

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengelasan

Magoolo (2020:48–55) mendefinisikan pengelasan sebagai prosedur yang menerapkan panas, tekanan kuat, atau keduanya pada dasar sambungan atau ujung benda yang akan disambung untuk menggabungkan dua komponen logam secara permanen. Busur listrik, api, pembakaran, atau tekanan semuanya dapat menghasilkan panas ini. Meskipun demikian, busur listrik merupakan sumber panas yang sering terjadi, yang ketika dingin, dapat melelehkan ujung logam untuk menciptakan campuran yang sempurna. [1].

Selanjutnya, ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan logam yang dilakukan dalam kondisi cair ialah apa yang DIN (*Deutsche Industrie Norman*) definisikan sebagai pengelasan. Pengelasan secara umum dipahami sebagai proses penyambungan beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. [2]



Gambar 1. Pengelasan
Sumber : Dokumentasi milik pribadi

Pada konstruksi kapal dan kendaraan alat berat baja A36 disambung dengan metode las listrik. Las listrik dipilih karena memiliki input panas tinggi dan kualitas las yang baik dengan adanya sistem perlindungan dan pengaturan polaritas. Sistem pelindung diperoleh melalui aliran gas atau lelehan *flux* yang menjaga logam lasl dari kontaminasi udara bebas selama proses pengelasan. Kemampuan dalam mengatur polaritas berdampak terhadap sebaran panas pada busur lisrik, menyebabkan perubahan bentuk *weld metal* [3].

Tergantung pada jenis proses pengelasan yang dikuasai seorang tukang las, posisi pengelasan yang dapat mereka lakukan menjadi tolok ukur kompetensi mereka. Memiliki bakat dalam teknik pengelasan sangat penting untuk menjadi tukang las profesional.

Kali ini, kita akan menggunakan posisi pengelasan standar ISO (*The International Organization for Standadization*) dan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) untuk memeriksa sambungan dan posisi pengelasan..

Berikut 4 pengelompokkan pada posisi pengelasan :

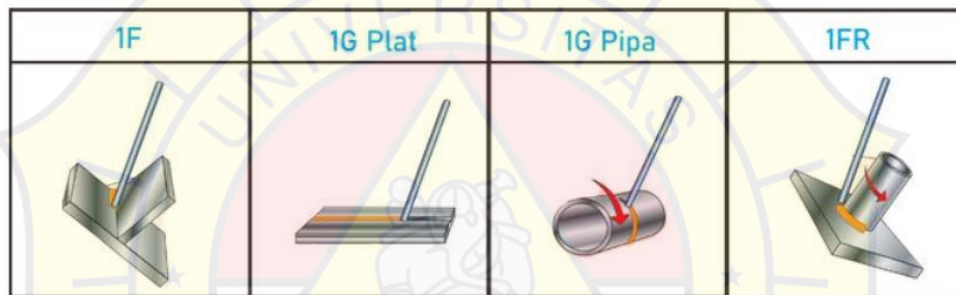
1. Posisi *Downhand*
2. Posisi *Horizontal*
3. Posisi *Vertical*
4. Posisi *Overhead*

Pengelasan posisi *Down Hand*

Sementara pengelasan *downhand* disebut sebagai posisi 1 dalam standar ASME, ia dikenal sebagai PA dalam standar ISO..

Dalam industri pengelasan, posisi underhand sering digunakan, terutama pada bangunan, jembatan, dan proyek konstruksi baja. Selain itu, posisi ini memungkinkan pengelasan pelat tebal hingga tipis. Posisi pengelasan tetap sama meskipun diameter elektroda berubah..

Agar tukang las dapat melihat cairan dan mempertahankan kecepatan pengelasan selama pengelasan posisi 1, sudut elektroda harus dijaga antara 80 dan 70 derajat dari vertikal. Gambar posisi pengelasan underhand dapat dilihat di bawah ini. :



Gambar 2. Posisi Pengelasan posisi 1

Sumber : Hari Nugroho, Bambang. 4 Posisi Pengelasan Sesuai dengan Standart.
Diakses pada 21 Juli 2025 <https://www.expertlas.com/posisi-pengelasan/>

1. Posisi 1F/PA

Dengan elektroda atau kawat las mengarah ke bawah, las sambungan *fillet* antara pelat.

2. Posisi 1G Plat/PA

Pengelasan sambungan tumpul pelat dengan elektroda atau busur mengarah ke bawah dikenal sebagai pengelasan pelat 1G. Akar harus dibuat terlebih dahulu, diikuti oleh lapisan pengisi dan lapisan penutup, agar dapat dilas pada posisi 1G.

3. Posisi 1G Pipa/PA

Saat proses pengelasan berlanjut, pipa diputar untuk menjaga arah elektroda tetap menghadap ke bawah. Posisi pipa 1G merupakan sambungan las atau sambungan pipa dengan pipa, dengan gerakan dan arah busur listrik menghadap ke bawah.

Material pipa yang akan disambung berputar sementara mesin las tetap di tempatnya untuk posisi datar 1G ini. Hal ini berlaku untuk semua proses pengelasan, termasuk OAW, SMAW, GMAW, dan GTAW.

4. Posisi 1FR/PA

Kawat elektroda harus mengarah ke bawah saat mengelas pipa dan pelat. Benda kerja diputar selama proses pengelasan agar elektroda tetap menghadap ke bawah.

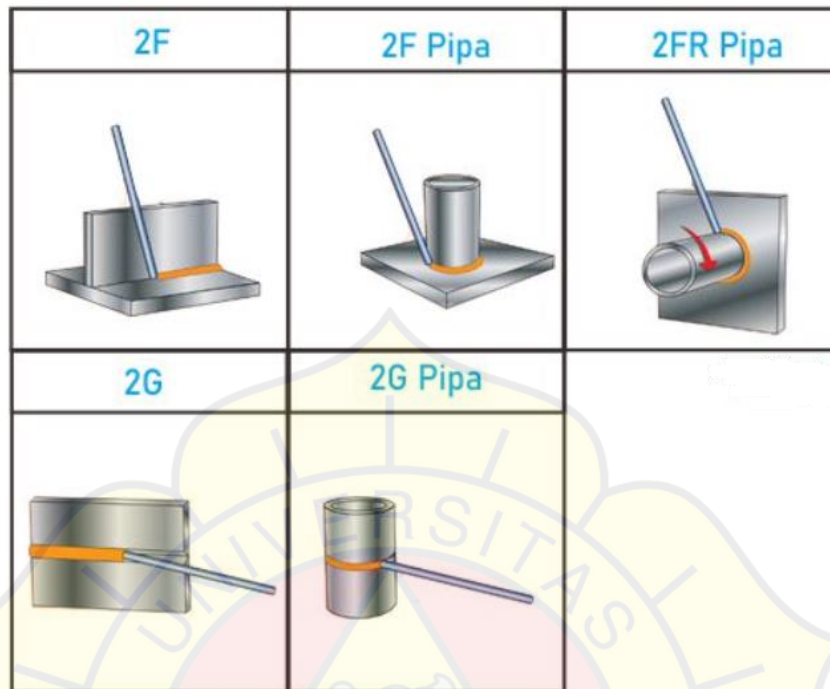
Posisi Pengelasan Mendatar/ *Horizontal*

Pengelasan horizontal ditandai dengan kode nomor 2 dalam kode standar ASME. Sementara itu, standar ISO membedakan dua jenis penulisan: PC untuk sambungan tumpul dan PB untuk sambungan fillet.

Pengaturan parameter yang cermat harus diperhatikan saat menggunakan mesin las busur untuk membuat sambungan las horizontal. Cairan akan meleleh dalam busur yang terlalu panas dan jatuh karena gravitasi.

Jenis ayunan, juga dikenal sebagai "weaving" dalam pengelasan, penting untuk dipertimbangkan dalam semua jenis pengelasan, tidak hanya pada pengelasan SMAW. Hal ini membantu mengendalikan cairan yang meleleh agar tidak meluncur turun karena gravitasi.

Berikut gambar pengelasan posisi horizontal.



Gambar 3. Posisi Pengelasan posisi 2

Sumber : Hari Nugroho, Bambang. 4 Posisi Pengelasan Sesuai dengan Standart.
Diakses pada 21 Juli 2025 <https://www.expertlas.com/posisi-pengelasan/>

1. posisi 2F/PB

Pengelasan sambungan fillet pelat ke pelat dilakukan dengan elektroda mengarah ke depan atau horizontal dan bergerak ke kiri atau kanan.

2. Posisi 2F Pipa/PB

Dengan elektroda las mengarah ke depan atau horizontal, las sambungan pipa-pelat.

3. Posisi 2FR Pipa/PB

Benda kerja diposisikan seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas, mengelas sambungan pelat dengan pipa dan mengarahkan elektroda secara horizontal ke depan. Benda kerja berputar selama proses pengelasan hingga seluruh jalur las tertutup.

4. Posisi 2G Plat/PC

Pembentukan akar, pengisian, dan penyegelan merupakan langkah awal dalam proses pengelasan. Khususnya, proses pengembangan akar pada pengelasan SMAW memerlukan penggunaan kawat elektroda yang dirancang khusus untuk pembentukan akar.

5. Posisi 2G Pipa/PC

Pengelasan sambungan tumpul merupakan teknik penyambungan pipa-ke-pipa horizontal di mana tukang las mengikuti lintasan las alih-alih memutar pipa.

