

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu, sebagian besar studi mengenai *hatch cover* masih berfokus pada aspek perawatan operasional dan manajemen pemeliharaan berbasis studi kasus kualitatif. Penelitian oleh (Imanuel Maturbongs et al., 2023) pada MV. Ciremai menunjukkan bahwa ketidaksesuaian prosedur perawatan berkontribusi terhadap kerusakan muatan akibat kegagalan sistem tutup palka MV. Ciremai. Temuan serupa juga disampaikan oleh (Fauzan Segara et al., 2021) pada MV. *Sea Star 5*, yang menyoroti ketidakdisiplinan implementasi *Planned Maintenance System* (PMS) sebagai penyebab gangguan operasional *hatch cover* hidrolik. Kajian oleh (Budianto et al., 2025) pada MV. Oriental menegaskan bahwa kerusakan *rubber seal*, korosi pelat, serta distribusi beban yang tidak merata berdampak pada degradasi konstruksi ruang muat.

Pada level internasional, pendekatan analitis dan numerik mulai dikembangkan untuk meningkatkan performa struktural *hatch cover* (Huang et al., 2024) melalui model multi-parameter *leakage rate* membuktikan bahwa gaya baut dan elastisitas gasket berpengaruh signifikan terhadap tingkat kebocoran hingga 80%. Sementara itu, pedoman teknis dari (Shipowners Claims Bureau, 2024) menegaskan efektivitas *ultrasonic test* dalam mendeteksi kehilangan tekanan pada *compression bar* dibandingkan *hose test* konvensional. Regulasi kekuatan struktur *hatch cover* juga telah distandarisasi melalui *International Association of Classification Societies dalam Unified Requirement UR S21* (Lv et al., 2023), yang menitikberatkan pada ketahanan terhadap beban tekan dan lentur akibat gelombang.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas aspek perawatan, desain struktural, optimasi numerik, maupun pengujian kedapatan, terdapat celah penelitian pada integrasi antara kondisi konstruksi aktual (*as-built condition*) *compression bar* dengan analisis akar penyebab kegagalan berbasis data lapangan terukur. Penelitian terdahulu umumnya memisahkan pendekatan manajerial (kualitatif) dan pendekatan numerik (simulatif), tanpa mengkorelasikan secara sistematis hasil inspeksi visual, pengukuran dimensi aktual, serta uji ultrasonik dalam satu kerangka analisis komprehensif.

Novelty penelitian ini terletak pada pengembangan model evaluasi konstruksi *compression bar hatch cover* tipe ponton manual berbasis integrasi tiga instrumen utama, yaitu: (1) verifikasi dimensi dan keselarasan geometrik terhadap standar klasifikasi, (2) pengujian kedapatan menggunakan *ultrasonic test* sebagai parameter kuantitatif performa *sealing*, dan (3) analisis *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara deviasi konstruksi, distribusi tekanan *rubber seal*, dan potensi kegagalan *weathertightness*. Pendekatan ini menghasilkan formulasi korelasi teknis antara ketidakaturan lokal (*misalignment*, variasi ketebalan, dan deformasi mikro) dengan penurunan efektivitas kompresi, sehingga memberikan kontribusi baru berupa kerangka evaluasi berbasis kondisi aktual yang dapat diaplikasikan pada inspeksi galangan maupun survei klasifikasi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi menghasilkan sintesis teknis yang menjembatani aspek konstruksi, performa *sealing*, dan analisis kegagalan secara terintegrasi dan terukur.

2.2 Landasan Teori

Pada bab ini akan dijelaskan landasan teori yang berkaitan dan relevan pada analisis pemeriksaan *compression bar* pada *hatch cover* untuk kapal berjenis MPV (*Multi Purpose Vessel*). Hal ini dilakukan penulis agar dapat mempermudah memahami penelitian tersebut. Maka dari itu penulis akan memberi informasi mengenai teori penunjang dan definisi agar mempermudah pemahaman dari penelitian ini.

2.2.1 Multi Purpose Vessel

MPV merupakan jenis kapal yang dirancang untuk mengangkut/membawa lebih dari 1 jenis muatan pada ruang muatnya. Pada kapal milik PT. KTU Shipyard muatan yang biasa diangkut untuk kapal ini adalah *container 20 feet* hingga *40 feet*, hingga muatan curah seperti batu bara dan biji – bijian. Kapal ini juga memiliki sekat yang bisa digeser sesuai kebutuhannya (*graind bulkhead*) serta bisa disesuaikan dengan muatannya itu sendiri (Parulian Sinaga et al., 2015). Kapal ini tidak hanya bisa mengangkut pada ruang palka/ruang muatnya saja melainkan bisa juga pada atas *hatch cover*, pada *hatch cover*-nya dilengkapi dengan *container socket* yang bisa digunakan untuk *container* berukuran *20 feet* an *40 feet*.



