

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pengelasan

Pengelasan (welding) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinu (Siswanto, 2011). Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena proses ini, logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal (Okumura, 1979). Menurut Deutsche Industrie Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses di mana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Prasetyo, 2015). Pengelasan dibedakan pada cara kerja alat tersebut dan bentuk pemanasannya (Wiryosumarto dkk., 2000). Pengklasifikasian pengelasan berdasarkan cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelas utama, yaitu :

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api yang terbakar
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian, pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

2.1.2 Las SMAW

Pengelasan SMAW pada umumnya disebut dengan las listrik atau las busur manual atau disebut juga dengan pengelasan metal manual arc (MMA). Pada proses pengelasan SMAW ini digunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Panas tersebut ditimbulkan oleh loncatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan pelat yang akan dilas). Panas yang timbul dari loncatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000 °C sampai 4500 °C. Sumber tegangan yang digunakan ada dua macam, yaitu listrik AC (arus bolak-balik) dan listrik DC (arus searah). Tegangan yang dipakai hanya berkisar antara 23 sampai dengan 45 volt, baik AC maupun DC, sedangkan untuk pencairan pengelasan dibutuhkan arus hingga 500 ampere. Namun, secara umum yang dipakai rata-rata berkisar 40 – 200 ampere. Proses terjadinya pengelasan terjadi karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, dan saat terjadi hubungan pendek tersebut, tukang las (Welder) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik, yaitu loncatan ion yang menimbulkan panas. Panas akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektroda dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (weld metal). Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan, welder harus menjaga jarak antara ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama. Adapun jarak yang paling baik adalah sama dengan diameter elektroda yang dipakai.

Heat input besarnya panas/temperatur (H) yang dapat melelehkan sebagian bahan merupakan perkalian antara tegangan listrik (E) dengan kuat arus (I) dan waktu (t) yang dinyatakan dalam satuan panas joule seperti rumus dibawah ini:

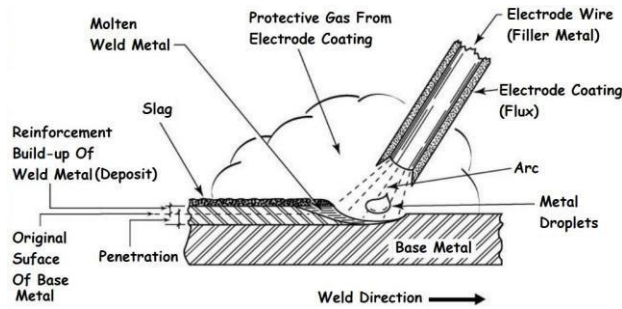
$$H = E \times I \times t$$

dimana :

H = panas (joule) t = waktu (detik)

E = tegangan listrik (volt)

I = kuat arus (amper)



Gambar 2. 1 Proses pengelasan SMAW
Sumber : (Jupri Yanda Zaira,2022)

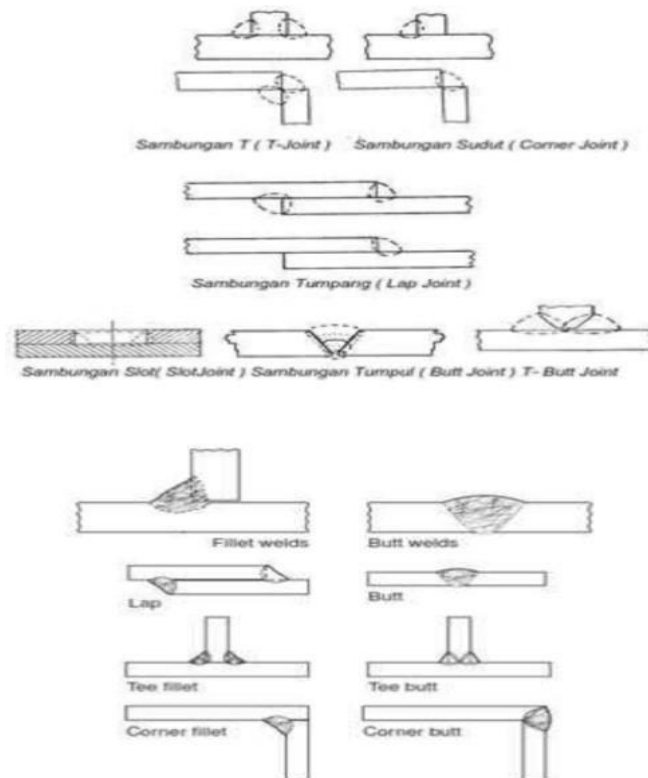
2.1.3 Sambungan las

Secara umum, sambungan las ada dua macam, yaitu sambungan sudut (fillet) dan sambungan tumpul (butt). Adapun macam-macam bentuknya adalah sebagai berikut :

1. Sambungan sudut dalam (T-joint atau L-joint)
2. Sambungan sudut luar (corner joint)
3. Sambungan tumpang (lap joint)
4. Sambungan sumbat (Plug joint)
5. Sambungan celah (Slot joint)
6. Sambungan tumpul (But joint)

Kampuh las adalah bentuk persiapan pada suatu sambungan. Umumnya hanya ada pada sambungan tumpul, namun ada juga pada beberapa bentuk sambungan sudut tertentu, yaitu untuk memenuhi persyaratan kekuatan suatu sambungan sudut. Bentuk kampuh las yang banyak dipergunakan khusus sambungan Butt-Joint:

1. Square butt
2. Single V butt
3. Double V butt
4. Single U butt
5. Reinforcemenon T-butt weld
6. Single J-butt weld



Gambar 2. 2 Jenis jenis Sambungan dan kampuh las

Sumber : (Mulyadi,S.T.,M.T,et al.,2020)

Kampuh yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kampuh single v dan single u.



Gambar 2. 3 Kampuh V dan Kampuh U

2.1.4 Posisi Pengelasan

Posisi pengelasan adalah faktor penentu keberhasilan pengerjaan pengelasan itu sendiri, sehingga posisi pengelasan mempunyai tingkat kesulitan yang harus dicapai, yang tidak sama satu sama lain. Karakter pengelasan secara umum terbagi dalam dua kategori utama, yaitu pengelasan satu layer (single pass) atau dikenal dengan sebutan Fillet Welding, dengan simbol F. Yang kedua adalah pengelasan untuk beberapa layer (multi-pass) atau dikenal dengan sebutan Groove-Welding, dengan simbol G.

Berdasarkan pada standart AWS ASME SECTION IX dan BS EN ISO 6947 aturan penomoran untuk sambungan las fillet pada setiap posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

1F / PA = posisi pengelasan datar (Flat Position)

2F / PB = posisi pengelasan horizontal (Horizontal Position)
3F / (PG / PF) = posisi pengelasan vertical (Vertical Position)
4F / PD = posisi pengelasan diatas kepala (Over head Position)

Bedasarkan pada standar AWS ASME SECTION IX dan BS EN ISO 6947 aturan penomoran untuk sambungan las Groove pada setiap posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

1G / PA = posisi pengelasan datar (Flat Position)
2G / PC = posisi pengelasan horizontal (Horizontal Position)
3G / PG = posisi pengelasan vertical (Vertical Position)
4G / PE = posisi pengelasan diatas kepala (Over Position)

2.1.5 Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian, yaitu bagian bersalut (fluks) dan tidak bersalut yang merupakan pakal untuk menjepitkan tang las. Fungsi fluks atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, dan menjadi sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar sistem AWS (American Welding Society) dan ASTM (American Society for Testing and Materials).

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut seperti : EXXXX

E: Menyatakan elektroda busur listrik.

XX: Menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam lb/in.

X: Menyatakan posisi pengelasan.

X: Menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok.