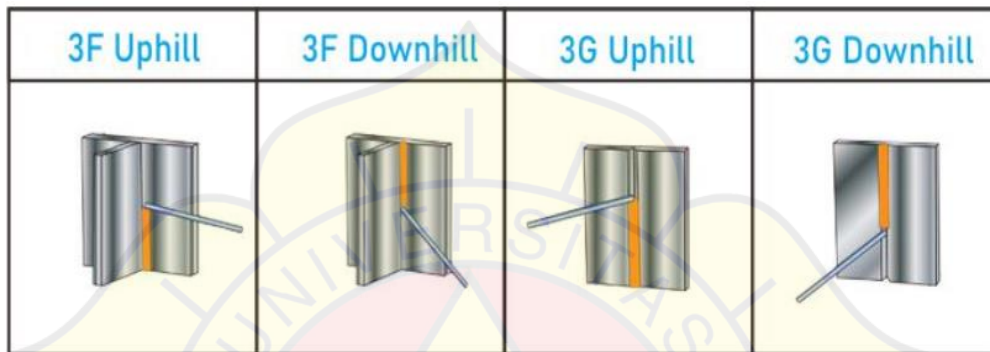
Posisi Pengelasan Vertikal

Kode 3 mengacu pada pengelasan posisi vertikal sesuai standar ASME. Ini mencakup semua sambungan las, termasuk sambungan butt, fillet, dan sudut..

Standar ini sedikit berbeda dari standar ISO, terutama pada arah pengelasan. Arah pengelasan disebut PF jika pengelasan berjalan dari bawah ke atas. Pengelasan dari atas ke bawah disebut PG.

Mengelola logam cair dari busur listrik adalah salah satu cara untuk memastikan pengelasan vertikal Anda memenuhi peraturan. Untuk mencegah cairan jatuh ke bawah akibat gravitasi, jenis ayunan yang tepat harus digunakan.

Berikut gambar posisi pengelasan vertikal:



Gambar 4. Posisi pengelasan posisi 3

Sumber: Hari Nugroho, Bambang. 4 Posisi Pengelasan Sesuai dengan Standart.
Diakses pada 21 Juli 2025 <https://www.expertlas.com/posisi-pengelasan/>

1. Posisi 3F Uphill/PF

Elektroda bergerak maju dan jalur pengelasan berjalan dari bawah ke atas saat menyambung pelat pada posisi 3F Uphill/PF.

2. Posisi 3F Downhill/PG

Sebaliknya, 3F Downhill adalah posisi untuk proses pengelasan pelat ke pelat, di mana jalur pengelasan berjalan dari atas ke bawah dan elektroda menghadap ke depan.

3. Posisi 3G Uphill/PF

Dengan elektroda mengarah ke depan dan jalur pengelasan berjalan dari bawah ke atas, ini adalah jenis sambungan butt, teknik pengelasan yang menyambung pelat dengan pelat.

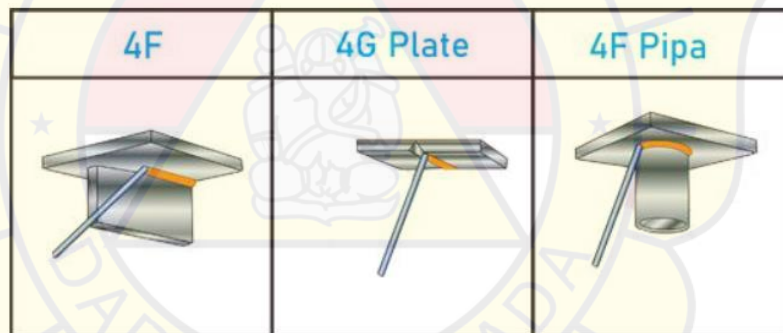
4. Posisi 3G *Downhill*/PG

Dengan elektroda mengarah ke depan dan lintasan pengelasan berjalan dari atas ke bawah, ini adalah jenis sambungan butt yang menggabungkan pelat menjadi satu.

Posisi Pengelasan di atas kepala / *Overhead*

Menurut standar kode ASME, pengelasan atas disebut pengelasan posisi 4. Menurut standar ISO, penggunaan las fillet 4F disebut posisi PD. Posisi PE mengacu pada penggunaan sambungan butt 4G.

Berikut gambar posisi pengelasan overhead :



Gambar 5. Posisi Pengelasan posisi 4

Sumber: Hari Nugroho, Bambang. 4 Posisi Pengelasan Sesuai dengan Standart.
Diakses pada 21 Juli 2025 <https://www.expertlas.com/posisi-pengelasan/>

1. Posisi 4F/PD

Dengan elektroda las atau busur listrik mengarah ke atas, posisi 4F adalah jenis sambungan *fillet* antara dua pelat.

2. Posisi 4F Pipa/PD

Dengan elektroda las mengarah ke atas, pipa 4F adalah las *fillet* yang menyambungkan pelat ke pipa.

3. Posisi 4G Plate/PE

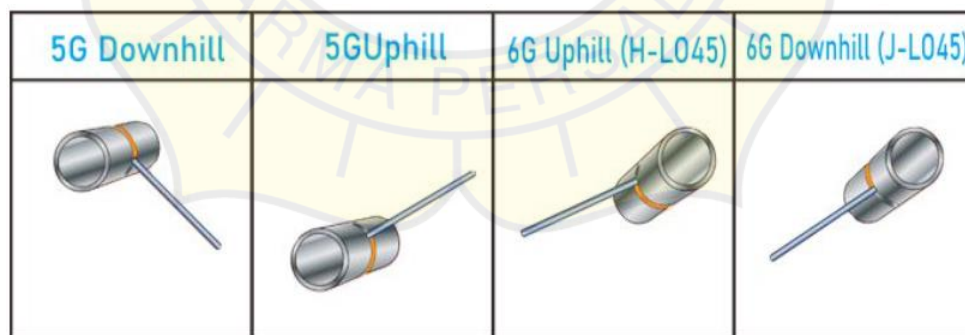
Tipe sambungan *butt* mencakup pelat 4G yang menyambung pelat dengan elektroda mengarah ke atas.

Pengelasan Pipa

Ini termasuk dalam posisi pengelasan vertikal untuk pengelasan pipa, tetapi pada kenyataannya, posisi pengelasan mencakup semua posisi.

Sementara standar ISO membagi nama menjadi empat kategori—PJ, PH, H-LO45, dan J-LO45, standar ASME membagi kode penamaan menjadi posisi 5G dan 6G.

Berikut gambar posisi pengelasan pada pipa.



Gambar 6. Posisi pengelasan 5G & 6G

Sumber: Hari Nugroho, Bambang. 4 Posisi Pengelasan Sesuai dengan Standart.

Diakses pada 21 Juli 2025 <https://www.expertlas.com/posisi-pengelasan/>

1. Posisi 5G *Downhill*/PJ

Pengelasan sambungan butt menciptakan sambungan garis lurus antar pipa. Jalur pengelasan dioperasikan dari atas untuk pengelasan menurun, yang berlangsung antara arah jam 12 dan 6.

2. Posisi 5G *Uphill*/PH

Tidak seperti menurun, posisi menanjak 5G dilas pada garis pengelasan, dan pekerjaan dilakukan dari bawah ke atas (dari arah jam 6 hingga jam 12).

3. Posisi 6G *Uphill*/H-LO45

Sambungan butt, yaitu sambungan pipa-ke-pipa yang diposisikan pada sudut 45 derajat, terdapat pada posisi 6G. Saat pengelasan menanjak, arahnya dari bawah ke atas.

4. Posisi 6G *Downhill*/J-LO45

Jalur pengelasan dilakukan dari atas ke bawah, yang mana posisi 6G *Uphill* berbeda.

Las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) merupakan jenis pengelasan las listrik. Las GMAW merupakan pengelasan yang dilakukan dengan perlindungan gas dari pengaruh udara luar, gas yang digunakan seperti argon, helium dan CO₂. Elektroda terumpan secara otomatis sehingga mampu digunakan pada pengelasan kampuh panjang dan *multi layer*, meskipun membutuhkan kemampuan operator las. Las FCAW merupakan pengelasan listrik dengan elektroda terumpan yang dilapisi oleh *flux*. Saat proses pengelasan *flux* yang ada pada elektroda akan melebur dan membentuk lapisan pelindung/terak pada logam las. *Flux* juga dapat membentuk paduan dengan bahan *base metal* sehingga mampu memperbaiki sifat mekanik logam las [4].

Gas pelindung pada GMAW hanya mampu melindungi daerah di sekitar *nozel*, daerah yang telah terlewati akan terkontaminasi udara bebas, sehingga dapat menyebabkan cacat seperti porositas atau lubang jarum (*pin hole*) [5].

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) melelehkan ujung elektroda dan sebagian bahan dasar, menggunakan panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara ujung elektroda dan logam yang akan dilas untuk membentuk hubungan magnetik antara atom-atom kedua bahan [6].

SMAW memiliki input panas tinggi untuk pengelasan celah kecil, material tipis dan traveling tinggi. Pada pengelasan GMAW dengan penetrasi dangkal dan lebar sesuai untuk pengelasan *multilayer* dan celah lebar [7].

