

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Klasifikasi Data Lapangan

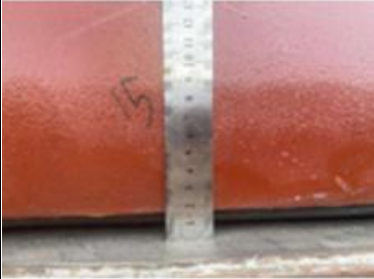
Tahap klasifikasi data lapangan menghasilkan data mentah terstruktur yang dikelompokkan berdasarkan sumber pengujian dan karakteristik temuan. Bentuk data yang dihasilkan dijabarkan sebagai berikut:

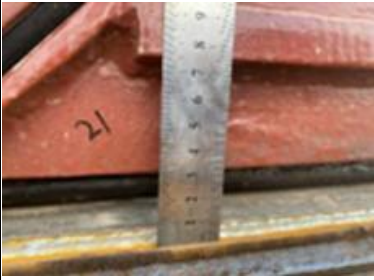
- a. Data Pemeriksaan Visual (*Visual Test*)
Data pemeriksaan visual diperoleh melalui inspeksi langsung terhadap kondisi fisik pada *hatch cover* tipe ponton manual. Pemeriksaan ini meliputi identifikasi keausan permukaan, korosi, deformasi lokal, ketidakraturan permukaan, serta cacat pengelasan yang berpotensi mempengaruhi kinerja sistem kedapatan. Hasil inspeksi kemudian berdasarkan tingkat keparahan temuan yang dijabarkan dengan tabel dibawah:

Tabel 4. 1 Data *Visual Test*

Hatch Cover	Keausan Permukaan	Korosi	Deformasi Lokal	Ketidakteraturan Permukaan	Cacat Pengelasan	Kategori Visual	Lokasi Temuan
01	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
02	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
03	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
04	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
05	Ringan	Tidak ada	Tidak ada	Tidak rata lokal	Bekas gerinda	Cukup	Tengah sisi port
06	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
07	Ringan	Tidak ada	Tidak ada	Tidak rata lokal	Overlap ringan	Cukup	Sudut panel
08	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
09	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Rata	Tidak ada	Baik	Sepanjang sisi
10	Sedang	Ringan	Ringan	Tidak rata menyeluruh	Undercut lokal	Cukup Buruk	Sisi starboard

18 mm	HC No.3  	19 mm
17 mm		14 mm
20 mm		15 mm
20 mm		20 mm

22 mm	HC No.4  	20 mm
17 mm		19 mm
15 mm		19 mm
18 mm		22 mm

21 mm	HC No.5  	19 mm
20 mm		20 mm
19 mm		20 mm
20 mm		20 mm

24 mm	HC No.6  		20 mm
19 mm			16 mm
19 mm			18 mm
24 mm			21 mm

19 mm	HC No.7  		20 mm
19 mm			19 mm
17 mm			18 mm
19 mm			19 mm

22 mm	HC No.8  		19 mm
19 mm			19 mm
18 mm			17 mm
23 mm			19 mm

20 mm	HC No.9  		19 mm
19 mm			23 mm
21 mm			22 mm
21 mm			21 mm

23 mm	HC No.10  		19 mm
20 mm			17 mm
20 mm			19 mm
21 mm			20 mm

22 mm	HC No.11 										20 mm
19 mm											20 mm
19 mm											21 mm
21 mm											19 mm
	23 mm	24 mm	24 mm	23 mm	24 mm	24 mm	23 mm	24 mm	21 mm	21 mm	

Sumber: Data Inspelsi di PT. KTU Shipyard

c. Data *Ultrasonic Test*

Proses pengujiannya ini 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*). Data dibawah ini milik MPV *Gearless 1387* dimana data hasil dibuat dalam tabel dibawah ini:

Tabel 4. 3 Data Hasil *Ultrasonic*

No.	Hatch No	Location	Leaky Seal	Leak Type	MEASUREMENTS WITH CLOSED HATCH			Test Result		dB Reading after corrective action	Remark
					dB	OH	OHV Cal or dB Ref	PASS	Fail		
1	HC. 1	1	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
2	HC. 2	2	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
3	HC. 3	3	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
4	HC. 4	4	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
5	HC. 5	5	-	-	1	2%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
6	HC. 6	6	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
7	HC. 7	7	-	-	1	2%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
8	HC. 8	8	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
9	HC. 9	9	-	-	0	0%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
10	HC. 10	10	-	-	2	4%	58	PASS	-	-	TEST PASSED
11	HC. 11	11	-	-	1	2%	58	PASS	-	-	TEST PASSED

Sumber: Data Inspelsi di PT. KTU Shipyard

4.2 Analisis Kesesuaian Teknis (*Compliance Analysis*)

Analisis kesesuaian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dan pengujian terhadap standar teknis tanpa mempertimbangkan faktor penyebab. Berdasarkan hasil pemeriksaan visual, pengukuran manual *compression bar*, dan *ultrasonic test*, data diklasifikasikan ke dalam tiga kategori kondisi sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 4 Kategori Kriteria Umum

Kategori	Kriteria Umum	Acuan Teknis
Normal	Seluruh parameter konstruksi dan hasil pemeriksaan berada dalam batas toleransi yang dipersyaratkan, serta hasil uji kededapan menunjukkan kondisi lulus tanpa indikasi kebocoran	ClassNK (2024); MacGregor (2022)
Marginal	Parameter konstruksi masih berada dalam batas toleransi, namun mendekati nilai batas minimum atau maksimum, dan/atau menunjukkan indikasi kebocoran rendah pada hasil ultrasonic test	MacGregor (2022); ClassNK (2024)
Tidak Sesuai	Parameter konstruksi berada di luar batas toleransi yang ditetapkan dan/atau hasil pemeriksaan kededapan menunjukkan kegagalan (fail)	ClassNK (2024); MacGregor (2022)

Sumber: ClassNK (2024); MacGregor (2022)

Kategori hasil ini akan membantu merangkuman seluruh bentuk data yang disusun pada tabel dibawah ini untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai keterkaitan antara *visual test*, hasil pengukuran *compression bar* dan hasil pengujian kededapan menggunakan *ultrasonic test* pada *hatch cover* tipe ponton manual. *Visual test* yang dilakukan dengan inspeksi pada saat di lapangan. Pengukuran *compression bar* dilakukan untuk menilai kesesuaian dimensi aktual terhadap toleransi teknis yang dipersyaratkan dengan tabel dibawah ini:

Tabel 4. 5 Kriteria Teknis menurut MacGregor

Kategori	Kriteria Teknis
Sesuai	Nilai berada di tengah toleransi
Mendekati batas	Nilai dekat 14 mm atau 24 mm
Tidak sesuai	Di luar toleransi

Sumber: MacGregor (2022)

Sementara itu, *ultrasonic test* digunakan untuk mengevaluasi performa sistem *sealing hatch cover* melalui indikasi kebocoran (*weathertightness*) dalam bentuk nilai dB dan *persentase over-hear* (OH) yang dijabarkan dengan tabel dibawah ini.

Tabel 4. 6 Kriteria Teknis menurut ClassNK

Kategori	Hasil UT
Sesuai	PASS, dB = 0
Mendekati batas	PASS, dB > 0
Tidak sesuai	FAIL

Sumber: ClassNK (2024)

Integrasi data pemeriksaan visual, pengukuran manual *compression bar*, dan *ultrasonic test* dilakukan untuk memperoleh gambaran kondisi aktual *hatch cover* secara menyeluruh. Data visual menunjukkan kondisi fisik dan kualitas pengerjaan, data pengukuran manual menunjukkan kesesuaian dimensi terhadap toleransi teknis, sedangkan *ultrasonic test* menunjukkan kinerja kedekatan *hatch cover*. Berdasarkan integrasi ketiga data tersebut, kondisi *hatch cover* diklasifikasikan menjadi normal, marginal, dan tidak sesuai. Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar penentuan prioritas objek yang dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA), dengan fokus pada kondisi marginal dan tidak sesuai yang dijabarkan dengan tabel ini:

Tabel 4. 7 Hasil Integrasi Data Pemeriksaan

Hatch Cover	Kondisi Compression Bar	Kesesuaian Toleransi (14-24 mm)	Hasil UT (dB)	OH (%)	Status UT	Visual	Kategori Kondisi
HC 1	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas bawah dan batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal
HC 2	Ada satu titik yang hampir menyentuh batas bawah, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal
HC 3	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas bawah, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal
HC 4	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas bawah, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal
HC 5	Keseluruhan pada kondisi aman dan sesuai	Sesuai	1	2%	PASS	Cukup	Marginal
HC 6	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal

Hatch Cover	Kondisi Compression Bar	Kesesuaian Toleransi (14-24 mm)	Hasil UT (dB)	OH (%)	Status UT	Visual	Kategori Kondisi
HC 7	Keseluruhan pada kondisi aman dan sesuai	Sesuai	1	2%	PASS	Cukup	Marginal
HC 8	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal
HC 9	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	0	0%	PASS	Baik	Normal
HC 10	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	2	4%	PASS	Cukup Buruk	Marginal
HC 11	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Sesuai	1	2%	PASS	Cukup	Marginal

Berdasarkan tabel di atas, seluruh nilai ketinggian *compression bar* berada dalam rentang toleransi teknis 14–24 mm sehingga secara dimensi dinyatakan sesuai dengan standar pabrikan. Namun demikian, hasil *ultrasonic test* menunjukkan adanya variasi nilai dB dan OH (%) pada beberapa *hatch cover*, khususnya HC.5, HC.7, HC.10, dan HC.11, yang meskipun masih berstatus PASS, menunjukkan indikasi kebocoran dengan tingkat rendah. Kondisi ini dikategorikan sebagai marginal, karena menunjukkan bahwa meskipun dimensi *compression bar* masih berada dalam batas toleransi, terdapat potensi ketidaksempurnaan distribusi tekanan atau kondisi permukaan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem *sealing*. Temuan ini menjadi dasar penting untuk dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA).

4.3 Analisis Keterkaitan Antara Data

Analisis keterkaitan antar data dilakukan untuk menghubungkan kondisi fisik *compression bar* dengan performa kekedapan *hatch cover*, sebelum dilakukan penelusuran akar penyebab menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA). Pada tahap ini, data hasil pemeriksaan visual, pengukuran manual, dan *ultrasonic test* dianalisis secara korelasi teknis untuk melihat pola hubungan sebab–akibat awal antara penyimpangan konstruksi dan hasil uji kekedapan.

a. Keterkaitan Kondisi Permukaan dengan Hasil *Ultrasonic Test*

Hasil pemeriksaan visual menunjukkan bahwa pada beberapa *hatch cover* ditemukan kondisi permukaan *compression bar* yang tidak sepenuhnya rata, seperti bekas gerinda kasar atau

ketidakteraturan lokal. Kondisi ini berkorelasi dengan hasil *ultrasonic test* yang menunjukkan nilai dB dan OH (%) lebih tinggi dibandingkan *hatch cover* dengan permukaan yang halus dan rata dengan data sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Keterkaitan Kondisi Permukaan dengan Hasil UT

Hatch Cover	Kondisi Permukaan (Visual)	Hasil UT (dB)	OH (%)	Kategori
HC.5	Permukaan tidak rata lokal	1	2%	Marginal
HC.7	Bekas gerinda kasar	1	2%	Marginal
HC.1	Permukaan rata dan halus	0	0%	Normal

Data tersebut menunjukkan bahwa ketidakteraturan permukaan *compression bar* berpengaruh terhadap efektivitas kontak antara *compression bar* dan *rubber packing*, sehingga menurunkan kualitas kedekatan meskipun masih berada dalam batas penerimaan.

b. Keterkaitan Ketebalan *Compression Bar* dengan Tekanan *Rubber*

Hasil pengukuran manual menunjukkan adanya variasi kecil pada ketinggian *compression bar* di beberapa *hatch cover*, meskipun masih berada dalam toleransi teknis 14–24 mm. Variasi ini berpotensi menyebabkan distribusi tekanan yang tidak merata pada *rubber seal* sepanjang *coaming hatch* dengan data sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Keterkaitan Ketebalan *Compression Bar* dengan Tekanan *Rubber*

