

**EVALUASI PENGELASAN FCAW PADA KORT NOZZLE
KAPAL TUGBOAT 28 M MENGGUNAKAN METODE AIR
PRESSURE TEST**

**Disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai gelar Ahli Madya/Sarjana
Terapan**

Dosen Pembimbing : Ebeng Sugondo, S.T., M.T.



Disusun oleh:
RAAL WALI PUTRA
4422211005

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELASAN DAN
FABRIKASI JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI BATAM
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

Evaluasi Pengelasan FCAW Pada *Kort Nozzle* Kapal Tugboat 28M Menggunakan
Metode *Air Pressure Test*

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

Evaluasi Pengelasan FCAW Pada *Kort Nozzle* Kapal Tugboat 28M Menggunakan
Metode *Air Pressure Test*

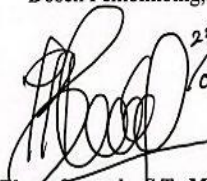
Disusun oleh :

RAAL WALI PUTRA
NIM. 4422211005

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing.

Batam, 23 April 2025

Dosen Pembimbing,


23/04/2025
Ebeng Sugondo, S.T., M.T.
NIK. 125335

HALAMAN PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

Evaluasi Pengelasan FCAW Pada *Kort Nozzle* Kapal Tugboat 28M Menggunakan
Metode *Air Pressure Test*

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 :

RAAL WALI PUTRA

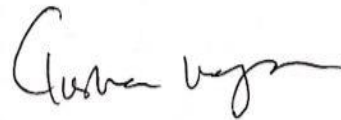
Telah diterima dan disetujui pada 23 April 2026

Penguji I

Penguji II

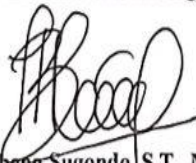


Nurman Pamungkas, S.T., M.T.
NIK. 111083



Tiwi Gustria Ningsih, S.Pd., M. Han.
NIK. 125334

Dosen Pembimbing I



Ebong Sugondo, S.T., M.T.
NIK. 125335

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Fabrikasi dan
Pengelasan



Nurul Laili Arifin, S. ST., M.T.
NIK. 115139

Ketua Jurusan
Jurusan Teknik Mesin



Ir. Ari Wibowo, S.T., M.Eng.
NIK. 114125

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Raal Wali Putra
NIM	: 4422211005
Tahun terdaftar	: 2026
Program Studi Fabrikasi	: Teknologi Rekayasa Pengelasan Dan
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 Laporan Tugas Akhir 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, 23 April 2026



Raal Wali Putra
4422211005

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah, karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Evaluasi Pengelasan FCAW Pada Kort Nozzle Kapal Tugboat 28M Menggunakan Metode *Air Pressure Test*”. Tulisan ini disampaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan Dan Fabrikasi, Politeknik Negeri Batam. Saya menyadari bahwa dalam proses penyusunan tulisan ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian, penyelesaian tesis ini dapat terwujud atas bimbingan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Penghargaan serta ucapan terima kasih secara khusus penulis ucapkan kepada:

1. Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, atas limpahan rahmat, hidayah, serta inayah nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan dan doa yang tiada henti nya kepada penulis.
3. Keluarga tercinta, yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ari Wibowo, S.T., M.Eng. selaku kepala jurusan yang telah memberikan dukungan dan fasilitas akademik yang menjadikan penulis dapat menjalankan seluruh proses studi hingga penelitian ini selesai.
5. Hendra Butar Butar, S.Pd., M.T. selaku wali dosen yang telah membimbing, memantau perkembangan studi, serta memberikan dukungan moral selama masa perkuliahan.
6. Ebeng Sugondo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, yang dengan penuh perhatian telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan bimbingan yang sabar serta membangun sejak tahap perencanaan hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.

7. Nurul Laili Arifin, S. S.T., M.T. selaku ketua kaprodi yang selalu memberikan motivasi serta mengarahkan mahasiswa untuk terus berkembang dalam bidang keilmuan.
8. Pimpinan dan seluruh staf kampus, yang telah menyediakan fasilitas dan bekal ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
9. Adi Petrus Manik, S.T. selaku mentor selama kegiatan magang, yang telah memberikan ilmu praktis, pengalaman lapangan, serta kesempatan untuk memahami proses pengelasan, konstruksi perkapalan, dan pengujian langsung.
10. Arief Darmawan, S.T. selaku mentor selama kegiatan magang, yang telah memberikan ilmu praktis, pengalaman lapangan, serta kesempatan untuk memahami proses pengelasan, konstruksi perkapalan, dan pengujian langsung.
11. Teman-teman dan rekan seperjuangan saya, yang telah memberikan bantuan, kerja sama, serta menjadi tempat berdiskusi selama penyusunan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran dan masukan yang membangun dari berbagai pihak sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Besar harapan penulis, semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, kampus, maupun pihak yang membutuhkan informasi khususnya dalam bidang pengelasan dan perkapalan.

ABSTRAK

Kualitas sambungan pengelasan merupakan faktor krusial dalam industri manufaktur perkapalan demi menjaga integritas struktur, terutama pada komponen vital seperti *kort nozzle* yang berperan meningkatkan efisiensi daya dorong kapal. Meskipun metode pengelasan *flux-cored arc welding* (FCAW) banyak digunakan karena produktivitasnya yang tinggi, ketidaktepatan dalam menentukan parameter las tetap berisiko menimbulkan kegagalan struktural. Penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi kualitas pengelasan FCAW pada *kort nozzle* kapal Tugboat 28M dengan menganalisis sejauh mana variasi arus listrik memengaruhi kekuatan dan kedap sambungan las. Metode penelitian yang diterapkan adalah eksperimental, yaitu dengan membandingkan tiga variasi arus (*ampere*): 200A, 250 A, dan 300 A pada material baja sesuai dengan standard proyek. Proses evaluasi dilakukan melalui dua tahap, yakni *inspeksi visual* yang mengacu pada standard AWS D1.1 untuk memantau cacat permukaan, serta menggunakan metode pengujian *air pressure test* dengan tekanan 0,2 bar sesuai dengan rules BKI guna menguji tingkat kedap hasil las. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan arus 250 menghasilkan kualitas sambungan yang paling optimal dengan status kedap sempurna (ACC). Sebaliknya, arus 200 mengakibatkan penetrasi yang tidak maksimal sehingga memicu tujuh titik kebocoran akibat cacat *lack of fusion*, *porosity*, *slagi*. Sementara itu, arus 300 menyebabkan masukan panas berlebih yang memicu timbulnya cacat *undercut* dan *hot crack*. Dapat disimpulkan bahwa parameter arus 250 merupakan nilai yang paling ideal dalam pengerjaan *kort nozzle* pada proyek ini, karena mampu memenuhi standard kualitas visual maupun teknis kedap udara yang di persyaratkan.

Kata Kunci: Pengelasan FCAW, *Kort Nozzle*, *Air Pressure Test*, Arus pengelasan, Kedap las.

ABSTRACT

The quality of welded joints is a crucial factor in the shipbuilding industry to ensure structural integrity, particularly for vital components such as the kort nozzle, which plays a key role in enhancing propulsion efficiency. Although Flux-Cored Arc Welding (FCAW) is widely utilized due to its high productivity, improper selection of welding parameters poses a significant risk of structural failure. This study focuses on evaluating the quality of FCAW welding on the kort nozzle of a 28M Tugboat by analyzing how variations in electrical current affect the strength and tightness of the welded joints. The research methodology employed is experimental, comparing three variations of welding current: 200 A, 250 A, and 300 A, on steel materials according to project standards. The evaluation process was conducted in two stages: a visual inspection referencing the AWS D1.1 standard to monitor surface defects, and an air pressure test with a pressure of 0.2 bar in accordance with BKI (Classification Bureau of Indonesia) rules to verify the tightness of the welds. The evaluation results indicate that the 250 A current produced the most optimal joint quality, achieving a fully airtight status (ACC). Conversely, the 200 A current resulted in insufficient penetration, triggering seven leak points caused by defects such as lack of fusion, porosity, and slag inclusions. Meanwhile, the 300 A current led to excessive heat input, which induced undercut and hot crack defects. In conclusion, a current parameter of 250 A is the most ideal for kort nozzle fabrication in this project, as it successfully meets both visual quality standards and the required technical specifications for airtightness.

Keywords: *FCAW Welding, Kort Nozzle, Air Pressure Test, Welding Current, Weld Tightness.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Berlakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah/Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.5.1 Manfaat teoritis.....	5
1.5.2 Manfaat praktis	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Hasil penelitian/perancangan terdahulu	7
2.2. Teori/Konsep Dasar	8
2.2.1Pengelasan.....	8
2.2.2 Pengelasan FCAW	9
2.2.3 Sambungan pengelasan dan jenis kampuh.....	17
2.2.4 Material las.....	19
2.2.5 Kort nozzle.....	21
2.2.6 Posisi pengelasan	22
2.2.7 Pengertian cacat las (<i>weld discontinuity</i>)	24
2.2.8 Metode <i>air pressure test</i>	27
2.2.9 Standard pengujian BKI.....	29
2.3.10 Kualitas Las FCAW Berdasarkan Air Pressure Test	29
BAB III METODOLOGI.....	31
3.1. Metode Penelitian.....	31
3.2. Waktu Dan Tempat Penelitian	32
3.3. Alat Dan Bahan	32
3.4. Objek penelitian	32
3.5. Prosedur penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40

4.1. Data Penelitian.....	40
4.2. Evaluasi Hasil Dari Pengujian	41
4.3. Hasil Validasi Melalui <i>Air Pressure Test (0,2 Bar)</i>	47
4.4. Pembahasan Ilmiah	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu	7
Tabel 2. 2 Komponen penyusun inti fluks pada kawat FCAW (O,Brien, 2004)	11
Tabel 2. 3 Mechanical properties material ABS Grade A (BBN Shipbuilding)	20
Tabel 2. 4 Komposisi kimia material baja grade A (Purwanto dkk, 2024)	21
Tabel 3. 1 Parameter pengelasan V1	35
Tabel 3. 2 Parameter pengelasan V2	36
Tabel 3. 3 Parameter pengelasan V3	36
Tabel 3. 4 Parameter pengujian air pressure test rules BKI (Klasifikasi rules BKI, 2022)	38
Tabel 4. 1 Hasil pengujian air pressure test	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Bentuk Kort Nozzle Kapal Tugboat (Sihaloho, 2020)	2
Gambar 2. 1Skema pengelasan FCAW (O, Brien, 2004)	10
Gambar 2. 2Posisi sudut elektroda pengelasan FCAW (Maritime Welding Handbook).....	16
Gambar 2. 3 Jenis-jenis las kampuh (Achmadi, 2022).....	17
Gambar 2. 4 Jenis-jenis sambungan las sudut (Achmadi, 2022)	18
Gambar 2. 5 Skema cara kerja kort nozzle (Putra dkk, 2015)	21
Gambar 2. 6 Posisi pengelasan groove (Germanese, 2023).....	23
Gambar 2. 7 Tipe-tipe crack (American Welding Society (AWS) A3.0, 2020).....	24
Gambar 2. 8 Jenis-jenis cacat pengelasan (Achmadi, 2024)	25
Gambar 2. 9 Pengujian air test (Klasifikasi rules BKI, 2022).....	30
Gambar 4. 1 Jenis sambungan pada kort nozzle.....	40
Gambar 4. 2 Pemeriksaan awal saat pengujian bersama BKI	41
Gambar 4. 3 Lokasi kebocoran pada arus 300 berdasarkan drawing kort nozzle ...	42
Gambar 4. 4 Lokasi kebocoran pada arus 200 berdasarkan drawing kort nozzle ...	43
Gambar 4. 5 Indikasi Jenis Defect	44
Gambar 4. 6 Tekanan 0,2 bar pada pressure gauge	47
Gambar 4. 7 Proses Repair (Perbaikan).....	47
Gambar 4. 8 Proses Pemeriksaan ulang saat air pressure test bersama BKI	48

BAB I PENDAHULUAN

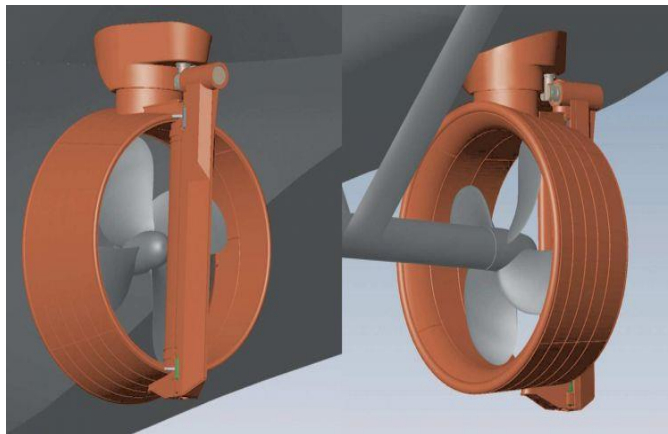
1.1.Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi dan industri saat ini, industri perkapalan di Indonesia mempunyai peran penting dalam mendukung peningkatan ekonomi negara berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya laut (Firmansyah dkk, 2018). Salah satunya adalah kapal Tugboat. Kapal Tugboat adalah kapal tunda yang beroperasi di perairan pelabuhan dan pelayaran dengan fungsi menarik, mendorong, dan juga menggandeng kapal, dan juga dapat digunakan untuk kegiatan SAR. Kapal ini memiliki berbagai ukuran dan daya mesin yang disesuaikan dengan kebutuhan operasional pemilik kapal (Fajar dkk, 2020). Oleh karena itu, seiring dengan tugas yang digunakan kapal Tugboat, kualitas struktur pengelasan menjadi salah satu aspek yang sangat penting untuk menjamin keamanan dan efisiensi operasional kapal agar terhindar dari keretakan atau kegagalan struktur kapal. Pengelasan adalah salah satu metode utama dalam pengerjaan konstruksi perkapalan, salah satu nya yaitu pada *kort nozzle*. Dari banyaknya jenis pengelasan, *Flux-Core Arc Welding* (FCAW) telah menjadi pilihan paling banyak yang digunakan dalam galangan kapal karena keunggulannya dalam hal kecepatan dan juga efisiensi produksi penyambungan 2 pelat baja yang berukuran panjang (Syukron dkk, 2021).

Pada umumnya, jenis pengelasan FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Elektroda atau kawat las pada FCAW terbuat dari metal tipis yang digulung *cyilindrical* / bentuk kawat nya berongga, yang di isi dengan *flux* sesuai dengan kegunaannya sebagai gas pelindung yang melindungi logam cair dari kontaminasi atmosfer (Ryadin, 2020). Pengelasan FCAW sering digunakan karena kemampuannya untuk menghasilkan sambungan yang kuat serta tahan lama. Namun, dalam konteks pengelasan pada konstruksi *kort nozzle* kapal Tugboat, terdapat tantangan khusus yang harus diatasi seperti kondisi lingkungan laut yang *extrem*. Kualitas las menjadi faktor

yang sangat krusial dalam menuntut standard kualitas pengelasan yang lebih ketat (Nurfani, 2025).

Salah satu komponen yang penting pada kapal Tugboat yang berperan besar dalam mendukung performa kapal adalah kort nozzle. Komponen ini berbentuk cincin yang mengelilingi baling-baling dan berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dorong serta kemampuan manuver kapal, terutama bagi kapal dengan kebutuhan daya dorong besar.



Gambar 1. 1 Bentuk Kort Nozzle Kapal Tugboat (Sihaloho, 2020)

Pada penelitian terdahulu untuk kualitas dan fungsi dari *kort nozzle* lebih memfokuskan pada analisis hidrodinamika *kort nozzle* menggunakan CFD (Rakhmadi dkk, 2016). Disisi lain, aspek kualitas sambungan las sebagai struktur belum banyak dikaji secara eksperimental terapan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada evaluasi kualitas las pada *kort nozzle* melalui metode *air pressure test*. Metode ini menggunakan bahan dasar air sabun dan udara dari kompresor untuk mengetahui titik-titik halus yang mengalami kebocoran. Pada pengujian ini menggunakan tekanan minimum 0,2 bar. Dikarenakan pada proses ini menggunakan cairan sabun sehingga pada saat ada titik yang mengalami kebocoran akan menimbulkan gelembung busa karena adanya udara dari dalam. Pengujian ini memiliki peranan penting dalam memastikan bahwa sambungan las pada kapal terutama di *kort nozzle* benar-benar tidak ada kebocoran dan mampu menahan tekanan operasional yang muncul saat kapal beroperasi di laut (Syarifullah dkk, 2023)(Klasifikasi rules BKI, 2022).

