

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Dan Ruang Lingkup Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Secara umum definisi pengelasan adalah suatu cara untuk menyambung logam padat dengan cara mencairkannya melalui pemanasan [Harsono, 2000].

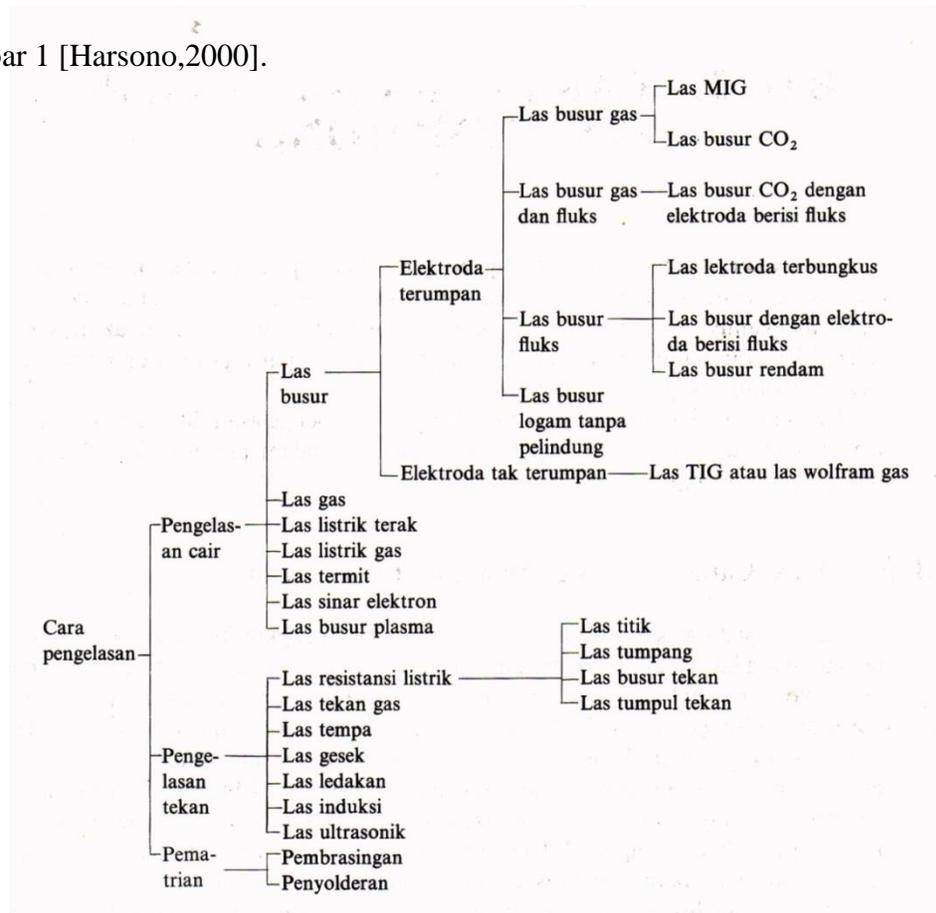
Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan lain sebagainya.

Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana , tetapi secara aktual di lapangan banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu dalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta didampingi oleh praktek di lapangan. Secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa dalam pengelasan pada perancangan konstruksi bangunan ataupun mesin harus direncanakan pula tentang tatacara pengelasan,

pemeriksaan, pemilihan jenis las dan logam yang akan disambung, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

B. Klasifikasi Pengelasan

Sampai saat ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, hal ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Beberapa contoh cara-cara pengklasifikasian tersebut diantaranya adalah klasifikasi berdasarkan sumber energi panas yang digunakan dan cara pengelasan. Perincian lebih lanjut dari beberapa contoh pengklasifikasian dapat dilihat pada gambar 1 [Harsono,2000].



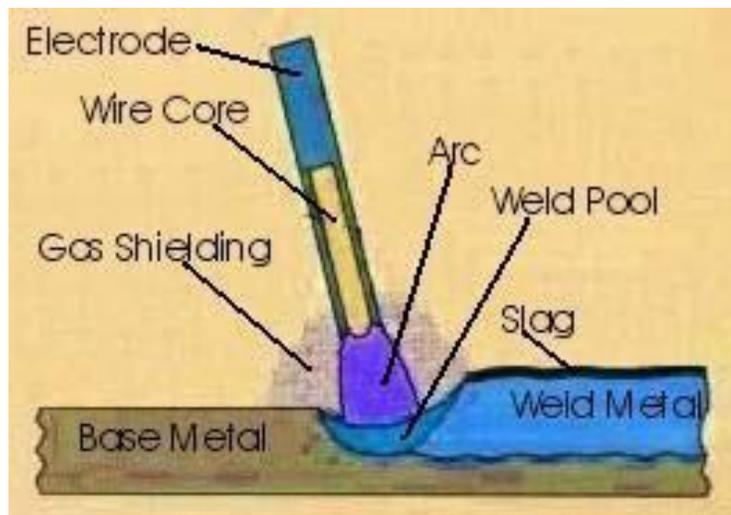
Gambar 1. Klasifikasi berdasarkan cara pengelasan

C. Jenis-Jenis Pengelasan Yang Sering Digunakan Pada Umumnya

Jenis-jenis pengelasan yang digunakan oleh berbagai negara sampai saat ini ada begitu banyak, namun hanya beberapa saja yang sering digunakan dari beraneka ragam jenis pengelasan yang ada.

1. Pengelasan busur logam terbungkus (SMAW)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) adalah pengelasan yang menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Elektroda terbungkus yang berfungsi sebagai *fluks* akan cair pada waktu proses pengelasan dan gas yang terjadi akan melindungi proses pengelasan terhadap pengaruh udara luar, cairan yang terbungkus akan terapung membeku pada permukaan las yang disebut *slag*. Proses pengelasan elektroda terbungkus terlihat pada gambar 2.

