

BAB II

TINJAUAN

PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Tangki penyimpanan merupakan elemen vital dalam proses industri kimia, karena fungsinya tidak hanya sebagai wadah untuk menyimpan bahan baku dan produk, tetapi juga untuk menjamin ketersediaan bahan secara kontinu serta melindungi material dari potensi kontaminasi—yang dapat berdampak pada penurunan kualitas produk maupun bahan baku tersebut. Tangki-tangki ini dirancang dengan beragam kapasitas dan bentuk konstruksi, yang disesuaikan berdasarkan fungsi dan jenis penggunaannya.

Dalam sektor industri perminyakan, di mana jenis fluida yang disimpan sangat bervariasi—seperti minyak yang memiliki sifat mudah menguap, mudah terbakar, dan bertekanan tinggi—perancangan tangki penyimpanan harus dilakukan dengan memenuhi standar teknis dan keselamatan tertentu agar aman dan sesuai dengan karakteristik fluida yang ditampung.¹

Pada *tank storage* atau tangki penyimpanan terdapat beberapa sistem perpipaan. Pipa-pipa yang terdapat pada *storage tank* memiliki peran penting dalam mengatur aliran fluida masuk dan keluar, menjaga keamanan operasional, serta memudahkan pemeliharaan dan monitoring tangki. Pipa-pipa tersebut tersambung antara satu dengan yang lain, metode penyambungan ini dilakukan dengan pengelasan, untuk memastikan sambungan antara pipa-pipa tersebut dengan baik tanpa cacat maka dilakukan pengujian dengan tidak merusak atau biasa disebut *Non Destructive Test*, sebagai salah satu contoh adalah *Radiographic testing* yang biasanya dilakukan tidak hanya pada material pipa tetapi juga dilakukan pada material *plate*.

Pada pengujian yang dilakukan oleh². Prosedur pengelasan menggunakan *ASME section V*. Setelah dilakukan *Radiografi Test* menganalisa hasil cacat pada las pipa 4 inch ss-400 carbon steel menurut standar dari *ASME section IX*, serta cara melakukan repair sambungan pengelasan berdasarkan *ASME section IX*. Berdasarkan hasil pengujian *Radiografi Test* pada sambungan pengelasan pipa 4 inch ss-400 carbon steel terdapat cacat. Dari hasil film radiografi segmen 0-7, 7-14 dan 14-0 mempunyai indikasi *Incomplete Penetration* dengan panjang indikasi 50 mm,

30 mm dan 35 mm karena panjang indikasi melebihi batas yang ditentukan oleh *ASME section IX* maka sambungan pengelasan perlu dilakukan repair.

³. Berdasarkan hasil pengujian dengan objek berupa sambungan las tipe butt joint pada pipa berdiameter 6 inci, dengan spesifikasi: schedule standar, material karbon baja (carbon steel), ketebalan material 7,11 mm (0,28 inci), jarak antara sumber radiasi dan objek (SOD) sebesar 400 mm (15,74 inci), sumber radiasi Iridium-192 (Ir-192) dengan aktivitas 35 Curie, dan ukuran sumber 1,25 mm (0,049 inci). Pengujian juga menggunakan (Image Quality Indicator/IQI) tipe ASTM 1B (wire), teknik radiografi DWSI (Double Wall Single Image), serta layar pelindung (screen type) dari timbal (Pb) setebal 0,125 mm. Pemeriksaan pada 27 titik sambungan (Joint No. RT.S1 sampai RT.S27), dan hasilnya menunjukkan semua sambungan tersebut telah memenuhi standar, kecuali pada sambungan RT.S2 yang terdeteksi adanya cacat las berupa (rounded indication) dengan diameter 7 mm.

⁴ melakukan penelitian pada Pengelasan *TIG* untuk pelat baja tahan karat *AISI* 304 dengan arus 40 - 60 A, identifikasi cacat pada sambungan kampuh 1G. Penelitian Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan radiografi sinar-X yang mengacu pada standar *ASME V* pasal II dan kualitas sambungan mengacu pada *ASME section IX*. Hasil menunjukkan bahwa pengelasan TIG dengan arus 60 Ampere menghasilkan sambungan butt joint yang yang tembus dan tidak ada celah antar pelat, sedangkan dengan arus 40 A dan 50 A sambungan las tidak tembus tetapi masih terdapat celah antar pelat. Cacat las penetrasi tidak sempurna ditemukan pada sambungan pelat SS 304 yang dilas dengan arus 40 A. Cacat porositas las ditemukan pada pelat SS 304 yang dilas sambungan dengan arus 50 A. Cacat las tidak ditemukan pada sambungan pelat SS 304 dengan arus 60 A. Sambungan butt joint sambungan las TIG pelat SS 304 dengan arus terbaik 60 A dibandingkan dengan arus 40 A dan 50 A.

2.2 Pipa Baja

Baja merupakan campuran logam yang tersusun atas unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta dilengkapi dengan elemen paduan lainnya. Baja menjadi material yang paling umum digunakan untuk produk jadi seperti komponen otomotif, transformator listrik, serta berbagai proses manufaktur seperti pembuatan lembaran logam dan ekstrusi. Pemilihan baja sebagai material utama didorong oleh

pertumbuhan industri otomotif dan meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap kendaraan bermotor, mesin, konstruksi, dan sektor lainnya. Penggunaan baja didasarkan pada sifat mekaniknya—namun, jika material terlalu keras, maka proses pembentukannya menjadi sulit. Kemampuan pengerasan (*hardenability*) dari baja sangat beragam, sehingga dapat disesuaikan dengan sifat mekanis yang diinginkan (Davis, Troxell, 1998).

Baja karbon rendah merupakan jenis baja paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C), serta elemen tambahan seperti silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P), dan unsur lainnya. Salah satu tujuan utama dalam pengembangan material adalah memastikan bahwa struktur dan sifat-sifat material mencapai kondisi optimum, agar ketahanan material dapat dimaksimalkan.

Menurut Indarto (2009), berikut ini adalah pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja karbon:

A. Karbon(C)

Karbon merupakan elemen kunci yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja. Kandungan karbon dalam baja umumnya berkisar antara 0,1% hingga 1,7%, sementara unsur lain dibatasi sesuai dengan fungsi baja tersebut. Penambahan unsur karbon bertujuan agar baja dapat merespon perlakuan panas dan menghasilkan karakteristik tertentu. Namun, meskipun karbon dapat memperkuat dan mengeraskan baja, kandungan yang terlalu tinggi justru dapat mengurangi ketangguhan (*toughness*) material.

B. Mangan(Mn)

Hampir semua jenis baja mengandung mangan, karena unsur ini penting dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan sekitar 0,6% tidak memberikan dampak signifikan terhadap sifat baja. Dengan kata lain, dalam kadar rendah, mangan tidak banyak memengaruhi struktur baja, tetapi tetap diperlukan sebagai bagian dari proses metalurgi.

C. Fosfor(P)

Fosfor dapat menyebabkan retak dingin (*cold shortness*) pada baja, yang membuatnya menjadi rapuh pada suhu rendah. Karena itu, baja yang mengandung

fosfor tidak cocok digunakan pada aplikasi yang melibatkan beban benturan dalam suhu rendah. Namun, unsur ini memiliki kelebihan karena dapat meningkatkan kemampuan alir (fluiditas) baja saat proses pengerolan panas. Kandungan fosfor dalam baja umumnya dibatasi di bawah 0,05%.

D. Belerang(S)

Belerang cenderung membuat baja menjadi getas pada suhu tinggi, sehingga kurang cocok untuk aplikasi yang bekerja pada kondisi suhu tinggi. Selain itu, kehadiran sulfur juga dapat menghambat proses manufaktur seperti pengerolan panas. Oleh karena itu, kadar sulfur dalam baja harus dijaga serendah mungkin, umumnya di bawah 0,05%.

E. Silikon(Si)

Silikon adalah unsur paduan yang selalu terdapat dalam baja, biasanya dengan kadar di atas 0,4%. Kehadiran silikon dapat meningkatkan kekuatan tarik baja serta mengurangi laju pendinginan kritis, sehingga berpengaruh terhadap proses perlakuan panas.

F. Nikel(Ni)

Nikel berfungsi serupa dengan mangan, yaitu dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kelenturan (keuletan) baja, serta membuatnya lebih tahan terhadap panas. Jika kandungan nikel dalam baja mencapai sekitar 25%, maka baja tersebut akan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korosi. Nikel juga berfungsi sebagai pelindung permukaan, membentuk lapisan penghalang yang mencegah terjadinya korosi.

G. Kromium(Cr)

Kromium mampu menurunkan laju pendinginan kritis, dan penambahan sebanyak 1,5% saja sudah cukup untuk meningkatkan kekerasan baja saat pendinginan menggunakan media minyak. Unsur ini juga menyempurnakan struktur mikro baja, mempermudah proses pengerasan, serta dapat berikatan dengan karbon membentuk karbida.

2.2.1 Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah jenis baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3%. Baja ini merupakan jenis baja paling ekonomis dibandingkan dengan baja karbon lainnya. Material ini mudah untuk dikerjakan dengan mesin (machining)

dan mudah dilas, serta memiliki tingkat kelenturan (duktilitas) dan ketangguhan yang tinggi. Namun, kekurangannya adalah kekerasan dan ketahanan ausnya relatif rendah. Karena sifat-sifat tersebut, baja ini sering dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk komponen bodi kendaraan, struktur bangunan, pipa instalasi gedung, jembatan, kaleng, pagar, dan produk serupa lainnya..

