

## PERANAN BERBAGAI TEKNIK UJI TIDAK RUSAK DALAM BIDANG INDUSTRI

Mardiyanto

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang

### ABSTRAK

**PERANAN BERBAGAI TEKNIK UJI TIDAK RUSAK DALAM BIDANG INDUSTRI.** Ada beberapa teknik uji tak rusak yang banyak digunakan di bidang industri antara lain radiografi sinar-x/ $\gamma$ , *magnetic resonance imaging*, ultrasonik, *eddy current*, partikel magnetik dan *dye penetrant*. Peranan dari teknik uji tak rusak ini sangat penting di bidang industri karena kebutuhan akan kualitas produk industri yang mampu bersaing. Uji tak rusak adalah bagian dari proses produksi dalam mata rantai akhir sebelum produk dipasarkan. Dengan adanya persaingan harga dan kualitas produk di pasar global maka dibutuhkan teknik uji tak rusak yang handal dan ekonomis. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian-penelitian baik untuk memperbaiki teknik yang telah ada ataupun untuk mencari teknik baru dan mengaplikasikannya. Teknik uji tak rusak yang relatif baru adalah teknik uji tak rusak radiografi dengan menggunakan berkas neutron termal. Teknik masih perlu dikembangkan, dipopulerkan dan diaplikasikan dalam berbagai bidang industri.

**Kata kunci :** Uji tak rusak, Radiografi sinar-X/ $\gamma$ , Radiografi neutron, *Eddy current*

### ABSTRACT

**INDUSTRIAL ROLE OF SOME NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS.** There are many non-destructive testing methods which are usually used in industry namely x/ $\gamma$ -rays, magnetic resonance imaging, ultrasonic, eddy current, magnetic particle, and dye penetrant. The industrial role of these techniques is very important to obtain good product quality and have strong competition power in the market. Non-destructive testing is the end process in manufacturing before the products are launched to the market. Due to the cost and quality competition in the global market, the good and economical non-destructive testing method is needed. Research should be done to improve the available techniques or to look for new techniques and their application. The relatively new non-destructive testing method is a thermal neutron radiography. The method is necessary to be improved and applied to the product manufacturing.

**Key words :** Non-destructive testing, X/ $\gamma$ -rays radiography, Neutron radiography, Eddy current

### PENDAHULUAN

Salah satu proses yang memegang peranan sangat penting dalam bidang teknik produksi adalah uji tak rusak (*Non Destructive Testing (NDT)*). Dengan menggunakan teknik ini maka cacat yang tidak terdeteksi dengan menggunakan metode pengujian secara visual karena ukurannya yang sangat kecil ataupun posisinya yang berada di bawah permukaan suatu produk dapat diketahui dengan baik sebelum produk dimasukkan ke proses akhir atau dilepas ke pasaran. Selain itu uji tak rusak juga bisa berperan untuk mengetahui cacat dari suatu bahan yang merupakan elemen dari suatu konstruksi mesin yang sedang dalam pengoperasian.

Teknik uji tak rusak yang banyak dipakai dalam bidang industri antara lain adalah radiografi (sinar-X, sinar- $\gamma$ , neutron), *magnetic resonance imaging*, ultrasonik, *eddy current*, partikel magnetik, *dye penetrant* [1]. Masing-masing teknik ini tentu saja memiliki kelebihan dan kekurangan antara yang satu

dengan yang lain. Radiografi sinar-X dan sinar- $\gamma$  memiliki kekurangan pada saat digunakan untuk pengujian terhadap bahan dengan nomor atom kecil dan sangat bagus jika digunakan untuk mendeteksi cacat pada bahan dengan nomor atom besar. Hal ini bertolak belakang dengan yang terjadi pada radiografi neutron yang dapat memberikan citra yang sangat kontras untuk bahan dengan nomor atom kecil dan kurang bagus jika digunakan pada bahan yang memiliki nomor atom besar. Oleh karena itu kedua teknik ini dapat digunakan bersama-sama dan saling melengkapi (*complementary*).

Teknik uji tak merusak ini selain banyak berperan dalam mata rantai sistem produksi, juga banyak digunakan dalam bidang-bidang yang lain seperti dalam bidang industri proses, proses produksi dan kesehatan. Dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan maka jenis-jenis uji tak rusakpun juga semakin bervariasi dan mengalami perkembangan.