Sumber: (Budiarto, 2016)

2.1.6 Besi Holo

Besi holo adalah jenis material konstruksi berbentuk pipa kotak atau tabung

persegi panjang yang terbuat dari baja. Besi ini dikenal karena kekuatannya dan penggunaannya yang serbaguna dalam proyek bangunan. Berikut adalah penjelasan lengkap mengenai besi holo dan standarnya :

1. Definisi besi holo (atau hollow steel) adalah profil baja yang memiliki rongga di dalamnya, dengan bentuk penampang yang bervariasi seperti kotak atau persegi panjang. Material ini ringan namun kuat, sehingga banyak digunakan dalam konstruksi rangka, kanopi, pagar, plafon, dan furnitur.
2. Karakteristik besi holo ringan tapi kuat. Kekuatan besi holo cukup tinggi meskipun beratnya lebih ringan dibandingkan dengan material padat lainnya.
3. Jenis-jenis besi holo berdasarkan material, holo *galvanis*: Terbuat dari baja karbon rendah yang dilapisi seng (*zinc*) untuk meningkatkan ketahanan korosinya. Holo *Galvalum*: Lapisan yang digunakan adalah campuran seng, aluminium, dan silikon, sehingga lebih tahan karat dan memiliki kekuatan yang baik. Holo *Stainless Steel*: Lebih tahan karat dan memiliki daya tahan yang tinggi, ideal untuk proyek *eksterior*.
4. Standar ukuran besi holo tersedia dalam berbagai ukuran sesuai dengan standar yang berlaku di industri. Ukuran ini umumnya dinyatakan dalam dimensi panjang, lebar, dan ketebalan dinding. Berikut adalah contoh ukuran standar: Dimensi: 15x15 mm, 20x20 mm, 40x40 mm, 50x50 mm, 100x100 mm, dll. Ketebalan Dinding: berkisar antara 0,6 mm hingga 3,0 mm tergantung pada spesifikasi dan penggunaan. Panjang standar: biasanya 6 meter per batang.
5. Standar kualitas SNI (Standar Nasional Indonesia): Di Indonesia, besi holo yang digunakan untuk konstruksi harus memenuhi Standar Nasional Indonesia untuk memastikan kualitas dan keamanan. JIS (Japanese Industrial Standards): Beberapa besi holo juga memenuhi standar Jepang, terutama untuk proyek-proyek dengan spesifikasi tinggi. ISO (International Organization for Standardization): Standar ini sering digunakan untuk memastikan bahwa besi holo diproduksi dengan kualitas internasional.
6. Aplikasi besi holo. Rangka plafon: sering digunakan karena ringan dan mudah dipasang. Kanopi dan Pagar: Cocok untuk konstruksi luar ruangan karena dapat dilapisi untuk ketahanan terhadap cuaca. Furnitur: Digunakan dalam

pembuatan rangka furnitur karena permukaannya yang rata dan mudah diproses.

7. Keunggulan dan kekurangan . Keunggulan: Mudah dipotong, dibentuk, dan dilas. Tahan lama jika dilapisi dengan bahan pelindung yang sesuai. Estetika yang modern dan minimalis. Kekurangan: Dapat mengalami korosi jika tidak dilapisi dengan baik, terutama untuk tipe holo biasa tanpa lapisan galvanis atau galvalum. Harga bisa lebih mahal untuk tipe yang lebih tahan karat seperti stainless steel. Dengan memahami standar dan karakteristik besi holo, Anda dapat memilih jenis yang tepat untuk proyek konstruksi atau aplikasi tertentu sesuai dengan kebutuhan kekuatan, ketahanan, dan estetika.

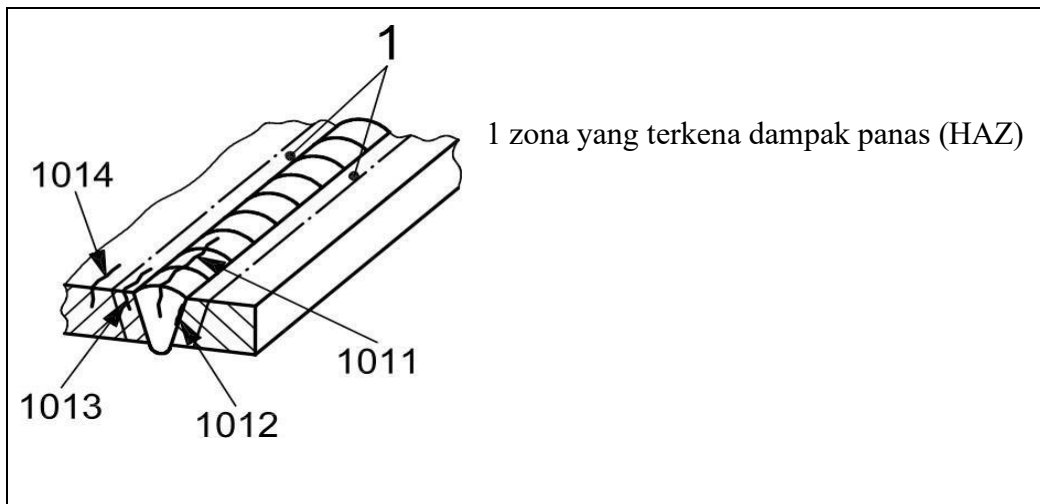
2.1.7 Cacat Las

Berdasarkan standar (BS EN ISO 6520-1:2007), cacat las diartikan sebagai ketidaksempurnaan pada lasan dari geometri yang diinginkan yang tidak dapat diterima. Berikut tabel klasifikasi cacat las.

Table 2. 1 Retakan

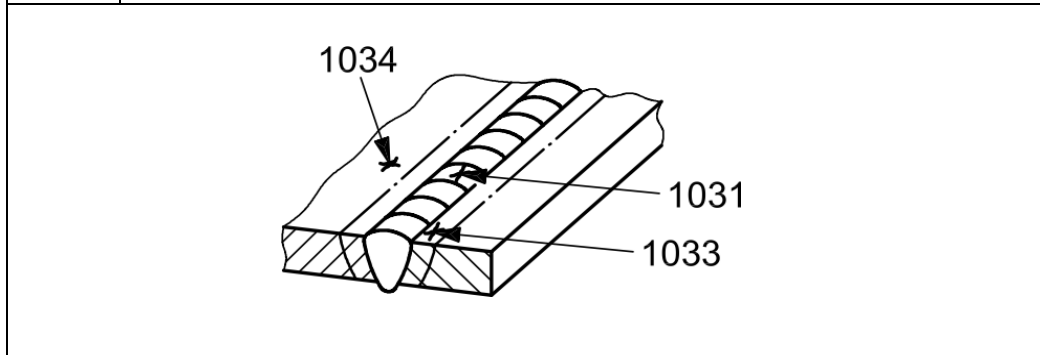
Grup No.1 — Retakan	
100	retakan ketidaksempurnaan yang dihasilkan oleh pecahnya lokal pada benda padat yang dapat timbul akibat pengaruh pendinginan atau tekanan
1001	retakan mikro retakan hanya terlihat di bawah mikroskop
101	retakan memanjang retak pada dasarnya sejajar dengan sumbu las

1011	–dalam logam las,
1012	–di persimpangan las,
1013	–di zona yang terkena dampak panas,
1014	–dalam bahan induk.



102	retakan melintang retak pada dasarnya melintang terhadap sumbu las
-----	---

1021	–dalam logam las,
1023	–di zona yang terkena dampak panas,
1024	–dalam bahan induk.



104	retakan kawah retakan pada lubang di ujung las yang mungkin terjadi
1045	–membujur,
1046	–melintang,
1047	–memancar (retak bintang).

Table 2. 2 Kurangnya fusi dan penetrasi

Grup No. 4 — Kurangnya fusi dan Penetrasi	
400	kurangnya fusi dan penetrasi
401	kurangnya fusi kurangnya penyatuan antara logam las dan bahan induk atau antara lapisan logam las yang berurutan
4011	–kurangnya fusi dinding samping;

4012	–kurangnya fusi antar-jalanA;
4013	–kurangnya fusi akar;
4014	–Mikrokurangnya fusi. CATATAN Juga disebut sebagai “pangkuan dingin”.

^A Di Perancis, istilah “collage noir” dan “collage blanc” digunakan. Berbeda dengan “collage blanc”, “collage noir” menyertakan inklusi oksida yang tidak meleleh di zona fusi.	
402	penetrasi tidak lengkap (kurangnya penetrasi) perbedaan antara penetrasi aktual dan nominal
1 penetrasi sebenarnya penetrasi sebenarnya tatsächlicher Einbrand 2 penetrasi nominal nominal penetrasi merek Solleir	
4021	akar tidak lengkap penetrasi satu atau kedua permukaan fusi akar tidak meleleh

2.1.8 Simbol pengelasan

Menurut standar ISO dan AWS (Gregory et al., 2005), bila diperlukan untuk menunjukkan lasan pada gambar, lasan mungkin tampak dapat digambar begitu saja seperti yang terlihat. Dalam sebagian besar kasus, representasi simbolik dapat digunakan untuk mempersingkat waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan gambar dan meningkatkan kejelasan.