Hatch Cover	Kondisi Compression Bar	Rentang Nilai Compression Bar	Hasil UT (dB)	Kategori
HC.10	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Variatif	2	Marginal
HC.5	Keseluruhan pada kondisi aman dan sesuai	Seragam	1	Marginal
HC.6	Ada beberapa bagian yang hampir menyentuh batas atas, tetapi sisanya sudah sesuai	Variatif	0	Normal

- c. Keterkaitan *Misalignment* dengan Peningkatan Nilai Kebocoran
 Pemeriksaan visual juga menunjukkan adanya indikasi *misalignment* ringan pada beberapa segmen *compression bar*, seperti pergeseran posisi terhadap *coaming hatch*. Kondisi ini berkorelasi dengan peningkatan nilai dB dan OH (%) pada hasil *ultrasonic test*, meskipun tidak sampai menyebabkan kegagalan uji (*FAIL*) dengan data sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Keterkaitan *Misalignment* dengan Peningkatan Nilai Kebocoran

Hatch Cover	Temuan <i>Misalignment</i>	OH (%)	Status UT	Kategori
HC.10	Ada (ringan)	4%	PASS	Marginal
HC.11	Ada (ringan)	2%	PASS	Marginal
HC.2	Tidak ada	0%	PASS	Normal

Berdasarkan integrasi data pemeriksaan visual, pengukuran kondisi *compression bar*, dan hasil *ultrasonic test* (UT), diperoleh pola keterkaitan yang konsisten antara kondisi fisik *hatch cover* ponton manual dengan performa kedapannya. *Hatch cover* dengan permukaan *compression bar* yang tidak rata secara lokal atau bekas gerinda kasar (seperti pada HC.5 dan HC.7) menunjukkan nilai kebocoran rendah namun terdeteksi (1 dB atau OH $\pm 2\%$), sehingga dikategorikan sebagai kondisi marginal. Sebaliknya, *hatch cover* dengan permukaan rata dan halus (HC.1) tidak menunjukkan indikasi kebocoran (0 dB; OH 0%) dan berada pada kategori normal.

Dari sisi kondisi geometris *compression bar*, *hatch cover* (HC.10 dan HC.6) menunjukkan adanya beberapa bagian yang hampir menyentuh batas toleransi atas dengan karakteristik ketebalan yang variatif, sedangkan bagian lainnya masih berada dalam rentang yang diizinkan. Pada (HC.10), kondisi tersebut berkorelasi dengan nilai hasil *ultrasonic test* sebesar (2 dB) sehingga dikategorikan marginal, sementara (HC.6) tidak menunjukkan indikasi kebocoran (0 dB) dan berada pada kategori normal. Adapun (HC.5), meskipun secara keseluruhan berada pada kondisi aman dan seragam, masih terdeteksi kebocoran ringan (1 dB) sehingga diklasifikasikan sebagai marginal. Temuan ini menunjukkan bahwa variasi lokal pada kondisi *compression bar* dan ketidaksempurnaan distribusi tekanan dapat memengaruhi performa kedapannya *hatch cover*, meskipun nilai pengujian masih berada dalam batas penerimaan.

Selain itu, temuan *misalignment* ringan pada beberapa *hatch cover* (HC.10 dan HC.11) berkorelasi dengan meningkatnya nilai OH (2–4%), meskipun masih memenuhi kriteria kelulusan UT. *Hatch cover* tanpa *misalignment* (HC.2) menunjukkan nilai OH (0%) dan kondisi kedapannya optimal. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa ketidaksempurnaan kecil pada permukaan, keseragaman dimensi, dan keselarasan *compression bar* belum langsung menyebabkan kegagalan, tetapi telah menurunkan margin keselamatan sistem *sealing* dan menjadi indikator awal potensi kegagalan, sehingga layak dijadikan input utama pada tahap *Root Cause Analysis* (RCA).

