

TUGAS AKHIR
Studi Kebocoran dan Cacat Permukaan Sambungan Las *Fuel Oil*
***Tank* pada *Material ABS Grade A* dengan Menggunakan Metode**
***Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* pada Kapal Tugboat**

Disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai gelar Ahli Madya/Sarjana
Terapan

Dosen Pembimbing 1:
Dr. Muhammad Hasan Albana, S.Pd., M.T.

Dosen Pembimbing 2:
Ifti Luthviana Dewi, S.Pd., Gr., M.Pd.



Disusun oleh:
MUHAMAD FARHAN
4422201003

TEKNOLOGI REKAYASA PENGELASAN DAN FABRIKASI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI BATAM

2026

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KEBOCORAN DAN CACAT PERMUKAAN SAMBUNGAN LAS *FUEL OIL TANK PADA MATERIAL ABS GRADE A DENGAN MENGUNAKAN METODE AIR PRESSURE TEST DAN PENETRANT TEST PADA KAPAL TUGBOAT*

TUGAS AKHIR

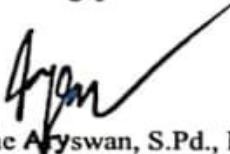
Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana terapan
pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pengelasan Dan Fabrikasi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Batam

Disusun oleh :

MUHAMAD FARHAN
4422201003

Telah diterima dan disetujui pada 27 Juli 2026

Penguji I



Ir. Adhe Aryswan, S.Pd., M.Si

Penguji II



Yosef Adicita, S.fil., M.Sc

Dosen Pembimbing I



Dr. Muhammad Hasan Albana, S.Pd., M.T.

Dosen Pembimbing II



Ifri Luthviana Dewi, S.Pd., Gr., M.Pd.

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Pengelasan Dan Fabrikasi



Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Muhamad Farhan
NIM	: 4422201003
Tahun terdaftar	: 2026
Program Studi	: Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi
Jurusan	: Teknik Mesin

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Laporan Tugas Akhir ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur- unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Tesis ini dikemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Batam, 30 Juli 2026



Muhamad Farhan
4422201003

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Dengan segenap rasa syukur yang tak terhingga, penulis panjatkan puji ke hadirat Allah SWT, Sang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, yang atas rahmat, hidayah, dan cinta-Nya telah menuntun penulis melewati setiap fase kehidupan perkuliahan dari langkah pertama yang penuh keraguan, hingga titik ini, saat lembar demi lembar Tugas Akhir ini akhirnya dapat dirampungkan dengan penuh haru dan bangga. Sungguh, tiada kekuatan yang mampu menopang penulis selain kekuatan yang bersumber dari-Nya semata. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, karunia, kekuatan, dan kemudahan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis tercinta, terima kasih atas kasih sayang, doa, dukungan moral dan materi, serta pengorbanan yang senantiasa diberikan. Segala bentuk dukungan dan doa yang diberikan menjadi kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Kedua saudara/i penulis, yang kehadirannya menjadi penguat di kala lelah tak lagi bisa disembunyikan, dan dukungannya menjadi cahaya kecil yang menerangi jalan penulis.
4. Kepada Nabila Dwi Amanda, A.Md.Ak, penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan, perhatian, dan semangat yang diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Kehadiran dan bantuan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, S.T., M.S.M., CIPMP., CISCIP., selaku Direktur Utama Politeknik Negeri Batam, atas kesempatan dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan.
6. Bapak Ari Wibowo, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, atas arahan dan kebijakan yang mendukung kelancaran studi penulis dari awal hingga akhir.
7. Ibu Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.

8. Ibu Roza Puspita, S.Pd., M.Hum., selaku dosen wali, atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
9. Bapak Dr. Muhammad Hasan Albana, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, arahan, masukan, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
10. Ibu Ifti Luthviana Dewi, S.Pd., Gr., M.Pd., selaku Dosen Pembimbing II, atas bimbingan, arahan, masukan, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
11. Sahabat dan teman-teman penulis, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, bantuan, dan motivasi yang telah diberikan selama proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.
12. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri yang telah berusaha, bertahan, dan terus menyelesaikan setiap proses hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Semoga segala pengalaman dan pembelajaran yang diperoleh selama proses penyusunan tugas akhir ini menjadi bekal yang bermanfaat di masa mendatang.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Batam, 15 Juli 2026

Penyusun



Muhamad Farhan
4422201003

ABSTRAK

Kebocoran dan cacat pada sambungan las *Fuel Oil Tank* berpotensi menimbulkan risiko kebakaran, pencemaran lingkungan, serta kerugian operasional kapal, sehingga kualitas sambungan las perlu dipastikan melalui pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test/NDT*). Penelitian ini didasarkan pada konsep pengelasan kapal, karakteristik material *ABS Grade A*, serta prinsip pengujian NDT menggunakan *Air Pressure Test* (APT) dan *Penetrant Test* (PT) yang mengacu pada standar *BKI Volume I* dan *II* serta *ASME Section V* dan *VIII*. Penelitian bertujuan mengevaluasi kedap dan cacat permukaan sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) kapal tugboat. Metode yang digunakan adalah eksperimen lapangan dengan pendekatan deskriptif. Data diperoleh melalui pelaksanaan *Air Pressure Test* bertekanan 0,2 bar pada seluruh sambungan tangki serta *Penetrant Test* pada empat titik sampel sepanjang 300 mm, kemudian dianalisis secara deskriptif berdasarkan standar acuan. Hasil penelitian menunjukkan *Air Pressure Test* dilakukan tiga kali hingga tangki dinyatakan kedap, sedangkan *Penetrant Test* menemukan dua dari empat sampel mengandung cacat berupa *undercut* dan *surface slag* yang melebihi batas penerimaan. Setelah perbaikan, seluruh sambungan las memenuhi kriteria kedap *BKI Volume I* dan kriteria penerimaan cacat *ASME Section VIII*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* memberikan informasi yang berbeda dan saling terpisah mengenai kondisi sambungan las *Fuel Oil Tank* kapal tugboat.

Kata kunci: *Fuel Oil Tank*, *Air Pressure Test*, *Penetrant Test*, sambungan las, *ABS Grade A*

ABSTRACT

Leaks and defects in the welded joints of fuel oil tanks have the potential to cause fire hazards, environmental pollution, and operational losses for the vessel therefore, the quality of the welded joints must be verified through non-destructive testing (NDT). This study is based on ship welding concepts, the characteristics of ABS Grade A material, and NDT testing principles using the Air Pressure Test (APT) and Penetrant Test (PT), which refer to BKI Volumes I and II as well as ASME Sections V and VIII. The study aims to evaluate the leak tightness and surface defects of the weld joints on the right side (STBD) of Fuel Oil Tank No. 3 of a tugboat. The method used was a field experiment with a descriptive approach. Data were obtained by conducting an Air Pressure Test at a pressure of 0.2 bar on all tank joints and a Penetrant Test on four sample points, each 300 mm long, and were then analyzed descriptively based on the reference standards. The results showed that the Air Pressure Test was performed three times until the tank was declared leak-tight, while the Penetrant Test found that two of the four samples contained defects in the form of undercuts and surface slag that exceeded the acceptance limits. After repairs, all welded joints met the leak-tightness criteria of BKI Volume I and the defect acceptance criteria of ASME Section VIII. This study concludes that the Air Pressure Test and the Penetrant Test provide distinct and separate information on the condition of welded joints in tugboat fuel oil tanks.

Keywords: *Fuel Oil Tank, Air Pressure Test, Penetrant Test, Welded Joint, ABS Grade A*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar belakang.....	13
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Batasan Masalah	15
1.4 Tujuan Penelitian	16
1.5 Manfaat Penelitian	16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu	18
2.1 Teori/Konsep dasar	23
2.2.1 Pengelasan dalam Proses Pembuatan Kapal	23
2.2.2 Material <i>ABS Grade A</i> untuk Konstruksi Kapal	24
2.2.3 Pengujian Tidak Merusak (<i>Non Destructive Test</i>) pada Proses Pengelasan ...	26
2.2.3 Pengujian NDT menggunakan Metode Penetrant test	26
2.2.4 Pengujian NDT menggunakan Metode <i>Air Pressure Test</i>	30
2.2.5 Perbedaan Fungsi <i>Air Pressure Test</i> dan <i>Penetrant Test</i>	34
2.2.6 Standar Acuan dalam Proses Pengujian <i>Penetrant Test</i> dan <i>Air Pressure Test</i>	34
BAB III.....	39
METODOLOGI.....	39
3.1 Metode yang digunakan.....	39
3.2 Ruang Lingkup Penelitian.....	41
3.3 Prosedur Penelitian	42
3.3.1 Tahapan Persiapan	42
3.3.2 Penentuan Sampel Penelitian	45
3.3.3 Proses Pengujian dan Pemeriksaan <i>Air Pressure Test</i>	47
3.3.4 Proses Pengujian dan Pemeriksaan <i>Penetrant Test</i>	49
3.4 Pengambilan dan Validasi Data	51
3.4.1 Metode Studi Hasil Pengujian.....	52

3.4.2 Dasar Penentuan <i>Accept/Reject</i>	52
3.4.3 Pendekatan Studi Komparatif Data.....	53
3.5 Variabel Penelitian.....	53
3.6 Teknik Pengolahan.....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian	55
4.2 Hasil Pengujian <i>Air Pressure Test</i>	55
4.3 Hasil Pengujian <i>Penetrant Test</i>	57
4.4 Pembahasan Hasil <i>Air Pressure Test</i>	59
4.5 Pembahasan Hasil <i>Penetrant Test</i>	62
4.5.1 Sampel 1 – <i>Groove Weld, Tank Top</i>	62
4.5.2 Sampel 2 – <i>T-Joint, Tank Top</i>	63
4.5.3 Sampel 3 – <i>Cross Joint, Bottom</i>	63
4.5.4 Sampel 4 – <i>Cross Joint, Bottom</i>	64
4.5.5 Hasil Setelah Repair.....	65
4.5.6 Analisis Pola Cacat dan Validasi Metode	67
4.6 Evaluasi Kualitas Sambungan Las Berdasarkan <i>Air Pressure Test</i> dan <i>Penetrant Test</i>	67
4.7 Validasi Hasil Pengujian.....	68
4.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan	70
5.1.1 Hasil Pengujian <i>Air Pressure Test</i>	70
5.1.2 Hasil Pengujian <i>Penetrant Test</i>	70
5.1.3 Evaluasi Kualitas Sambungan Las Berdasarkan Kombinasi <i>Air Pressure Test</i> dan <i>Penetrant Test</i>	71
5.2 Saran	71
5.2.1 Pelaksanaan Pengujian <i>Non Destructive Test</i> (NDT)	71
5.2.2 Dokumentasi Hasil Inspeksi.....	72
5.2.3 Keterbatasan Penelitian.....	72
5.2.4 Pengembangan Penelitian Selanjutnya	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	18
Tabel 2.2 Minimum Dwell Times(Waktu Tunggu)	36
Tabel 2.3 Kriteria Penerimaan Penetrant Test	37
Tabel 3.1 Tank Calibration / Tank Capacity (Data Perusahaan)	42
Tabel 3.2 Alat dan Bahan Air Pressure Test dan Penetrant Test	43
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Air Pressure Test	55
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Penetrant Test	57
Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Air Pressure Test dan Penetrant Test.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cairan Penetrant (sumber: Gambar Pribadi)	27
Gambar 2. 2 Kapilaritas Penetrant Test (Endramawan dkk., 2017).....	28
Gambar 2. 3 Pressure Gauge(sumber: Gambar Pribadi).....	30
Gambar 2. 4 Testing Manometer Air Pressure Test (Sumber: Gambar Pribadi) ..	31
Gambar 3. 1 Flowchart (Alur Penelitian).....	40
Gambar 3. 2 Fuel Oil Tank No 3 (Drawing Perusahaan dan Gambar Pribadi)	42
Gambar 3. 3 Kompresor Angin dan Selang Khusus Angin (Gambar Pribadi)	44
Gambar 3. 4 Mesin Pompa Air, Selang dan Tabung Air (Gambar Pribadi)	44
Gambar 3. 5 Pipa input dan Output/Pipa Penetrasi dari Pipa Udara, Valve dan Pressure Gauge (Gambar Pribadi).....	44
Gambar 3. 6 Develover(Hijau), Cleaner(Biru), Penetrant(Merah) (Gambar Pribadi).....	45
Gambar 3. 7 Sampel Area Pengelasan yang Terkena pengujian Air Pressure Test di Tandakan Dengan Garis Biru (Gambar Pribadi).....	46
Gambar 3. 8 Sampel Area Pengelasan yang Terkena pengujian Penetrant Test di Tandakan Dengan Garis Biru pada Gambar 1 & 2 di Area Tank Top dan Gambar 3 di Area Bottom (Gambar Pribadi).....	47
Gambar 3. 9 Mengisi Udara pada Tanki dengan Tekanan 0,2 Bar Menggunakan Pressure Gauge dan 1,8 – 2 M Menggunakan Menometer Air(Gambar Pribadi). 48	
Gambar 3. 10 Melakukan Penyemprotan Menggunakan Air Sabun pada Area Welding dan Melakukan Pemeriksaan Visual pada Area Welding yang Terkena Penyemprotan Air Sabun (Gambar Pribadi)	48
Gambar 3. 11 Melakukan Perbaikan pada Area Welding yang Mengalami Kebocoran (Gambar Pribadi)	48
Gambar 3. 12 Melakukan Penggerindaan Menggunakan Mata Gerinda Brus untuk Membersihkan Area Welding yang akan Dilakukan Pengujian Penetrant Test (Gambar Pribadi).....	49
Gambar 3. 13Melakukan Pembersihan pada Area Welding yang Sudah di Brus Menggunakan Cleaner dan Melakukan Pengaplikasian Cairan Penetrant Pada Area Welding (Gambar Pribadi)	50
Gambar 3. 14 Melakukan Pembersihan Pada Area Welding yang sudah dilakukan pengaplikasian Cairan Penetrant dengan menggunakan Cleaner dan Melakukan Penyemprotan Cairan Develover (Gambar Pribadi)	50
Gambar 3. 15 Melakukan Pemeriksaan Visual Pada Area Yang Sudah Dilakukan Pengaplikasian Cairan Develover (Gambar Pribadi)	50
Gambar 3. 16 Melakukan Perbaikan Pada Area Welding Yang Memiliki Cacat Las Melebihi Batas Toleransi (Gambar Pribadi)	51
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengujian Air Pressure Test (Gambar Pribadi)	56
Gambar 4. 2 Skema Letak Titik Kebocoran Pada Pengujian Air Pressure Test (Gambar Pribadi).....	57
Gambar 4. 3 Skema Letak Titik Cacat Permukaan Pada Pengujian Penetrant Test (Gambar Pribadi).....	59
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Air Pressure Test pada Area yang Terjadi Kebocoran (Gambar Pribadi)	61
Gambar 4. 5 Melakukan Perbaikan (Repair) pada Area yang Mengalami Kebocoran (Gambar Pribadi)	61
Gambar 4. 6 Hasil Akhir Pada Pengujian Ke 3 Air Pressure Test Tidak	

Menemukan Kebocoran (Gambar Pribadi)	62
Gambar 4. 7 Hasil Penetrant pada Sampel 1 – Groove Weld Area Tank Top (Gambar Pribadi).....	62
Gambar 4. 8 Hasil Penetrant pada Sampel 2 – T-Joint Area Tank Top (Gambar Pribadi).....	63
Gambar 4. 9 Hasil Penetrant pada Sampel 3 – Cross Joint Area Bottom (Gambar Pribadi).....	64
Gambar 4. 10 Hasil Penetrant pada Sampel 4 – Cross Joint Area Bottom (Gambar Pribadi).....	65
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Penetrant Test yang Menemukan Cacat Permukaan Pada Area Pengelasan Yang Melebihi Batas Toleransi (Gambar Pribadi).....	66
Gambar 4. 12 Proses Perbaikan(Repair) Pada Sambungan Las Yang Memiliki Cacat Permukaan Yang Melewat Batas Toleransi (Gambar Pribadi).....	66
Gambar 4. 13 Hasil Akhir Setelah Dilakukan Perbaikan Dan Dilakukan Pengujian Ulang Tidak Ditemukan Lagi Cacat Permukaan Pada Hasil Pengelasan (Gambar Pribadi).....	66

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dalam dunia maritim, galangan kapal memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung perkembangan transportasi laut suatu negara. Proses pembangunan kapal menuntut pemenuhan standar keselamatan dan kualitas yang tinggi, terutama pada struktur yang berhubungan langsung dengan sistem bahan bakar, seperti *Fuel Oil Tank* (Syaifullah dkk., 2023). *Fuel Oil Tank* merupakan komponen *vital* karena berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan bakar yang mudah terbakar dan berisiko tinggi terhadap keselamatan kapal serta lingkungan apabila terjadi kebocoran.

Salah satu tahapan penting dalam pembangunan kapal baru adalah proses pengelasan (*welding*). Pengelasan merupakan metode penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi sehingga terbentuk sambungan yang kontinu dan memiliki kekuatan struktural yang memadai (Pratama dkk., 2020). Kualitas sambungan las yang baik sangat menentukan kekuatan struktur kapal secara keseluruhan. Sebaliknya, sambungan las yang tidak memenuhi persyaratan dapat menimbulkan cacat las yang berpotensi menyebabkan kebocoran maupun kerusakan struktural, khususnya pada area tangki kapal (Herlina dkk., 2018). Kebocoran pada *Fuel Oil Tank* dapat menimbulkan dampak yang serius, antara lain risiko kebakaran, pencemaran lingkungan laut, gangguan operasional kapal, serta kerugian *finansial* bagi perusahaan dan pihak terkait. Menurut Prayoga (2023), kebocoran tangki bahan bakar tidak hanya merugikan pihak perusahaan dan kapal, tetapi juga dapat membahayakan lingkungan dan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, kualitas sambungan las pada *Fuel Oil Tank* harus dipastikan dalam kondisi yang memenuhi standar keselamatan sebelum kapal dioperasikan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kegagalan sambungan las pada *Fuel Oil Tank* tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan. Dengan demikian, diperlukan pengujian yang mampu memastikan bahwa sambungan las pada tangki bahan bakar

benar-benar memenuhi persyaratan kedap dan bebas dari cacat pada sambungan las sebelum kapal dinyatakan layak. Untuk menjamin kualitas hasil pengelasan tersebut, diperlukan pengujian menggunakan metode pengujian tidak merusak atau *Non-Destructive Test (NDT)*. NDT merupakan metode pengujian yang dilakukan tanpa merusak material dengan tujuan mendeteksi cacat las, diskontinuitas, serta mengevaluasi kondisi sambungan las yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktural atau kebocoran (Faizal & Umam, 2018). Berbagai metode NDT telah dikembangkan dan digunakan dalam industri perkapalan, di mana setiap metode memiliki fungsi dan tujuan pengujian yang berbeda sesuai dengan kebutuhan pemeriksaan (Endramawan dkk., 2017; Jokosisworo & Yudo, 2007).

