

DOI: doi.org/10.21009/0305020206

## INSPEKSI CACAT (DISKONTINUITAS) PADA MATERIAL DENGAN MENGGUNAKAN UJI ULTRASONIK DAN UJI RADIOGRAFI

Renie Adinda Pitalokha<sup>a)</sup>, Cukup Mulyana<sup>b)</sup>, Muhamad Ridwan Hamdani<sup>c)</sup>, Fajar Muhammad<sup>d)</sup>

Prodi Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor 45363

Email: <sup>a)</sup>renie.adinda@gmail.com, <sup>b)</sup>c.mulyana55@yahoo.com, <sup>c)</sup>hamdanimuhamad12@gmail.com, <sup>d)</sup>fajaarmuhammad@yahoo.com

### Abstrak

Cacat (Diskontinuitas) pada material dapat disebabkan oleh rusaknya struktur mikroskopik maupun makroskopik pada material dan tidak dapat diinspeksi secara visual. Uji tak rusak merupakan salah satu pengujian suatu material tanpa merusak material, sehingga dapat bertindak sebagai kendali kualitas dimana cacat dari material dapat diantisipasi sejak dini. Salah satu metode yang digunakan dalam uji radiografi adalah menggunakan sinar-x sebagai pendeteksi cacat yang kemudian dapat digambarkan pada film negative atau komputer. Sedangkan uji ultrasonik prinsip dasarnya menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi untuk mengetahui karakteristik dari cacat material. Pengujian dengan menggunakan uji ultrasonik telah mengalami pengembangan yaitu metode ultrasonik *phased arrays* dan ultrasonik *long range*. Pada penelitian ini akan membandingkan kedua metode uji tak rusak yaitu uji ultrasonik dan uji radiografi dimulai dari cara kerja, proses, keunggulan dan kekurangan. Uji ultrasonik *long range* memiliki kemampuan yang baik dalam menentukan lokasi cacat, uji ultrasonik *phased array* memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi jenis cacat baik dari ukuran yang kecil hingga material yang kecil, sedangkan uji radiografi sinar x dapat mengidentifikasi jenis cacat dan bentuk dari cacat tersebut. Ketiga metode uji tidak menunjukkan metode mana yang paling unggul akan tetapi keadaan yang saling melengkapi.

**Kata-kata kunci:** uji ultrasonik, uji radiografi, sinar-x, uji tak rusak.

### Abstract

Defect (discontinuity) in the material can be caused by the damage of microscopic or macroscopic structure of material and can't be visually inspected. Non-destructive testing is one of material testing without destruct the material, so it can act as quality control which defect of material can be detected. One of the method used in radiography testing uses x-ray as defect detector and showing the result in negative film or computer. Whereas the principle of ultrasonic testing uses audible wave with high frequencies to find out the characteristics of defect. Ultrasonic testing have been developed into phased array ultrasonic testing and long range ultrasonic testing. This research will compare both of ultrasonic testing and radiography testing from the principle, process, capabilities, and limitations. Long range ultrasonic testing have capability to determine the location of defect. Phased array ultrasonic test have capability to detect the type of defect from small defect to small material, while x-ray radiograph testing can identify type and shape of the defect. These methods were not showing which one the best is, but they were complete each other.

**Keywords:** ultrasonic testing, radiography testing, x-ray, non-destructive testing.

## 1. Pendahuluan

Penggunaan metode uji tak rusak sudah banyak digunakan dalam berbagai industri, baik industri migas, petrokimia dan lainnya. Sifatnya yang tidak merusak membuat metode ini banyak mengalami perkembangan sehingga industri lebih menyukai penggunaannya dalam pengendalian kualitas peralatan industri. Tidak sedikit peralatan industri yang terkorosi hingga mengalami penipisan yang bergantung pada waktu sehingga kendali kualitas sangat dibutuhkan untuk mencegah adanya interupsi

saat beroperasi. Metode uji tak rusak yang paling umum digunakan adalah uji penetrasi, uji partikel magnet, uji radiografi, uji ultrasonik, dan uji *eddy current*. Terdapat dua jenis uji tak rusak yang memanfaatkan prinsip kerja gelombang yaitu uji ultrasonik dan uji radiografi. Uji ultrasonik memanfaatkan pantulan gelombang yang berasal dari titik cacat (*discontinuitas*), sedangkan uji radiografi memanfaatkan sifat dari gelombang sinar x yang dapat menembus benda padat dan menangkap sinar tersebut ke suatu film negatif. Pada dasarnya hasil