Penggunaan baja karbon rendah umumnya diperuntukkan bagi aplikasi yang tidak membutuhkan kekuatan tinggi atau syarat teknis yang berat. Kemampuan baja ini dalam menahan tekanan terbatas, yakni kurang dari 100.000 psi (690 MPa).Komposisi Kimia Baja Karbon Rendah

Berikut adalah unsur-unsur utama yang biasanya terdapat dalam baja karbon rendah:

Tabel 2. 1 kandungan baja karbon rendah

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silikon (Si)	Fosfor (P)	Belerang (S)
0,05% -0,3%	0,4%-0,7%	< 0,4%	< 0,04%	< 0,05%



2.2.2 Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah adalah jenis baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,3% hingga 0,6%. Dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti kekerasan yang lebih tinggi, serta kekuatan tarik dan batas luluh (yield strength) yang lebih besar. Namun, baja ini tidak mudah dibentuk menggunakan mesin dan pengelasannya lebih sulit. Meskipun demikian, baja karbon menengah memiliki kemampuan dikeraskan dengan baik melalui proses quenching.

Baja jenis ini biasanya digunakan untuk komponen-komponen yang membutuhkan kekuatan mekanis tinggi, seperti poros (shaft), rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, dan bagian mesin lainnya yang memerlukan daya tahan dan kekuatan struktural.

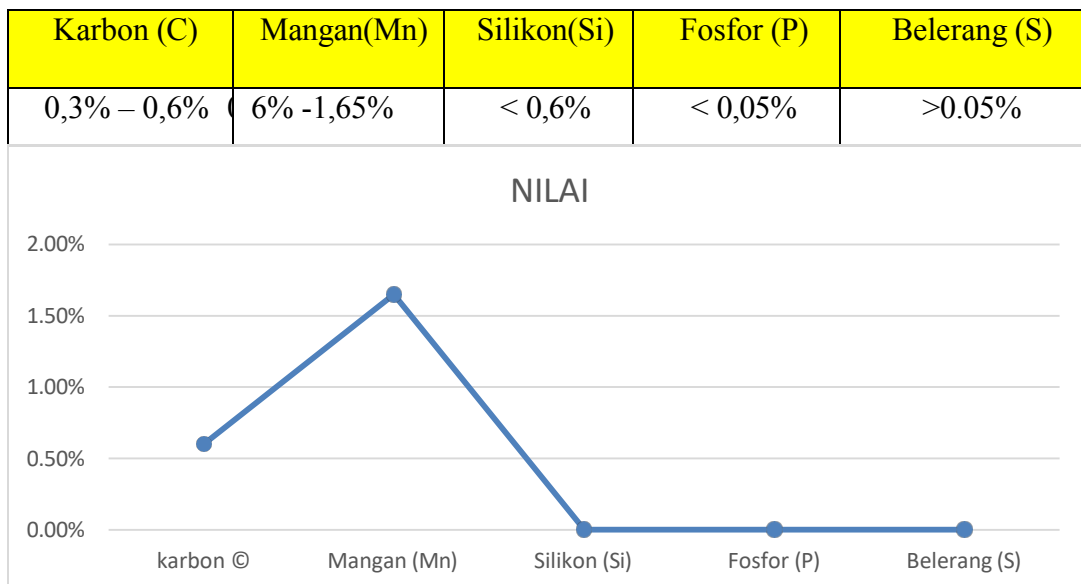
- **Komposisi Kimia Baja Karbon Menengah**

Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon yang berada dalam rentang 0,3% hingga 0,6%. Selain karbon, baja ini juga mengandung unsur-unsur lain seperti mangan, silikon, dan dalam beberapa kasus sejumlah kecil unsur tambahan seperti fosfor dan belerang. Kandungan mangan biasanya berkisar antara 0,6% hingga 1,65%, yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja, serta membantu dalam proses pengerasan.

Medium carbon steel umumnya diaplikasikan di bidang yang memerlukan kekuatan dan daya tahan tinggi, namun tetap mudah untuk difabrikasi dan dilas, serta menawarkan biaya yang lebih ekonomis dibandingkan baja karbon tinggi atau paduan khusus.

Unsur-unsur utama dalam baja karbon menengah adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 *kandungan baja karbon menengah*



2.2.3 Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan jenis baja dengan kandungan karbon antara 0,6% hingga 1,7%, yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, namun memiliki

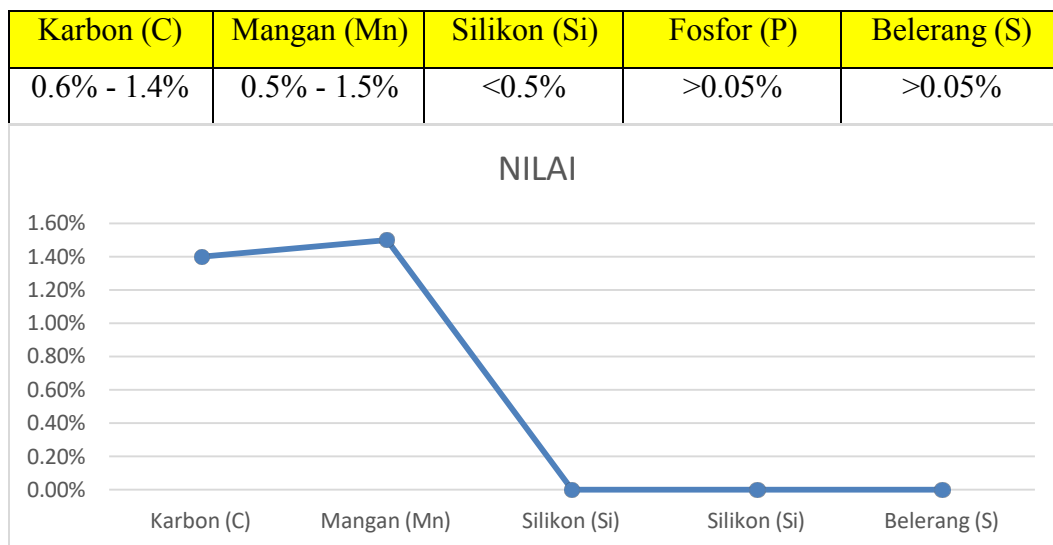
tingkat keuletan yang lebih rendah. Baja ini dikenal dengan kekuatan tariknya yang sangat tinggi, sehingga banyak dimanfaatkan sebagai material untuk peralatan (tools). Salah satu penggunaan utamanya adalah pada pembuatan kawat baja dan kabel baja. Karena kadar karbonnya yang tinggi, baja jenis ini juga umum digunakan dalam pembuatan pegas serta berbagai alat kerja seperti palu, gergaji, dan perkakas lainnya.

5

High-carbon steel sangat ideal untuk aplikasi dengan kebutuhan ekstrem akan ketahanan terhadap aus, tekanan, dan gesekan. Namun, penggunaannya di struktur besar dibatasi karena tingkat kerapuhannya yang tinggi

Berikut adalah rincian umum dari kandungan komposisi kimia pada baja karbon tinggi:

Tabel 2. 3 kandungan baja karbon tinggi



2.3 Baja ASTM A106

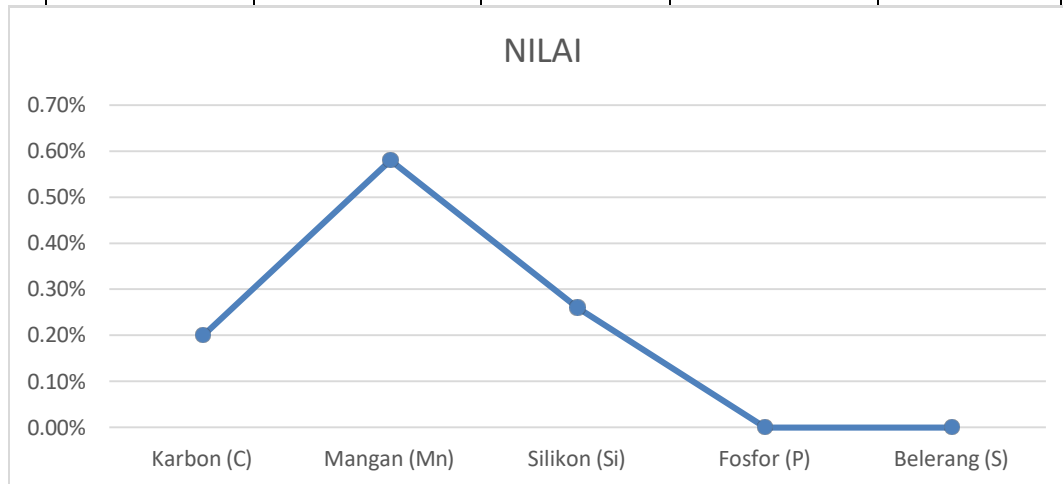
Baja ASTM A106 adalah jenis baja karbon rendah yang digunakan terutama dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu rendah. Baja ini diatur oleh *American Society for Testing and Materials (ASTM)* dalam standar *ASTM*. Baja ini sering digunakan dalam pembuatan pipa dan komponen struktural yang beroperasi pada suhu sangat rendah, seperti dalam industri minyak dan gas, terutama dalam aplikasi *cryogenic* (suhu rendah).

Data berdasarkan *mill certificate* kimia baja A106 ditunjukkan pada tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2. 4 kandungan baja karbon A106

(PT. Tubos Reunidos Group)

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silikon (Si)	Fosfor (P)	Belerang (S)
0.20%	0.58%	0.26%	>0.015%	>0.015%



2.3.1 Sifat mekanik baja

Berdasarkan data pada mill certificate pada tabel 2.5 sifat mekanik pada baja A106 adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Sifat mekanik pada baja A106

Product NO	Heat No	Tensile Test		
		YP (MPa)	TS (MPa)	EL (%)
0000365060	HFS LT -50 C SC	300	475	38

2.3.2 Sifat mekanik

Baja A106 adalah jenis baja karbon rendah yang digunakan terutama dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu rendah. Baja ini diatur oleh *American Society for Testing and Materials (ASTM)* dalam standar ASTM. Baja ini sering digunakan dalam pembuatan pipa dan komponen struktural yang beroperasi

pada suhu sangat rendah, seperti dalam industri minyak dan gas, terutama dalam aplikasi *cryogenic* (suhu rendah).