Gambar 2. 1 Multi Purpose Vessel
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.2.2 Sistem pada Hatch Cover

Hatch cover atau yang sering disebut tutup palka merupakan salah satu dari banyak bagian penting yang ada pada kapal sejenis *container*, *cargo*, muat curah, MPV maupun jenis kapal lain yang memiliki ruang muat. Fungsinya adalah untuk menutup dan menjaga ruang palka yang berada dibawahnya agar muatan yang diangkut oleh kapal tidak mengalami kerusakan (Prasetyo et al, 2023). Komponen ini sangat vital karena selain menjaga kondisi muatan tetap kering dan aman, *hatch cover* juga turut mempengaruhi

stabilitas dan keselamatan kapal.



Gambar 2. 2 Hatch Cover
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

(Japan P&I Club, 2022) menekankan bahwa *hatch cover* yang tidak kedap air merupakan penyebab utama terjadinya klaim kerusakan muatan. Klaim ini bukan hanya berupa ganti rugi finansial, tetapi juga mencakup dampak tambahan seperti kerusakan reputasi, biaya inspeksi, keterlambatan pelayaran, dan gangguan jadwal operasi kapal. Oleh karena itu, fungsi *hatch cover* sebagai pelindung harus didukung oleh pemahaman menyeluruh terhadap cara kerja dan mekanisme strukturalnya. Ketika *hatch cover* berfungsi optimal, tidak hanya muatan tetap aman, tetapi efisiensi bisnis pelayaran pun dapat tercapai.

2.2.3 Hatch Cover Tipe Ponton Manual

Menurut (Prasetyo et al, 2023), *hatch cover* tipe ponton manual adalah jenis penutup palka yang tersusun dari beberapa panel ponton yang terbuat dari pelat baja dan dipasang melintang di atas lubang palka. Jenis ini disebut manual karena proses pembukaan dan penutupannya dilakukan secara manual dengan bantuan peralatan eksternal seperti *crane* darat atau *crane* kapal, yang memerlukan pengangkatan ponton satu per satu karena tidak dilengkapi mekanisme internal untuk membuka atau menutup secara otomatis. Panel-panel ponton ini biasanya dipasangkan dengan *rubber seal* di antara sela-selanya untuk mencegah masuknya air melalui celah panel saat tertutup.

Fungsi utama *hatch cover* ponton manual adalah penutup ruang muat untuk melindungi muatan dari masuknya air laut, hujan, dan percikan gelombang, sekaligus berperan sebagai bidang tumpu muatan yang ditempatkan di atas dek. Pada kapal niaga, khususnya kapal *general cargo* dan *multipurpose vessel*, *hatch cover* ponton manual harus mampu menahan beban statis dan dinamis dari muatan serta beban lingkungan selama operasi kapal, sehingga desain dan konstruksinya wajib memenuhi persyaratan kekuatan struktur dan *weathertightness* sesuai regulasi klasifikasi kapal (Wartsila

Encyclopedia, 2021). Secara konstruktif, *hatch cover* ponton manual tersusun atas pelat atas (*top plate*), rangka penguat berupa *stiffener* dan *girder*, serta elemen pendukung sistem kekedapan. Konfigurasi pelat dan rangka panel ponton dirancang untuk mendistribusikan beban secara merata ke struktur *coaming hatch*, di mana ketidaksesuaian bentuk atau distribusi beban dapat menyebabkan deformasi lokal yang berdampak langsung pada penurunan performa kekedapan *hatch cover* (IACS Req. 1997/Rev.17, 2022).

Salah satu komponen paling kritis dalam sistem ini adalah *compression bar*, yang berfungsi sebagai bidang kontak utama antara panel *hatch cover* dan *rubber packing* pada *coaming hatch*. Ketidaktepatan posisi dan kerataan *compression bar* dapat menyebabkan tekanan kompresi yang tidak merata pada *rubber seal*, sehingga meningkatkan potensi terjadinya kebocoran meskipun *hatch cover* dalam kondisi tertutup (Teguh Prasetyo, 2023). Selain itu, karena *hatch cover* tipe ponton manual tidak dilengkapi sistem kompensasi tekanan seperti pada *hatch cover* hidrolik, sistem ini sangat sensitif terhadap kesalahan fabrikasi dan pemasangan, sehingga pengendalian toleransi konstruksi, kualitas pengelasan, dan kondisi permukaan *compression bar* menjadi faktor utama dalam menjamin kinerja *hatch cover* selama masa operasional kapal (MacGregor, 2022; Nautical Institute, 2020).