Untuk mencapai kekuatan yang dibutuhkan, pengelasan melibatkan lebih dari sekadar memanaskan dua komponen hingga meleleh, pengelasan juga melibatkan penambahan material atau elektroda tambahan untuk menjaga agar komponen tetap utuh selama proses pemanasan. Proses pengelasan dan elektroda yang digunakan adalah dua dari banyak variabel yang memengaruhi kekuatan sambungan las. Efektivitas tugas dan material pengelasan dipengaruhi oleh jumlah arus yang digunakan saat menyambung logam dengan pengelasan busur [8].

Sejak listrik pertama kali digunakan sebagai sumber panas untuk pengelasan pada akhir abad ke-19, proses pengelasan telah berkembang. [9]. Pengelasan adalah teknik manufaktur sekunder yang digunakan untuk menyambung suatu struktur yang terdiri dari beberapa bagian dan produk tertentu [10]. Saat ini, pengelasan digunakan dalam berbagai industri, termasuk sektor perkeretaapian dan otomotif, pembuatan bejana tekan, konstruksi bangunan dan jembatan, pengiriman, serta jaringan pipa minyak dan gas. Saat ini, teknik pengelasan telah berkembang sangat pesat. Sasaran utama pengembangan proses pengelasan adalah untuk menemukan sumber panas yang efisien yaitu, sumber yang memiliki

masukan panas serendah mungkin dan kepadatan daya setinggi mungkin dan untuk melindungi logam las supaya tetap bersih dan mencegah reaksi dengan udara luar. Karena kepadatan daya yang lebih tinggi akan menghasilkan penetrasi pengelasan yang lebih besar, pengelasan yang lebih cepat, dan logam las berkualitas lebih tinggi dengan jumlah kerusakan paling sedikit pada hasil proses pengelasan. [11]. Tentu saja, peralatan yang lebih canggih dan mahal diperlukan untuk sumber panas dengan kepadatan daya yang lebih besar.

SMAW, umumnya disebut pengelasan busur listrik, adalah teknik pengelasan yang sering digunakan. Banyak akademisi di seluruh dunia telah melakukan penelitian untuk menentukan manfaat pengelasan SMAW dibandingkan teknik pengelasan alternatif, seperti GMAW [12].

Penelitian untuk proyek akhir oleh mahasiswa juga sering menggunakan pengelasan SMAW. Karena mereka biasanya melakukan proses pengelasan sendiri daripada menyewa tukang las ahli, mahasiswa sering menghadapi tantangan penerapan proses pengelasan yang konsisten. Mahasiswa merasa sulit untuk mempertahankan jarak busur las dan kecepatan pengelasan yang konstan. Alat yang dapat mempertahankan kestabilan jarak busur las dan kecepatan pengelasan harus dikembangkan untuk mengatasi hal ini.

Proses pengelasan busur listrik yang dikenal sebagai FCAW menggunakan fluks inti tengah dan pelindung inti tengah. Proses SMAW, GMAW, dan SAW semuanya digabungkan untuk menciptakan FCAW. Menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik, transformator, atau penyearah adalah sumber energi pengelasan. Dengan FCAW, pengisi kawat las secara mekanis terus-menerus dipasok ke dalam busur listrik yang terbentuk antara ujung pengisi kawat las dan logam induk. Baja karbon rendah, sering dikenal sebagai baja ringan, adalah jenis baja yang digunakan. Baja ini mudah dilas menggunakan teknik pengelasan apa pun. Berbagai jenis media memiliki kapasitas yang berbeda-beda

untuk mendinginkan spesimen. Media pendingin adalah bahan yang menentukan laju pendinginan bahan yang telah menjalani pengujian perlakuan panas [13].

Penggunaan gas pelindung telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir terutama dengan munculnya teknologi pengelasan yang lebih canggih. Seiring dengan perkembangan ini, ada banyak jenis gas pelindung yang telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan pengelasan yang beragam seperti pengelasan baja, aluminium, tembaga, dan berbagai logam lainnya. Akan tetapi dalam penggunaan pelindung gas dapat mempengaruhi penetrasi saat proses pengelasan berlangsung.

Penggunaan FCAW sering dijumpai pada industri perkapalan. FCAW atau biasa disebut las busur CO₂ sebenarnya termasuk pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG), hanya saja gas pelindungnya bukan hanya gas mulia seperti Argon (Ar) melainkan juga gas CO₂ atau bisa saja campuran dari kedua gas tersebut. Proses pengelasan FCAW sering digunakan karena gas pelindung yang digunakan adalah CO₂ sehingga cocok untuk digunakan pada pengelasan konstruksi baja, CO₂ terurai menjadi CO dan O₂ ketika kontak dengan temperatur tinggi, akibat dari kecepatan pembekuan yang tinggi gas CO yang dihasilkan tersebut terperangkap dalam logam yang kemudian membentuk rongga-rongga. Upaya yang dilakukan untuk mencegah hal tersebut dengan pemberian campuran Si (silikon) dan Mn (mangan) pada elektroda sehingga tidak ada gas yang terkurung dan tidak terjadi reaksi.

Perusahaan biasanya menggunakan gas pelindung CO₂ dalam proses pengelasan FCAW. Hal ini dikarenakan gas pelindung CO₂ berfungsi melindungi logam las dari kontaminan di udara sekitar. Terak dan gas pelindungnya menghentikan proses oksidasi saat logam las masih cair, tetapi tidak dapat menghentikan logam las cair dari menyerap oksigen, sehingga digunakan gas pelindung campuran Ar dan CO₂ yang juga dikenal sebagai pencampuran. Dengan

memindahkan partikel logam cair lebih sering dan mengurangi hubungan pendek antara partikel cair dan logam cair, gas pencampur ini mengurangi jumlah percikan yang dihasilkan dan mempermudah pengendalian busur. Jenis gas pelindung yang digunakan menentukan seberapa banyak oksigen yang diserap. Jika merupakan gas pencampur dengan sedikit oksigen, maka lebih banyak gas pelindung CO₂ yang akan diserap oleh oksigen. [14].

Pendinginan yang terlalu cepat tanpa adanya *post heat* dapat menyebabkan retak di sekitar daerah lasan disebabkan tegangan yang muncul dari proses pendinginan [15].

Pada pengelasan FCAW elektroda dilapisi fluks dengan diameter ($\varnothing 1.2$ mm) yang mampu menghasilkan lapisan pelindung [16]. Diameter elektroda yang lebih tebal mampu mempersingkat waktu proses pengisian tiap layer, berdampak terhadap lebar HAZ (*Heat Affected Zone*) yang minimum [17].

Pengelasan GMAW diameter elektroda kecil, waktu pengelasan panjang dan kecepatan pendinginan tinggi, sedangkan pada pengelasan FCAW diameter besar, waktu pengelasan cepat dan pendinginan lambat. Pengelasan kombinasi menurunkan kecepatan pendinginan las GMAW sehingga memperbaiki struktur mikro logam las [18], memberikan unsur paduan yang berasal dari *flux* sehingga mampu meningkatkan keuletan bahan [19].

Arus, tegangan DC, masukan panas, dan kecepatan tempuh merupakan faktor utama yang memengaruhi kinerja mesin las. Dimulai dengan kedalaman penetrasi atau peleburan logam las dengan benda kerja, arus dan voltase merupakan dua parameter utama yang memengaruhi hasil pengelasan. Perlu dicatat bahwa semakin dalam penetrasi, semakin tinggi arus yang digunakan, dan semakin dangkal penetrasi, semakin rendah arus. Jarak antara elektroda dan benda kerja selama proses pengelasan, atau panjang busur las, berkorelasi langsung dengan

voltase busur. Hal ini bergantung pada catu daya dan dapat diubah secara independen oleh arus untuk teknik pengelasan termasuk GMAW, SAW, dan FCAW. Kedalaman dan lebar las dapat dipengaruhi oleh perubahan voltase. [20].

Hasilnya juga dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan, yang harus disesuaikan berdasarkan arus yang digunakan. Untuk mencapai profil pengelasan, penetrasi, dan sambungan las yang memuaskan dan memenuhi standar, arus dan kecepatan harus disesuaikan. Karena arus yang besar akan menyebabkan elektroda meleleh lebih cepat, kecepatan pengelasan juga meningkat seiring dengan peningkatan arus pengelasan. Untuk mencegah lebar las yang berlebihan, kecepatan juga ditingkatkan. [21].

Jumlah energi panas yang ditransfer per satuan panjang selama proses pengelasan dikenal sebagai masukan panas. Energi panas dihasilkan oleh parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kontak elektroda dengan logam induk, dan kecepatan pengelasan. Karena dapat memengaruhi laju pendinginan, masukan panas merupakan pertimbangan penting dalam pengelasan. Struktur metalurgi HAZ dan daerah logam las, serta karakteristik mekanis sambungan, akan dipengaruhi oleh laju pendinginan. [22].

