

BAB II

LANDASAN TEORI

A. PENGELASAN (*WELDING*)

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas. Perkembangan teknologi pengelasan logam memberikan kemudahan umat manusia dalam menjalankan kehidupannya. Saat ini kemajuan ilmu pengetahuan di bidang elektronik melalui penelitian yang melihat karakteristik atom, mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap penemuan material baru dan sekaligus bagaimanakah menyambungnya. Jauh sebelumnya, penyambungan logam dilakukan dengan memanasi dua buah logam dan menyatukannya secara bersama. Logam yang menyatu tersebut dikenal dengan istilah *fusion*. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut.¹

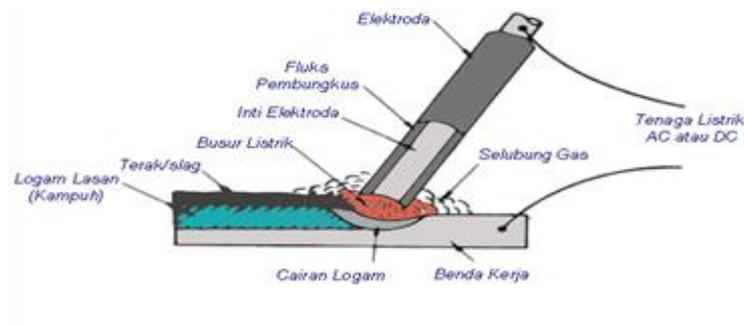
Dengan kata lain pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas. Dalam proses penyambungan ini adakalanya disertai dengan tekanan dan material tambahan.

¹ Modul teori pengelasan, hal 4.

Pada tahap – tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, biasanya pengelasan hanya digunakan pada sambungan – sambungan dari reparasi yang kurang penting. Akan tetapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama, maka penggunaan proses pengelasan merupakan hal yang umum di setiap negara di dunia.

Cara lain yang paling utama digunakan untuk memanas logam yang dilas adalah arus listrik. Arus listrik dibangkitkan oleh generator dan dialirkan melalui kabel ke sebuah alat yang menjepit elektroda diujungnya, yaitu suatu logam batangan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Ketika arus listrik dialirkan, elektroda disentuhkan ke benda kerja dan kemudian ditarik ke belakang sedikit, arus listrik tetap mengalir melalui celah sempit antara ujung elektroda dengan benda kerja. Arus yang mengalir ini dinamakan busur (*arc*) yang dapat mencairkan logam. Terkadang dua logam yang disambung dapat menyatu secara langsung, namun terkadang masih diperlukan bahan tambahan lain agar deposit logam lasan terbentuk dengan baik, bahan tersebut disebut bahan tambah (*filler metal*). *Filler metal* biasanya berbentuk batangan, sehingga biasa dinamakan *welding rod* (Elektroda las). Pada proses las, *welding rod* dibenamkan ke dalam cairan logam yang tertampung dalam suatu cekungan yang disebut *welding pool* dan secara bersama-sama membentuk deposit logam lasan, cara seperti ini dinamakan **Las Listrik** atau **SMAW** (*Shielded metal Arch welding*)²

² Ibid hal 5



Gambar 1. Prinsip kerja las listrik

B. Klasifikasi Cara – Cara Pengelasan

Berbagai proses pengelasan telah dikembangkan menurut cara pemanasan dan peralatan yang digunakan serta cara kerjanya, berdasarkan cara kerjanya pengelasan dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu :

1. Pengelasan Cair

Adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan hingga mencair dengan sumber panas dari busur listrik semburan api yang terbakar. Pengelasan busur adalah pengelasan dengan memanfaatkan busur listrik yang terjadi antara elektroda dengan benda kerja. Elektroda dipanaskan sampai cair dan diendapkan pada logam yang akan disambung sehingga terbentuk sambungan las. Mula-mula elektroda kontak/bersinggungan dengan logam yang dilas sehingga terjadi aliran arus listrik, kemudian elektroda diangkat sedikit sehingga timbul busur. Panas pada busur bisa mencapai 5.500 °C. Las busur bisa menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Mesin arus searah dapat mencapai kemampuan arus 1000 amper pada tegangan terbuka antara 40 sampai 95 Volt. Pada waktu

pengelasan tegangan menjadi 18 sampai 40 Volt. Ada 2 jenis polaritas yang digunakan yaitu polaritas langsung dan polaritas terbalik. Pada polaritas langsung elektroda berhubungan dengan terminal negatif sedangkan pada polaritas terbalik elektroda berhubungan dengan terminal positif.³

2. Pengelasan Tekan

Adalah cara pengelasan dimana sambungan di panaskan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Proses pengelasan tempa adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan logam yang kemudian ditepa (tekan) sehingga terjadi penyambungan. Pemanasan dilakukan di dalam dapur kokas atau pada dapur minyak ataupun gas. Sebelum disambung, kedua ujung dibentuk terlebih dahulu, sedemikian sehingga bila disambungkan keduanya akan bersambung ditengah-tengah terlebih dahulu. Penempaan kemudian dilakukan mulai dari tengah menuju sisi, dengan demikian oksida-oksida atau kotoran-kotoran lainnya tertekan ke luar. Proses ini disebut *scarfing*. Jenis logam yang banyak digunakan dalam pengelasan tempa adalah baja karbon rendah dan besi tempa karena memiliki daerah suhu pengelasan yang besar.⁴

3. Pematrian (Brazing)

Adalah cara pengelasan dimana sambungan disatukan oleh paduan logam yang bertitik cair rendah, dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair. Solder dan patri merupakan proses penyambungan logam dimana digunakan

³ <http://ft.unsada.ac.id/wp-content/uploads/2008/04/bab3-pp.pdf>. hal 59, dilihat pada tanggal 01 juli 2013

⁴ *Ibid* . hal 50, dilihat pada tanggal 01 juli 2013

logam penyambung lainnya dalam keadaan cair yang kemudian membeku. Penyolderan adalah proses penyambungan dua keping logam dengan logam yang berbeda yang dituangkan dalam keadaan cair dengan suhu tidak melebihi 430 °C diantara kedua keping tersebut. Paduan logam penyambung/pengisi yang banyak digunakan adalah paduan timbal dan timah yang mempunyai titik cair antara 180 - 370 °C. Komposisi 50% Pb dan 50% Sn paling banyak digunakan untuk timah solder dimana paduan ini mempunyai titik cair pada 220 °C. Pada pematrian logam pengisi mempunyai titik cair diatas 430 °C akan tetapi masih dibawah titik cair logam induk.⁵

Logam dan paduan patri yang banyak digunakan adalah :

1. Tembaga : titik cair 1083 °C.
2. Paduan tembaga : kuningan dan perunggu yang mempunyai titik cair antara 87°C - 1100 °C.
3. Paduan perak : yang mempunyai titik cair antara 630 °C - 845°C.
4. Paduan Aluminium : yang mempunyai titik cair antara 570 °C-640 °C.

C. Elektroda

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasinya AWS (*American Welding Asosiety*) A5.1 dinyatakan dengan tanda E XXXX yang memiliki arti sebagai berikut :

E : Menyatakan elektroda busur listrik

⁵ Ibid Hal 47. dilihat pada tanggal 01 juli 2013

XX : (dua angka) setelah E menyatakan kekuatan tarik deposit

las dalam ribuan lb/in².

X : (angka ketiga) menyatakan posisi pengalasan,

angka 1 : untuk pengelasan segala posisi.

angka 2 : untuk pengelasan posisi datar dibawah tangan

X (angka keempat) : menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan Lihat table.