Berdasarkan uraian tersebut, *hatch cover* ponton manual dapat dipahami sebagai sistem struktur dan kekedapan yang terintegrasi, di mana kegagalan pada salah satu elemen konstruksi dapat berdampak langsung terhadap fungsi keseluruhan sistem. Oleh karena itu, analisis terhadap kondisi konstruksi *hatch cover* ponton manual perlu dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan hubungan sebab-akibat antar komponen, khususnya pada area *compression bar* sebagai elemen kritis sistem *sealing*.



Gambar 2.3 Hatch Cover Ponton Manual

(Sumber : Visualisasi dari Jurnal (Prasetyo et al, 2023))

Berdasarkan fungsi, karakteristik konstruksi, dan sensitivitas sistem kekedapan tersebut, *hatch cover* tipe ponton manual merupakan struktur yang menuntut ketelitian tinggi baik dari sisi kekuatan maupun presisi geometris. Ketidaksesuaian pada elemen konstruksi, khususnya pada *compression bar* sebagai komponen utama sistem *sealing*, berpotensi menurunkan kinerja kekedapan dan memicu kegagalan fungsi *hatch cover* secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap hubungan antara kondisi konstruksi dan terjadinya kegagalan menjadi penting untuk ditelaah secara sistematis, sehingga penerapan metode *Root Cause Analysis* (RCA) relevan digunakan sebagai pendekatan dalam mengidentifikasi akar penyebab kegagalan pada sistem *hatch cover* ponton manual.

2.2.4 Komponen pada *Hatch Cover*

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, *hatch cover* merupakan sistem yang dimana dia perlu/memiliki komponen-komponen pendukung lainnya. Komponen-komponen ini tentu memiliki fungsi masing-masing sebagai penunjang pada sistem *hatch cover*. Maka dari itu berikut merupakan penjelasan dari beberapa komponen tersebut menurut (MacGregor, 2020 dan; Nautical Institute, 2020):

a. *Hatch Panel*

Pelat penutup utama dari *hatch cover* yang menutupi lubang ruang muat/palka agar muatan terjaga dari air laut dan cuaca. Panel ini terdiri dari konstruksi baja yang dibuat khusus menahan beban laut serta muatan yang berada di atasnya.



Gambar 2. 4 *Hatch Panel*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

b. *Coaming Plate*

Dinding baja yang terletak mengelilingi lubang ruang muat/palka di dek kapal, berfungsi sebagai batas dan tempat duduk (sealing interface) bagi *hatch cover*. *Coaming* ini merupakan struktur yang bisa memperkuat dek kapal dan menjadi tempat pemasangan *compression bar*, *drain channel* dan *cleats*.



Gambar 2. 5 *Coaming Plate*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

c. *Packing Rubber*

Sebuah benda elastis dari bahan karet (*solid* atau *sponge*) yang dipasang sepanjang tepi *hatch cover* untuk memberikan *weathertight sealing* antara *hatch* panel dan *compression bar*. Pada dasarnya karet ini harus menutup celah agar air tidak masuk ke dalam palka, karet ini harus fleksibel, tidak retak dan mampu kembali ke bentuk semula setelah tekanan dilepas antara *coaming* dan *hatch cover*.



Gambar 2. 6 Packing Rubber
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

d. *Bearing Pads*

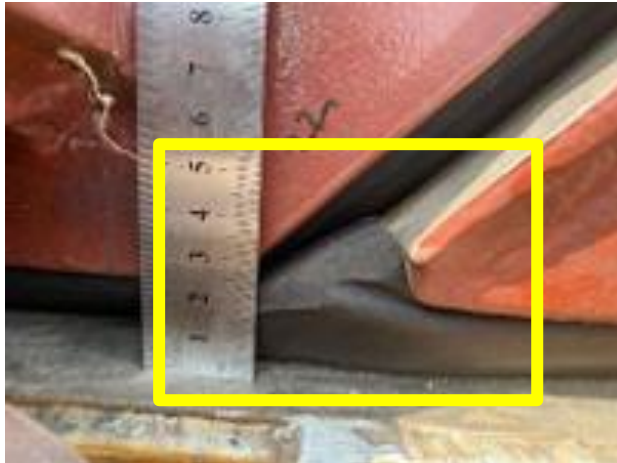
Bantalan baja atau biasanya terbuat dari *stainless steel* terdiri dari dua bagian yang salah satu bagiannya dipasang pada panel *hatch cover* dan satunya pada *coaming*. Kegunaan mendasar komponen ini ialah menahan beban *vertical*, mencegah overcompression pada *packing rubber*, dan menjaga ketinggian dan posisi *hatch* panel sejajar.