2.2. Gambaran Proses Quality Control di PT. XYZ

Gambaran proses *quality control* di PT. XYZ berdasarkan pengamatan di lapangan dengan pihak *Owner*, *Class*, dan *Subcontractor* di PT. XYZ terkait dengan parameter kualitas hasil Pengelasan pada pekerjaan *replating* dan kepuasan dari pihak owner yang berfokus pada program dan prosedur akan ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 1. Program *Quality Control* di PT. XYZ

Jenis Program	Tujuan Pencapaian	Fungsi
Pemantauan	Memantau seluruh perkembangan produk, material atau pekerjaan.	Perkembangan yang sesuai

Kualitas	Menjaga mutu dan kuantitas produk, material atau pekerjaan.	Mutu terjaga kualitasnya
Jadwal / Waktu Pelaksanaan	Waktu harus selalu tepat waktu agar sesuai dengan <i>schedule</i> pelaksanaan	Pelaksanaan tepat waktu
Dokumentasi	Dokumentasi seluruh pekerjaan sebagai bukti berjalanya suatu proyek	Bukti otentik
Laporan	Melaporkan seluruh kegiatan dalam satu bukti dan melampirkan dokumentasi	Mudah dipelajari
Analisa	Menganalisa seluruh hasil pekerjaan agar dapat menghasilkan pekerjaan yang lebih tepat dan sesuai	Produk yang lebih baik

Berikut ini merupakan gambaran prosedur *quality control* di PT. XYZ untuk menjaga kualitas dan kepuasan *owner*:

A. Persiapan Dokumen dan Perencanaan QC

Pembuatan *quality plan* adalah penyusunan rencana mutu proyek (*Project Quality Plan*) yang memuat standar menggunakan IACS, ISO dan rules pendukung lainnya, metode inspeksi atau ITP (*Inspection Test Plan*), *welding schedule*, WPS (*Welding Procedure Spesification*), frekuensi pemeriksaan, dan tanggung jawab.

No.	BAGIAN YANG DIPERIKSA Items of Inspection	JENIS PEMERIKSAAN Kind of Inspection	DIPERIKSA OLEH (Controlled by)						Reference Document and Or Acceptance Criteria	Verified Document	KETERANGAN Remark	
			BENGKEL(In Shop)			DIKAPAL(On Board)						
			QC	OS	Class	QC	OS	Class	KSOP			
III. ITEM INSPECTION FOR HULL CONSTRUCTION / BEFORE LAUNCHING												
1	Fabrication & Sub Assembly	Identification Material	A	R	R.W	-	-	-	-	Rules RINA Class,SMI Quality Standard (1.7.3 & 1.7.4), Drawing Approved by Class	Insp. Report	
		Marking & Cutting Check	A	CR	R	-	-	-	-			
		Fit-up	A	CR	P.W	-	-	-	-			
		Scantling	A	CR	P.W	-	-	-	-			
		Visual Welding & Grinding Check	A	CR	W	-	-	-	-			
2	Assembly Panel	Fit Up	-	-	P.W	A	W	W.P	-	Rules RINA Class, IACS No. 47 Table 6.6, SMI Quality Standard (1.7.3 & 1.7.4), Drawing Approved by Class	Insp. Report	
		Scantling	-	-	W	A	W	W	-			
		Visual Welding & Grinding Check	-	-	P.W	A	CR	W.P	-			
		Deformation	-	-	W	A	CR	W.P	-			
3	Erection Panel / Erection Block	Fit Up	-	-	P.W	A	A	W.P	-	Rules RINA Class, IACS No. 47 Table 6.6,SMI Quality Standard (1.7.3 & 1.7.4), Drawing Approved by Class	Insp. Report	
		Scantling	-	-	W	A	A	W	-			
		Visual Welding & Grinding Check	-	-	P.W	A	A	W.P	-			
		Deformation Check,	-	-	W	A	A	W	-			
		Radiography Test	-	-	R.W	A	A	R.W	-		NDT. Report	
4	Internal Tank	Visual Welding Check	-	-	W.P	A	C	W.P	-	Rules RINA Class, IACS No. 47 Table 6.6,SMI Quality Standard (1.7.3 & 1.7.4), Drawing Approved by Class (Section 12 testing for tightness)		
		Deformation Check,	-	-	W	A	C	W	-			
		Cleaning & Grinding Check	-	-	P.W	-	-	P	-			
		Coating Assessment	-	-	-	A	CR	W	-			
5	Tank Testing	Air Test& Hydrostatic test for tank testing	-	-	W	A	W	W	-			
6	Main Dimension	Measurement Check	-	-	W	A	W	W	W	Drawing General Arrangement SMI Quality Standard (1.5)	Insp. Report	
7	Keel Deflection	Measurement Check	-	-	W	A	W	W	-	IACS No. 47 Table 6.8	Insp. Report	
8	Plimsoll Mark	Measurement	-	-	W	A	W	W	W	IPLT Approved by Class	Insp. Report	
9	Draft Mark	Measurement	-	-	W	A	W	W	W	Drawing by engineering SMI Quality Standard (1.5)	Insp. Report	
10	Final Eksternal	Bottom & Under water Inspection	-	-	W	A	W	W	-	SMI Quality Standard	Insp. Report	
		Zink Anode Fit-up & Welding Check	-	-	W	-	-	W	-			
A = To be Inspection W = Witness CR = Random Check R = Review P = Patrol												

Gambar 7. Contoh dokumen ITP (*Inspection Test Plan*)

Sumber : Dokumentasi milik pribadi

B. Pemeriksaan Material dan Komponen (*Material Identification*)

Pemeriksaan sertifikat material merupakan proses memverifikasi sertifikat material mulai dari plat, pipa, angle bar, H-beam dan lain-lain yang sudah didatangkan oleh vendor atau *supplier*. Uji Material meliputi uji tarik, uji impak, dan komposisi kimia jika diperlukan.

C. *Fit Up Inspection* dan *Scantling Check Dimension*

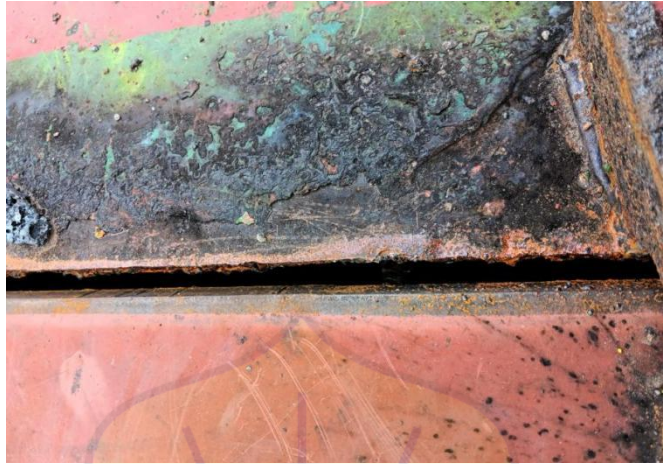
Pengecekan *Fit Up Inspection* adalah pengecekan material yang sudah di pasang atau disetel pada area *replating* kapal atau pada panel panel yang akan dirakit menjadi blok untuk membuat sebuah kapal. Pengecekan ini bertujuan untuk memastikan penyetulan plat sudah sesuai dengan kriteria standar dan regulasi yang sudah ditetapkan.



Gambar 8. *Fit Up Check round* pada *Replating*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 9. *Fit Up Check* pada *Replating Main Deck*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 10. Fit Up Check pada Bevel
Sumber : Dokumentasi milik pribadi

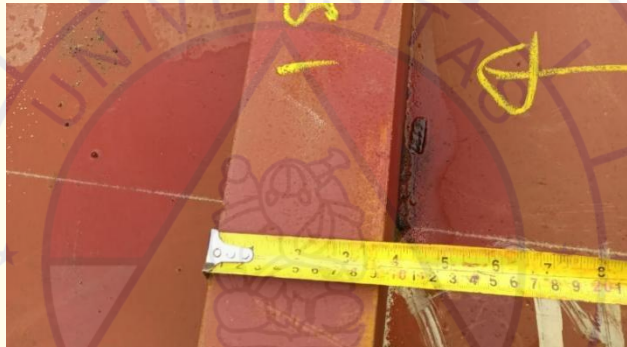
Scantling Check Dimension merupakan sebuah pengecekan dimensi pada material yang digunakan apakah sudah sesuai dengan *drawing* yang sudah di *approved* oleh *class* dan *owner*. Jika dari kedua pengecekan diatas masih ada yang belum sesuai dengan standar dan regulasi maka diperlukan untuk di setel ulang atau dibongkar



Gambar 11. *Scantling Check* tinggi web
Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 12. *Scantling Check* Jarak antar *angle bar*
Sumber : Dokumentasi milik pribadi



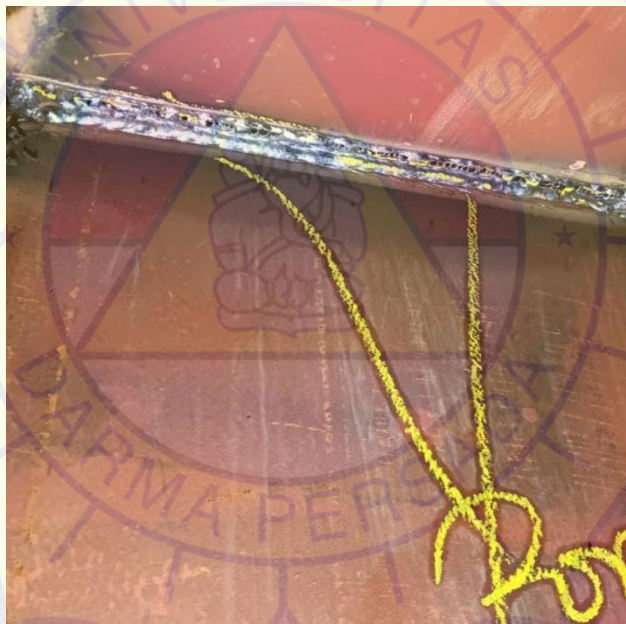
Gambar 13. *Scantling Check* Lebar *Angle*
Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 14. *Scantling check* pada panel
Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 16. *Miss Weld* pada *Web to angle bar*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 17. *Porosity* pada *joint main deck to long bulkhead*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 18. *Build up* pada material *long bulkhead*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 19. *Poor welding* pada *joint sideshell to chine*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi



Gambar 20. *Undercut* pada *joint sideshell to chine*
 Sumber : Dokumentasi milik pribadi

E. Final Test

Final Test berupa pengetesan kededapan hasil las - lasan dan pengujian NDT sesuai dengan ITP dan *request owner* yang sudah disepakati di awal.