Dalam proses pengujian tangki kapal, metode *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* merupakan dua metode NDT yang umum diterapkan. *Air Pressure Test* digunakan untuk menguji kedap sambungan las pada tangki tertutup dengan cara memberikan tekanan udara tertentu sesuai dengan ketentuan *BKI Volume 1 Classification and Construction*, sehingga dapat diketahui ada atau tidaknya indikasi kebocoran pada sambungan las (Herlina dkk., 2018; Syaifullah dkk., 2023). Sementara itu, *Penetrant Test* digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan terbuka pada sambungan las, seperti retak dan porositas, dengan sensitivitas tinggi dan prosedur pengujian yang mengacu pada *ASME Section V Article 6* serta kriteria penerimaan berdasarkan *ASME Section VIII* (Pratama dkk., 2020). *Fuel Oil Tank* tidak hanya dituntut kuat secara struktural, tetapi juga harus memenuhi persyaratan kedap yang tinggi karena berisi bahan bakar yang mudah terbakar. Oleh karena itu, diperlukan metode pengujian yang mampu memberikan informasi langsung mengenai kondisi kebocoran sekaligus kondisi cacat permukaan sambungan las. *Air Pressure Test* digunakan untuk menilai kedap tangki secara fungsional, sedangkan *Penetrant Test* digunakan untuk mengidentifikasi cacat permukaan sambungan las yang berpotensi menjadi sumber kebocoran. Kedua metode tersebut memberikan informasi yang berbeda dan tidak saling menggantikan, sehingga penerapannya pada objek yang sama menjadi penting untuk memperoleh gambaran kondisi sambungan las *Fuel Oil Tank* secara menyeluruh.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* umumnya dilakukan sesuai dengan fungsi masing-masing dan disajikan secara terpisah. Namun, dalam praktik di galangan kapal, kedua metode tersebut sering digunakan secara *bersamaan* sebagai bagian dari rangkaian pemeriksaan kualitas sambungan las pada tangki kapal. Meskipun demikian, penyajian dan evaluasi hasil pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* secara deskriptif dan terstruktur pada satu objek *Fuel Oil Tank* kapal tugboat masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menyajikan dan mengevaluasi hasil pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* pada sambungan las *Fuel Oil Tank* kapal tugboat. Penelitian ini tidak bertujuan untuk membandingkan kedua metode pengujian maupun menganalisis hubungan sebab-akibat, melainkan memberikan gambaran kondisi sambungan las berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh sesuai dengan standar yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil pengujian kededapan sambungan las *Fuel Oil Tank No. 3 (STBD)* menggunakan metode *Air Pressure Test*?
2. Bagaimana hasil identifikasi cacat permukaan pada sambungan las *Fuel Oil Tank No. 3 (STBD)* menggunakan metode *Penetrant Test*?
3. Bagaimana kualitas sambungan las *Fuel Oil Tank No. 3 (STBD)* berdasarkan hasil *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* mengacu pada standar BKI dan ASME?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada area Tangki Bahan Bakar Minyak No. 3 sisi kanan (NO.3 FOT (S)) pada kapal tugboat yang menggunakan material *ABS Grade A* (baja karbon rendah) dengan ketebalan 9 mm. Berdasarkan tabel kalibrasi tangki, NO.3 FOT (S) memiliki kapasitas *volume* sebesar 19,454 m³ pada sounding 1,740 m. Oleh karena itu, seluruh pengujian dalam penelitian ini hanya difokuskan pada tangki tersebut, dengan menggunakan metode *Non-Destructive Test* (NDT) berupa *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* mengacu pada standar *BKI Vol. I (2022)*, *BKI Vol. II (2022)*, *ASME Sec. V (2023)*, dan *ASME Sec. VIII (2023)*. Penelitian ini

bertujuan untuk mengetahui kedapatan, kualitas hasil pengelasan, serta jenis cacat permukaan pada sambungan las di area Tangki Bahan Bakar Minyak No. 3 sisi kanan (NO.3 FOT (S)) pada kapal tugboat. Penelitian ini tidak mencakup pembahasan struktur tangki secara keseluruhan maupun pengujian sifat mekanik dan metalurgi logam, sehingga fokus penelitian tetap terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui hasil pengujian kedapatan sambungan las *Fuel Oil Tank no 3 (STBD)* dengan menggunakan pengujian *Air Pressure Test*.
2. Mengidentifikasi jenis cacat permukaan pada sambungan las *Fuel Oil Tank no 3 (STBD)* berdasarkan hasil pengujian *Penetrant Test*.
3. Mengevaluasi kualitas sambungan las *Fuel Oil Tank No. 3 (STBD)* berdasarkan hasil pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* sesuai standar BKI dan ASME.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam berbagai aspek, baik untuk pengembangan ilmu pengetahuan, peneliti sendiri, industri galangan kapal, dan juga masyarakat umum. Jika dari sisi ilmu pengetahuan, penelitian ini berperan dalam memperkaya kajian di bidang teknologi pengelasan dan pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing*) melalui penyediaan data empiris yang dapat digunakan untuk mengembangkan metode pengujian yang lebih akurat, efisien, serta penerapan pada metode pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* dalam mendeteksi kebocoran atau cacat permukaan sambungan las pada tangki bahan bakar kapal. Secara tidak langsung, hasil penelitian ini juga mendukung penguatan standar keselamatan maritim dan dapat mendorong inovasi di bidang teknologi NDT. Bagi peneliti sendiri, kegiatan ini menjadi sarana untuk memperdalam pemahaman teoritis dan praktis mengenai proses pengelasan, teknik inspeksi NDT, serta penerapan standar keselamatan maritim, sekaligus memberikan pengalaman langsung dalam melaksanakan pengujian di dalam lingkungan galangan kapal dan memahami faktor penyebab terjadinya kebocoran atau cacat pada sambungan las. Bagi perusahaan atau

galangan kapal, hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan evaluasi agar dapat meningkatkan kualitas pekerjaan pengelasan, khususnya pada area tangki bahan bakar, yang dimana dapat meminimalkan risiko terjadinya kebocoran atau cacat pengelasan yang dapat menimbulkan kerugian finansial, gangguan operasional, maupun ancaman keselamatan. Secara lebih luas, bagi masyarakat umum, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan keselamatan pelayaran dan perlindungan lingkungan dengan mencegah kebocoran bahan bakar yang berpotensi mencemari laut, sehingga turut menjaga kelestarian ekosistem laut serta kesehatan masyarakat pesisir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Metode Pengujian	Hasil	Persamaan dan Perbedaan
1.	Herlina dkk., 2018	Analisa Teknis Pengujian Kekedapan Pengelasan Pada Tangki Tongkang Dengan Membandingkan Metode <i>Chalk Test</i> , <i>Air Pressure Test</i> dan <i>Vacuum Test</i>	<i>Chalk Test</i> , <i>Air Pressure Test</i> , <i>Vacuum Test</i>	<i>Air Pressure Test</i> paling akurat dan tercepat dalam mendeteksi kebocoran dibanding metode lain	Persamaan : Pada pengujian ini membahas tentang kekedapan las dan <i>Air Pressure Test</i> . Perbedaan: Tidak dikombinasikan dengan <i>Penetrant Test</i>
2.	Muh. Syaifullah A. dkk., 2023	Evaluasi Pengujian Hasil <i>Welding Plat</i> Dengan Metode <i>Chalk Test</i> dan <i>Air Pressure Test</i>	<i>Chalk Test</i> , <i>Air Pressure Test</i>	<i>Air Pressure Test</i> lebih detail mendeteksi kebocoran dan waktu pengujian lebih singkat.	Persamaan : Penelitian ini Sama-sama menggunakan metode <i>Air Pressure</i>

					<i>Test</i> pada hasil las. Perbedaan: Tidak membahas cacat permukaan dengan pengujian metode <i>Penetrant Test</i> dan bukan objek <i>Fuel Oil Tank</i>
3.	Riyanto dkk., 2022	Analisa Kekedapan Sambungan Papan Laminasi Komposit Berpenguat Serat Bambu Apus Dengan Matrik Resin Epoxy	<i>Air Pressure Test</i>	Pada hasil pengujian sambungan <i>butt joint</i> lebih kedap dibanding <i>scarf joint</i> dengan tekanan maksimum lebih tinggi.	Persamaan : Melakukan pengujian k kedapan sambungan menggunakan metode <i>Air Pressure Test</i>. Perbedaan: Penelitian ini menggunakan material yang bukan

					baja dan tidak membahas pengelasan tangki
4.	Suseno, 2025	Evaluasi Visual dan Uji Penetrant Wire Rope Sling pada pesawat angkat di industri panas bumi	<i>Visual Test, Penetrant Test</i>	Hasil inspeksi menunjukkan tidak ditemukan indikasi cacat permukaan seperti crack atau corrosion pits yang signifikan.	Persamaan : Pada penelitian ini menggunakan metode <i>Penetrant Test</i> sesuai dengan standart ASME. Perbedaan: Objek penelitian bukan pada sambungan las tangki dan tidak membahas kebocoran
5.	Siagian dkk., 2022	Inspeksi Liquid Penetrant Sambungan Pengelasan Smaw Pada Fabrikasi <i>Frame Acid Skid</i>	<i>Visual Test, Liquid Penetrant Test</i>	Hasil pengujian tidak ditemukan cacat las atau diskontinuitas, hasil	Persamaan : Penelitian ini sama-sama menggunakan pengujian

				pengelasan dinyatakan accepted	<i>Penetrant Test</i> pada sambungan las. Perbedaan: Tidak menggunakan pengujian <i>Air Pressure Test</i> dan bukan membahas area pada tangki bahan bakar
6.	Endramawan dkk., 2017	Analisa Hasil Pengelasan <i>SMAW 3G Butt Joint</i> Menggunakan <i>Non Destructive Test Penetrant Testing</i> (NDT-PT) Berdasarkan Standar ASME	Liquid Penetrant Test	Hasil pengujian ditemukan adanya <i>porosity</i> , sebagian spesimen <i>accepted</i> dan sebagian <i>rejected</i>	Persamaan: Penelitian ini sama-sama menggunakan metode pengujian <i>Penetrant Test</i> untuk evaluasi cacat las. Perbedaan: Tidak mengkaji kedalaman

					dan objek bukan tangki
7.	Faizal & Umam, 2018	Analisis Kekuatan dan Kualitas Sambungan Las Dengan <i>Variasi Pendinginan Oli</i> dan Udara Pada Material ASTM A36 Dengan Pengujian Ndt (<i>Non Destructive Test</i>)	<i>Penetrant Test,</i> <i>Radiograf</i> <i>i</i> dan Uji Tarik	Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan pendinginan menggunakan udara memiliki kuat tarik dan beban mulur lebih rendah dibandingkan dengan pendinginan menggunakan oli, Hasil uji penetran menunjukkan bahwa hasil dari pendinginan menggunakan oli dan pendinginan menggunakan udara sama baiknya dan dinyatakan lulus uji dan Hasil uji <i>x-ray</i>	Persamaan : Sama- sama mengkaji kualitas sambungan las dan menggunakan metode <i>Penetrant Test</i> . Perbedaan: Tidak membahas kebocoran dan <i>Air Pressure Test</i>

				menunjukkan pendinginan menggunakan udara terdapat cacat yaitu adanya <i>porosity</i> pada bagian sambungan pengelasannya, sedangkan untuk pendinginan menggunakan oli tidak ditemukan adanya cacat sama sekali.	
--	--	--	--	--	--

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Suseno, 2025; Siagian dkk., 2022, Pratama dkk., 2020; Faizal dan Umam, 2018; Endramawan dkk., 2017; Herlina dkk, 2018; Muh. Syaifullah.A dkk, 2023 mereka hanya menggunakan satu metode NDT secara terpisah. Sedangkan, penelitian yang menggabungkan metode *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* masih terbatas. Maka dari itu penelitian ini akan menggunakan untuk *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* untuk mengevaluasi kekedapan dan cacat permukaan sambungan las pada hasil pengelasan *Fuel Oil Tank* dan kajian terhadap sambungan las tangki bahan bakar kapal tugboat masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.

2.1 Teori/Konsep dasar

2.2.1 Pengelasan dalam Proses Pembuatan Kapal

Dalam dunia maritim galangan kapal sangat berperan penting dalam mengembangkan transportasi laut dalam suatu negara. Namun terlepas dari itu,

tentunya terdapat berbagai tantangan yang harus dihadapi. Salah satu yang perlu diperhatikan kualitas dari proses pengerjaan di galangan kapal yaitu pengelasan (*welding*) (Syaifullah dkk., 2023).

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan atau melelehkan sebagian logam induk dan logam pengisi agar mendapatkan hasil sambungan las yang bagus dan kontinyu. Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam yang paling sering digunakan dalam berbagai industri, seperti konstruksi, manufaktur, minyak dan gas, serta otomotif. Kualitas dari sambungan las sangat menentukan kekuatan struktural suatu komponen atau sistem. Oleh karena itu, evaluasi hasil dari pengelasan menjadi hal yang sangat penting untuk menjamin keselamatan dan kinerja produk akhir. Dalam konteks ini, pengujian sambungan las menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses pengendalian mutu (Pratama dkk., 2020).

Hal ini didukung oleh penelitian lain dari Sunaryo, (2008) bahwa peran dan volume pekerjaan pengelasan pada kapal sangatlah besar, dimana keterampilan seorang juru las dituntut mempunyai kompetensi secara mandiri (*individual skill*). Dengan demikian seorang juru las perlu mendapatkan pengetahuan dan keterampilan yang matang agar proses pengelasan yang dilakukan mempunyai mutu dan kecepatan yang tinggi. Las Kapal merupakan metode penyambungan baja pada kapal dengan mengikuti standar yang berlaku untuk pembangunan kapal dan pada proses pembangunan kapal biasanya menggunakan proses las busur listrik (*SMAW*), las busur rendam (*SAW*) dan proses las busur listrik dengan pelindung gas (*FCAW/GMAW*).

Kesimpulan, pengelasan merupakan salah satu bagian terpenting dalam proses pembuatan kapal, yang dimana pengelasan merupakan penyambungan logam atau baja dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi yang dilakukan oleh juru las (*welder*) dengan metode pengelasan yang biasa digunakan yaitu *SAW*, *SMAW* dan *FCAW/ GMAW*.

2.2.2 Material *ABS Grade A* untuk Konstruksi Kapal

Material baja *Grade A* merupakan baja karbon rendah yang biasa digunakan untuk pembuatan kapal, tongkang, dan peralatan kelautan. Material ini dipilih karena tahan terhadap korosi air laut yang lebih korosif dibanding air tawar

(Syukron & Baskoro, 2021). *Baja Grade A* dapat digunakan untuk seluruh bagian bangunan kapal dan harus memenuhi standar konstruksi dari biro klasifikasi seperti ABS, BKI, atau RINA (Purwanto dkk., 2024).

2.2.2.1 Komposisi Kimia Baja Grade A

Komposisi kimia adalah identitas dan susunan unsur-unsur yang membentuk suatu material. Material baja *Grade A* terdiri dari beberapa unsur yang digabungkan, yaitu Karbon, Silikon, Mangan, Fosfor, Belerang, dan unsur paduan lainnya (Syukron & Baskoro, 2021). Berdasarkan penelitian Syukron dan Baskoro (2021), komposisi kimia material *ABS Grade A* adalah: Karbon (C) 0,13%, Silikon (Si) 0,21%, Mangan (Mn) 0,79%, Fosfor (P) 0,015%, Belerang (S) 0,003%, Niobium (Nb) <0,005%, Tembaga (Cu) 0,01%, Krom (Cr) 0,03%, Nikel (Ni) 0,05%, Molibdenum (Mo) <0,005%, Vanadium (V) 0,007%, Aluminium (Al) 0,03%, Titanium (Ti) <0,002%, dan Nitrogen (N) 0,004%. Komposisi ini menunjukkan bahwa *Grade A* termasuk baja karbon rendah dengan kandungan karbon yang sangat rendah sehingga memiliki kemampuan pengelasan yang baik.

2.2.2.2 Sifat Mekanis Baja Grade A

Sifat mekanis adalah sifat material yang berkaitan dengan kelakuan ketika terkena beban mekanis yang diterapkan pada logam. Sifat-sifat ini perlu diperhitungkan saat menentukan material konstruksi logam dan proses pengolahan yang akan dilakukan (Widodo dkk., 2024). Berdasarkan penelitian Widodo dkk. (2024), sifat mekanis baja *Grade A* memiliki kekuatan luluh sebesar 235 MPa, kekuatan tarik antara 400–520 MPa, dan *elongasi* 22%. Penelitian Syukron dan Baskoro (2021) menunjukkan bahwa kekuatan tarik hasil pengelasan *ABS Grade A* dengan proses FCAW mencapai 426 N/mm², kekuatan luluh 300 N/mm², dan *elongasi* 26%. Nilai ini memenuhi persyaratan kekuatan tarik material dasar, yang menunjukkan bahwa material *Grade A* memiliki sifat mekanis yang baik untuk konstruksi kapal.

2.2.2.3 Karakteristik dan Aplikasi ABS Grade A

Baja Grade A memiliki beberapa karakteristik utama yang membuatnya cocok untuk konstruksi kapal. Pertama, memiliki kekuatan tarik dan luluh yang cukup untuk menahan beban struktural selama pengoperasian kapal (Purwanto dkk., 2024). Kedua, daktilitas yang memungkinkan deformasi tanpa kegagalan

getas, penting saat terjadi benturan atau pembebanan dinamis (Syukron & Baskoro, 2021). Ketiga, kemampuan pengelasan yang baik karena karbon rendah, sehingga material mudah dilas tanpa *preheating* untuk ketebalan di bawah 25 mm (Widodo dkk., 2024). Keempat, ketahanan korosi yang dirancang untuk menahan korosi pada lingkungan laut (Purwanto dkk., 2024). *ABS Grade A* digunakan hampir pada seluruh bagian badan kapal, meliputi konstruksi lambung, dek/geladak, sekat/bulkhead, dan tangki bahan bakar yang memerlukan kekedapan dan kualitas pengelasan tinggi (Syukron & Baskoro, 2021).