Gambar 2. 7 Bearing Pads
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

e. *Compression Bar*

Sebuah sebutan untuk gaya tekan yang dihasilkan dari pertemuan permukaan *stainless steel* yang menjadi bidang tekan untuk *packing rubber* dari *hatch* panel yang bertemu dengan *coaming*. Hal ini berfungsi agar seal karet menutup rapat tanpa merusak permukaannya dan menjamin *weathertightness* dengan kompresi optimal yang sesuai.



Gambar 2. 8 *Compression Bar*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

f. *Stoppers*

Komponen baja yang menahan pergerakan panel akibat beban laut dan akselerasi kapal yang berfungsi mencegah panel bergeser atau terlepas dari posisi *seal* dan menjaga komponen lain seperti *cleast*, *locators* dan *bearing pads* agar tidak mengalami keausan berlebih.



Gambar 2. 9 *Stoppers*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

g. *Locators*

Penutup posisi panel agar *hatch cover* tertutup pada posisi yang tepat di atas *coaming*. Memiliki fungsi menjaga panel menutup sejajar terhadap *compression bar* dan mencegah salah posisi atau *misalignment* yang dapat menyebabkan kebocoran,



Gambar 2. 10 Locators
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

h. *Cleat* atau Pengunci

Mekanisme pengaman (manual atau hidrolik) yang mengikat panel *hatch* ke *coaming* agar tetap tertahan saat berlayar. Berfungsi menahan panel agar tidak terangkat oleh tekanan internal atau gelombang, kondisi *cleat* tidak boleh dikencangkan berlebihan, karena bisa merusak *packing rubber* dan membuatnya kaku.



Gambar 2. 11 Cleat
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

i. Sistem Drainase (*Drain System*)

Saluran atau pipa yang dibuat khusus untuk pembuangan air yang menjadi pertahanan terakhir jika ada rembesan air yang melewati *seal*. Biasanya dilengkapi *non-return valve* (katup satu arah) untuk mencegah air laut masuk ke palka.



Gambar 2. 12 Sistem Drainase
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Dari beberapa penjelasan komponen pada hatch cover diatas, selurus komponen ini memiliki tugasnya masing-masing, tidak hanya bekerja sama melainkan berkolaborasi dengan satu tujuan yaitu menjaga ruang muat/palka dari kapal agar terhindar dari air laut maupun cuaca. Pada penelitian ini kita akan fokus pada kondisi compression bar, maka dari itu regulasi serta aturan sangat diperlukan untuk panduan dalam menjaga kondisi dari compression bar itu sendiri.

2.2.5 Standar dan Regulasi *Compression Bar* menurut *MacGregor*

MacGregor merupakan merek dagang utama dari *Cargotec Corporation*, perusahaan global yang berkantor pusat di *Helsinki*, Finlandia. Didirikan oleh *Robert* dan *Joseph MacGregor* pada tahun 1937 (dengan ide pertama muncul pada 1929), *MacGregor* dikenal sebagai pelopor sistem *hatch cover* baja pertama di dunia yang menggantikan penutup kayu pada kapal kargo tradisional.

see RINA letter no. PUSTI/1019/SUL

RS 102462
RS 102463
RS 102464
RS 102465

See the note and the remark reported on the transshipment plan.

HATCH COVERS
(LIFT AWAY)
MECHANICS

APPROVAL DRAWINGS

YARD:	PT KARYA TEKNIK, UTAMA SHIPYARD
HULL:	1231338513851387
CLASS:	RINA
OWNER:	PT. Kapal Mly Indonesia
MCQ WORK NO:	1281032WD
COVER PAGE	
MacGREGOR	
1281032WD-1000	
001 A	

RINA
Approved
12/10/2022

Gambar 2. 13 Prosedur *MacGregor*
(Sumber : Data milik PT. KTU Shipyard)

Sumber resmi (MacGregor, 2020) menyebutkan bahwa *compression bar* harus dibuat dan dirancang untuk memberi gaya tekan yang seragam dan stabil terhadap *packing rubber* di sepanjang permukaan *coaming*. Dalam dokumen resmi MacGregor “*High quality, longer lifetime and increased safety*”, dijelaskan juga tekanan yang sesuai dan kontan atau sama adalah syarat utama untuk mencapai *system sealing* yang efektif yang berbunyi seperti ini :

“A suitable sealing force is a prerequisite for the sealing arrangement to function correctly. This is not achieved by sealing alone as the whole coaming arrangement has to work in unison... it is of paramount importance for the tightness of the covers that the counterpart position, in relation to the seal, is correct, and that the support pads, restraints and locators are arranged in an optimal way” (MacGregor, 2020).

