



MI-003

**PEMERIKSAAN CACAT *PLANAR* DAN *NON-PLANAR*  
PADA SAMBUNGAN LAS SAMPEL LOGAM TERPILIH  
MENGUNAKAN METODE ULTRASONIK DAN  
RADIOGRAFI**

***EXAMINATION OF PLANAR AND NON-PLANAR DEFECTS  
IN WELD JOINT OF SELECTED METAL SAMPLES USING  
ULTRASONIC AND RADIOGRAPHIC METHODS***

**Mudi Haryanto, Andryansyah, dan Alim Mardhi**

**ABSTRAK**

Pada umumnya pemeriksaan volumetrik sambungan las lebih banyak menggunakan metode radiografi. Keunggulan radiografi dibanding dengan teknik inspeksi lainnya adalah ketersediaan bukti secara objektif dan catatan permanen sebagai hasil inspeksi. Radiografi sebagai uji kualitas sambungan lasan untuk mengetahui semua jenis cacat dengan dokumen permanen dalam bentuk film sehingga sangat mudah untuk diperiksa atau diaudit. Teknik pengujian dan kriteria keberterimaan radiografi digunakan untuk menerima atau menolak cacat las dan umumnya terbukti sangat memadai, meskipun secara teknis bersifat terbatas dan kadang-kadang tidak mudah dilakukan. Ultrasonik sebagai metode alternatif untuk radiografi telah secara luas diterapkan untuk menginspeksi cacat las. Meskipun demikian, kriteria keberterimaan metode ultrasonik masih lemah dibandingkan metode radiografi, seperti penerimaan bukti kurang objektif secara kualitas hasil inspeksi, inkonsistensi yang diakui dari hasil inspeksi, dan reputasi ultrasonik juga tidak mampu mendeteksi cacat *non-planar* (porositas/*porosity* atau terak/*slag*) dan menolak cacat *planar* (retakan/*crack* atau kurangnya fusi/*lack of fusion*). Dalam studi ini metode ultrasonik dan metode radiografi telah digunakan untuk menguji cacat *planar* dan *non-planar* pada sample logam terpilih. Pengujian ultrasonik menggunakan *probe* sudut 60° dan 70° pada frekuensi 5 MHz, sedangkan pengujian radiografi menggunakan sinar-x yang dibangkitkan dari tegangan dan arus tabung masing-masing 150 kV dan 3 mA. Hasil studi secara umum menunjukkan keunggulan metode ultrasonik yang mampu mendeteksi 86% cacat *planar* dan *non-planar* dibandingkan metode radiografi yang hanya mampu mendeteksi 57% saja.

**Kata Kunci:** Radiografi, Ultrasonik, Cacat *Non-Planar* dan *Planar*.

---

M. Haryanto, Andryansyah, & A. Mardhi

\*Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains dan Teknologi BRIN, e-mail: mudi001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

M. Haryanto, Andryansyah, dan A. Mardhi, "Pemeriksaan cacat *planar* dan *non-planar* pada sambungan las sampel logam terpilih menggunakan metode ultrasonik dan radiografi," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 12, pp. 123–132, DOI: 10.55981/brin.690.c653, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



### ABSTRACT

*In general, the volumetric examination of welded joints is more widely used by radiographic method. The advantage of radiography over other inspection techniques is the availability of objective evidence and permanent records as a result of inspection. Radiography as a test of the quality of the weld joint to determine all types of defects in permanent documents in the form of film so it is very easy to examine or audit. Radiographic acceptance criteria and examination techniques are used to accept or reject weld defects and have generally proven to be very adequate although technically limited and costly unfavorable. Ultrasonic as an alternative method for radiography has been widely used to inspect weld defects. However, its acceptance criteria are still lower than radiography such as the evidence in terms of the quality of the inspection results is less objective, inconsistencies from the inspection results, and the unable to detect non-planar defects (i.e. porosity or slag) and reject planar defects (cracks or lack of fusion). In this study, both ultrasonic and radiographic methods have been used to examine planar and non-planar defects in selected metal samples. The ultrasonic examination was carried out using angles probe 60° and 70°, whereas the radiographic examination was using x-ray generated from 150 kV and 3 mA respectively. The result of the study showed the superiority of the ultrasonic method that was able to detect 86% of planar and non-planar defects over radiographic one that was only able to detect 57% of such defects.*