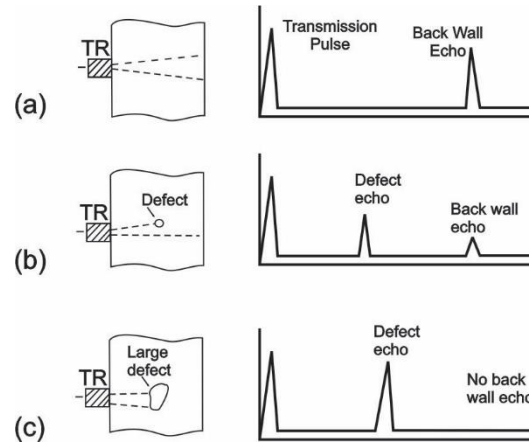
dari kedua metode uji ini dilihat dari pengurangan intensitas yang ditangkap oleh *receiver* atau film negatif, sehingga *discontinuitas* dapat dideteksi. Hasil pengujian haruslah mendekati keadaan sebenarnya sehingga penggunaan dalam kondisi yang diperbolehkan dapat diperhitungkan secara tepat, jika tidak maka akan mengakibatkan kecelakaan yang dapat membahayakan industri dan lingkungan sekitar. Oleh karena itu pemilihan metode uji menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan dalam proses kendali kualitas. Setiap metode uji tak rusak memiliki kemampuan dan keterbatasan dalam membaca dan menerjemahkan karakteristik cacat pada material sehingga pemilihan metode uji untuk cacat tertentu dapat mengefisiensikan waktu pengujian dan mendapatkan hasil uji yang tepat. Dengan membandingkan metode uji radiografi dan uji ultrasonic kita dapat menentukan metode uji yang paling tepat untuk cacat tertentu.

### 1.1. Uji Tak Rusak

Uji tak rusak merupakan salah satu pengujian suatu material tanpa merusak material, sehingga dapat bertindak sebagai kendali kualitas dimana cacat dari material dapat diantisipasi sejak dini. Terdapat beberapa metode yang paling umum digunakan dalam industri yaitu uji cairan penetran (PT), uji partikel magnetik (MT), uji radiografi (RT), uji ultrasonik (UT) dan uji eddy current (ET). Pada tulisan ini akan dibahas tiga metoda uji tak rusak, yaitu *phased array ultrasonic*, *longrange ultrasonic*, dan *x-ray radiography*.

### 1.2. Uji Ultrasonik

Uji ultrasonik adalah salah satu jenis uji tak rusak yang memanfaatkan perambatan gelombang dengan frekuensi tinggi (ultrasonik). Sistem uji ultrasonik terdiri dari tiga bagian utama yaitu gelombang penerima, transduser, dan *display*. Prinsip kerjanya ialah gelombang penerima yang berupa perangkat elektronik menghasilkan tegangan tinggi dan membuat transduser menghasilkan frekuensi tinggi dan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik masuk ke dalam bahan dan dipantulkan kembali menuju transduser sebelum akhirnya perambatan gelombang ini ditampilkan pada *display*. Jika terdapat diskontinuitas (cacat atau korosi) maka gelombang akan dipantulkan kembali dan ditampilkan pada *display*.



**Gambar 1.** Prinsip dasar uji ultrasonik.[1]

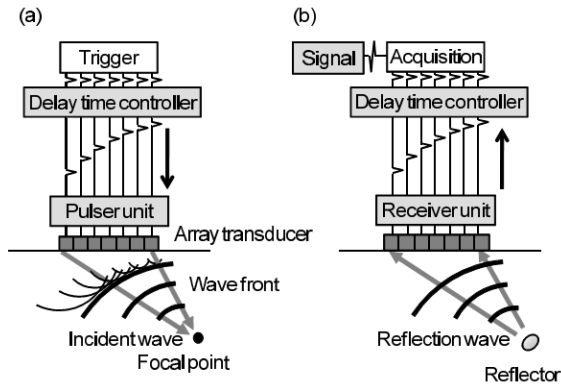
Prinsip dasar dari pengujian dengan menggunakan metode ini dapat digambarkan berdasarkan persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang (m),  $v$  adalah kecepatan rambat gelombang (m/s), dan  $f$  adalah frekuensi yang digunakan (Hz). Berdasarkan persamaan (1) dapat diketahui resonansi maksimum berdasarkan besar frekuensi yang digunakan, dan jarak bahan menggunakan perubahan resonansi. Cacat dalam bahan dapat dideteksi akibat adanya penurunan intensitas gelombang yang ditransmisikan. Hasil dari gema gelombang dapat digunakan untuk mengukur waktu rambat, tebal bahan, lokasi dan ukuran cacat serta amplitudo gelombang.