Maka dari itu *compression bar* menurut *MacGregor* harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut ini :

a. Bahan

Compresion bar merupakan gaya tekan yang dihasilkan dari pertemuan permukaan *stainless steel* atau baja *structural* berkekuatan tinggi dengan perlakuan permukaan aus, material spesifik ini dipilih untuk menghindari karat, deformasi akibat tekanan dan menjaga permukaan tetap rata untuk menjaga beban tetap merata yang menjadi bidang tekan untuk *packing rubber* yang terbuat dari karet khusus pabrikan dari *hatch* panel yang bertemu dengan *coaming*.

b. Desain Profil

MacGregor merekomendasikan penggunaan *profile rounded* (membulat) pada *compression bar* karena desain ini menghasilkan tekanan yang lebih lembut dan membuat merata terhadap *packing rubber*, serta memperpanjang umur *packing rubber* itu sendiri. Ada juga profil berbentuk tajam (*knife-edge*) yang menghasilkan tekanan lokal yang tinggi umumnya dihindari, karena cenderung mempercepat keausan *packing rubber* (*MacGregor Load Transmission*)

c. Toleransi Pemasangan

Pada prosesnya (*MacGregor, 2022*) menetapkan bahwa *compression bar* memiliki toleransi saat terpasang minimum sebesar 14 mm dan maksimum sebesar 24 mm yang disesuaikan dengan *drawing design*. Dalam hal ini (*Nautical Institute, 2020*) juga menyatakan posisi yang tidak presisi dapat menyebabkan tekanan terlalu tinggi atau terlalu rendah, sehingga dapat mengganggu fungsi *sealing* dan mengakibatkan kebocoran terhadap ruang muat/palka.

d. Pemeriksaan dan Pengujian

Pada hal ini biasanya *compression bar* harus diperiksa secara berkala, baik melalui inspeksi visual maupun pengujian fungsional seperti dilakukannya *hose test* dan *ultrasonic test*. Permukaan *packing rubber* harus bebas dari karat, tidak boleh bengkak dan tidak memiliki sudut tajam atau tonjolan yang dapat merusak *packing rubber*. Maka dari itu, ketika ditemukan keausan permukaan harus diratakan kembali/diganti dengan komponen asli, serta diperiksa ulang oleh teknisi bersertifikat. Bahkan pada (*Standard Club, 2021*) menyatakan keausan sebesar 4 mm pada kondisi *steal-to-steal contact* sudah cukup untuk merusak kinerja *packing rubber* yang pada akhirnya menyebabkan kebocoran itu sendiri.

e. Kesesuaian Klasifikasi

Selain standar internal *MacGregor*, kondisi *compression bar* harus disesuaikan dengan klasifikasi dari badan seperti *ICLL (Internasional Convention on Load Lines)* dan *SOLAS*. Dalam hal ini *compression bar* dikategorikan sebagai komponen sekunder penting karena kegagalannya dapat mempengaruhi kerusakan muatan, dan kegagalan struktur pada kapal. Oleh sebab itu hal yang mungkin dirubah/mengalami penggantian harus disetujui badan klasifikasi dan tidak boleh dilakukan sembarangan.

2.2.6 Metode Pemeriksaan dan Perhitungan Hatch Cover

Pada prosesnya pemeriksaan (*testing*) *hatch cover* akan selalu dilakukan sebelum kapal berlayar, tidak hanya pada saat fabrikasi *hatch cover* hal yang sama juga dilakukan pada saat reparasi tahunan. Proses ini tidak serta merta dilakukan untuk pemeriksaan tetapi juga diatur oleh klasifikasi terkait yang digunakan salah satunya *MacGregor*. Ada tiga proses yang umum dilakukan untuk pemeriksaan *hatch cover* ini yaitu *hose test* dan *ultrasonic test*. Kedua proses ini memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing, tetapi memiliki satu tujuan untuk mencegah terjadinya kebocoran pada ruang muat/palka. Dibawah ini akan ada penjelasan lebih lanjut untuk kedua hal diatas, antara lain :

a. *Visual Test* (Perhitungan Manual)

Visual test merupakan metode paling awal untuk menginspeksi sebuah permukaan (*surface testing*) yang menjadi langkah awal dalam pengendalian mutu hasil pengelasan pada industri perkapalan (*Amirafshari et al., 2021*). Pada dasarnya pemeriksaan ini juga memiliki hal yang cukup rumit dan harus diperhatikan lebih baik, menurut (*Li et al., 2020*) hasil permukaan las harus bersih dari debu, oksida, *slag*, atau percikan logam,