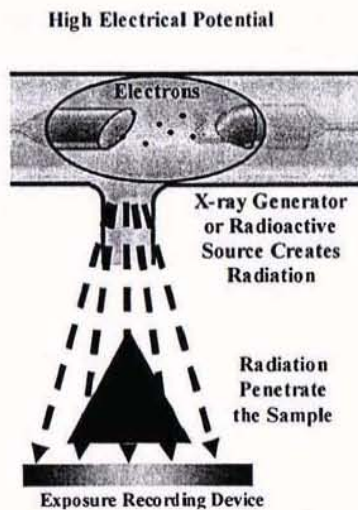


**TEORI**

**Radiografi**

Radiografi Sinar-X dan Sinar-γ

Sebagai sumber radiasi sinar-X dan sinar-γ adalah pesawat sinar-X dan radioisotop pemancar sinar-γ seperti Co-60. Sinar-X dihasilkan dengan menggunakan tabung pemancar sinar-X seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembentukan sinar-X [5]

Dalam tabung sinar-X terdapat dua elektroda yakni elektroda yang dihubungkan dengan sumber tegangan searah yang memiliki potensial tinggi, sehingga antara kedua elektroda akan terbentuk medan listrik E yang arahnya dari elektroda positif ke elektroda negatif. Elektron dihasilkan oleh filamen yang dipasang pada elektroda negatif dan selanjutnya ditarik oleh elektroda positif yang berfungsi sebagai target. Elektron akan menumbuk elektroda positif dan energi kinetik elektron terserap oleh target sehingga sebagian atau keseluruhan energi akan mengeksitasikan elektron dari atom target. Atom yang tereksitasi akan kembali ke keadaan stabil dan memancarkan kembali energi yang diserap dalam bentuk sinar-X. Sinar-X inilah yang diarahkan ke benda uji yang akan dideteksi keberadaan cacat yang ada di dalamnya.

Sinar-γ yang berasal dari sumber zat radioaktif akan tetap terpancarkan selama zat tersebut masih aktif. Untuk menghentikan proses pencahayaan terhadap benda uji maka diperlukan perisai (*shielding*) yang berfungsi sebagai *shutter*. Hal ini berbeda dengan yang terjadi pada sumber sinar-X dimana sumber akan mati pada saat tegangan listrik pada kedua elektrodanya dilepas.

Teknik ini bekerja berdasarkan interaksi antara radiasi nuklir sinar-X dan sinar-γ dengan bahan yang diuji. Seperti radiasi pada umumnya pada saat berinteraksi dengan bahan akan mengalami tiga kondisi yakni terhambur/terpantul, terserap, dan ditransmisikan.

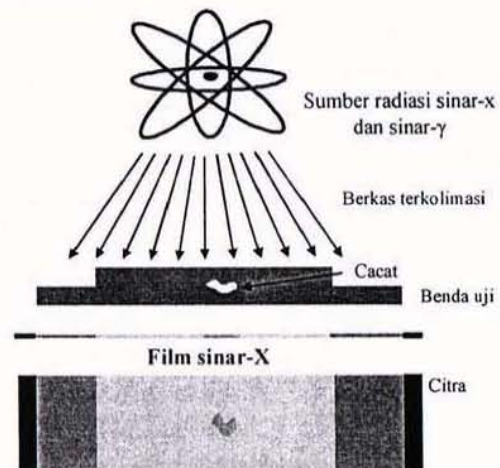
Dalam hal yang terakhir maka radiasi tidak mengalami interaksi dengan atom dari bahan yang diuji. Untuk keperluan pengujian tidak merusak ini kondisi kedua dan ketiga yang dimanfaatkan. Citra benda uji didapat dari perekaman terhadap intensitas radiasi yang ditransmisikan benda uji dan merupakan proyeksi dari keadaan benda uji. Hubungan antara intensitas radiasi yang datang dengan intensitas radiasi yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus d' Lambert sebagai berikut :

$$I = I_0 e^{-\Sigma X} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- $I_0$  = Intensitas radiasi sebelum melalui benda uji
- $I$  = Intensitas radiasi sesudah melalui benda uji
- $\Sigma$  = Tampang lintang makroskopik
- $X$  = Ketebalan benda uji

Pengujian tidak merusak ini pada umumnya dilakukan menggunakan sinar-X atau sinar-γ dan teknik ini disebut dengan teknik proyeksi karena citra hasil pengujian merupakan citra proyeksi dari cacat yang terdapat di dalam benda uji seperti diperlihatkan pada Gambar 2 [2].