Ketertarikan penelitian ini dilatarbelakangi oleh sering ditemukannya cacat pengelasan pada konstruksi kapal Tugboat di galangan kapal, meskipun metode

Flux-Cored Arc Welding (FCAW) dikenal memiliki efisiensi dan kualitas sambungan yang baik. Cacat seperti porositas, retak las, *slag*, *lack of fusion*, dan juga kebocoran mikro kerap terjadi pada komponen kritis seperti *kort nozzle* akibat pengaruh lingkungan kerja, keterampilan juru las, ketidak sesuaian dari parameter las, serta kompleksitas bentuk komponen. Cacat yang terdeteksi dapat menurunkan efisiensi propulsi dan meningkatkan risiko kegagalan struktur kapal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kualitas pengelasan FCAW pada *kort nozzle* kapal Tugboat menggunakan metode *Air pressure test* guna menjamin keselamatan dan keandalan operasional kapal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mutu sambungan pengelasan pada proses *flux core arc welding* (FCAW) di bagian *kort nozzle* kapal Tugboat 28M jika dinilai melalui hasil pengujian menggunakan metode *air pressure test*?
2. Jenis cacat las apa yang paling umum dijumpai di ketiga variasi arus pada *kort nozzle* kapal Tugboat 28M setelah dilakukan pemeriksaan menggunakan metode *air pressure test*, dan bagaimana tingkat keparahan dari cacat tersebut?
3. Bagaimana keterkaitan antara parameter proses las FCAW, terutama seperti variasi arus (*ampere*) yang sangat di fokuskan pada penelitian ini untuk kualitas hasil pengelasan yang diuji menggunakan metode *air pressure test* pada *kort nozzle* kapal Tugboat 28M?

1.3. Batasan Masalah/Ruang Lingkup

Namun untuk menghindari pembahasan yang melebar dalam tugas akhir ini, maka penulis akan membatasi ruang lingkup penelitian yang meliputi :

Penelitian ini dibatasi pada kegiatan penilaian kualitas sambungan las yang dihasilkan melalui metode *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) pada komponen *kort nozzle* kapal Tugboat 28M yang diproduksi di satu galangan kapal tertentu. Fokus evaluasi kualitas sambungan las diarahkan secara umum pada adanya indikasi kebocoran yang teridentifikasi melalui pelaksanaan *air pressure test* dengan tekanan pengujian minimal 0,2 bar sebagai metode evaluasi utama. Penelitian ini tidak mencakup pengujian sifat mekanik sambungan las, seperti tensile, shear,

maupun fatigue, tidak melakukan pengendalian atau variasi parameter proses pengelasan secara eksperimental, serta tidak membahas penggunaan material selain baja yang telah sesuai dengan standar galangan. Selain itu, penelitian ini juga tidak melakukan perbandingan dengan metode pengujian tidak merusak lainnya, seperti penetrant test, ultrasonic test, atau radiographic test. Observasi dilakukan pada tahap akhir proses pengelasan sebelum komponen dipasang pada kapal, dengan data penelitian yang diperoleh terbatas pada hasil pengamatan langsung selama proses pengujian tanpa melibatkan data historis maupun pengujian laboratorium lanjutan.

Rangkaian batasan ini dirumuskan untuk menjaga konsistensi fokus penelitian, meningkatkan penafsiran data secara tepat, serta meminimalkan pengaruh variabel luar yang tidak dapat dikendalikan. Dengan demikian, hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang valid, spesifik, dan relevan bagi kebutuhan pengendalian mutu pengelasan.

1.4. Tujuan Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini pada dasarnya untuk mengembangkan pikiran, pengalaman serta menyangkut berbagai masalah yang terjadi di kapal, terutama pada *kort nozzle* kapal, dan juga khususnya yang berkaitan dengan pengelasan. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penulis tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui kualitas sambungan pengelasan pada proses FCAW di area *kort nozzle* kapal Tugboat 28M berdasarkan hasil pemeriksaan melalui metode *air pressure test*.
2. Untuk mengetahui jenis-jenis cacat pengelasan yang paling sering muncul pada *kort nozzle* kapal Tugboat 28M serta memberikan gambaran tingkat keparahan cacat tersebut setelah dilakukan pengujian menggunakan metode *air pressure test*.
3. Mengkaji hubungan antara parameter proses FCAW yang meliputi arus (*ampere*), tegangan (*voltase*), kecepatan pengelasan (*travel speed*) pada mutu hasil pengelasan yang divalidasi melalui metode *air pressure test* pada *kort nozzle* kapal Tugboat 28M.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat teoritis

Pembuatan tugas akhir ini pada dasarnya untuk mengembangkan pikiran dan pemahaman teoritis mengenai proses pengelasan FCAW, khususnya pada bagian *kort nozzle* kapal Tugboat. Fokus utama terletak pada pengaruh dari metode pengujian ketidak bocoran (*air pressure test*) terhadap suatu mutu pada sambungan pengelasan. Kajian ini memperluas literatur dengan mempelajari yang berkaitan antara faktor-faktor seperti tingkat keterampilan dari seorang welder, kualitas bahan baku, serta juga kondisi lingkungan kerja terhadap keberhasilan proses pengelasan pada struktur nya. Penelitian ini juga berperan untuk memperdalam pemahaman mengenai prinsip dari dasar proses pengelasan di antaranya, seperti ke stabilan busur listrik, pengendalian panas, dan juga penetrasi logam pengisi terhadap material induk.

Jadi, penelitian ini memperluas wawasan mengenai prinsip prinsip dasar dalam pengelasan serta standard ketidakebocoran yang berlaku dalam industri konstruksi perkapalan.

1.5.2 Manfaat praktis

1. Bagi Pembaca

Menambah pengetahuan, pengalaman dan juga referensi yang berguna dalam memahami lebih dalam mengenai jenis teknik pengelasan FCAW, dan juga bagaimana metode seperti *air pressure test* dapat digunakan untuk memastikan kualitas hasil lasan. terutama pada konstruksi kapal Tugboat, serta pengaruh kualitas pengelasan pada *kort nozzle* kapal yang terkena efek dari faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, serta ombak air laut.

2. Bagi perusahaan

Sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan lain untuk menerapkan sistem yang sama dalam pengembangan standard operasional prosedur (SOP) guna meningkatkan efektivitas produksi serta menjaga standard dari keselamatan kapal.

3. Bagi penulis

Sementara itu, bagi penulis sendiri, penelitian ini menjadi sarana pengembangan diri untuk mengasah kemampuan dalam analisis teknis serta pemahaman mengenai pengelasan di dunia industri, khususnya pada konstruksi perkapalan.

4. Bagi Politeknik Negeri Batam

Penelitian ini berpotensi menjadi sumber pengembangan ilmu di bidang teknik pengelasan maupun teknologi perkapalan. Penelitian yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai referensi akademik untuk memperluas pengetahuan, terutama yang berkaitan dengan proses pengelasan FCAW, dan metode uji seperti *air pressure test* dalam memastikan ketidak bocoran pada struktur pengelasan. Selain itu penelitian ini turut mendukung peningkatan mutu kegiatan riset di lingkungan kampus dan dapat dijadikan bahan rujukan bagi mahasiswa yang ingin melakukan penelitian sejenis di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hasil penelitian/perancangan terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No	Nama, Tahun	Judul penelitian	Hasil penelitian	Pembeda penelitian
1	Umar Agus Riyadin., Wisno Ohara., Arif Rahman Hakim (2020)	Analisa Kualitas Pengelasan <i>flux cored arc welding</i> (FCAW) Pada Fabrikasi Tugboat 23M, Hull 302	Penelitian ini menunjukkan pentingnya kontrol terhadap parameter pengelasan FCAW untuk mencapai kualitas sambungan las yang optimal dengan pengujian NDT seperti UT, RT, MT, dan PT pada struktur kapal Tugboat	Penelitian ini berfokus menganalisis kualitas las FCAW menggunakan metode NDT seperti, MT, PT, UT, dan RT, tidak menerapkan metode pengujian <i>air pressure test</i>
2	Wasisto Rakhma di, Andi Trimulyo no, Muham mad Iqbal (2016)	Analisa Perbandingan Tipe Kort Nozzle Terhadap Gaya Dorong Propeller dengan Metode	Penelitian ini menganalisis empat tipe <i>kort nozzle</i> (<i>Shushkin A, B, C, dan Marin's 19A</i>) pada <i>propeller B-series</i> menggunakan <i>software</i> CFD untuk membandingkan thrust (gaya dorong) pada RPM tertentu. LANJUTAN DIBAWAH	Penelitian ini berfokus pada aspek hidrodinamika dan performa propulsi kort nozzle, tanpa mengkaji kualitas sambungan las atau aspek

				struktural dari kort nozzle.
3	Muh Syaifullah A., Jalil, Taufiq Rachman (2023)	Evaluasi Pengujian Hasil Welding Pelat dengan Metode <i>Chalk Test</i> dan <i>Air Pressure Test</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode <i>air pressure test</i> mampu menghasilkan kebocoran yang sangat optimal pada sambungan pengelasan di pelat badan kapal	Objek penelitian ini terbatas pada pelat badan kapal dan tidak secara spesifik diterapkan pada komponen kritis seperti kort nozzle kapal Tugboat

2.2. Teori/Konsep Dasar

Kajian teori pada penelitian ini disusun sebagai dasar konseptual untuk memahami proses pengelasan serta faktor yang berpengaruh terhadap kualitas sambungan las. Secara teoritis, parameter pengelasan seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik mekanik sambungan las, khususnya pada komponen kritis pada kort nozzle kapal Tugboat. Pemahaman terhadap teori tersebut menjadi dasar dalam menganalisis hasil penelitian, termasuk evaluasi kualitas sambungan las melalui metode *air pressure test* untuk mendeteksi ketidakbocoran pada hasil pengelasan.

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses menghubungkan dua bagian baja dengan memanaskannya hingga mencapai titik lebur sehingga logam pengisi menyatu dengan logam dasar dan membentuk ikatan permanen. Pengelasan dapat dilaksanakan melalui beragam metode yang disesuaikan dengan kebutuhan, karakteristik, material, serta jenis konstruksi yang dikerjakan. Beberapa teknik pengelasan yang umum digunakan antara lain SMAW (*shielded metal arc*

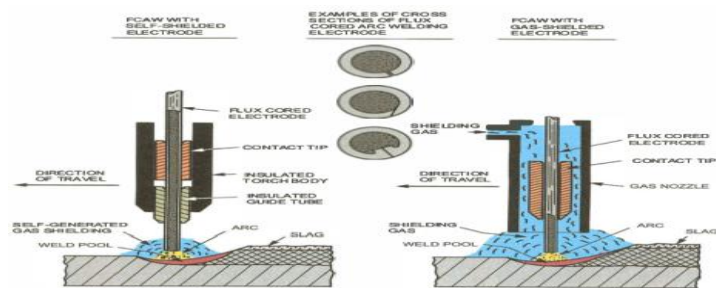
welding), GTAW (*gas tungsten arc welding*), GMAW (*gas metal arc welding*), FCAW (*flux cored arc welding*), dan juga SAW (*submerged arc welding*) (Yuniarto dkk., 2019) .

2.2.2 Pengelasan FCAW

Pengelasan FCAW (*flux cored arc welding*) merupakan salah satu proses pengelasan yang memanfaatkan busur listrik antara elektroda logam pengisi yang dipasok secara terus-menerus dengan kolam las. Selama proses berlangsung, perlindungan terhadap busur dan logam cair diberikan oleh *fluks* yang terdapat di dalam elektroda tubular, yang dapat digunakan dengan tambahan gas pelindung eksternal maupun tanpa gas tambahan. Seluruh rangkaian proses dilakukan tanpa penerapan tekanan. Kelebihan utama dari pengelasan FCAW dibandingkan dengan proses pengelasan busur lainnya terletak pada karakteristik operasional dan mutu hasil las yang dihasilkan dari penggunaan elektroda berinti *fluks* yang secara terus menerus. Elektroda tubular tersebut dibuat dalam bentuk kawat yang terdiri atas selubung logam dan inti serbuk campuran material tertentu (Annette, 2004). Pada saat pengelasan, elektroda ini menghasilkan lapisan terak yang tebal dan berfungsi melindungi permukaan las dari pengaruh udara luar. Pengelasan FCAW sendiri memiliki dua varian utama, yaitu tipe yang menghasilkan perlindungan sendiri (*self-shielded* atau FCAW-SS) dan tipe yang memanfaatkan gas pelindung eksternal (*gas-shielded* atau FCAW-GS). Perbedaan utama dari kedua varian tersebut terletak pada metode perlindungan busur dan kolam las dari kontaminasi atmosfer seperti oksigen maupun nitrogen (O'Brien, 2004).

Secara umum, Pengelasan FCAW termasuk proses pengelasan semi otomatis maupun otomatis. Proses ini mampu menghasilkan logam las berkualitas tinggi dengan laju pengendapan yang besar. Karena keunggulan tersebut, FCAW banyak diterapkan oleh berbagai industri yang membutuhkan sambungan las berkekuatan tinggi, seperti industri pembuatan bejana tekan, kapal selam, kapal induk, alat berat bangunan, dan juga berbagai konstruksi lainnya. Pembahasan mengenai FCAW meliputi prinsip dasar pengoperasian, jenis peralatan dan material yang digunakan, hingga karakteristik berbagai tipe elektroda berinti *fluks* yang dipakai dalam beragam aplikasi. Selain itu, prosedur pengelasan, kontrol proses, mutu sambungan las, serta aspek ekonominya turut menjadi bagian

penting. Penjelasan mengenai praktik keselamatan kerja juga menjadi perhatian dalam proses ini. FCAW SS selalu dipilih untuk pekerjaan pengelasan di lapangan karena lebih mampu bertahan terhadap hembusan angin dibandingkan metode *gas shielded*. Keunggulan ini berasal dari bahan *fluks* dalam inti elektroda yang terurai pada temperatur tinggi dan membentuk uap pelindung yang membantu menyingkirkan udara di sekitar busur. Selain itu, kawat elektroda mengandung berbagai unsur pembersih, seperti penghilang oksigen dan penghilang nitrogen yang bereaksi dengan zat pengotor yang berpotensi mencemari kolam las. Terak yang terbentuk kemudian berfungsi menutup serta melindungi logam las dari paparan udara sekitar.



Gambar 2. 1 Skema pengelasan FCAW (O, Brien, 2004)

a. Jenis kawat FCAW (*self-shielded*) dan (*gas-shielded*)

FCAW *self-shielded* adalah teknik pengelasan yang memanfaatkan kawat berinti *fluks* untuk dapat menghasilkan perlindungan busur secara mandiri, sehingga proses tetap stabil meskipun dilakukan tanpa menggunakan gas pelindung eksternal. Pada proses pengelasan FCAW, panas pengelasan dihasilkan dari busur listrik antara kawat berinti *fluks* yang dipasok secara kontinu pada benda kerja. *Fluks* yang berada di dalam kawat berfungsi menghasilkan gas pelindung untuk menjaga stabilitas busur serta membentuk lapisan terak pada permukaan logam las. Proses *self-shielded* FCAW merupakan pengembangan dari *shielded metal arc welding* (SMAW). Mekanisme mulai dikembangkan karena penggunaan elektroda batang pada pengelasan manual dinilai praktis, tetapi memiliki keterbatasan, sehingga muncul kebutuhan untuk memakai elektroda kawat kontinu yang dapat mengurangi waktu terbuang akibat penggantian elektroda serta meminimalkan hilangnya material dari sisa elektroda (*Maritime Welding Handbook*.).

Tabel 2. 2 Komponen penyusun inti *fluks* pada kawat FCAW (O,Brien, 2004)

Komponen <i>Fluks</i>	Kandungan	Fungsi
Karbonat	CaCO_3 MgCO_3	Menstabilkan slag, mempengaruhi keseimbangan oksidasi
Fluorida	CaF_2	Menurunkan kekentalan slag, meningkatkan penetrasi
Oksida logam	TiO_2 , SiO_2 , MnO , Cr_2O_3	Mengontrol metal transfer dan pembentukan terak
Serbuk logam	Serbuk besi	Menambah deposit logam las
Ferroalloys	FeTi , FeMn , FeCr , FeMo , FeW	Deoksidasi, pemaduan, peningkatan, sifat mekanik
Mineral alami	Ilmenite, rutil	Stabilisasi busur dan pembentukan slag

Pada proses FCAW, *fluks* di dalam kawat menghasilkan gas pelindung, uap, dan terak untuk melindungi kolam las. Pengelasan semi otomatis dengan kawat berinti *fluks* bekerja hampir sama dengan SMAW manual, namun menggunakan kawat kontinu yang otomatis diberi umpan ketika operator menekan pemicu pada *welding gun*. Berbeda dari SMAW, bahan pelindung pada FCAW berada di dalam inti kawat, bukan di bagian luar elektroda. Sebagian perlindungan pada FCAW terbentuk dari penguapan *fluks*, tetapi tidak selalu menutup penuh logam cair sehingga sedikit oksidasi dapat terjadi. Meski begitu, FCAW *self-shielded* tidak membutuhkan gas pelindung eksternal sehingga tetap efektif digunakan di luar ruangan, termasuk pada kondisi berangin. Proses ini memiliki panjang stickout yang lebih besar (6-30mm) dan dapat menggunakan peralatan GMAW dengan penyesuaian sederhana. Kawat FCAW *self-shielded* tersedia dalam ukuran 1-4 mm untuk baja karbon rendah dan baja paduan rendah (*Maritime Welding Handbook*.).