1. Simbol pengelasan

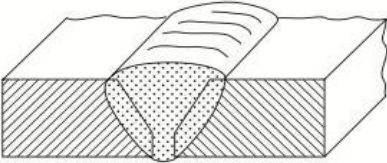
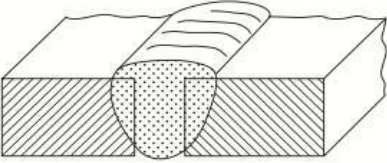
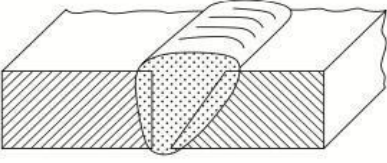
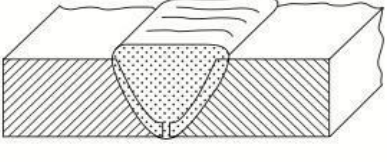
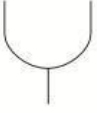
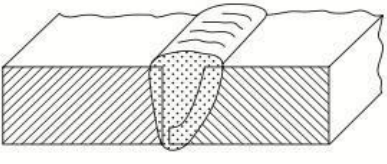
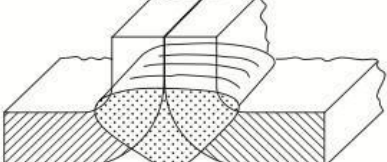
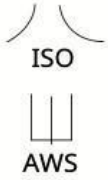
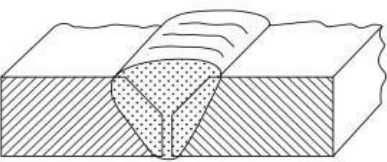
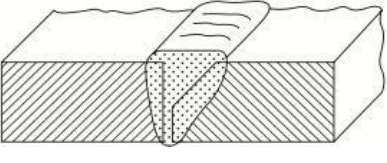
Pengelasan butt/groove ditunjukkan pada Gambar 2.4(a–h). Gambar 2.4(a) menggambarkan alas butt/groove V tunggal, yang merupakan bentuk persiapan tepi yang paling umum untuk jenis las ini. Gambar 2.4(b) menunjukkan alas pantat/alur persegi. Pengelasan ini akan dibatasi pada ketebalan bagian maksimum tergantung pada proses pengelasan yang digunakan. Jika backing strip digunakan, ketebalan bagian dapat ditingkatkan secara signifikan.

Panduan persiapan tepi disertakan dalam BS EN 29692 dan ISO 9692: 1992, di mana kisaran ketebalan yang direkomendasikan untuk jenis las ini adalah 3–8 mm. Tanpa strip pendukung, disarankan ketebalan bagian maksimum 4 mm dengan celah yang sama dengan ketebalan. Dengan strip pendukung, disarankan jarak 6–8 mm. Dimensi persiapan tepi tidak disertakan dengan simbol las dalam ISO 2553, namun dapat disertakan dengan simbol AWS. Hal ini dapat membuat gambar menjadi rumit dan, dalam beberapa kasus, dapat menimbulkan kebingungan. Sebaiknya disertakan rincian persiapan tepi dalam Spesifikasi Prosedur Pengelasan (WPS).

Dimensi permukaan akar lebar ditentukan dalam ISO 9692: 1992. Permukaan akar 2–3 mm ditentukan untuk ketebalan bagian 5–40 mm, sedangkan untuk las butt V tunggal (Gbr. 2.4(a)) memiliki akar maksimum muka 2 mm digunakan untuk ketebalan 3–10 mm. Hal ini tidak perlu membingungkan dan disarankan agar akarnya lebar.

Istilah dan simbol harus dihindari. Dimensi akar dapat ditentukan berapa pun ketebalannya dan tidak ada gunanya mempunyai definisi khusus 'muka akar lebar' bila muka akar lebih besar dari 2 mm.

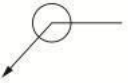
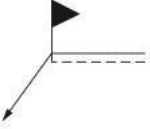
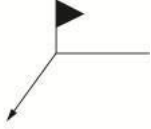
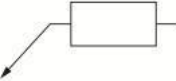
Sebagaimana dinyatakan sebelumnya, ketika ISO 2553 digunakan, dimensi preparasi tepi tidak disertakan sebagai bagian dari simbol pengelasan dan harus diberikan sebagai bagian dari WPS. Dengan sistem AWS, kedalaman alur dapat ditentukan dengan nomor di sisi kiri simbol las.

	Penamaan	Ilustrasi	Simbol
(A)	Pantat/alur V tunggal las		
(B)	Pantat/alur persegi las		
(C)	Kemiringan tunggal las pantat/alur		
(D)	Bokong/alur U tunggal las		
(e)	Pantat/alur J tunggal las		
(F)	Las pantat di antaranya piring dengan terangkat tepi (ISO) Las tepi pada a sambungan alur bergelang (AWS)		
(G)	Pengelasan butt V tunggal dengan akar muka yang lebar		
(H)	Las pantat bevel tunggal dengan permukaan akar lebar		

Gambar 2. 4 (a-h) Contoh simbol pengelasan dasar 1

2. Simbol Tambahan

Informasi tambahan tentang pengelasan dapat diberikan melalui simbol tambahan yang digunakan bersama dengan pengelasan yang telah dijelaskan. Dalam kebanyakan kasus, simbol yang sama digunakan dalam standar ISO dan AWS. Dalam kasus lain, hanya satu standar yang menggunakan simbol untuk persyaratan tertentu. Perbandingan simbol yang digunakan dalam standar ISO dan AWS ditunjukkan pada Gambar 2.5.

ISO	AWS	ISO	AWS
 Datar (biasanya selesai siram)	 Siram atau rata	Tidak ada simbol	 Meleleh melalui
 Cembung	 Cembung	Tidak ada simbol	 Dapat dikonsumsi menyisipkan
 Cekung	 Cekung	 Pengelasan perifer	 Las seluruhnya
 Jari kaki akan menjadi tercampur dengan lancar	Tidak ada simbol	 Pengelasan lapangan	 Pengelasan lapangan
Tidak ada simbol	 pengatur jarak	Bidang atau situs las  Dukungan permanen strip yang digunakan	 Dukungan
Tidak ada simbol	 Kembali atau las pendukung	 Dukungan yang dapat dilepas strip yang digunakan	 Dapat dilepas dukungan

Gambar 2. 5 Simbol Tambahan

2.1.9 Visual Test (VT)

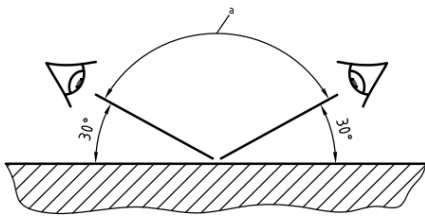
Berdasarkan pada standart (This British Standard, 2003) didalam Non- destructive testing of welds — Visual testing of fusion-welded joints (ISO 17637:2003) terdapat :

1. Ruang Lingkup

Standar internasional ini mencakup pengujian visual las fusi pada bahan logam. Ini juga dapat diterapkan pada pengujian visual sambungan sebelum pengelasan.

2. Kondisi dan peralatan pengujian

Penerangan pada permukaan minimal harus 350 lx. Namun, disarankan 500 lx. Untuk inspeksi langsung, akses harus cukup untuk menempatkan mata dalam jarak 600 mm dari permukaan yang akan diperiksa dan pada sudut tidak kurang dari 30°.