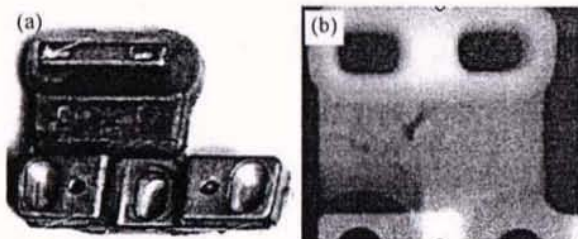
Gambar 2. Sistem pencitraan radiografi sinar-X dan Sinar-γ [5]

Proses pembentukan citra terjadi pada saat radiasi yang ditransmisikan  $I$  sebagai pembawa informasi cacat dari benda uji berinteraksi dengan medium perekam silver(Ag) halida yang dilapiskan pada plastik transparan. Energi radiasi ini memecahkan ikatan ionik Ag halida. Banyaknya molekul Ag halida yang terionisasi tergantung pada intensitas radiasi yang ditransmisikan  $I$  yang bervariasi sesuai dengan kondisi cacat pada benda uji. Apabila cacat berupa bahan penyerap radiasi maka  $I$  kecil dan sebaliknya bila cacat berupa rongga udara maka intensitas  $I$  besar. Intensitas  $I$  juga bervariasi terhadap ketebalan benda uji. Semakin tebal benda uji,  $I$  semakin mengecil mengikuti persamaan (1) di atas.

Citra akan terbentuk pada saat dilakukan pemrosesan film. Dalam proses ini ion  $Ag^+$  akan dinetralkan dan membentuk Atom Ag yang berwarna



hitam. Oleh karena itu film yang telah diproses menampilkan variasi kehitaman sesuai dengan besar-kecilnya intensitas  $I$  sebagai pembawa informasi kondisi benda uji. Suatu contoh dari hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a). Benda Uji (b). Citra radiografi proyeksi [5]

Pengujian teknik proyeksi ini bisa digunakan baik untuk pengujian terhadap benda-benda mati yang berupa komponen-komponen dari suatu sistem ataupun pengujian anomali yang terjadi dalam tubuh manusia atau hewan.

Penelitian dalam bidang ini bisa dilakukan diantaranya adalah dalam rangka untuk mendapatkan media pencitraan agar diperoleh citra yang berkualitas tinggi dengan waktu pencitraan yang sesingkat mungkin agar mengurangi terjadinya resiko bahaya radiasi. Selain dari itu penelitian bisa diarahkan agar bisa diperoleh citra digital. Dengan adanya citra digital maka kemudahan-kemudahan baik dalam penyimpanan, perbaikan kualitas citra, dan transportasi citra dari satu tempat ke tempat yang lain dapat dilakukan dengan mudah dan cepat dengan menggunakan kemajuan teknologi internet.