2.3.3 Mill Certificate

Mill Certificate atau *Material Test Certificate (MTC)* adalah dokumen resmi yang dikeluarkan oleh produsen material (pabrik atau "mill") untuk menunjukkan bahwa produk atau bahan yang mereka hasilkan sesuai dengan spesifikasi teknis dan standar yang telah ditetapkan. Sertifikat ini digunakan untuk memastikan kualitas dan karakteristik material sesuai dengan persyaratan dari standar industri atau spesifikasi khusus yang diberikan oleh pembeli.

2.4 Welding process

Welding process atau proses pengelasan adalah metode penyambungan dua atau lebih bahan, biasanya logam atau termoplastik, dengan cara mencairkan bahan-bahan tersebut di area sambungan menggunakan panas, tekanan, atau keduanya. Setelah material yang dipanaskan mendingin, bahan tersebut menyatu dan membentuk ikatan yang kuat. Pengelasan berbeda dari metode penyambungan lainnya, seperti *soldering* atau *brazing*, karena pengelasan melibatkan pencairan bahan dasar. Dalam banyak kasus, logam tambahan (*filler*) digunakan untuk membantu penyambungan dan memperkuat ikatan. Hingga saat ini, terdapat berbagai macam metode klasifikasi dalam bidang pengelasan. Hal ini terjadi karena belum adanya kesepakatan umum mengenai sistem pengelompokan tersebut. Secara konvensional, metode klasifikasi pengelasan dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu berdasarkan cara kerja dan sumber energi yang digunakan.

Klasifikasi pertama, yaitu berdasarkan cara kerja, membagi proses pengelasan menjadi beberapa jenis seperti las cair, las tekan, las patri, dan lainnya. Sementara itu, klasifikasi kedua, yang didasarkan pada sumber energi, mengelompokkan proses las menjadi las listrik, las kimia, las mekanik, dan sebagainya. Apabila dilakukan klasifikasi yang lebih rinci, kedua sistem tersebut dapat saling berpadu dan menghasilkan banyak kelompok pengelasan yang lebih spesifik.

Mesin las umumnya diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Mesin DC memiliki tegangan keluaran yang dapat bervariasi untuk menjaga kestabilan arus, sedangkan mesin dengan tegangan konstan akan menyesuaikan arus keluarannya untuk mempertahankan tegangan tetap. Jenis mesin DC sangat diperlukan pada proses Gas Metal Arc Welding (GMAW) dan Flux-Cored Arc Welding (FCAW) karena keduanya tidak

memungkinkan pengendalian panjang busur secara manual. Jika mesin DC digunakan pada proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW), fluktuasi kecil pada jarak busur dapat menyebabkan perubahan besar pada keluaran mesin.

Masing-masing proses pengelasan memiliki keunggulan tersendiri. Proses SMAW dapat digunakan untuk mengelas berbagai jenis logam ferrous maupun non-ferrous, seperti baja karbon, baja paduan rendah, stainless steel, paduan nikel, besi tuang, serta beberapa paduan tembaga. Proses GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) mampu menghasilkan sambungan las dengan mutu tinggi pada berbagai bahan logam. Sedangkan GMAW (Gas Metal Arc Welding) dapat dilakukan secara semi-otomatis maupun otomatis, menghasilkan lebih sedikit asap dan percikan dibandingkan SMAW, serta tidak meninggalkan slag yang perlu dibersihkan.

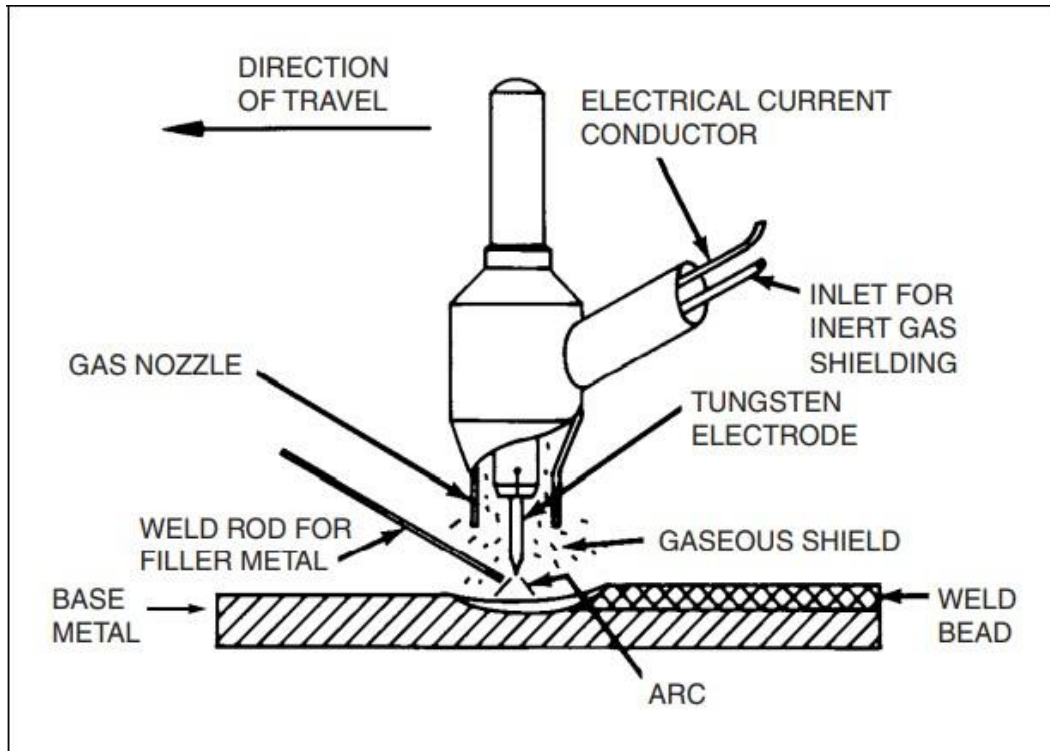
Namun, setiap proses juga memiliki kelemahan. Proses ESW (Electroslag Welding) dan EGW (Electrogas Welding) hanya dapat digunakan untuk penyambungan carbon steel dan low alloy steel pada posisi vertikal. Kelemahan utama proses GTAW adalah laju pengisian yang lebih rendah dibandingkan proses lain seperti SMAW. Meskipun SMAW tergolong efisien, peralatan pada proses GMAW relatif lebih mahal dan kompleks, baik dalam pemasangan maupun perawatannya. Selain itu, biaya kawat las dan gas pelindung pada GMAW juga lebih tinggi dibandingkan elektroda terbungkus, namun hal ini dapat diimbangi oleh tingginya produktivitas dan minimnya pemborosan.

2.4.1 Pengelasan GTAW

Pengelasan busur gas *tungsten (GTAW)*, atau *TIG (Gas Tungsten Inert)* Pengelasan, menggunakan elektroda *tungsten non-consumable* (tidak habis) untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi udara, terutama oksigen, nitrogen, dan hidrogen, yang dapat merusak sambungan las.

Pengelasan *GTAW (TIG)* adalah metode pengelasan yang menawarkan kualitas sambungan yang sangat baik, terutama untuk material tipis dan logam paduan dengan standar estetika atau teknis tinggi. Meskipun membutuhkan keterampilan yang lebih besar dan waktu lebih lama, hasilnya adalah sambungan las yang bersih, kuat, dan bebas dari kontaminasi, menjadikannya pilihan utama dalam aplikasi yang memerlukan presisi tinggi

Prinsip Kerja Pengelasan *GTAW* (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau *TIG* (*Tungsten Inert Gas*) melibatkan pembangkitan busur listrik antara elektroda tungsten non-consumable dan logam dasar yang akan disambungkan. Proses ini dilakukan dalam lingkungan yang dilindungi oleh gas inert (seperti argon atau helium) untuk mencegah kontaminasi dari udara yang dapat merusak kualitas las.



Gambar 2. 1 Prinsi kerja Pengelasan *GTAW*

2.4.2 Daerah lasan

Istilah "daerah lasan" mengacu pada area logam atau material yang terlibat langsung dalam proses pengelasan. Ini mencakup beberapa bagian yang mengalami perubahan fisik dan mekanik sebagai akibat dari panas yang dihasilkan selama proses. Area lasan terdiri dari tiga bagian utama:

1. *Weld metal* adalah komponen sambungan las yang terbuat dari kombinasi logam dasar yang mencair selama proses pengelasan dan kemudian mengeras untuk menyatukan dua atau lebih potongan logam dasar. Jika digunakan, logam pengisi, juga disebut logam dasar, ditambahkan selama proses pengelasan. Setelah mendingin, *weld metal* menjadi bagian penting dari sambungan, dan kualitasnya berdampak besar pada kekuatan dan daya tahan lasan.