Gambar 2. 6 Akses untuk pengujian

Inspeksi jarak jauh menggunakan cermin, boroskop, kabel serat optik atau kamera harus dipertimbangkan ketika akses untuk pengujian sesuai dengan Gambar 1 tidak memungkinkan atau ketika ditentukan oleh standar aplikasi. Sumber cahaya tambahan dapat digunakan untuk meningkatkan kontras dan kelegaan antara ketidaksempurnaan dan latar belakang. Apabila hasil pengujian visual tidak meyakinkan, pengujian visual harus dilengkapi dengan metode pengujian tak rusak lainnya untuk inspeksi permukaan.

3. Pengujian visual

Standar internasional ini tidak mendefinisikan sejauh mana pengujian visual. Namun, hal ini harus ditentukan terlebih dahulu, misalnya dengan mengacu pada suatu aplikasi atau standar produk. Pemeriksa harus memiliki akses ke inspeksi yang diperlukan dan dokumentasi produksi yang diperlukan. Setiap pengujian

visual sebelum, selama, atau setelah penyelesaian pengelasan harus dilakukan selama akses fisik masih memungkinkan. Ini mungkin termasuk pengujian visual terhadap perawatan permukaan.

Apabila pengujian visual diperlukan sebelum pengelasan, sambungan harus diperiksa untuk memeriksa bahwa:

- a) Bentuk dan dimensi persiapan las memenuhi persyaratan spesifikasi prosedur pengelasan.
- b) Permukaan fusi dan permukaan yang berdekatan bersih, dan setiap perawatan permukaan yang diperlukan telah dilakukan sesuai dengan standar aplikasi atau produk.
- c) Bagian-bagian yang akan dilas telah dipasang dengan benar satu sama lain sesuai dengan gambar atau instruksi.

Bila diperlukan lasan harus diuji selama proses pengelasan untuk memeriksa bahwa:

- a) setiap proses atau lapisan logam las dibersihkan sebelum ditutup dengan proses selanjutnya, perhatian khusus diberikan pada sambungan antara logam las dan permukaan fusi;
- b) tidak ada ketidaksempurnaan yang terlihat, misalnya retak atau berlubang; jika ditemukan ketidaksempurnaan, ketidaksempurnaan tersebut harus dilaporkan sehingga tindakan perbaikan dapat diambil sebelum pengendapan logam las lebih lanjut;
- c) transisi antara proses dan antara lasan dan logam induk terbentuk sedemikian rupa sehingga peleburan yang memuaskan dapat dicapai pada saat pengelasan proses berikutnya;
- d) kedalaman dan bentuk pencungkilan sesuai dengan WPS atau dibandingkan dengan bentuk alur aslinya untuk memastikan pelepasan logam las secara menyeluruh sebagaimana ditentukan;
- e) Setelah perbaikan/tindakan perbaikan yang diperlukan, lasan sesuai dengan persyaratan asli WPS.

Lasan yang telah selesai harus diperiksa untuk menentukan apakah memenuhi persyaratan penerapan atau standar produk atau kriteria penerimaan lain yang

disepakati, misalnya ISO 5817 atau ISO 10042.

Lasan harus diperiksa untuk memastikan bahwa:

- a) semua terak telah dihilangkan dengan cara manual atau mekanis untuk menghindari ketidaksempurnaan yang tersamarkan;
- b) tidak ada bekas bekas pukulan atau bekas pahat;
- c) ketika pembalutan las diperlukan, panas berlebih pada sambungan akibat penggerindaan dapat dihindari dan bekas penggerindaan serta hasil akhir yang tidak rata juga dapat dihindari;
- d) Agar fillet dan butt dibalut rata, sambungannya menyatu secara mulus dengan logam induk tanpa mengalami pembilasan.

Jika terdapat ketidaksempurnaan yang disebabkan oleh cara berpakaian atau lainnya, hal tersebut harus dilaporkan sehingga tindakan perbaikan dapat diambil.

Profil dan dimensi lasan harus diperiksa untuk memastikan bahwa profil permukaan las dan tinggi kelebihan logam las memenuhi persyaratan standar penerimaan. Permukaan las harus teratur seperti pola, dan tinggi tanda tenunan memberikan tampilan visual yang rata dan memuaskan. Jarak antara lapisan terakhir dan logam induk atau posisi lintasan telah diukur bila diperlukan oleh WPS. Lebar las konsisten pada seluruh sambungan dan memenuhi persyaratan yang diberikan dalam gambar las atau standar penerimaan. Dalam hal las butt, persiapan las harus diperiksa untuk memastikan bahwa las telah terisi penuh.

Bagian las yang dapat dilihat secara visual, yaitu akar las untuk las butt satu sisi dan permukaan las, harus diperiksa apakah ada penyimpangan dari standar penerimaan. Lasan harus diperiksa untuk memastikan bahwa:

- a) dalam kasus las butt satu sisi, penetrasi, kecekungan akar dan setiap alur yang terbakar atau menyusut berada dalam batas yang ditentukan dalam standar penerimaan pada keseluruhan sambungan;
- b) setiap undercut berada dalam persyaratan standar penerimaan;
- c) setiap ketidaksempurnaan seperti retakan atau porositas, yang dideteksi menggunakan alat bantu optik bila diperlukan, pada permukaan las atau zona yang terkena panas memenuhi kriteria penerimaan yang sesuai;

- d) segala perlengkapan yang dilas sementara pada benda tersebut untuk memudahkan produksi atau perakitan dan yang merugikan fungsi benda atau kemampuan untuk memeriksanya, dilepas agar benda tersebut tidak rusak; area di mana pemasangan dipasang harus diperiksa untuk memastikan bebas dari retakan;
- e) setiap serangan busur api berada dalam batas standar penerimaan.

Pengujian visual pada lasan yang diperbaiki ,apabila las tidak memenuhi seluruh atau sebagian kriteria penerimaan dan diperlukan perbaikan,sambungan las harus diperiksa sesuai dengan 1) dan 2) sebelum pengelasan ulang.Setiap lasan yang diperbaiki harus diperiksa kembali dengan persyaratan yang sama seperti lasan aslinya

1.Lasan dilepas seluruhnya

Penggalan harus cukup dalam dan panjang untuk menghilangkan semua ketidaksempurnaan. Penggalan harus meruncing dari dasar potongan ke permukaan logam las pada kedua ujung dan sisi potongan. Lebar dan profil potongan harus sedemikian rupa sehingga terdapat akses yang memadai untuk pengelasan ulang.

2. Lasan dilepas seluruhnya

Apabila las yang rusak telah dilepas seluruhnya, dengan atau tanpa perlu memasukkan bagian baru, bentuk dan dimensi persiapan las harus memenuhi persyaratan yang ditentukan untuk las asli.

3. Catatan pengujian

Jika catatan pengujian diperlukan, setidaknya informasi berikut harus disertakan dalam laporan:

- a) nama produsen komponen;
- b) nama lembaga penguji, jika berbeda dengan
- c) identitas benda yang diuji;
- d) bahan;
- e) jenis sambungan;
- f) ketebalan bahan;
- g) proses pengelasan;

- h) kriteria penerimaan;
- i) ketidaksempurnaan yang melebihi kriteria penerimaan dan lokasinya;
- j) luasnya pengujian dengan mengacu pada gambar yang sesuai;
- k) alat uji yang digunakan;
- l) hasil pengujian dengan mengacu pada kriteria penerimaan;
- m) nama penguji dan tanggal ujian.

2.1.10 *Non-Destructive Test (NDT)*

Menurut standar (ISO 6735, 2016), uji non-destruktif (NDT) adalah suatu metode pengujian yang digunakan untuk memeriksa bahan, komponen, atau struktur tanpa merusak atau menghancurkannya. NDT adalah teknik yang penting dalam berbagai industri, termasuk manufaktur, konstruksi, perawatan fasilitas, dan banyak lainnya, karena memungkinkan inspeksi yang efektif tanpa harus mengorbankan integritas atau fungsi benda yang diperiksa.

Tujuan utama NDT adalah mendeteksi cacat, ketidaksempurnaan, atau anomali dalam bahan atau komponen. Contoh-contoh cacat yang dapat dideteksi melalui NDT termasuk retak, porositas, ketidakseragaman struktur, dan inhomogenitas lainnya. Hasil pengujian NDT digunakan untuk memastikan bahwa bahan atau produk memenuhi standar kualitas yang ditentukan, mengurangi risiko kegagalan atau kecelakaan, dan memperpanjang masa pakai komponen atau struktur.