2.2.3 Pengujian Tidak Merusak (*Non Destructive Test*) pada Proses Pengelasan

Non Destructive Testing (Uji Tidak Merusak) adalah salah satu pengujian yang dapat dilakukan pada suatu material, komponen, struktur, atau mengukur beberapa karakteristik tanpa merusak komponen atau material benda uji tersebut. Metode pengujian NDT bertujuan untuk mencari dan mengetahui karakteristik dan kondisi material, serta kekurangan yang mungkin menyebabkan komponen mengalami kegagalan, juga dapat mengganggu kinerja unit dan mencegah mencegah hal hal yang tidak diinginkan dalam proses operasional kapal. Pengujian ini dilakukan dengan cara yang tidak mempengaruhi fungsi komponen, karena NDT memungkinkan bagian dan material yang akan diperiksa dan diukur tanpa harus merusak. Karena pemeriksaan dilakukan tanpa mengganggu struktur dan fungsi utama komponen. NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara kontrol kualitas dan efektifitas biaya, sehingga secara umum NDT dapat dilakukan untuk inspeksi pada kondisi lingkungan terbuka maupun tertutup (Faizal & Umam., 2018). Ada beberapa metode dalam pengujian *Non Destructive Test* ini, diantaranya yaitu *magnetic particle inspection*, *liquid penetrant testing*, *eddy current* (pengujian *eddy*), *acoustic emission*, *leak test* (uji kebocoran), *ultrasonic*, *proof test* (Jokosisworo & Yudo, 2007).

2.2.3 Pengujian NDT menggunakan Metode Penetrant test

Penetrant test merupakan pengujian untuk mendeteksi cacat terbuka pada permukaan bahan padat dan tidak berpori dengan menggunakan gaya kapiler untuk menentukan indikasi cacat dari hasil pengelasan seperti retak, berlubang dan cacat permukaan lainnya (Pratama dkk., 2020). *Penetrant test* dengan warna merah

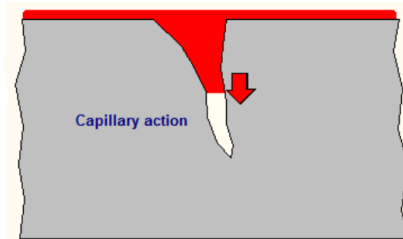
meresap masuk kedalam permukaan yang terindikasi cacat, kemudian liquid penetrant dikeluarkan dari dalam cacat las dengan menggunakan cairan pengembang (*developer*) yang warnanya kontras dengan *liquid penetrant* (putih). Terdeteksinya cacat pada hasil las adalah timbulnya bercak - bercak merah (*liquid penetrant*) yang keluar dari dalam permukaan yang terindikasi cacat las. Cacat pengelasan yang mampu dideteksi dengan pengujian ini adalah diskontinuitas yang bersifat terbuka dengan prinsip kapilaritas. Deteksi cacat las dengan cara ini tidak terbatas pada ukuran, bentuk arah *diskontinuitas*, struktur bahan maupun komposisinya. *Liquid penetrant* dapat meresap kedalam celah pada cacat las yang sangat kecil. Pengujian *penetrant* tidak dapat mendeteksi kedalaman dari cacat las. Proses ini banyak digunakan untuk menyelidiki keretakan permukaan (*surface cracks*), kekeroposan (*porosity*), lapisan- lapisan bahan, dll seperti yang dilakukan oleh (Suseno, 2025; Siagian dkk., 2022, Pratama dkk., 2020; Faizal dan Umam, 2018; Endramawan dkk., 2017). Penggunaan uji *liquid penetrant* tidak terbatas pada logam *ferrous* dan *non ferrous* saja tetapi juga pada *ceramics*, *plastic*, gelas, dan benda-benda hasil powder metalurgi. Penggunaan uji *liquid penetrant* ini sangat terbatas, misalnya keretakan atau kekeroposan yang ada dapat dideteksi jika keretakan tersebut merambat hingga ke permukaan benda (Endramawan dkk., 2017 ; Faizal & Umam, 2018).



Gambar 2. 1 Cairan Penetrant (sumber: Gambar Pribadi)

Pada pengujian *penetrant test* untuk mendeteksi cacat pengelasan metode ini menggunakan prinsip kapilaritas dalam mendeteksi cacat pada permukaan hasil pengelasan. Prinsip Kapilaritas adalah gejala zat cair melalui celah-celah sempit atau pipa rambut. Celah-celah sempit atau pipa rambut ini sering disebut pipa kapiler. Gejala kapilaritas disebabkan adanya gaya adhesi atau kohesi antara zat

cair dengan dinding celah itu. Pengertian lain mengenai kapilaritas yaitu merupakan peristiwa naik turunnya permukaan zat cair pada pipa kapiler yang disebabkan adanya gaya adhesi dan kohesi.



Gambar 2. 2 Kapilaritas Penetrant Test (Endramawan dkk., 2017)

Berdasarkan *ASME section V artikel 6* yang menjelaskan mengenai *liquid penetrant test*, dalam hal ini cairan penetrant yang digunakan dalam pengujian, penetrant ini dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis zat pewarna yang ditambahkan, yaitu:

1. *Visible dye penetrants*: Penetrant ini mengandung zat pewarna berwarna merah yang dapat terlihat secara visual. Pewarna ini membantu dalam deteksi cacat pada permukaan yang terbuka.
2. *Fluorescent penetrants*: penetrant ini mengandung zat pewarna fluorescent yang menghasilkan warna hijau-kuning. Ketika diterangi dengan sinar ultraviolet, zat pewarna ini mengeluarkan cahaya yang dapat terlihat dengan jelas, memudahkan deteksi cacat yang lebih kecil atau dalam kondisi pencahayaan rendah.
3. *Dual sensitivity penetrants*: Penetrant ini mengandung kombinasi zat pewarna, yaitu pewarna terlihat dan fluorescent. Dengan menggunakan kedua jenis pewarna ini, deteksi cacat dapat dilakukan dengan baik dalam berbagai kondisi pencahayaan.

Sedangkan berdasarkan proses pembersihan sisa penetrant dari permukaan benda uji dapat diklasifikasikan menjadi sebagai berikut :

1. *Water-washable penetrants*: *Water washable penetrant* mengandung zat pengemulsi atau yang dikenal sebagai *self-emulsifying penetrant*. Penetrant ini larut dalam air dan dapat dengan mudah dibersihkan dengan menggunakan air bilasan. Perlu diingat untuk menghindari agar volume dan

tekanan semprotan tidak terlalu kuat sehingga tidak menyapu penetrant dari dalam diskontinuitas..

1. *Post-emulsifiable penetrants*: Proses pembersihan untuk Post-emulsifiable penetrant setelah pengujian melibatkan dua langkah. Sisa penetrant harus dibersihkan terlebih dahulu dengan aplikasi emulsifier secara terpisah, sehingga penetrant dapat diemulsi dan kemudian dibilas dengan air.
2. *Solvent removable penetrants*: *Solvent* digunakan untuk menghilangkan sisa penetrant yang masih ada pada permukaan benda. Penggunaan pelarut untuk menghilangkan sisa penetrant memiliki keunggulan dalam hal portabilitas dan dapat digunakan di luar ruangan tanpa peralatan yang berat dan rumit. Metode ini sangat efektif untuk pemeriksaan pemeliharaan dan untuk memeriksa bagian-bagian dari struktur yang besar.

Prosedur pengujian *penetrant test* dilakukan dengan standar acuan ASME section V:

1. Melakukan pembersihan awal (*Precleaning*), tahapan ini dilakukan menggunakan *cleaner* atau cairan pembersih untuk membersihkan permukaan dan diskontinuitas bebas dari kontaminasi apa pun baik padat maupun cair.
2. Memastikan area lasan sudah kering, ini sangat penting dikarenakan ada residu dari cairan pembersih tadi yang dapat menghalangi pintu masuk cairan penetrasi.
3. Melakukan penyemprotan cairan *penetrant* (penetrasi) di area lasan yang ingin dilakukan pengujian.
4. Berdasarkan *ASME Section V*. Untuk *Recommended Minimum Dwell Time* (waktu yang diperlukan untuk cairan penetrasi meresap) adalah 5- 10 menit dan pada suhu (10- 52° C) untuk tipe *Visible Penetrant*.
5. Berdasarkan *ASME Section V*, untuk menghilangkan cairan penetrasi (*Removal of Solvent-Removable Penetrant*) dengan menggunakan kain yang sudah disemprotkan cairan pembersih (*cleaner*) dilakukan secara searah.
6. Melakukan penyemprotan cairan penarik/pengembang (*Developer*).

7. Berdasarkan *ASME Section V* untuk *Minimum Dwell Time* (waktu yang diperlukann untuk cairan penetrasi terserap oleh cairan pengembang) ialah 5 – 10 menit.
8. Melakukan Inspeksi pada intensitas cahaya 1000 Lux (100 fc (1 076 lx)) untuk memudahkan melihat cacat yang ada pada lasan
9. Melakukan Evaluasi dengan berdasarkan kriteria yang dapat diterima (*Acceptance Criteria*)
10. Melakukan pembersihan akhir (*Post Cleaning*) untuk menghilangkan cairan penetrasi (*Penetrant*) dan cairan pengembang (*Developer*) pada material uji.

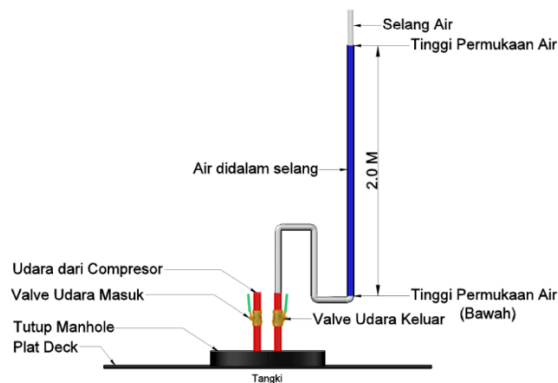
2.2.4 Pengujian NDT menggunakan Metode *Air Pressure Test*

Air Pressure Test adalah metode pengujian untuk hasil las menggunakan udara bertekanan tinggi. Tes udara bertekanan tinggi adalah tes kebocoran tangki dan pipa menggunakan tekanan tinggi. Pada beberapa bagian kapal harus dibuat kedap dalam arti kata semua sambungan pengelasan tersebut haruslah kedap atau tidak ada kebocoran. Metode pengujian ini menggunakan cairan sabun sehingga pada saat ada titik yang mengalami kebocoran akan menimbulkan gelembung busa karena adanya udara dari dalam (Riyanto dkk., 2022). Pengujian ini menggunakan udara bertekanan 0,2 bar dan tidak boleh melebihi sesuai dengan standar yang di tentukan *BKI Volume 1 Classification and Construction* tentang *Testing Procedures of Watertight Compartments*. Pada saat pengujian menggunakan alat ukur selang yang berisi air untuk mengetahui tekanan udara didalam tangki tunggu air didalam selang mencapai ketinggian 1.8 - 2M, jika menggunakan *pressure gauge* tunggu tekanan mencapai 0,2 Bar. (Syaifullah dkk., 2023)



Gambar 2. 3 Pressure Gauge(sumber: Gambar Pribadi)

Dimana jika diukur menggunakan selang dengan ketinggian 1,8 - 2 M, pengukuran dilakukan dengan mengukur dari batas permukaan air yang di bagian bawah sampai batas permukaan air yang di bagian atas, seperti yang dijelaskan pada gambar dibawah. Jika pengukuran ketinggian air mendapatkan 2M maka tekanan udara didalam tangki tersebut 0,2 bar.



Gambar 2. 4 Testing Manometer Air Pressure Test (Sumber: Gambar Pribadi)

Manometer air merupakan alat ukur tekanan sederhana yang bekerja berdasarkan prinsip tekanan hidrostatik. Dalam pengujian ini, manometer air berupa selang transparan berisi air yang dihubungkan ke *Fuel Oil Tank*. Tekanan udara di dalam tangki akan mendorong kolom air sehingga terbentuk perbedaan tinggi permukaan air, yang menunjukkan besarnya tekanan di dalam tangki. Di industri galangan kapal, manometer air digunakan untuk memantau kestabilan tekanan udara selama *Air Pressure Test*. Apabila ketinggian kolom air turun, hal tersebut mengindikasikan kemungkinan adanya kebocoran. Berdasarkan standar perusahaan, tekanan pengujian ditetapkan sebesar 0,2 bar yang setara dengan ketinggian kolom air 1,8–2 meter. Jika ketinggian kolom air stabil pada nilai tersebut, maka tekanan udara di dalam tangki dinyatakan memenuhi standar.

Perlu ditegaskan bahwa pencocokan pembacaan antara *pressure gauge* (0,2 bar) dan manometer air (ketinggian kolom air 1,8–2 m) yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan verifikasi silang (*cross check*) antar-alat ukur untuk memastikan konsistensi pembacaan tekanan selama pengujian, bukan kalibrasi formal terhadap standar acuan tertelusur (*traceable calibration standard*). Kalibrasi formal alat ukur berada di luar ruang lingkup penelitian ini dan menjadi salah satu keterbatasan metodologis yang dicantumkan pada Sub-bab 5.2.3.

Alat dan Bahan dalam proses pengujian *Air Pressure Test* yang sering digunakan yaitu ada beberapa seperti:

1. *Compressor*

Compressor adalah alat atau mesin yang berperan meningkatkan atau menempatkan fluida gas (tekanan udara).

2. Selang Khusus/Angin fleksibel

Selang secara umum mempunyai fungsi sebagai media penyalur zat- zat seperti air, angin, *steam*, atau oli dari *part* benda satu ke *part* benda yang lain.

3. Air Sabun

Air sabun yang digunakan pada pengujian ini yaitu bisa sabun bubuk, cair dan lain sebagainya yang berfungsi untuk melihat hasil kebocoran pada lasan, air sabun ini akan bergelembung, berbusa apabila sudah di aplikasikan di hasil lasan ketika ada kebocoran

4. Mesin pompa air dan Tabung Air

Mesin pompa air merupakan mesin pompa air untuk penyemprotan air sabun pada hasil lasan untuk di lakukan pengujian.

5. *Pipa input* dan *Output*/Pipa Penetrasi dari Pipa udara

Pipa input dan *output* berfungsi Sebagai tempat masuk dan keluarnya udara pada saat pengujian. Pipa ini disambungkan dengan *main hole* kemudian pada bagian atas nya di sambungkan dengan selang yang sudah terhubung dengan mesin kompresor tersebut.

6. Selang Air

Selang Air ini digunakan untuk menentukan tekanan yang masuk kedalam tangki yang dialirkan dari kompresor udara. Pada pengujian ini, batas air dari atas tutup *main hole* ke atas 1,8-2 M, Sama dengan 0,2 Bar jika menggunakan *Pressure gauge*.

7. Valve

Valve atau katup adalah sebuah perangkat yang terpasang pada sistem perpipaan, yang berfungsi untuk mengatur, mengontrol dan mengarahkan laju aliran fluida dengan cara membuka, menutup atau menutup sebagian aliran fluida.

Prosedur *Air Pressure Test* biasa digunakan untuk menguji kebocoran atau kekuatan sistem tangki, pipa, atau sambungan hasil pengelasan dengan memanfaatkan tekanan udara. Berikut adalah tahapan yang umum dilakukan:

1. Mempersiapkan alat dan bahan sebelum melakukan pengujian
2. Memastikan area pengujian sudah di *cleaning* bersih dan tidak ada kotoran seperti tanah, air, dan kotoran lainnya.
3. Memastikan tekanan udara sesuai dengan standar yang ditentukan 0,2 bar untuk menggunakan *Pressure Gauge* dan 1,8 – 2 M menggunakan selang dan cairan bewarna.
4. Melakukan penyemprotan pada area pengelasan yang akan di uji *Air Pressure Test* menggunakan air sabun.
5. Melakukan pengecekan secara visual apakah ada indikasi gelembung/busa yang menandakan adanya indikasi kebocoran.
6. Setelah dilakukan pengecekan pada pengujian, jika ada tandakan menggunakan kapur untuk menentukan area mana yang teridikasi kebocoran dan harus di perbaiki.
7. Melakukan perbaikan pada area yang mengalami kebocoran.
8. Melakukan pengujian ulang pada area yang sudah di perbaiki hingga tidak adalagi indikasi kebocoraan.

2.2.5 Perbedaan Fungsi *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*

Meskipun *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* sama-sama termasuk metode *Non-Destructive Testing (NDT)*, kedua metode tersebut memiliki tujuan pemeriksaan yang berbeda dan tidak dapat saling menggantikan. *Air Pressure Test* merupakan metode *leak test* yang digunakan untuk mengevaluasi kededapan (*tightness*) suatu tangki atau kompartemen tertutup dengan memberikan tekanan udara sesuai standar, kemudian mengamati ada atau tidaknya indikasi kebocoran melalui terbentuknya gelembung udara pada media pendeteksi. Oleh karena itu, hasil *Air Pressure Test* secara langsung menunjukkan kondisi fungsional tangki terhadap kebocoran.

Sebaliknya, *Penetrant Test* bukan merupakan metode pengujian kebocoran, melainkan metode inspeksi permukaan yang digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas terbuka pada permukaan sambungan las, seperti retak (*crack*), porositas terbuka (*surface porosity*), *undercut*, atau inklusi terak yang terbuka ke permukaan. Indikasi yang ditemukan pada *Penetrant Test* hanya menunjukkan adanya cacat permukaan yang berpotensi menjadi jalur kebocoran apabila dibiarkan berkembang, namun tidak membuktikan bahwa pada saat pengujian benar-benar terjadi kebocoran.

Dengan demikian, *Air Pressure Test* digunakan untuk memverifikasi fungsi kededapan tangki, sedangkan *Penetrant Test* digunakan untuk mengevaluasi kualitas permukaan sambungan las. Informasi yang dihasilkan kedua metode bersifat berbeda dan saling terpisah, sehingga penggabungan keduanya memperluas cakupan evaluasi, bukan saling memvalidasi hasil pada titik yang sama, dalam proses evaluasi kualitas sambungan las *Fuel Oil Tank*.

2.2.6 Standar Acuan dalam Proses Pengujian *Penetrant Test* dan *Air Pressure Test*

Dalam proses pengelasan, berbagai faktor dapat mempengaruhi kualitas hasil sambungan las, baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja. Oleh karena itu, diperlukan metode pengujian untuk memastikan bahwa hasil pengelasan memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Pada penelitian ini digunakan metode pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*, yang masing-masing dievaluasi berdasarkan kriteria penerimaan sesuai standar yang berlaku. Pada metode pengujian *Air Pressure Test* mengacu pada standar *Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)*

dan untuk metode pengujian *Penetrant Test* mengacu pada standar *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*.