Tabel 2.1. Penggolongan angka terakhir menurut AWS / ASTM

Angka terakhir	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Jenis arus las	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc	Ac/dc
Jenis selaput	organic	Organic	rutile	Rutile	Rutile	Low hidrogen	Low hidrogen	mineral	Low hidrogen
Daya Busur	Kuat	Kuat	sedang	Lemah	Lemah	sedang	sedang	lemah	sedang
Daya tembus	Dalam	Dalam	sedang	Dangkal	Dangkal	sedang	sedang	sedang	sedang
% bubuk Besi	0-10	Tanpa	0-10	0-10	30-50	tanpa	Tanpa	tanpa	tanpa

Contoh : E 6013 Artinya :

60 adalah kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000

lb/in² atau 42 kg/mm².

1. adalah dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi.
2. adalah jenis selaput elektroda rutile – kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC.

D. Fluks (*coating*)

Merupakan bahan kimia yang dibalutkan pada kawat las (elektroda), dalam pengelasan elektroda terbungkus fluks memegang peranan yang sangat penting karena dapat bertindak sebagai :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butiran butiran cairan logam
2. Pelindung logam cair pada saat proses pengelasan terhadap udara sekitar
3. Mengangkat kotoran dari dalam campuran logam
4. Membentuk terak dan menghasilkan pendinginan yang lambat dari hasil pengelasan sehingga terhindar dari cacat retak permukaan
5. Meningkatkan kualitas pengelasan

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan perbandingan tertentu pula, walaupun jenis elektroda sangat banyak tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam beberapa kelompok atas jenis fluks yang membungkusnya :

- a. Oksida Titan
 - Banyak mengandung rutila titania (TiO_2)
 - Busur yang dihasilkan tidak terlalu kuat
 - Penetrasi dangkal dan manik las halus
 - Baik untuk pengelasan plat-plat tipis
- b. Titania Kapur

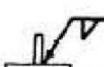
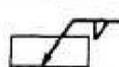
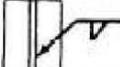
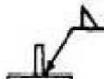
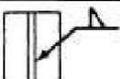
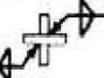
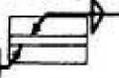
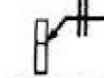
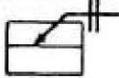
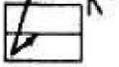
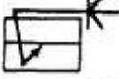
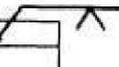
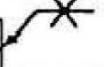
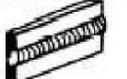
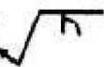
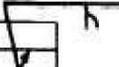
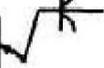
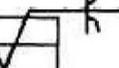
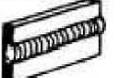
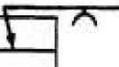
- Disamping berisi rutile juga mengandung kapur
 - Mempunyai sifat seperti oksida titan
 - Mampu menghasilkan sifat mekanik yang baik
 - Dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan.
- c. Jenis Ilmenit
- Bahan utama fluks adalah FeTiO_3
 - Busur yang dihasilkan kuat
 - Penetrasi cukup dalam
 - Menghasilkan sambungan dengan sifat mekanis yang kuat
- d. Hidrogen Rendah
- Bahan utama fluks ini adalah kapur dan fluorat
 - Menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen yang rendah
 - Busur listrik kurang mantap
 - Metal transfer (butiran-butiran cairan) agak besar
 - Digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan yang cukup tinggi.

E. Tipe Sambungan Dalam Pengelasan

Tipe sambungan dalam pengelasan menurut standard AWS A2.4.

Terdapat beberapa tipe sambungan yang menjelaskan bentuk kampuh suatu pengelasan dan penandaan pada gambar kerja.