Berbeda dengan FCAW tipe *self-shielded*, proses dari FCAW tipe ini (GS) menggunakan suplai gas pelindung eksternal untuk menjaga kualitas busur dan kualitas kolam las, sehingga memberikan hasil las dengan tingkat keberhasilan *internal* yang lebih tinggi. Proses *gas-shielded flux cored welding* dapat dianggap sebagai bentuk gabungan antara FCAW *self-shielded* dan proses GMAW. Proses ini menggunakan kawat elektroda tubular seperti pada FCAW *self-shielded*, namun bahan yang terdapat di dalam inti kawat berfungsi sebagai *fluks*, pendeoksidasi atau mengurangi, pembersihan, dan terkadang sebagai unsur paduan tambahan, bukan sebagai penghasil uap pelindung. Karena itu, klasifikasi kawat pada proses ini dilakukan oleh standard AWS dikelompokkan bersama kawat FCAW *self-shielded*. Di sisi lain, proses ini mirip dengan GMAW karena menggunakan gas pelindung *eksternal* untuk melindungi busur. Peralatan berupa *welding gun* dan *welding head* pada pengelasan semi otomatis maupun otomatis harus memiliki saluran untuk aliran gas dan kadang sumber tenaga umumnya sama seperti yang digunakan pada FCAW *self-shielded* atau GMAW, dengan sedikit penyesuaian, seperti penggunaan rol penyuiap tipe *knurled*. Pada proses ini, *welding gun* dihubungkan dengan polaritas positif (+) (*Maritime Welding Handbook*).

Gas pelindung yang paling umum digunakan adalah CO₂, namun campuran gas seperti 20% CO₂-80% Argon atau 95% Argon-5% CO₂ juga dapat dipakai. Proses *gas-shielded* FCAW digunakan untuk pengelasan baja karbon, baja paduan rendah, dan baja tahan karat. Proses ini mampu menghasilkan laju endapan dan efisiensi deposisi yang tinggi, serta faktor operasi yang baik. Hasil las mudah mencapai kualitas radiografi, dan logam las pada baja karbon maupun baja paduan rendah memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Selain itu, proses ini dapat diterapkan pada berbagai jenis sambungan dan mendukung pengelasan pada semua posisi (*Maritime Welding Handbook*).

Untuk memperoleh kualitas las yang optimal, beberapa variabel proses FCAW harus dikendalikan, yaitu seperti arus pengelasan / *wire speed*, polaritas arus, *voltage*, panjang perpanjangan elektroda, *travel speed*, posisi pengelasan, sudut elektroda, serta laju aliran gas pelindung. Pengaturan seluruh variabel ini

mempengaruhi laju peleburan elektroda, efisiensi deposit, dan juga mutu akhir dari hasil lasan.

b. Arus pengelasan (*wire speed*)

Arus pengelasan berbanding lurus pada kecepatan dari umpan kawat untuk diameter dan jenis elektroda tertentu. Sumber daya tegangan konstan menjaga agar panjang busur stabil sesuai tegangan yang ditetapkan. Perubahan arus akan memberikan dampak sebagai berikut:

1. Arus tinggi meningkatkan laju peleburan dan penetrasi pengelasan.
2. Arus berlebih menghasilkan manik las cembung dan tampilan kurang baik.
3. Arus rendah memicu percikan besar, transfer tetesan tidak stabil, serta potensi penyerapan nitrogen dan porositas pada elektroda FCAW.

Selain itu, besarnya arus berubah secara terbalik dengan panjang elektroda, semakin elektroda menonjol, semakin kecil arusnya (O'Brien, 2004).

c. Tegangan busur (*arc voltage*)

Arc voltage memiliki hubungan-hubungan yang sangat dekat dengan panjang busur. Nilai tegangan yang muncul pada meter sumber daya pengelasan merupakan penjumlahan dari seluruh penurunan tegangan di rangkaian las, yaitu melalui kabel pengelasan, perpanjangan elektroda, busur, dan benda kerja. Oleh sebab itu, selama semua elemen rangkaian termasuk suhu tetap dalam kondisi konstan, tegangan busur akan sebanding dengan angka yang ditampilkan pada meter tersebut. Tampilan, integritas, dan sifat lasan yang dibuat menggunakan elektroda *flux cored* dapat dipengaruhi oleh besar kecilnya tegangan busur. Tegangan yang terlalu tinggi (*voltage* terlalu besar) dapat menimbulkan percikan berlebih dan manik las yang lebar serta bentuk yang tidak teratur. Pada elektroda pelindung, busur yang terlalu panjang menyebabkan penyerapan nitrogen berlebihan pada elektroda baja lunak. Hal ini bisa menghasilkan porositas pada elektroda baja tahan karat, *voltage* yang terlalu tinggi dapat menurunkan kandungan struktur mikro logam las dan berpotensi menyebabkan retak. *Voltage* yang terlalu rendah (busur terlalu pendek) menghasilkan manik las yang sempit, cembung, banyak percikan, serta penetrasi yang rendah.

d. Polaritas

Polaritas merupakan salah satu variabel penting yang harus diperhatikan saat memilih elektroda FCAW. Beberapa elektroda *fluks cored* dirancang untuk digunakan dengan DCEP (*direct current electrode positif*) polaritas terbalik, sedangkan yang lain dibuat untuk DCEN (*direct current electrode negatif*) polaritas lurus. Beberapa elektroda pelindung secara khusus mengharuskan penggunaan polaritas DCEN. Polaritas ini menghasilkan penetrasi logam dasar yang lebih rendah, sehingga elektroda berdiameter kecil seperti 0,8 mm, 0,9 mm, dan 1,2 mm sangat efektif digunakan untuk pengelasan material berdiameter tipis (O'Brien, 2004).

e. Perpanjangan elektroda (*electrode extension*)

Perpanjangan elektroda adalah bagian kawat yang belum meleleh dan menonjol dari *contact tube* saat proses pengelasan berlangsung. Bagian yang menonjol ini akan mengalami pemanasan karena resistansi listrik, dan semakin panjang perpanjangannya, semakin besar pula pemanasan yang terjadi, selama variabel lainnya tidak berubah. Suhu elektroda yang lebih tinggi akan memengaruhi energi busur, laju peleburan kawat, besarnya penetrasi las, kualitas hasil las, serta kestabilan busur. Pada elektroda pelindung, biasanya digunakan perpanjangan yang cukup panjang, yaitu antara 19 sampai 95 mm, tergantung kebutuhan. Semakin panjang perpanjangannya elektroda, semakin besar pemanasan awal yang diterimanya. Hal ini menurunkan tegangan busur dan mengurangi arus pengelasan. Akibatnya, panas yang masuk ke logam dasar berkurang sehingga manik las menjadi sempit dan juga dangkal. Kondisi ini cocok digunakan pada material tipis atau sambungan yang memiliki celah besar. Namun, jika arus pengelasan dan panjang busur tetap dijaga melalui pengaturan tegangan dan kecepatan umpan kawat yang lebih tinggi, perpanjangan yang panjang justru dapat meningkatkan laju peleburan. Pengaruh perpanjangan elektroda merupakan variabel tambahan yang harus seimbang dengan kondisi pelindung dan variabel pengelasan lainnya. Jika perpanjangan terlalu panjang, busur dapat menjadi tidak stabil dan menghasilkan percikan yang berlebihan. Sebaliknya, jika terlalu pendek, busur dapat menjadi terlalu panjang pada tegangan tertentu. Pada elektroda berpelindung gas, perpanjang yang terlalu pendek dapat menyebabkan

penumpukan percikan pada *nozzle* yang mengganggu aliran gas pelindung, sehingga memungkinkan terjadinya porositas dan oksidasi pada lasan. Perpanjangan yang terlalu pendek juga dapat mengurangi pemanasan awal elektroda dan menyebabkan meningkatnya kandungan hidrogen terlarut. Produsen elektroda umumnya memberi rekomendasi perpanjangan sekitar 19-38 mm untuk elektroda yang menggunakan gas pelindung dan 19-95 mm untuk tipe *self-shielded*, tergantung pengaplikasiannya.

f. Kecepatan gerak (*travel speed*)

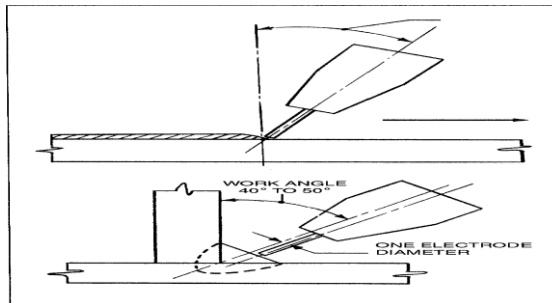
Travel speed adalah kecepatan linier di mana busur listrik digerakkan sepanjang sambungan lasan. Kecepatan ini memengaruhi kedalaman penetrasi las dan bentuk manik las. Jika faktor lain tetap sama, maka penetrasi las akan mencapai titik maksimal pada *travel speed* menengah. Dengan pengaturan arus dan tegangan yang normal, jika *travel speed* terlalu lambat, busur akan menekan kolam las dan justru mengurangi kedalaman penetrasi. Saat *travel speed* dinaikkan dari yang sangat lambat, penetrasi las akan meningkat sampai mencapai titik maksimum ketika busur tepat berada di depan kolam las dan menempel pada logam dasar sebelum cair menjadi logam las. Pada *travel speed* yang lebih tinggi, manik las akan terlihat lebih sempit dan seperti tali. Jika *travel speed* rendah tetapi arus tinggi, logam las bisa terlalu panas, sehingga menghasilkan hasil las yang kasar dengan risiko terjebaknya terak atau logam dasar bisa meleleh berlebihan (O'Brien, 2004).

g. Sudut elektroda dan posisi pengelasan

Posisi sudut elektroda saat pengelasan menentukan arah gaya busur yang bekerja pada logam cair di kolam las. Ketika variabel pengelasan sudah disesuaikan dengan tepat, gaya busur ini bisa dipakai untuk melawan efek gaya gravitasi. Pada proses FCAW, gaya busur ini membantu membentuk manik serta mencegah terak mengalir di depan busur dan terjebak dalam logam las. Saat membuat alur las atau fillet pada posisi datar, gravitasi cenderung membuat logam cair mengalir ke depan las. Untuk mengimbangi ini, elektroda dipegang dengan sudut miring dari garis vertikal, dengan ujung elektroda mengarah menjauh dari arah gerak. Sudut ini disebut sudut drag (sudut tarik) dan diukur dari garis vertikal

pada bidang sambungan lasan. Sudut drag yang tepat bergantung pada metode FCAW, ketebalan logam dasar, dan posisi pengelasan (O'Brien, 2004).

Untuk proses FCAW tanpa gas pelindung, sudut drag mirip dengan yang digunakan pada elektroda las busur manual, biasanya antara 20° sampai 45° untuk posisi datar dan horizontal, dengan sudut lebih besar digunakan untuk pelat tipis agar penetrasi berkurang. Pada FCAW dengan gas pelindung, sudut drag sebaiknya kecil, sekitar 0° sampai 15° , dan maksimal 35° . Jika sudut drag terlalu besar, gas pelindung jadi kurang efektif. Untuk pengelasan vertikal naik, gaya busur membantu menahan logam cair dan membentuk manik las. Pada situasi ini, sudut dorong (*push angle*) antara 5° sampai 35° direkomendasikan.



Gambar 2. 2 Posisi sudut elektroda pengelasan FCAW (Maritime Welding Handbook)

h. Aliran gas pelindung (*shielding gas flow*)

Pada elektroda berlapis gas pelindung, laju aliran gas adalah variabel penting yang memengaruhi kualitas las. Aliran gas yang kurang akan menyebabkan perlindungan kolam las kurang maksimal, sehingga muncul pori-pori dan oksidasi pada hasil las. Sebaliknya, aliran gas yang berlebihan bisa menyebabkan turbulensi dan campuran dengan udara, juga menurunkan kualitas las. Aliran gas yang tepat dipengaruhi oleh jenis dan diameter *nozel*, jarak *nozel* ke benda kerja, dan kondisi angin di sekitar area pengelasan.

i. Laju deposit dan efisiensi

Laju deposit adalah berat bahan las yang terdeposit per satuan waktu. Besarnya dipengaruhi oleh variabel pengelasan seperti diameter elektroda, komposisi elektroda, panjang ujung elektroda yang menonjol, dan arus las.

Efisiensi deposit adalah perbandingan berat logam yang menempel dengan berat elektroda yang habis digunakan. Efisiensi elektroda FCAW berkisar antara

80% sampai 90% untuk menggunakan gas pelindung, dan 78% sampai 87% untuk elektroda yang

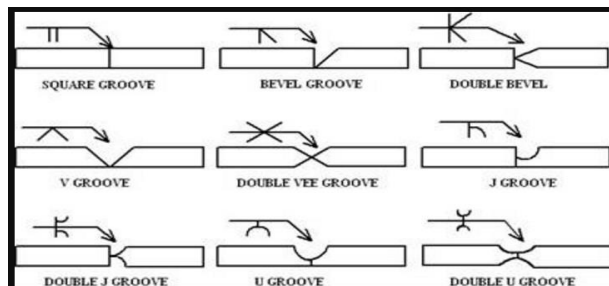
2.2.3 Sambungan pengelasan dan jenis kampuh

Setiap jenis las dirancang berdasarkan kekuatan dan keamanan yang dibutuhkan oleh struktur yang dilas. Saat menentukan jenis sambungan, perlu mempertimbangkan beban kerja, arah dan juga jenis tegangan, serta suhu lingkungan tempat struktur tersebut digunakan. Sambungan yang bekerja dengan beban dinamis (misalnya getaran atau beban berubah-ubah) harus dirancang berbeda dari sambungan yang hanya bekerja pada beban statis. Pada beban dinamis, desain sambungan harus memperhatikan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) dan retak getas (*brittle fracture*). Karena itu, bentuk sambungan perlu dibuat sedemikian rupa agar mengurangi titik konsentrasi tegangan. Selain itu, prosedur pengelasan dan urutan pengisi las (*bead sequence*) sangat penting untuk mengontrol tegangan sisa, sehingga hasil akhirnya lebih stabil dan tidak mudah retak. Sambungan las juga harus memiliki kekuatan, keuletan (*ductility*), dan juga ketangguhan yang cukup. Dari sisi efisiensi, sambungan juga dirancang agar biaya fabrikasi rendah, muda dijangkau welder, serta meminimalkan cacat dan distorsi selama proses las. Akses yang baik membuat pengelasan lebih rapi dan juga kualitas lebih terkontrol (O,Brien, 2004).

Berikut ini adalah jenis-jenis dari sambungan pengelasan yaitu:

a. Las kampuh (*groove welds*)

Las kampuh adalah sambungan di mana proses pengelasan masuk ke dalam ketebalan material. Bentuk kampuh nya dipilih berdasarkan dari kesesuaian desain struktur, kemudahan akses welder, posisi pengelasan, dan biaya pengerjaan.