4.4 *Root Cause Analysis* (RCA)

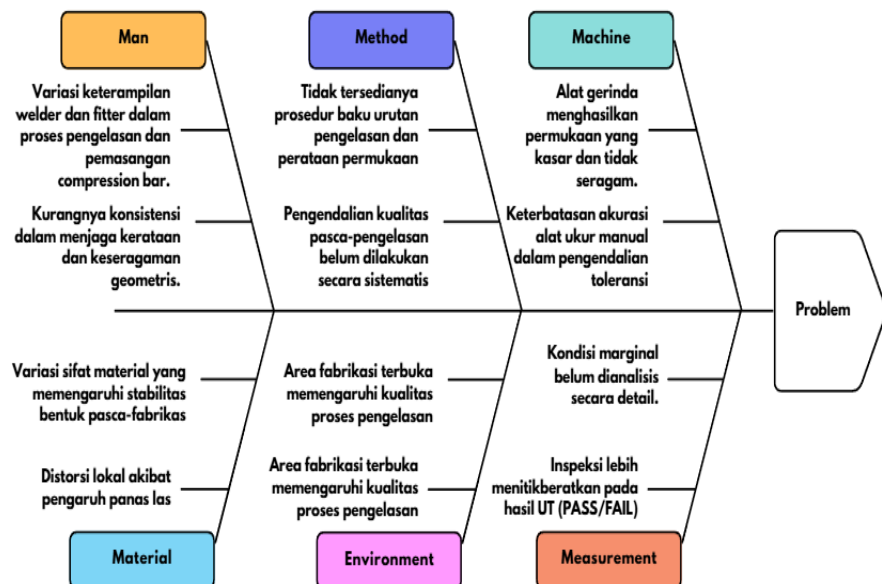
Tahap *Root Cause Analysis* (RCA) dilakukan terhadap data yang dikategorikan tidak sesuai dan marginal pada tahap analisis kesesuaian teknis dan keterkaitan antar data. Data yang dianalisis meliputi temuan permukaan *compression bar* tidak rata, variasi ketebalan mendekati batas toleransi, serta *misalignment* ringan yang teridentifikasi pada beberapa *hatch cover* dan berpengaruh terhadap hasil *ultrasonic test*. Tujuan utama tahap ini adalah mengidentifikasi akar penyebab kegagalan atau potensi kegagalan sistem kedapannya *hatch*

cover ponton manual secara sistematis, tidak hanya dari sisi teknis komponen tetapi juga dari aspek proses.

4.4.1 Cause Effect Diagram (Fishbone)

Cause-Effect Diagram (diagram sebab-akibat) digunakan sebagai alat awal RCA untuk memetakan hubungan antara masalah utama dan faktor penyebabnya secara terstruktur. Masalah utama (*effect*) dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kondisi *compression bar* yang tidak memenuhi keseragaman geometris sehingga menurunkan margin kedepan *hatch cover* yang ditunjukkan oleh kategori marginal dan tidak sesuai pada hasil pemeriksaan. Berdasarkan data lapangan, penyebab dikelompokkan ke dalam beberapa kategori utama sebagai berikut:

- a. *Man* (Sumber Daya Manusia)
Kurangnya konsistensi keterampilan *welder* dan *fitter* dalam menjaga kerataan dan keseragaman *compression bar*, serta perbedaan interpretasi toleransi saat proses instalasi.
- b. *Method* (Metode Kerja)
Tidak adanya prosedur baku yang rinci mengenai urutan pengelasan, metode perataan permukaan, serta kontrol pasca-pengelasan sebelum pemasangan *hatch cover*.
- c. *Machine* (Peralatan)
Penggunaan alat gerinda dan alat ukur manual yang terbatas akurasi, sehingga permukaan hasil *finishing* masih meninggalkan ketidakrataan lokal.
- d. *Material*
Variasi sifat material baja *compression bar* yang berpotensi memengaruhi distorsi akibat panas las, meskipun masih dalam spesifikasi material yang diizinkan.
- e. *Measurement* (Pengukuran dan Inspeksi)
Pemeriksaan lebih menitikberatkan pada hasil akhir *ultrasonic test* (*PASS/FAIL*) tanpa analisis detail terhadap kondisi marginal, seperti nilai dB rendah (1–2 dB) dan OH kecil (2–4%).
- f. *Environment* (Lingkungan Kerja)
Kondisi area fabrikasi yang terbuka dan keterbatasan ruang kerja yang memengaruhi posisi pengelasan dan pemasangan.