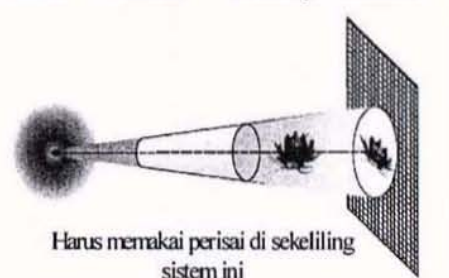
### Radiografi Neutron

Sumber radiasi lain yang bisa digunakan untuk uji tak rusak dengan teknik radiografi adalah dengan menggunakan radiasi neutron termal. Sumber radiasi neutron termal dapat diperoleh dari reaktor nuklir, mesin pemercepat partikel, dan unsur radioaktif yang memancarkan neutron seperti Cf-252. Pencitraan dengan teknik ini mirip dengan teknik yang digunakan pada radiografi sinar-X dan sinar- $\gamma$ . Perbedaannya terletak pada sifat neutron yang berbeda dengan sifat sinar-X dan sinar- $\gamma$ . Paling tidak ada dua perbedaan yang kita ketahui yakni sifat kebalikan dimana neutron memiliki tampang lintang interaksi yang tidak teratur sebagai fungsi berat atom bahan benda uji dan secara umum membesar dengan penurunan berat atom dan sebaliknya sinar-X dan sinar- $\gamma$  memiliki tampang lintang interaksi yang membesar dengan berat atom bahan benda uji. Hal inilah yang sering dinyatakan bahwa radiografi neutron itu komplemen dari radiografi sinar-X dan sinar- $\gamma$ . Perbedaan yang kedua adalah bahwa tidak seperti sinar-X dan sinar- $\gamma$  yang langsung bisa menghitamkan film sinar-X, radiasi neutron harus diubah terlebih dahulu menjadi radiasi yang bisa menghitamkan film sinar-X seperti sinar- $\gamma$  atau elektron dengan menggunakan suatu

bahan konverter yang menyebabkan terjadinya reaksi  $(n,\gamma)$  atau  $(n,e)$ .

Radiasi neutron yang berasal dari ketiga jenis sumber radiasi tersebut di atas, arahnya acak, sehingga untuk keperluan pencitraan perlu dikolimasikan dengan menggunakan sebuah kolimator. Benda uji selanjutnya diletakkan di dalam berkas yang telah dikolimasikan. Berkas yang mengenai benda uji sebagian akan diserap dan sebagian akan ditransmisikan. Berkas neutron yang ditransmisikan inilah yang diubah menjadi berkas yang dapat menghitamkan film dengan menggunakan sebuah konverter neutron. Setelah berkas dikonversikan menjadi sinar- $\gamma$  atau elektron baru diiradiasikan ke film sinar-X. Sistem radiografi neutron dapat diperlihatkan pada Gambar 4.

Sumber Kolimator Benda Uji Detektor



Gambar 4. Sistem Radiografi neutron [5]

### Radiografi Digital

Perkembangan teknologi komputer berimbas positif pula terhadap perkembangan radiografi baik radiografi sinar-X dan sinar- $\gamma$  ataupun neutron. Pada saat ini penggunaan kamera digital sebagai perekam citra yang dibawa oleh berkas radiasi yang ditransmisikan semakin menjadi populer. Hal ini disebabkan karena sensitivitas kamera digital menjadi semakin baik dan harganya pun menjadi semakin murah. Dari segi keselamatan, semakin sensitif sebuah kamera digital yang digunakan sebagai detektor radiografi maka semakin kecil radiasi yang diterima baik oleh para operator radiografi ataupun pasien. Dengan menggunakan kamera digital atau *imaging plate* maka citra digital dapat disimpan dalam media perekam digital seperti disket, *flash disk*, CD dan *hard disk*.

Apabila citra digital harus diinformasikan dari satu orang ke orang yang lain maka bisa dilakukan dengan mudah dan cepat baik dengan menggunakan jaringan komputer ataupun lewat jaringan internet.

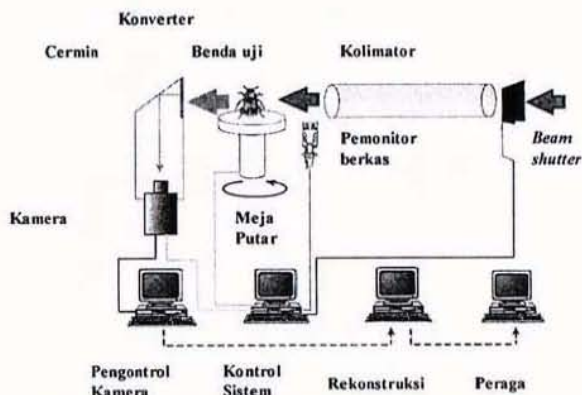
Apabila citra digital memiliki kualitas yang kurang baik misalnya intensitas terlalu rendah, kontras kurang baik atau keperluan yang berkaitan dengan peningkatan kualitas citra maka bisa dilakukan pemrosesan citra digital dengan menggunakan komputer. Penelitian dalam hal ini bisa diarahkan untuk mendapatkan hasil citra digital berkualitas



tinggi. Hal ini bisa dicapai apabila kualitas dari medium perekam dan teknik pemrosesan citra dapat ditingkatkan melalui penelitian-penelitian.