Gambar 2. 3 Jenis-jenis las kampuh (Achmadi, 2022)

1. *Square groove*

Square groove merupakan jenis kampuh paling sederhana dan murah, karena hanya membutuhkan pemotongan lurus di tepi pelat, namun bentuk ini lebih berisiko terjadi slag. Jenis ini hanya cocok untuk pelat tipis, sekitar 6 mm, dan idealnya dilas dari dua sisi. Jika material tebal, maka tepi pelat harus dibentuk (di bevel) agar busur las bisa menembus bagian akar (root). Pada kasus seperti ini digunakan jenis kampuh seperti bentuk kampuh *V-groove* yang paling umum, namun untuk material yang sangat tebal sering digunakan *J-groove* atau *U-groove*, karena kedua bentuk ini dapat menghemat biaya persiapan kampuh lebih besar. Pada setiap lapisan pengelasan, sudut kampuh harus cukup besar untuk mencegah jebakan terak (O, Brien, 2004). .

b. Las sudut (*fillet welds*)

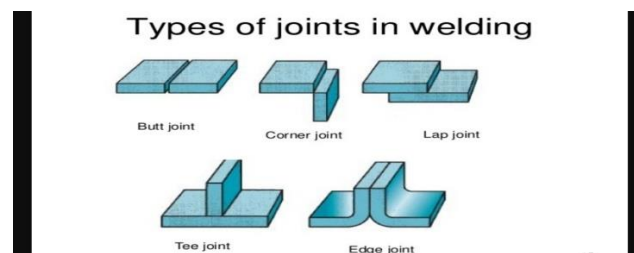
Selain sambungan pengelasan kampuh (*groove welds*), ada juga jenis dari pengelasan sudut (*fillet welds*), yaitu jenis sambungan yang digunakan untuk menghubungkan dua material yang membentuk sudut hampir tegak lurus. Bentuk sambungan nya berupa:

a) *T joint*

b) *Lap joint*

c) *Corner joint*

d) *Edge joint*



Gambar 2.4

Gambar 2. 4 Jenis-jenis sambungan las sudut (Achmadi, 2022)

Fillet weld biasanya berbentuk segitiga pada penampang melintangnya. Berbeda dengan *groove weld*, sambungan *fillet* tidak memerlukan persiapan kampuh, sehingga pengaplikasiannya lebih mudah dan sering lebih ekonomis, apabila kekuatan sambungan tidak perlu sebesar las kontinu, maka dapat digunakan las *fillet intermiten* (berjarak-jarak) untuk menekan biaya dan waktu pengerjaan.

Fillet weld juga dikombinasikan dengan las kampuh untuk mencapai kekuatan tertentu. Penggunaan *fillet* dapat menghilangkan pertemuan atau sudut tajam yang berpotensi menyebabkan konsentrasi tegangan tinggi. Untuk mengurangi konsentrasi *stress* di area kaki las, logam las sebaiknya menyatu secara halus dengan material dasar. Las yang menonjol atau meluber ke permukaan material (*overlap*) dianggap kurang baik (O, Brien, 2004).

2.2.4 Material las

Material pada kapal tidak hanya harus memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang baik, tetapi juga perlu memiliki sifat kemampuan las yang baik. Hal ini penting karena mayoritas struktur kapal dirangkai melalui proses pengelasan. Dengan memahami karakteristik material yang digunakan, proses perancangan, pembuatan hingga pemeriksaan hasil las dapat dilakukan dengan lebih tepat dan sesuai dengan standard yang berlaku. Pada konteks ini, salah satu material yang paling umum digunakan adalah baja karbon rendah, sifat mekanik dan kemampuan lasnya yang mendukung kebutuhan konstruksi kapal.

Baja karbon rendah sering disebut sebagai baja lunak, umumnya memiliki kandungan karbon sekitar 0,10% hingga 30%. Baja jenis ini adalah material yang paling umum digunakan dalam berbagai konstruksi karena sifatnya yang mudah dibentuk, mudah dilas, serta memiliki harga yang relatif ekonomis. Baja karbon rendah dari kategori ini dipakai secara luas untuk struktur umum seperti rangka bangunan, jembatan ringan, konstruksi industri, rangka mesin, dan berbagai keperluan fabrikasi lainnya (Sunaryo, 2008).

Selain itu, material yang umum digunakan untuk pembuatan kapal adalah material JFE (Japan *fe engineering*). Material JFE adalah material baja karbon rendah untuk struktur utama kapal dengan kekuatan tarik menengah-tinggi dan kemampuan las yang baik. Oleh karena itu, pelat JFE ditempatkan sebagai salah satu material utama pada konstruksi kapal modern yang menuntut tingkat keandalan struktur yang tinggi. Pelat ini mengikuti standard klasifikasi kapal seperti NK/ABS (*Nippon kaiji kyokai, American bureau of shipping*) yaitu badan klasifikasi dari jepang dan juga amerika.

Material JFE yang berklasifikasi ABS *grade A* juga memiliki *equivalent* (setara fungsinya) dengan material ASTM A131. Material ASTM A131 mengatur

persyaratan baja struktural yang digunakan dalam konstruksi kapal. Standard ini mencakup penggunaan baja dalam bentuk pelat, profil struktur yang secara khusus diperuntukkan bagi kebutuhan industri perkapalan

Berdasarkan tingkat kekuatannya, material ASTM A131 dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu baja kekuatan biasa (*ordinary strenght*) dan baja kekuatan tinggi (*higher strenght*) baja kekuatan biasa terdiri atas *grade A, B, D, DS, CS dan E* dengan nilai batas luluh minimum sebesar 34 ksi (235 Mpa). Sementara itu, baja kekuatan tinggi meliputi *grade AH, DH, dan EH* yang memiliki batas luluh minimum sebesar 46 ksi (315 Mpa), dan 58 ksi (400 Mpa), sesuai dengan klasifikasi gradenya (Purwanto dkk, 2024) (*American Society for Testing & Materials*, 2008).

Tabel 2. 3 Mechanical properties material ABS Grade A (BBN Shipbuilding)

Elemen	<i>Mechanical properties</i>			
<i>Grade A</i>	<i>Thickness(mm)</i>	<i>Min yield(Mpa)</i>	<i>Tensile(Mpa)</i>	<i>Elongation(%)</i>
	8mm-50mm	Min235Mpa	400-520Mpa	18%
	51mm-70mm	Min235Mpa	400-520Mpa	18%
	71mm-100mm	Min235Mpa	400-520Mpa	18%

ABS *grade A* (*equivalent* ASTM A131) termasuk baja karbon rendah yang umum dipakai pada industri perkapalan. Pelat kapal jenis ini memiliki sejumlah keunggulan karena di dalamnya terdapat unsur paduan selain besi sebagai komponen utama. Baja ABS *grade A* dirancang memiliki ketahanan korosi yang baik, sebab penerapannya memang untuk lingkungan air laut yang jauh lebih agresif dan korosif dibandingkan air tawar. Secara umum, baja konstruksi kapal mengandung unsur karbon yaitu 0,15% hingga 0,23%, sedangkan kadar sulfur dan fosfor dijaga di bawah 0,05%. Pelat kapal dapat diaplikasikan pada hampir seluruh bagian struktur kapal, dengan syarat memenuhi komposisi standar konstruksi yang ditetapkan oleh biro klasifikasi kapal, seperti ABS, BKI, RINA, NK, dan lain-lain, serta dikelompokan dalam kelas baja tertentu (*grade A, B, D, E, dan sebagainya*). Komposisi kimia menggambarkan

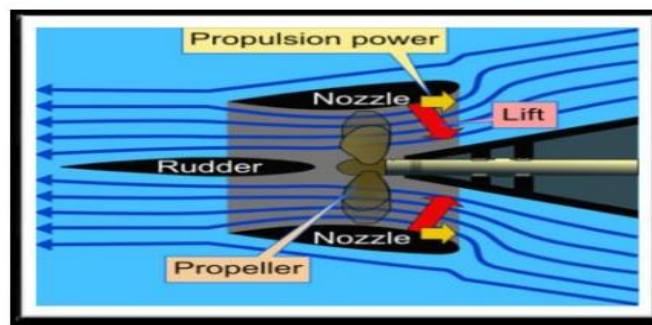
jenis, susunan, dan perbandingan unsur-unsur yang menyusun suatu material melalui ikatan kimia dan atom. Baja *grade A* tersusun dari berbagai unsur yang dipadukan, dan campuran unsur inilah yang dikenal sebagai komposisi kimia. Unsur utama dalam komposisi kimia baja *grade A* antara lain karbon, silikon, mangan, fosfor, belerang, serta beberapa unsur lainnya (Purwanto dkk, 2024) (*American Society for Testing & Materials*, 2008)..

Tabel 2. 4 Komposisi kimia material baja *grade A* (Purwanto dkk, 2024)

Elemen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
Baja <i>Grade A</i>	0,15 %	0,22%	0,67 %	0,012%	0,0057%	0,01%	0,07%

2.2.5 *Kort nozzle*

Kort nozzle merupakan salah satu bentuk pengembangan sistem *propulsi* kapal yang digunakan untuk meningkatkan gaya dorong, khususnya pada kapal yang beroperasi pada kecepatan rendah dan membutuhkan daya tarik besar. *Kort nozzle* bekerja dengan cara melingkupi baling-baling (*propeller*) menggunakan suatu selubung berbentuk saluran (*duct*) yang dirancang menyerupai profil foil. Selubung ini berfungsi untuk mengarahkan dan memusatkan aliran fluida menuju *propeller* sehingga energi aliran air dapat dimanfaatkan secara lebih efektif (Rakhmadi dkk, 2016) (Putra dkk, 2015).



Gambar 2. 5 Skema cara kerja *kort nozzle* (Putra dkk, 2015)

Prinsip kerja *kort nozzle* adalah meningkatkan jumlah massa air yang mengalir melalui *propeller* dengan cara memperbaiki distribusi aliran masuk (*inflow*) ([Rakhmadi](#) dkk, 2016) (Putra dkk, 2015).

Aliran air yang terkonsentrasi ini menyebabkan gaya angkat pada daun *propeller* meningkat, sehingga gaya dorong yang dihasilkan juga menjadi lebih besar dibandingkan dengan *propeller* tanpa *kort nozzle* pada kondisi operasi yang sama (Rakhmadi dkk, 2016) (Putra dkk, 2015)..

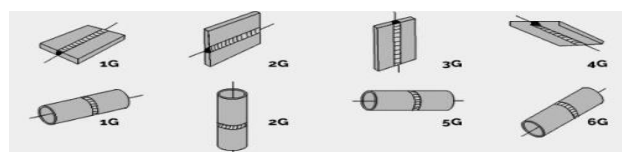
Selain peningkatan performa hidrodinamis, aspek fabrikasi juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan tipe *kort nozzle*, oleh karena itu, bentuk camber yang lebih besar dinilai lebih efektif dalam menghasilkan gaya dorong besar. Tetapi, bentuk ini menuntut kualitas fabrikasi dan pengelasan yang baik agar tidak menimbulkan cacat struktur, terutama pada sambungan las di area *nozzle* yang menerima beban hidrodinamis cukup tinggi. Dengan demikian, *kort nozzle* tidak hanya berperan dalam meningkatkan kinerja propulsi kapal, tetapi juga menjadi komponen struktural penting yang harus memiliki integritas dan kualitas pengelasan yang baik. Hal ini menjadi relevan dengan penelitian ini yang memfokuskan pada kualitas hasil pengelasan pada struktur *kort nozzle* kapal Tugboat, terutama untuk mencegah terjadinya kebocoran dan kegagalan struktur selama operasi (Rakhmadi dkk, 2016) (Putra dkk, 2015).

2.2.6 Posisi pengelasan

Posisi pengelasan merupakan pengelompokan arah dan letak pengelasan berdasarkan posisi sumbu las terhadap arah gaya gravitasi serta sudut manik las. Dalam buku (American Welding Society (AWS) A3.0, 2020) posisi pengelasan digunakan sebagai dasar penentuan tingkat kesulitan pengelasan dan sebagai syarat dalam kualifikasi juru las dan prosedur pengelasan. Perbedaan posisi pengelasan sangat berpengaruh terhadap perilaku logam las cair. Pada posisi tertentu, logam las lebih mudah mengalir dan dikendalikan, sedangkan pada posisi lainnya diperlukan keterampilan lebih tinggi karena logam las cair harus melawan gaya gravitasi. Oleh karena itu, semakin sulit posisi pengelasan, semakin besar pula potensi terjadinya cacat las apabila teknik pengelasan tidak dilakukan dengan benar (American Welding Society (AWS) A3.0, 2020).

Menurut buku AWS A3.0, posisi las *groove* dibagi menjadi beberapa jenis utama berdasarkan sudut kemiringannya yaitu:

1. Posisi datar (*flat*) 1G, merupakan posisi pengelasan paling mudah dikarenakan sudut kemiringan las hampir sejajar dengan bidang horizontal sehingga cairan pada logam las dapat mengalir dan mengisi kampuh dengan baik.
2. Posisi horizontal 2G, yaitu pengelasan yang dilakukan pada bidang vertikal dengan arah las menyamping, sehingga pengendalian kolam las memerlukan teknik yang lebih baik dibandingkan posisi datar.
3. Posisi vertikal, yaitu posisi pengelasan yang dilakukan pada bidang vertikal dengan arah ke atas (3G *uphill*) atau kebawah (3G *downhill*), yang memerlukan pengaturan parameter dan teknik khusus agar hasil las tetap memenuhi persyaratan mutu.
4. Posisi di atas kepala (4G *overhead*), yaitu pengelasan yang dilakukan dari bawah sambungan, di mana cairan logam las harus melawan gaya gravitasi sehingga risiko terjadinya cacat relatif lebih tinggi.
5. Posisi 5G (*fixed pipe groove*), yaitu pipa dalam posisi tetap dan tidak diputar. Welder mengelas mengelilingi pipa, sehingga mencakup kombinasi posisi seperti datar, horizontal, vertikal, dan overhead.
6. Posisi 6G (*inclined fixed pipe groove*), yaitu pipa berada pada posisi miring dan tidak dapat diputar. Posisi ini merupakan posisi paling sulit karena mencakup seluruh posisi pengelasan sekaligus.
7. Posisi 6GR (*restricted 6G*), yaitu merupakan posisi 6G dengan tambahan kondisi terbatas, seperti adanya penghalang atau jarak bebas yang sempit. Posisi ini digunakan untuk kualifikasi pengelasan tingkat lanjut dan mencerminkan kondisi kerja lapangan yang sebenarnya.



Gambar 2. 6 Posisi pengelasan groove (Germanese, 2023)

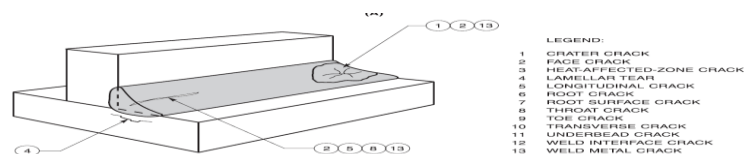
Pembagian posisi las alur ini digunakan sebagai acuan dalam pengujian dan kualifikasi juru las. Juru las yang mampu mengelas pada posisi sulit dinilai memiliki kemampuan lebih tinggi dibandingkan yang hanya mampu mengelas pada posisi datar.

Untuk las sudut (fillet), AWS A3.0 juga menetapkan pengelompokan posisi pengelasan yang pada dasarnya sama, yaitu posisi datar (*flat*), *horizontal*, *vertikal*, dan di atas kepala (*overhead*). Perbedaannya terletak pada bentuk sambungan yang berupa sudut antara dua pelat. Posisi las sudut memiliki tingkat kesulitan yang berbeda-beda, tergantung pada orientasi sambungan dan arah pengelasan. Oleh karena itu, posisi las sudut juga dijadikan dasar dalam penentuan kualifikasi welder serta dalam pengendalian kualitas hasil las (American Welding Society (AWS) A3.0, 2020).

2.2.7 Pengertian cacat las (*weld discontinuity*)

Dalam (AWS D1.1, 2025), variasi yang tidak terkendali pada logam las, daerah pengaruh panas (HAZ), atau logam induk disebut sebagai *discontinuity*. *Discontinuity* dapat muncul selama proses pengelasan maupun setelah pengelasan selesai, dan dapat terlihat di permukaan ataupun berada di dalam logam las. Dalam (AWS D1.1, 2025) menegaskan bahwa tidak semua *discontinuity* secara otomatis dikategorikan sebagai cacat las. Suatu *discontinuity* hanya dinyatakan sebagai cacat apabila ukurannya, bentuknya, atau jumlahnya melebihi batas (*acceptance criteria*) yang telah ditetapkan dalam standar. Apabila masih berada dalam batas yang diizinkan, *discontinuity* tersebut dinyatakan dapat diterima dan tidak memerlukan perbaikan. Keberadaan cacat las dapat menurunkan kekuatan sambungan dan juga meningkatkan risiko terhadap kegagalan struktur. Oleh karena itu, (AWS D1.1, 2025) menetapkan kriteria penerimaan untuk menentukan apakah hasil las masih dapat diterima atau diperbaiki. *Discontinuity* dikelompokkan menjadi *discontinuity* memanjang dan *discontinuity* membulat berdasarkan perbandingan panjang dan lebarnya, yang digunakan sebagai dasar penilaian hasil inspeksi visual maupun pengujian tidak merusak. Adapun jenis-jenis cacat pengelasan menurut (AWS D1.1, 2025) yaitu:

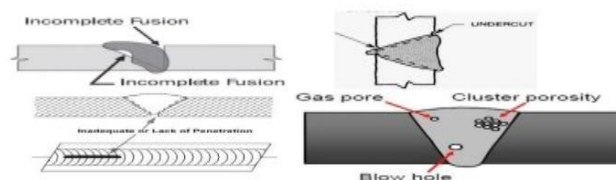
- a. Retak (*crack*). Yaitu pemisahan pada logam las dan logam induk yang tidak diperbolehkan dalam kondisi apa pun.