Gambar 4. 1 Diagram Fishbone

Melalui *fishbone* diagram dapat disimpulkan bahwa ketidaksesuaian pada *compression bar hatch cover* ponton manual tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan kombinasi antara metode kerja, keterampilan sumber daya manusia, dan sistem inspeksi. Ketidadaan prosedur baku dan variasi keterampilan menyebabkan ketidakkonsistenan hasil fabrikasi, sementara sistem inspeksi yang berfokus pada hasil akhir belum mampu mengidentifikasi kondisi marginal secara dini. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan bersifat sistemik dan berakar pada proses, sehingga memerlukan perbaikan terintegrasi dari tahap fabrikasi hingga inspeksi.

4.4.2 Validasi Penyebab Dominan

Tahap validasi penyebab dominan dilakukan setelah penyusunan diagram *fishbone* untuk memastikan bahwa faktor penyebab yang dianalisis lebih lanjut benar-benar relevan dan didukung oleh data lapangan. Diagram *fishbone* menghasilkan berbagai kemungkinan penyebab yang berasal dari aspek *Man*, *Method*, *Machine*, *Material*, *Measurement*, dan *Environment*. Namun, tidak seluruh penyebab tersebut memiliki pengaruh langsung terhadap kondisi marginal dan tidak sesuai yang teridentifikasi pada *compression bar hatch cover* ponton manual.

Proses validasi dilakukan dengan mencocokkan setiap faktor penyebab dengan hasil pemeriksaan visual, pengukuran manual *compression bar*, dan hasil *ultrasonic test*. Penyebab yang memiliki keterkaitan langsung dan konsisten dengan temuan lapangan dipilih sebagai penyebab dominan, sedangkan penyebab yang tidak didukung oleh data empiris dieliminasi dari analisis lanjutan. Berdasarkan hasil validasi, penyebab dominan yang teridentifikasi dapat diklasifikasikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 11 Jenis Penyebab Dominan

Jenis Penyebab Dominan	Faktor Penyebab	Bukti Data Lapangan	Dampak Teknis	Kategori Dampak
Material–Process	Distorsi lokal akibat panas las	Ditemukan permukaan <i>compression bar</i> tidak rata dan bekas perataan tidak seragam pada HC.5 dan HC.7	Kontak <i>compression bar</i> –rubber tidak merata	Marginal
Method	Tidak adanya prosedur baku urutan pengelasan dan perataan	Variasi kualitas finishing antar hatch cover meskipun berada dalam toleransi dimensi	Distribusi tekanan rubber tidak seragam	Marginal
Measurement	Inspeksi berfokus pada hasil UT (PASS/FAIL)	Nilai kebocoran rendah (1–2 dB; OH 2–4%) tetap dinyatakan PASS	Kondisi marginal tidak terdeteksi dini	Marginal–Tidak Sesuai

Hasil validasi ini menyempitkan fokus analisis dari seluruh cabang *fishbone* menjadi tiga penyebab dominan utama, yaitu penyebab berbasis *material–process*, metode kerja, dan pengukuran/inspeksi. Penyebab dominan tersebut selanjutnya dianalisis lebih mendalam menggunakan metode *5 Why's Analysis* untuk menetapkan akar penyebab utama secara sistematis.

4.4.3 Analisis 5 *Why's* (Penentuan Akar Penyebab)

Proses Setelah penyebab dominan ditetapkan melalui proses validasi berdasarkan diagram *fishbone* dan data lapangan, dilakukan analisis 5 *Why's* untuk menelusuri hubungan sebab-akibat secara berurutan, mulai dari gejala yang teridentifikasi hingga mencapai akar penyebab utama. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa permasalahan yang muncul pada *compression bar hatch cover* ponton manual tidak hanya dipahami sebagai kegagalan teknis pada komponen, tetapi sebagai akibat dari kelemahan pada proses fabrikasi, metode kerja, dan sistem inspeksi.