**Keywords:** Radiography, Ultrasound, Non-Planar and Planar Defects.

### PENDAHULUAN

Pada umumnya pemeriksaan volumetrik sambungan las lebih banyak menggunakan metode radiografi. Keunggulan radiografi dibanding dengan teknik inspeksi lainnya adalah radiografi memberikan bukti secara objektif dan rekaman hasil inspeksi bersifat permanen sehingga mudah untuk diperiksa dan diaudit [1]. Teknik pengujian dan kriteria keberterimaan radiografi digunakan untuk menerima atau menolak cacat las. Meskipun dokumen sudah tersedia, penerapan kriteria pengujian dan keberterimaan radiografi secara teknis tidaklah mudah, bersifat terbatas, dan kadang-kadang sulit dilakukan [2].

Ultrasonik sebagai metode alternatif untuk radiografi, telah diterapkan di industri lain, seperti industri tenaga nuklir dan anjungan minyak lepas pantai untuk inspeksi sambungan las [3]. Inspeksi ultrasonik juga dipakai untuk menguji produksi lasan dan produk *repair* (perbaikan) lasan bejana tekan PLTN yang dalam beberapa kasus tertentu dapat menggantikan teknik radiografi (terutama yang tidak bisa diakses oleh radiografi). Dibandingkan pengujian radiografi, kriteria keberterimaan uji ultrasonik tergolong rendah karena ultrasonik tidak dapat memberikan data hasil pengujian ukuran cacat yang obyektif, cenderung inkonsisten karena tergantung dari keahlian operator dan dalam kasus tertentu tidak dapat mendeteksi cacat *non-planar* [4].

Dalam literatur disebutkan bahwa ultrasonik telah dibuktikan lebih dapat diandalkan untuk mendeteksi cacat *planar*, seperti retak dan kurangnya fusi, sedangkan radiografi dapat diandalkan untuk mendeteksi cacat *non-planar*, seperti porositas dan *slag* [5]. Menurut standar ASME bagian VIII kode 2235 disebutkan bahwa ultrasonik sebagai pengganti radiografi untuk pengujian mutu las-lasan yang tebal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perbandingan uji kemampuan metode ultrasonik



dan metode radiografi dalam menguji jenis-jenis cacat las *planar* dan *non-planar* hasil produk lasan. Dalam penelitian ini akan ditunjukkan bahwa metode ultrasonik dapat mendeteksi cacat retak *planar* yang tidak dapat dideteksi oleh metode radiografi. Dengan demikian, diharapkan metode ultrasonik dapat diterapkan sebagai metode alternatif untuk menggantikan metode radiografi dalam mendeteksi cacat retak *planar* di dalam sambungan las terutama pada bejana tekan reaktor PLTN yang sedang beroperasi karena tidak bisa diakses oleh teknik radiografi.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ultrasonik dan radiografi adalah sampel las terdiri dari 5 cacat *planar*, yaitu cacat *Side of Wall Fusion (SWF)*, *Toe Crack (TC)*, *Root Crack (RC)*, *Center Line Crack (CLC)*, *Incomplete Root Penetration (IRP)* dan 2 cacat *non-planar*, yaitu *Porosity (P)* dan *Slag Inclusion (SI)*. Ukuran sampel  $72 \times 145 \times 10$  mm buatan Sonaspection Inggris. Film radiografi D7 merk AGFA sebagai perekaman data gambar radiografi. Larutan kimia Fixer dan Developer merk AGFA sebagai pemroses film.

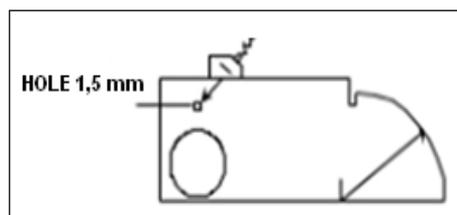
Alat yang digunakan untuk mendeteksi cacat di dalam sampel las, yaitu:

1. Ultrasonik jenis *ultrasonic flaw detector Epoch 4 plus* (Panametric, Amerika Serikat)
2. Sinar-x tegangan 150 KV, arus 3 mA Xylon Amerika Serikat.