2. *HAZ (Heat Affected Zone)*

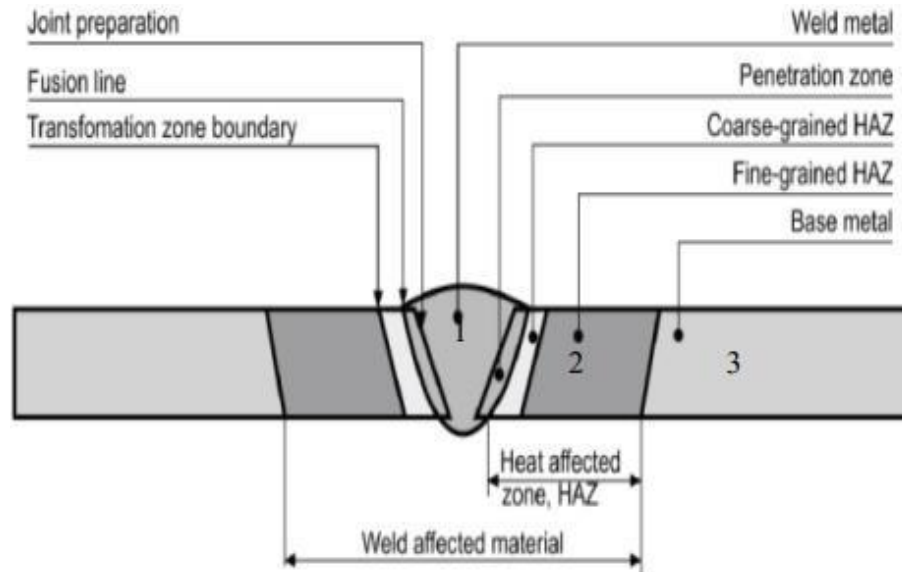
Daerah terpengaruh panas, juga dikenal sebagai *HAZ*, adalah bagian dari material dasar (base metal) di sekitar sambungan las. Area ini tidak mencair selama proses pengelasan, tetapi terpengaruh oleh panas yang dihasilkan oleh pengelasan. Ini mengubah struktur mikro material di area tersebut, yang mengakibatkan perubahan sifat mekanisnya, seperti kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan.

Karena paparan panas yang kuat, *HAZ* dapat mengalami perubahan sifat fisik dan kimia, membedakannya dari logam dasar yang tidak terpengaruh. Daerah *HAZ* dapat menjadi titik lemah jika proses pengelasan tidak dilakukan dengan baik

3. Base metal

Logam dasar, juga dikenal sebagai *base metal*, adalah logam asli yang dilas atau dipotong selama proses pengelasan, pemotongan, atau proses fabrikasi lainnya. Logam ini tidak meleleh sepenuhnya selama proses pengelasan, kecuali di daerah las logam (logam las) dan daerah yang terpengaruh panas (*HAZ*). Kualitas dan sifat mekanis logam dasar sangat penting untuk keberhasilan dan kekuatan sambungan las, karena logam dasar adalah bahan utama yang ingin disambungkan. Dalam kegiatan pembangunan kapal, kualitas hasil pengelasan merupakan aspek yang sangat diperhatikan. Oleh karena itu, tahap persiapan sebelum proses pengelasan selalu dilakukan untuk memperoleh hasil las yang optimal. Salah satu bentuk persiapan tersebut adalah pengkondisian benda kerja yang akan dilas serta penyiapan elektroda yang akan digunakan.

Namun, kondisi lingkungan kerja yang terbuka dan cuaca hujan sering kali menyebabkan pengkondisian benda kerja tidak berjalan dengan maksimal. Tempat kerja yang tidak terlindungi membuat benda kerja atau logam dasar (base metal) yang telah dipersiapkan atau digerinda sebelum pengelasan dapat menyerap kelembapan ketika dibiarkan semalaman atau terkena hujan.



Gambar 2. 2 Penamaan sistem zona dan batas daerah terpengaruh (HAZ)

6

2.5 Elektroda

Elektroda adalah komponen vital dalam proses pengelasan yang berfungsi untuk menghasilkan busur listrik dan, dalam banyak kasus, juga bertindak sebagai logam pengisi. Pemilihan elektroda yang tepat berdasarkan jenis proses pengelasan dan logam dasar sangat penting untuk memastikan kualitas sambungan las yang optimal. Memahami karakteristik dan fungsi elektroda akan membantu dalam mencapai hasil pengelasan yang baik dan efisien. Pengelasan tidak hanya sekadar proses memanaskan dua bagian logam hingga mencair dan menyatukannya kembali setelah dingin, tetapi juga merupakan upaya untuk menghasilkan sambungan yang kuat dengan menambahkan bahan pengisi atau elektroda selama proses pemanasan agar tercapai kekuatan sesuai yang diinginkan. Elektroda untuk las busur listrik

Menurut American Welding Society (AWS), elektroda diklasifikasikan dengan simbol “E” yang diikuti oleh empat digit angka. Huruf E menunjukkan bahwa elektroda tersebut digunakan untuk proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Dua angka pertama menunjukkan kekuatan tarik minimum elektroda dalam satuan PSI, angka ketiga menunjukkan posisi pengelasan yang dapat dilakukan, sedangkan angka terakhir menggambarkan jenis polaritas serta tipe

selaput(fluxcoating)elektrodatersebut.



Gambar 2. 3 Elektrode specification

- ER menunjukkan elektroda atau batang pengisi.
- XX menunjukkan kekuatan tarik minimum dari logam las yang diendapkan, diukur dalam ribuan pound per square inch (Ksi) atau pound per inch persegi (Psi). 18
- S adalah Singkatan dari kawat padat.
- Y menunjukkan komposisi kimia aditif seperti zat deoksidasi atau zat pembersih yang digunakan pada elektroda, dan juga dapat mempengaruhi pengaturan polaritas.

Sebagai mana Contoh elektroda dengan kode "ER70S-6":

- ER menunjukkan elektroda las atau kawat pengisi.
- 70 menunjukkan kekuatan tarik minimum logam las yang diendapkan harus 70 Ksi atau 70.000 Psi.
- S menyatakan ingkatan dari kawat padat.
- 6 mencerminkan jumlah zat pengoksidasi dan zat pembersih pada elektroda. Angka 6 berarti lebih banyak deoksidizer yang telah ditambahkan ke kawat, bermanfaat saat mengelas baja yang kotor atau berkarat.

Table 1
Chemical Composition Requirements for Solid Electrodes and Rods

AWS Classification ^b			Weight Percent ^a												
A5.18	A5.18M	UNS ^c Number	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu ^d	Ti	Zr	Al
ER70S-2	ER48S-2	K10726	0.07	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
ER70S-3	ER48S-3	K11022	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.75	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-4	ER48S-4	K11132	0.06 to 0.15	1.00 to 1.50	0.65 to 0.85	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-6	ER48S-6	K11140	0.06 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-7	ER48S-7	K11125	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00 ^e	0.50 to 0.80	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-G	ER48S-G	—	Not Specified ^f												

Gambar 2. 4 Chemical Composition Requirements ⁷

2.6 Kawat las LNT Ni2

Kawat las **Lincoln Ni2** adalah kawat pengisi yang dirancang khusus untuk pengelasan pada material yang memerlukan ketahanan terhadap suhu rendah dan kemampuan untuk mencegah retak.

mengenai komposisi kimia dan sifat mekanik dari kawat Las **Lincoln Ni2** dapat ditemukan di Tabel 2.6 dan Tabel 2.7

CHEMICAL COMPOSITION (W%) TYPICAL WIRE	
C	0.1
Mn	1.1
Si	0.55
Ni	2.4

Tabel 2. 6 kimia kawat elektroda Lincoln Ni2

MECHANICAL PROPERTIES, TYPICAL, ALL WELD METAL		
<i>Yield strength</i> (N/mm ²)	<i>Tensile strength</i> (N/mm ²)	<i>Elongation (%)</i>
525	605	28

Tabel 2. 7 Sifat mekanik kawat elektroda Lincoln Ni2 (Ni2.5, 2016)

2.7 Tipe sambungan las

Terdapat beberapa tipe sambungan las yang umum digunakan dalam pengelasan, masing-masing dengan karakteristik dan aplikasi tertentu. Berikut adalah tipe-tipe sambungan las yang paling umum:

1. *(Butt Joint)*

Sambungan Butt Joint adalah jenis sambungan las di mana dua bagian logam disambungkan secara langsung pada tepi mereka. Sambungan ini tidak melibatkan tumpang tindih; kedua bagian diletakkan sejajar dan disambungkan di sepanjang tepi. Sambungan butt joint sering digunakan dalam berbagai aplikasi pengelasan karena memberikan kekuatan dan integritas struktural yang baik.

2. *Tee joint*

Sambungan tee, juga dikenal sebagai sambungan "T", digunakan dalam berbagai aplikasi pengelasan dan konstruksi, terutama untuk menghubungkan komponen dengan sudut 90 derajat.

3. *lap joint*

adalah jenis sambungan las di mana dua bagian logam saling tumpang tindih dan dilas di sepanjang tepi tumpang tindih tersebut. Sambungan ini sering digunakan untuk menghubungkan material yang lebih tipis dan memudahkan proses pengelasan.

4. *Edge joint*

Untuk memperkuat tepi material yang tipis dan memungkinkan pengelasan di area yang sulit dijangkau, dua bagian logam disambungkan pada tepi mereka tanpa saling tumpang tindih.

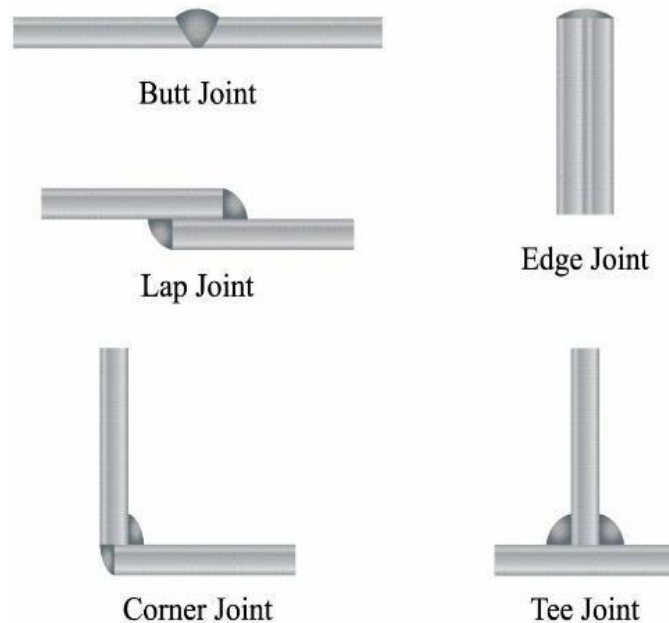
5. *Corner joint*

Sambungan Corner Joint adalah jenis sambungan las di mana dua bagian logam disambungkan pada sudut, membentuk sudut 90 derajat. Sambungan ini sering digunakan dalam konstruksi dan fabrikasi, terutama ketika membangun struktur berbentuk kotak atau sudut.