Tabel 2.2. Tipe ambungan dalam pengelasan menurut AWS A2.4

SYMBOLS FOR FILLET, SQUARE GROOVE, AND BEVEL GROOVE WELDS	APPLICATION	DESIRED WELD	SECTION OR END	ELEVATION	PLAN
	ARROW-SIDE FILLET WELD				
	OTHER-SIDE FILLET WELD				
	BOTH-SIDES FILLET WELD, ONE JOINT				
	BOTH-SIDES FILLET WELD, TWO JOINTS				
	ARROW-SIDE SQUARE GROOVE WELD				
	BOTH-SIDES SQUARE GROOVE WELD				
	ARROW-SIDE BEVEL GROOVE WELD				
	BOTH-SIDES BEVEL GROOVE WELD				
SYMBOLS FOR V-GROOVE, J-GROOVE AND U-GROOVE WELDS	ARROW-SIDE V-GROOVE WELD				
	BOTH-SIDES V-GROOVE WELD				
	ARROW-SIDE J-GROOVE WELD				
	BOTH-SIDES J-GROOVE WELD				
	ARROW-SIDE U-GROOVE WELD				
	BOTH-SIDES U-GROOVE WELD				

F. *Bending Test*

Uji lengkung (bending test) face bend dan side bend merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld metal maupun HAZ. Dalam pemberian beban dan penentuan dimensi benda uji ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu :

- A. Kekuatan tarik (Tensile Strength)
- B. Komposisi kimia dan struktur mikro terutama kandungan Mn dan C
- C. Tegangan luluh (yield)

Menurut Standard AWS B4.0 berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dibedakan menjadi 2 yaitu transversal bending dan longitudinal bending.

Gaya – gaya yang terjadi pada proses bending saling berlawanan arah, sama seperti pada proses cutting. Tetapi, gaya – gaya pada proses bending saling terpisah jauh apalagi pada *V – bending*. Pada proses *cutting*, jarak antara dua gaya adalah sebesar *clearance*. Yaitu 4% sampai 5% dari tebal *sheet metal*. Sedangkan pada proses *bending (U-bend)*, jarak antara dua gaya adalah sebesar tebal metal material + radius *punch* dan *die*. Pada proses *bending*, *strees* terjadi hanya pada bagian radius yang di bentuk, sedangkan pada bagian rata tidak terjadi *strees*. Material pada bagian luar radius tertarik dan mulur, sedangkan pada bagian dalam radius terjadi

sebaliknya yaitu *compression stresses*. Karena itu, bila terjadi kerusakan proses maka pada radius bagian luar akan terjadi *crack* dan kerutan pada radius bagian dalam.



Gambar 2.1. Alat *bending test*

Uji lengkung (*bending test*) *face bend* dan *side bend* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di *weld metal* maupun *HAZ*. Dalam pemberian beban dan penentuan dimensi benda uji ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu :

1. **Transversal Bending**

Pada transversal *bending* ini, pengambilan *specimen* tegak lurus dengan arah pengelasan. Berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian transversal *bending* di bagi menjadi tiga :

A. *Face bend* (bending pada permukaan las)

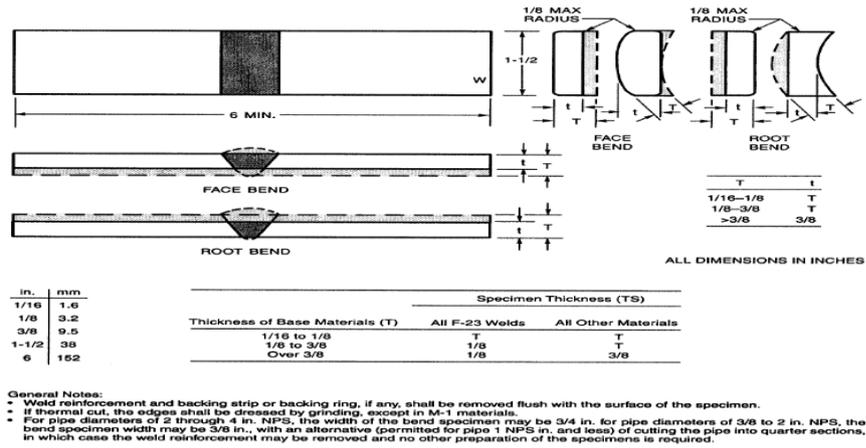
Dikatakan *face bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak, jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan weld metal dan HAZ).