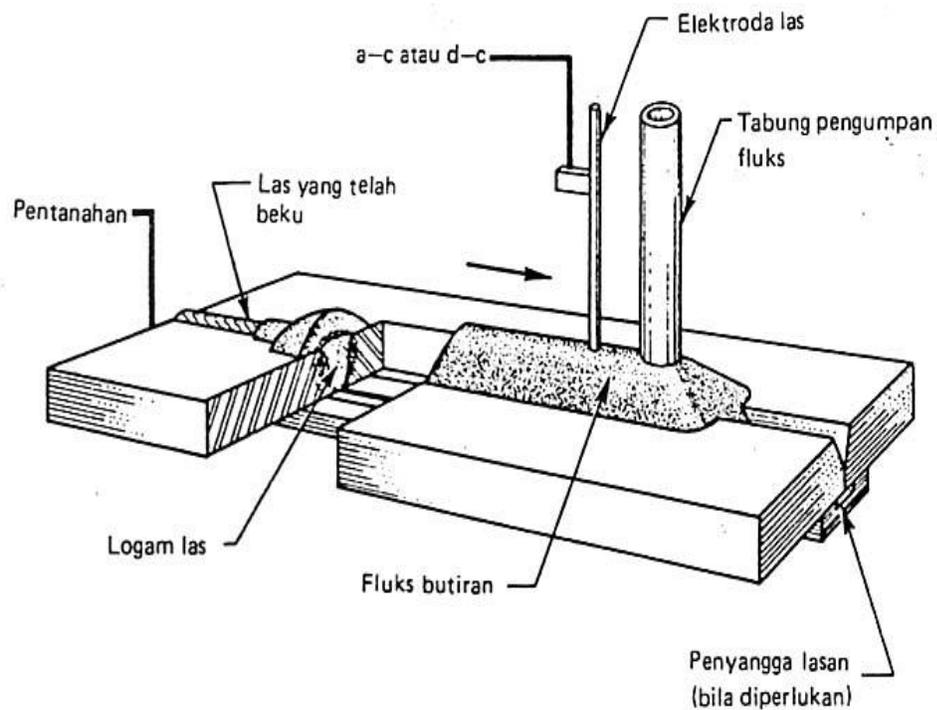


Sumber : Harsono (2000)

Gambar 2. Pengelasan elektroda terbungkus

2. Pengelasan busur terendam (SAW)

Submerged Arc Welding (SAW) adalah salah satu pengelasan dimana logam cair ditutup dengan *fluks* yang diatur melalui suatu penampang *fluks* dan elektroda yang merupakan kawat pejal diumpankan secara terus menerus, dalam pengelasan ini busur listrik nya terendam dalam fluks dapat dilihat pada Gambar 3. Prinsip las busur terendam ini material yang dilas adalah baja karbon rendah, dengan kadar karbon tidak lebih dari 0,05%. Baja karbon menengah dan baja konstruksi paduan rendah dapat juga dilas dengan proses SAW, namun harus dengan perlakuan panas khusus dan elektroda khusus.

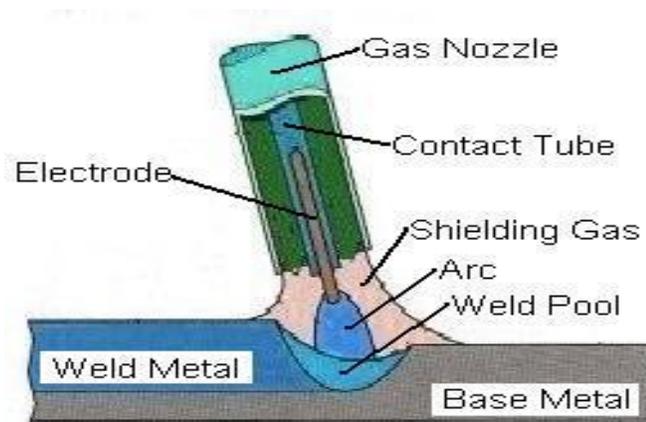


Sumber : Harsono (2000)

Gambar 3. Pengelasan busur terendam

3. Pengelasan busur logam Gas (GMAW)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah jenis pengelasan yang menggunakan busur api listrik sebagai sumber panas untuk peleburan logam, perlindungan terhadap logam cair menggunakan gas mulia (inert gas) atau CO₂ merupakan elektroda terumpan yang diperlihatkan pada gambar 4. Proses GMAW dimodifikasikan juga dengan proses menggunakan *fluks* yaitu dengan penambahan *fluks* yang magnetik (magnetizen - fluks) atau *fluks* yang diberikan sebagai inti (fluks cored wire).



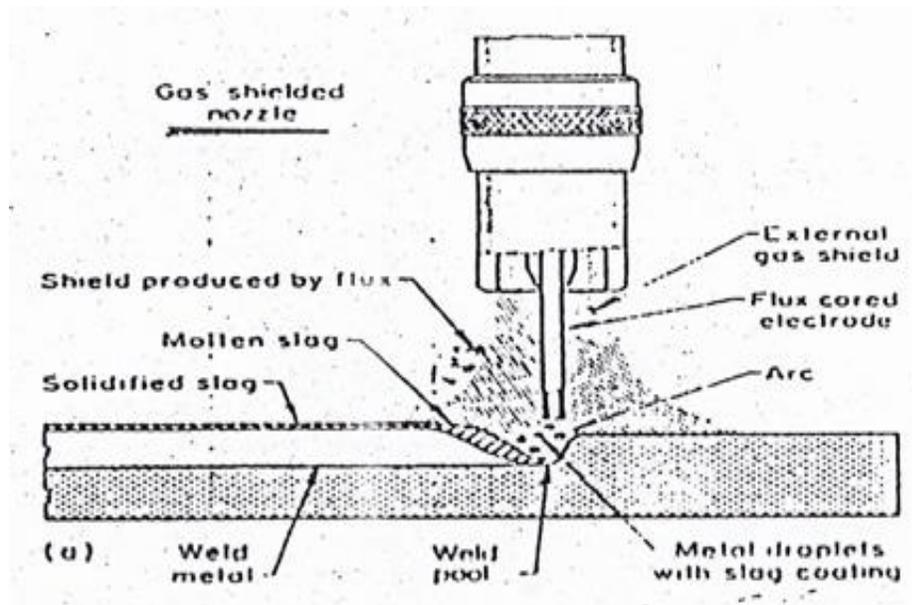
Sumber : Harsono (2000)

Gambar 4. Pengelasan busur logam gas

4. Pengelasan busur berinti *fluks* (FCAW)

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan proses pengelasan busur listrik elektroda terumpan. Proses peleburan logam terjadi diantara logam induk dengan elektroda berbentuk *turbolens* yang sekaligus menjadi bahan pengisi,

fluks merupakan inti dari elektroda dan terbakar menjadi gas, akan melindungi proses dari udara luar, seperti gambar 5.