F. Dokumentasi dan Laporan

Dari awal setiap prosedur QC harus ada berupa dokumentasi agar mempermudah dalam membuat laporan atau report yang akan dijadikan *statistic control* nantinya.

<u>VACUUM TEST REPORT</u>				SM-QA-QC/F/SR03-2 Rev D/1 Oct 2020	
PROJECT NAME : _____		REPORT NO. : 01			
PROJECT No. : _____		DATE : _____			
CLIENT : _____					
CLASS : _____					
INSTRUMENT DATA					
Instrument	Manufacturer / Merk	Cert. Number	Range	Calibration Date	
Vacuum Gauge	Schuh Technology	S. 2308-0215	0 ~ 75 mmHg / 0.0 mmHg	23 Agustus 2023	
ACTUAL TEST RESULT					
DESCRIPTION				TEST RESULT	
Telah dilaksanakan Vacuum Test area:					
Access Rudder Blade S				OK	
Access Bottom				OK	
Bulbous Bow				OK	
Main Deck				OK	
					
PT. SAMUDRA MARINE INDONESIA				CLIENT/OWNER REPRESENTATIVE	
QC IN SPECTOR		PROJECT SPTD			
SIGNATURE					
NAME		PANDJI PRANGGONO			
DATE					

Gambar 21. Contoh dokumen *Vacuum Test Report*
Sumber : Dokumentasi milik pribadi

G. Spesifikasi-spesifikasi yang dibutuhkan untuk pengujian kekedapan las-lasan

BASE METAL
Material Spec : A
Type or Group : Group I
Thickness : Groove 3mm to 36 mm Fillet : -
Diameter (pipe) : Fillet : -

FILLER METALS
Spec. No : AWS A5.20 E71T-1C
F + No. : 6
Diameter : 1.2 mm

SHIELDING
Flux : CR2 Shielded
Electrode - Flux (Class) : E71T-1C
Gas : CR2
Composition : 100%
Flow rate : 35 - 25 L/MIN
Gas cup size : 15MMH/J

PREHEAT
Preheat Temp. Min : Ambient Temperature
Interpass Temp. MAX : 150°C

WELDING PROCEDURE CURRENT
Current : AC ☐ DCEN ☐ DCRP ☒
Onka : -

TECHNIQUE
Stringer or Weave Bead : stringer and/ weave bead-
max 3.0 x Cor OD
Multi Pass or Single : Multi pass

Number of Electrode : 1
Electrode spacing : Longitudinal _____
Lateral _____
Angle _____

CONTACT TUBE TO WELD DISTANCE : 5 - 10 mm
Penning : N/A
Interpass Cleaning : Wire Brushing/Grinding/Chipping

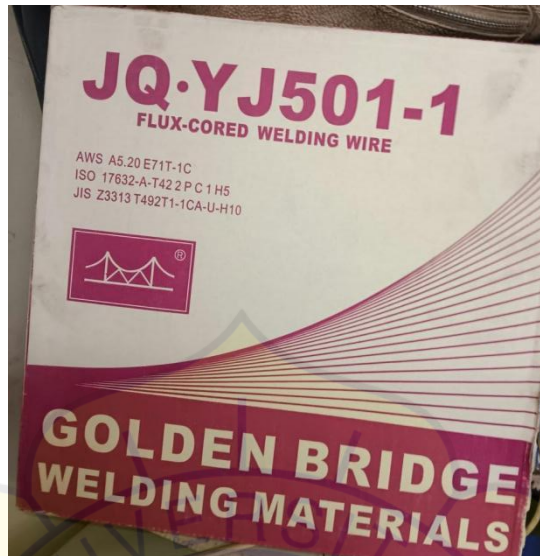
POST WELD HEAT TREATMENT
Temp : N/A
Time : -

Pass No.	Process	FILLER METAL		Type	Amp. Range	Volts	Travel speed mm/min
		Class	Diameter				
Root Pass	FCAW	E 71T-1C	1.2 mm	DC/NP	100 - 170	23	120
Hot Pass	FCAW	E 71T-1C	1.2 mm	DC/NP	100 - 170	21	120
Fill	FCAW	E 71T-1C	1.2 mm	DC/NP	100 - 170	20	90
Cover Pass	FCAW	E 71T-1C	1.2 mm	DC/NP	100 - 170	21	120
Cover Pass	FCAW	E 71T-1C	1.2 mm	DC/NP	100 - 170	20	90

Diagram: A schematic diagram of a shielded metal arc welding torch setup. It shows a torch with a 45° angle, a 1.2 mm electrode, and a 6 mm contact tube. The torch is positioned to weld a groove in a metal plate.

Sumber : Dokumentasi milik pribadi

31



Gambar 25. Kawat las yang digunakan
Sumber : Dokumentasi milik pribadi

2.3. NDT (*Non Destructive Test*)

Cacat pada material sering ditemukan selama proses pengelasan dalam sistem produksi. Cacat ini tidak terjadi secara acak melainkan merupakan hasil dari sejumlah variabel, seperti sumber daya manusia yang kurang terlatih, peralatan dan fasilitas yang tidak mendukung, dan elektroda yang kualitasnya buruk. NDT merupakan teknik yang sering digunakan untuk menentukan cacat yang ada pada material. NDT merupakan uji material yang tidak merusak substansi. Biaya dan waktu hanyalah dua dari sekian banyak keuntungan menggunakan pendekatan NDT. Hal ini karena material yang diuji tidak rusak oleh pengujian NDT. Akibatnya, perusahaan pengujian tidak perlu mengeluarkan biaya tambahan untuk mengganti material yang rusak. Selain itu, pengujian dengan pendekatan ini membutuhkan waktu lebih singkat, sehingga menghasilkan kegiatan yang lebih produktif. [24].

Suatu barang dapat diuji atau diperiksa menggunakan metode Pengujian (NDT) untuk menentukan apakah ada keretakan, cacat, atau cacat lainnya tanpa

menyebabkan kerusakan pada barang tersebut. Pengujian ini pada dasarnya dilakukan untuk memastikan material yang digunakan masih aman dan belum melampaui batas kerusakan. [25].

Sambungan yang cacat sering ditemukan pada material selama proses pengelasan dalam sistem manufaktur. Buruknya sambungan ini bukan terjadi karena suatu kebetulan, melainkan disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain buruknya kualitas elektroda, kurangnya pengalaman sumber daya manusia, serta belum memadainya sarana dan prasarana.. NDT merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk mengidentifikasi sambungan yang bermasalah pada material. NDT merupakan metode pengujian material tanpa menyebabkan kerusakan apa pun pada material tersebut. NDT mencakup sejumlah teknik, termasuk sinar-X, uji optik, emisi kaustik, arus eddy, inspeksi penetran cair, inspeksi partikel magnetik, dan inspeksi ultrasonik [26]

Untuk menentukan apa itu NDT dan bagaimana cara menguji material dengan tepat dan benar menggunakan pendekatan NDT, maka dilakukan penelitian ini. Uji kekedapam (juga dikenal sebagai uji kebocoran) akan dibahas dalam penelitian ini. Oleh karena itu, tanpa menyebabkan kerusakan pada material, kita dapat menggunakan pendekatan ini untuk mempelajari lebih lanjut tentang prosedur pengujian dan mengidentifikasi cacat atau kebocoran pada material pelat bangunan baru atau kapal yang akan dilakukan pergantian pelat.

2.4. *Leaking Test* (Pengujian Kecedapan Hasil Las-lasan)

Untuk melakukan uji kebocoran ini, air yang mengandung *fluoresens* disemprotkan ke area pengujian. Jika terjadi kebocoran, air akan terlihat bersinar di area yang terkena.

Untuk menjamin kualitas kapal yang akan diperbaiki, diperlukan pengendalian mutu selama proses perbaikan kapal. Salah satu cara untuk melakukannya adalah dengan melakukan berbagai pengujian terhadap struktur dan kualitas produk. Setiap bidang yang digunakan saat ini pasti ada hubungannya dengan pengelasan, yang juga identik dengan cacat dan kebocoran, terutama pada komponen kapal yang diganti pelat

Hasil pengelasan biasanya sangat dipengaruhi oleh keahlian tukang las. Sulit untuk mengidentifikasi hasil pengelasan permukaan dan internal dengan menggunakan teknik pengujian yang mudah. Lebih jauh lagi, karena struktur yang dilas merupakan bagian penting dari keseluruhan badan material yang dilas, retakan yang dihasilkan akan menyebar dengan cepat dan dapat menyebabkan kecelakaan serius.. Pengujian dan pemeriksaan daerah yang dilas sangat penting untuk mencegah kecelakaan tersebut.

Dapat diartikan, tujuan pengujian dan pemeriksaan ialah untuk menjamin kualitas pada konstruksi yang dilas. Inspeksi dilakukan untuk memastikan hasil pengujian secara umum dapat diterima sesuai dengan standar kualitas tertentu, dan pengujian dilakukan untuk menjamin kualitas produk atau spesimen tertentu.