Gambar 2. 7 Tipe-tipe crack (American Welding Society (AWS) A3.0, 2020).

Pada gambar 2.8 memperlihatkan jenis-jenis cacat pengelasan berupa crack yaitu: *crater crack*, *face crack*, *HAZ crack*, *lamellar tear*, *longitudinal crack*, *root crack*, *toe crack*, *transverse crack*, dan juga *weld metal crack* (AWS D1.1, 2025).

- b. Porositas. Berupa rongga-rongga gas di dalam las yang dapat muncul secara tunggal maupun berkelompok, dengan batas ukuran dan jarak tertentu.
- c. *Incomplete fusion* dan inklusi terak. Yang terjadi akibat logam las tidak menyatu sempurna atau terjebaknya terak (*slag*) di dalam logam las.
- d. Cacat pada permukaan pengelasan meliputi beberapa jenis yaitu: undercut, overlap, kelebihan atau kekurangan penampang las, yang umumnya dinilai melalui inspeksi visual.



Gambar 2. 8 Jenis-jenis cacat pengelasan (Achmadi, 2024)

Cacat pengelasan dapat muncul dalam berbagai bentuk, seperti tampilan rigi las yang tidak baik, porositas, kurangnya penembusan, kurangnya peleburan, terak terperangkap, hingga retak. Tampilan jalur las (*weld bead*) yang buruk mencakup panjang kaki las yang tidak sesuai, kelebihan atau kekurangan penguatan, serta perlakuan kawah las yang tidak tepat. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh pengaturan parameter pengelasan yang tidak sesuai atau keterampilan juru las yang kurang memadai, sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan yang dapat menurunkan kekuatan sambungan (Sunaryo, 2008).

Porositas terjadi akibat gas yang terperangkap di dalam logam las selama proses pembekuan. Porositas berukuran kecil dan jumlah terbatas umumnya masih dapat diterima, namun porositas yang besar atau tersebar dapat mengurangi kekuatan sambungan, terutama pada pembebanan berulang. *Incomplete fusion*, *incomplete penetration*, *lack off fusion*, dan juga *slag inclusion* terjadi akibat penyatuan logam las yang tidak sempurna atau pembersihan antar lapisan yang tidak memadai, sehingga membentuk rongga atau diskontinuitas yang melemahkan sambungan las (Sunaryo, 2008).

Retak merupakan cacat pengelasan yang paling kritis karena dapat menjadi awal kegagalan struktur. Retak dapat terjadi pada logam las, daerah pengaruh panas (HAZ), maupun logam induk. Berdasarkan waktu terjadinya, retak dibedakan menjadi retak panas dan juga retak dingin. Retak panas terjadi pada suhu tinggi atau saat pembekuan logam las, sedangkan retak dingin umumnya muncul setelah pengelasan pada suhu mendekati suhu lingkungan.

Perencanaan pengelasan yang baik, meliputi pemilihan bentuk sambungan, urutan pengelasan, serta parameter yang sesuai, dapat mengurangi konsentrasi tegangan. Dengan demikian, risiko terjadinya cacat pengelasan dan kegagalan struktur dapat diminimalkan (Sunaryo, 2008).

e. Kebocoran atau kekedapan pada lasan

Pemeriksaan kebocoran atau kekedapan pada lasan merupakan salah satu kegiatan pengendalian mutu yang bertujuan untuk memastikan sambungan las mampu berfungsi sebagai penghalang fluida (media alir). Meskipun sambungan tersebut tidak dirancang sebagai bejana tekan atau sistem bertekanan, pengujian kebocoran dilakukan untuk memastikan bahwa sambungan las bebas dari rongga pada hasil pengelasan. Berdasarkan ketentuan *ASME boiler and pressure code* (BPVC) serta prinsip pemeriksaan yang dijelaskan dalam *ASME section V*, pengujian kebocoran dilakukan untuk memastikan bahwa sambungan las bebas dari rongga yang memungkinkan fluida (media alir) mengalir keluar melalui area las. Dalam penerapannya pada struktur seperti *kort nozzle* kapal, tujuan pengujian ini bukan untuk mengevaluasi kemampuan sambungan las dalam menahan tekanan tinggi, melainkan untuk membuktikan bahwa sambungan las memiliki tingkat kekedapan yang memadai (*leak tight*). Kekedapan las menunjukkan bahwa logam las, daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam induk telah menyatu secara menyeluruh dan kontinu, sehingga tidak terdapat rongga terbuka yang dapat menjadi jalur kebocoran (ASME BPVC. V, 2023).

(ASME BPVC. V, 2023) menyatakan bahwa pemeriksaan kebocoran dilakukan setelah seluruh proses fabrikasi selesai dan hasil inspeksi visual dinyatakan memenuhi persyaratan. Pengujian ini berfungsi sebagai pengujian penerimaan (*acceptance test*) yang dilakukan pada tahap akhir untuk memastikan integritas sambungan las sebelum komponen dinyatakan layak digunakan.

Pemeriksaan difokuskan pada daerah sambungan las yang berpotensi mengalami kebocoran akibat adanya cacat terbuka, seperti porositas yang menembus permukaan, retak, kurang peleburan, maupun ketidaksempurnaan lain yang terhubung langsung ke permukaan las (ASME BPVC. V, 2023).

Berdasarkan ketentuan standard *ASME BPVC*, hasil pengujian kebocoran bersifat mutlak. Sambungan las dinyatakan dapat diterima apabila tidak ditemukan indikasi kebocoran selama pengujian. Apabila kebocoran terdeteksi, sambungan las harus diperbaiki dan diuji ulang hingga kondisi kedap tercapai. Dengan demikian, pemeriksaan kedap dan kebocoran berfungsi sebagai verifikasi fungsional terhadap kualitas hasil pengelasan. Pada *kort nozzle* kapal, pengujian ini memastikan bahwa sambungan las tidak hanya memenuhi persyaratan visual, tetapi juga mampu mencegah keluar atau masuknya fluida, sehingga integritas struktur pengelasan tetap terjaga (ASME BPVC. V, 2023).

2.2.8 Metode *air pressure test*

Metode *air pressure test* atau *Leak test* merupakan metode pengujian NDT (*non-destructive testing*) yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya kebocoran pada komponen, sambungan las, atau sistem yang dirancang untuk menahan fluida maupun tekanan. Metode ini dilakukan dengan cara memberikan tekanan udara atau gas *inert* ke dalam komponen uji yang di pertahankan selama 15 menit, kemudian mengamati indikasi kebocoran yang muncul pada permukaan atau sambungan struktur (ASME BPVC. V, 2023).. Berdasarkan ketentuan (Klasifikasi rules BKI, 2022), Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa hasil pengelasan dan konstruksi telah memenuhi persyaratan klasifikasi, sehingga tidak terjadi kebocoran yang dapat memengaruhi keselamatan, stabilitas, maupun keandalan operasional kapal. Selain itu ini juga dilakukan untuk memastikan bahwa tidak terjadi kebocoran sama sekali yang ditetapkan dalam standar pengujian. Dengan demikian, air test menjadi bagian penting dalam pengendalian mutu (*quality control*) hasil pengelasan pada struktur bertekanan dan struktur kapal.

Prinsip kerja *air test* didasarkan pada adanya perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar komponen uji. Apabila terdapat cacat tembus seperti porositas, retak, atau diskontinuitas pada sambungan las, maka udara atau gas dari

dalam komponen akan keluar melalui celah tersebut dan dapat terdeteksi melalui metode pengujian tertentu. Beberapa teknik *air test* atau *leak test* yang umum digunakan antara lain yaitu *bubble test* (*direct pressure bubble test* / *vacum box test*, *tracer gas leak test*, *pressure test*) (ASME BPVC. V, 2023) (Klasifikasi rules BKI, 2022).

1. Penjelasan perhitungan tekanan udara berdasarkan ketinggian kolom air

Perhitungan tekanan pada pengujian *air pressure test* dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan kolom air sebagai indikator tekanan. Hubungan antara tekanan dan tinggi kolom cairan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P = 0.0981 h SG$$

Dimana:

P = Tekanan (bar)

H = Ketinggian kolom air (m)

SG = *Specific gravity* (berat jenis cairan)

Pada pengujian ini, fluida yang digunakan adalah air sehingga nilai (*Specific gravity*) $SG = 1$. Konstanta 0,0981 merupakan faktor konversi dari tinggi kolom air dalam meter menjadi tekanan dalam satuan bar.

Sebagai contoh, apabila tinggi kolom air yang terbentuk dalam selang pengujian adalah 2 meter, maka tekanan yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = 0.0981 \times 2 \times 1 = 0.1962 \text{ bar}$$

Nilai tersebut dapat dibulatkan menjadi 0,2 bar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan tinggi kolom air sebesar 1 meter setara dengan peningkatan tekanan sekitar 0,1 bar (Smith, 2014).

Pendekatan ini digunakan dalam pengujian untuk memastikan bahwa tekanan yang diberikan pada sistem sesuai dengan standar yang ditetapkan, serta mempermudah dalam memonitor tekanan tanpa menggunakan alat ukur tekanan secara langsung (Smith, 2014).

Sumber: <https://www.scribd.com/document/429772144/Air-Pressure-Test>

2.2.9 Standard pengujian BKI

Metode *air pressure test* dipilih untuk pengujian ketidakbocoran atau kekedapan pada lasan yang diakui dalam peraturan Klasifikasi dan Survei Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebagai metode pada batas kedap air, termasuk sambungan las dan penetrasi. *Kort nozzle* sebagai struktur *eksternal* yang terendam dan terhubung langsung dengan lambung kapal memiliki sambungan las yang berpotensi mengalami cacat las seperti porositas, retak, dan incomplete fusion, baik cacat las *internal* maupun *eksternal* yang dapat menyebabkan kebocoran jika tidak dilakukan pengujian kebocoran seperti *air pressure test*. Uji udara dengan tekanan efektif untuk mendeteksi kebocoran mikro pada sambungan las tersebut (Klasifikasi rules BKI, 2022).

Selain itu, *air pressure test* dilakukan dengan memberikan perbedaan tekanan udara minimal $0,15 \times 10^5$ Pa di konversikan ke bar menjadi 0,15 bar atau 0,2 bar dan menggunakan larutan sabun, sehingga kebocoran dapat teridentifikasi secara visual melalui gelembung udara tanpa menimbulkan beban struktural berlebih. Dengan demikian, penerapan metode ini tidak hanya memenuhi ketentuan klasifikasi BKI, tetapi juga mencerminkan praktik pengujian standard di galangan kapal sebelum dioperasikan (Klasifikasi rules BKI, 2022).

2.3.10 Kualitas Las FCAW Berdasarkan Air Pressure Test

Pelaksanaan metode *air pressure test* bertujuan untuk memastikan integritas sambungan las dan struktur yang bekerja dalam kondisi bertekanan atau menahan fluida, serta mendeteksi cacat tembus yang tidak dapat diidentifikasi melalui pemeriksaan visual. Proses pengelasan berpotensi menimbulkan cacat seperti retakan, porositas, *lack of fusion*, dan juga slag yang dapat menurunkan kualitas sambungan las dan menyebabkan kebocoran secara dini. Penerapan metode ini tidak hanya menjamin keselamatan operasional dan keandalan struktur selama pemakaian, tetapi juga menjadi bagian dari sistem pengendalian mutu hasil pengelasan, khususnya pada struktur kapal yang menuntut tingkat kekedapan tinggi (Klasifikasi rules BKI, 2022) (ASME BPVC. V, 2023).

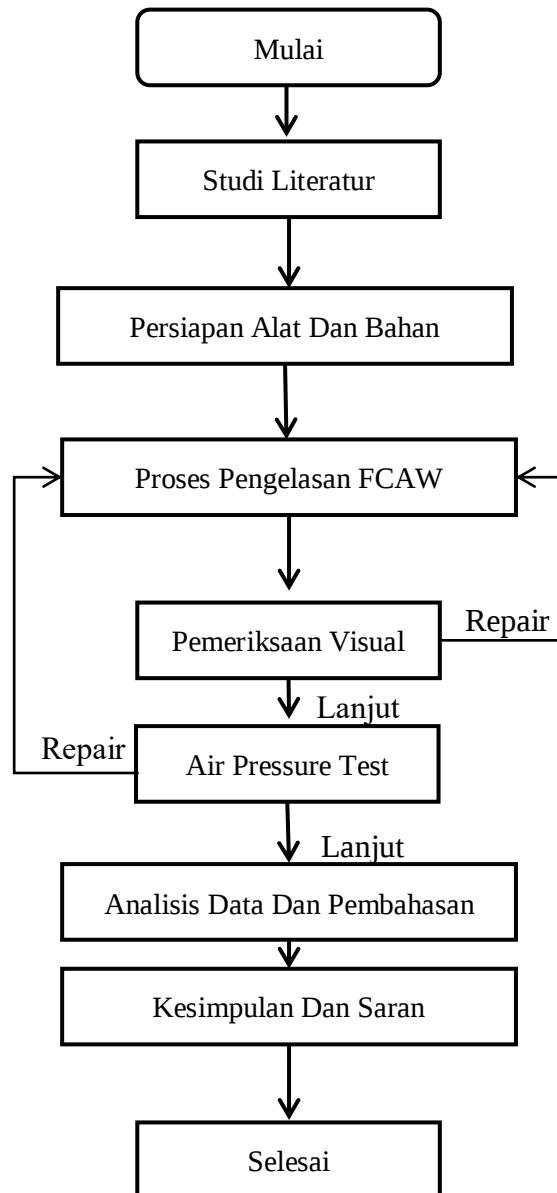


Gambar 2. 9 Pengujian *air test* (Klasifikasi rules BKI, 2022)

BAB III METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan melakukan variasi terhadap parameter pengelasan, kemudian menganalisis pengaruhnya terhadap hasil pengujian *air peressure test*.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dan dilaksanakan pada saat kegiatan magang selama 3 bulan penelitian, dan berlokasi pada PT CIH INDONESIA SHIPYARD. Pada penelitian ini meliputi proses las dan pengujian seperti dari proses pengelasan FCAW dan juga pengujiannya menggunakan metode *air pressure test*.

3.3. Alat Dan Bahan

Peralatan dan bahan pada penelitian ini digunakan untuk mendukung dari pembuatan spesimen untuk penelitian ini. Berikut ini adalah alat-alat dan bahan pada pengujian untuk penelitian ini yaitu:

3.3.1 Alat penelitian

- a. Mesin pengelasan FCAW
- b. Torch FCAW dan kabel las
- c. Kompresor udara
- d. Selang udara dan katup pengatur tekanan
- e. Manometer kolam air (selang transparan + meteran)
- f. Pressure gauge
- g. Gerinda tangan
- h. Palu (chipping)
- i. Sikat kawat
- j. Alat pelindung diri (APD)

3.3.2 Bahan penelitian

- a. Material baja karbon rendah NK *Grade A*
- b. Mesin las FCAW
- c. Kawat las FCAW E71T-1C
- d. Gas pelindung CO₂
- e. Air bersih
- f. Larutan sabun

3.4. Objek penelitian

Objek penelitian yang digunakan yaitu pada sambungan las FCAW pada material baja karbon rendah *ABS Grade A* yang digunakan untuk bagian dari

struktur kapal, khususnya pada bagian *kort nozzle* kapal Tugboat. Pada struktur dari *kort nozzle* tersebut diteliti untuk mengetahui kualitas dari hasil pengelasan, apakah sudah sesuai dengan standard dan gambar yang perusahaan berikan, dengan melalui pemeriksaan visual dan juga pengujian kebocoran menggunakan metode *air pressure test*.