Corner joint adalah jenis sambungan pada bagian sudut yang terbagi menjadi dua tipe, yaitu close corner, di mana satu material diletakkan menumpuk di atas material lainnya, serta open corner, di mana kedua material saling bertemu pada bagian ujung. Jenis sambungan ini umumnya digunakan dalam pembuatan kotak atau lemari logam, rangka pintu dan jendela, serta konstruksi sudut pada meja maupun kursi. Agar hasil pengelasan maksimal, sudut sambungan harus dipasang

dengan presisi, dan untuk material dengan ketebalan lebih besar, disarankan membuat alur (groove) guna meningkatkan penetrasi las.

Welding Types



Gambar 2. 5 *Welding types joint*⁸

2.8 *Welding position*

Dalam proses pengelasan, posisi pengelasan, juga dikenal sebagai "*Welding Position*", sangat penting karena berhubungan langsung dengan cara pengelasan melakukan lasan pada berbagai sudut dan orientasi. Posisi pengelasan diklasifikasikan berdasarkan sudut dan arah benda kerja yang dilas, serta cara elektrode atau alat las bergerak. Pengelasan *groove* dan *fillet* memiliki empat posisi pengelasan utama. Proses pengelasan pada plat kapal baru umumnya dilakukan dengan metode bolak-balik, yaitu pengelasan dilakukan terlebih dahulu pada sisi depan, kemudian dilanjutkan pada sisi belakang. Pada metode ini digunakan jenis sambungan butt joint dengan bentuk alur square groove. Namun, pengisian logam cair pada sambungan tersebut sering kali tidak optimal, sehingga menimbulkan keregangan (getas) bahkan kebocoran pada hasil las.

Apabila terjadi kebocoran, diperlukan proses perbaikan (repair welding) yang dapat menghabiskan waktu dan biaya cukup besar. Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan penelitian dengan menerapkan alur las tipe double-V groove.

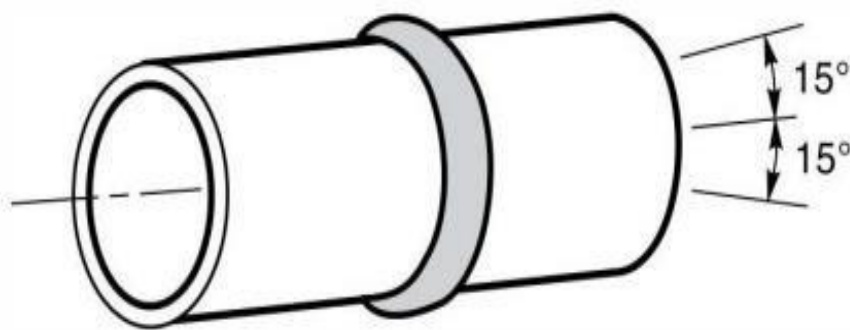
Diharapkan melalui metode ini, logam cair dapat mengisi celah sambungan secara menyeluruh, sehingga dapat mengurangi risiko getas dan kebocoran pada plat kapal. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan keuletan sambungan las, sehingga dapat dievaluasi tingkat efisiensi proses penyambungan yang dihasilkan.

Terdapat beberapa jenis posisi pengelasan, yang diklasifikasikan berdasarkan orientasi benda kerja dan teknik yang diperlukan untuk pengelasan. Berikut adalah beberapa jenis posisi pengelasan:

1. *Groove weld* adalah jenis sambungan las di mana dua bagian logam disambungkan sehingga terbentuk celah (*groove*) di antara permukaan yang akan dilas, *Groove Weld* disingkat huruf G. Selama proses pengelasan, logam las memenuhi celah ini, yang membuat penetrasi las yang dalam.

- 1G (*Flat Position*)

adalah posisi pengelasan di mana benda kerja yang dilas berada dalam posisi horizontal (datar), dan pengelasan dilakukan di bagian atas benda kerja.

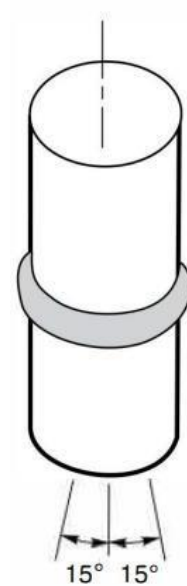


Gambar 2. 6 Flat Welding Test Position 1G⁹

- 2G (*Horizontal Position*)

adalah salah satu posisi pengelasan untuk *groove weld*, di mana benda kerja dipasang dalam posisi vertikal, tetapi pengelasan dilakukan secara horizontal pada sambungan. Ini berarti pengelas harus menggerakkan elektroda secara horizontal di sepanjang sambungan las, sementara logam

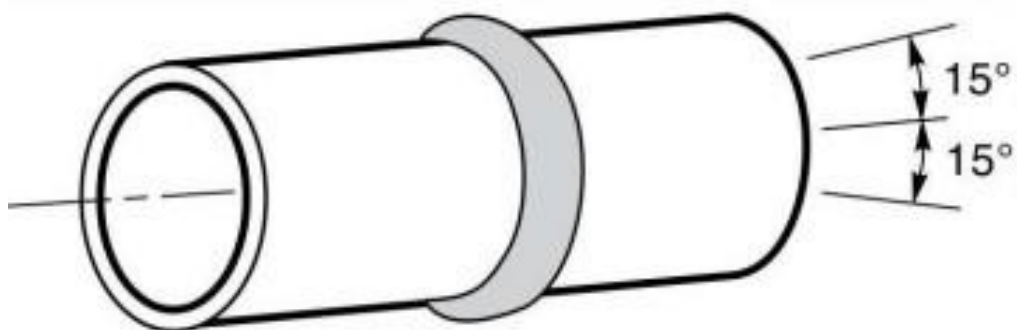
cair harus dipertahankan dalam posisi tetap, mengingat gravitasi dapat mempengaruhi hasil pengelasan.



Gambar 2. 7 Horizontal Welding Test Position 2G⁹

- Posisi pengelasan 5G

adalah salah satu posisi pengelasan pipa yang digunakan dalam industri, di mana pipa ditempatkan dalam posisi horizontal (mendatar), tetapi tidak dapat diputar selama proses pengelasan. Pengelasan dilakukan mengelilingi pipa dalam beberapa arah (searah jarum jam atau melawan arah), mulai dari bawah hingga bagian atas.

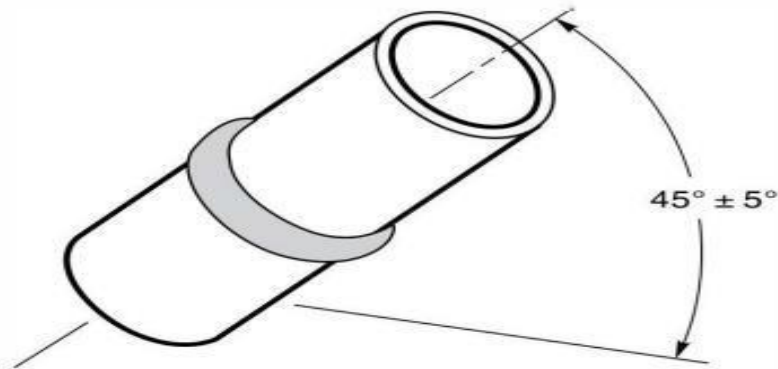


Gambar 2. 8 Flat, Vertical, Horizontal Welding Test Position 5G⁹

- Posisi 6G

Dalam posisi pengelasan pipa 6G, pipa dimiringkan pada sudut 45 derajat dan pengelasan dilakukan di sekelilingnya. Selama proses

pengelasan, pipa tidak dapat diputar, sehingga pengelas harus dapat melakukan pengelasan dalam berbagai sudut dan orientasi.



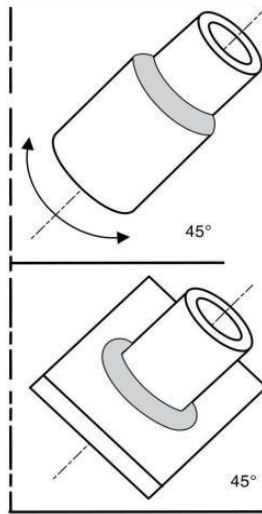
Gambar 2. 9 *Multiple Welding Test Position 6G*⁹

2. *Fillet weld*

adalah jenis sambungan las yang digunakan untuk menghubungkan dua permukaan logam yang berada pada sudut atau tumpuan satu sama lain. Biasanya, *fillet weld* dilakukan di tempat di mana dua potongan logam bersinggungan pada sudut 90 derajat, tetapi bisa juga digunakan pada sudut lainnya. Tidak seperti *groove weld* yang mengisi celah di antara dua logam, *fillet weld* mengisi sudut yang terbentuk di antara dua permukaan logam.