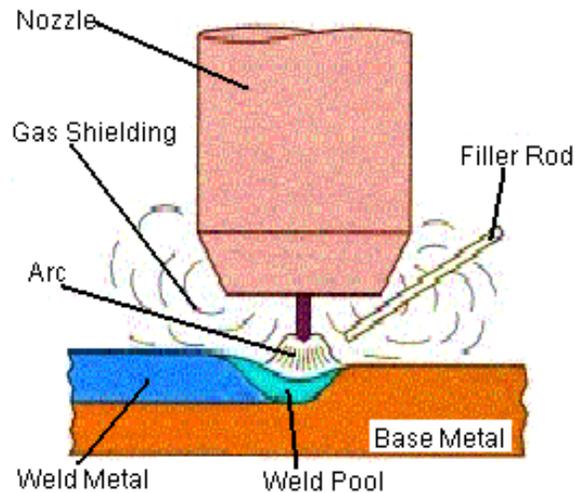
Sumber : Harsono (2000)

Gambar 5. Pengelasan busur berinti fluks

5. Pengelasan busur *tungsten* gas (GTAW)

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) merupakan pengelasan dengan memakai busur nyala api yang menghasilkan elektroda tetap yang terbuat dari *tungsten* (wolfram), sedangkan bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari *torch*, untuk mencegah oksidasi dipakai gas pelindung yang keluar dari *torch* biasanya berupa gas argon 99%. Pada proses pengelasan ini peleburan logam terjadi karena panas

yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dan logam induk. Proses pengelasan busur *tungsten* gas dapat dilihat pada Gambar 6.



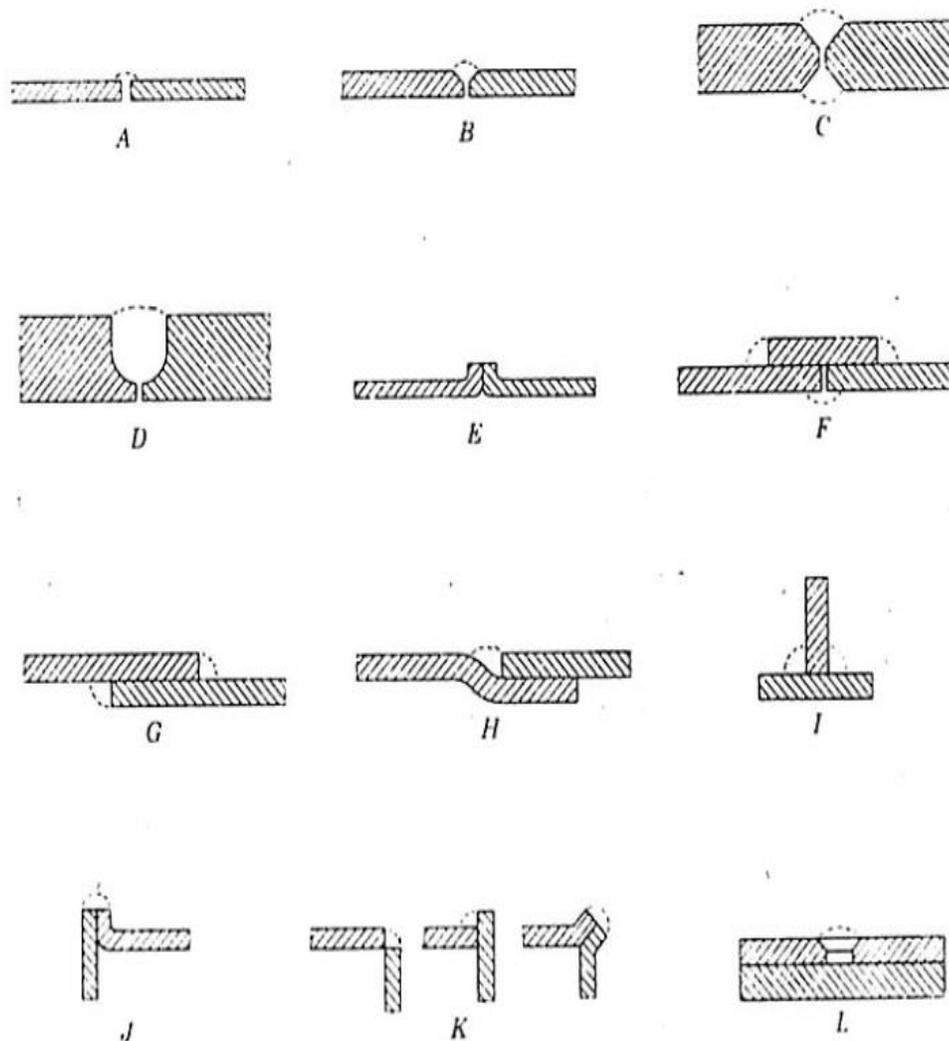
Sumber : Harsono (2000)

Gambar 6. Pengelasan busur *Tungsten*

D. Desain Sambungan Untuk Pengelasan

Dalam menentukan desain yang sesuai untuk pengelasan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang terbaik, yaitu spesifikasi kekuatan yang diinginkan, bentuk dan ukuran (geometri) serta jenis pengelasan yang sesuai untuk material/logam yang akan dilas. Penyambungan dalam pengelasan diperlukan untuk meneruskan beban atau tegangan diantara bagian-bagian yang disambung. Karena meneruskan beban, maka bagian sambungan juga akan menerima beban. Oleh karena itu, bagian sambungan paling tidak memiliki kekuatan yang sama dengan bagian yang disambung.