3.5. Prosedur penelitian

Prosedur penelitian merupakan rangkaian langkah sistematis yang memandu peneliti sejak perencanaan sampai pelaporan, sehingga proses berjalan teratur, logis, dan mudah dikontrol, prosedur dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Studi literatur

Dilakukan dengan mempelajari buku, jurnal, standar seperti AWS, ASME, BKI, ABS sebagai jenis material, serta referensi lain yang berkaitan dengan proses pengelasan FCAW, *defect* las, serta metode pengujian dari *air pressure test*.

b. Pemilihan material dan persiapan alat dan bahan

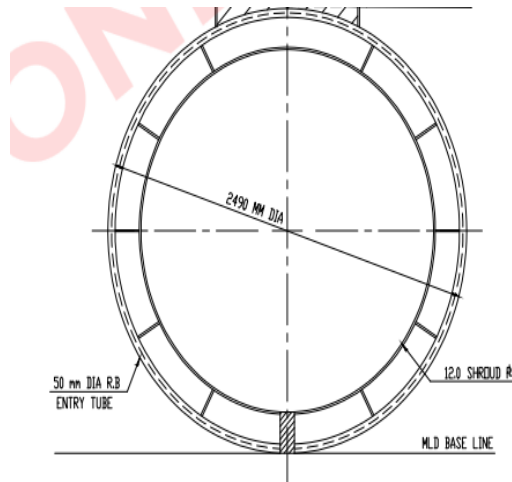
Material yang digunakan pada objek penelitian yaitu pelat baja karbon rendah ABS *Grade A*, dengan ketebalan yang disesuaikan dengan kebutuhan struktural kapal yaitu *round bar* diameter 50 mm x 6 m, *flat bar* diameter 50 mm x 9 m, *ship plate* diameter 9 mm x 9 x 30 feet.

c. Tahapan fabrikasi dan konstruksi *kort nozzle* serta proses pengelasan FCAW

1. Pembentukan Selubung Samping (*Side Shell*)

- a) *Ship plate* ABS *Grade A* ketebalan 9 mm.
- b) Proses: Plat dipotong sesuai bentangan (*development drawing*) dan ditekuk menggunakan mesin *rolling*.
- c) Untuk mendapatkan derajat kelengkungan yang akurat, dilakukan pemanasan setempat (*fairing*) agar plat lebih plastis dan mudah diarahkan menjadi cincin sempurna.

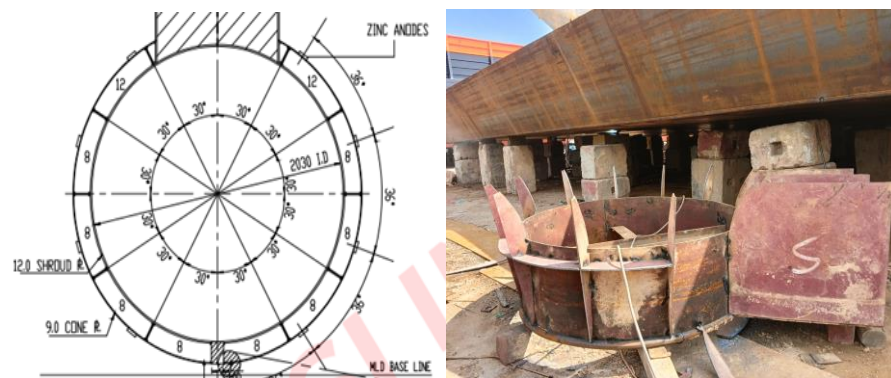
- d) Sambungan vertikal pada *inner* dan *outer shell* disatukan menggunakan las FCAW.



Gambar 3. 2 Skema pembentukan kort nozzle (drawing perusahaan)

2. Perakitan Cincin dan Struktur Tabung (*Fit-up*)

- Selubung yang sudah berbentuk cincin disatukan (*fit-up*) dengan *round bar* (pada sisi depan) dan *flat bar* (pada sisi belakang).
- Pertemuan antar komponen material (plat ke *bar*) disambung dengan las FCAW *Fillet/T-Joint* hingga membentuk struktur tabung tertutup yang solid.



Gambar 3. 3 Sambungan pengelasan pada kort nozzle (drawing perusahaan)

3. Pemasangan Penguat Internal (*Web Stiffener*)

- Material: potongan *ship plate* 9 mm.

- b) Plat *web* (sirip penguat) disisipkan ke dalam rongga di antara selubung dalam dan luar.
- c) Posisi pemasangan wajib mengikuti tanda derajat pada gambar kerja guna menjamin kekuatan struktur dalam menahan beban hidrodinamis propeler.
- d) Setelah seluruh *web* dilas ke sisi dalam *shell*, plat penutup terakhir dipasang sehingga tercipta ruang hampa (*hollow space*) yang terisolasi sempurna dan siap untuk diuji kedapannya.

Pada proses pengelasan ini dilakukan menggunakan jenis pengelasan *flux cored metal arc welding* (FCAW-GS) menggunakan jenis elektroda E71T-1C dan juga dilakukan menyesuaikan dengan parameter yang telah ditetapkan. Penelitian ini membagi sampel menjadi tiga variasi utama. Perbedaan parameter difokuskan pada arus tahapan *Filler* dan *Capping* untuk melihat pengaruh hasil las terhadap kekuatan kedap udara (*leakage*) untuk menghindari kebocoran. Adapun parameter *Root Pass* dijaga konstan untuk memastikan keseragaman penetrasi awal.

Tabel 3. 1 Parameter pengelasan V1

WPS 1						
Welding Process	FCAW-GS					
Welding Position	All Positon					
Material Thickness	9 mm					
Base Metal	ABS Grade A					
Preheat	Preheat Temperature	Ambient				
	Interpass Temperature	Max 129°C				
Filler Metal	Electrode Classification	E71T-1C				
	AWS Electrode Specification	A 5.20				
	Diameter of Filler Metal	1.2 mm				
	Other Brand/Trade	JQ · YJ501-1				
Welding Parameter	Weld Layer	Amperage (A)			Voltage	Travel Speed (mm/min)
		Type	Polarity	Amps		
	Root Pass	DC	EP	120	21	270
	Filler	DC	EP	200	24	320
	Capping	DC	EP	200	24	300

Tabel 3. 2 Parameter pengelasan V2

WPS 2						
Welding Process	FCAW-GS					
Welding Position	All Positon					
Material Thickness	9 mm					
Base Metal	ABS Grade A					
Preheat	Preheat Temperature	Ambient				
	Interpass Temperature	Max 129°C				
Filler Metal	Electrode Classification	E71T-1C				
	AWS Electrode Specification	A 5.20				
	Diameter of Filler Metal	1.2 mm				
	Other Brand/Trade	JQ · YJ501-1				
Welding Parameter	Weld Layer	Amperage (A)			Voltage	Travel Speed (mm/min)
		Type	Polarity	Amps		
	Root Pass	DC	EP	120	21	300
	Filler	DC	EP	250	28	360
	Capping	DC	EP	250	28	330

Tabel 3. 3 Parameter pengelasan V3

WPS 3						
Welding Process	FCAW-GS					
Welding Position	All Positon					
Material Thickness	9 mm					
Base Metal	ABS Grade A					
Preheat	Preheat Temperature	Ambient				
	Interpass Temperature	Max 129°C				
Filler Metal	Electrode Classification	E71T-1C				
	AWS Electrode Specification	A 5.20				
	Diameter of Filler Metal	1.2 mm				
	Other Brand/Trade	JQ · YJ501-1				
Welding Parameter	Weld Layer	Amperage (A)			Voltage	Travel Speed (mm/min)
		Type	Polarity	Amps		
	Root Pass	DC	EP	120	21	300
	Filler	DC	EP	300	31	430
	Capping	DC	EP	300	31	380

d. Pemeriksaan visual

Sebelum melakukan metode pengujian *air pressure test*, dilakukan pemeriksaan secara visual terlebih dahulu. Karena, area *kort nozzle* merupakan area yang sangat krusial atau kritis karena komponen ini bekerja di lingkungan laut dan juga menerima beban hidrodinamis serta getaran. Cacat las yang sering dijumpai berupa undercut, porosity, *incomplete fusion*, spater dan sebagainya. Semua cacat harus disertai standard karena berfungsi sebagai acuan resmi untuk menjamin hasil dari pengelasan aman, kuat, dan juga konsisten. Jika cacat las berupa retak (*crack*) maka tidak ada toleransi dari semua standard karena dapat menyebabkan kegagalan struktur seperti *fatigue crack*. Jika menemukan porosity pada panjang las 300 mm, standard (AWS D1.1, 2025) tidak memperbolehkan jika jumlah diameter porosity melebihi dari 20 mm. Jika menemukan cacat las berupa undercut pada material dibawah 25 mm, (AWS D1.1, 2025) tidak memperbolehkan dalam undercut yaitu 2 mm dan panjang undercut nya lebih dari 50 mm dari panjang las 300 mm. Jika menemukan *incomplete fusion* dengan panjang maksimum 1.5 mm, standard AWS dan juga ISO tidak memperbolehkan jika pada lasan krusial atau kritis.

Standard pengelasan digunakan untuk menentukan batas yang jelas antara las yang masih dapat diterima dan las yang harus diperbaiki atau ditolak. Dengan adanya standard, setiap cacat las seperti retak, porositas, undercut, dan sebagainya memiliki kriteria penerimaan dan batas toleransi yang pasti, sehingga mutu sambungan dapat dikendalikan.



Gambar 3. 4 Pemeriksaan visual pada lasan di *kort nozzle*

e. Metode *air pressure test*

Setelah pemeriksaan visual selesai dan sudah di *repair* oleh welder, langkah selanjutnya sambungan las diuji menggunakan metode *air pressure test*,

dengan dimasukkan udara pada bagian *kort nozzle* menggunakan selang udara melalui kompresor dengan tekanan dan tinggi dari manometer kolam air yang sudah sesuai dengan standar perusahaan.

Tabel 3. 4 Parameter pengujian *air pressure test rules* BKI (Klasifikasi rules BKI, 2022)

Tekanan Udara	Manometer tinggi air
0,2 bar	200 cm

Tekanan udara pada pengujian *air pressure test* berfungsi dengan cara memberikan gaya dorong dari dalam ruang atau tengki. Tekanan dari udara berusaha keluar melewati celah atau pori terkecil. Oleh karena itu, sekecil apapun celah yang terlewati oleh udara, maka akan menimbulkan kebocoran yang ditandai dengan gelembung sabun yang telah disiram dari luar area lasan. Dalam rules yang ditetapkan oleh (Klasifikasi rules BKI, 2022), metode *air pressure test* diatur sebagai bagian dari pengujian kedap udara pada struktur kapal. Uji ini diwajibkan untuk memastikan bahwa sambungan las kedap udara dan tidak mengalami kebocoran, khususnya pada bagian kapal yang bersentuhan langsung dengan air atau fluida.

Manometer air pada pengujian *air pressure test* sangat berperan penting untuk mengukur dan memantau kestabilan udara di dalam ruang atau tengki *kort nozzle*. Oleh karena itu dengan tinggi dari manometer air yang stabil, maka peneliti tau bahwa pengujian *air pressure test* berjalan dengan standar yang diterapkan, jika manometer air nya turun, maka penurunan tekanan udara menandakan kemungkinan kebocoran yang besar pada struktur las. Dibawah ini adalah gambar dari manometer air yang digunakan pada pengujian *air pressure test*,



Gambar 3. 5 Tinggi air pada manometer

Adapun tahapan-tahapan dari metode pengujian *air pressure test* yaitu:

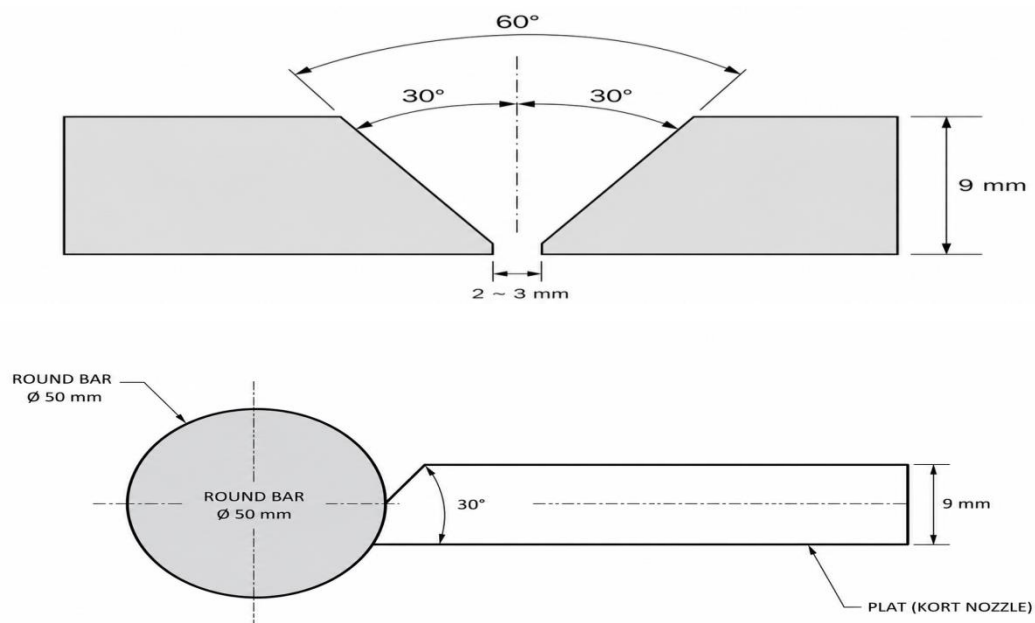
1. Bersihkan permukaan las dari kotoran, karat, dan cat agar titik kebocoran mudah dilihat.
2. Pasang *blind flange* pada lubang masuk/keluar sehingga ruang atau tengki tertutup rapat
3. Mengisi udara bertekanan sesuai dengan parameter pengujian menggunakan kompresor dengan tekanan angin hingga 0,2 bar.
4. Menstabilkan tekanan menggunakan manometer air dengan ketinggian air sudah sesuai dengan parameter pengujian, kemudian diberi waktu 10-15 menit untuk memastikan kondisi uji sudah stabil dan kedap.
5. Semprotkan air yang sudah dicampur dengan sabun pada area lasan, jika ada kebocoran pada area las, maka akan ditandai dengan adanya gelembung sabun.
6. Melakukan perbaikan dengan cara gerinda terlebih dahulu pada titik kebocoran lalu di las ulang, kemudian lakukan pengujian ulang dengan langkah yang sama sampai tidak ada gelembung yang keluar dan tekanan stabil.
7. Melakukan pencatatan dan pengambilan data hasil pengujian, meliputi tekanan uji, tinggi kolom air pada manometer, kondisi sambungan las (bocor/tidak bocor), lokasi kebocoran, serta tindakan perbaikan yang dilakukan sebagai bahan analisis dalam penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penelitian

Pada bagian bab ini, diuraikan data teknis yang di dapatkan langsung pada saat proses fabrikasi *kort nozzle* kapal Tugboat 28M. Data yang disajikan merupakan perbandingan antara ketiga variasi arus listrik (*ampere*) yang digunakan pada saat pengelasan menggunakan metode FCAW. Fokus penelitian terletak pada bagaimana setiap besaran arus memengaruhi kualitas sambungan las yang kemudian divalidasi melalui pengujian kekedapan (*air pressure test*).



Gambar 4. 1 Jenis sambungan pada *kort nozzle*

Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode *flux cored arc welding* (FCAW) pada material dengan ketebalan 9 mm. jenis sambungan yang digunakan adalah *single v groove* dengan sudut kampuh 60°, terdiri dari 30° sisi kiri dan kanan, serta root gap yaitu 2-3 mm. Pemilihan sudut kampuh 60° bertujuan untuk memberikan ruang yang cukup bagi penetrasi logam las sehingga peleburan pada daerah akar sambungan dapat berlangsung dengan baik. Layer yang digunakan pada metode pengelasan ini sebanyak 3 layer yang meliputi *root pass*, *filler*, dan *capping*. Sambungan pada penelitian ini juga menggunakan desain sambungan antara *round bar* diameter 50 mm dan pelat dengan preparasi sudut kampuh yaitu *single bavel* 30° pada sisi pelat yang

terhubung dengan *round bar*. Desain sambungan ini digunakan untuk membantu proses penetrasi, peleburan logam, serta menghasilkan sambungan las FCAW yang baik.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian *air pressure test*

Variasi Arus	Defect Spesimen		Kebocoran	Result
	Kort Nozzle 1	Kort Nozzle 2		
200	1	1	Ada	<i>Reject (Repair)</i>
250	0	0	Tidak Ada	ACC
300	1	1	Ada	<i>Reject (Repair)</i>

4.2. Evaluasi Hasil Dari Pengujian

Berdasarkan data pada tabel 4.1 terlihat korelasi yang nyata antara besaran arus dengan jenis kebocoran yang muncul. Jenis defect bersifat *sub surface* (cacat internal) yang tidak selalu terlihat oleh mata langsung. Oleh karena itu, bukti utama yang digunakan adalah indikasi kebocoran pada saat *air pressure test*, di mana munculnya gelembung udara menjadi bukti fisik yang valid bahwa terdapat diskontinuitas di dalam dan juga di luar sambungan las. Berikut adalah evaluasi mendalam terhadap masing-masing variasi.