Berdasarkan data pada Tabel Validasi Penyebab Dominan, gejala awal yang dianalisis adalah kondisi *compression bar* yang berada pada kategori marginal, yang ditandai dengan permukaan tidak rata, ketebalan yang tidak seragam, serta nilai kebocoran rendah pada hasil *ultrasonic test*. Gejala tersebut selanjutnya ditelusuri melalui tahapan 5 *Why's* yang tercantum pada table berikut:

Tabel 4. 12 Analisis 5 *Why's*

Tahap Why	Pertanyaan (Why)	Jawaban Berdasarkan Data Lapangan	Keterkaitan dengan Penyebab Dominan
Why 1	Mengapa <i>compression bar</i> berada pada kondisi marginal dan menunjukkan kebocoran ringan?	Karena tekanan antara <i>compression bar</i> dan rubber seal tidak merata di beberapa titik.	Dampak langsung terhadap performa kedap (UT 1–2 dB; OH 2–4%).
Why 2	Mengapa tekanan rubber seal tidak merata?	Karena ketebalan dan kerataan permukaan <i>compression bar</i> bervariasi sepanjang panel.	Sesuai dengan temuan variasi ketebalan dan permukaan tidak rata.
Why 3	Mengapa ketebalan dan kerataan <i>compression bar</i> bervariasi?	Karena terjadi distorsi lokal akibat panas las dan proses perataan yang tidak seragam.	Penyebab dominan jenis Material–Process.
Why 4	Mengapa proses perataan permukaan tidak dilakukan secara konsisten?	Karena tidak terdapat prosedur baku yang mengatur urutan pengelasan dan metode finishing.	Penyebab dominan jenis Method.
Why 5	Mengapa prosedur baku tersebut tidak tersedia dan diterapkan?	Karena sistem inspeksi lebih berfokus pada hasil akhir <i>ultrasonic test</i> (PASS/FAIL) tanpa kriteria kondisi marginal.	Penyebab dominan jenis Measurement.

Berdasarkan analisis 5 *Why's*, akar penyebab utama kondisi marginal pada *compression bar hatch cover* ponton manual adalah tidaknya tersedia dan diterapkannya prosedur fabrikasi serta inspeksi yang terintegrasi untuk mengendalikan kerataan dan toleransi geometris *compression bar*, sehingga kondisi marginal tetap lolos tanpa tindakan korektif.

4.4.4 Penetapan Akar Penyebab Utama (*Root Cause*)

Penetapan akar penyebab utama dilakukan berdasarkan hasil analisis 5 *Why's* yang telah menelusuri keterkaitan antara kondisi fisik *compression bar*, proses fabrikasi, dan sistem inspeksi yang diterapkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa permasalahan yang teridentifikasi pada *hatch cover* ponton manual tidak disebabkan oleh kegagalan material atau cacat struktural secara langsung, melainkan oleh kelemahan pada aspek metode kerja dan sistem pengendalian mutu.

Data lapangan menunjukkan bahwa meskipun material *compression bar* masih berada dalam spesifikasi teknis dan hasil *ultrasonic test* secara umum dinyatakan lulus (*PASS*), tetap ditemukan kondisi marginal berupa permukaan tidak rata, variasi ketebalan mendekati batas toleransi, serta nilai kebocoran rendah (1–2 dB; OH 2–4%). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa permasalahan tidak terletak pada kekuatan material, tetapi pada proses fabrikasi dan pengendalian kualitas yang belum sepenuhnya terintegrasi.

Berdasarkan hasil analisis 5 *Why's*, akar penyebab teknis utama ditetapkan sebagai tidaknya tersedianya dan diterapkannya prosedur baku fabrikasi dan inspeksi yang terintegrasi. Ketiadaan prosedur rinci mengenai urutan pengelasan, metode perataan permukaan, serta kriteria penerimaan pasca-pengelasan menyebabkan variasi kualitas hasil fabrikasi antar *hatch cover* meskipun berada dalam batas toleransi desain.

Selain itu, akar penyebab utama lainnya adalah sistem inspeksi yang masih berfokus pada hasil akhir *ultrasonic test* dengan pendekatan *PASS/FAIL*, tanpa mekanisme identifikasi dan penanganan khusus terhadap kondisi marginal. Hal ini dibuktikan dengan tetap dinyatakan lulus pada *hatch cover* dengan nilai kebocoran rendah dan indikasi ketidakteraturan geometris, sehingga potensi penurunan performa kekedapan tidak terdeteksi secara dini.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa akar penyebab utama dalam penelitian ini berada pada aspek *method* dan *measurement*, bukan pada material atau faktor lingkungan. Penetapan akar penyebab ini menjadi dasar penyusunan rekomendasi teknis berupa pengembangan standar prosedur fabrikasi dan sistem inspeksi yang lebih komprehensif untuk meningkatkan keandalan *hatch cover* ponton manual.