#### A. Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT)

*Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) merupakan metode uji ultrasonik menggunakan sebuah probe dengan multi-elemen dimana pulsa keluaran dihasilkan dari setiap elemen yang memiliki waktu tunda sedemikian rupa sehingga menghasilkan interferensi konstruktif pada sudut tertentu dan kedalaman tertentu. Jangkauan dari phased array ditentukan oleh ukuran elemen yang masih menggunakan rumus uji ultrasonik konvensional untuk menghitung *beam spread*. Semakin kecil ukuran elemen maka semakin tinggi jangkauan pengujian sehingga mampu menguji sudut yang besar.



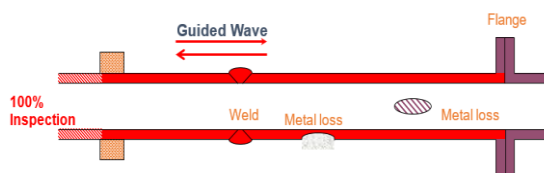
**Gambar 2.** Prinsip kerja phased array ultrasonic (a) proses pengiriman gelombang ultrasonic, (b) proses penerimaan gelombang ultrasonic.[1]

Gambar 2(a). menunjukkan proses pengiriman gelombang ultrasonik yang dikirim oleh setiap elemen dengan menggunakan eksitasi *delay* menuju *focal point* dan Gambar 2(b). menunjukkan proses penerimaan gelombang ultrasonik dari gelombang pantul yang diterima oleh setiap transduser dengan proses sinyal waktu tunda (*time-delay*).

**B. Long Range Ultrasonic Testing (LRUT)**

*Long Range Ultrasonic Testing (LRUT)* merupakan metode uji ultrasonik yang memanfaatkan cara kerja dari pandu gelombang. LRUT menggunakan pandu gelombang dengan frekuensi rendah. Operasi dalam rentang frekuensi suara (dengar) disebarkan oleh *ring transducer* ke sekeliling pipa. Frekuensi rendah ini digunakan untuk membangkitkan sinyal pandu gelombang. Proses penjalaran gelombangnya ditunjukkan pada Gambar 3.

Jarak transduser ultrasonik yang seragam di sekeliling pipa memungkinkan gelombang yang dipandu menyebar simetri sepanjang sumbu pipa. Hal ini dapat digambarkan seperti gelombang yang berjalan di sepanjang pipa dan pipa bertindak sebagai gelombang-pandu sehingga disebut dengan pandu gelombang. Banyaknya gelombang pandu diatur oleh frekuensi gelombang dan ketebalan material. Di manapun gelombang bertemu dengan perubahan ketebalan pipa (naik ataupun menurun) maka sebagian energi gelombang akan dipantulkan kembali ke transduser dan dideteksi sebagai diskontinuitas (cacat).



**Gambar 3.** Proses penjalaran pandu gelombang pada LRUT.

Indikasi yang dapat diperoleh dari pengujian LRUT dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu kategori 1 (Cat.1) yang dapat teramati ketika sinyal respon dari gelombang pantul berada di bawah -26dB. Pada kategori ini diperkirakan terjadi penipisan akibat cacat sebesar 3% hingga 9%. Selanjutnya kategori 2 (Cat.2) yang dapat teramati ketika sinyal respon dari gelombang pantul berada di atas -26dB dan di bawah -20dB. Pada kategori ini dapat diperkirakan terjadi penipisan akibat cacat sebesar 9% hingga 15%. Kategori terakhir, yaitu kategori 3 (Cat.3) yang dapat teramati ketika sinyal respon dari gelombang pantul berada di atas -20dB. Pada kategori ini diperkirakan terjadi penipisan akibat cacat di atas 15%.