### Tomografi

Kata *tomography* diturunkan dari bahasa Yunani yang merupakan gabungan dua buah kata yakni *tomos* yang berarti sayatan (*slice*) dan *graphein* yang berarti menulis (*to write*) [3]. Dengan demikian kata tomografi berarti citra sayatan tampang lintang dari suatu benda uji. Tampang lintang ini adalah tampang lintang benda uji yang sejajar dengan arah dari radiasi. Untuk pencitraan tomografi ini bisa digunakan baik radiasi sinar-X dan sinar- $\gamma$  ataupun radiasi neutron. Sistem pencitraan tomografi dapat dilukiskan pada Gambar 5.

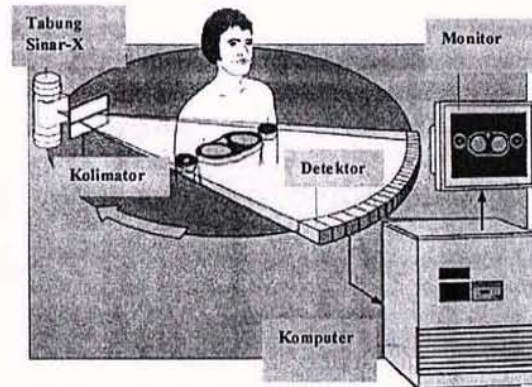


Gambar 5. Sistem Pencitraan Tomografi [5]

Untuk mendapatkan citra tomografi langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah (1). Pengambilan data proyeksi yang dilakukan untuk beberapa posisi dengan cara memutar meja benda uji (2). Pengolahan data awal (3). Rekonstruksi dan Peragaan (4). Pembahasan secara detail pembuatan perangkat lunak rekonstruksi dapat dilihat pada referensi [4,5].

Penguasaan teknik ini meliputi dua hal yakni yang terkait dengan perangkat keras dan perangkat lunak. Penelitian yang terkait dengan perangkat keras dapat dilakukan mulai dari tindakan bagaimana untuk memperoleh kualitas sumber neutron yang terkolimasi dengan baik dan tidak banyak tercampur dengan radiasi sinar- $\gamma$ . Hal ini bisa diawali dengan melakukan simulasi desain kolimator dengan menggunakan *software Monte Carlo (MCNP)*. Dalam melakukan simulasi ini dapat divariasikan dari sisi bentuk/dimensi kolimator, *L/D ratio*, dan bahan-bahan struktur yang menyusun kolimator yang dikaitkan dengan fungsinya agar neutron yang keluar dari kolimator memenuhi persyaratan sebagai sumber berkas radiasi untuk radiografi neutron.

Penelitian tomografi neutron juga bisa dilakukan dalam rangka menaikkan efisiensi konverter neutron, kamera penangkap cahaya dari konverter, pemakaian detektor satu dimensi. Penelitian dapat juga dilanjutkan pada pembuatan perangkat lunak rekonstruksi dengan

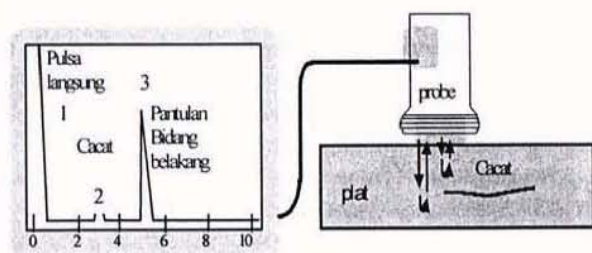


Gambar 6. Pengambilan data dan rekonstruksi tomografi sinar-X

menggunakan berbagai macam teknik rekonstruksi dan teknik *filtering* [4,5]. Selain dari itu perlu dicoba juga untuk menggunakan detektor yang sensitif terhadap posisi (*position sensitive detector*) agar diperoleh waktu pencitraan yang lebih pendek.

### Ultrasonik

Ultrasonik adalah gelombang suara yang memiliki frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ultrasonik dapat dihasilkan dengan dua cara yakni dengan fenomena piezoelektrisitas dan magnetostruktif. Interaksi gelombang ultrasonik dengan suatu benda dalam tiga cara yakni pantulan, serapan, dan transmisi. Untuk gelombang ultrasonik informasi diperoleh dari gelombang yang ditransmisikan dan dipantulkan oleh permukaan atau cacat. Pengujian dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi gelombang pantulan (*echo*) atau energi gelombang yang ditransmisikan. Pengujian dengan cara mendeteksi gelombang pantul dapat dilihat pada Gambar 7.