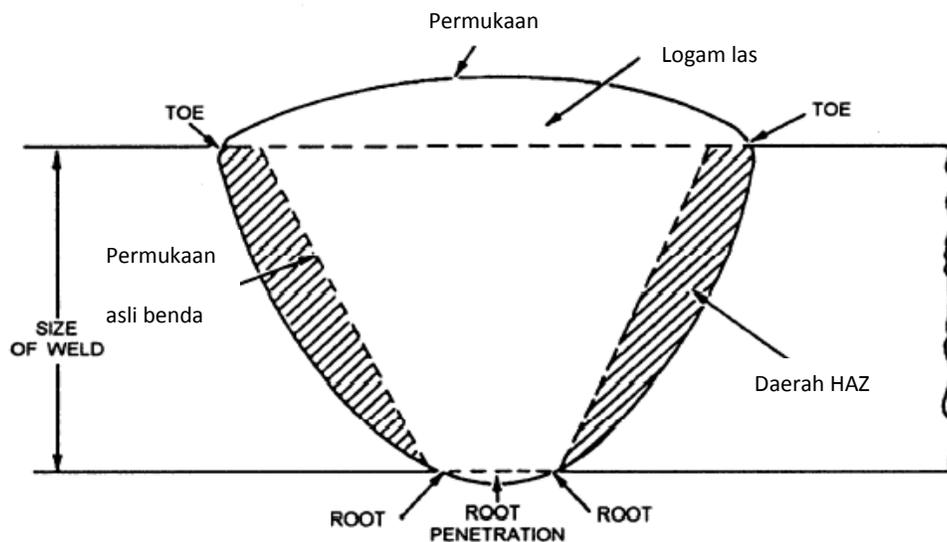
Beberapa jenis-jenis sambungan yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dapat dilihat pada gambar 7 [Sonawan, 2003].



Gambar 7. Jenis-jenis sambungan las A (Sambungan tumpul), B (Sambungan tumpul dengan alur V tunggal), C (Sambungan tumpul dengan alur V ganda untuk pelat tebal), D (Sambungan tumpul dengan alur U untuk coran tebal), E (Sambungan tekuk untuk logam tipis), F (Sambungan tumpul dengan pita lapis), G (Sambungan tumpang dengan las sudut tunggal atau ganda), H (Sambungn tumpul tekuk tunggal atau ganda), I (Sambungan tumpul T), J (Sambungan sisi untuk pelat tipis), K (Sambungan sudut pelat tipis), L (Sambungan sumbat).

E. Siklus Termal Daerah Pengelasan

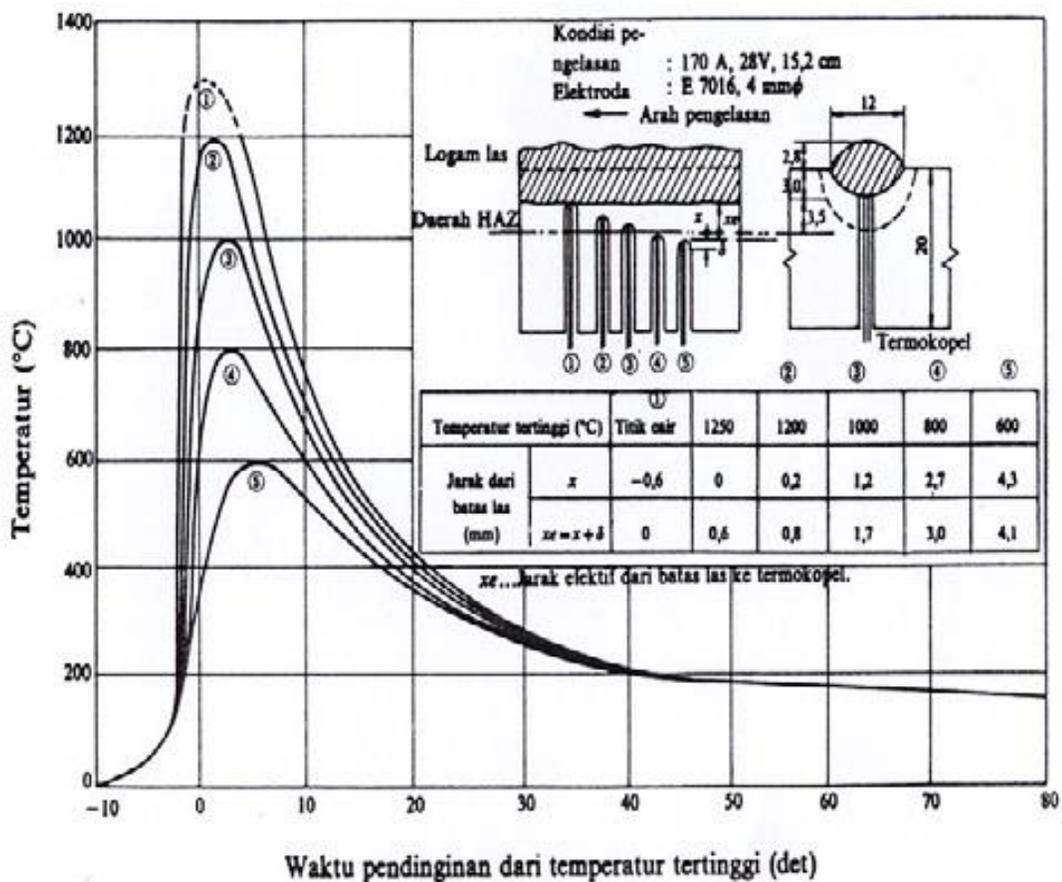
Sebelum mengetahui siklus termal daerah pengelasan sebaiknya perlu memahami daerah lasan terlebih dahulu, dimana daerah lasan terdiri dari tiga bagian utama yaitu logam las, *fusion* line dan Haz (*Heat Affected Zone*). Agar lebih mudah memahami daerah lasan dapat dilihat gambar 8.



Gambar 8. Daerah lasan

Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. *Fusion Line*, garis penggabungan atau garis batas cair antara logam las dan logam induk. Daerah pengaruh panas disebut HAZ (*Heat Affected Zone*), adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang cepat [Harsono,2000].

Siklus termal daerah las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan. Perubahan-perubahan metalurgi yang rumit akan terjadi pada siklus ini dimana sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh cukup fatal terhadap keamanan dan konstruksi las. Sebagai contoh siklus termal daerah pengelasan dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.