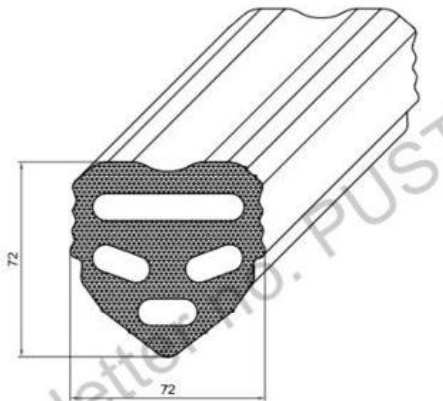
pencapaian dan sudut pengamatan juga penting untuk melihat hasil las. Pemeriksaan ini dilaksanakan guna mendeteksi cacat permukaan seperti *crack*, *porosity*, *undercut*, *lack of fusion* dan *solid inclusion* sebelum dilakukan metode NDT. *Visual test* ini berfungsi sebagai langkah evaluasi untuk cacat permukaan yang dapat mempengaruhi integritas struktural dan ketahanan leleh dari sambungan las pada struktur bagian kapal. Inspeksi ini bersifat preventif dan menjadi bagian utama dalam sistem *quality assurance* (QA) dan *quality control* (QC) di galangan kapal.



Gambar 2. 14 Visual Test
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Menurut (Nautical Institute, 2020) pengukuran *hatch cover* dilakukan untuk menjaga akurasi pemasangan *rubber* agar kondisi *compression bar* berpengaruh langsung kepada sistem kedap ruang muat. Pengukuran dilaksanakan di lapangan dalam posisi diam dan *hatch cover* telah terpasang, dengan pengambilan data secara menyeluruh di sepanjang *coaming*, dengan interval ± 1 meter guna memperoleh distribusi ketinggian yang representatif (North of England P&I, 2011). Alat ukur sederhana seperti meteran, *ruler*, dan pita ukur digunakan untuk memastikan kesesuaian dimensi terhadap toleransi desain, sekaligus mendukung proses dokumentasi dan pengendalian mutu sistem *sealing hatch cover* sesuai praktik inspeksi yang direkomendasikan industri (Nautical Institute, 2020).

Secara desain *rubber packing* umumnya dirancang untuk bekerja pada tingkat kompresi dari tebal nominal *rubber* dengan nilai 25% sebagai pendekatan yang umum digunakan, guna menjamin kedap saat kapal beroperasi dalam kondisi dinamis (North of England P&I, 2011).



Gambar 2. 15 Desain Awal Rubber
(Sumber : Data milik PT. KTU Shipyard)

Rubber packing dengan ukuran diatas, maka dapat digunakan desain *compression* dihitung sebagai :

$$\begin{aligned}\text{Design Compression} &= 25\% \times 72\text{mm} \\ &= 0,25 \times 72 \text{ mm} \\ &= 18 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga, pada kondisi *hatch cover* tertutup sempurna, *rubber packing* 72 mm × 72 mm harus mengalami *compression* sekitar 18 mm agar sistem *sealing* dapat bekerja secara optimal dan dikatakan normal. Nilai kompresi ini menjadi acuan dalam menentukan ketinggian dan toleransi fabrikasi *compression bar*, karena *under-compression* akan menyebabkan kebocoran, sedangkan *over-compression* berpotensi menyebabkan *permanent set* dan penurunan elastisitas *rubber packing*.

b. *Hose Test*

Hose test adalah pengujian langsung terhadap *weathertightness*, dimana proses ini menggunakan semburan air yang diarahkan ke bagian luar sambungan *hatch cover* dan jika terjadi kebocoran di dalam ruang muat/palka menunjukkan kekedapannya (Nautical Institute, 2020). Pada dasarnya tujuan *hose test* ini memastikan adanya kontak fisik yang terletak pada *packing rubber* dan *compression bar* agar tidak terjadi infiltrasi air saat kapal beroperasi. Hal ini membuat proses dari *hose test* memiliki beberapa standar yang harus diperhatikan, menurut (C Rajesh, 2009) untuk jarak semburan air sejauh ±1,5 meter dengan tekanan minimal 200 kN/m² menggunakan selang air berdiameter 20 hingga 30 mm dan *nozzle* 12 mm. Beberapa hal ini memang harus diperhatikan untuk mengikuti dasar pengujian *hose test*, hal ini pun merujuk pada kelebihan dan kelemahan *hose test* itu sendiri. Dimana kelebihan dari proses ini adalah mudah dilakukan, murah, cepat mendeteksi kebocoran besar. Sedangkan kelemahannya tidak menunjukkan apakah *packing rubber* memiliki tekanan kompresi yang cukup, dan hanya menguji kondisi statis yang berarti tidak mensimulasikan

kondisi dinamis pada saat kapal berlayar (North of England P&I, 2011).