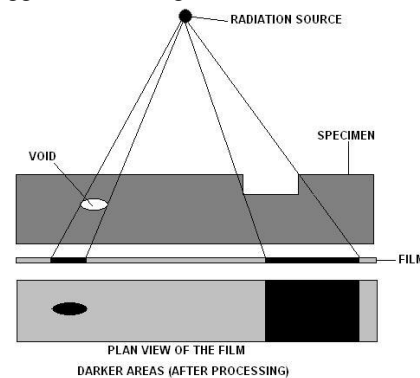
**C. Uji Radiografi Sinar-X**

Radiografi adalah salah satu uji tak rusak yang menggunakan sinar x yang mampu menembus hampir semua logam sehingga dapat digunakan untuk mengungkap cacat atau ketidaksesuaian di balik dinding metal atau di dalam bahan itu sendiri. Radiografi menggunakan kemampuan radiasi sinar x untuk menembus langsung pada material. Intensitas radiasi yang akan ditembakkan pada material sangat bergantung pada berat jenis dan ketebalan dari material tersebut. Pada 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, intensitas yang terekam tersebut akan bervariasi. Hasil rekaman pada film inilah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat.

Besarnya intensitas foton yang ditransmisikan dapat diketahui melalui persamaan:

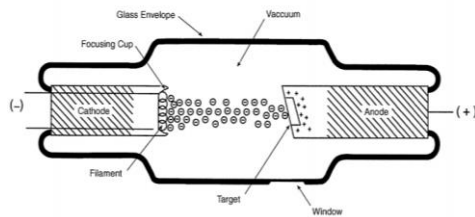
$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{2}$$

dengan *I* adalah intensitas foton yang ditransmisikan, *I<sub>0</sub>* adalah intensitas foton *incident*, *μ* adalah koefisien peredaman, dan *x* adalah ketebalan benda yang diinspeksi. Gambar 4. menunjukkan prinsip kerja dari uji menggunakan radiografi sinar x.



**Gambar 4.** Prinsip kerja uji radiografi.[1]

Terdapat tiga hal dasar yang harus tersedia untuk menghasilkan sinar x, diantaranya (a) sumber elektron sebagai *heated filament*, (b) pemfokus dan pemercepat elektron sebagai sumber tegangan tinggi, dan (c) *target* yang merupakan tempat menemukannya elektron, biasanya dalam bentuk logam padat. Hal-hal dasar tersebut ditunjukkan pada Gambar 5. yang menunjukkan sebuah tabung sinar x yang terdiri dari sebuah *glass envelope* tempat terpasangnya dua elektroda, yaitu sebuah katoda dan anoda. Katoda berlaku sebagai sumber elektron. Setelah tegangan tinggi dialirkan melalui katoda, elektron-elektron akan dipercepat oleh anoda, dan kemudian elektron-elektron tersebut akan berhenti akibat adanya *solid target* yang terpasang di anoda. Proses menghentikan pergerakan elektron yang memiliki kecepatan tinggi menyebabkan terciptanya sinar x.



Gambar 5. Tabung sinar-x.[1]

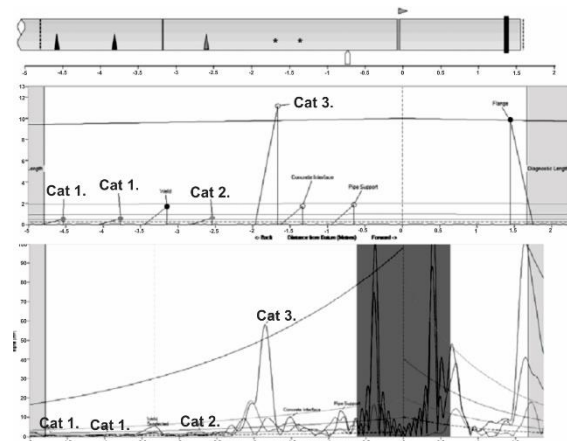
## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur mengenai uji tak rusak secara umum dan jenis-jenisnya. Selanjutnya peneliti memperoleh data sekunder dari PT.X berupa data hasil uji tak rusak yang dilakukan terhadap pipa SA 106 Gr. B, Sch 40, diameter 3” dengan ketebalan standar 5,49 mm menggunakan metode *Longrange Ultrasonic Testing*, pipa dengan ketebalan 30 mm dan 20 mm menggunakan metode uji sinar-x radiografi dan *phased array ultrasonic*. Selanjutnya, membandingkan data hasil uji tak rusak dengan menggunakan metode *Longrange Ultrasonic Testing*, sinar-x radiografi, dan *phased array ultrasonic*. Selain itu, dilakukan analisis karakteristik cacat pada pipa dan bagian lasan pada material dari data sekunder menggunakan ketiga metode uji tak rusak. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat dibandingkan keunggulan dan kekurangan dari metode uji tak rusak yang digunakan sehingga dapat diperoleh metode uji yang paling efektif untuk uji tak rusak pada jenis cacat tersebut.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Metode uji tak rusak yang akan dibandingkan adalah uji ultrasonik *long range*, uji ultrasonik *phased array*, dan *x-ray radiography*. Untuk dapat membandingkan ketiga metode tersebut digunakan berbagai data pengujian sekunder. V.S. Desai, et al. (2011) [4] telah melakukan pengujian terhadap pipa