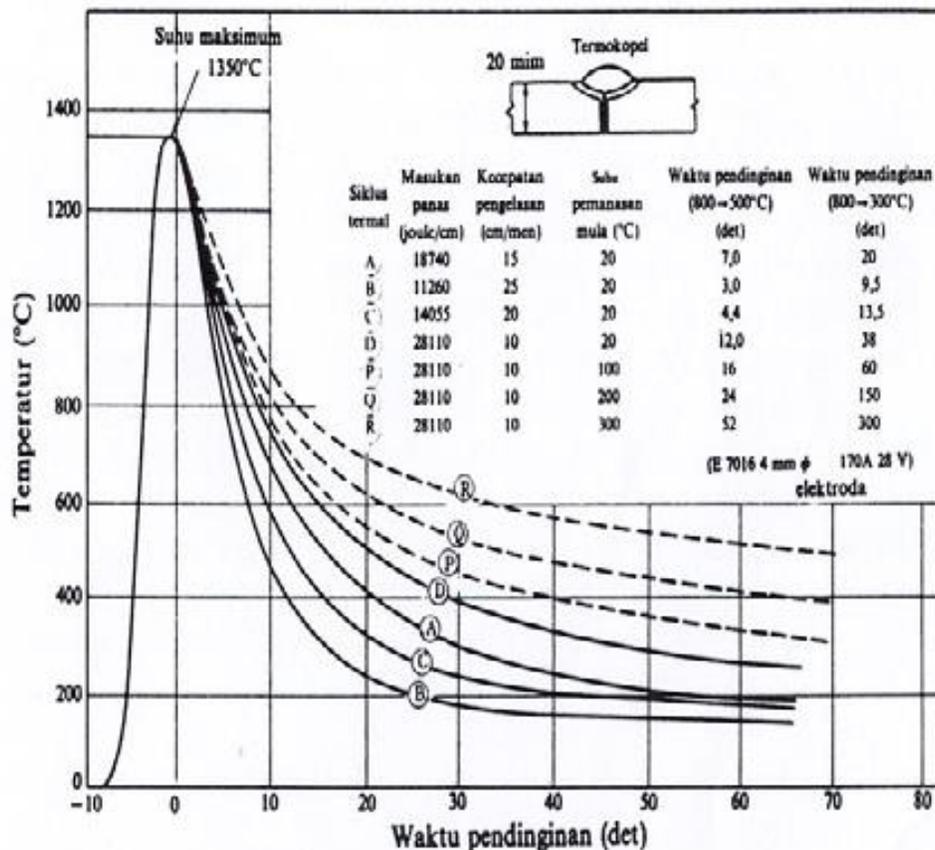


Sumber : Harsono (2000)

Gambar 9. Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las
 (20 mm, 170 A, 28 V, 15,2 cm/menit)

Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut.

Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C, sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C [Harsono,2000].



Sumber : Harsono (2000)

Gambar 10. Siklus termal dalam las busur tangan

F. Jenis-jenis Cacat Pada Pengelasan

Pada proses pengelasan terdapat jenis-jenis cacat yang biasanya dijumpai antara lain retak (*cracks*), voids, inklusi, kurangnya fusi atau penetrasi (*lack of fusion or penetration*) dan bentuk yang tak sempurna (*imperfect shape*).

1. Retak

Jenis cacat ini sering terjadi pada logam las (*weld metal*), daerah pengaruh panas (HAZ) atau pada daerah logam dasar (*parent metal*). Cacat retak sendiri dibagi atas:

- a. Retak panas
- b. Retak dingin.

Retak panas umumnya terjadi pada suhu tinggi ketika proses pembekuan berlangsung. Retak dingin umumnya terjadi dibawah suhu 200°C setelah proses pembekuan. Sedangkan bentuk retakan dapat dibagi menjadi:

- a. Retakan memanjang (*longitudinal crack*).
- b. Retakan melintang (*transverse crack*).

2. Voids (porositas)

Porositas merupakan cacat las berupa lubang-lubang halus atau pori-pori yang biasanya terbentuk di dalam logam las akibat terperangkapnya gas yang terjadi ketika proses pengelasan. Disamping itu, porositas dapat pula terbentuk akibat kekurangan logam cair karena penyusutan ketika logam membeku (*shrinkage porosity*).

Jenis porositas dapat dibedakan menurut pori-pori yang terjadi yaitu:

- Porositas terdistribusi merata.
- Porositas terlokalisasi.
- Porositas linier.

3. Inklusi

Cacat ini disebabkan oleh pengotor (inklusi) baik berupa produk karena reaksi gas atau berupa unsur-unsur dari luar, seperti: terak, oksida, logam wolfram atau lainnya. Cacat ini biasanya terjadi pada daerah bagian logam las (weld metal).

4. Kurangnya Fusi atau Penetrasi

a. Kurangnya Fusi

Cacat ini merupakan cacat akibat terjadinya *discontinuity* yaitu ada bagian yang tidak menyatu antara logam induk dengan logam pengisi. Disamping itu cacat jenis ini dapat pula terjadi pada pengelasan berlapis (multipass welding) yaitu terjadi antara lapisan las yang satu dan lapisan las yang lainnya.

