipp-ex atau penghapus.

8.3 Audit Perawatan dan ISM Code

ISM Code mewajibkan audit internal dan eksternal terhadap sistem manajemen keselamatan (SMS), termasuk sistem perawatan (PMS). Audit memeriksa apakah prosedur yang ditetapkan benar-benar dilaksanakan dan didokumentasikan.

Jenis Audit	Pelaksana	Frekuensi	Yang Diperiksa terkait Perawatan
Internal Audit	Auditor internal perusahaan (yang tidak terlibat langsung)	Minimal tahunan	Kelengkapan Job Card PMS, kalibrasi alat ukur, kesesuaian prosedur
External Audit (DOC)	Badan klas atau flag state (auditor berlisensi)	Setiap 5 tahun (audit penuh); tahunan (audit antara)	Verifikasi ISM Cert, Document of Compliance (DOC) perusahaan
Port State Control (PSC)	Otoritas pelabuhan negara yang dikunjungi	Tidak terjadwal (random), atau dipicu defisiensi	Inspeksi fisik kondisi kapal dan peralatan, dokumen, sertifikat, log book
Class Survey	Surveyor badan klasifikasi	Annual, intermediate, special (5 tahunan)	Kondisi fisik peralatan, hasil pengukuran, kelengkapan PMS

Tips Persiapan Menghadapi Audit dan PSC Inspection

Persiapan terbaik adalah MELAKSANAKAN PMS DENGAN BENAR setiap hari, bukan persiapan khusus menjelang audit:

1. Pastikan semua Job Card PMS yang jatuh tempo sudah dilaksanakan dan ditutup dengan benar
2. Log book harus lengkap, terbaca, dan tidak ada gap (halaman kosong tanpa alasan)
3. Sertifikat dan dokumen kapal harus valid (tidak expired) — buat reminder jauh sebelum jatuh tempo
4. Semua defect (kerusakan) harus terdokumentasi dengan Defect Report, termasuk status perbaikannya
5. Peralatan keselamatan harus dalam kondisi siap pakai dan dalam tanggal berlaku
6. Awak kapal harus familiar dengan prosedur darurat dan dapat mendemonstrasikannya

RANGKUMAN BAB VIII

Topik	Poin Kunci
Kategori Spare Parts	Critical (wajib di kapal), Maintenance (rutin PMS), Consumables, Regulatory
Stores Management	Identifikasi, FIFO, minimum stock level, inventori periodik
Dokumen Perawatan	Engine log book, maintenance record, defect report, NCR, near-miss report, ORB
Prinsip Pencatatan	Akurat, tepat waktu, lengkap, tidak dihapus (single strike-through untuk koreksi)
Jenis Audit	Internal, DOC/External (ISM), PSC (random), Class Survey (berkala)
Persiapan Audit	PMS dilaksanakan benar, log book lengkap, sertifikat valid, defect terdokumentasi

SOAL LATIHAN BAB VIII

A. Pilihan Ganda

96. Critical spare parts di kapal adalah... a. Suku cadang yang paling mahal b. Suku cadang yang jika tidak tersedia menyebabkan loss of propulsion atau PSC detention c. Suku cadang untuk estetika kapal d. Suku cadang yang tidak diperlukan rutin
97. Prinsip FIFO dalam manajemen suku cadang berarti... a. First In, First Out — yang lebih dulu masuk harus lebih dulu digunakan b. Fast Inventory Follow Order c. Fully Integrated Fleet Operation d. First Inspection, Final Overhaul
98. Pemalsuan dokumen kapal (misalnya oil record book) merupakan... a. Pelanggaran ringan yang dapat dinegosiasikan b. Tindak pidana internasional c. Hak kaptein untuk keperluan tertentu d. Diizinkan jika sudah disetujui KKM

B. Soal Uraian

99. Jelaskan 4 kategori suku cadang di atas kapal dan kebijakan penyimpanan yang tepat untuk masing-masing kategori!
100. Sebutkan minimal 6 jenis dokumen perawatan di atas kapal dan jelaskan fungsinya masing-masing!
101. Jelaskan 4 jenis audit perawatan kapal dan apa yang diperiksa terkait perawatan permesinan dalam masing-masing audit!
102. Jelaskan langkah-langkah persiapan menghadapi PSC inspection yang berkaitan dengan dokumentasi perawatan kapal!