B. *Root Bend* (bending pada akar las)

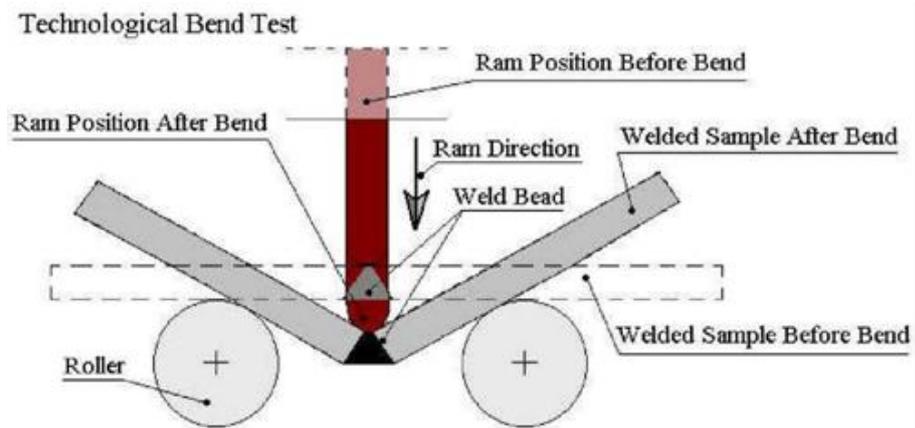
Dikatakan *root bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak, jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan weld metal dan HAZ).

C. *Side Bend* (bending pada sisi las)

Dikatakan *side bend* jika bending dilakukan pada sisi las. Pengamatan dilakukan pada sisi las tersebut, apakah timbul retak atau tidak, jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan weld metal dan HAZ).



Gambar 2.2 (a) Pengujian *transversal face & root bending*

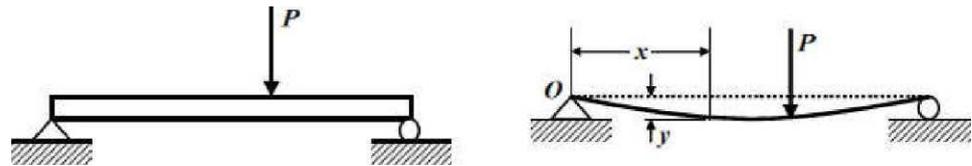


Gambar 2.3 (b) Pengujian *transversal face & root bending*

2. Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada benda uji atau batang dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada batangi. Deformasi pada batang secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi batang dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva

elastis dari batang. Gambar 2.4 (a) memperlihatkan batang pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar 2.4 (b) adalah batang dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.4 (a) benda uji sebelum terjadi deformasi, (b) benda uji dalam konfigurasi terdeformasi

Perhitungan Defleksi

$$\delta_{Max} = \frac{FL}{48EI}$$

Dimana :

F = Gaya (N)

L = Jarak tumpuan (m)

E = Modulus elastisitas (N/m²)

I = Momen inersia penampang (m)

D = diameter torak (m)

P = Tekanan (N/m²)

b = Lebar material yang mengalami defleksi (m)

h = Panjang material yang mengalami defleksi (m)

Conversion :

$$1 \text{ Pa} = 0,1 \text{ kg/m}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 0,01 \text{ MPa}$$

$$\text{N/m}^2 = \text{MPa}$$

Contoh perhitungan defleksi Untuk benda uji dengan ketebalan 3 mm

$$L = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$$

$$E = 207 \text{ N/m}^2 \text{ (besi baja)} = 207 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$D = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$P = 5 \text{ kg/cm}^2 = 0,5 \text{ MPa} = 50 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$b = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$$

$$h = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$A = \frac{V}{T} D^2$$

$$A = \frac{V}{T} \cdot 0,03^2 = 7,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = PA$$

$$F = 50 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot 7,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 355 \text{ N} \quad 1 = \frac{1}{12} bh^3$$