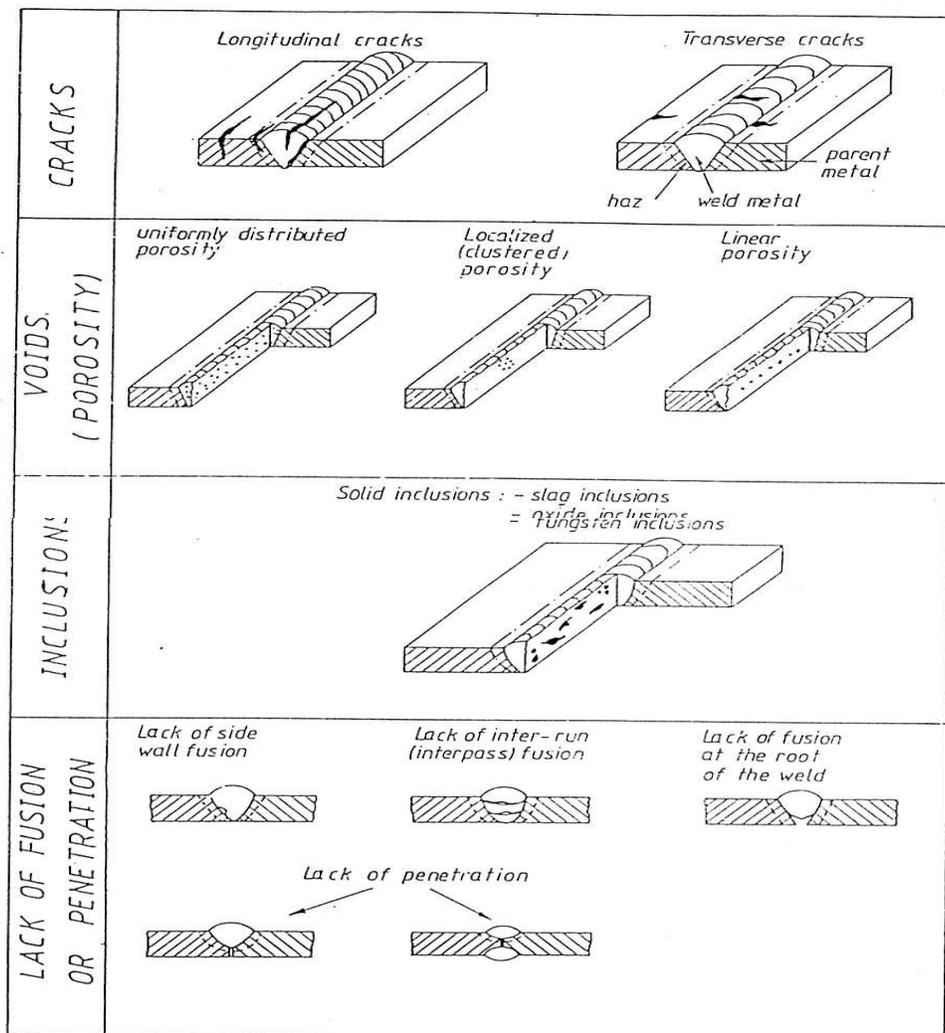
b. Kurangnya Penetrasi

Cacat jenis ini terjadi bila logam las tidak menembus mencapai sampai ke dasar dari sambungan.

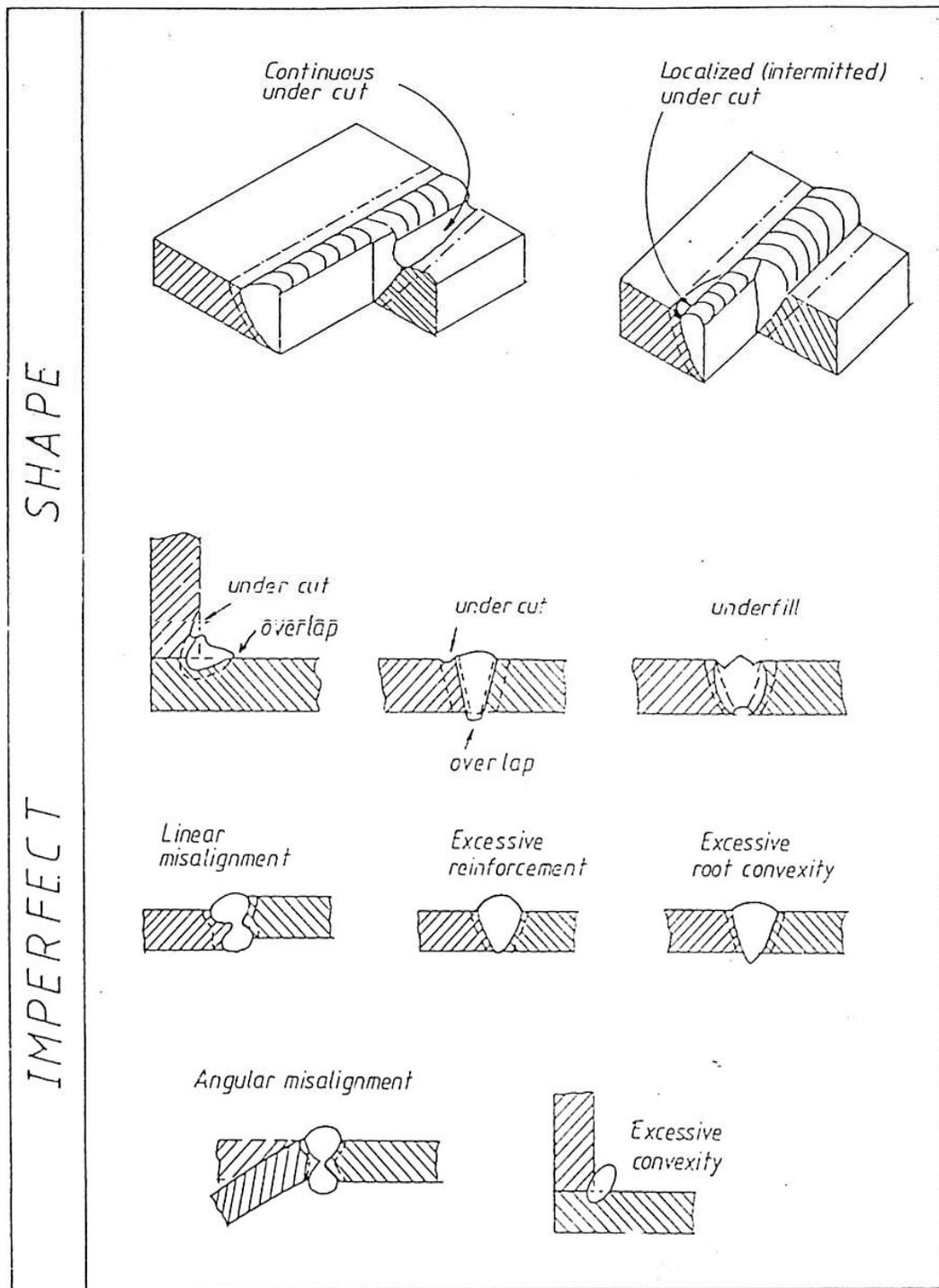
5. Bentuk Yang Tidak Sempurna

Jenis cacat ini memberikan geometri sambungan las yang tidak baik (tidak sempurna) seperti: *undercut*, *underfill*, *overlap*, *excessive reinforcement* dan lain-lain. Morfologi geometri dari cacat ini biasanya bervariasi.

Agar lebih jelas dan paham terhadap cacat pengelasan yang biasanya sering terjadi dapat dilihat pada gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Jenis-jenis cacat pada pengelasan



Sumber : Asyari Daryus (2002)

Gambar 12. Jenis-jenis cacat pada pengelasan

G. Pengujian Tidak Merusak (NDT)

Non Destructive Testing (NDT) adalah aktivitas tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau *discontinuity* lain tanpa merusak benda yang di tes atau inspeksi [Aeroblog.com. *Non Destructive Testing(NDT)*].