4.5 Penyusunan Rekomendasi Teknis

Berdasarkan hasil penetapan akar penyebab utama yang diperoleh melalui diagram *fishbone*, validasi penyebab dominan, dan analisis 5 *Why's*, dapat disimpulkan bahwa permasalahan pada *compression bar hatch cover* ponton manual tidak hanya disebabkan oleh kondisi fisik komponen, tetapi juga oleh kelemahan pada aspek metode kerja dan sistem inspeksi. Oleh karena itu, diperlukan rekomendasi teknis yang secara langsung menargetkan akar penyebab tersebut agar perbaikan yang dilakukan bersifat efektif dan berkelanjutan. Rekomendasi teknis yang disusun dalam penelitian ini dirumuskan berdasarkan keterkaitan antara akar penyebab, bukti data lapangan, dan dampak teknis yang ditimbulkan terhadap kinerja kekedapan *hatch cover*. Hubungan antara akar penyebab dan rekomendasi teknis tersebut disajikan secara sistematis pada tabel berikut sebagai acuan dalam peningkatan kualitas fabrikasi dan inspeksi *compression bar* pada *hatch cover* ponton manual yang dijabarkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 13 Rekomendasi Teknis

No	Akar Penyebab Utama (Root Cause)	Bukti Data Pendukung	Dampak pada Hatch Cover	Rekomendasi Teknis
1	Tidak adanya prosedur baku fabrikasi compression bar yang terintegrasi	Variasi kerataan dan ketebalan compression bar; permukaan tidak rata pada beberapa hatch cover	Tekanan rubber seal tidak merata; kondisi marginal pada hasil UT	Menyusun dan menerapkan SOP fabrikasi compression bar yang mencakup urutan pengelasan, metode perataan permukaan, dan batas toleransi kerja internal
2	Proses perataan permukaan pasca-pengelasan tidak terstandarisasi	Bekas gerinda kasar dan ketidakteraturan lokal pada permukaan compression bar	Penurunan kualitas kontak compression bar-rubber seal	Menetapkan metode finishing standar dan kriteria kerataan permukaan sebelum pemasangan hatch cover
3	Sistem inspeksi hanya berfokus pada hasil akhir UT (PASS/FAIL)	Kondisi marginal (1–2 dB; OH 2–4%) tetap dinyatakan lulus	Potensi kegagalan tidak terdeteksi dini	Mengembangkan kriteria inspeksi tambahan untuk kondisi marginal dan integrasi hasil visual, pengukuran, dan UT
4	Tidak adanya batas tindak lanjut untuk kondisi marginal	Tidak dilakukan perbaikan meskipun ditemukan penyimpangan ringan	Margin keselamatan sistem kekedapan menurun	Menetapkan prosedur tindakan korektif khusus untuk kondisi marginal sebelum hatch cover dinyatakan layak
5	Kurangnya pengendalian kualitas selama proses fabrikasi	Variasi hasil antar hatch cover meskipun desain sama	Ketidakkonsistenan kualitas produk	Menerapkan kontrol kualitas bertahap (in-process inspection) selama fabrikasi compression bar

Tabel ini menunjukkan bahwa rekomendasi teknis yang dirumuskan tidak bersifat generik, melainkan secara langsung diturunkan dari akar penyebab yang telah diidentifikasi melalui proses *Root Cause Analysis* (RCA) yang sistematis dan berbasis data lapangan. Dengan demikian, setiap rekomendasi memiliki keterkaitan yang jelas antara permasalahan, penyebab mendasar, dan tindakan korektif yang diusulkan. Pendekatan ini menjadikan rekomendasi yang dihasilkan tidak hanya relevan secara teoritis, tetapi juga aplikatif dalam meningkatkan keandalan sistem *hatch cover* ponton manual pada kondisi operasional nyata.