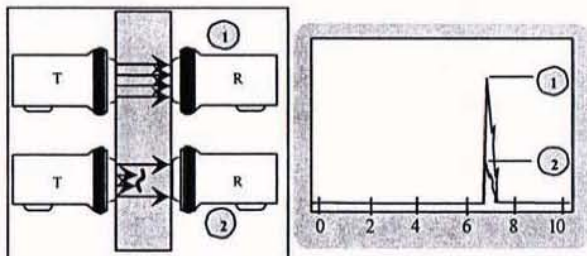


Gambar 7. Metode Echo (pantulan)

Pulsa 1, pulsa 2 dan pulsa 3 masing-masing adalah energi gelombang pantul dari permukaan yang bersentuhan langsung dengan *probe*, pantulan dari cacat, dan pantulan dari permukaan bagian bawah dari plat. Pada saat tidak ada cacat pada plat maka pulsa yang akan tertampil pada layar adalah hanya pulsa 1 dan pulsa 3. Dengan menggunakan teknik ini maka informasi yang dapat diperoleh tidak hanya keberadaan cacat dalam plat tetapi posisi cacatpun dapat ditentukan dengan menggunakan sedikit perhitungan sederhana.



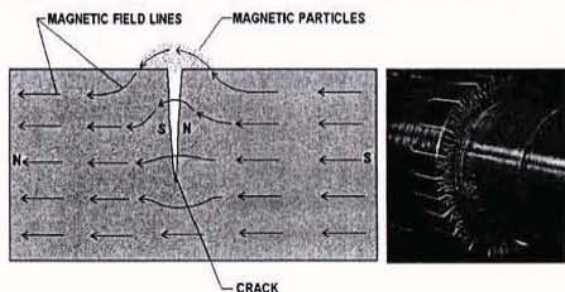
Untuk pengujian/pengukuran ketebalan plat dapat digunakan metode transmisi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8. Hasil pengujian pada saat tidak terdapat cacat tertampil pada layar pulsa nomer 1. Sedangkan untuk plat yang terdapat cacat akan terlihat sebagai pulsa 2 yang lebih kecil dibandingkan dengan pulsa 1 karena ada sebagian gelombang ultrasonik yang dipantulkan kembali oleh cacat.



Gambar 8. Metode Transmisi [5]

### Partikel Magnetik

Benda uji dimagnetisasi terlebih dahulu selanjutnya akan terbentuk garis medan magnet seperti terlihat pada Gambar 9. Apabila benda uji ini ditaburi dengan menggunakan partikel besi yang lapsi dengan menggunakan *dye pigment* maka partikel-partikel ini akan tertarik dan terkumpul pada daerah yang terjadi keretakan karena pada daerah ini terjadi kebocoran medan fluks magnetik. Partikel-partikel besi yang terkumpul pada daerah cacat ini selanjutnya dapat diamati langsung dengan menggunakan pencahayaan yang tepat.



Gambar 9. Pengujian dengan metode partikel magnetik [5]

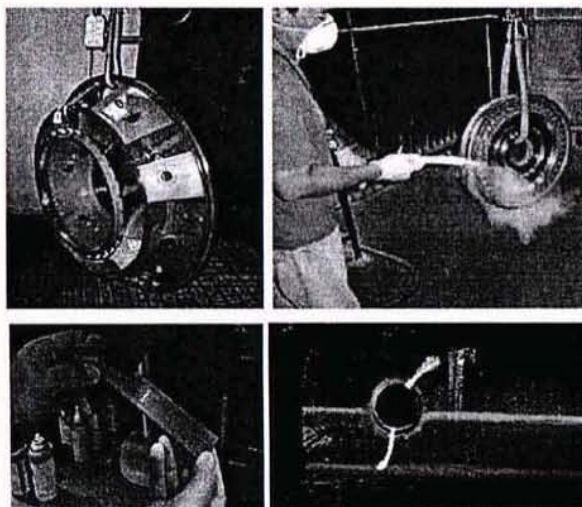
### Dye Penetrant

Pengujian ini digunakan untuk mendeteksi cacat luar yang tidak bisa dideteksi langsung dengan menggunakan mata karena ukurannya yang kecil. Untuk membantu penglihatan maka digunakan bantuan cairan yang mudah meresap ke dalam cacat, berwarna atau yang bersifat *fluorescent*. Agar tidak merusak benda uji maka cairan yang digunakan juga tidak boleh bersifat korosif.