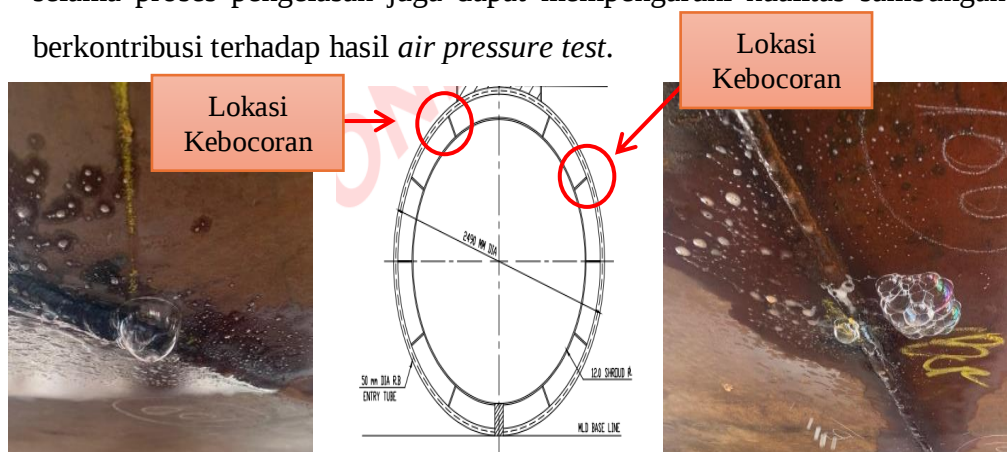


Gambar 4. 2 Pemeriksaan awal saat pengujian bersama BKI

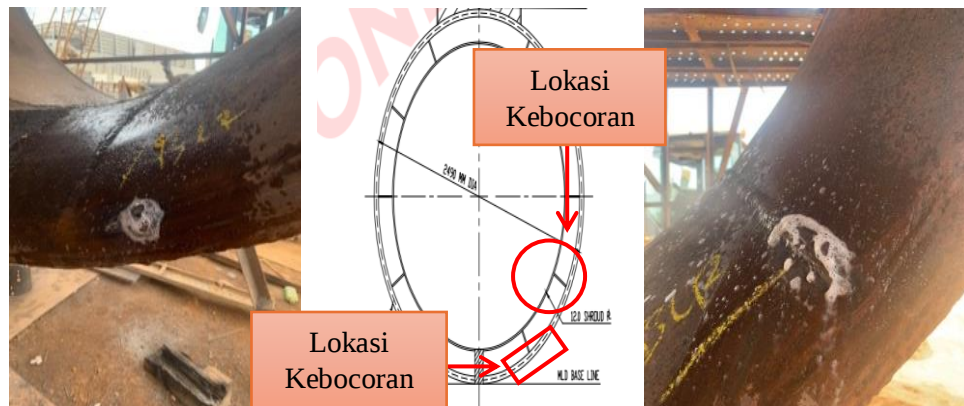
1. Evaluasi Pada Sambungan Pengelasan Berdasarkan *Air Pressure Test*

Hasil pengujian menggunakan metode *air pressure test* menunjukkan bahwa kualitas sambungan pengelasan FCAW pada *kort nozzle* kapal Tugboat dipengaruhi oleh variasi arus pengelasan yang digunakan. Pada arus 250, hasil pengelasan menunjukkan kondisi terbaik dengan status *Acceptance* (ACC) karena

tidak ditemukan kebocoran maupun gelembung udara saat pengujian dilakukan. Berdasarkan standard dari *American Welding Society (AWS)*, penggunaan arus yang tepat akan menghasilkan penetrasi dan *reinforcement* yang baik. Sedangkan pada arus 200 dan arus 300 ditemukan indikasi kebocoran sehingga hasil pengelasan dinyatakan belum memenuhi kriteria penerimaan. Selain dipengaruhi oleh variasi arus, hasil pengujian ini juga dapat dipengaruhi oleh parameter lain seperti *voltage*, *travel speed*, *transfer mode*, posisi pengelasan, *electrode extension*, serta kemungkinan terjadinya *human error* selama proses pengelasan. Pada penelitian ini digunakan parameter 24 V, 28 V, dan 31 V dengan rentang *travel speed* masing-masing 300–320 mm/min, 330–360 mm/min, dan 380–430 mm/min yang mempengaruhi besarnya *heat input* pada sambungan las. Kombinasi parameter tersebut berpengaruh terhadap kestabilan busur, penetrasi, peleburan logam, dan kedekatan sambungan menjadi aspek utama pada pengujian *air pressure test*. Kebocoran pada arus 200 terjadi pada posisi datar (1G), sedangkan kebocoran pada arus 300 terjadi pada posisi vertikal (3G). Posisi vertikal memiliki tingkat kesulitan lebih tinggi dalam pengendalian kolam las dibanding posisi datar sehingga dapat mempengaruhi kualitas sambungan. Penelitian ini juga menggunakan *electrode extension* dengan jarak 19 mm yang berpengaruh terhadap kestabilan busur dan karakteristik penetrasi. Selain itu, kemungkinan *human error* seperti ketidak konsistenan sudut elektroda, perubahan *stick out*, serta variasi gerakan operator selama proses pengelasan juga dapat mempengaruhi kualitas sambungan dan berkontribusi terhadap hasil *air pressure test*.



Gambar 4. 3 Lokasi kebocoran pada arus 300 berdasarkan *drawing kort nozzle*

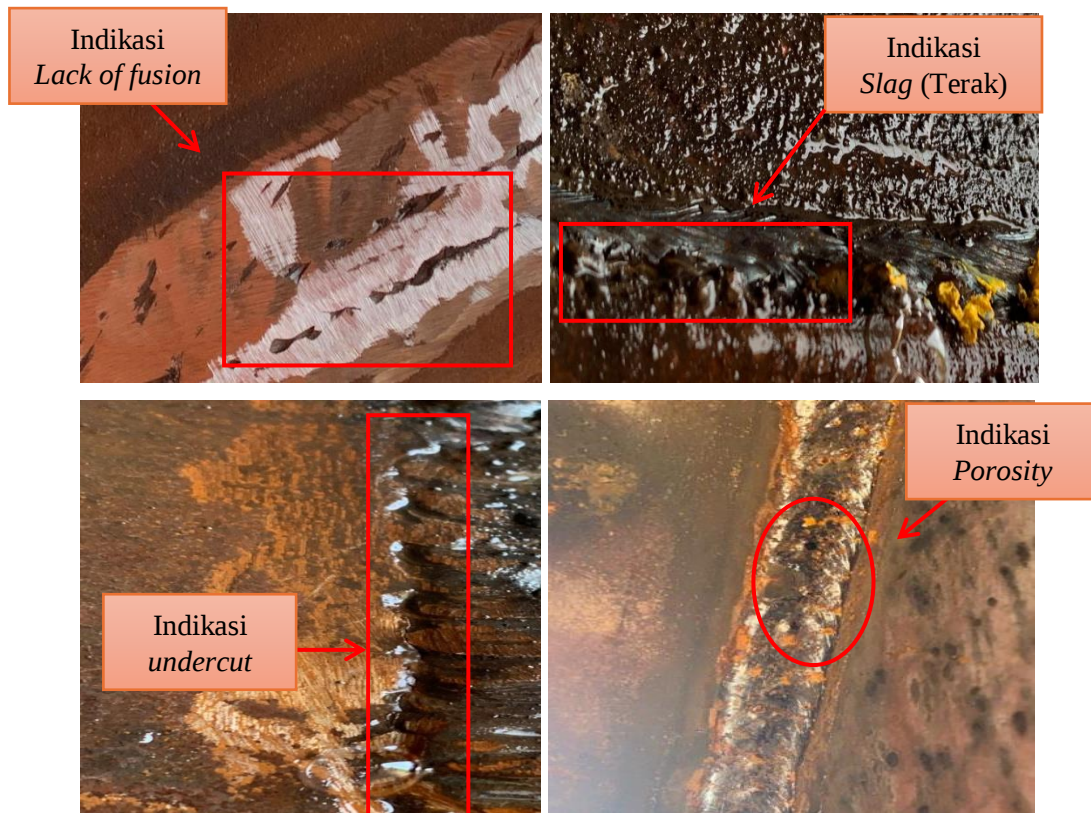


Gambar 4. 4 Lokasi kebocoran pada arus 200 berdasarkan *drawing kort nozzle*

2. Evaluasi Jenis Cacat Yang Sering Muncul Pada Kort Nozzle

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan pada pengujian *air pressure test*, pada arus 200 ditemukan cacat berupa *lack of fusion* (LOF) dan *slag inclusion* akibat *heat input* yang rendah sehingga peleburan logam tidak sempurna. Hal ini termasuk cacat dengan tingkat keparahan tinggi karena menunjukkan tidak terjadinya penyatuan sempurna antara logam las dan logam induk. Secara mekanis, kondisi ini menyebabkan terbentuknya celah internal yang berpotensi menjadi jalur kebocoran pada pengujian. (Widyawati dkk, 2021) menjelaskan bahwa arus yang terlalu kecil dapat menyebabkan penetrasi dangkal atau peleburan tidak merata dan *slag* pada hasil las. Sedangkan pada arus 300 ditemukan cacat berupa *undercut* dan *porosity* akibat panas yang terlalu tinggi sehingga bentuk *bead* menjadi tidak stabil, sehingga memakan material induk. Pada cacat ini tingkat keparahan nya cukup signifikan karena menyebabkan berkurangnya luas penampang efektif sambungan dan meningkatkan konsentrasi tegangan area las. (Sunarti dkk, 2026) menjelaskan bahwa arus yang terlalu tinggi dapat memicu terbentuknya *porosity*. Teori dari (Sunaryo, 2008) menyatakan bahwa arus berlebih dapat menyebabkan *undercut* dan spatter, sementara itu, pada arus 250 tidak ditemukan cacat signifikan sehingga hasil pengelasan memenuhi kriteria penerimaan. Kemunculan cacat pada penelitian ini tidak hanya dipengaruhi oleh variasi arus, tetapi juga oleh pengaruh *voltage*,

travel speed, *transfer mode*, posisi pengelasan, dan faktor operator selama proses FCAW berlangsung.



Gambar 4. 5 Indikasi Jenis Defect

3. Evaluasi Hubungan Parameter FCAW Terhadap Mutu Hasil Pengelasan

Parameter FCAW seperti arus, tegangan, dan *travel speed* memiliki pengaruh terhadap mutu hasil pengelasan. Pada arus 200, *heat input* yang rendah menyebabkan penetrasi yang kurang maksimal serta peleburan tidak merata dan memicu terjadinya cacat berupa *lack of fusion* (LOF). Sebaliknya, arus 300 menghasilkan panas berlebih serta tidak di stabilkan dengan *travel speed* akan menyebabkan *undercut*. Sedangkan pada arus 250 diperoleh kondisi pengelasan paling stabil sehingga menghasilkan penetrasi, peleburan logam, dan bentuk *bead* yang baik serta lolos pengujian *air pressure test*. Hubungan parameter pengelasan FCAW terhadap mutu hasil pada penelitian ini dipengaruhi oleh intraksi antara arus, tegangan, *travel speed*, *heat input*, *transfer mode*, posisi pengelasan, dan *electrode extension*, serta faktor operator selama proses pengelasan berlangsung. Arus berperan sebagai sumber utama energi panas pada proses pengelasan. Pada parameter 200 A, energi panas yang dihasilkan relatif lebih rendah sehingga

kemampuan peleburan logam induk menurun dan penetrasi menjadi kurang maksimal. Kondisi tersebut menyebabkan penyatuan logam las dan logam induk menjadi kurang sempurna sehingga berpotensi menimbulkan cacat seperti *lack of fusion*. Sebaliknya, pada parameter 300 A, peningkatan arus menyebabkan *heat input* meningkat sehingga fluiditas logam cair bertambah. Apabila panas yang tinggi tidak diimbangi dengan pengendalian proses yang baik, maka logam cair dapat bergerak berlebihan dan meningkatkan kemungkinan terbentuknya *undercut* maupun ketidakstabilan bentuk *bead*.

Selain arus, *voltage* mempengaruhi panjang busur listrik (*arc length*) dan kestabilan transfer logam selama proses FCAW. Pada penggunaan V 24, panjang busur cenderung lebih pendek sehingga distribusi panas menjadi lebih sempit dan area peleburan menjadi lebih terbatas. Kondisi ini dapat menyebabkan penetrasi kurang optimal dan meningkatkan kemungkinan peleburan yang tidak merata. Sebaliknya, penggunaan V 31 menghasilkan busur yang lebih panjang dan area panas lebih luas. Namun, peningkatan panjang busur yang lebih panjang dan area turbulensi pada kolam las dan mempengaruhi efektivitas perlindungan gas, sehingga berpotensi meningkatkan kemungkinan terbentuknya *porosity*, *spatter*, maupun ketidakstabilan bentuk *bead*.

Travel speed menentukan lama panas bekerja pada sambungan las. Pada *travel speed* 300–320 mm/min, waktu pemanasan per satuan panjang cenderung lebih lama sehingga panas memiliki waktu lebih banyak untuk melakukan peleburan material. Akan tetapi, apabila kondisi ini dikombinasikan dengan arus rendah, peleburan logam induk masih dapat menjadi kurang optimal. Sebaliknya, pada *travel speed* 380–430 mm/min, waktu pemanasan menjadi lebih singkat sehingga logam induk menerima panas dalam durasi yang lebih pendek. Apabila kecepatan pengelasan terlalu tinggi atau tidak konsisten selama proses berlangsung, maka penetrasi, peleburan logam, dan pembentukan *bead* dapat menjadi kurang stabil serta meningkatkan risiko munculnya cacat pengelasan.

Dari sisi mekanisme perpindahan logam, parameter pengelasan juga mempengaruhi *transfer mode* selama proses FCAW berlangsung. Pada parameter 200 A dengan 24 V, mekanisme perpindahan logam berada pada *short circuit transfer* yang secara mekanis ujung elektroda berulang kali menyentuh kolam las

sehingga terjadi hubungan singkat (*short circuit*) yang menyebabkan tetesan logam cair berpindah menuju logam induk dengan energi panas relatif lebih rendah. Kondisi ini dapat menyebabkan penetrasi menjadi lebih dangkal dan meningkatkan kemungkinan terjadinya peleburan yang kurang sempurna. Sementara itu, pada parameter 300 A dengan 31 V, mekanisme perpindahan logam cenderung menuju *globular transfer* hingga mendekati *spray transfer*. Secara mekanis, peningkatan arus menghasilkan gaya elektromagnetik yang lebih besar sehingga tetesan logam cair pada ujung elektroda lebih cepat terlepas menuju kolam las. Kondisi ini meningkatkan laju deposisi logam dan fluiditas kolam las. Namun, apabila kondisi tersebut tidak diimbangi dengan kontrol parameter yang baik, maka kestabilan kolam las dapat menurun dan meningkatkan potensi munculnya *undercut*, *porosity*, maupun ketidakstabilan *bead*.

Posisi pengelasan juga memiliki pengaruh terhadap mutu hasil pengelasan. Pada penelitian ini, arus 200 dilakukan pada posisi datar (1G), sedangkan arus 300 dilakukan pada posisi vertikal (3G). Pada posisi 1G, gravitasi membantu menahan logam cair sehingga kolam las relatif lebih mudah dikendalikan. Sebaliknya, pada posisi 3G, pengaruh gravitasi menyebabkan logam cair cenderung bergerak ke bawah sehingga pengendalian kolam las menjadi lebih sulit. Ketika dikombinasikan dengan arus dan *heat input* yang tinggi, kondisi ini dapat memperbesar potensi terbentuknya cacat pengelasan serta menurunkan mutu hasil sambungan. Penelitian ini juga menggunakan *electrode extension* dengan jarak 19 mm dari *contact tub* yang mempengaruhi pemanasan resistansi kawat, stabilitas busur, dan karakteristik penetrasi. Apabila panjang *electrode extension* berubah selama proses pengelasan, maka pemanasan kawat elektroda dapat berubah sehingga mempengaruhi transfer logam, kedalaman penetrasi, dan kestabilan deposisi logam las.