- Posisi 1F

Dalam pengelasan pipa, posisi 1F menunjukkan pengelasan *fillet* di atas permukaan pipa yang datar, dengan pipa dalam orientasi horizontal. Posisi 1F merupakan posisi pengelasan yang paling mudah dan sering dijadikan standar bagi pemula, karena umumnya hanya membutuhkan satu tangan untuk mengendalikan alat las. Posisi ini digunakan pada sambungan fillet (las sudut) dengan orientasi datar atau horizontal, di mana arah pengelasan dilakukan dari bagian atas sehingga gravitasi membantu aliran logam cair ke bawah menyoroti pengujian, karakteristik, maupun perbaikan hasil las pada posisi ini.

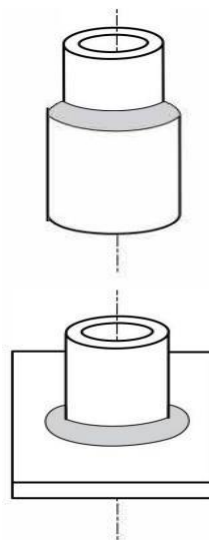


Gambar 2. 10 Flat Welding Test Position 1F⁹

- Posisi 2F

Dalam konteks pengelasan pipa, posisi 2F adalah posisi pengelasan *fillet* horizontal. Pada posisi ini, pipa dipasang dalam orientasi vertikal, dan pengelasan pada sambungan dilakukan secara horizontal.

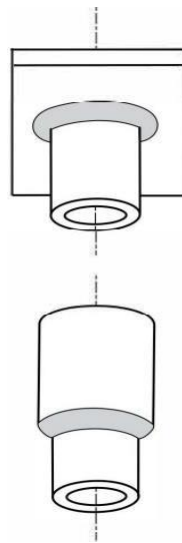
Secara keseluruhan, posisi pengelasan 2F adalah pilihan yang efektif dan efisien untuk berbagai aplikasi fabrikasi, terutama ketika akses mudah dan sambungan yang kuat diperlukan.



Gambar 2. 11 Horizontal Welding Test Position 2F⁹

- Posisi 4F

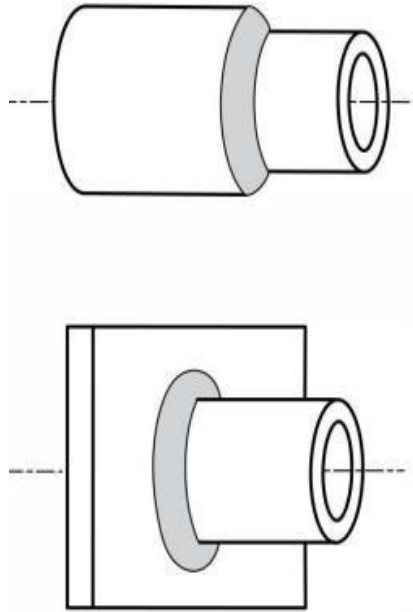
Posisi 4F (*Overhead Position*) untuk pipa adalah salah satu posisi pengelasan di mana pengelasan dilakukan di bagian bawah pipa yang berada di atas kepala pengelas. Sambungan las berbentuk fillet (sambungan sudut antara dua logam) dikerjakan dari bawah ke atas, dengan permukaan benda kerja berada di atas kepala si pengelas. Struktur konstruksi yang tidak bisa diputar atau dipindahkan, sehingga pengelasan harus dilakukan dari posisi tetap. Angka "4" menunjukkan posisi overhead, sedangkan huruf "F" menandakan jenis sambungan fillet weld.



Gambar 2. 12 *Overhead Welding Test Position 4F*⁹

- Posisi 5F

Untuk pipa yang digunakan dalam pengelasan *fillet*, posisi 5F adalah posisi pengelasan terbaik. Pada posisi ini, pipa dipasang secara vertikal tetapi tidak dapat diputar, dan pengelasan dilakukan di sepanjang sambungan *fillet* di antara pipa dan benda kerja yang terhubung, biasanya pelat atau pipa lain.



Gambar 2. 13 Multiple Welding Test Position 5F⁹

2.9 Cacat Pengelasan

Cacat las atau *welding defect* Kondisi di mana pengelasan tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan—misalnya, *ASME*, *ASTM*, *AWS*, *API*, atau *ISO*—disebut cacat las. Munculnya cacat las atau cacat las ini dapat disebabkan oleh prosedur pengelasan yang salah atau tidak akurat, persiapan yang kurang, dan peralatan yang tidak sesuai. Ada dua jenis cacat las pada pengelasan. Yang pertama adalah cacat las internal, yang terlihat di dalam hasil lasan, dan yang kedua adalah cacat las visual, yang dapat dilihat dengan mata. Dalam proses pengelasan, sering kali muncul berbagai permasalahan seperti cacat las yang disebabkan oleh kesalahan pada saat pelaksanaan pengelasan. Kerusakan pada hasil las umumnya terjadi akibat proses pengelasan yang kurang baik, di mana beban berulang pada material selama proses tersebut dapat memperparah kondisi cacat dan menyebabkan kerusakan baik pada permukaan maupun di bawah permukaan logam.

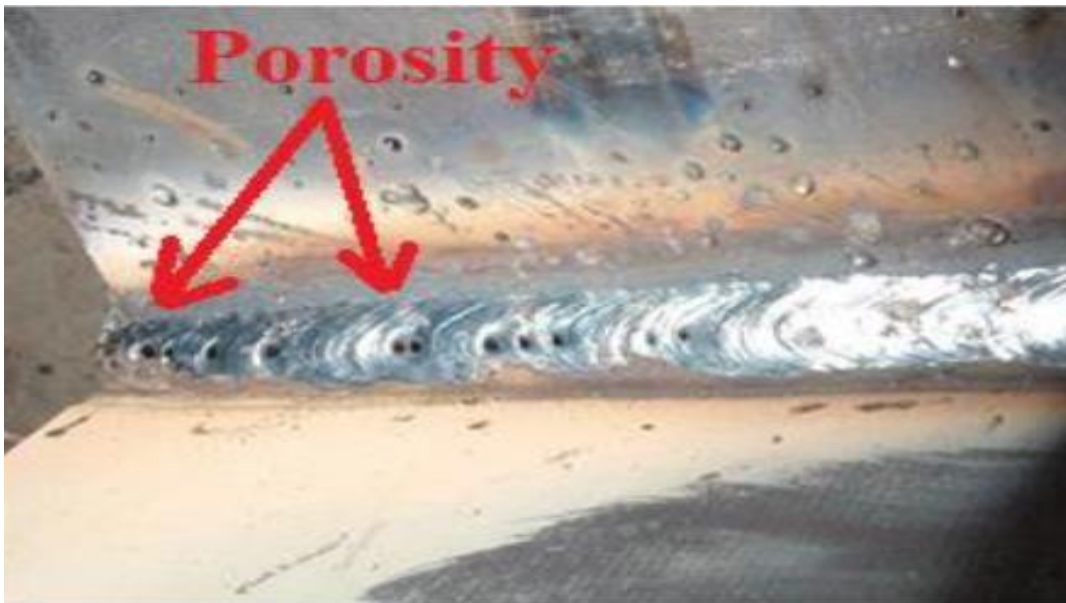
Untuk mendeteksi adanya retak (*crack*) atau kerusakan serupa tanpa merusak material yang diuji, digunakan metode Non-Destructive Test (NDT). Salah satu teknik dalam pengujian NDT adalah Eddy Current Testing (ECT), yaitu metode yang bekerja berdasarkan prinsip dasar kelistrikan dan kemagnetan (elektromagnetik) dalam proses pengujiannya.

. Berikut ini adalah beberapa jenis jenis cacat yang sering ditemui dalam pengelasan :

1. *Porosity*

Porosity yaitu jenis cacat las yang disebabkan oleh udara atau gas yang terkurung oleh las, sehingga dalam las terjadi rongga-rongga besar ataupun kecil dan disebabkan oleh kecepatan las yang terlalu tinggi dan kondisi pengelasan yang kurang mendukung¹⁰. Selama proses pengelasan, porositas sering diabaikan karena kurangnya perhatian welder terhadap prosedur pengelasan (*Welding Procedure Specification/WPS*).

Jika porositas tidak diperhatikan, hal ini dapat mempercepat kerusakan pada konstruksi las, khususnya di daerah sambungan. Misalnya, rongga udara yang terbentuk akibat porositas dapat berkembang akibat beban dan getaran, sehingga butiran porositas tersebut menyatu membentuk garis memanjang yang berpotensi menjadi retakan pada sambungan las.