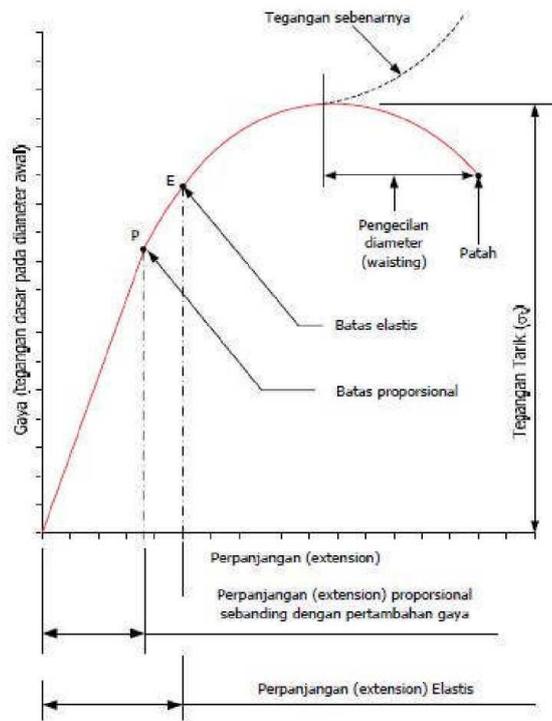
$$I = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \cdot (0,03)^3 = 3,4 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Maka nilai defleksi maksimum dapat dihitung sbb :

$$\delta_{\text{maks}} = \frac{FL^3}{48 EI}$$

$$\delta_{\text{maks}} = \frac{(355 \text{ N})(0,045 \text{ m})^3}{(48)(207 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(3,4 \times 10^{-7} \text{ m}^4)}$$

$$5_{maks} = 0,96 \times 10^{-5} \text{ m}$$



Gambar 2.5 Diagram tegangan

G. Dye penetrant test

Benda uji yang di uji dilumuri dengan larutan penetrant. Kelebihan penetrant kemudian dihapus dari permukaan, dan larutan pengembang diterapkan. Pengembang bertindak sebagai pengangkat penetrant yang terjebak pada cacat terbuka. Dengan warna yang terlihat kontras antara pengembang dan penetrant membuat “bleedout” sehingga mudah untuk terlihat.

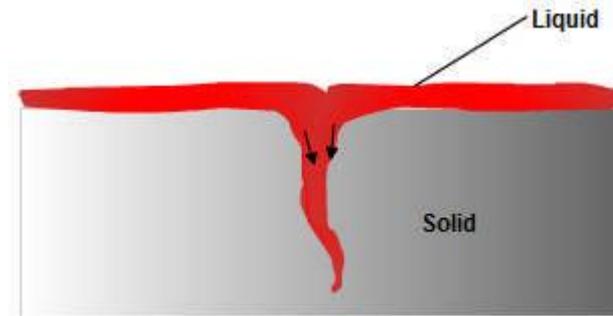


Gambar 2.6 Penetrant Cair (*Dye Penetrant*)

Prinsip kerja penetrant terdiri dari empat tahap, yaitu :

1. Persiapan permukaan

Salah satu langkah yang paling kritis dari pengujian dye penetrant test adalah persiapan permukaan. Permukaan harus bebas dari minyak, lemak, air, atau kontaminan lainnya yang dapat mencegah penetrasi. Demikian juga harus bebas dari sisa-sisa atau kotoran mekanis yang dapat menutupi permukaan cacat terbuka dan dapat mencegah penetrasi masuk.

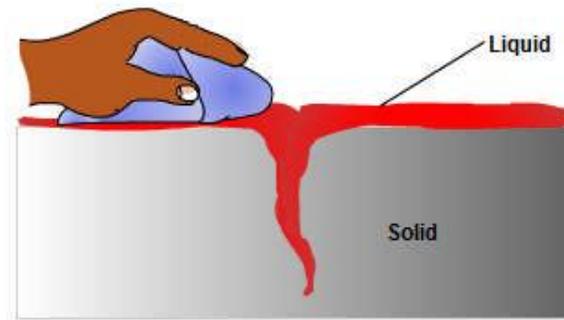


Gambar 2.7 Persiapan *dye penetrant*

Setelah permukaan selesai dibersihkan dan dikeringkan, bahan penetrant diterapkan dengan penyemprotan, pemolesan, atau merendam bagian dalam bak penetran.