SA 106 Gr. B, Sch 40, diameter 3” dengan ketebalan standar 5,49 mm menggunakan metode uji ultrasonik *long range*. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian ultrasonik long range. [4]

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan Gambar 6. terlihat indikasi cacat material yang terbagi menjadi tiga kategori dan sinyal lain yang terdeteksi antara lain sebagai berikut. Kategori 1 (Cat.1) yang terjadi pada dua titik dengan lokasi yang berbeda yaitu pada jarak -4,54 m (dari sumber gelombang ultrasonik). Ketebalan objek terkini adalah 4,7 mm. Titik kedua berada pada jarak -3,77 m. Ketebalan objek terkini adalah 4,2 mm. Kategori 2 (Cat.2) yang terjadi pada jarak -2,54 m (dari sumber gelombang ultrasonik) dengan ketebalan objek terkini adalah 3,5 mm. Kategori 3 (Cat.3) yang terjadi pada jarak -1,67 m (dari sumber gelombang ultrasonik) dengan ketebalan objek terkini adalah 2,7 mm.

Selanjutnya adalah sinyal lain yang terdeteksi. Oleh karena metode *Long Range Ultrasonic Testing* (LRUT) mengidentifikasi cacat material berdasarkan gelombang pantul, sinyal kecil yang diterima *receiver* terdeteksi sebagai kondisi diskontinuitas akibat adanya perubahan ketebalan pada titik tersebut. Sinyal-sinyal tersebut diantaranya, *Concrete Interface* berada pada jarak -1,33 m, *Pipe support* berada pada jarak -0,65 m, dan *Flange* berada pada jarak 1,44 m.

Sinyal lain yang terdeteksi ini tidak memiliki indikasi yang menyebabkan penipisan pada material sehingga tidak dihitung sebagai cacat yang harus mendapatkan pemeriksaan lanjut. Pengujian menggunakan metode ultrasonik *long range* dapat mendeteksi lokasi terjadinya cacat dan mengetahui nilai ketebalan pada saat pengujian. Data ketebalan ini dapat digunakan untuk menghitung nilai laju korosi dan umur sisa. Namun, metode ini tidak dapat mendeskripsikan jenis cacat yang terjadi pada material tersebut. Untuk mengetahui jenis cacat tersebut diperlukan metode lain yang mampu mendeteksi jenis cacat pada suatu material. Dalam

tulisan ini, digunakan metode uji ultrasonik *phased array* dan metode uji radiografi sinar-x.

Marefat et al. (2011) [5] telah melakukan eksperimen dengan membandingkan hasil pengujian metode uji radiografi dan uji ultrasonic *phased array* yang ditunjukkan pada Gambar 7. dan Gambar 8. Pengujian sinar-x dilakukan berdasarkan standard ASME bagian V, dengan tipe encoder Rigaku-Radioflex300EG-S3 X-ray generator dengan ukuran focus 2.5\*2.5, tipe film yang digunakan adalah MX125 Kodak, rentang *SFD (Source Film Distance)* 45 cm – 60 cm, energi yang digunakan berkisar antara 190 – 200 kV, dan waktu penyinaran selama 240 – 360 s.