Beberapa teknik umum yang digunakan dalam NDT meliputi :

- a) Uji visual (VT): Melibatkan pemeriksaan visual langsung untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan yang dapat dilihat dengan mata telanjang.
- b) Uji penetrasi (PT): Menggunakan penetrant cair untuk mendeteksi retak atau cacat permukaan pada bahan.
- c) Uji medan magnet (MT): Menggunakan medan magnet untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan dalam bahan yang responsif terhadap medan magnet.

- d) Ultrasonik (UT): Menggunakan gelombang suara ultrasonik untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan dalam bahan.
- e) Radiografi (RT): Menggunakan sinar-X atau sinar gamma untuk mendeteksi cacat dalam bahan atau komponen.
- f) Uji eddy current (ECT): Menggunakan arus eddy untuk mendeteksi perubahan dalam bahan yang dapat menunjukkan cacat atau ketidaksempurnaan.

1. *Penetrant Test* (PT)

Berdasarkan standar (ISO 3452, 2021), standar ini berlaku untuk uji penetrasi dengan menggunakan penetrant cair untuk mendeteksi cacat permukaan pada bahan logam dan nonlogam. Tujuan utama dari uji ini adalah untuk mendeteksi cacat permukaan yang dapat dilihat dengan mata telanjang atau dengan bantuan perbesaran.

A. Deskripsi metode

Sebelum pengujian penetran, permukaan yang akan diperiksa harus dibersihkan dan dikeringkan. Penetran yang sesuai kemudian diterapkan pada area pengujian dan dimasukkan ke dalam diskontinuitas yang terbuka ke permukaan. Setelah waktu penetrasi yang tepat berlalu, kelebihan penetrasi dihilangkan dari permukaan dan pengembang diterapkan. Pengembang menyerap penetran yang telah masuk dan tetap berada dalam diskontinuitas dan dapat memberikan indikasi peningkatan diskontinuitas yang terlihat jelas.

Jika NDT pelengkap diperlukan, inspeksi penetran harus dilakukan terlebih dahulu, kecuali disepakati lain oleh pihak-pihak yang terikat kontrak, agar tidak memasukkan kontaminan ke dalam diskontinuitas terbuka. Jika pemeriksaan penetran digunakan mengikuti teknik NDT lainnya, permukaan harus dibersihkan secara hati-hati untuk menghilangkan kontaminan sebelum diaplikasikan.

B. Urutan proses

Pengujian pada umumnya berlangsung melalui tahapan berikut:

- a) persiapan dan pembersihan awal;
- b) penerapan penetran;
- c) penghilangan penetran berlebih;

- d) permohonan pengembang ;
- e) inspeksi;
- f) pencatatan;
- g) pascapembersihan.

C. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian penetrasi tergantung pada jumlah, ukuran, dan bentuk bagian yang akan diuji. Peralatan harus seperti yang ditentukan dalam ISO 3452-4.

D. Efektivitas

Efektivitas pengujian penetrasi bergantung pada banyak faktor, termasuk

- a) jenis bahan penetrasi dan peralatan pengujian,
- b) persiapan dan kondisi permukaan;
- c) bahan yang sedang diperiksa dan diskontinuitas yang diharapkan,
- d) suhu permukaan uji,
- e) waktu penetrasi dan pengembangan, dan
- f) Kondisi tampilan.

Pemeriksaan pengendalian harus dilakukan untuk menunjukkan bahwa parameter yang digunakan benar.

2. *Magnetic Particle Test (MT)*

Berdasarkan standar (ISO 9934, 2016) yang berkaitan dengan pengujian non-destruktif (NDT) tabung baja. Secara khusus berisi pedoman dan persyaratan untuk pengujian partikel magnetik pada tabung baja mulus dan dilas untuk mendeteksi ketidaksempurnaan permukaan, seperti retakan, putaran, jahitan, dan diskontinuitas lainnya. Pengujian partikel magnetik adalah metode pengujian non-destruktif yang menggunakan prinsip-prinsip magnet untuk mendeteksi cacat permukaan dan dekat permukaan pada bahan besi seperti baja. Ini melibatkan penerapan medan magnet pada tabung baja dan penggunaan partikel magnetik (biasanya serbuk besi atau tinta magnetik) untuk mengungkapkan diskontinuitas apa pun di permukaan atau tepat di bawahnya.

3. *Ultrasonic testing (UT)*

Berdasarkan standar (ISO 17640, 2018), pengujian las non-destruktif (NDT)

menggunakan teknik ultrasonik adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam industri untuk memeriksa dan menilai kualitas sambungan las tanpa merusak material atau produk yang diuji. Pengujian ultrasonik melibatkan penggunaan gelombang ultrasonik (suara di atas batas pendengaran manusia) untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan dalam sambungan las. Proses ini melibatkan emisi gelombang ultrasonik dari transduser (sensor) ke dalam material yang diuji dan kemudian penerimaan gelombang yang dipantulkan kembali. Perbedaan dalam waktu tempuh gelombang ultrasonik yang dipantulkan dapat memberikan informasi tentang struktur dan ketidaksempurnaan dalam material tersebut.

Standar ISO 17640:2018 menetapkan teknik untuk pengujian ultrasonik manual pada sambungan las fusi pada bahan logam dengan ketebalan ≥ 8 mm yang menunjukkan redaman ultrasonik rendah (terutama karena hamburan) pada suhu objek dari 0 °C hingga 60 °C. Hal ini terutama ditujukan untuk digunakan pada sambungan las penetrasi penuh di mana bahan las dan induknya bersifat feritik. Jika nilai ultrasonik yang bergantung pada material ditentukan dalam dokumen ini, maka nilai tersebut didasarkan pada baja yang mempunyai kecepatan suara ultrasonik $(5\,920 \pm 50)$ m/s untuk gelombang longitudinal dan $(3\,255 \pm 30)$ m/s untuk gelombang transversal.

4. *Radiographic Test (RT)*

Standar (ISO 17636, 2022) menetapkan teknik pemeriksaan radiografi sambungan las fusi pada bahan logam menggunakan teknik film radiografi industri. Ini berlaku untuk sambungan pelat dan pipa. Selain arti konvensional, “pipa” yang digunakan dalam Standar Internasional ini mencakup badan silinder lainnya seperti tabung, penstock, drum boiler, dan bejana tekan. Bagian ISO 17636 ini tidak menentukan tingkat penerimaan untuk indikasi apa pun yang ditemukan pada radiografi.

5. *Eddy Current Test (ECT)*

Berdasarkan ISO 17643:2015, pengujian non-destruktif (NDT) menggunakan arus eddy atau Eddy Current Testing (ECT) adalah metode pengujian yang umum digunakan untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan dalam material, khususnya dalam sambungan las atau produk yang terbuat dari logam. Salah satu teknik khusus dalam pengujian arus eddy untuk pemeriksaan las adalah analisis

bidang kompleks. Berikut adalah ringkasan tentang teknik ini:

Pengujian arus eddy berdasarkan prinsip dasar bahwa arus listrik alternatif diterapkan pada sebuah koil atau probe yang ditempatkan dekat dengan permukaan bahan yang akan diperiksa. Arus ini menciptakan medan magnetik yang berfluktuasi di sekitar permukaan bahan. Jika ada cacat atau ketidaksempurnaan dalam material, seperti retakan atau inklusi, medan magnetik akan mengalami perubahan yang dapat dideteksi.

Penggunaan analisis bidang kompleks dalam pengujian arus eddy memiliki beberapa keuntungan, termasuk:

- a) Deteksi cacat lebih sensitif dan spesifik.
- b) Kemampuan mengukur kedalaman cacat.
- c) Identifikasi jenis cacat seperti retakan atau inklusi.
- d) Dapat digunakan untuk berbagai jenis material, termasuk logam dan paduan.
- e) Tidak memerlukan kontak langsung dengan material yang diuji.

Analisis bidang kompleks dalam pengujian arus eddy banyak digunakan dalam industri manufaktur, khususnya dalam pengelasan. Ini digunakan untuk menguji kualitas sambungan las, mengidentifikasi retakan, porositas, dan cacat lainnya dalam produk logam seperti pipa, tabung, dan struktur logam lainnya. Selain itu, teknik ini juga dapat digunakan dalam aplikasi inspeksi non-destruktif lainnya di berbagai industri.