2.5. Pentingnya *Leaking Test* pada Hasil Pengelasan

Uji kedapatan pada pengelasan sangat penting untuk memastikan bahwa sambungan las yang dihasilkan tidak mengalami kebocoran, baik itu pada cairan maupun gas. Pengujian ini memiliki beberapa alasan mendasar yang menjadikannya krusial, terutama dalam industri yang mengandalkan sambungan las untuk menyegel sistem yang terpapar tekanan tinggi atau bahan berbahaya. Berikut adalah beberapa alasan mengapa uji kedapatan pada pengelasan sangat penting:

1. Menjamin Keamanan

Salah satu alasan utama uji kedapatan pada pengelasan adalah untuk menjamin keamanan. Sambungan las yang tidak kedap dapat menyebabkan kebocoran gas, cairan, atau bahan berbahaya, yang bisa membahayakan keselamatan manusia, merusak lingkungan, atau menyebabkan kebakaran dan ledakan, terutama pada pipa gas, sistem bahan kimia, atau peralatan bertekanan tinggi. Uji kedapatan memastikan bahwa sambungan las dapat menahan tekanan dan menghindari potensi kecelakaan.

2. Mencegah Kebocoran yang Dapat Merusak Sistem

Kebocoran pada sambungan las dapat menyebabkan kerusakan pada sistem yang lebih besar, misalnya dalam industri maritim khususnya kapal. Kebocoran yang terjadi pada sambungan las yang tidak terdeteksi dapat mengurangi efisiensi sistem, menyebabkan kerugian material, dan bahkan mengganggu operasional. Uji kedapatan membantu mencegah masalah tersebut dengan memastikan integritas sambungan las.

3. Meningkatkan Kualitas dan Keandalan Produk

Uji kedapatan adalah bagian dari kontrol kualitas yang membantu memastikan bahwa sambungan las yang dibuat sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan. Proses pengelasan yang dilakukan dengan baik namun tanpa

pengujian kedap mungkin masih mengandung cacat kecil, seperti porositas atau retakan yang tidak terlihat secara kasat mata, tetapi dapat menyebabkan kebocoran. Dengan uji kedap, produsen dapat memastikan bahwa sambungan las benar-benar kuat dan kedap, meningkatkan keandalan produk akhir.

4. Pemenuhan Standar dan Regulasi

Banyak industri yang mengandalkan sambungan las, seperti industri minyak dan gas, pembangkit listrik, dan industri kimia, memiliki standar dan regulasi ketat terkait keselamatan dan kualitas sambungan las. Uji kedap memastikan bahwa sambungan las memenuhi standar internasional atau standar spesifik industri (misalnya, *BV Class Rules*, *BKI Class Rules*, ISO), yang dapat mencakup persyaratan untuk ketahanan terhadap kebocoran, tekanan, dan suhu. Kegagalan dalam memenuhi standar ini bisa berakibat pada penarikan produk, denda, atau masalah hukum.

5. Menjamin Efisiensi Operasional

Dalam beberapa industri, kebocoran kecil pada sambungan las bisa menyebabkan kehilangan bahan, seperti gas atau cairan, yang bisa berdampak pada efisiensi operasional.

6. Mengurangi Risiko Kerugian Finansial

Kebocoran pada sambungan las bisa mengarah pada kerugian finansial yang signifikan. Misalnya, kebocoran bahan bakar atau gas berharga dapat menyebabkan kerugian besar. Selain itu, jika kebocoran tidak terdeteksi dan memperburuk kerusakan pada sistem, biaya perbaikan bisa sangat mahal. Dengan memastikan sambungan las kedap sejak awal, perusahaan dapat mengurangi biaya perbaikan, pemeliharaan, atau bahkan penggantian peralatan.

7. Meningkatkan Daya Saing

Produk atau peralatan yang memiliki sambungan las yang kedap dan bebas dari kebocoran memberikan keuntungan kompetitif dalam pasar. Dalam industri yang sangat kompetitif, kemampuan untuk menyediakan produk yang

lebih aman, efisien, dan dapat diandalkan dapat meningkatkan reputasi perusahaan dan memberikan daya saing di pasar global. Perusahaan yang konsisten menghasilkan produk dengan sambungan las yang berkualitas tinggi akan lebih disukai oleh klien dan pelanggan.

2.6. Regulasi tentang Pengujian Kecedapan Hasil Las-lasan

ISO 9001 adalah standar kualitas yang diakui secara Internasional dan berlaku untuk berbagai industri. Standar ini membantu organisasi dari semua ukuran dan sektor untuk meningkatkan kinerja, memenuhi harapan pelanggan, serta menunjukkan komitmen nyata terhadap kualitas.

Persyaratan ISO 9001 memberikan panduan lengkap tentang cara membangun, menerapkan, menjaga, dan terus menyempurnakan sistem manajemen mutu (SMM) agar bisnis bisa berjalan lebih efisien dan profesional.

Menerapkan ISO 9001 berarti organisasi Anda telah membangun proses yang efektif dan melatih karyawan dengan baik untuk selalu menghadirkan produk atau layanan berkualitas tanpa cacat. Dengan standar ini, Anda bisa memastikan kepuasan pelanggan melalui kualitas yang konsisten dan terjaga di setiap kesempatan. Berikut ini merupakan beberapa manfaat dari penerapan ISO 9001:

1. Kepuasan Pelanggan

Standar ini memastikan bahwa organisasi memiliki proses pengendalian kualitas yang kuat, yang berujung pada peningkatan kepercayaan dan kepuasan pelanggan.

2. Penyelesaian Keluhan yang Efektif

QMS (*Quality Management System*) memberikan panduan untuk menyelesaikan keluhan pelanggan secara efisien, yang berkontribusi pada penyelesaian masalah yang tepat waktu dan memuaskan.

3. Peningkatan Proses

Standar ini membantu mengidentifikasi dan menghilangkan ketidak-efisienan, mengurangi pemborosan, menyederhanakan operasi, dan mendorong pengambilan keputusan yang terinformasi, yang menghasilkan penghematan biaya dan hasil yang lebih baik.

4. Optimalisasi Berkelanjutan

Audit dan tinjauan berkala yang didorong oleh ISO 9001 memungkinkan organisasi untuk terus menyempurnakan sistem manajemen kualitas mereka, tetap kompetitif, dan mencapai kesuksesan jangka panjang.

7 Prinsip Sistem Manajemen Mutu atau Kualitas:

1. Keterlibatan

Melibatkan dan menyatukan orang-orang di berbagai tingkatan bisnis Anda untuk membantu menciptakan dan menyampaikan proses dan prosedur yang memberikan nilai tambah, sehingga meningkatkan kinerja bisnis dan tenaga kerja Anda.

2. Fokus pada Pelanggan

Kami memahami bahwa pelanggan merupakan fokus utama dari setiap bisnis. Memenuhi harapan mereka adalah kunci pertumbuhan, dan prinsip ini berarti bahwa pelanggan Anda menjadi inti dari bisnis Anda.

3. Kepemimpinan

Kepemimpinan yang kuat berarti kualitas dan konsistensi yang lebih baik. Proses manajerial memberikan pendekatan yang terpadu sehingga semua orang memiliki pemahaman yang sama.

4. Pendekatan Proses

Pendekatan yang saling terkait di semua proses bisnis Anda akan meningkatkan konsistensi dan efisiensi dalam hasilnya.

5. Peningkatan Berkelanjutan

Selalu analisis dan tinjau proses bisnis Anda secara rutin. Hal ini akan membantu mencapai peningkatan yang berkelanjutan untuk bisnis Anda yang dapat dipertahankan baik jangka pendek maupun jangka panjang.

6. Pengambilan Keputusan

Data adalah kunci, oleh karena itu, setiap keputusan yang diambil haruslah demi kepentingan terbaik bisnis Anda, didukung oleh fakta-fakta yang menghasilkan hasil optimal.

7. Manajemen Hubungan

Menjalin dan merawat hubungan yang kokoh dengan klien dan pemasok merupakan kunci untuk meningkatkan kinerja bisnis.

Penerapan ISO 9001 yang mengikuti standar dapat membantu meningkatkan citra, produk, layanan, dan proses Anda. Hal ini juga membantu mencegah kerusakan, mengurangi variasi, dan mengurangi pemborosan dalam rantai pasokan Anda.

Dengan mengimplementasikan *quality manajemen systems*, Anda menunjukkan komitmen Anda terhadap kualitas di seluruh bagian organisasi Anda.

Standar ini memberikan kerangka kerja yang jelas melalui model *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) dan pemikiran berbasis risiko untuk terus memperbaiki organisasi Anda [12].