Pengujian *Air Pressure Test* dalam penelitian ini mengacu pada standar *BKI Volume I Classification and Construction*, khususnya pada *Testing Procedures of Watertight Compartments*, yang digunakan sebagai acuan pelaksanaan pengujian kebocoran dan kriteria penerimaan hasil uji kedap tangki. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tekanan udara sebesar $\pm 0,2$ bar, yang dapat diukur menggunakan *pressure gauge* atau dengan metode selang yang berisi air hingga ketinggian kolom air mencapai 1,8–2 m untuk memastikan tekanan udara di dalam tangki telah sesuai. Selama pengujian, seluruh sambungan las diperiksa secara *visual* secara menyeluruh dan harus dalam kondisi bebas dari perbaikan sementara. Hasil pemeriksaan dinyatakan memenuhi syarat apabila tidak menunjukkan indikasi kebocoran atau cacat yang signifikan serta dinyatakan memuaskan oleh surveyor, dengan pemeriksaan ganda dilakukan untuk mendeteksi kemungkinan kebocoran kecil yang muncul secara bertahap. Sementara itu, *BKI Volume II For Hull* digunakan sebagai acuan konstruksi kapal, khususnya yang berkaitan dengan karakteristik sambungan las, ketentuan fabrikasi, serta persyaratan kualitas sambungan las pada tangki kapal.

Perlu ditegaskan bahwa penggunaan *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* pada objek penelitian yang sama tidak didasarkan pada klausul yang secara langsung menyatukan kedua metode tersebut ke dalam satu prosedur pengujian gabungan, mengingat pada ASME dan BKI merupakan standar yang mengatur ranah pengujian berbeda, yaitu pemeriksaan cacat permukaan (*surface examination*) dan uji kedap (*leak tightness*). Dasar regulatif penerapan kedua metode secara berdampingan pada sambungan las tangki bersumber dari *BKI Volume VI Rules for Welding*, Bab 12 bagian I pada Inspeksi Sambungan Las, yang mensyaratkan pemeriksaan *Non-Destructive Test* permukaan pada *point 3* yang termasuk *Penetrant Test* dan uji kedap *Leak Tightness Test* pada *point 5* yang termasuk *Air Pressure Test* sebagai dua persyaratan independen yang wajib dipenuhi pada sambungan las tangki. Dengan demikian, kedua metode dalam penelitian ini diterapkan secara paralel karena sama-sama dipersyaratkan oleh standar acuan pada objek yang sama, bukan karena terdapat satu prosedur tunggal yang

menggabungkan keduanya, sejalan dengan kesimpulan pada Sub-bab 2.2.5 bahwa *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* memberikan informasi yang berbeda dan saling terpisah.

Pada pengujian metode *Penetrant Test*, prosedur pelaksanaan pengujian mengacu pada *ASME section V Artikel 6* yang dimana menjelaskan juga waktu tunggu penetrant (*dwell time*) untuk material dan klasifikasi umum dikategorikan pada standar *American Society of Mechanical Engineers, BPVC, Section-V. T-672, Article 6*.

Tabel 2. 2 Minimum Dwell Times(Waktu Tunggu)

Table T-672			
Minimum Dwell Times			
Aluminium	From	Type of Discontinuity	Dwell Times
			(Note (1), (minutes))
			Penetrant
<i>Aluminium, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high- temperature alloys</i>	<i>Welds, heat-affected zones, and castings</i>	<i>Porosity, lack of fusion, cracks (all forms), cold shuts</i>	5
	<i>Wrought materials-extrusions, forgings, plate</i>	<i>Lap Cracks</i>	10
<i>Carbide-tipped tools</i>	<i>Brazed or welded</i>	<i>Lack of fusion, porosity, cracks</i>	5
<i>Plastic</i>	<i>All forms</i>	<i>carcks</i>	5
<i>Glass</i>	<i>All forms</i>	<i>carcks</i>	5
<i>Ceramic</i>	<i>All forms</i>	<i>carcks</i>	5

Note: (1) For temperature range from 50 F to 125 F(10 C to 52 C). For temperatures from 40 F (5 C) up to 50 F(10 C), Minimum penetrant dwell time shall be 2 times the value listed

Penentuan kriteria penerimaan (*acceptance criteria*) hasil pengujian *Penetrant Test* mengacu pada standar *ASME BPVC Section VIII Division 1, Appendix 8*, yang membagi indikasi cacat menjadi dua jenis yaitu indikasi linear (*linear indication*) dan indikasi bulat (*rounded indication*). Indikasi *linear* ditandai dengan panjang lebih dari tiga kali lebar, sedangkan indikasi *rounded* berbentuk lingkaran atau elips dengan panjang tidak lebih dari tiga kali lebar. Untuk indikasi *linear*, cacat dinyatakan tidak dapat diterima (*reject*) apabila panjangnya melebihi 1,5 mm. Jika panjangnya kurang dari 1,5 mm, cacat tersebut dianggap tidak relevan dan dapat ditoleransi. Untuk indikasi *rounded*, standar menetapkan dua kondisi penerimaan yang harus dipenuhi secara bersamaan (1) ukuran indikasi *rounded individual* tidak melebihi 5 mm dan (2) tidak terdapat empat indikasi *rounded* atau lebih yang berjajar dalam satu garis lurus dengan jarak antar tepi indikasi tidak melebihi 1,6 mm. Dengan demikian, evaluasi hasil *Penetrant Test* tidak hanya mempertimbangkan ukuran cacat secara *individual*, tetapi juga distribusi dan akumulasi indikasi pada area yang diuji. Meskipun setiap indikasi *rounded* berukuran di bawah 5 mm, pengelompokan empat cacat atau lebih yang berderet rapat dalam satu jalur tetap menyebabkan komponen dinyatakan *reject*. Oleh karena itu, penerapan standar ASME ini menuntut evaluasi komprehensif terhadap ukuran individual dan pola sebaran cacat untuk menjamin keamanan serta kualitas komponen yang diuji.

Perlu ditambahkan bahwa evaluasi hasil *Penetrant Test* dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama adalah menentukan apakah suatu indikasi bersifat *relevant* atau tidak *relevant* indikasi *linear* dengan panjang kurang dari 1,5 mm dan indikasi *rounded* dengan ukuran kurang dari 3 kali lebarnya dianggap tidak *relevant* (*non-relevant*) dan tidak dievaluasi lebih lanjut. Tahap kedua, untuk indikasi yang dinyatakan relevan, dilakukan penilaian *accept/reject* berdasarkan ambang batas *ASME BPVC Section VIII Division 1 Appendix 8* sebagaimana dijelaskan di atas.

Tabel 2. 3 Kriteria Penerimaan Penetrant Test

Jenis Cacat	Ukuran	Relevan/ Tidak Relevan
<i>Linear</i>	Lebih dari 1,5 mm	<i>Relevan</i>
<i>Rounded</i>	Lebih dari 5 mm	<i>Relevan</i>
<i>Rounded (akumulasi)</i>	4 atau lebih indikasi berjajar dalam 1 garis, jarak antar indikasi kurang dari 1,6 mm	<i>Relevan</i>

BAB III

METODOLOGI

3.1 Metode yang digunakan

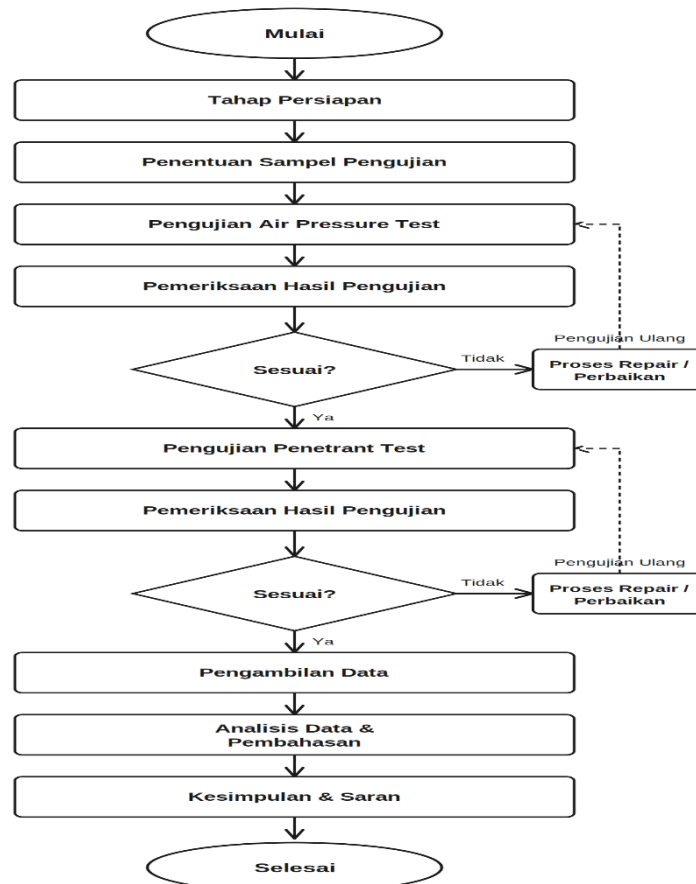
Penelitian ini merupakan penelitian *eksperimen* lapangan dengan pendekatan deskriptif yang bertujuan mengevaluasi kondisi sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (STBD) kapal tugboat berdasarkan hasil *Air Pressure Test (APT)* dan *Penetrant Test (PT)*. *Air Pressure Test* digunakan untuk mengevaluasi kedap sambungan las pada tekanan 0,2 bar, sedangkan *Penetrant Test* digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas atau cacat permukaan yang terbuka. Pengujian diawali dengan persiapan alat, bahan, dan penentuan sampel. Apabila pada *Air Pressure Test* ditemukan kebocoran, lokasi kebocoran ditandai, dilakukan perbaikan, kemudian diuji kembali hingga tangki dinyatakan kedap. Setelah itu dilakukan *Penetrant Test* untuk memeriksa adanya cacat permukaan pada sambungan las. Seluruh hasil pengujian dicatat dan dianalisis secara deskriptif dengan mengacu pada standar yang digunakan tanpa melakukan manipulasi terhadap variabel penelitian.

Urutan pelaksanaan *Air Pressure Test* sebelum *Penetrant Test* mengikuti prosedur inspeksi dan pengendalian mutu (*quality control*) yang diterapkan di PT. CIH Indonesia pada tahap konstruksi tangki. *Air Pressure Test* dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan kedap tangki sehingga titik kebocoran dapat segera diketahui dan diperbaiki sebelum pemeriksaan cacat permukaan dilakukan menggunakan *Penetrant Test*. Secara umum, praktik inspeksi di beberapa industri maupun galangan kapal biasanya mendahulukan pemeriksaan *Visual Testing (VT)* atau *Penetrant Test* sebelum *Air Pressure Test* untuk mengidentifikasi cacat permukaan yang berpotensi menyebabkan kebocoran saat pengujian tekanan. Namun, penelitian ini tidak mengubah urutan tersebut karena bertujuan mendokumentasikan dan mengevaluasi prosedur inspeksi yang benar-benar diterapkan di PT. CIH Indonesia. Oleh karena itu, perbedaan urutan pengujian ini menjadi salah satu keterbatasan metodologi penelitian dan perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian.

Keterbatasan urutan pengujian ini berkaitan langsung dengan risiko cacat permukaan baru pada area *repair* yang dibahas pada Sub-bab 4.4 dan 5.2.3, karena

titik yang diperbaiki setelah *Air Pressure Test* tidak lagi diperiksa dengan *Penetrant Test*.

Penggunaan *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* secara berurutan pada penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk memperoleh dua jenis informasi yang berbeda namun saling terkait dengan integritas sambungan las yang dimana pada pengujian *Air Pressure Test* mengevaluasi fungsi kedapatan (*leakage*) tangki secara langsung, sedangkan *Penetrant Test* mengidentifikasi cacat permukaan. Karena kedua metode diterapkan pada kelompok titik yang berbeda sebagaimana dijelaskan di atas, penelitian ini tidak menemukan kasus hasil yang berbeda pada objek yang sama (satu *approve*, satu *reject*) untuk dianalisis. Penelitian ini membatasi diri pada tujuan evaluasi kualitas sambungan las berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, dan tidak mengklaim tujuan antisipasi kebocoran di masa depan sebagai hasil gabungan kedua metode, karena hal tersebut memerlukan pengujian *Penetrant Test* pada titik yang sama dengan titik yang diuji *Air Pressure Test*, yang berada di luar ruang lingkup penelitian ini.



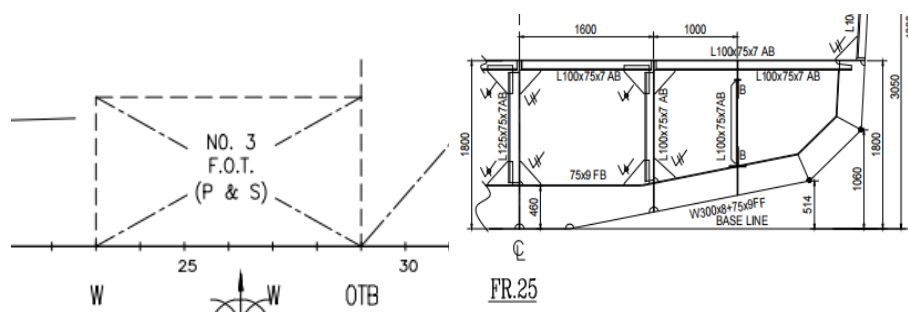
Gambar 3. 1 Flowchart (Alur Penelitian)

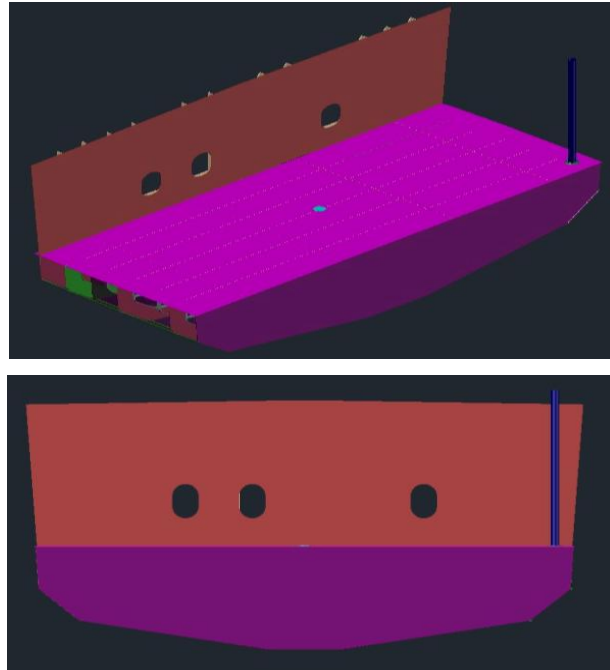
3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada sambungan las *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) pada kapal tugboat yang sedang dalam tahap konstruksi di galangan kapal PT. CIH Indonesia. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah *ABS Grade A* dengan ketebalan 9 mm. Area ini dipilih karena memiliki jumlah sambungan las yang cukup banyak serta berfungsi langsung sebagai tempat penyimpanan bahan bakar, sehingga memiliki risiko kebocoran yang lebih tinggi dan memerlukan pemeriksaan kedekatan yang lebih ketat.

Berdasarkan tabel kalibrasi tangki, *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan memiliki kapasitas volume sebesar 19,454 m³ pada sounding 1,740 m. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengujian kedekatan sambungan las menggunakan *Air Pressure Test* dan pemeriksaan cacat permukaan menggunakan *Penetrant Test* pada tangki tersebut. Penelitian ini juga membatasi pembahasan pada hasil pengujian, identifikasi kebocoran, serta cacat permukaan yang ditemukan pada area sambungan las yang menjadi objek penelitian.

Penelitian ini tidak membahas metode pengujian lain di luar kedua metode tersebut, sehingga pembahasan tetap terarah sesuai tujuan penelitian. Selain itu, penelitian ini tidak mencakup pengujian sifat mekanik, struktur tangki secara keseluruhan, maupun pembahasan metalurgi material, sehingga fokus analisis tetap pada kualitas sambungan las berdasarkan hasil *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*.





Gambar 3. 2 Fuel Oil Tank No 3 (Drawing Perusahaan dan Gambar Pribadi)

Tabel 3.1 Tank Calibration / Tank Capacity (Data Perusahaan)

NAMA TANKI	SOUNDING	VOLUME
	M (METER)	M ³ (METER KUBIK)
NO. 3 FOT (S)	1.740	19.454

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan secara bertahap, dimulai dari persiapan alat dan bahan, pembersihan area pengujian, lalu pelaksanaan *Air Pressure Test* untuk mengetahui adanya kebocoran pada sambungan las. Jika ditemukan kebocoran, dilakukan perbaikan pada titik yang bermasalah dan pengujian ulang sampai sambungan dinyatakan kedap. Setelah itu dilakukan *Penetrant Test* untuk mendeteksi cacat permukaan pada sambungan las. Hasil pengujian kemudian dicatat dan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkannya pada standar BKI dan ASME agar diketahui apakah sambungan las memenuhi kriteria penerimaan atau tidak.

3.3.1 Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahap awal sebelum pelaksanaan pengujian. Pada tahap ini dilakukan persiapan alat, bahan. Seluruh peralatan dipastikan dalam

kondisi layak pakai dan tidak mengalami kerusakan agar proses pemeriksaan dapat berjalan dengan optimal dan aman. Selain itu, peneliti juga membersihkan area sambungan las yang akan diuji agar bebas dari kotoran, minyak, dan karat, menentukan titik pengujian sesuai ruang lingkup penelitian, serta menyiapkan lembar pencatatan hasil pengujian agar data yang diperoleh dapat terdokumentasi dengan baik. Tahap persiapan ini dilakukan untuk memastikan proses pengujian berjalan lancar dan hasil yang diperoleh lebih akurat.