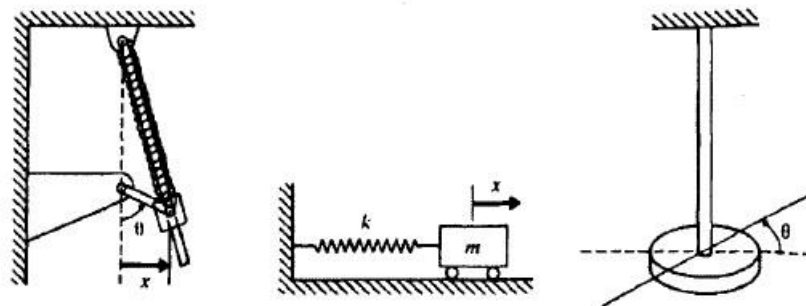
2.1.11 Getaran Mekanis

Menurut (Karyasa, 2011), Getaran mekanis adalah gerakan bolak-balik (osilasi) suatu objek dari posisi kesetimbangannya akibat gaya yang diterapkan. Dalam sistem mekanik, getaran ini dapat terjadi karena berbagai faktor seperti ketidakseimbangan massa, gaya eksternal, atau deformasi internal. Getaran yang tidak terkontrol dalam suatu mesin dapat menyebabkan kerusakan serius, meningkatkan keausan, dan menurunkan efisiensi.

Menurut (Thomson, 1993), Getaran atau gerakan osilasi adalah gerak benda disertai gaya-gaya yang terkait dengannya. Semua benda yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran, sehingga hampir semua mesin dan struktur teknik akan mengalami getaran pada berbagai derajat.

Sistem osilasi atau getaran dapat dibedakan menjadi sistem linier dan nonlinear. Pada sistem linier, prinsip superposisi berlaku, yang berarti respons total dapat ditentukan dari jumlah respons individu, dan teknik matematis untuk analisisnya sudah berkembang dengan baik. Di sisi lain, sistem nonlinear tidak memenuhi prinsip superposisi, sehingga analisisnya lebih sulit dan memerlukan pendekatan yang berbeda. Namun, pemahaman tentang sistem nonlinear penting karena sebagian besar sistem cenderung menunjukkan sifat nonlinear pada amplitudo osilasi yang tinggi.

Derajat kebebasan adalah istilah dalam getaran mekanik yang didefinisikan sebagai jumlah koordinat independen yang dibutuhkan untuk mendeskripsikan gerak suatu sistem. Sebagai contoh, partikel bebas dalam ruang memiliki tiga derajat kebebasan (x , y , z), sementara benda tegar memiliki enam derajat kebebasan: tiga posisi dan tiga orientasi rotasi (axial, horizontal, vertikal). Pada benda elastis kontinu, diperlukan jumlah koordinat tak terbatas untuk menggambarkan geraknya karena setiap titik pada benda tersebut dapat bergerak, sehingga derajat kebebasannya tak terbatas.



Gambar 2. 7 Ilustarsi skema getaran mekanis mesin
(Sumber : (Karyasa 2011))

Berdasarkan pernyataan sebelumnya, kalkulasi getaran pada suatu sistem mekanis cukup rumit karena kondisi aktual arah getaran yang secara alami bersifat abstrak (segala arah). Maka dari itu dibuatlah sebuah penyederhanaan kalkulasi yang disebut getaran harmonik sederhana di mana arah getaran sebuah benda disederhanakan dengan proyeksi x , y , dan z atau aksial, horizontal, dan vertikal. Berikut ini adalah model matematika untuk menghitung parameter terkait getaran pada suatu sistem yang disederhanakan.

Pertama, kita akan memulai dengan konsep dasar getaran. Dimulai dengan rumus frekuensi dan periode juga konsepsinya berdasarkan hubungan tiap variabel yang ada pada rumus berdasarkan bentuk matematikanya:

$$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T} \dots \dots \dots (1)$$

Seperti yang kita ketahui, rumus diatas adalah rumus frekuensi dari getaran dimana:

f = frekuensi (Hz)

n = jumlah getaran

t = waktu (s)

Jadi bisa disimpulkan bahwa frekuensi adalah banyaknya getaran dalam satu satuan waktu, dalam hal ini selama satu detik. Lalu untuk rumus periode:

$$T = \frac{t}{n} = \frac{1}{f} \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

T = periode (s)

n = jumlah getaran

Bisa disimpulkan bahwa periode adalah banyaknya waktu yang diperlukan untuk melakukan getaran dalam satu siklus penuh. Sebuah gerakan disebut gerak periodik jika gerakan tersebut terulang secara teratur dalam interval waktu yang sama. Interval waktu tersebut disebut periode dan dilambangkan dengan T. Periode ini menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus penuh gerakan.

2.1.12 Alat Ukur

Pada pengujian getaran mesin penghancur kaca dengan mekanisme *hammer mill* diperlukan alat ukur nilai tingkat getaran yaitu *vibration tester*. Alat ini adalah alat pengukur yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur, dan menganalisis getaran pada mesin atau struktur. Vibration tester membantu dalam pemeliharaan prediktif dengan mendeteksi masalah mekanis seperti ketidakseimbangan, kelonggaran, dan kerusakan komponen pada tahap awal, sehingga meminimalkan risiko kerusakan serius.

Alat ini bekerja dengan prinsip pengukuran gerakan osilasi suatu benda. Alat ini biasanya dilengkapi dengan sensor yang disebut akselerometer yang mampu mendeteksi percepatan getaran. Akselerometer mengubah sinyal mekanis getaran menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan dianalisis. Sinyal listrik ini kemudian

diproses oleh alat untuk memberikan informasi tentang kecepatan (*velocity*), percepatan (*acceleration*), dan perpindahan (*displacement*) dari getaran.

a. Jenis-Jenis Parameter Pengukuran pada *Vibration Tester*

Pada pengukuran tingkat getaran mesin menggunakan *vibration tester*, terdapat 3 parameter yang muncul pada layar *vibration tester* saat pengukuran dilakukan. Parameter ini berfungsi sebagai tolak ukur suatu sistem mekanis berjalan dengan baik atau tidak sesuai standarisasi yang berlaku.

1. Percepatan (*Acceleration*)

Percepatan (*acceleration*) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur percepatan getaran. Percepatan pada umumnya dinyatakan dalam satuan meter per detik kuadrat (m/s^2) apabila mengikuti standar internasional (SI). Percepatan berguna untuk mengukur perubahan kecepatan tiap waktu saat terjadinya osilasi suatu sistem mekanis yang sedang bekerja juga mendeteksi getaran frekuensi tinggi yang seringkali menunjukkan kerusakan atau cacat komponen.

2. Kecepatan (*Velocity*)

Kecepatan (*velocity*) adalah parameter yang digunakan untuk Mengukur kecepatan getaran. Kecepatan pada umumnya dinyatakan dalam satuan milimeter per detik (mm/s) apabila mengikuti standar internasional (SI). Kecepatan merupakan parameter umum untuk analisis umum kondisi mesin, dimana kecepatan berfungsi untuk mengukur jarak yang dicapai sistem mekanik pada tiap satuan waktu ketika mengalami osilasi. Hal ini penting karena nilai kecepatan sangat sensitif pada gangguan yang terjadi pada frekuensi sedang.

3. Perpindahan (*Displacement*)

Perpindahan (*displacement*) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur jarak total yang dilalui suatu sistem mekanik akibat osilasi yang terjadi. Perpindahan umumnya dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm) atau milimeter (mm). Perpindahan berfungsi sebagai tolak ukur untuk analisis getaran frekuensi rendah. Pada proses pengukuran, apabila terdapat *displacement* tertinggi yang dihasilkan oleh mekanisme yang diukur, maka itu disebut amplitudo.



Gambar 2. 8 Vibration Tester

(Sumber: <https://karyamandiritechindo.com/product/uni-t-ut315a-vibration-tester/>)

b. Sensor Pengukur Parameter

Sensor pengukur parameter pada *vibration tester* adalah sensor yang berfungsi sebagai komponen yang mengukur tiga parameter yang telah dijelaskan pada penjelasan diatas melalui rangsangan mekanis yang diberikan saat proses pengukuran.