Pada dasarnya, tes ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang kita gunakan masih aman dan belum melewati *damage tolerance*. Contohnya saja material pesawat terbang diusahakan semaksimal mungkin tidak mengalami kegagalan (*failure*) selama masa penggunaannya. NDT dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, selama dan diakhir proses fabrikasi, untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap-tahap fabrikasi. NDT ini dijadikan sebagai bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu. Tujuannya adalah menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui *damage tolerance*-nya. Metode utama *Non Destructive Testing* meliputi:

1. Pengujian Amatan

Sering kali metode ini merupakan langkah yang pertama kali diambil dalam NDT. Metode ini bertujuan menemukan cacat atau retak permukaan dan korosi. Dalam hal ini tentu saja adalah retak yang dapat terlihat oleh mata telanjang atau dengan bantuan lensa pembesar ataupun biroskop.



Gambar 13. *Visual inspection* dengan boroskop

2. Pengujian Dengan Penembusan Zat Warna

Metode *Liquid Penetrant Test* merupakan metode NDT yang paling sederhana. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non logam karena proses *welding*, *forging*, manufaktur dan sebagainya. Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas. Caranya adalah dengan memberikan cairan berwarna terang pada permukaan yang diinspeksi. Cairan ini harus memiliki daya penetrasi yang baik dan viskositas yang rendah agar dapat masuk pada cacat dipermukaan material. Selanjutnya, penetrant yang tersisa di permukaan material disingkirkan. Cacat akan nampak jelas jika perbedaan warna penetrant dengan latar belakang cukup kontras. Seusai inspeksi, *penetrant* yang tertinggal dibersihkan dengan penerapan *developer*.



Gambar 14. Cairan *Penetrant*

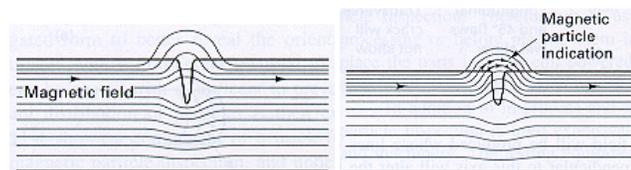
Kelemahan dari metode ini antara lain adalah bahwa metode ini hanya bisa diterapkan pada permukaan terbuka. Metode ini tidak dapat diterapkan pada komponen dengan permukaan kasar, berpelapis, atau berpori. Prinsip kerjanya adalah fenomena kapilaritas. Karena fenomena inilah memungkinkan cairan yang tertinggal dalam lubang yang sempit tertarik dan muncul ke permukaan. Metode ini merupakan salah satu metode yang paling sederhana, luas penggunaannya dan merupakan uji tanpa merusak yang digunakan pertama kali. Beberapa peralatan yang dipakai adalah bahan *penetrant*, cleaner, developer dan kain atau majun. Langkah pertama yang dilakukan adalah *precleaning* yang merupakan pembersihan awal material dari sesuatu yang menutup permukaan benda uji seperti debu, cat, kerak dsb. Beberapa bahan yang direkomendasikan untuk melakukan *precleaning* seperti detergen, *solvent*, uap air dan bahan pelarut lainnya. Setelah material tersebut kering dari cairan pembersih, langkah selanjutnya adalah melakukan aplikasi penetrant dengan menyelupkan material yang disinyalir

adanya retak. Setelah itu dibiarkan beberapa menit sampai cairan penetran masuk ke celah retak tersebut. Waktu tungguanya sekitar 5 sampai 30 menit. Pembersihan *penetrant* berlebih yang tidak masuk ke celah cacat dilakukan setelah *dwell time* terpenuhi. Proses pembersihan dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan air, *emulsifier*, atau *solvent*. Setelah pembersihan penetran permukaan obyek uji perlu dikeringkan terutama jika menggunakan *developer* bubuk kering. Pengeringan berlebih dapat merugikan karena penetran dalam celah retak menjadi kering dan sulit untuk tertarik keluar. Pengeringan untuk air dan emulsifier dilakukan dengan ditiriskan secara natural, dilap dengan kain bersih, dan dianginkan menggunakan *blower*. Sedangkan pengeringan *solvent* biasanya dilap dengan kain bersih yang kering dan dikeringkan secara natural. Ketika *developer* digunakan pada benda uji, maka permukaannya harus kering dan tidak lengket serta menggumpal. *Developer* harus berwarna terang dan kontras dengan penetran untuk memudahkan pengamatan. Penggunaan *developer* dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dibenamkan (*Dipping*), *soft bush*, *Hand powder bulb*, dan sebagainya. *Dwell time developer* adalah waktu yang dibutuhkan untuk development, mulai dari pemberian *developer* sampai dibolehkan untuk evaluasi. Menurut ASTM E-165 dan ASME V art 6 maka *dwell time developer* adalah 7 menit. Tahap interpretasi dilakukan jika *dwell time developer* telah terpenuhi dengan mengamati bentuk, ukuran dan lokasi indikasi. Jika indikasi cacat terlihat berwarna merah tua, maka indikasi telah benar dan tidak ada kesalahan dalam pemberian *developer*. Sebaliknya Jika indikasi berwarna merah muda dan warna *background* tidak ada, maka hal ini menunjukkan terjadinya *over wash* atau *developer* terlalu tebal.

Setelah obyek uji selesai diperiksa, maka permukaannya harus dibersihkan untuk menghindari korosi yang disebabkan oleh sisa cairan *penetrant* dan *developer*. Metode dan teknik yang digunakan yaitu dilap dengan kain yang dibasahi air untuk *penetrant waterwashable*, atau lap kain yang dibasahi *solvent* [Harsono 2000].

3. Pengujian Serbuk Magnet

Dengan menggunakan metode ini, cacat permukaan (*surface*) dan bawah permukaan (*subsurface*) suatu komponen dari bahan ferromagnetik dapat diketahui. Prinsipnya adalah dengan memagnetisasi bahan yang akan diuji. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran medan magnet adalah dengan menaburkan partikel magnetik dipermukaan. Partikel-partikel tersebut akan berkumpul pada daerah kebocoran medan magnet [The International Atomic Energy Agency (IAEA),2002].