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3.2 Alat dan Bahan Air Pressure Test dan Penetrant Test

NO	ALAT & BAHAN AIR PRESSURE TEST	ALAT & BAHAN PENETRANT TEST
1.	Kompresor (Airman)	Majun/Tisu
2.	Selang Khusus/Angin Fleksibel	Sikat Kawat/Brus
3.	Mesin Pompa Air (Sanyo) dan Tabung Air	Cairan Penetrant (Daruma)
4.	Pipa input dan Output/Pipa Penetrasi dari Pipa Udara	Cairan Developer (Daruma)
5.	Selang	Cairan Cleaner (Daruma)
6.	Valve	
7.	Air Sabun	
8.	Pressure Gauge (Tekiro)	



Gambar 3. 3 Kompresor Angin dan Selang Khusus Angin (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 4 Mesin Pompa Air, Selang dan Tabung Air (Gambar Pribadi)



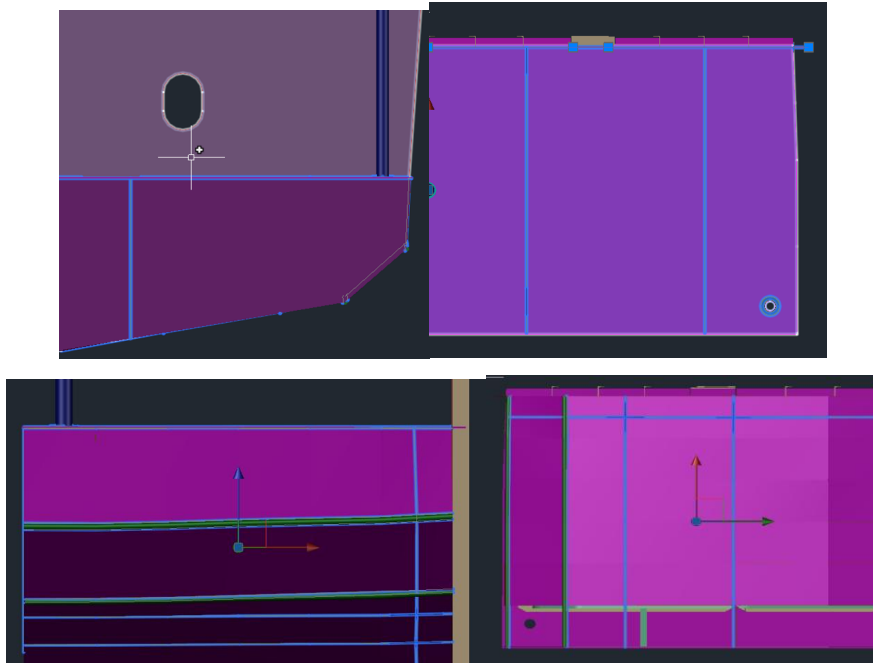
Gambar 3. 5 Pipa input dan Output/Pipa Penetrasi dari Pipa Udara, Valve dan Pressure Gauge (Gambar Pribadi)



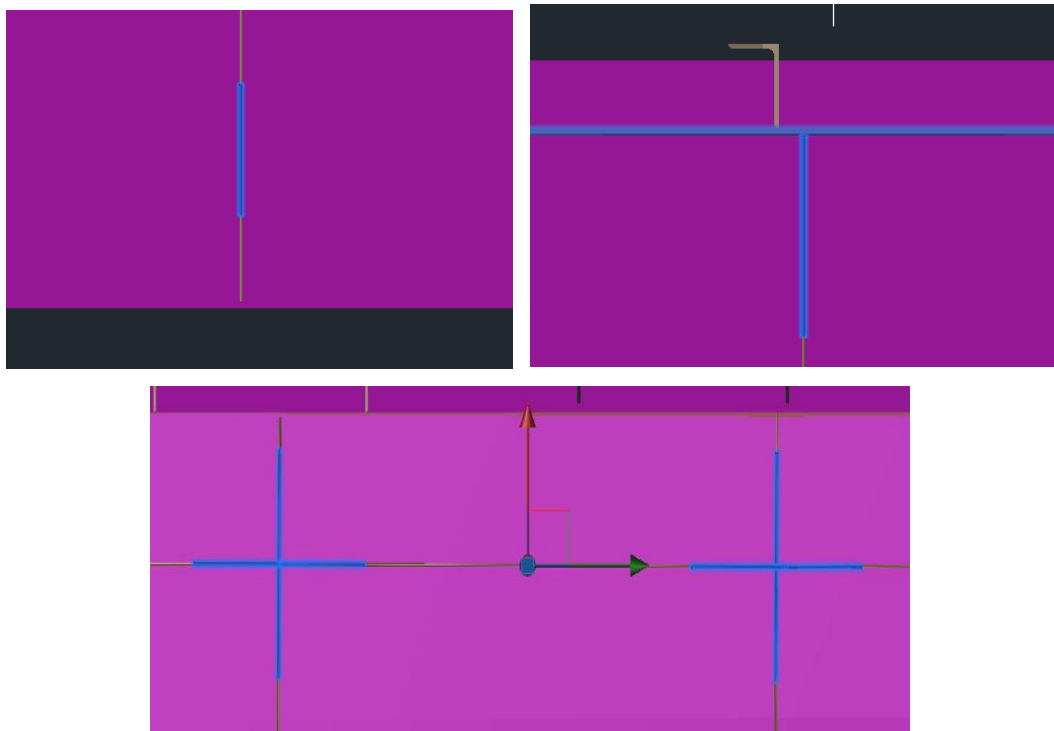
Gambar 3. 6 Develover(Hijau), Cleaner(Biru), Penetrant(Merah) (Gambar Pribadi)

3.3.2 Penentuan Sampel Penelitian

Penentuan sampel *Penetrant Test* dalam penelitian ini menggunakan *purposive (judgment) sampling*, yakni pemilihan berdasarkan pertimbangan teknis sesuai tujuan penelitian pengujian dilakukan setelah *Air Pressure Test* mengikuti prosedur objek penelitian, dan sampel dipilih dari sambungan las yang tidak bocor saat uji tekanan serta belum pernah direpair sehingga masih dalam kondisi *as weld*, sehingga indikasi yang ditemukan menggambarkan cacat akibat proses pengelasan, bukan perbaikan. Sampel difokuskan pada tiga jenis sambungan yang dianggap paling kritis secara struktural pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (STBD) *groove weld* pada *tank top*, *T-joint* pada pertemuan pelat *vertikal* dan *horizontal*, serta *cross joint* pada area *bottom* karena konsentrasi tegangan tinggi, konfigurasi geometri kompleks, dan potensi cacat permukaan yang lebih besar. Empat segmen pengujian panjang 300 mm dipilih sebagai representasi jenis sambungan tersebut sesuai kondisi yang terjadi dilapangan oleh karena itu hasil *Penetrant Test* hanya berlaku pada keempat segmen tersebut, sementara *Air Pressure Test* tetap dilakukan pada seluruh sambungan las untuk evaluasi kekedapan tangki secara menyeluruh. Perlu dicatat bahwa pemilihan empat titik sampel masing-masing 300 mm merupakan keterbatasan representativitas mengingat luas total sambungan jauh lebih besar, sehingga generalisasi hasil ke seluruh tangki harus dilakukan dengan hati-hati.



Gambar 3. 7 Sampel Area Pengelasan yang Terkena pengujian Air Pressure Test di Tandakan Dengan Garis Biru (Gambar Pribadi)





Gambar 3. 8 Sampel Area Pengelasan yang Terkena pengujian Penetrant Test di Tandakan Dengan Garis Biru pada Gambar 1 & 2 di Area Tank Top dan Gambar 3 di Area Bottom (Gambar Pribadi)

3.3.3 Proses Pengujian dan Pemeriksaan *Air Pressure Test*

Air Pressure Test digunakan untuk mengevaluasi kedap sambungan las pada tangki bahan bakar kapal dengan memberikan tekanan udara sebesar 0,2 bar sesuai ketentuan BKI. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan udara ke dalam tangki, kemudian area sambungan las diperiksa secara *visual* menggunakan larutan air sabun untuk mendeteksi adanya kebocoran. Indikasi kebocoran ditandai dengan munculnya gelembung atau busa pada permukaan sambungan las. Kestabilan tekanan juga diamati menggunakan manometer air, di mana tekanan yang stabil menunjukkan sambungan las dalam kondisi kedap. Tahapan pelaksanaan dimulai dari persiapan alat dan bahan, dilanjutkan dengan pembersihan area sambungan las dari kotoran, minyak, dan sisa pengelasan. Setelah itu, tekanan udara diatur hingga mencapai 0,2 bar atau setara dengan ketinggian kolom air 1,8–2 meter. Air sabun kemudian diaplikasikan pada sambungan las untuk melihat adanya kebocoran. Apabila ditemukan titik bocor, area tersebut diberikan tanda, diperbaiki dan diuji ulang hingga tidak terdapat lagi kebocoran.



Gambar 3. 9 Mengisi Udara pada Tanki dengan Tekanan 0,2 Bar Menggunakan Pressure Gauge dan 1,8 – 2 M Menggunakan Menometer Air (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 10 Melakukan Penyemprotan Menggunakan Air Sabun pada Area Welding dan Melakukan Pemeriksaan Visual pada Area Welding yang Terkena Penyemprotan Air Sabun (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 11 Melakukan Perbaikan pada Area Welding yang Mengalami Kebocoran (Gambar Pribadi)

3.3.4 Proses Pengujian dan Pemeriksaan *Penetrant Test*

Setelah sambungan las dinyatakan kedap melalui *Air Pressure Test*, dilanjutkan *Penetrant Test* untuk mendeteksi cacat terbuka pada permukaan las. Pengujian dilakukan pada empat titik sampel yang mewakili jenis sambungan yang diperiksa. Prosedur pengujian bersihkan permukaan dengan *cleaner* untuk menghilangkan kotoran dan minyak, kemudian aplikasikan *penetrant* secara merata dan diamkan 5–10 menit supaya meresap ke diskontinuitas, kemudian lap sisa *penetrant* secara searah dengan kain yang dibasahi *cleaner*, lalu aplikasikan *developer* dan tunggu pengembangan 5–10 menit. Pemeriksaan visual dilakukan dengan pencahayaan sekitar 1000 lux.

Kriteria penerimaan pada pengujian *Penetrant Test* indikasi *linear* $\leq 1,5$ mm dan indikasi bulat ≤ 5 mm. Jika ada indikasi yang melebihi batas tersebut, sambungan dinyatakan *reject*, diperbaiki, dan diuji ulang sampai memenuhi standar.

Secara ideal, dimensi cacat permukaan (termasuk *undercut*) diukur secara kuantitatif dengan *welding gauge* atau *undercut gauge* sehingga panjang dan kedalaman profil diketahui. Namun di lokasi penelitian alat tersebut terbatas, maka pengukuran dalam penelitian ini hanya mencatat panjang *linear* indikasi menggunakan meteran berskala milimeter. Kedalaman profil *undercut* tidak diukur secara kuantitatif dan hanya dinilai secara visual. Oleh karena itu, nilai yang dilaporkan di Bab IV (mis. undercut 12 mm pada Sampel 3) adalah panjang *linear* terlihat di permukaan, bukan kedalaman profil—ini merupakan keterbatasan pengukuran VT pada penelitian ini.



Gambar 3. 12 Melakukan Penggerindaan Menggunakan Mata Gerinda Brus untuk Membersihkan Area Welding yang akan Dilakukan Pengujian Penetrant Test (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 13 Melakukan Pembersihan pada Area Welding yang Sudah di Brus Menggunakan Cleaner dan Melakukan Pengaplikasian Cairan Penetrant Pada Area Welding (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 14 Melakukan Pembersihan Pada Area Welding yang sudah dilakukan pengaplikasian Cairan Penetrant dengan menggunakan Cleaner dan Melakukan Penyemprotan Cairan Develover (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 15 Melakukan Pemeriksaan Visual Pada Area Yang Sudah Dilakukan Pengaplikasian Cairan Develover (Gambar Pribadi)



Gambar 3. 16 Melakukan Perbaikan Pada Area Welding Yang Memiliki Cacat Las Melebihi Batas Toleransi (Gambar Pribadi)

3.4 Pengambilan dan Validasi Data

Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui kekedapan tangki dan kualitas sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) melalui dua metode *Non-Destructive Test*, yaitu *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk menilai kondisi sambungan las berdasarkan standar acuan yang digunakan. Pada *Air Pressure Test*, data yang dicatat meliputi tekanan uji sebesar 0,2 bar, jumlah dan lokasi kebocoran, indikasi visual berupa gelembung atau busa, hasil perbaikan, serta status *accept* atau *reject*. Jika ditemukan kebocoran, dilakukan perbaikan dan pengujian ulang sampai memenuhi kriteria penerimaan BKI Volume I.

Pada *Penetrant Test*, data yang dicatat meliputi jenis indikasi, bentuk, ukuran, lokasi cacat, hasil perbaikan, serta status *accept* atau *reject* berdasarkan standar ASME. Panjang area pemeriksaan pada setiap titik sampel ditetapkan 300 mm. Validasi data dilakukan dengan mencocokkan hasil pengamatan lapangan dengan standar acuan yang digunakan, yaitu BKI untuk *Air Pressure Test* dan ASME untuk *Penetrant Test*. Validasi juga diperkuat melalui dokumentasi foto sebelum, saat, dan sesudah pengujian maupun perbaikan, sehingga hasil pengujian dapat dipastikan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Seluruh gambar yang diberi keterangan “Gambar Pribadi” pada penelitian ini merupakan dokumentasi foto yang diambil secara langsung oleh penulis pada objek penelitian di PT. CIH Indonesia selama proses persiapan, pelaksanaan pengujian, perbaikan (*repair*), hingga pengujian ulang berlangsung, dan bukan diperoleh dari internet maupun sumber lain. Apabila terdapat gambar yang bukan merupakan hasil pemotretan penulis secara langsung, seperti gambar teknis atau

data perusahaan, maka keterangan gambar dicantumkan sebagai “Sumber: ...” disertai sitasi yang sesuai pada daftar pustaka/daftar gambar.

3.4.1 Metode Studi Hasil Pengujian

Data pengujian diambil dari hasil observasi lapangan, pembacaan manometer, munculnya gelembung pada *Air Pressure Test*, serta indikasi cacat pada *Penetrant Test*. Hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif, yaitu dengan membandingkan setiap temuan di lapangan terhadap kriteria penerimaan yang telah ditetapkan dalam standar acuan.

Pada *Air Pressure Test*, penilaian dilakukan berdasarkan ada atau tidaknya indikasi kebocoran berupa gelembung atau busa setelah tekanan 0,2 bar diterapkan. Pada *Penetrant Test*, penilaian dilakukan berdasarkan jenis, bentuk, dan ukuran indikasi cacat yang ditemukan, kemudian dikategorikan sesuai ketentuan standar yang digunakan.

3.4.2 Dasar Penentuan *Accept/Reject*

Dasar penentuan status *accept* atau *reject* mengacu pada dua standar berikut:

1. *Air Pressure Test*: sambungan las dinyatakan *accept* apabila tidak ditemukan indikasi kebocoran, yaitu tidak ada gelembung atau busa saat tekanan 0,2 bar diterapkan, sesuai *BKI Volume I Classification and Construction*.
2. *Penetrant Test*: sambungan las dinyatakan *accept* apabila tidak ditemukan *linear indication* dengan ukuran lebih dari 1,5 mm dan tidak ditemukan *rounded indication* dengan ukuran lebih dari 5 mm, sesuai *ASME BPVC Section VIII Division 1 Appendix 8*. Apabila ditemukan indikasi melebihi batas tersebut, sambungan las dinyatakan *reject* dan wajib dilakukan *repair* serta pengujian ulang. Selain mengevaluasi ukuran indikasi individual, peneliti juga memeriksa kemungkinan akumulasi *rounded indication* (empat atau lebih indikasi berjajar dengan jarak kurang dari 1,6 mm) pada setiap titik sampel. Pada penelitian ini tidak ditemukan pola akumulasi tersebut sehingga evaluasi *accept/reject* didasarkan pada satu indikasi dominan per sampel.

Evaluasi akumulasi *rounded indication* pada penelitian ini dilakukan berdasarkan skema sebaran indikasi cacat (Gambar 4.3) serta inspeksi visual

sepanjang 300 mm pada setiap titik sampel *Penetrant Test*. Peneliti tidak membuat peta atau dokumentasi kuantitatif per indikasi, misalnya diagram posisi indikasi setiap interval 10 mm, sehingga penentuan ada atau tidaknya pola akumulasi bersifat kualitatif berdasarkan pengamatan visual menyeluruh. Dengan demikian, terdapat kemungkinan indikasi berukuran kecil yang berjarak sangat rapat tidak terdokumentasikan secara rinci, meskipun secara visual keseluruhan dinilai tidak menunjukkan pola akumulasi yang signifikan. Kondisi ini menjadi salah satu keterbatasan metode dokumentasi indikasi pada penelitian ini.

3.4.3 Pendekatan Studi Komparatif Data

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi komparatif deskriptif, yaitu membandingkan hasil pengujian lapangan dengan *acceptance criteria* standar yang berlaku. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel yang memuat hasil pengujian sampel, jenis cacat, ukuran indikasi, standar batas, dan status penerimaan. Seluruh hasil kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori *accept* atau *reject* berdasarkan standar ASME Section VIII untuk *Penetrant Test* dan BKI Volume I untuk *Air Pressure Test*. Hasil klasifikasi ini digunakan sebagai dasar penyusunan pembahasan pada Bab IV.

Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini tidak melakukan analisis statistik atau uji korelasi antara hasil *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*, melainkan hanya membandingkan masing-masing hasil pengujian tersebut secara independen terhadap *acceptance criteria* pada standar BKI dan ASME yang berlaku untuk metode pengujian tersebut.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah metode pengujian yang digunakan, yaitu *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*. Variabel terikatnya adalah kualitas sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*), yang ditunjukkan melalui ada atau tidaknya kebocoran serta jenis, bentuk, dan ukuran cacat pada sambungan las.

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi material *ABS Grade A*, ketebalan pelat 9 mm, panjang area pemeriksaan 300 mm pada setiap titik sampel

Penetrant Test, tekanan uji *Air Pressure Test* sebesar 0,2 bar, serta kriteria penerimaan yang mengacu pada standar BKI dan ASME.

3.6 Teknik Pengolahan

Teknik pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif, yaitu menganalisis hasil pengujian lapangan berdasarkan standar acuan yang digunakan tanpa melakukan analisis statistik. Data diperoleh melalui dua metode *Non-Destructive Test*, yaitu *Air Pressure Test (APT)* dan *Penetrant Test (PT)*. Data dari kedua metode pengujian tersebut dievaluasi secara terpisah terhadap kriteria penerimaan masing-masing standar, tanpa dilakukan analisis korelasi antara hasil APT dan PT.

Pada *Air Pressure Test*, data yang dicatat meliputi tekanan uji sebesar 0,2 bar, ada atau tidaknya indikasi kebocoran berupa gelembung atau busa, lokasi kebocoran, tindakan perbaikan, serta status *accept* atau *reject* sesuai BKI Volume I. Jika ditemukan kebocoran, sambungan dinyatakan *reject*, kemudian dilakukan *repair* dan pengujian ulang sampai memenuhi kriteria penerimaan. Sementara itu, pada *Penetrant Test*, data yang dicatat meliputi jenis, bentuk, ukuran, dan lokasi indikasi cacat, tindakan perbaikan, serta status *accept* atau *reject* sesuai standar ASME, dengan panjang area pemeriksaan 300 mm pada setiap titik sampel.