2. Penetrant tinggal

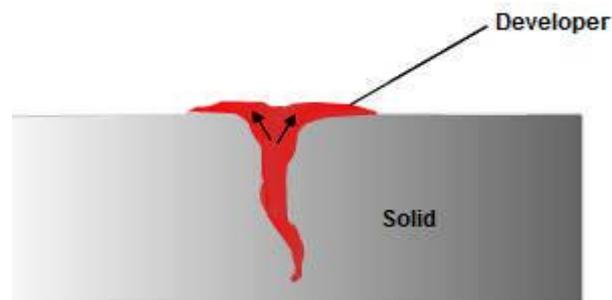
Penetrant dibiarkan pada permukaan untuk waktu yang cukup untuk memungkinkan penetrasi sebanyak mungkin yang bisa ditarik atau untuk meresap ke dalam cacat. Penetrant waktu tinggal adalah total waktu yang penetrant berada dalam kontak dengan permukaan bagian. Waktu tinggal biasanya direkomendasikan oleh produsen penetrant atau disyaratkan oleh spesifikasi product. Waktu bervariasi tergantung pada aplikasi, bahan penetrant digunakan, bahan, bentuk materi yang sedang diperiksa, dan jenis cacat yang diperiksa dan kondisi lingkungan saat pengujian. Pada umumnya berkisar 5 sampai 15 menit. Penghapusan kelebihan penetrant ini adalah bagian yang paling halus dari prosedur pemeriksaan karena penetrant berlebih harus dikeluarkan dari permukaan benda uji, ketika menghapus sebagian penetrant, usahakan sesedikit mungkin mungkin yang terhapus dari cacat las.



Gambar 2.8 Membersihkan penetrant sisa

3. Penerapan pengembang

Lapisan tipis pengembang kemudian diterapkan pada benda uji untuk menarik penetrant yang terjebak dan diberikan waktu antara 10 sampai 15 menit untuk memberikan kesempatan pengembang mengangkat penetrant ke permukaan.



Gambar 2.9 Penetrant sisa dari cacat las.

4. Pemeriksaan

Pemeriksaan selanjutnya dilakukan di bawah pencahayaan yang cukup untuk melihat indikasi dari segala ketidak sempurnaan yang mungkin ada. Langkah terakhir dalam proses ini adalah untuk benar – benar membersihkan permukaan untuk menghapus pengembang dari permukaan benda uji karena bersifat korosif.

A. Keuntungan *Dye Penetrant*

1. Metode ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap cacat permukaan kecil.
2. Dapat digunakan untuk logam dan bukan logam, magnetik dan bukan magnetik, dan bahan konduktif dan nonkonduktive.
3. Daerah yang luas dan volume besar bagian / bahan dapat diperiksa dengan cepat dan dengan biaya rendah.
4. Bagian dengan bentuk geometris yang kompleks secara rutin diperiksa.
5. Indikasi diproduksi langsung pada permukaan bagian dan merupakan representasi visual dari cacat.
6. Aerosol kaleng semprot membuat bahan penetrant sangat portabel.

B. Kekurangan *Dye Penetrant*

1. Hanya cacat permukaan yang dapat dideteksi.
2. Hanya bahan dengan permukaan yang tidak keropos / berporos dapat diperiksa.
3. Pembersihan permukaan / precleaning sangat penting karena kontaminan dapat menutupi cacat.

4. Penguji harus memiliki akses langsung ke permukaan yang sedang diperiksa.
5. Permukaan kasar dapat mempengaruhi sensitivitas pengujian.
6. Penanganan dan pembuangan limbah kimia yang tepat karena ini sampah berbahaya.