Struktur dan Susunan Lambung Kapal untuk Klasifikasi Kapal Barang Kurang dari 65 m dan Kapal Non-Barang Kurang dari 90 m - NR600 Bab 7, Bagian 3 [13]. Aturan Klasifikasi dan Konstruksi Kapal Laut. Biro Klasifikasi Indonesia - Edisi Januari 2025 Hal. A-48 - A-49 [14]. *Vacuum Box Test*

Kotak (kotak pengujian vakum) dengan sambungan udara, pengukur, dan jendela inspeksi ditempatkan di atas sambungan las dengan larutan indikator kebocoran yang dioleskan ke sekitar tutup las. Udara di dalam kotak dikeluarkan oleh ejektor untuk menciptakan vakum $0,20 \cdot 10^5$ hingga $0,26 \cdot 10^5$ Pa di dalam kotak.

a. Uji Udara Tangki

Semua las batas, sambungan pemasangan, dan penetrasi termasuk sambungan pipa harus diperiksa sesuai dengan prosedur yang disetujui dan di bawah perbedaan tekanan yang stabil di atas tekanan atmosfer tidak kurang dari $0,15 \cdot 10^5$ Pa, dengan larutan pendeteksi kebocoran (seperti air sabun/deterjen atau larutan khusus) yang digunakan.

Pipa U yang tingginya cukup untuk menahan muka air yang sesuai dengan tekanan uji yang dibutuhkan harus dipasang. Luas penampang pipa U tidak boleh kurang dari luas penampang pipa yang memasok udara ke tangki.

b. Uji Penetrasi

Untuk pengujian las tumpul atau sambungan las lainnya, cairan bertegangan permukaan rendah diaplikasikan pada satu sisi batas kompartemen atau susunan struktural. Jika tidak ada cairan yang terdeteksi pada sisi berlawanan dari batas setelah berakhirnya jangka waktu yang ditentukan, ini menunjukkan kekencangan batas. Dalam kasus tertentu, larutan pengembang dapat dicat atau disemprotkan pada sisi lain las untuk membantu mendeteksi kebocoran.

2.7. Jenis-jenis Metode Pengujian Kecedapan Hasil Las-lasan

2.6.1 Metode *Vacuum Test*.

Bila digunakan pada bagian kapal dengan ruang terbuka, seperti palka kapal, teknik Vakum bekerja dengan baik. Teknik ini juga dapat digunakan untuk memverifikasi kekedapan pengelasan pada bagian lambung kapal yang telah diganti dengan pelat atau pergantian pelat yang memiliki volume pergantian ulang yang kecil. Namun terkadang terdapat Owner yang meminta untuk dilakukan pengetesan kekedapan dengan menggunakan metode ini dalam skala volume replating menengah. Ide dasar di balik uji vakum ini adalah menemukan kebocoran las dengan menggunakan tabung transparan atau media lain untuk memaksa udara di sekitar benda uji ke dalam vakum (pompa udara). Alat pengukur akan digunakan untuk menemukan kebocoran, atau kebocoran dapat diamati secara langsung dengan mencari busa atau gelembung dari cairan sabun yang terbentuk di dalam tabung. Berbeda dengan uji tekanan udara, uji vakum beroperasi dengan prinsip yang berlawanan. [15].



Gambar 26. *Vacuum Test*
Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi

Berikut ini beberapa peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian *vacuum test*:

1. *Vacuum Box* (Kotak transparan terbuat dari mika tebal 5mm dilengkapi dengan karet sisi dalam bagian luarnya guna pengaplikasian pada material uji)
2. Larutan sabun (untuk spesifikasi sabun tidak dibatasi)
3. Semprotan (untuk menyemprot larutan sabun pada material uji)
4. *Vacuum Gauge* (alat ukur untuk membantu dalam membaca tekanan pada *vacuum box* yang ditekan pada material uji sudah sesuai dengan standar regulasi atau belum)
5. Media udara atau angin dari kompressor
6. Selang kompressor *high pressure* ukuran setengah inch lengkap dengan konektor untuk menyambungkan pada pipa kompresor
7. Komponen uji atau material uji



Gambar 27. Peralatan *Vacuum Test*
Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi

Berikut ini merupakan langkah-langkah atau prosedur pelaksanaan pengujian *Vacuum Test*:

1. Siapkan peralatan yang akan dipakai diantaranya, kompresor yang sudah siap, selang dengan konektor, alat *vacuum*, *vacuum gauge*, larutan air sabun, dan material uji.
2. Pastikan bagian material uji dalam keadaan bersih bebas dari terak las, debu, minyak, atau lumpur.
3. Hubungkan alat *vacuum test* dengan kompresor dan pasang *vacuum gauge* pada konektor yang terdapat pada *vacuum box*.
4. Semprot bagian material uji yang akan dilakukan pengetesan uji *vacuum test* dengan air sabun.
5. Letakkan alat *vacuum box* pada permukaan las-lasan yang akan diuji kekedapan yang sudah disemprot dengan air sabun. *vacuum box* sedikit ditekan agar karet dibagian bawahnya menjadi rekat dan rapat dengan area permukaan material uji.
6. Karena adanya aliran udara yang melewati *valve* pada *vacuum box* maka tabung akan menjadi hampa.
7. Perhatikan dengan seksama alat ukur *vacuum gauge*, jarum akan menunjuk ke arah minus (-0.25 bars).
8. Tahan selama 10-30 detik, lalu amati cacat las berupa kebocoran yang akan timbul dengan acuan gelembung sabun pada las-lasan.
9. Jika terdapat kebocoran pada las-lasan dapat ditandai atau *sign* dengan kapur, dan dilakukan pencatatan hasil.

Pengujian *vacuum test* memiliki beberapa kelebihan, berikut ini merupakan kelebihan dari metode *vacuum test*:

- b. Cepat, mudah dan tidak merusak.
- c. Dapat dilakukan di lapangan secara langsung.
- d. Ideal untuk pelat tipis dan area permukaan dengan skala volume replating kecil hingga menengah.

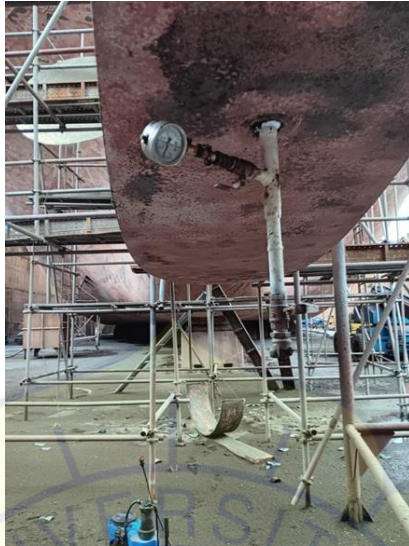
Selain itu, pengujian *vacuum test* memiliki beberapa kekurangan, berikut ini merupakan kekurangan dari metode *vacuum test*:

- a. Tidak dapat dipakai pakai permukaan tidak rata atau berlekuk.
- b. Hanya untuk mendeteksi kebocoran terbuka
- c. Hasilnya subjektif.

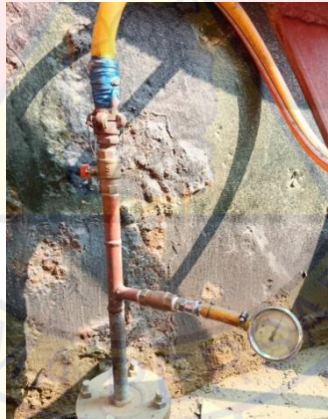
2.6.2 Metode *Air Pressure Test*

Udara bertekanan tinggi digunakan dalam Uji Tekanan Udara, sebuah teknik untuk mengevaluasi kedap pengelasan. Pengujian udara bertekanan tinggi adalah uji kebocoran bertekanan tinggi untuk pipa dan tangki. Di area tertentu kapal, semua sambungan pengelasan harus kedap udara atau bebas kebocoran. Tekanan yang digunakan dalam uji tekanan tinggi ini adalah antara 0,2 dan 0,8 psi. Lebih jauh, teknik ini mendeteksi kebocoran menggunakan larutan sabun berbusa. Jika gelembung muncul di las tiba-tiba, area tersebut perlu ditandai sebagai area yang perlu diperbaiki. [16].

Sejumlah komponen kapal, baik yang baru maupun yang sedang dalam perbaikan galangan kapal, perlu dibuat kedap air, artinya setiap sambungan las pada komponen tersebut harus bebas kebocoran atau kedap air. Tangki (bahan bakar, air, oli pelumas, oli kotor, tangki bertekanan, dan lain-lain), instalasi pipa, lubang got (kecuali untuk cincin lubang got dan las baut lubang got), dan pelat kulit atau pelat rangka kapal dari lunas hingga geladak adalah beberapa contoh komponen kapal yang harus memiliki sambungan las kedap air.



Gambar 28. *Air Test Rudder*
 Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi



Gambar 29. *Air Test Water Ballast Tank melalui Air Vent*
 Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi



Gambar 30. *Air Test Void Tank* menggunakan media Selang
Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi



Gambar 31. *Air Test Void Tank* menggunakan media Selang
Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi

Penilaian Tekanan Udara merupakan salah satu cara untuk menilai kekencangan pengelasan sebelum kapal diluncurkan (pembangunan baru) atau sebelum meninggalkan dermaga (diperbaiki atau diganti). Berikut ini merupakan beberapa peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian *air pressure test*:

1. Kompresor udara yang menyediakan media udara atau angin.
2. Selang *high pressure* ukuran 1 inch dan konektor yang dipasangkan pada pipa kompresor.