Selain parameter mesin, faktor *human error* juga dapat mempengaruhi mutu hasil pengelasan, seperti ketidakkonsistenan sudut elektroda, perubahan *stick out*, variasi kecepatan gerakan tangan operator, serta ketidakstabilan teknik pengelasan selama proses berlangsung. Kondisi tersebut dapat menyebabkan perubahan distribusi panas, transfer logam, dan kualitas peleburan sehingga turut

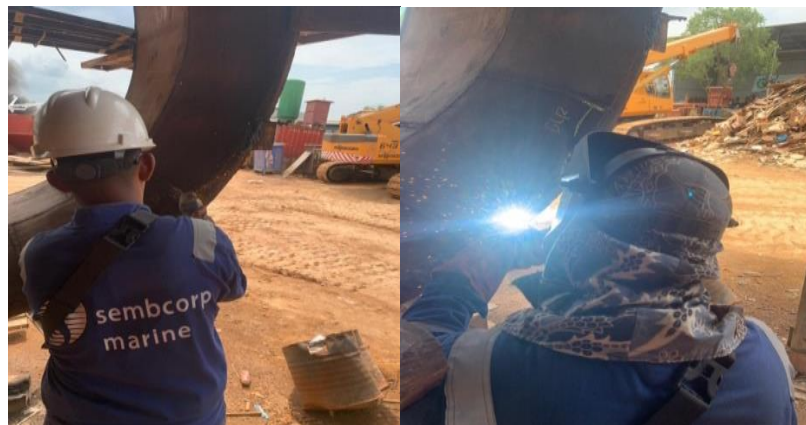
mempengaruhi mutu hasil pengelasan secara keseluruhan.

4.3. Hasil Validasi Melalui *Air Pressure Test* (0,2 Bar)



Gambar 4. 6 Tekanan 0,2 bar pada *pressure gauge*

1. Pada arus 200 : Muncul gelembung sabun sebanyak 2 titik. Hal ini membuktikan jika arus yang terlalu kecil memiliki celah mikro akibat ketidak sempurnaan peleburan dan menemukan indikasi cacat seperti *LOF* dan *slag* yang menjadi jalur kebocoran.
 - Untuk proses perbaikan (*repair*) pada arus ini terlebih dahulu di *gouging* (pembongkaran lasan) karena cacatnya bersifat internal dan struktural.
2. Pada arus 250 : Tidak ditemukan adanya indikasi kebocoran sama sekali (kedap sempurna), sehingga sambungan dinyatakan lulus uji kebocoran, dan arus yang digunakan sangat sesuai.



Gambar 4. 7 Proses *Repair* (Perbaikan)

3. Pada arus 300 : Terjadi kebocoran udara yaitu 2 titik
- Dan untuk proses perbaikan pada arus ini, cukup sama dengan perbaikan pada arus yang pertama, yaitu dengan dilakukan *gouging* karena cacat nya berupa *porosity* yang dalam serta *undercut*.



Gambar 4. 8 Proses Pemeriksaan ulang saat *air pressure test* bersama BKI

4.4. Pembahasan Ilmiah

Pemilihan parameter seperti arus merupakan faktor penentu utama dalam keberhasilan pengelasan *kort nozzle*. Berdasarkan temuan di lapangan, arus yang terlalu kecil dapat menyebabkan cacat struktural yang memicu kebocoran karena kurangnya energi panas untuk menyatukan material dan cairan las. Hal ini juga sejalan dengan teori dari (Widyawati dkk, 2021) yang menyatakan bahwa arus kecil berisiko menyebabkan peleburan cairan las yang tidak merata.

Di sisi lain, arus yang terlalu tinggi justru merusak struktur material induk. Menurut (Sunarti dkk, 2026) arus yang terlalu tinggi mengakibatkan laju dari pelelehan *wire electrode* meningkat tanpa terkendali, ini mengakibatkan bentuk *bead* tidak stabil dan akan membentuk *porosity*. Dan juga menurut teori (Sunaryo, 2008) menjelaskan panas berlebih akan membuat tegangan tarik yang kuat saat proses penyusutan terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melalui tahapan pengujian dan evaluasi terhadap variasi arus pada pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) di *kort nozzle* kapal Tugboat 28M, akurasi arus menjadi penentu utama kualitas kedekatan sambungan pada *kort nozzle*, di mana penggunaan arus 250 terbukti menghasilkan mutu terbaik dengan tingkat kedekatan sempurna pada tekanan 0,2 bar sehingga ditetapkan sebagai parameter *Acceptable* (ACC). Sebaliknya, arus 200 gagal karena energi panas tidak mencukupi untuk melelehkan material secara utuh, sementara arus 300 memicu panas berlebih yang merusak stabilitas struktur bagian dalam serta memakan material. Kedua parameter ekstrem tersebut menghasilkan kualitas yang tidak memadai (*reject*) karena menciptakan jalur udara yang menembus ketebalan plat, serta jenis indikasi cacat seperti *LOF*, *undercut*, *porosity*, dan juga *slag* yang secara teknis menyebabkan kegagalan total pada saat pengujian kebocoran dilakukan.

5.2. Saran

Berdasarkan serangkaian pengujian dan analisis teknis pada pengerjaan fabrikasi *kort nozzle*, beberapa rekomendasi atau saran strategis untuk penelitian maupun praktik lapangan di masa mendatang adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, di sarankan menggunakan metode NDT seperti UT dan RT guna mengetahui cacat las yang internal atau tidak kelihatan dari *surface*.
2. Kebersihan material juga harus di jaga agar kualitas las tidak terkontaminasi dari minyak, air, karat guna untuk mencegah munculnya rongga udara mikroskopis yang dapat menggagalkan uji kedekatan.
3. Sudut kemiringan elektroda harus dijaga secara konsisten untuk memastikan busur las mendorong cairan terak ke belakang kawah las. Sudut yang salah akan menyebabkan terak cair mendahului busur las, yang mengakibatkan *slag inclusion*.

4. Penggunaan sistem otomatis sangat dianjurkan untuk menjaga *travel speed* yang stabil agar cairan dapat merata.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing, & Materials. (2008). *Standard Specification for Structural Steel for Ships, ASTM A131. i*(ASTM A131), 1–8.
- American Welding Society (AWS) Committee on Definitions. (2020). *Standard Welding Terms and Definitions, AWS A3.0:2020*.
- Annette. (n.d.). *Welding Handbook* (2004th ed., Vol. 2).
- A. Achmadi, “18 macam cacat las dan penyebabnya serta cara mengatasi,” *Pengelasan.id*, Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://pengelasan.id/cacat-las/>
- A. Achmadi, “Sambungan las,” *Pengelasan.id*, Mar. 8, 2022. [Online]. Available: <https://pengelasan.id/sambungan-las/>
- ASME BPVC. V, 2023. (2023). *Section v 2023*.
- BBN Shipbuilding Steel, “*ABS Grade A Steel Properties*,” BBN Shipbuilding Steel, [Online]. Available: <https://shipbuilding-steel.com/News/abs-grade-a-steel-properties.html>. [Accessed: 22-Jan-2026].
- D1.1, A. W. S. (AWS). (2025). *Structural Welding Code. Struct Weld Code*.
- Desto Pradika Putra, Andi Trimulyono, E. S. H. (2015). Analisa Pengaruh Pemasangan Energy Saving Device (Esd) Propeller Boss Cap Fins (Pbcf) Dan Kort Nozzle Pada Propeller Type B-Series Dan Propeller Type Au Terhadap Gaya Dorong Propeller Dengan Metode Cfd. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(4), 405–417.
- Fajar, R., & Basuki, M. (2020). Perhitungan berat kapal kosong sebagai fungsi dari daya mesin utama. *Seminar Teknologi Kebumian Dan Kelautan (SEMITAN II)*, 2(1), 247–254.
- Fauzi Widyawati, Lino Marano, Fajar Nurcahyo. (2021). *Science and Technology IDENTIFIKASI CACAT LASAN FCAW PADA FONDASI MESIN KAPAL*. 5(2), 53–58.
- F. Sihalohe, P. Manik, dan A. W. B. Santosa, “Analisa nilai thrust ducted propeller dengan variasi diameter, panjang, dan tipe kort nozzle menggunakan metode CFD,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 345–350, Jun. 2020.
- Hery Sunaryo. 2008 (n.d.) *Teknik Pengelasan Kapal*.
- Handbook, M. W. (n.d.). *Welding and Related Processes for Repair and Maintenance Onboard 14th*.

- Klasifikasi, P. (2022). *PERATURAN KLASIFIKASI DAN SURVEI Edisi Konsolidasi 2022 Biro Klasifikasi Indonesia PERATURAN KLASIFIKASI DAN SURVEI Edisi Konsolidasi 2022 Biro Klasifikasi Indonesia. I.*
- Nurfani, M. Y. (2025). *Evaluasi Proses Pengelasan dan Pengujian Ketahanan Korosi pada Konstruksi Kapal. 1*, 1–13.
- Purwanto. (2024). *Jurnal Saintek Maritim, Volume 24 Nomor 2, Maret, 2024. 24*, 225–234.
- P. Germanese, “Welding positions and joint types: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, and 6G,” *Red-D-Arc Blog*, Oct. 2, 2023. [Online]. Available: <https://blog.red-d-arc.com/welding-positions-joint-types/>
- Rakhmadi, W., Trimulyono, A., Iqbal, M., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2016). *Analisa perbandingan tipe kort nozzle terhadap gaya dorong propeller dengan metode cfd 1*). 4(1), 199–208.
- Rizal, F. M., & Djafar, W. (2018). Tantangan Dalam Implementasi Model Integrasi Industri Perkapalan Di Indonesia. *Jurnal Teknik Industri*, 19(1), 28–37. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol19.no1.28-37>
- Ryadin, A. U., & Wisno Ohara, A. R. H. (2020). Analisa Kualitas Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW) Pada Pabrikasi Tugboat 23 M, Hull 302. *Sigma Teknika*, 3(1), 39–49. <https://doi.org/10.33373/sigma.v3i1.2483>
- Sunarti, S. Ramadhani, S.D. Galih, Y., Efendi, A. (2026). *Jurnal Impresi Indonesia (JII) Analisis Hasil Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW) pada Komponen Leaning Rod Unit G5816 Dengan Metode Pengujian Non Destructive Test di PT . Antareja Mahada Makmur. 5(2)*, 602–609.
- Syukron. M., Baskoro. W. B. (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. *Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 01.(02), 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.31315/jmept.v1i2.5042>
- Smith. Air Test, A. I. R. P. (2014). *Belajar mengenai kapal.*
- Syaifullah, M., Jalil, J., & Rachman, T. (2023). Evaluasi Pengujian Hasil Welding Pelat dengan Metode Chalk Test dan Air Pressure Testd. *Riset Sains Dan*

Teknologi Kelautan, 6(1), 9–12.
<https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.23946>

Yuniarto, M. I. R., Pratikno, H., Chamelia, M., & Karbon, A. B. (2019). *Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BKI Grade A Terhadap Sifat Mekanik*. 8(2).

LAMPIRAN

Lampiran A Hasil. Cek Plagiarisme / Similiaritas

TEMPLATE RESMI POLTEK LAPORAN TUGAS AKHIR RAAL WP.docx			
ORIGINALITY REPORT			
12%	11%	4%	5%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	s1math.fmipa.ugm.ac.id Internet Source	1%	
2	repository.unimar-amni.ac.id Internet Source	1%	
3	journal.unhas.ac.id Internet Source	<1%	
4	123dok.com Internet Source	<1%	
5	repository.its.ac.id Internet Source	<1%	
6	repository.pnj.ac.id Internet Source	<1%	
7	repository.ub.ac.id Internet Source	<1%	
8	repository.upstegal.ac.id Internet Source	<1%	
9	Submitted to Universitas Indonesia Student Paper	<1%	
10	dspace.uui.ac.id Internet Source	<1%	
11	eprints.polsri.ac.id Internet Source	<1%	
12	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1%	
13	repository.pip-semarang.ac.id Internet Source	<1%	

Lampiran B. Ketentuan metode *air pressure test* berdasarkan rules BKI

Bag	1	Kapal Samudra	
Vol	I	Peraturan Klasifikasi dan Survei	
Lampiran A		Lampiran Bab 1-3	A.6

Semua permukaan luar dari ruangan yang diuji harus diperiksa untuk distorsi struktural, tonjolan dan tekuk, kerusakan dan kebocoran terkait lainnya.

3.4.2 Uji hidropneumatik

Uji hidropneumatik, jika disetujui, harus sedemikian rupa sehingga kondisi pengujian, dalam hubungannya dengan level cairan yang disetujui dan tekanan udara tambahan, akan mensimulasikan pembebanan aktual sejauh dapat dipraktikkan.

Persyaratan dan rekomendasi untuk uji udara tangki pada 3.4.4 juga akan berlaku untuk uji hidropneumatik. Lihat juga 3.7.

Semua permukaan luar dari ruangan yang diuji harus diperiksa untuk distorsi struktural, tonjolan dan tekuk, kerusakan dan kebocoran terkait lainnya.

3.4.3 Uji semprot

Uji semprot harus dilakukan dengan tekanan di dalam nosel selang yang dijaga setidaknya pada 2×10^5 Pa selama pengujian. Nosel harus memiliki minimum diameter dalam 12 mm dan berada pada jarak tegak lurus dari sambungan tidak melebihi 1,5 m. Semprotan air akan mengenai langsung pada lasan. Jika uji semprot tidak praktis karena kemungkinan kerusakan pada mesin, insulasi peralatan listrik atau perlengkapan, hal itu dapat diganti dengan pemeriksaan visual yang teliti terhadap sambungan las, jika perlu didukung dengan cara seperti uji penetran pewarna atau uji kebocoran ultrasonik atau setara.

3.4.4 Uji udara tangki

Semua batas las, sambungan konstruksi (*erection joints*) dan penetrasi, termasuk sambungan pipa, harus diperiksa sesuai dengan prosedur yang disetujui dan di bawah perbedaan tekanan stabil di atas tekanan atmosfer yang tidak kurang dari $0,15 \times 10^5$ Pa, dengan diterapkan larutan indikasi kebocoran seperti air sabun/deterjen atau produk yang sesuai.

Sebuah tabung-U dengan ketinggian yang cukup untuk menahan tinggi air yang sesuai dengan tekanan uji yang diperlukan harus diatur. Luas penampang silang tabung-U tidak boleh kurang dari pipa yang memasok udara ke tangki. Pengaturan yang melibatkan penggunaan dua pengukur tekanan terkalibrasi untuk memverifikasi tekanan uji yang diperlukan dapat diterima dengan mempertimbangkan ketentuan dalam FS.1 dan F7.4 dari IACS Recommendation 140, "Recommendation for Safe Precautions during Survey and Testing of Pressurized Systems".

Pemeriksaan ganda harus dilakukan terhadap las yang diuji. Yang pertama adalah segera setelah menerapkan solusi indikasi kebocoran; yang kedua adalah setelah kira-kira empat atau lima menit untuk mendeteksi kebocoran yang lebih kecil yang mungkin membutuhkan waktu untuk muncul.

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2022), *Peraturan Klasifikasi dan Survei Kapal*, Bagian I Vol.1, Lampiran B, Klausul 3.4.4, Halaman A-48.

Lampiran C. Ketentuan metode *air pressure test (bubble test)* berdasarkan ASME section V

MANDATORY APPENDIX I BUBBLE TEST — DIRECT PRESSURE TECHNIQUE

I-1010 SCOPE

The objective of the direct pressure technique of bubble leak testing is to locate leaks in a pressurized component by the application of a solution or by immersion in liquid that will form bubbles as leakage gas passes through it.

I-1020 GENERAL

I-1021 WRITTEN PROCEDURE REQUIREMENTS

I-1021.1 Requirements. The requirements of T-1021.1, Table I-1021, and the following as specified in this Article or referencing Code shall apply.

- (a) soak time
- (b) pressure gage
- (c) test pressure
- (d) acceptance criteria

I-1021.2 Procedure Qualification. The requirements of T-1021.3 and Table I-1021 shall apply.

I-1030 EQUIPMENT

I-1031 GASES

Unless otherwise specified, the test gas will normally be air; however, inert gases may be used.

NOTE: When inert gas is used, safety aspects of oxygen deficient atmosphere should be considered.

I-1032 BUBBLE SOLUTION

(a) The bubble forming solution shall produce a film that does not break away from the area to be tested, and the bubbles formed shall not break rapidly due to air drying or low surface tension. Household soap or detergents are not permitted as substitutes for bubble testing solutions.

(b) The bubble forming solution shall be compatible with the temperature of the test conditions.

I-1033 IMMERSION BATH

(a) Water or another compatible solution shall be used for the bath.

(b) The immersion solution shall be compatible with the temperature of the test conditions.

I-1070 TEST

I-1071 SOAK TIME

Prior to examination the test pressure shall be held for a minimum of 15 min.

Sumber: ASME BPVC Section V (2023), Mandatory Appendix I – Bubble Test: Direct Pressure Technique, hlm. 300.