DAFTAR PUSTAKA

- Garland, R. & Hewitson, D. (2016). Reeds Vol. 12: Motor Engineering Knowledge for Marine Engineers (4th ed.). London: Bloomsbury.
- IMO. (2018). International Safety Management (ISM) Code with Guidelines for its Implementation. London: IMO.
- IMO. (2018). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), Consolidated Edition. London: IMO.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI. (2018). Silabus Mata Pelajaran SMK Kompetensi Keahlian Teknik Kapal Niaga. Jakarta: Kemendikbud.
- MAN Energy Solutions. (2021). Operation and Maintenance Manual — MC/ME Engine Series. Copenhagen: MAN.
- Marks, R. J. (2014). Marine Engineering Practice: Maintenance and Repair. London: Nautical Institute.
- Sembiring, J. (2017). Perawatan dan Perbaikan Mesin Kapal. Jakarta: Pustaka Maritim.
- Smith, E. H. (2013). Marine Auxiliary Machinery (8th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Taylor, D. A. (1996). Introduction to Marine Engineering (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Witherby Publishing Group. (2019). Marine Maintenance and Repair Procedures. Edinburgh: Witherby Seamanship.

GLOSARIUM

Istilah / Singkatan	Definisi
Alignment	Keseluruhan posisi relatif komponen-komponen berputar atau berpasangan.
Ball Gauge / Telescoping Gauge	Alat ukur mekanis untuk mengukur diameter dalam (bore) yang dikombinasikan dengan mikrometer.
Blowdown	Pembuangan sebagian air boiler untuk menjaga kualitas air (TDS) dalam batas.
Bore Gauge	Alat ukur diameter dalam yang dapat digunakan langsung dalam posisi terpasang.
CBM	Condition-Based Maintenance — perawatan berdasarkan kondisi aktual komponen yang dipantau.
Clearance	Celah yang diizinkan antara dua permukaan yang berpasangan (misal: bearing oil clearance).
Corrective Maintenance	Perawatan yang dilakukan setelah komponen gagal atau menunjukkan penurunan performa.
Critical Spare Parts	Suku cadang yang wajib tersedia di kapal karena ketiadaannya dapat menyebabkan immobilization.
Defleksi Crankshaft	Perbedaan diameter crankshaft throw yang terukur — mendeteksi bengkok atau misalignment.
Defect Report	Formulir pelaporan kerusakan atau kondisi abnormal yang ditemukan di atas kapal.
DOC	Document of Compliance — sertifikat ISM yang dikeluarkan untuk perusahaan pelayaran.
End Gap	Celah pada ujung piston ring saat ring dipasang dalam silinder liner.
Feeler Gauge	Alat pengukur celah tipis — serangkaian bilah baja dengan ketebalan berbeda.
FIFO	First In, First Out — prinsip penggunaan inventori: yang masuk lebih dahulu harus dipakai lebih dahulu.
ISM Code	International Safety Management Code — regulasi manajemen keselamatan kapal.
Job Card	Kartu pekerjaan perawatan dalam PMS yang berisi prosedur, alat, material, dan interval.
LOTO	Lock Out-Tag Out — prosedur isolasi energi sebelum pekerjaan perawatan.
NCR	Non-Conformity Report — laporan ketidaksesuaian terhadap prosedur SMS.
Overhaul	Pembongkaran menyeluruh, pemeriksaan, dan pemulihan kondisi komponen utama.
Plastigage	Material pengukur celah oli bearing — ditempatkan di antara bearing dan journal.

Istilah / Singkatan	Definisi
PMS	Planning Maintenance System — sistem perawatan terencana dan terdokumentasi.
Predictive Maintenance	Perawatan berdasarkan pemantauan kondisi untuk memprediksi kegagalan sebelum terjadi.
Preventive Maintenance	Perawatan terencana rutin untuk mencegah kerusakan.
PSC	Port State Control — inspeksi kapal oleh otoritas pelabuhan negara yang dikunjungi.
Root Cause	Akar penyebab mendasar dari suatu masalah — bukan hanya gejalanya.
Running Hours	Jam operasi aktual mesin/peralatan — digunakan sebagai trigger interval perawatan.
Scaling	Penumpukan kerak mineral pada permukaan transfer panas (tube boiler, cooler) akibat kualitas air buruk.
TDS	Total Dissolved Solids — total padatan terlarut dalam air boiler.
Troubleshooting	Proses sistematis mengidentifikasi, mendiagnosis, dan memecahkan masalah pada peralatan.
Wear Ridge	Tonjolan aus yang terbentuk di tepi atas cylinder liner akibat gesekan dengan piston ring teratas.