Sebelum cairan ditumpahkan ke benda uji maka benda uji harus dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran yang menempel baik berupa karat, oli, dan kotoran lain yang menempel. Untuk membersihkan kotoran ini bisa digunakan baik udara bertekanan, bahan pelarut seperti alkohol, ataupun air panas.

Agar posisi cacat dapat terlihat dengan jelas maka limpahan cairan harus dibersihkan. Setelah dibersihkan selanjutnya dilakukan proses pengembangan dengan menggunakan serbuk pengembang untuk mengeluarkan cairan yang terjebak dalam cacat. Cairan ini tentu saja akan berada di sekeliling cacat. Apabila cairan yang digunakan berwarna maka posisi cacat akan langsung bisa terlihat.

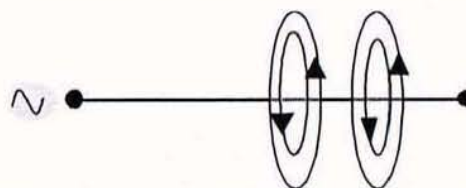
Apabila cairan yang digunakan adalah cairan yang dicampurkan dengan menggunakan bahan yang mampu berpendar maka cairan yang terjebak akan bisa dilihat di tempat tertutup dan digunakan penerangan cahaya ultra violet. Dengan menggunakan teknik ini maka sensitivitas pendeteksian akan menjadi lebih baik.



Gambar 10. Pengujian cacat dengan metode *dye penetrant* [5]

### Teknik Eddy Current

Pengujian cacat dengan teknik *Eddy Current* hanya bisa digunakan pada bahan konduktor. Teknik ini memiliki beberapa kelemahan yang lain diantaranya bahwa permukaan benda uji harus bisa dijangkau *probe*, cacat yang dapat dideteksi hanya cacat permukaan dan cacat yang berada sedikit di bawah permukaan atau dengan kata lain kemampuan kedalaman pendeteksian sangat terbatas, dan cacat yang paralel terhadap *probe* tidak terdeteksi. Keuntungan dari penggunaan teknik ini adalah bahwa keretakan yang ukurannya sangat kecil di permukaan ataupun sedikit di bawah permukaan dapat dideteksi. Selain dari itu pada cacat dari benda uji yang komplekspun teknik ini bisa digunakan. Teknik uji dengan arus eddy ini bisa juga digunakan untuk

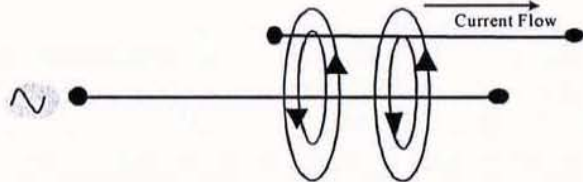


Gambar 11. Medan magnet di sekeliling konduktor yang dialiri arus bolak-balik



pengukuran konduktivitas listrik dan ketebalan lapisan permukaan.

Arus eddy terbentuk melalui proses yang disebut sebagai induksi elektromagnetik. Ketika arus bolak-balik dilewatkan pada kawat konduktor maka akan terbentuk medan magnet di sekelilingnya yang arahnya sesuai dengan kaidah tangan kanan (Gambar 11). Medan magnet ini akan membesar pada saat arus membesar dan mengecil pada saat arus mengecil.

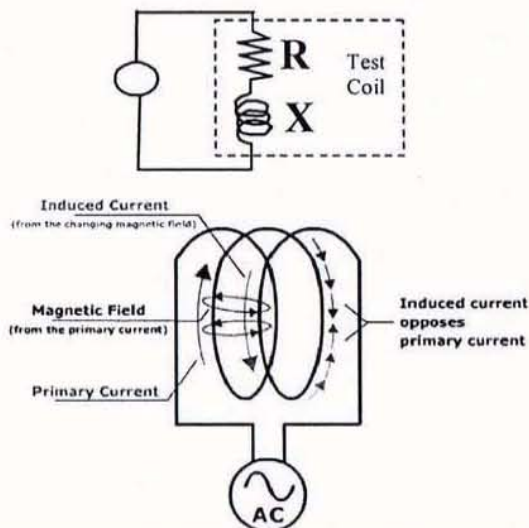


Gambar 12. Arah eddy current

Apabila bahan konduktor listrik didekatkan pada probe penghasil medan magnet maka akan terjadi efek balik yang melawan penyebab awal (Gambar 12). Medan magnet yang menembus konduktor akan menghasilkan arus eddy yang merupakan arus induksi.