1. Akselerometer

Akselerometer adalah Sensor yang paling umum digunakan. Akselerometer berfungsi untuk mengukur percepatan getaran yang terjadi pada sistem mekanik yang diukur tingkat getarannya. Akselerometer *piezoelektrik* adalah jenis yang umum digunakan karena kemampuannya dalam mengukur getaran pada frekuensi yang sangat tinggi dengan tingkat sensitivitas tinggi.

2. *Proximity Probe*

Proximity probe adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur perpindahan relatif antara sensor dan permukaan yang bergetar. Proximity probe umumnya digunakan untuk mengukur tingkat getaran pada poros mesin yang berputar, terutama pada turbin dan generator.

3. *Velocimeter*

Velocimeter adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur kecepatan getaran secara langsung. *Velocimeter* umum digunakan dalam pengukuran getaran mesin industri. Sifat *velocimeter* yang sensitif pada gangguan yang memiliki frekuensi sedang menjadi kelebihan pada proses pengukuran yang dilakukan. Penggunaan

velocimeter memang dinilai cepat karena sensitif, namun penggunaan keseluruhan jenis data parameter pengukuran merupakan hal yang harus dilakukan.

Kombinasi antara ketiga sensor yang digunakan untuk mengukur ketiga parameter utama dalam pengukuran tingkat getaran pada mesin sangat penting karena data nilai semua jenis parameter dalam proses inspeksi getaran mesin saling terkait dan perlu dilakukan berulang kali agar mendapatkan kesimpulan yang valid.

c. Metode Analisa Parameter Getaran

1. Spektrum Frekuensi (*Frequency Spectrum*)

Metode ini disebut juga analisis *Fast Fourier Transform* (FFT). Pada metode analisa ini, *vibration tester* digunakan untuk memecah sinyal getaran menjadi komponen frekuensi untuk mengidentifikasi sumber getaran. Pada metode ini, data yang awalnya bertipe domain waktu diubah menjadi data bertipe domain frekuensi sehingga bisa didapatkan frekuensi yang dominan. Frekuensi yang dominan ini akan di analisa sehingga gangguan yang ingin dideteksi ditemukan.

2. Waktu Riwayat (*Time Waveform*)

Metode waktu riwayat (*time waveform*) adalah menggunakan grafik yang menunjukkan perubahan getaran terhadap waktu. Analisis ini digunakan untuk mendeteksi pola spesifik seperti ketidakseimbangan atau kerusakan bantalan.

3. Analisis Amplitudo

Analisis amplitudo adalah metode analisa yang dilakukan dengan mengamati nilai Amplitudo getaran pada frekuensi tertentu yang menunjukkan tingkat keparahan gangguan pada suatu sistem mekanis. Pada proses analisa amplitudo, ketika nilai amplitudo yang dianalisa semakin tinggi maka semakin besar kemungkinan terdapat masalah pada mesin. Hal ini disebabkan karena adanya perpindahan dengan nilai lebih besar daripada data perpindahan lainnya pada saat penghitungan hasil pengambilan data berulang yang dilakukan.

Pada penelitian ini metode analisa yang dipakai adalah analisis amplitudo untuk menentukan titik mana yang mengalami getaran berlebih dengan mengetahui displacement tertinggi pada titik-titik uji yang akan ditentukan pada saat pengambilan data

Vibration tester umumnya mengikuti standar yang ditetapkan oleh organisasi seperti ISO (*International Organization for Standardization*). Standar seperti ISO

10816 dan ISO 7919 memberikan pedoman tentang batas getaran dan metode pengukuran yang dianggap aman untuk berbagai jenis mesin. Standar ini membantu dalam interpretasi hasil pengukuran getaran dan memastikan mesin beroperasi pada tingkat yang aman.

vibration tester yang dipakai pada pengujian ini adalah *vibration tester type* VM - 6380 yang dimiliki oleh Laboratorium Mesin Produksi Politeknik Caltex Riau. Posisi probe pada *vibration tester* akan ditempelkan pada penutup shredder mesin penghancur kaca milling tempat bilah shredder bertumpu dan berputar, lalu pada penutup *rigid hammer mill* yang juga berfungsi sebagai *crushing chamber*. Hasil uji getaran yang diperoleh akan ada dalam bentuk 3 nilai, yaitu *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* dengan tiga arah pengukuran yaitu arah aksial, vertikal, dan horizontal, selanjutnya dilakukan analisa yang menghasilkan nilai getaran dalam bentuk amplitudo.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian Hendronursito dkk. (2019) melakukan penelitian mengenai proses perbaikan komponen *hammer-mill crusher* berbahan baja mangan tinggi menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Penelitian tersebut bertujuan memperoleh parameter pengelasan yang mampu menghasilkan kualitas sambungan terbaik pada komponen *crusher* yang mengalami cacat pengecoran, seperti *blowhole*, porositas gas, dan rongga. Pengujian dilakukan melalui uji visual, radiografi, kekerasan, dan tarik sesuai standar ASME Section IX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus pengelasan 120 A, kecepatan pengelasan 1 mm/s, serta penggunaan elektroda AWS A5.13 (E7-UM-300K) menghasilkan sifat mekanik yang paling baik sehingga mampu memperbaiki cacat pada komponen *hammer-mill crusher*. Penelitian tersebut lebih berfokus pada proses perbaikan komponen *crusher*, sedangkan penelitian ini mengkaji pengaruh cacat pengelasan terhadap karakteristik getaran pada rangka mesin penghancur kaca.

Penelitian Widodo dan Ilman (2022) meneliti pengaruh pemberian getaran selama proses pengelasan MIG aluminium AA6061-T6 terhadap struktur mikro dan sifat mekanik sambungan las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan getaran selama pengelasan mampu memperhalus struktur butir, mengurangi

porositas, meningkatkan kekerasan, serta meningkatkan kekuatan tarik sambungan las dibandingkan dengan pengelasan tanpa perlakuan getaran. Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas sambungan las sangat dipengaruhi oleh keberadaan cacat maupun kondisi selama proses pengelasan sehingga dapat memengaruhi performa struktur secara keseluruhan.

Penelitian lain dilakukan oleh Lee dkk. (2021) yang mengkaji karakteristik proses penghancuran material menggunakan mesin *hammer mill*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putaran rotor, jumlah palu, serta karakteristik material yang dihancurkan sangat memengaruhi efisiensi proses penghancuran. Selain menentukan ukuran partikel hasil penghancuran, perubahan parameter operasi juga memengaruhi gaya tumbukan yang terjadi selama proses kerja sehingga berpengaruh terhadap beban dinamis yang diterima oleh struktur mesin.

Selanjutnya, Wang dkk. (2021) melakukan simulasi proses penghancuran menggunakan metode *Discrete Element Method* (DEM) untuk menganalisis interaksi antara palu dan material selama proses penghancuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi gaya tumbukan pada ruang penghancur berubah sesuai dengan kecepatan putaran rotor dan karakteristik material. Kondisi tersebut menyebabkan beban dinamis yang diterima rangka mesin juga berubah sehingga aspek kekakuan struktur menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam proses perancangan mesin *hammer mill*.

Penelitian mengenai karakteristik dinamis mesin penghancur juga dilakukan oleh Jang dkk. (2025) melalui pengujian impak dan simulasi dinamis pada *hammer crusher*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa respons getaran mesin dipengaruhi oleh distribusi massa komponen yang berputar, kekakuan struktur, serta kondisi pembebanan selama proses penghancuran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian getaran merupakan salah satu aspek penting untuk meningkatkan keandalan dan umur pakai mesin.

Penelitian Viňáš dkk. (2021) meneliti peningkatan ketahanan aus pada komponen *biomass crusher* melalui proses *hardfacing* menggunakan pengelasan

busur manual. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemilihan material pengisi dan parameter pengelasan yang tepat mampu meningkatkan ketahanan aus komponen yang bekerja pada kondisi tumbukan dan gesekan tinggi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kualitas hasil pengelasan berpengaruh terhadap keandalan komponen mesin *crusher* yang bekerja secara terus-menerus. Meskipun penelitian tersebut tidak membahas getaran rangka, hasilnya dapat menjadi acuan mengenai pentingnya kualitas sambungan las pada mesin penghancur.