Indikasi pada *Penetrant Test* dikelompokkan menjadi *linear indication* dan *rounded indication* sesuai karakteristik yang ditemukan. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan *acceptance criteria ASME BPVC Section VIII Appendix 8*. Jika indikasi cacat melebihi batas yang diizinkan, sambungan dinyatakan *reject* dan perlu dilakukan *repair* serta pengujian ulang. Jika tidak melebihi batas, sambungan dinyatakan *accept*. Seluruh hasil pengujian, perbaikan, dan pengujian ulang divalidasi melalui prosedur yang sesuai standar serta didukung dokumentasi foto sebelum, saat, dan sesudah pengujian maupun perbaikan. Hasil akhir kemudian disusun dalam tabel rekapitulasi sebagai dasar pembahasan pada Bab IV.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (STBD) pada kapal *tugboat* yang sedang dalam tahap konstruksi di PT. CIH Indonesia. Penelitian difokuskan pada sambungan las di area *tank top*, *bottom*, *side shell*, sambungan sudut, dan pertemuan antar pelat. *Material* yang digunakan adalah baja karbon rendah *ABS Grade A* dengan ketebalan 9 mm.

Fuel Oil Tank No. 3 sisi kanan dipilih karena memiliki jumlah sambungan las yang cukup banyak dan berfungsi sebagai tangki penyimpanan bahan bakar, sehingga kualitas sambungan las dan kedapatan tangki menjadi aspek yang penting. Pengujian dilakukan menggunakan *Air Pressure Test* untuk memverifikasi kedapatan tangki dan *Penetrant Test* untuk mendeteksi cacat yang terbuka pada permukaan sambungan las.

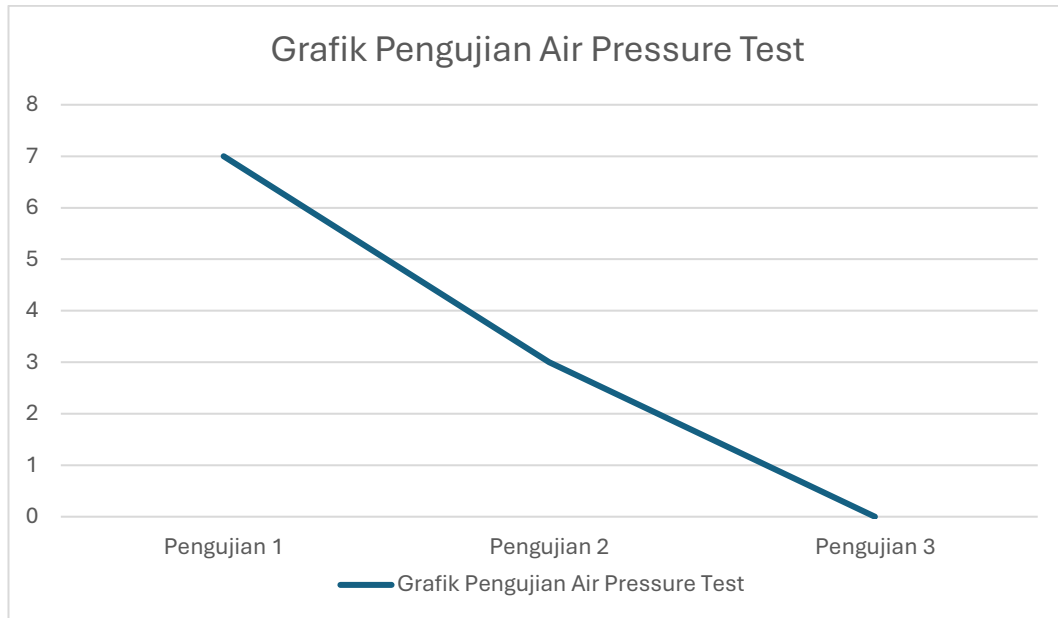
4.2 Hasil Pengujian *Air Pressure Test*

Pada penelitian ini *Air Pressure Test* dilakukan terlebih dahulu sebelum pengujian *Penetrant Test* karena sambungan las harus dipastikan kedap sebelum dilakukan pemeriksaan permukaan lebih lanjut. Tekanan udara diatur sebesar 0,2 bar sesuai standar *BKI Volume I*, kemudian dipantau menggunakan *pressure gauge* dan *manometer air* dengan ketinggian kolom air 1,8–2 meter. Setelah tekanan stabil, area sambungan las disemprot larutan air sabun untuk mengetahui ada atau tidaknya indikasi kebocoran berupa gelembung atau busa.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Air Pressure Test

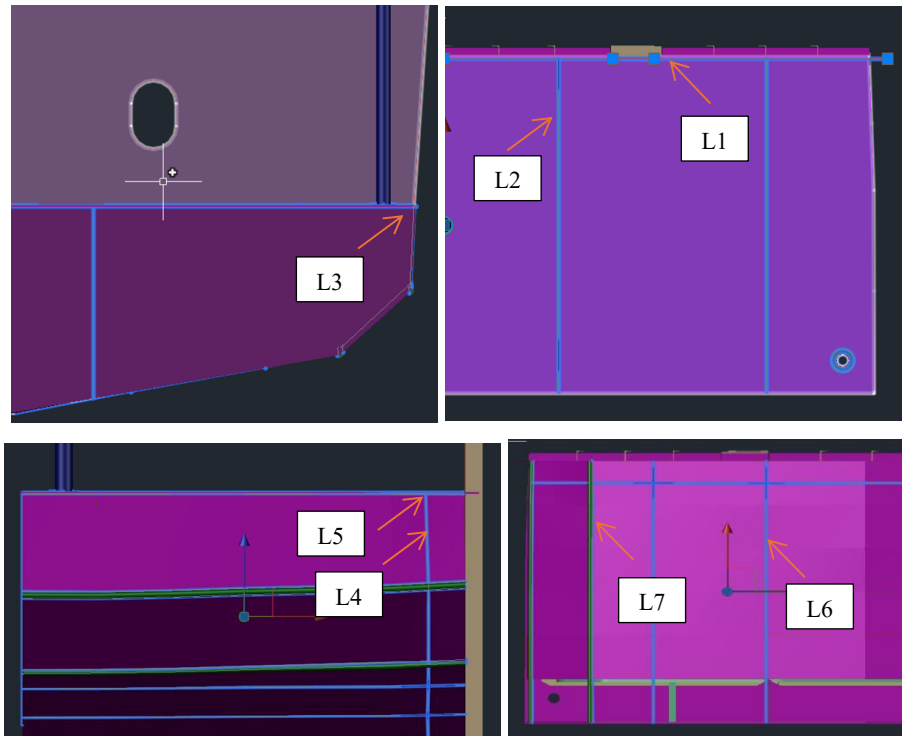
Pengujian	Tekanan (bar)	Jumlah Kebocoran	Lokasi Kebocoran	Indikasi yang Muncul	Tindakan	Hasil
Pengujian 1	0,2 bar	7 Titik	Area Tank Top, Sheet Shell dan Bottom (L1, L2, L3, L4, L5, L6 dan L7)	Gelembung sabun	Repair	Reject
Pengujian 2	0,2 bar	3 Titik	Area Tank Top dan	Gelembung sabun	Repair	Reject

			<i>Bottom</i> (L3, L6 dan L7)			
Pengujian 3	0,2 bar	0 Titik	Tidak ada kebocoran	Tidak ada gelembung	Tidak perlu repair	<i>Accept</i>



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengujian Air Pressure Test (Gambar Pribadi)

Berdasarkan Tabel 4.1, pada pengujian pertama ditemukan 7 titik kebocoran pada sambungan las *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (STBD), yaitu 3 titik pada *tank top*, 2 titik pada *side shell*, dan 2 titik pada *bottom*. Kebocoran terdeteksi melalui munculnya gelembung udara setelah area sambungan las disemprot dengan larutan air sabun. Semua titik yang terdeteksi diberi tanda untuk tindakan perbaikan. Setelah perbaikan pertama dilakukan, pengujian kedua menunjukkan tersisa 3 titik kebocoran (1 pada *tank top* dan 2 pada *bottom*), yang mengindikasikan perbaikan pertama berhasil mengatasi sebagian masalah namun masih diperlukan perbaikan lanjutan. Setelah perbaikan kedua dilaksanakan, pengujian ketiga tidak menemukan indikasi kebocoran pada seluruh area sambungan las. Dengan hasil tersebut, *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (STBD) dinyatakan kedap dan memenuhi persyaratan kedap sesuai ketentuan *BKI Volume I*. Skema pada Gambar 4.2 menunjukkan lokasi titik kebocoran yang terdeteksi pada pengujian *Air Pressure Test*.



Gambar 4. 2 Skema Letak Titik Kebocoran Pada Pengujian Air Pressure Test
(Gambar Pribadi)

4.3 Hasil Pengujian *Penetrant Test*

Setelah seluruh sambungan las dinyatakan kedap melalui *Air Pressure Test*, pengujian dilanjutkan dengan *Penetrant Test* untuk mendeteksi cacat terbuka pada permukaan sambungan las. Pengujian dilakukan pada 4 titik sampel yang dipilih berdasarkan keterwakilan jenis sambungan las sesuai dengan penentuan sampel pada BAB III, dengan panjang area pengujian 300 mm untuk setiap titik sampel.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Penetrant Test*

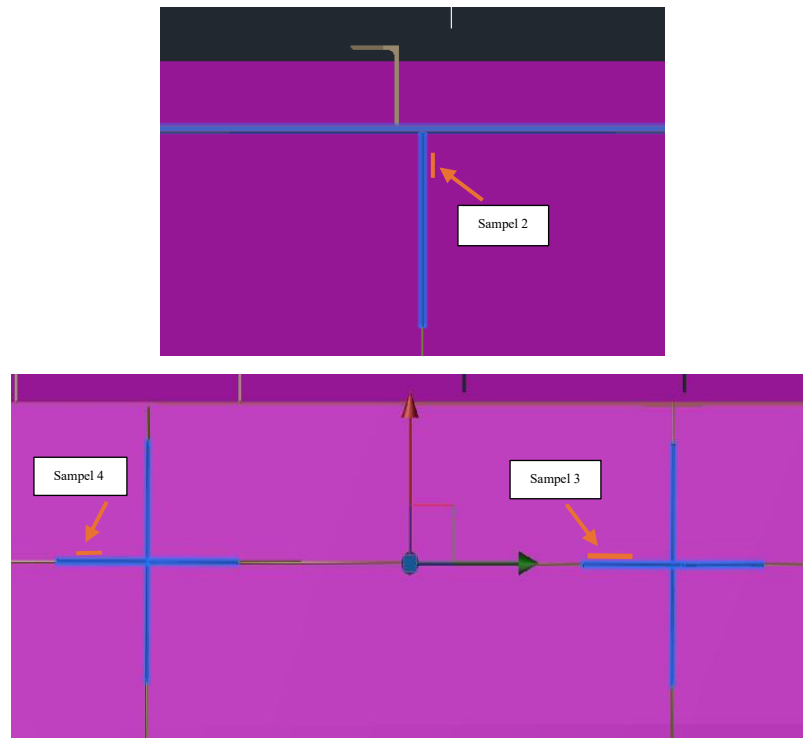
Sampel	Jenis Sambungan	Lokasi Pengujian	Panjang Area Pengujian (mm)	Hasil Pengujian	Ukuran Cacat (mm)	Penyebab Kemungkinan	Status
1	<i>Grove Weld</i>	<i>Tank Top</i>	300 mm	Tidak ditemukan indikasi cacat	-	-	<i>Accept</i>
2	<i>T Joint</i>	<i>Tank Top</i>	300 mm	Cacat <i>porosity (rounded indication)</i>	2 mm	Gas yang terjebak akibat kurang pembersihan atau kelembaban	<i>Accept</i>

						material	
3	<i>Cross joint</i>	<i>Bottom</i>	300 mm	Cacat <i>undercut (linear indication)</i>	12 mm	Arus las terlalu tinggi, sudut elektroda tidak tepat, area sempit, posisi pengelasan yang kurang baik.	<i>Reject</i>
4	<i>Cross joint</i>	<i>Bottom</i>	300 mm	Cacat <i>Surface Slag (rounded indication)</i>	6 mm	Pembersihan <i>slag</i> antar pass tidak sempurna, akses area sempit	<i>Reject</i>

Berdasarkan Tabel 4.2, pada Sampel 1 tidak ditemukan indikasi cacat terbuka pada permukaan sambungan las, sehingga dinyatakan *accept*. Pada Sampel 2 ditemukan *rounded indication* berupa *porosity* dengan ukuran 2 mm. Berdasarkan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*, *rounded indication* dinyatakan relevan apabila ukurannya melebihi 5 mm. Karena ukuran 2 mm masih di bawah batas tersebut, Sampel 2 dinyatakan *accept*.

Pada Sampel 3 ditemukan *linear indication* berupa *undercut* dengan panjang 12 mm. Berdasarkan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*, linear indication dengan panjang lebih dari 1,5 mm dinyatakan tidak dapat diterima karena berpotensi menjadi titik awal retak. Karena panjang 12 mm melebihi batas tersebut, Sampel 3 dinyatakan *reject*.

Pada Sampel 4 ditemukan *rounded indication* berupa *surface slag* dengan ukuran 6 mm. Ukuran ini melebihi batas penerimaan 5 mm sesuai *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*, sehingga Sampel 4 dinyatakan *reject*. Setelah ditemukan cacat pada Sampel 3 dan Sampel 4, dilakukan *repair* pada area yang bersangkutan, kemudian dilakukan pengujian ulang hingga tidak ditemukan lagi indikasi cacat yang melebihi batas penerimaan standar.



Gambar 4.3 Skema Letak Titik Cacat Permukaan Pada Pengujian Penetrant Test (Gambar Pribadi)

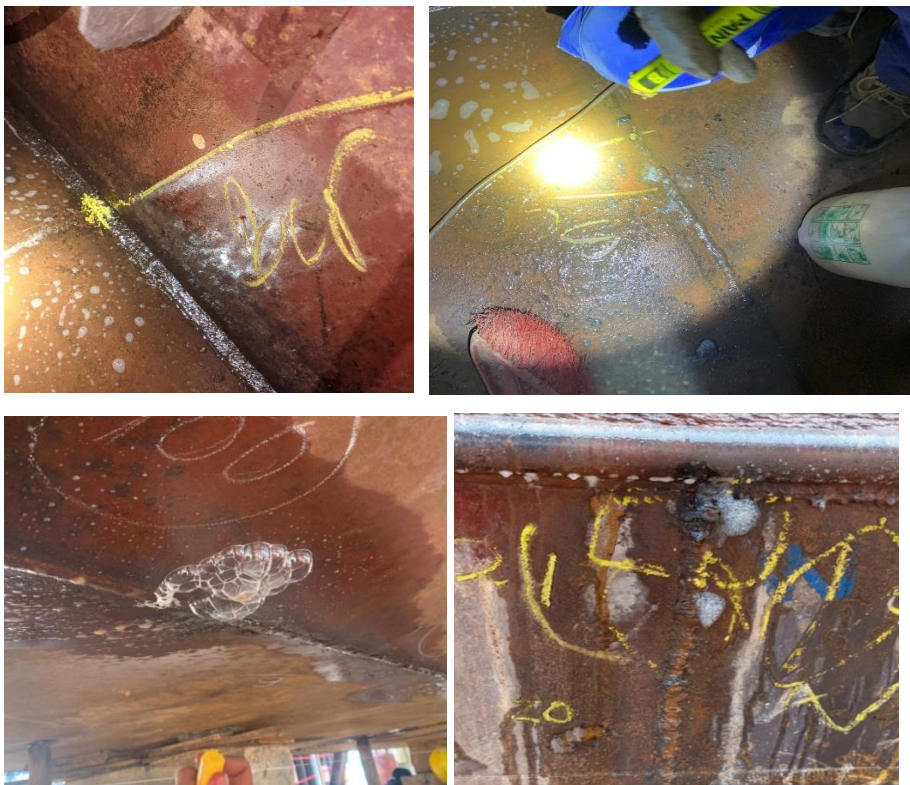
4.4 Pembahasan Hasil *Air Pressure Test*

Hasil pengujian *Air Pressure Test* menunjukkan bahwa pada pengujian pertama masih terdapat 7 titik kebocoran yang tersebar pada area *tank top*, *side shell*, dan *bottom*. Titik-titik kebocoran banyak ditemukan pada area pertemuan beberapa pelat, seperti *cross joint* dan sambungan sudut, yang secara teknis merupakan bagian dengan tingkat kerumitan lebih tinggi dalam proses pengelasan. Kondisi ini menunjukkan bahwa geometri sambungan yang kompleks serta keterbatasan akses pada saat pengelasan dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat las, yang diduga seperti *incomplete fusion* atau *porosity*, yang secara teoritis dapat menjadi jalur keluarnya udara selama pengujian tekanan. Setelah dilakukan *repair* pada titik-titik yang mengalami kebocoran, pengujian kedua menunjukkan adanya penurunan jumlah kebocoran menjadi 3 titik, yaitu 1 titik pada area *tank top* dan 2 titik pada *bottom*. Selanjutnya, setelah dilakukan perbaikan lanjutan, pengujian ketiga tidak lagi menunjukkan adanya kebocoran pada seluruh area sambungan las.

Penurunan jumlah kebocoran secara bertahap dari 7 titik pada pengujian pertama, menjadi 3 titik pada pengujian kedua, hingga 0 titik pada pengujian ketiga

menunjukkan bahwa proses *repair* yang dilakukan telah berjalan efektif dalam meningkatkan kedapatan sambungan las. Dengan demikian, hasil akhir pengujian yang dinyatakan *accept* sesuai ketentuan *BKI Volume I* membuktikan bahwa sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) telah memenuhi persyaratan kedapatan.

Perlu dicatat bahwa titik-titik yang terdeteksi bocor pada *Air Pressure Test* diperbaiki melalui proses penggerindaan dan pengelasan ulang, kemudian hanya diuji ulang dengan *Air Pressure Test*, bukan dengan *Penetrant Test*. Proses *repair* tersebut pada dasarnya merupakan perlakuan panas dan mekanis baru pada material, sehingga berpotensi menimbulkan cacat permukaan baru misalnya seperti *undercut* atau *porosity* yang tidak terdeteksi oleh *Air Pressure Test* karena tidak selalu bersifat tembus. Dengan demikian, status *accept* pada titik-titik *repair* hanya menjamin kedapatan, bukan bebas dari cacat permukaan. Kondisi ini menjadi keterbatasan penelitian karena validitas kesimpulan mengenai kualitas sambungan las secara menyeluruh, khususnya pada titik bekas *repair*, tidak dapat dipastikan sepenuhnya tanpa *Penetrant Test* ulang pada titik tersebut.





Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Air Pressure Test pada Area yang Terjadi Kebocoran (Gambar Pribadi)



Gambar 4. 5 Melakukan Perbaikan (Repair) pada Area yang Mengalami Kebocoran (Gambar Pribadi)





Gambar 4. 6 Hasil Akhir Pada Pengujian Ke 3 Air Pressure Test Tidak Menemukan Kebocoran (Gambar Pribadi)

4.5 Pembahasan Hasil Penetrant Test

Hasil pengujian *Penetrant Test* pada 4 sampel menunjukkan adanya perbedaan kondisi sambungan las berdasarkan lokasi dan jenis sambungan. Pembahasan berikut menjelaskan hasil pada masing-masing sampel berdasarkan data pengujian dan standar yang digunakan.

4.5.1 Sampel 1 – Groove Weld, Tank Top

Pada Sampel 1 tidak ditemukan indikasi cacat pada permukaan sambungan las. Hasil ini menunjukkan bahwa area *groove weld* pada *Tank Top* memenuhi kriteria penerimaan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*. Kondisi permukaan sambungan las yang baik pada area ini kemungkinan dipengaruhi oleh kemudahan akses pengelasan di area *tank top* sehingga proses pengelasan dapat dilakukan dengan lebih stabil dan terkontrol.



Gambar 4. 7 Hasil Penetrant pada Sampel 1 – Groove Weld Area Tank Top (Gambar Pribadi)

4.5.2 Sampel 2 – *T-Joint, Tank Top*

Pada Sampel 2 ditemukan *rounded indication* berupa *porosity* dengan ukuran 2 mm. Berdasarkan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*, *rounded indication* dinyatakan tidak memenuhi syarat apabila ukurannya melebihi 5 mm. Karena ukuran *porosity* pada sampel ini hanya 2 mm, maka Sampel 2 dinyatakan *accept*.

Walaupun masih dinyatakan *accept*, temuan *porosity* ini menunjukkan adanya gas yang terjebak di dalam sambungan las, yang umumnya disebabkan oleh kurang bersihnya permukaan sebelum pengelasan atau adanya kelembaban pada material. Oleh karena itu, kebersihan permukaan dan kestabilan proses pengelasan tetap perlu diperhatikan agar cacat serupa tidak berkembang menjadi cacat yang melebihi batas penerimaan.



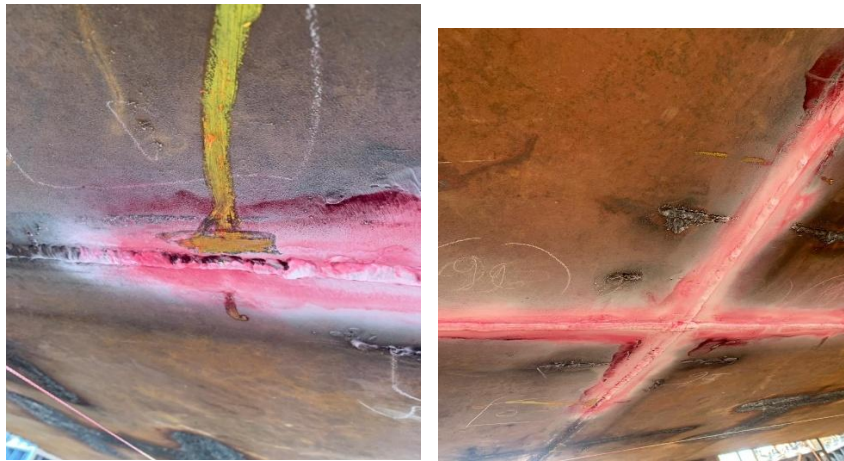
Gambar 4. 8 Hasil Penetrant pada Sampel 2 – *T-Joint Area Tank Top* (Gambar Pribadi)

4.5.3 Sampel 3 – *Cross Joint, Bottom*

Pada Sampel 3 (area *cross joint* bagian *bottom*), hasil *Penetrant Test* (PT) menunjukkan adanya indikasi cacat permukaan berupa *undercut* dengan panjang indikasi sebesar 12 mm. Indikasi terlihat sebagai rembesan cairan *penetrant* berwarna merah yang mengikuti alur cerukan pada tepi sambungan las, sehingga menunjukkan adanya diskontinuitas yang terbuka ke permukaan. Pengukuran dilakukan melalui metode *Visual Testing* (VT) menggunakan alat ukur mistar/meteran baja berskala milimeter dengan mengukur panjang indikasi yang tampak pada permukaan sambungan las. Nilai 12 mm tersebut merupakan panjang indikasi *undercut*, bukan kedalaman cacat. Berdasarkan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*, *linear indication* dengan panjang lebih dari 1,5 mm

dinyatakan *reject*, sehingga hasil pemeriksaan pada Sampel 3 belum memenuhi kriteria penerimaan.

Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh proses pengelasan pada area bottom yang memiliki ruang kerja terbatas sehingga dapat memengaruhi kestabilan sudut elektroda dan kecepatan pengelasan, yang berpotensi menyebabkan terbentuknya undercut pada tepi sambungan. Dugaan ini belum dapat dikonfirmasi karena penelitian tidak memiliki akses terhadap dokumen *Welding Procedure Specification* (WPS) resmi dari perusahaan yang mencantumkan parameter arus dan teknik pengelasan yang sebenarnya digunakan, sehingga penyebab pasti cacat ini tetap menjadi keterbatasan penelitian. Setelah dilakukan perbaikan (*repair*) dan pengujian ulang menggunakan *Penetrant Test*, tidak ditemukan lagi indikasi yang melebihi batas penerimaan sehingga sambungan las dinyatakan *accept*. Dokumentasi hasil pemeriksaan disajikan pada Gambar 4.9. Sebagaimana telah dijelaskan pada metodologi (Sub-bab 3.3.4), pengukuran *undercut* pada penelitian ini terbatas pada panjang *linear* indikasi menggunakan meteran, sedangkan kedalaman tidak diukur secara kuantitatif karena keterbatasan ketersediaan *welding gauge/undercut gauge* di lokasi penelitian.



Gambar 4. 9 Hasil Penetrant pada Sampel 3 – Cross Joint Area Bottom (Gambar Pribadi)

4.5.4 Sampel 4 – Cross Joint, Bottom

Pada Sampel 4 (area *cross joint* bagian *bottom*), hasil *Penetrant Test* (PT) menunjukkan adanya indikasi cacat permukaan berupa *surface slag* dengan ukuran sebesar 6 mm. Indikasi terlihat sebagai rembesan *penetrant* berwarna merah pada lapisan *developer* putih yang menunjukkan adanya diskontinuitas yang terbuka ke

permukaan. Pengukuran dilakukan menggunakan meteran berskala milimeter dengan meletakkan meteran secara lurus pada bagian terluas dari indikasi, sehingga diperoleh ukuran sebesar 6 mm. Nilai tersebut merupakan ukuran indikasi yang tampak di permukaan, bukan ukuran cacat di dalam material. Berdasarkan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8, rounded indication* dengan ukuran lebih dari 5 mm dinyatakan *reject*, sehingga hasil pemeriksaan pada Sampel 4 belum memenuhi kriteria penerimaan. Kondisi ini diduga disebabkan oleh pembersihan sisa terak pengelasan yang kurang sempurna pada area *cross joint* yang memiliki akses kerja terbatas. Sebagaimana halnya pada Sampel 3, dugaan penyebab ini belum dapat dikonfirmasi karena tidak tersedianya dokumen WPS resmi dari perusahaan, sehingga tetap menjadi keterbatasan penelitian. Setelah dilakukan perbaikan (*repair*) dan pengujian ulang menggunakan *Penetrant Test*, tidak ditemukan lagi indikasi yang melebihi batas penerimaan sehingga sambungan las dinyatakan *accept*. Dokumentasi hasil pemeriksaan ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Hasil Penetrant pada Sampel 4 – Cross Joint Area Bottom
(Gambar Pribadi)

4.5.5 Hasil Setelah Repair

Setelah ditemukan cacat pada Sampel 3 dan Sampel 4, dilakukan *repair* dengan cara penggerindaan pada area yang mengalami cacat, kemudian dilakukan pengelasan ulang sesuai parameter yang digunakan. Setelah perbaikan selesai, dilakukan pengujian ulang *Penetrant Test* sampai tidak ditemukan lagi indikasi cacat yang melebihi batas penerimaan. Dengan demikian, status awal pada Sampel 3 dan Sampel 4 adalah *reject*, sedangkan status akhirnya menjadi *accept* setelah diperbaiki dan diuji ulang.



Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Penetrant Test yang Menemukan Cacat Permukaan Pada Area Pengelasan Yang Melebihi Batas Toleransi (Gambar Pribadi)



Gambar 4. 12 Proses Perbaikan(Repair) Pada Sambungan Las Yang Memiliki Cacat Permukaan Yang Melewat Batas Toleransi (Gambar Pribadi)



Gambar 4. 13 Hasil Akhir Setelah Dilakukan Perbaikan Dan Dilakukan Pengujian Ulang Tidak Ditemukan Lagi Cacat Permukaan Pada Hasil Pengelasan (Gambar Pribadi)

4.5.6 Analisis Pola Cacat dan Validasi Metode

Dari empat sampel yang diuji, dua sampel (Sampel 1 dan 2) dinyatakan *accept* sementara dua sampel lainnya (Sampel 3 dan 4) dinyatakan *reject* pada pengujian awal. Pola ini konsisten dengan hasil *Air Pressure Test* yang juga menunjukkan konsentrasi kebocoran pada area *bottom*. Kesamaan pola ini mengindikasikan bahwa area dengan akses pengelasan terbatas, secara konsisten memiliki kualitas sambungan las yang lebih rendah dibandingkan area terbuka seperti *tank top*. Sebaliknya, tidak ditemukan kasus di mana suatu titik dinyatakan *accept* pada satu metode namun *reject* pada metode lain untuk objek yang sama, karena kedua metode diterapkan pada kelompok titik yang berbeda sebagaimana dijelaskan pada Sub-bab 3.1. Validasi metode secara keseluruhan menunjukkan bahwa *Air Pressure Test* efektif mendeteksi kebocoran fungsional secara cepat, sedangkan *Penetrant Test* memberikan resolusi lebih tinggi terhadap jenis dan ukuran cacat permukaan, namun keduanya perlu dipahami sebagai dua evaluasi yang memperluas cakupan informasi bukan saling memvalidasi hasil pada titik yang identik.

4.6 Evaluasi Kualitas Sambungan Las Berdasarkan *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*

Berdasarkan hasil kedua metode pengujian yang telah dilaksanakan, dapat dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap kualitas sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) mengacu pada standar BKI dan ASME. Evaluasi ini menjawab tujuan ketiga penelitian, yaitu mengevaluasi kualitas sambungan las berdasarkan hasil *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* sesuai standar BKI dan ASME.

Hasil *Air Pressure Test* menunjukkan bahwa sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) awalnya belum memenuhi persyaratan kedap, dengan ditemukannya 7 titik kebocoran pada pengujian pertama. Setelah melalui dua kali proses *repair* dan pengujian ulang, seluruh sambungan las dinyatakan kedap dan memenuhi standar *BKI Volume I Classification and Construction tentang Testing Procedures of Watertight Compartments*. Hasil *Penetrant Test* menunjukkan bahwa dari 4 titik sampel yang diperiksa, 2 sampel (Sampel 1 dan Sampel 2) langsung memenuhi *acceptance criteria ASME Section VIII Division I Appendix 8*, sementara 2 sampel lainnya (Sampel 3 dan Sampel 4) dinyatakan *reject*

pada pengujian awal karena ditemukan cacat yang melebihi batas penerimaan. Setelah dilakukan *repair* dan pengujian ulang, seluruh sampel akhirnya memenuhi standar penerimaan.

Secara keseluruhan, kualitas sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) dinyatakan memenuhi persyaratan standar setelah dilakukan proses perbaikan. Cacat yang ditemukan, baik berupa kebocoran pada *Air Pressure Test* maupun cacat permukaan pada *Penetrant Test*, lebih banyak terjadi pada area *bottom* dan *cross joint* yang memiliki akses pengelasan lebih terbatas dibandingkan area *tank top*. Hal ini menunjukkan bahwa faktor akses dan kompleksitas geometri sambungan berpengaruh terhadap kualitas hasil pengelasan di lapangan. Perlu ditegaskan bahwa kesimpulan kualitas sambungan las berdasarkan *Penetrant Test* hanya berlaku pada empat segmen yang diuji, sehingga tidak dapat dijadikan dasar untuk menyatakan seluruh sambungan las pada tangki bebas dari cacat permukaan.

Kombinasi *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* diterapkan pada kelompok titik yang berbeda sehingga memberikan gambaran yang saling terpisah mengenai kualitas sambungan las, bukan saling memvalidasi hasil pada titik yang sama. *Air Pressure Test* memberikan informasi tentang kekedapan tangki secara fungsional, sedangkan *Penetrant Test* memberikan informasi tentang jenis, ukuran, dan lokasi cacat permukaan yang tidak selalu terdeteksi melalui pengujian kekedapan saja. Dengan menggunakan kedua metode secara berurutan, gambaran kondisi kualitas sambungan las dapat diperoleh secara lebih menyeluruh.

4.7 Validasi Hasil Pengujian

Validasi hasil pengujian dilakukan dengan mencocokkan hasil lapangan dengan standar acuan yang digunakan sesuai dengan pendekatan yang telah ditetapkan pada *BAB III*. Pada *Air Pressure Test*, validasi dilakukan melalui pengamatan kestabilan tekanan udara, kondisi kolom air pada *manometer*, dan ada atau tidaknya gelembung atau busa pada area sambungan las. Pada *Penetrant Test*, validasi dilakukan dengan melihat jenis dan ukuran indikasi cacat yang muncul, lalu membandingkannya dengan batas penerimaan yang ditetapkan dalam standar *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8*. Validasi data juga diperkuat melalui dokumentasi visual berupa foto sebelum, saat, dan sesudah pengujian maupun perbaikan pada setiap titik yang diuji. Dengan cara ini, hasil pengujian dapat

dipastikan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan dan dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

4.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Air Pressure Test dan Penetrant Test

No.	Sampel/Pengujian	Hasil Awal	Perbaikan/Repair	Hasil Akhir
1.	<i>Air Pressure Test 1</i>	7 Titik Kebocoran	IYA	<i>Reject</i>
2.	<i>Air Pressure Test 2</i>	3 Titik Kebocoran	IYA	<i>Reject</i>
3.	<i>Air Pressure Test 3</i>	Tidak Ada Kebocoran	TIDAK	<i>Accept setelah perbaikan/repair</i>
4.	Sampel 1 PT	Tidak ada Indikasi Cacat	TIDAK	<i>Accept</i>
5.	Sampel 2 PT	<i>Rounded indication (2 mm)</i>	TIDAK	<i>Accept</i>
6.	Sampel 3 PT	<i>Linear Indication (12 mm)</i>	IYA	<i>Accept setelah perbaikan/repair</i>
7.	Sampel 4 PT	<i>Rounded Indication (6 mm)</i>	IYA	<i>Accept setelah perbaikan/repair</i>

Berdasarkan hasil keseluruhan, pengujian *Air Pressure Test* dilakukan sebanyak tiga kali hingga seluruh sambungan las dinyatakan kedap sesuai standar BKI. Pada pengujian *Penetrant Test*, dua dari empat sampel ditemukan cacat yang relevan, dan keduanya berada pada area *cross joint* bagian *bottom* yang memiliki akses pengelasan lebih terbatas. Setelah dilakukan *repair* dan pengujian ulang, seluruh sampel memenuhi *Acceptance Criteria* sesuai standar *ASME Section VIII*. Kombinasi *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* diterapkan pada kelompok titik yang berbeda, sehingga memberikan gambaran yang saling terpisah mengenai kualitas sambungan las, bukan saling memvalidasi hasil pada titik yang sama. *Air Pressure Test* digunakan untuk menilai kedap tangki secara fungsional, sedangkan *Penetrant Test* digunakan untuk mengidentifikasi jenis dan ukuran cacat permukaan yang berpotensi menjadi sumber kebocoran di kemudian hari.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kebocoran dan cacat permukaan sambungan las pada *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) kapal tugboat menggunakan metode *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian *Air Pressure Test*

Pengujian *Air Pressure Test* dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan tekanan 0,2 bar sesuai standar *BKI Volume I*. Pada pengujian pertama ditemukan 7 titik kebocoran yang tersebar pada area *tank top*, *side shell*, dan *bottom*. Setelah dilakukan perbaikan, pengujian kedua masih menunjukkan 3 titik kebocoran. Pada pengujian ketiga tidak ditemukan lagi indikasi kebocoran sehingga *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) dinyatakan kedap dan memenuhi persyaratan *BKI Volume I*. Kebocoran lebih banyak ditemukan pada area *tanktop*, *bottom* dan pertemuan antar pelat, yang menunjukkan bahwa kondisi akses pengelasan dan bentuk sambungan pada area tersebut berpengaruh terhadap kualitas hasil pengelasan.

5.1.2 Hasil Pengujian *Penetrant Test*

Pengujian *Penetrant Test* dilakukan pada 4 titik sampel dengan panjang pemeriksaan sekitar 300 mm pada setiap titik. Sampel 1 tidak menunjukkan indikasi cacat sehingga dinyatakan *accept*, sedangkan Sampel 2 menunjukkan indikasi porosity berukuran 2 mm yang masih berada di bawah batas penerimaan sehingga juga dinyatakan *accept*. Pada Sampel 3 ditemukan indikasi *undercut* dengan panjang 12 mm yang melebihi batas *linear indication* sesuai *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8* sehingga dinyatakan *reject*. Sampel 4 menunjukkan indikasi *surface slag* berukuran 6 mm yang melebihi batas *rounded indication*, sehingga juga dinyatakan *reject*. Setelah dilakukan perbaikan (*repair*) dan pengujian ulang, seluruh sampel memenuhi kriteria penerimaan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8* dan dinyatakan *accept*. Hasil *Penetrant Test* pada penelitian ini menunjukkan adanya cacat permukaan yang terbuka ke permukaan sambungan las dan tidak digunakan untuk membuktikan adanya kebocoran.