Ada tiga hal yang mempengaruhi besarnya arus eddy yang terbentuk yakni konduktivitas listrik bahan, permeabilitas magnetik bahan, dan kuantitas bahan pada yang berada di sekitar kumparan. Informasi kekuatan arus eddy ditentukan dengan mengukur perubahan tegangan atau arus yang mengalir pada kumparan.

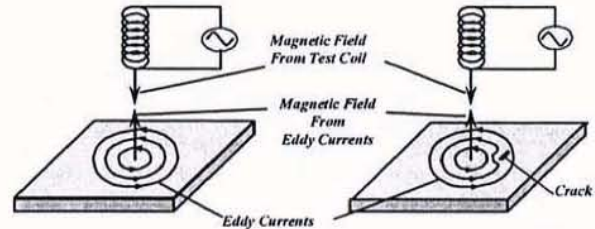
Kekuatan arus eddy akan mengubah impedansi listrik ( $Z$ ) kumparan. Impedansi kumparan terdiri dari tahanan listrik  $R$  dan reaktansi induktif ( $X_L$ ).



Gambar 13. Perubahan tegangan/arus pada kumparan oleh perlawanan eddy current

Fenomena secara umum untuk arus bolak-balik yang mengalir pada suatu kumparan berbentuk loop yang didekatkan pada kumparan yang lain, maka arus pada kumparan pertama akan menginduksikan medan magnet pada kumparan kedua sehingga timbul arus induksi yang arahnya melawan arus pada kumparan pertama.

Adanya cacat pada bahan uji akan mengakibatkan menurunnya arus eddy, sehingga perubahan arus atau tegangan pada kumparan pada saat kumparan didekatkan pada benda uji yang ada cacat dan tidak ada cacat akan berbeda. Perbedaan inilah merupakan tanda adanya cacat pada benda uji. Arus eddy pada benda uji tanpa cacat dan dengan cacat dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Perubahan eddy current akibat adanya cacat pada benda uji

Penelitian dalam bidang ini dapat diarahkan untuk memudahkan cara pembacaan dari hasil pengujian, teknik penampilan dan penyimpanan data.

## KESIMPULAN

Teknik uji tak rusak yang disampaikan dalam tulisan ini pada umumnya telah banyak digunakan di lapangan baik di industri ataupun di bidang kesehatan seperti radiografi sinar-x dan sinar- $\gamma$ . Namun demikian penelitian seyogyanya tetap dilakukan dalam rangka untuk memperbaiki kualitas dan atau kemudahan dalam pembacaan hasil/data, penyimpanan, pengiriman data dari satu tempat ke tempat yang lain. Penelitian juga perlu dilakukan untuk teknik uji yang masih dalam perkembangan untuk diaplikasikan seperti teknik radiografi neutron.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. [www.ndt-ed.org/GeneralResources/IntroToNDT/Intro\\_to\\_NDT.ppt](http://www.ndt-ed.org/GeneralResources/IntroToNDT/Intro_to_NDT.ppt) (B)
- [2]. [www.tecn.upf.es/~afrangi/ibi/XrayImagingTechniques.pdf](http://www.tecn.upf.es/~afrangi/ibi/XrayImagingTechniques.pdf) [c]
- [3]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Computed\\_tomography](http://en.wikipedia.org/wiki/Computed_tomography) (A)
- [4]. MARDIYANTO, Neutron Computed Tomography, *Majalah Atom Indonesia*, 21 (1) (1995)
- [5]. GABOR T. HERMAN, *Image Reconstruction from Projections*, Academic Press, New York, (1980)
- [6]. EBERHAD H. LEHMANN, *Neutron Radiography and Tomography*, Trieste, Mater. Science, (2005)