Gambar 2. 16 Hose Test
(Sumber : Data milik PT. KTU Shipyard)

c. *Ultrasonic Test*

Ultrasonic Test adalah metode pengujian *weathertightness* dengan menggunakan salah satu gelombang yaitu gelombang *ultrasonic* yang dapat mendeteksi kehilangan tekanan pada sistem penyekatan tanpa menggunakan air (Nautical Institute, 2020). Tujuan dari proses ini tidak lain dan tidak bukan untuk mengukur tingkat kompresi dan integritas dari *sealing system* antara *packing rubber* dan *compression bar*. Proses pengujiannya pun tergolong cukup rumit dimana membutuhkan *transmitter* yang diletakkan di dalam ruang muat/palka dan memancarkan sinyal *ultrasonic*, yang kemudian diterima oleh *reciver* yang dibawa oleh operator yang menguji sepanjang tepi *hatch cover* dan sambungan silang (*cross joint*), nilai referensi *Open Hatch Value* (OHV) diambil pada saat palka terbuka penuh dan pada saat palka ditutup, pembacaan dilakukan. Jika sinyal *ultrasonic* melewati kompresi, berarti ada kebocoran pada ruang muat/palka. Menurut (ClassNK Part B AMANDEMENT NO.2, 2023; SDT Sherlog Brochure, 2017) kondisi dimana pembacaan *Open Hatch Value* melebihi dari 10%, maka bisa dianggap ada kekurangan kompresi dan perlu adanya perbaikan.

Secara matematis, batas toleransi batas maksimum pengukuran *ultrasonic test* dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned}\text{Batas UT Maksimum} &= 10\% \times \text{OHV} \\ &= 0,10 \times \text{OHV}\end{aligned}$$

Perhitungan dalam bentuk desibel (dB) karena hasil dari perhitungan berbentuk tinggi rendahnya suara yang bocor. Untuk perhitungan sebagai berikut:

$$\text{OHV} = 100 \text{ dB}$$

Maka batas toleransi kebocoran yang masih diperbolehkan:

$$\begin{aligned}UT_{maks} &= 0,10 \times 100 \\ &= 10 \text{ dB}\end{aligned}$$

Artinya, apabila hasil pembacaan UT pada kondisi *hatch* tertutup lebih dari 10 dB, maka sistem *sealing* dianggap tidak memenuhi persyaratan kompresi dan berpotensi mengalami kebocoran saat kapal beroperasi.

Proses pengujian menggunakan gelombang *ultrasonic* ini pun juga memiliki kelebihan dimana dalam prosesnya tidak merusak (*non-destruktif*), bersih, dapat dilakukan kapan saja dengan kondisi cuaca jika cuaca baik, dan dapat mendeteksi kehilangan kompresi bukan hanya kontak fisik. Dari banyaknya proses pengujian ini tentu hal paling mendasar dan bisa dibilang sebagai kelemahan dari proses ini yaitu membutuhkan peralatan khusus dan operator yang tersertifikasi sesuai dengan (IACS Req. 1997/Rev.17, 2022) atau bisa disebut peraturan yang mendasari standar kompetensi, pelatihan, dan sertifikasi operator jasa pemeriksaan bidang perkapalan, yang salah satunya *Ultrasonic Tightness Testing* (UTT) untuk *hatch cover*.



Gambar 2. 17 Ultrasonic Test
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.2.7 Kegagalan Umum pada *Compression Bar*

Untuk memberi pemahaman dimana peran *compression bar* dapat terus menjaga kekedapan ruang muat kapal/palka, hal ini tentu tidak semudah ini. Banyak bentuk kegagalan *compression bar* yang umum terjadi pada saat fabrikasi maupun sedang berlayar, sebagai elemen penekan utama terhadap *packing rubber* tentu harus selalu pada kondisi prima agar mampu menjamin distribusi tekanan yang merata. Namun dalam praktik di lapangan sering dijumpai berbagai kondisi kerusakan yang menimbulkan kegagalan sistem *hatch cover* secara keseluruhan.

Untuk penjelasannya tabel dibawah ini akan merangkum beberapa bentuk kegagalan yang dapat ditemukan pada *compression bar* menurut (ClassNK Part B AMANDEMENT NO.2, 2023 dan ClassNK Part C, 2024). Pemahaman ini penting guna dasar untuk merencanakan inspeksi berkala dan pemeliharaan preventif mencegah kerusakan lebih lanjut dan potensi kerugian ekonomi.