3. Pipa *Valve* yang akan membantu pengisian udara ke dalam tangki
4. Flens pipa untuk membantu pengisian jika dilakukan melalui pipa udara tangki
5. *Pressure Gauge*
6. Sabun *lengkap* dengan semprotan

Berikut ini merupakan langkah-langkah atau prosedur pelaksanaan pengujian *Air Pressure test*:

1. Lubangi tutup *manhole* pada tangki yang diuji, atau apabila tangki terdapat pipa udara bisa di pasangkan flens pipa lalu pasangkan pipa valve untuk mengisi udara.
2. Pasang selang dan konektor menyambung dengan pipa kompresor untuk mengalirkan udara atau angin ke dalam tangki
3. Hubungkan selang dari kompresor pada pipa *valve* dan pastikan baut baut pada flens pipa dikencangkan (jika mengisi angin lewat pipa udara), jika mengisi angin lewat *manhole* pastikan juga baut baut pada manhole dan karet packingnya sudah rapat dan kedap.
4. Buka katup *valve* pipa agar udara atau angin masuk ke dalam tangki dan buka katup kompresor.
5. Lihat pada alat ukur tekanan yang terpasang, tunggu sampai tekanan udara didalam tangki mencapai 0,2 Bar (bila menggunakan *Pressure Gauge*) jika menggunakan selang air, lihat permukaan air didalam selang. Ukur jarak antara permukaan air dibawah (ujung bawah selang) dengan permukaan air dibagian atas (ujung atas selang). bila jarak 1,0 m berarti tekanan didalam tangki adalah 0,1 Bar, lalu apabila jaraknya 2,0 m maka tekanan didalam tangki 0,2 Bar.
6. Setelah tekanan didalam tangki sesuai dengan yang diinginkan atau sudah sesuai standar dan regulasi, tutup *valve* pipa kompresor dan tutup *valve* pipa yang menjadi media pembantu mengalirkan udara ke dalam tangki.

Dokumentasikan terlebih dahulu hasil dari tekanan yang tertera pada *Pressure Gauge*.

7. Selanjutnya melakukan penyemprotan cairan sabun pada bagian pengelasan yang akan diuji kedapannya, bagian yang disemprotkan tentunya pada bagian luar dari tangki yang diuji. Cairan sabun dapat disemprotkan menggunakan alat penyemprot hama atau unggas, atau bisa menggunakan botol bekas yang dilubangi tutupnya.
8. Lalu kita bisa mengidentifikasi kebocoran pada tangki jika tampak busa atau gelembung yang keluar dari bagian pengelasan. Ketka busa halus yang terlihat itu berarti ada *crack* atau bocor yang halus, jika yang terlihat gelembung itu tandanya kebocoran yang cukup besar.
9. Jangan lupa untuk menandakan lokasi lokasi kebocoran dengan menggunakan kapur, dapat ditandai dengan bocor jumlah ke berapa, tangki bagian mana yang sedang diuji, tanggal dan *sign qc*, lalu terakhir didokumentasikan.
10. Selanjutnya perbaiki kebocoran tangki dengan cara rewelding yang didahului dengan proses gouging terlebih dahulu pada bagian yang bocor. Namun sebelum melakukan proses repair pada titik - titik kebocoran, udara di dalam tangki harus dikeluarkan terlebih dahulu.

Pengujian *air pressure test* memiliki beberapa kelebihan, berikut ini merupakan kelebihan dari metode *air pressure test*:

- a. Lebih aman untuk beberapa material, karena tidak menyebabkan korosi atau kerusakan seperti halnya uji tekanan menggunakan *hydrotest*, terutama untuk material yang sensitif terhadap kelembaban.
- b. Tidak meninggalkan sisa cairan karena tidak perlu proses pengeringan setelah pengujian dan menghemat waktu
- c. Lebih praktis karena tidak membutuhkan banyak peralatan dan dalam skala besar.

- d. Respons cepat terhadap kebocoran, udara lebih muda lolos dari celah kecil dibandingkan air, sehingga kebocoran bisa lebih cepat terdeteksi.

Selain itu, pengujian *vacuum test* memiliki beberapa kekurangan, berikut ini merupakan kekurangan dari metode *vacuum test*:

- a. Resiko ledakan yang tinggi karena udara bersifat *compressible* (mudah dimampatkan), jadi jika terjadi kegagalan (seperti pipa atau pelat pecah), energinya yang dilepaskan lebih besar dan bisa sangat berbahaya. Maka dari itu faktor keamanan harus ekstra diperhatikan, seperti menggunakan APD sesuai standar dan SOP serta menjaga jarak aman.
- b. Tekanan maksimum terbatas dikarenakan sangat berisiko mengingat hal pada poin A diatas.
- c. Butuh udara bersih dan kering karena udara yang lembab dapat menimbulkan kondensasi yang memicu munculnya korosi.

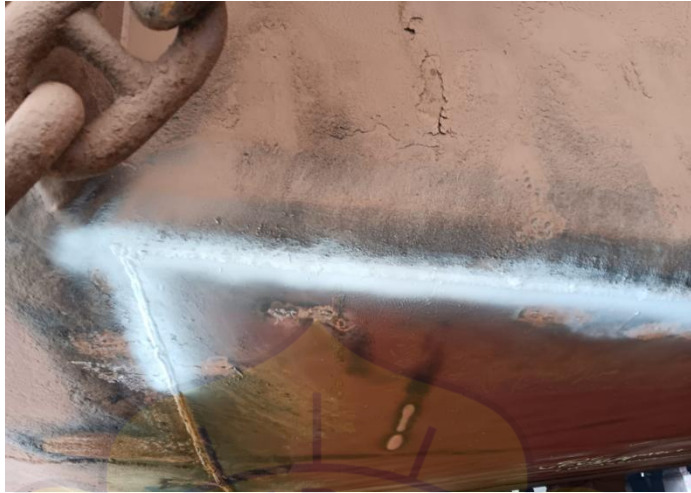
2.6.3 Metode Pengujian Kecedapan dengan *Penetrant Test*

Teknik NDT yang paling sederhana adalah uji penetran cair, yang juga dikenal sebagai penetran pewarna, yang memiliki keunggulan karena cepat dan akurat dalam mengidentifikasi cacat permukaan. Cacat pada permukaan komponen padat yang terbuka, baik logam maupun non-logam, seperti keramik dan serat plastik, dapat ditemukan dengan teknik ini. Dengan memeriksa indikasi pada permukaan benda uji setelah disemprot dengan pengembang dan kemudian digambar untuk dijadikan laporan kerja yang selanjutnya akan diterjemahkan untuk persyaratan persetujuan, prosedur ini akan membuat cacat material lebih terlihat. [17].

Uji kedapatan (kebocoran) pengelasan dengan penetrant test atau *Liquid Penetrant Testing* (LPT) adalah salah satu metode non-destruktif (NDT) yang digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan seperti retak, pori, atau kebocoran kecil pada hasil pengelasan, terutama yang terbuka di permukaan. Pengujian *Penetrant Test* ialah pengujian khusus karena bisa diaplikasikan untuk area *replating* material yang tidak dapat diuji dengan metode lainnya. *Penetrant Test* juga harus melihat akses material yang akan diuji, karena *liquid* bersifat mengikuti gravitasi jadi cairan *red penetrant* posisinya harus diatas cairan *developer* pada pengaplikasiannya karena cairan *red penetrant* tidak akan bisa penetrasi jika melawan gravitasi dan hasil nya pun kurang maksimal.



Gambar 32. *Red Penetrant* di dalam tangki WBT
Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi



Gambar 33. *Developer* dibagian luar tangki

Sumber : Dokumentasi Milik Pribadi

Berikut ini beberapa peralatan yang digunakan untuk melakukan *penetrant test*:

1. *Red Penetrant (Fluoresen) Spotcheck*
2. *Developer Magnaflux*
3. Majun atau kain lap
4. Masker untuk aspek *safety* karena cairan mengandung kimia dan bau menyengat

Berikut ini prosedur teknis metode pengujian kekedapan dengan *penetrant test*:

1. Sebelum melakukan pengujian *penetrant test*, gunakan masker agar tidak terpapar bahan kimia yang menyengat.
2. Melakukan pembersihan permukaan las yang akan diuji dengan *penetrant test*, baik dari sisi yang akan disemprot *red penetrant* maupun sisi yang akan disemprot *developer*.
3. Semprot cairan *red penetrant* mengikuti gravitasi karena sifat liquid dapat terpenetrasi dengan baik atau pada bagian sisi dalam jika *replating* dilakukan pada tangki.

4. Tunggu proses *dwell time* 10-15 menit agar efektif cairan masuk atau terpenetrasi ke las - lasan.
5. Setelah *Dwell Time* sudah dilakukan bisa menyemprot cairan *developer* pada bagian sisi baliknya yang sudah disemprot *red penetrant*.
6. Lakukan visual inspek pada lasan yang sudah disemprot cairan *developer* dengan teliti, jika ada keluar indikasi warna merah dari cairan *red penetrant* maka hasil dari pengujian mengatakan adanya kebocoran atau kecacatan las.
7. Lakukan pencatatan untuk memudahkan *welder* mereparasi pengelasan yang bocor atau cacat.
8. Lakukan pembersihan kembali untuk menghilangkan sisa bahan pengujian.

Pengujian *penetrant test* memiliki beberapa kelebihan yaitu murah, mudah dilakukan, cocok untuk mendeteksi cacat halus di permukaan lasan, dan dapat digunakan di hampir semua logam. Namun selain kelebihan yang sudah disebutkan *penetrant test* memiliki beberapa kekurangan yaitu, hanya dapat mendeteksi cacat terbuka di permukaan, tidak bisa digunakan pada permukaan yang kasar, cairan berbahan kimia yang bersifat *flammable* dan menyengat.