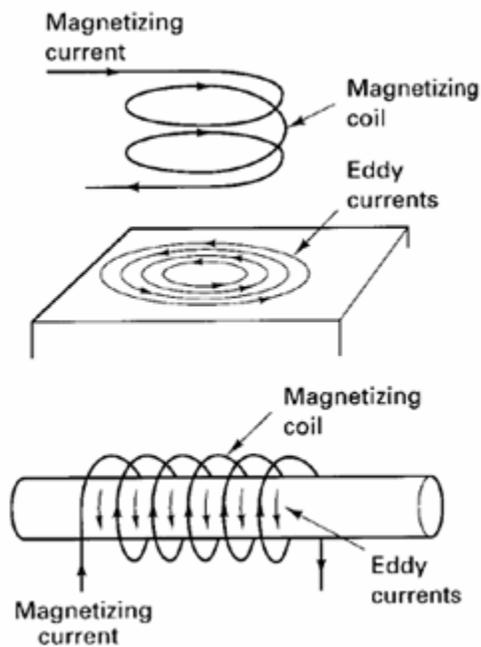


Gambar 15. Proses kerja *Magnetic Particle Inspection*

Kelemahannya, metode ini hanya bisa diterapkan untuk material ferromagnetik. Selain itu, medan magnet yang dibangkitkan harus tegak lurus atau memotong daerah retak serta diperlukan demagnetisasi di akhir inspeksi.

4. Pengujian Dengan Elektromagnet

Inspeksi ini memanfaatkan prinsip elektromagnet. Prinsipnya, arus listrik dialirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet didalamnya. Jika medan magnet ini dikenakan pada benda logam yang akan diinspeksi, maka akan terbangkit arus Eddy. Arus Eddy kemudian menginduksi adanya medan magnet. Medan magnet pada benda akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan dan mengubah impedansi bila ada cacat [Harsono,2000].

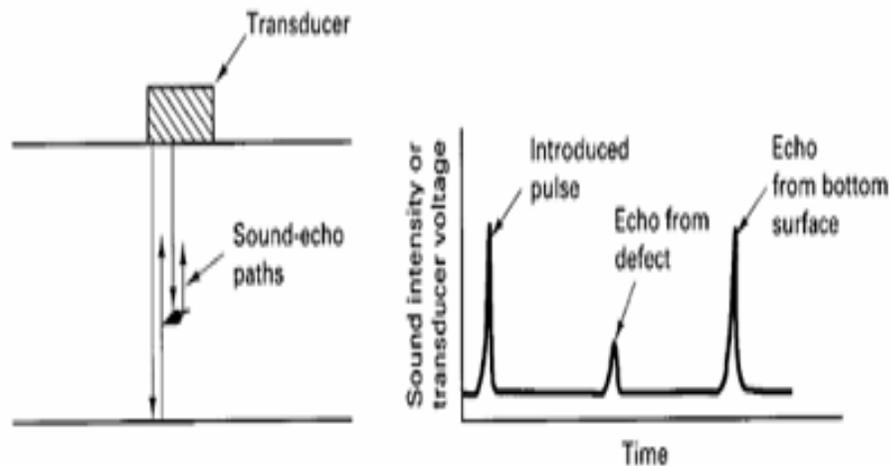


Gambar 16. Proses kerja *Eddy Current Test*

Keterbatasan dari metode ini yaitu hanya dapat diterapkan pada permukaan yang dapat dijangkau. Selain itu metode ini juga hanya diterapkan pada bahan logam saja.

5. Pengujian Dengan Gelombang Ultrasonik

Prinsip yang digunakan adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisi atau dipantulkan diamati dan interpretasikan. Gelombang *ultrasonic* yang digunakan memiliki frekuensi 0.5 - 20 MHz. Gelombang suara akan terpengaruh jika ada void, retak, atau delaminasi pada material. Gelombang *ultrasonic* ini dibangkitkan oleh transducer dari bahan *piezoelektri* yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik kemudian menjadi energi listrik lagi [The International Atomic Energy Agency (IAEA),2002].

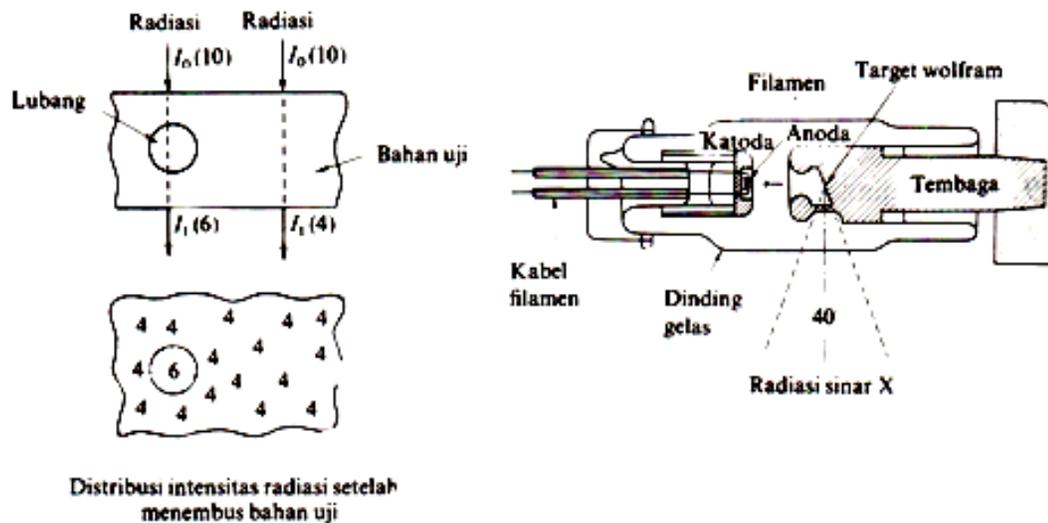


Sumber : [The International Atomic Energy Agency (IAEA),2002]

Gambar 17. Proses kerja *Ultrasonic Inspection*

6. Pengujian Dengan Radiografi

Metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film inilah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat. Skema pengujian ini dapat dilihat pada gambar 18.



Sumber : Harsono (2000)

Gambar 18. Dasar pengujian radiografi