### Tata Kerja

Pengujian pertama adalah pengujian ultrasonik dengan menggunakan alat *ultrasonic Flaw Detector* dan *probe* sudut yang dipakai adalah  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  frekuensi 5 MHz.

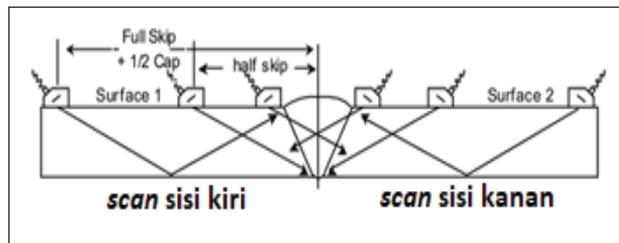
Sebelum melakukan *scanning* pada daerah lasan dengan metoda ultrasonik, terlebih dahulu melakukan kalibrasi pada blok kalibrasi V1 (*block V1*) dengan tujuan untuk mencari *gain* operasi sebagai *reference level*. Caranya adalah dengan mengarahkan *probe* sudut pada *hole* 1,5 mm yang ada pada blok kalibrasi V1 untuk memperoleh pantulan tinggi pulsa (amplitudo) 80% *full screen height* (FSH) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** *Scanning probe* Sudut pada Lubang 1,5 mm *block V1* [6].



Setelah diperoleh *gain* operasi, selanjutnya melakukan *scanning probe* sudut pada daerah akar (*root*) las dengan  $\frac{1}{2}$  *skip* dan gerakan *probe* sudut mundur untuk *scanning full skip*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



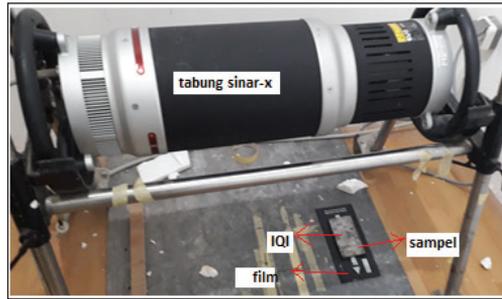
Gambar 2. *Scanning* Uji Ultrasonik dengan *Probe* Sudut [7]

*Scanning* dilakukan sepanjang las dengan gerakan *probe* sudut maju mundur, *zig zag* atau lateral. Apabila ditemukan indikasi cacat, analisis jenis cacat segera dilakukan berdasarkan pada bentuk pantulan pulsa/amplitudo.

Setelah selesai dilakukan uji ultrasonik dilanjutkan dengan uji radiografi pada sampel las yang sama. Pertama mencari nomor penetrometer yang digunakan sebagai indikator kualitas citra (*Image Quality Indicator/IQI*) radiografi [8]. *IQI* sebagai ukuran kemampuan radiografi untuk mendeteksi cacat terkecil. Pada penelitian ini *IQI* yang digunakan adalah *IQI* kawat yang berjumlah 6 kawat yang mempunyai diameter berlainan. Berdasarkan ASME V Artikel 2 tabel T.276, untuk tebal material 10 mm kawat yang disarankan digunakan adalah kawat nomor 7. Kawat nomor 7 mempunyai diameter 0,33 mm dan pada tabel T.233.2, kawat nomor tersebut berada di set B. Film yang digunakan pada penembakan ini adalah tipe D7 produk AGFA.

Pengujian dilakukan di Pusat Standardisasi Mutu Nuklir (PSMN) dengan pesawat sinar X tegangan 150 kV arus 3 mA. Waktu penyinaran untuk ketebalan las 10 mm berdasarkan kurva paparan radiasi untuk tegangan 150 kV 3 mA dan jarak sumber ke film 710 mm adalah 5,5 menit.

Set-up penyinaran sampel las kemudian dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah penyinaran, film diproses di ruang gelap. Hasil rekaman film dilihat menggunakan *viewer*, kemudian dianalisis untuk mengetahui ada indikasi cacat atau tidak.