5.1.3 Evaluasi Kualitas Sambungan Las Berdasarkan Kombinasi *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* diterapkan pada kelompok titik sampel yang berbeda dalam evaluasi sambungan las, sehingga memberikan gambaran yang saling terpisah, bukan saling memvalidasi pada titik yang sama. *Air Pressure Test* digunakan untuk memverifikasi kedapantan *Fuel Oil Tank* secara fungsional, sedangkan *Penetrant Test* digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan yang terbuka pada sambungan las. Berdasarkan hasil kedua metode tersebut, setelah seluruh proses perbaikan selesai dilakukan, *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) memenuhi persyaratan kedapantan berdasarkan *BKI Volume I* dan memenuhi kriteria penerimaan cacat permukaan berdasarkan *ASME Section VIII Division 1 Appendix 8* pada area yang diperiksa.

Kesimpulan penelitian ini berlaku sesuai dengan ruang lingkup pengujian yang dilakukan, yaitu *Air Pressure Test* pada seluruh sambungan *Fuel Oil Tank No. 3* sisi kanan (*STBD*) dan *Penetrant Test* pada 4 titik sampel dengan panjang pemeriksaan sekitar 300 mm setiap titik. Oleh karena itu, hasil dari kualitas sambungan las berdasarkan pengujian *Penetrant Test* hanya berlaku pada empat segmen sambungan las yang diuji, sehingga tidak dapat dijadikan dasar untuk menyatakan seluruh sambungan tangki bebas cacat permukaan.

5.2 Saran

Perlu ditegaskan bahwa saran-saran berikut disusun dengan tetap memperhatikan bahwa hasil *Penetrant Test* dalam penelitian ini hanya mencakup empat segmen sambungan las sepanjang 300 mm, bukan keseluruhan tanki. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

5.2.1 Pelaksanaan Pengujian *Non Destructive Test* (NDT)

Pelaksanaan *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* sebaiknya tetap mengacu pada standar yang berlaku serta prosedur inspeksi yang diterapkan oleh perusahaan. *Air Pressure Test* perlu dilakukan dengan memastikan tekanan uji tetap stabil sesuai ketentuan, sedangkan pada *Penetrant Test* kondisi permukaan harus bersih, kering, dan bebas dari minyak maupun kotoran agar indikasi cacat permukaan dapat terlihat

dengan jelas. Penerapan prosedur pengujian yang sesuai diharapkan dapat meningkatkan keakuratan hasil inspeksi sambungan las.

5.2.2 Dokumentasi Hasil Inspeksi

Setiap hasil inspeksi sebaiknya didokumentasikan secara lengkap, meliputi lokasi pengujian, jenis indikasi cacat, hasil pengukuran, proses perbaikan (*repair*), serta hasil pengujian ulang setelah dilakukan perbaikan. Dokumentasi yang lengkap akan mempermudah proses evaluasi kualitas sambungan las dan menjadi data pendukung apabila dilakukan pemeriksaan lanjutan.

5.2.3 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, terutama terkait ketiadaan prosedur tertulis resmi dari perusahaan. Dalam pelaksanaannya, *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* dilakukan mengikuti praktik lapangan yang berlaku di PT. CIH Indonesia, namun peneliti tidak memperoleh dokumen prosedur NDT tertulis yang disahkan secara formal untuk kedua metode tersebut. Akibatnya, kriteria penerimaan dalam penelitian ini mengacu pada standar umum, yaitu *BKI Volume I* untuk *Air Pressure Test* serta *ASME BPVC Section V* dan *Section VIII Division 1* untuk *Penetrant Test*, bukan pada standar *internal* perusahaan yang sesungguhnya diterapkan di lapangan. Hal ini menjadi keterbatasan mendasar yang memengaruhi interpretasi hasil penelitian, karena validitas yang diperoleh hanya menunjukkan kesesuaian pelaksanaan pengujian terhadap standar *eksternal*, bukan verifikasi terhadap prosedur internal perusahaan yang telah terdokumentasi dan tervalidasi secara resmi. Dengan demikian, penelitian ini hanya dapat membuktikan *procedural compliance* terhadap standar umum, sementara konsistensi penerapan parameter pengujian antar operator dan antar waktu tetap belum dapat dipastikan sepenuhnya.

Selain itu, terdapat keterbatasan pada cakupan dan ketelitian pemeriksaan *Penetrant Test*. Pemeriksaan hanya dilakukan pada empat segmen sambungan las dengan panjang masing-masing 300 mm, sehingga temuan cacat permukaan hanya berlaku pada area yang diuji dan belum dapat mewakili seluruh sambungan las pada *Fuel Oil Tank*. Evaluasi terhadap akumulasi *rounded indication* juga masih didasarkan pada pola sebaran visual tanpa pemetaan kuantitatif jarak antarindikasi,

sehingga kemungkinan adanya indikasi-indikasi kecil yang berdekatan belum terdokumentasi secara rinci. Penelitian ini juga tidak menggunakan *welding gauge* atau *undercut gauge*, sehingga cacat *undercut* hanya dapat diukur dari panjang indikasinya di permukaan, sedangkan kedalamannya tidak diketahui. Di samping itu, metode NDT lain seperti *Ultrasonic Test* (UT) dan *Radiographic Test* (RT) tidak dilibatkan, sehingga potensi cacat bawah permukaan yang tidak terdeteksi oleh *Penetrant Test* tidak dapat dievaluasi.

Keterbatasan lain terletak pada urutan pengujian dan kalibrasi alat ukur. *Air Pressure Test* dalam penelitian ini dilakukan sebelum *Penetrant Test* sesuai prosedur lokal PT. CIH Indonesia, padahal dalam praktik industri pada umumnya *Penetrant Test* biasanya dilakukan lebih dahulu sebelum uji tekanan. Perbedaan urutan ini menjadi keterbatasan metodologis bila dibandingkan dengan *best practice* yang lebih luas. Terakhir, verifikasi alat ukur tekanan hanya dilakukan melalui verifikasi silang antara pressure gauge dan manometer air, bukan melalui kalibrasi formal terhadap standar acuan yang tertelusur, sehingga akurasi absolut pembacaan tekanan belum sepenuhnya terjamin.

5.2.4 Pengembangan Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan keterbatasan yang telah diuraikan pada Sub-bab 5.2.3, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperoleh atau menyusun dokumen prosedur NDT internal perusahaan sebagai pembanding terhadap standar umum yang digunakan, sehingga kriteria penerimaan yang digunakan benar-benar mencerminkan standar yang diterapkan di lapangan. Selain itu, cakupan sampel *Penetrant Test* perlu diperluas ke jumlah segmen dan area yang lebih banyak, idealnya mencakup seluruh atau sebagian besar sambungan las pada tangki, agar hasil identifikasi cacat permukaan lebih representatif, disertai pemetaan posisi dan jarak antarindikasi secara kuantitatif (misalnya per *interval* 10 mm) untuk mengevaluasi akumulasi *rounded indication* secara lebih presisi dan terdokumentasi, bukan hanya berdasarkan observasi *visual* menyeluruh seperti pada penelitian ini.

Dari sisi pengukuran, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan *welding gauge* atau *undercut gauge* agar kedalaman profil cacat *undercut* dapat diukur, bukan hanya panjang indikasi di permukaan, serta menggunakan alat ukur

tekanan yang telah dikalibrasi secara formal dan tertelusur ke standar acuan resmi, bukan sekadar verifikasi silang antar-alat seperti yang dilakukan pada penelitian ini, guna meningkatkan akurasi dan keandalan data tekanan pengujian. Penelitian selanjutnya juga disarankan mengombinasikan *Penetrant Test* dengan metode NDT lain seperti *Ultrasonic Test* (UT) atau *Radiographic Test* (RT) untuk mendeteksi cacat bawah permukaan (*subsurface defect*) yang tidak dapat teridentifikasi oleh *Penetrant Test*, serta menguji atau membandingkan urutan pengujian sesuai *best practice industri* melakukan pengujian *Penetrant Test* sebelum *Air Pressure Test* dengan urutan yang diterapkan pada penelitian ini, untuk mengevaluasi pengaruh urutan tersebut terhadap validitas hasil deteksi cacat pada area *repair*.

Penelitian selanjutnya juga disarankan menyusun atau meminta perusahaan menyusun prosedur NDT internal yang secara eksplisit menjelaskan dasar penggunaan *Air Pressure Test* dan *Penetrant Test* secara berdampingan pada objek yang sama, dengan mengacu pada persyaratan *BKI Volume VI Rules for Welding* Bab 12. Bagian I mengenai pemeriksaan NDT permukaan dan uji kedalaman, sehingga validitas penerapan kedua metode tersebut tidak hanya bersandar pada kesesuaian terhadap standar umum, tetapi juga terdokumentasi dalam prosedur internal yang tervalidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society Of Mechanical Engineers. (2023). Asme Boiler And Pressure Vessel Code (Bpvc) Section V: Nondestructive Examination. Asme.
- American Society Of Mechanical Engineers. (2023). Asme Boiler And Pressure Vessel Code (Bpvc) Section Viii, Division 1. Asme.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2022). Rules For Classification And Construction, Part 1: Seagoing Ships. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2022). Rules For Classification And Construction, Volume Ii: Hull. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2022). Rules for Welding, Volume VI. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Endramawan, T., Haris, E., Dionisius, F., & Prika, Y. (2017). Analisa Hasil Pengelasan Smaw 3g Butt Joint Menggunakan Non-Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Berdasarkan Standar Asme.
- Faizal, M., & Umam, S. (2018). Analisis Kekuatan Dan Kualitas Sambungan Las Dengan Variasi Pendinginan Oli Dan Udara Pada Material Astm A36 Dengan Pengujian Ndt (Non- Destructive Test). *Bina Teknik*, 14(2), 131–138.
- Harsono, C. C., Wahyuni, A. A. I. S., Beno, J., & Fatimah, S. (2024). Upaya Penanggulangan Kebocoran Tangki Muatan Mt Sepinggaan P. 3008 Dengan Fishbone Analysis. *Jpb: Jurnal Patria Bahari*, 4(1), 17–27.
- Herlina, F., Suprpto, M., & Siswanto, S. (2018). Analisa Teknis Pengujian Kekedapan Pengelasan Pada Tangki Tongkang Dengan Membandingkan Metode Chalk Test, Air Pressure Test, Dan Vacuum Test. *Info-Teknik*, 19(1), 69–86.
- Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2007). Proses Pengujian Tidak Merusak. *Kapal*, 4(1).
- Pratama, R. Y., Basuki, M., & Pranatal, E. (2020). Analisis Cacat Pengelasan Pada Material Baja Kapal Ss 400. *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Prayoga, D. S. (2023). Analisis Penanggulangan Kebocoran Plat Tangki Bahan Bakar Di Kapal Mv Tanto Damai.
- Purwanto, P., Wa'addulloh, M. I., & Widdo, R. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Hasil Pengelasan Fcaw Antara Material Grade A Terhadap Macro Structure Test Di Insert Plate Ship Deck Ramah Lingkungan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim*, 24(2), 225-234.
- Riyanto, P. A., Manik, P., & Amiruddin, W. (2022). Analisa Kekedapan Sambungan Papan Laminasi Komposit Berpenguat Serat Bambu Apus Dengan Matrik Resin Epoxy. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(4), 31–40.
- Siagian, P. J. H., Arifin, N. L., Ulfah, N., & Widiastuti, H. (2022). Inspeksi Hasil

Sambungan Pengelasan Smaw Pada Pembuatan Frame Acid Skid Dengan Metode Liquid Penetrant Testing. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (Jatra)*, 4(1), 28–33.

Sunaryo, H. (2008). *Teknik Pengelasan Kapal*. Dinas Pendidikan Nasional.

Suseno, D. (2025). Evaluasi Visual Dan Uji Penetrant Wire Rope Sling Pada Pesawat Angkat Di Industri Energi Panas Bumi. *Journal Of Mandalika Literature*, 6(2).

Syaifullah, M. A., Jalil, J., & Rachman, D. T. (2023). Evaluasi Pengujian Hasil Welding Pelat Dengan Metode Chalk Test Dan Air Pressure Test. *Sensistek*, 6(1)

Syukron, M., & Baskoro, B. W. (2021). Proses Pengelasan Flux Core Arc Welding (Fcaw) Pada Plat Abs Grade A Untuk Konstruksi Kapal Harbour Tug Pt. Dok Bahari Nusantara Cirebon–Jawa Barat. *Journal Of Metallurgical Engineering And Processing Technology*, 105-109.

Widodo, R., Purwanto, P., & Siswadi, S. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Ampere Pengelasan Fcaw Antara Baja Grade Eh36 Dengan Grade A Terhadap Sifat Mekanik. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 65-7

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar – Gambar Penelitian



Gambar 1. Kapal Tugboat objek penelitian di PT. CIH Indonesia



Gambar 2. Pressure Gauge yang digunakan pada pengujian Air Pressure Test



Gambar 3. Cleaner, Developer, dan Penetrant yang digunakan pada pengujian Penetrant Test



Gambar 4. Pengujian *Air Pressure Test* pada sambungan las *Fuel Oil Tank*



Gambar 5. Pengujian *Penetrant Test* pada sambungan las *Fuel Oil Tank*



Gambar 6. Hasil pengujian *Air Pressure Test*



Gambar 7. Hasil pengujian *Penetrant Test*



Gambar 8. Proses perbaikan (*repair*) pada titik kebocoran hasil *Air Pressure Test*



Gambar 9. Proses perbaikan (*repair*) pada indikasi cacat hasil *Penetrant Test*



Gambar 10. Hasil perbaikan pengujian *Air Pressure Test* setelah repair



Gambar 11. Hasil perbaikan pengujian *Penetrant Test* setelah repair

24% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

24%  Internet sources
7%  Publications
0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

24%  Internet sources
7%  Publications
0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	eprints.untirta.ac.id	3%
2	Internet	eprints.polbeng.ac.id	3%
3	Internet	jurnal.polibatam.ac.id	1%
4	Internet	ejournal.uprvj.ac.id	1%
5	Internet	journal.unhas.ac.id	1%
6	Internet	s1math.fmipa.ugm.ac.id	<1%
7	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%
8	Internet	sofian29081985.blogspot.com	<1%
9	Internet	iwnt.com	<1%
10	Internet	repository.unimar-amni.ac.id	<1%
11	Internet	dspace.uil.ac.id	<1%

12	Internet	123dok.com	<1%
13	Internet	repository.um-surabaya.ac.id	<1%
14	Internet	docplayer.info	<1%
15	Internet	repository.uis.ac.id	<1%
16	Internet	core.ac.uk	<1%
17	Internet	repository.polibatam.ac.id	<1%
18	Internet	jurnal.upnyk.ac.id	<1%
19	Internet	journal.unpas.ac.id	<1%
20	Internet	sinta.unud.ac.id	<1%
21	Internet	jurnal.unimar-amni.ac.id	<1%
22	Internet	repository.pnj.ac.id	<1%
23	Publication	Jupri Jupri, Pardi Pardi, Afriantoni Afriantoni, "EVALUASI CACAT PERMUKAAN SAM...	<1%
24	Internet	inspenet.com	<1%
25	Internet	rama.unimal.ac.id	<1%

26	Internet	repository.pip-semarang.ac.id	<1%
27	Internet	etd.umy.ac.id	<1%
28	Internet	id.scribd.com	<1%
29	Internet	repository.its.ac.id	<1%
30	Internet	repository.upnjatim.ac.id	<1%
31	Internet	www.coursehero.com	<1%
32	Internet	journal.ubb.ac.id	<1%
33	Internet	jurnal.batan.go.id	<1%
34	Internet	repository.upi.edu	<1%
35	Internet	id.123dok.com	<1%
36	Internet	www.journal.unrika.ac.id	<1%
37	Internet	infosolda.com.br	<1%
38	Internet	ejournal3.undip.ac.id	<1%
39	Internet	repository.nusamandiri.ac.id	<1%

54	Internet	sisformik.atim.ac.id	<1%
55	Internet	ecampus.utmj.ac.id	<1%
56	Internet	repository.unusia.ac.id	<1%
57	Publication	Astary Nugroho, Khaeroman, Haris Nubli, Aditya Rio Prabowo, Hartono Yudo. "F...	<1%
58	Internet	jurnal.polindra.ac.id	<1%
59	Internet	doku.pub	<1%
60	Internet	repository.itsb.ac.id	<1%
61	Internet	repository.ukdw.ac.id	<1%
62	Internet	lib.unnes.ac.id	<1%
63	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
64	Internet	text-id.123dok.com	<1%
65	Publication	Wibowo, Susilo Ari. "Kendali Tekanan Udara Berbasis Fuzzy Logic Dan PID Pada R...	<1%
66	Publication	Yowana, Rizqi Aji. "Membangun Brand Religius Image dan Brand Trust Terhadap ...	<1%
67	Internet	ejurnal.bunghatta.ac.id	<1%

68	Internet	vdocuments.site	<1%
69	Publication	Haikal Haikal. "PENGARUH PARAMETER PENGELASAN RESISTANCE SPOT WELDING...	<1%
70	Internet	elib.pnc.ac.id	<1%
71	Internet	kc.umn.ac.id	<1%
72	Internet	library.um.ac.id	<1%
73	Internet	repository.pelitabangsa.ac.id:8080	<1%
74	Publication	Asep Rahman, Hilman Sholih. "PENGENDALIAN KUALITAS PROSES FABRIKASI SAN...	<1%
75	Publication	Patterson KpunTarila Prince, Olisa Y . P, Ezeh Ernest Mbamalu. "Non-Destructive ...	<1%
76	Internet	andhikanandha59.blogspot.com	<1%
77	Internet	edoc.site	<1%
78	Internet	ejurnal.untag-smd.ac.id	<1%
79	Internet	eprints2.undip.ac.id	<1%
80	Internet	fr.scribd.com	<1%
81	Internet	iptek.its.ac.id	<1%

82	Internet	johannessimatupang.wordpress.com	<1%
83	Internet	yafis.untad.ac.id	<1%
84	Internet	massetiyo-tambahsari.blogspot.com	<1%
85	Internet	pbi-umpwr-purworejo.github.io	<1%
86	Internet	pdfcoffee.com	<1%
87	Internet	repository.bakrie.ac.id	<1%
88	Internet	vdocuments.mx	<1%
89	Internet	vibdoc.com	<1%
90	Publication	Ganif Djuwadi, Diniyah Kholidah, Bernadus Sunindya, Handy Lala, Dimas Saputra....	<1%
91	Publication	Gabriel Stella Sinay, Julpan Gobel, Romi Djafar, Syaiful Umela, Yunita Djamalu. "...	<1%
92	Publication	Ni Luh Made Janeta Indriyani, Utik Kuntariati. "Kualitas Gula Aren Khas Buleleng, ...	<1%