Gambar 2. 14 *Porosity*¹¹

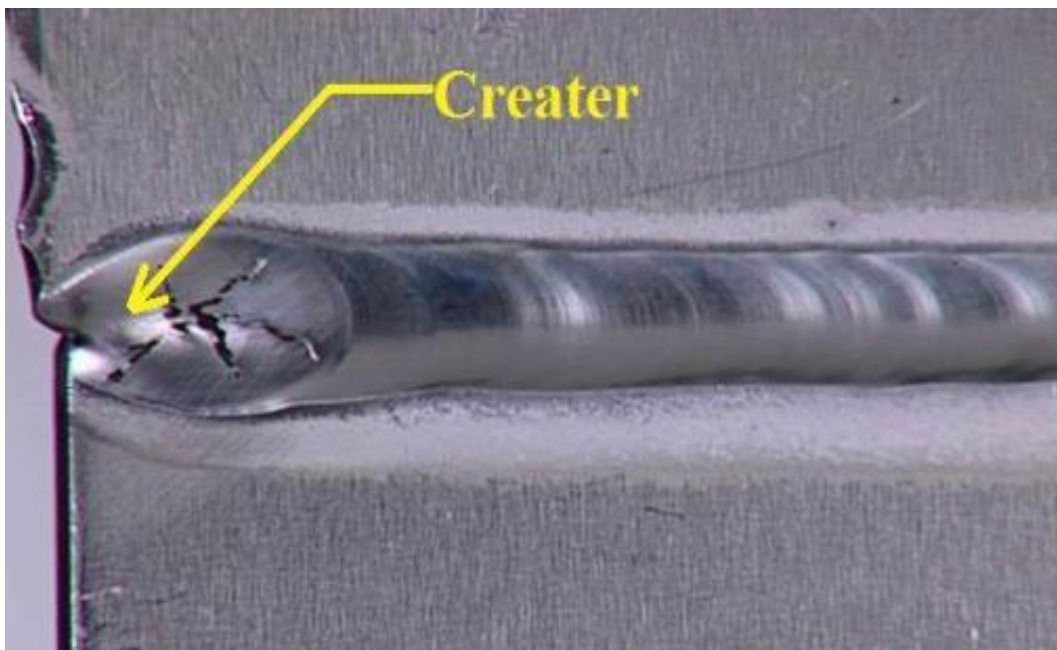
2. *Crack* (retak)

yaitu kerusakan las yang terjadi karena guncangan selama proses pengelasan yang menyebabkan retakan pada area las. Umumnya disebabkan oleh komposisi kimia yang tidak sesuai dan kecepatan pendinginan yang tinggi. crack merupakan jenis retak yang muncul ketika logam masih dalam kondisi panas setelah

pengelasan. Cacat ini umumnya disebabkan oleh pemilihan elektroda yang tidak sesuai serta tidak adanya perlakuan panas pada material.

Untuk mengatasinya, disarankan menggunakan elektroda jenis low-hydrogen dan melakukan pemanasan awal (preheat) atau perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT). Sementara itu, cold crack adalah retak yang muncul beberapa waktu setelah proses pengelasan selesai, biasanya akibat pendinginan yang terlalu cepat, arus pengelasan terlalu rendah, kecepatan gerak (travel speed) terlalu tinggi, atau tidaknya dilakukan preheat.

Pencegahannya dapat dilakukan dengan memperlambat laju pendinginan, menyesuaikan arus serta kecepatan pengelasan sesuai Welding Procedure Specification (WPS), dan melakukan preheat khususnya pada material dengan nilai Carbon Equivalent (CE) lebih dari 0,40.

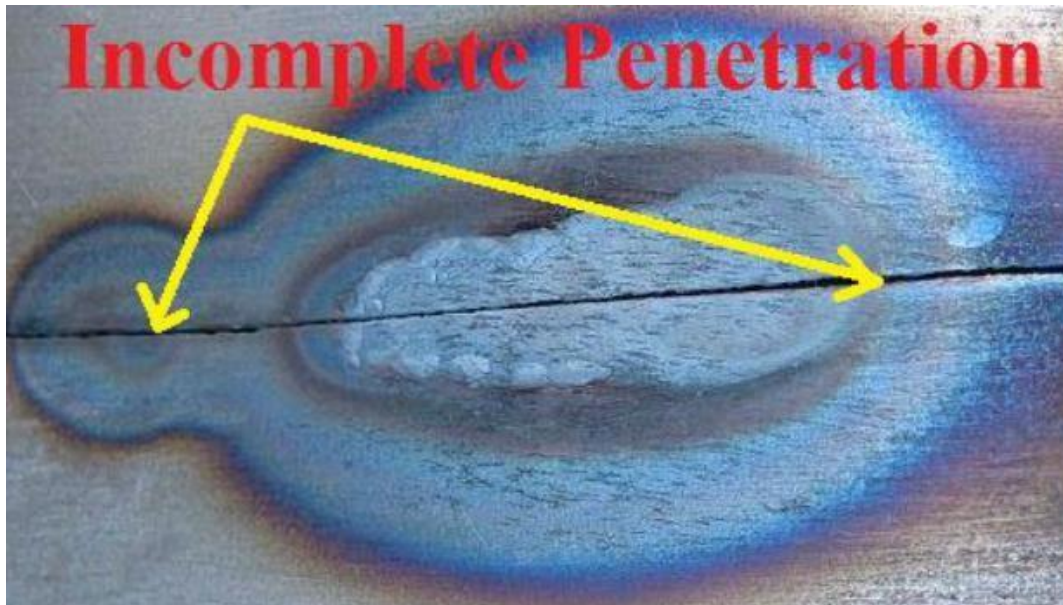


Gambar 2. 15 Crack¹¹

3. *Incomplete Penetration*

Incomplete Penetration adalah cacat las yang terjadi karena pengisian las yang tidak sempurna pada kaki las.¹⁰ *Incompletely Filled Groove* atau *Incomplete Penetration* adalah kecacatan pada sambungan las yang terjadi ketika alur logam tidak terisi sepenuhnya, juga dikenal sebagai kecacatan penembusan yang tidak lengkap. Kegagalan ini biasanya disebabkan oleh kurangnya pemendapan logam las,

pemilihan ukuran elektroda yang tidak sesuai, atau teknik pengelasan yang kurang tepat. Untuk mengatasinya, disarankan meningkatkan pemendapan logam las, menggunakan ukuran elektroda yang sesuai, dan menerapkan teknik pengelasan yang benar.



Gambar 2. 16 Incomplete Penetration¹¹

4. *Incomplete Fusion*

Incomplete Fusion adalah jenis cacat las yang disebabkan oleh posisi las yang salah, permukaan kampuh yang kotor, dan kecepatan las yang terlalu tinggi, yang menyebabkan ketidaksesuaian antara material las.¹⁰



Gambar 2. 17 Incomplete Fusion¹¹

5. *Undercut*

Undercut adalah cacat las yang terjadi ketika metal induk terbakar selama proses pengelasan, menyebabkan lekukan pada kaki pinggirannya. Penggunaan arus las yang terlalu tinggi dapat menghasilkan panas berlebih, yang menyebabkan logam dasar meleleh lebih banyak di sekitar tepi las ¹⁰



Gambar 2. 18 *Undercut* ¹¹

2.10 *Fit up*

Istilah "*fitting/fit up*" digunakan dalam proses pengelasan dan mengacu pada perubahan dan persiapan dua atau lebih bagian logam yang akan dipasang sebelum proses pengelasan. Tahap-tahap ini termasuk pemotongan, penyambungan, dan penempatan bagian untuk memastikan bahwa mereka terpasang dengan benar dan sesuai dengan spesifikasi desain Sangat penting untuk menghindari distorsi atau melampaui batas toleransi distorsi selama proses *fit up*. Jika ada distorsi yang melebihi batas toleransi (± 1 mm), perbaikan harus dilakukan ¹².

fit up inspeksi dapat diartikan sebagai pemeriksaan secara teliti terhadap peraturan, tugas, atau aspek tertentu. Dalam konteks pengendalian kualitas (*Quality Control*), inspeksi merujuk pada pemeriksaan mendetail terhadap suatu produk untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar dan aturan yang berlaku.



Gambar 2. 19 *Fit up Inspection (Dokumentasi Pribadi, 2024)*

2.11 Visual inspection

Inspeksi visual adalah pemeriksaan peralatan dan struktur yang menggunakan indera manusia seperti sentuhan, penciuman, pendengaran, dan penglihatan. Perangkat seperti kaca pembesar berdaya rendah, boroskop, serat optik, boreskop video digital, sistem kamera, dan sistem *crawler* robot kadang-kadang digunakan bersamaan dengan inspeksi visual. Meskipun tidak kalah penting, inspeksi visual adalah metode kontrol pengujian *non-destruktif* yang paling dasar.¹³.

Pemeriksaan visual memungkinkan deteksi langsung cacat permukaan pada las seperti retakan, porositas, undercut, overlap, crater, atau kurangnya fusi sehingga masalah dapat diketahui sejak dini dan tidak berkembang menjadi kerusakan serius atau kegagalan struktur. Jika ditemukan indikasi cacat atau kejanggalan, lanjutkan pemeriksaan dengan metode NDT seperti penetrant, partikel magnetik, ultrasonik, atau radiografi agar sambungan las dapat dinilai lebih komprehensif dari permukaan hingga bagian dalam—menjamin kesesuaian dan keandalan struktur tersebut.

Inspeksi visual dilakukan dengan cara mengamati secara langsung menggunakan mata, sehingga hanya bagian luar sambungan las yang dapat diperiksa. Metode ini memiliki keterbatasan, yaitu sangat bergantung pada ketajaman penglihatan pemeriksa (inspektor). Secara umum, proses inspeksi pengelasan terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu Quality Control (QC) dan Quality Assurance (QA).

1. QualityControl(QC)

Tujuan dari QC adalah untuk menilai dan mengendalikan kualitas sambungan las, serta memastikan bahwa proses pengelasan telah sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Langkah-langkah QC dalam inspeksi visual meliputi:

- a. Pemeriksaan visual dan pengukuran dimensi untuk mendeteksi adanya penyimpangan atau cacat pada permukaan las.
- b. Menentukan kelayakan hasil pengelasan, apakah dapat diterima atau harus ditolak berdasarkan kriteria yang tercantum dalam standar acuan.
- c. Melakukan pengujian lanjutan bila diperlukan untuk mendeteksi keberadaan, ukuran, jumlah, serta posisi cacat internal yang tidak tampak secara langsung.

Berdasarkan hasil pemeriksaan, diputuskan apakah cacat tersebut masih dalam batas toleransi atau perlu dilakukan perbaikan sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Quality Assurance (QA)

Tujuan dari QA adalah untuk memastikan bahwa pelaksanaan QC dilakukan dengan benar oleh pihak pelaksana. Dengan adanya QA, secara tidak langsung diberikan jaminan bahwa kegiatan QC telah sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan.



Gambar 2. 20 *Visual Inspection* ¹⁴.