Tabel 2. 1 Kegagalan *Compression Bar*

No.	Kegagalan <i>Compression Bar</i>	Dampak yang Ditimbulkan	Metode Uji	Refrensi ClassNK
1.	Keausan permukaan	Kehilangan tekanan kompresi	Ultrasonic Test	Annex 2.1.5 – Table An1.4-1
2.	Deformasi struktural	Seal tidak kontak sempurna	Structural Test / Hose Test	Chapter 2, 2.1.4-8
3.	Korosi	Terjadi micro-leakage	Visual + Hose Test	Annex 2.1.5-2
4.	Retakan las	Jalur bocor di area sambungan	PT / Hydrostatic Test	An1.3.1-3
5.	Misalignment	Kontak tidak merata	Ultrasonic Test (OHV>10%)	Table An1.4-1 item 18
6.	Permukaan kasar / cacat	Rubber rusak dan bocor lokal	Hose Test	Annex 2.1.5

Sumber: ClassNK Part B AMANDEMENT NO.2, 2023 dan ClassNK Part C, 2024

Berdasarkan pembahasan di atas kerusakan pada *compression bar*, seperti korosi, deformasi, dan permukaan yang tidak rata, merupakan penyebab utama kegagalan sistem kedap air pada *hatch cover* kapal. Kondisi ini mengakibatkan gasket tidak menerima tekanan yang merata, sehingga memicu kebocoran air laut ke dalam ruang muat yang dapat merusak muatan, mengganggu stabilitas kapal, dan menimbulkan risiko keselamatan serta kerugian finansial. Oleh karena itu, inspeksi rutin, perawatan preventif, dan pemenuhan standar klasifikasi terhadap kondisi fisik *compression bar* menjadi hal krusial dalam menjamin integritas struktural dan keselamatan operasional kapal.

2.2.8 Root Cause Analysis (RCA)

2.2.8.1 Konsep Root Cause Analysis (RCA)

Root Cause Analysis (RCA) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab utama dari suatu kegagalan atau permasalahan melalui penelusuran hubungan sebab-akibat secara sistematis. Pendekatan ini menekankan bahwa kegagalan umumnya tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi berbagai faktor teknis dan proses yang saling berkaitan. Dalam penerapannya, RCA dilakukan dengan mengumpulkan fakta kejadian, mengidentifikasi penyebab langsung dan tidak langsung, serta menelusuri faktor-faktor yang berkontribusi hingga diperoleh penyebab paling mendasar yang berpotensi memicu kegagalan. Dengan membedakan antara gejala dan akar penyebab, RCA memungkinkan perumusan solusi yang bersifat korektif dan berorientasi pada pencegahan jangka panjang, bukan sekadar perbaikan sementara. Dalam bidang teknik dan industri maritim, RCA banyak digunakan untuk menganalisis kegagalan struktur dan sistem kapal yang dipengaruhi oleh kondisi aktual konstruksi, metode kerja, dan faktor manusia, sehingga mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap mekanisme kegagalan serta menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi teknis berbasis kondisi nyata di lapangan (Ketola et al., 2006; Parra Jimenez, 2016; Rooney & Heuvel, 2004).

2.2.8.2 Tools Root Cause Analysis (RCA)

Untuk mendukung proses identifikasi akar penyebab secara sistematis, RCA umumnya menggunakan beberapa alat analisis (*tools*) yang saling melengkapi, antara lain sebagai berikut:

1. *Fishbone* Diagram (Diagram Sebab–Akibat)
Fishbone diagram digunakan untuk memetakan berbagai kemungkinan penyebab suatu kegagalan ke dalam kategori tertentu, seperti faktor manusia, metode kerja, material, peralatan, dan lingkungan. Alat ini membantu visualisasi hubungan sebab–akibat secara terstruktur sehingga memudahkan identifikasi faktor penyebab dominan yang berkontribusi terhadap terjadinya kegagalan (Rooney & Heuvel, 2004).
2. *Five Why's* (5 Mengapa)
Metode Five Whys merupakan teknik analisis bertahap dengan mengajukan pertanyaan “mengapa” secara berulang terhadap suatu masalah atau penyebab yang telah diidentifikasi. Pendekatan ini bertujuan untuk menelusuri lapisan penyebab hingga mencapai akar penyebab yang paling mendasar, yang sering kali tidak terlihat pada pemeriksaan awal (Ketola et al., 2006).
3. *Brainstorming* Terstruktur
Brainstorming terstruktur digunakan sebagai langkah awal untuk mengumpulkan berbagai kemungkinan penyebab kegagalan berdasarkan pengalaman dan pengetahuan teknis. Hasil brainstorming kemudian dianalisis dan divalidasi menggunakan *fishbone* diagram dan *five why's* agar penyebab yang diidentifikasi bersifat objektif dan berbasis data (Rooney & Heuvel, 2004).