Pengujian ultrasonic *phased array* dilakukan berdasarkan standard ASME E2491-06, dengan tipe

encoder Harfang *equipment X32 series*, nomor elemen 1-32, model probe PE-500 MI.00 P32E, *wedge model* yang digunakan adalah PE-35 WOR-2, dengan tipe scan *Sectorial* dengan rentang sudut min 40° - max 70°, dan menggunakan software UT-STUDIO 2.3R. Berdasarkan Gambar 7., dari 8 titik cacat yang dibuat dengan lokasi yang berbeda, uji *sinar-x radiography* hanya dapat mendeteksi 3 titik saja yaitu cacat pada titik nomor 1 yang merupakan porositas, 2 dan 4 yang merupakan *lack of inter-pass fusion*. Titik nomor 3 merupakan cacat *crack* dan 5 merupakan cacat *lack of root penetration*. Pengujian dengan menggunakan metode ultrasonik *phased array* dapat mendeteksi bagian cacat yang tidak dapat dideteksi oleh uji radiografi sinar-x.[5]

Tabel 4. Hasil perbandingan beberapa metode uji.

	Uji Ultrasonik <i>Longrange</i>	Uji Ultrasonik <i>Phased Array</i>	Uji Radiografi Sinar X
Efek geometri pada saat pengukuran	Penting	Penting	Penting
Sensitivitas relative pada saat pengukuran	Tinggi	Tinggi	Menengah
Kebutuhan pelatihan sebelum melakukan pengujian	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Peralatan yang <i>portable</i>	Tinggi	Tinggi	Rendah
<i>Display</i>	<i>Display Digital (PC)</i>	<i>Display Digital (PC)</i>	Film Negatif
Hasil pengujian	2D dan 3D	2D dan 3D	2D
Kerusakan yang dapat dideteksi	Bagian permukaan material, bagian dalam material termasuk cacat yang sangat kecil	Bagian permukaan material dan bagian dalam material termasuk cacat yang sangat kecil, khususnya dapat mendeteksi bagian laminasi <i>subsurface</i> seperti retak	kerusakan interior makroskopik seperti <i>cracks</i> , porositas, <i>lack of fusion</i> , dan <i>lack of penetration</i> .
Kemampuan metode uji	Pengukuran ketebalan material, lokasi cacat (dalam sumbu x dan y), mengukur material yang panjang, misalnya pipa.	Pengukuran ketebalan material, lokasi cacat (dalam sumbu x dan y), mengukur kedalaman cacat, mengukur cacat berukuran kecil, dapat mendeteksi jenis cacat pada lasan, cocok digunakan untuk material yang berukuran kecil	Pengukuran ketebalan, mendeteksi jenis cacat pada lasan dan dapat melihat bentuk dari cacat material
Keterbatasan metode uji	Tidak dapat mendeskripsikan jenis cacat yang terjadi	Membutuhkan kemampuan yang tinggi dalam menafsirkan pulsa gema, kemampuan yang tinggi untuk mengidentifikasi jenis cacat dan sulit digunakan untuk material yang besar	Membutuhkan kemampuan yang tinggi dalam mengetahui sudut paparan, indentifikasi indikasi kerusakan dan berbahaya

Gambar 8. menunjukkan terdapat 3 titik cacat dengan lokasi dan jenis cacat yang berbeda. Hasil pengujian yang dilakukan Marefat et al. (2011) [5] menunjukkan bahwa pengujian radiografi sinar-x

tidak dapat mendeteksi cacat pada titik nomor 1 dan 2, sedangkan cacat pada titik nomor 3 dapat terlihat bahwa telah terjadi perubahan ketebalan, dan jenis cacatnya adalah *crack*. Pada pengujian ultrasonik





## Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Ahmad Taufik, Ph.D yang telah membantu dalam diskusi dan penelitian.

## Daftar Acuan

- [1] Hellier Charles J., Handbook of Non Destructive Evaluation. United States of America (2003), pp.1.2-1.7
- [2] Hellier Charles J., Handbook of Non Destructive Evaluation. United States of America (2003), pp.6.17-6.27
- [3] N. Kazuyuki and K. Naoyuki, 3-D Modelings of an Ultrasonic Phased Array Transducer and Its Radiation Properties in Solid, p.61
- [4] Desai V.S., Pal M., Banjare M., Nancharaiah C., Guria S., and Vardhan H., Use of Long Range Ultrasonic Testing (LRUT) Technique for Health Assesments of Critical Piping Service in Petroleum Refinery, National Seminar and Exhibition on Non-Destructive Evaluation, 2011, pp.74-76
- [5] Marefat F., Faghedi M.R., Khodabandeh A.R., Afshar M.R., Amadeh A. and Yousefi A., Capabilities and Limitations of Radiography and Phased Array Ultrasonic Test in the Detection of Subtle welding defects, Singapore International NDT Conference and Exhibition, Singapore (2011), pp.5-7