2.12 Non Destructive Test

Material merupakan hal yang sudah sangat dikenal oleh masyarakat, terutama dalam dunia industri, baik yang berbasis logam maupun non-logam. Namun, untuk memperoleh material dengan kualitas baik, diperlukan pengujian material sebagai bagian dari pengendalian mutu (quality control). Saat ini, pengujian material telah banyak diterapkan di berbagai bidang, seperti permesinan, konstruksi, dan sektor industri lainnya, karena sifat material dapat diubah, sehingga pengetahuan mengenai material terus berkembang seiring waktu.

Dalam praktiknya, terdapat dua jenis pengujian material, yaitu pengujian tidak merusak (Non-Destructive Test/NDT) dan pengujian merusak (Destructive Test/DT). Sesuai namanya, DT (Destructive Test) merupakan metode pengujian yang merusak material, sedangkan NDT (Non-Destructive Test) dilakukan tanpa merusak benda uji. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada tujuan dan dampak terhadap material.

NDT dilakukan untuk mengevaluasi kondisi material tanpa menyebabkan kerusakan, biasanya digunakan saat inspeksi dan perawatan (maintenance) guna mendeteksi adanya cacat atau kerusakan internal pada benda kerja. Sebaliknya, DT bertujuan untuk mengetahui performa material, sehingga dalam prosesnya material dapat mengalami kerusakan karena diuji hingga mencapai batas maksimum kekuatannya. Oleh sebab itu, DT umumnya dilakukan setelah material selesai

diproduksi, untuk memastikan daya tahan terhadap beban atau gangguan baik dari dalam maupun luar.

Dari sisi penggunaan alat, NDT umumnya menggunakan media atau bahan bantu lain sebagai pendeteksi tanpa kontak langsung dengan mesin uji, sehingga tidak merusak material. Contohnya adalah Dye Penetrant Test (DPT) yang menggunakan cairan penetran untuk mengidentifikasi retakan halus di permukaan logam. Sedangkan pada DT, material langsung diuji menggunakan mesin atau instrumen mekanik, seperti pengujian tarik (*tensile test*) di mana logam ditarik hingga putus untuk mengukur kekuatannya.

Pemilihan bahan yang akan digunakan dalam konstruksi sangat berkaitan dengan kualitas material pengujian. Teknik pengujian tidak merusak atau *non-destructif (NDT)* sudah biasa di industri. Metode ini menentukan kualitas material sehingga produsen dapat bertanggung jawab atas produk yang dibuat. Pengujian tidak merusak atau *non-destructif (NDT)* adalah salah satu pengujian yang paling umum digunakan. Tujuan pengujian *NDT* adalah untuk menentukan apakah sebuah material cacat atau tidak. *Inspection Visual, Liquid Penetrant, Magnetic Particle Inspection, Eddy Current, Ultrasonic Inspection, Radiographic Inspection, dan Acoustic Emission Testing* adalah beberapa dari pengujian tidak merusak atau *non-destructif* ini ¹³

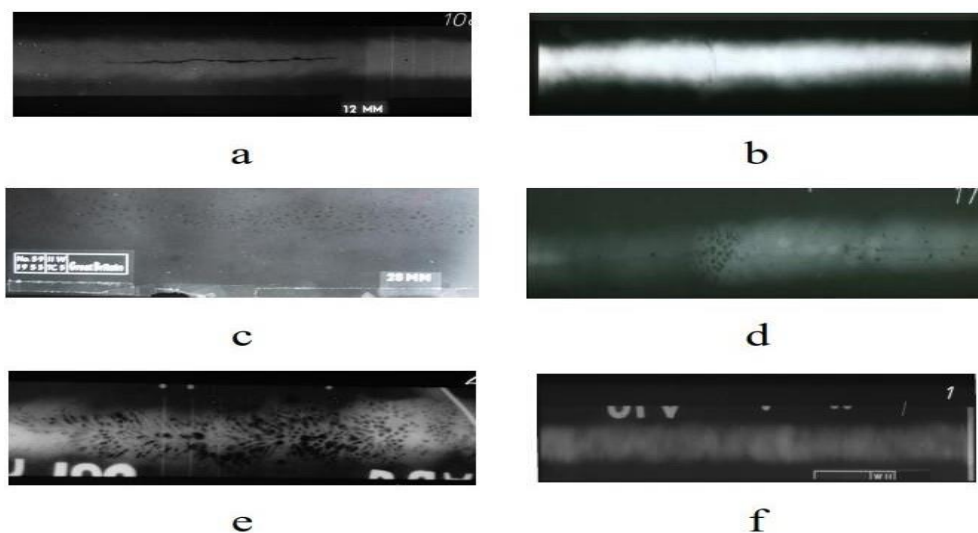
Pengelasan pada pipa biasanya menggunakan metode *Non destruktif test (NDT) radiographic testing. Radiographic Testing (RT)* digunakan secara luas pada pipa karena berbagai alasan, terutama terkait dengan kemampuan metode ini untuk mendeteksi cacat internal yang dapat mempengaruhi kekuatan dan integritas sambungan las.

2.12.1 Radiographic Testing

Radiografi adalah salah satu uji tanpa merusak yang menggunakan sinar X atau sinar gamma yang mampu menembus hampir semua logam kecuali timbal dan material padat lainnya sehingga dapat digunakan untuk mengungkapkan cacat atau ketidaksesuaian dibalik dinding metal atau didalam bahan itu sendiri ¹⁵

Proses pemeriksaan radiografis bergantung pada perbedaan dalam kepadatan material yang diperiksa. Ketika sinar X atau sinar gamma diarahkan ke suatu objek, bahan yang lebih padat menyerap sebagian besar sinar tersebut, sementara bahan yang kurang padat (seperti rongga atau cacat) menyerap sebagian lainnya. Sinar yang menembus material kemudian ditangkap oleh detektor, seperti detektor digital atau film fotografi.

Gambar yang dibuat setelah radiasi melewati material oleh detektor menunjukkan variasi dalam ketebalan dan densitas. Gambar ini dapat menunjukkan cacat seperti retakan, porositas, atau inklusi yang tidak diinginkan.



Gambar 2. 21 Cacat las dengan hasil fim radiographic ¹⁶

2.12.2 PIPING CODE & STANDARD

3. ASME B31.3

ASME B31.3 adalah standar yang mengatur desain, fabrikasi, pemasangan, pengujian, dan inspeksi proses perpipaan untuk industri gas, minyak, dan petrokimia. Dalam proses pengujian radiografi, juga dikenal sebagai pengujian radiografi, radiografi digunakan untuk mengidentifikasi cacat dalam material perpipaan atau sambungan las (*welds*), seperti retakan, porositas, atau *Lack of fusion*. Standar ini mengklasifikasikan cacat sebagai penerimaan atau penolakan berdasarkan tingkat keparahan yang diizinkan. Pengujian harus dilakukan dengan memenuhi persyaratan kode dan sesuai dengan prosedur yang disetujui. Sumber radiasi, seperti sinar-X atau sinar gamma, harus memiliki penetrasi cukup untuk mengungkap cacat internal. Teknik radiografi, apakah *single-wall* atau *double-wall exposure*, bergantung pada

geometri perpipaan. Film hasil radiografi harus diperiksa oleh personel bersertifikasi, biasanya tingkat II atau III sesuai *ASNT SNT-TC-1A* atau *ISO 9712*.

ASME B31.3 menetapkan batas toleransi untuk interpretasi cacat. Laporan inspeksi, catatan evaluasi, dan film radiografi hasil pengujian harus disimpan sebagai dokumentasi kualitas *ASME B31.3*. Penggunaan parameter tertentu, seperti ukuran cacat maksimum, untuk menentukan apakah las atau material dapat diterima. Singkatnya, proses radiografi yang digunakan dalam *ASME B31.3* dimaksudkan untuk memastikan bahwa perpipaan proses aman dan andal dengan menemukan cacat pada tahap fabrikasi atau pemasangan.

4. *ASME B31.1*

Kode penting lainnya dari *ASME, B31.1*, berkonsentrasi pada sistem perpipaan daya, khususnya yang ditemukan di pembangkit listrik, fasilitas industri, dan sistem pemanas. *ASME B31.1* memberikan pedoman untuk desain, konstruksi, dan operasi, yang menekankan pada keselamatan dan efisiensi Pengujian sistem perpipaan seperti *hydrostatic testing* dan inspeksi visual. Standar ini juga mencakup tentang perpipaan eksternal pada boiler tenaga dan boiler air suhu tinggi serta tekanan tinggi, yaitu sistem pipa di mana uap atau *superposed vapor* dihasilkan pada tekanan lebih dari 15 psig (100 kPa), serta air bertekanan dan suhu tinggi yang dihasilkan pada tekanan di atas 160 psig (1.103 kPa) dan/atau suhu melebihi 250 °F (120 °C).

5. *ASME B31.4 – Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries*

ASME B31.4 merupakan standar teknis yang dikeluarkan oleh *American Society of Mechanical Engineers (ASME)* dengan judul *Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries*, yang menetapkan ketentuan terkait perancangan, pembangunan, pemeriksaan, pengujian, dan pengoperasian sistem perpipaan yang digunakan untuk mengangkut cair dan slurry, termasuk desain, material, konstruksi, perakitan, inspeksi, pengujian, operasi, dan pemeliharaan pipa yang mengangkut cairan seperti minyak mentah, gas alam cair, LPG, CO₂, alkohol cair, amonia anhidrat cair, dan produk minyak bumi lainnya. Dalam *ASME B31.4*, piping mencakup elemen seperti pipa, flensa, baut, gasket, katup, perangkat pelepas tekanan, fitting, serta semua bagian yang menahan tekanan termasuk hanger dan penyangga yang dirancang untuk mencegah kelebihan beban.