Penelitian Asmaun (2020) yang berjudul analisis pengaruh variasi arus listrik pada pengelasan smaw terhadap kekerasan dan bending pada baja karbon . Adapun tujuan pelaksanaan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar nilai uji kekerasan dan uji bending akibat pengelasan SMAW dengan variasi arus listrik yang berbeda. Di samping untuk mengetahui sifat yang timbul akibat pengaruh pengelasan variasi besarnya arus listrik yang berbeda. Juga untuk memberikan kontribusi serta informasi bagi industri dan para pengguna jasa konstruksi mengenai pengaruh pengelasan terhadap sifat material.

Penelitian Soleh Abdul Aziz (2020) yang berjudul pengaruh kuat arus dan besar sudut kampuh terhadap kekuatan impact dan nilai kekerasan pelat baja karbon rendah dengan menggunakan las smaw. Adapun tujuan penelitiannya yaitu untuk mengetahui nilai impact dan nilai kekerasan dengan variasi arus dan sudut kampuh pada sambungan las SMAW, maka penelitian ini berbentuk angka-angka. Oleh karena itu penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif.

Penelitian Xander Salahudin (2021) yang berjudul analisis kekuatan tarik baja karbon rendah hasil pengelasan smaw dengan variasi bentuk kampuh las. Adapun tujuan penelitiannya adalah untuk menganalisis hasil dari pengelasan dengan variasi kampuh X, V, dan U terhadap kekuatan tarik dan struktur makro pada baja karbon rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bentuk kampuh las yang paling ideal yang dapat mempengaruhi kualitas hasil sambungan.

(Zaira & Wijianto, 2020) Telah melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Getaran Mesin *Milling* Vertikal 1108 Terhadap Pengaruh Variasi Kedalaman

Potong”. Adapun tujuan penelitiannya adalah untuk mengetahui getaran yang ditimbulkan oleh operasi mesin milling, khususnya dengan melakukan variasi kedalaman potong pada proses pemakanan benda kerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kedalaman potong (0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm) terhadap tingkat getaran yang terjadi, serta untuk mengidentifikasi karakteristik getaran yang dihasilkan selama proses pemakanan menggunakan cutter milling dengan diameter 30 mm.

(Endriatno, 2021) Telah melakukan penelitian yang berjudul analisis getaran akibat massa yang tidak seimbang pada motor yang berputar. Adapun tujuan penelitiannya adalah mengetahui karakteristik getaran, yaitu perpindahan, kecepatan, dan percepatan yang dihasilkan akibat peningkatan massa tidak seimbang pada motor penggetar. Penelitian ini juga bertujuan untuk menginvestigasi hubungan antara massa tidak seimbang dan level getaran yang terjadi pada struktur tertentu.

(Susanto, Ali, Ali, & M, 2021) Penelitian ini bertujuan untuk mengukur intensitas getaran pada rangka tabung mesin produksi santan berbasis sistem sentrifugal dengan kapasitas 10 L/jam. Pengujian dilakukan pada tiga tingkat kecepatan motor, yaitu 1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm, dengan masing-masing kecepatan diukur lima kali. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar ISO 2631-1 dan Keputusan Menteri Tenaga Kerja nomor KEP-51/MEN/1999. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin aman dioperasikan selama kurang dari 4 jam pada kecepatan motor 1000 rpm, kurang dari 3 jam pada 1500 rpm, dan kurang dari 2 jam pada 2000 rpm.

Lin dan Yang (2018) melakukan penelitian dengan judul *Study on the Influence of Weld Defects on Structural Vibration Responses*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh cacat las terhadap respons getaran pada suatu struktur. Metode yang digunakan berupa pemodelan numerik pada pelat dengan sambungan las, dengan tingkat keparahan cacat disimulasikan melalui pengurangan modulus elastisitas sebesar 10–80%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan cacat las memberikan pengaruh terhadap respons getaran struktur. Perubahan respons getaran semakin besar seiring dengan meningkatnya perubahan sifat mekanik akibat cacat yang dimodelkan. Penelitian tersebut membuktikan bahwa respons

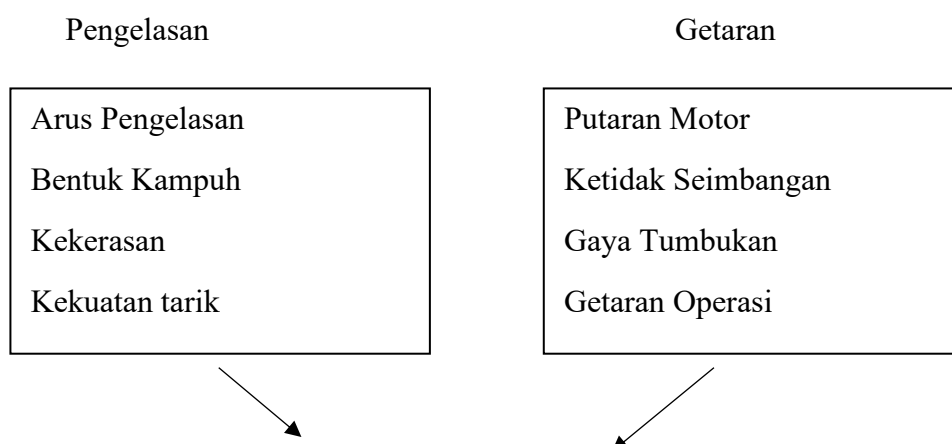
getaran dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan dan lokasi cacat pada sambungan las.

Tabel 2. 3 Novelti

Aspek Penelitian	Penelitian Terdahulu	Penelitian yang Dilakukan
Objek penelitian	Sebagian besar meneliti sambungan las, komponen crusher, mesin hammer mill, dan mesin produksi lainnya.	Rangka mesin penghancur sampah kaca hasil pengelasan SMAW.
Variabel bebas	Variasi arus pengelasan, bentuk kampuh, sudut kampuh, kecepatan putaran, ketidakseimbangan massa, dan parameter operasi mesin.	Cacat pengelasan pada sambungan rangka mesin penghancur sampah kaca.
Variabel terikat	Kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro, ketangguhan, efisiensi penghancuran, dan tingkat getaran akibat putaran mesin.	Karakteristik getaran rangka mesin penghancur sampah kaca akibat adanya cacat las.
Fokus penelitian	Menilai kualitas hasil pengelasan atau menganalisis sumber getaran dari kondisi operasi mesin.	Menganalisis hubungan antara kualitas sambungan las yang mengalami cacat dengan respons getaran rangka mesin.
Kontribusi penelitian	Memberikan informasi mengenai parameter	Memberikan informasi mengenai pengaruh

	pengelasan terbaik atau karakteristik getaran akibat kondisi operasi mesin.	cacat las terhadap perubahan karakteristik getaran sehingga dapat menjadi dasar peningkatan kualitas proses fabrikasi rangka mesin penghancur sampah kaca.
--	---	--

Berdasarkan hasil kajian terhadap berbagai penelitian terdahulu, belum ditemukan penelitian yang secara khusus menghubungkan kualitas sambungan las yang mengalami cacat dengan karakteristik getaran pada rangka mesin penghancur sampah kaca. Sebagian besar penelitian hanya membahas pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik material, sedangkan penelitian mengenai getaran lebih banyak dikaitkan dengan variasi putaran mesin, distribusi massa, atau kondisi pembebanan saat mesin beroperasi. Penelitian ini menawarkan pendekatan yang berbeda dengan menjadikan cacat pengelasan sebagai variabel utama dalam analisis respons getaran rangka mesin penghancur sampah kaca. Melalui pengujian getaran pada rangka dengan kondisi sambungan las yang berbeda, penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan sejauh mana cacat las memengaruhi kekakuan struktur dan karakteristik getaran mesin. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar dalam meningkatkan kualitas proses pengelasan pada tahap fabrikasi sehingga keandalan, stabilitas operasi, dan umur pakai mesin penghancur sampah kaca dapat ditingkatkan. Seperti diagram di bawah



Belum ada penelitian cacat las terhadap getaran rangka mesin penghancur kaca.