Gambar 3. Set up Penyinaran Radiografi sinar-X

Hasil dari uji ultrasonik dan radiografi kemudian dibandingkan. Cacat las yang terdeteksi dan tidak terdeteksi dicatat dan dilaporkan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian ultrasonik dan radiografi pada cacat las *planar* dan *non-planar* (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Uji Ultrasonik dan Radiografi pada Cacat Sampel Las *Planar* dan *Non-Planar*

No	Cacat sampel Las	Uji Ultrasonik	Uji Radiografi
1	Toe Crack (TC)	terdeteksi	terdeteksi
2	Root Crack (RC)	terdeteksi	tidak terdeteksi
3	Center Line Crack (CLC)	terdeteksi	tidak terdeteksi
4	Porosity (P)	tidak terdeteksi	terdeteksi
5	Slag Inclusion (SI)	terdeteksi	terdeteksi
6	Side of Wall Fusion (SWF)	terdeteksi	tidak terdeteksi
7	Incomplete Root Penetration (IRP)	terdeteksi	terdeteksi

Tabel 1 memperlihatkan bahwa hasil penelitian dengan metoda ultrasonik mampu mendeteksi cacat *planar*, yaitu retak dan *non-planar slag inclusion*. Cacat porositi tidak mampu dideteksi karena mempunyai volume cacat kecil sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Tidak Tampak Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat Porositi.



Indikasi tidak tampak pada layar disebabkan oleh volume cacat lebih kecil dibanding dengan *reference reflector* berdiameter 1,5 mm. Ukuran volume porositi kecil maka jumlah pantulan gelombang ultrasonik yang mengenai porositi juga kecil sehingga pantulan balik perambatan gelombang banyak yang hilang diserap (atenuasi) oleh material sebelum sampai ke *probe* dan pada layar ultrasonik tidak ada tampak indikasi pulsa. Sebaliknya, hasil radiografi menampilkan cacat *porosity* berbentuk gelembung kecil terkumpul dan berwarna hitam seperti ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Cacat *Porosity* Hasil Radiografi

Cacat *Side of Wall Fusion* tidak terdeteksi pada film radiografi karena posisi cacat berada di *bevel* las dengan sudut  $30^\circ$  ditunjukkan Gambar 8. Sinar X yang datang tidak tegak lurus dengan cacat, sehingga sinar X mengenai cacat *Side of Wall Fusion* hanya sebagai satu titik. Akibatnya tidak ada gambar hitam/cacat pada film radiografi karena pengaruh hamburan yang kuat dari ketebalan material las tersebut. Cacat *Side of Wall Fusion* hanya bisa di deteksi dengan metoda ultrasonik [7] karena mempunyai sudut pantul  $60^\circ$  dan dideteksi dengan *probe*  $60^\circ$  mendapat respons sinyal yang tinggi ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat *Swf*



Tidak adanya kontras benda atau perbedaan densitas mengakibatkan cacat yang tidak akan tampak pada film radiografi, seperti cacat *Root Crack* dan *Center Line Crack* ditunjukkan Gambar 7 dan 8.



**Gambar 7.** Tidak Tampak Cacat *Center Line Crack* pada Hasil Radiografi.

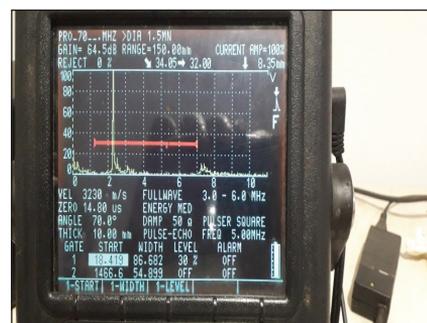


**Gambar 8.** Tidak Tampak Cacat *Root Crack* pada Hasil Radiografi.

Sensitivitas radiografi pada penelitian ini hanya mampu mendeteksi cacat ukuran terkecil 0,25 mm dan tidak mampu mendeteksi cacat di bawah ukuran tersebut. Oleh karena itu, cacat *Root Crack* dan *Center Line Crack* kemungkinan mempunyai bentuk cacat retak yang rapat sehingga tidak ada celah terbuka maupun pengurang ketebalan. Cacat *Root Crack* dan *Center Line Crack* sebenarnya masih memiliki celah biarpun ukurannya mikro. Selama masih ada perbedaan densitas, gelombang ultrasonik masih bisa dipantulkan [9] sehingga hanya metode ultrasonik yang mampu mendeteksi cacat retak ukuran mikro, seperti diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10.



**Gambar 9.** Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat *Root Crack*



**Gambar 10.** Indikasi Pulsa Ultrasonik Cacat *Center Line Crack*

Jenis cacat retak terlihat tipis meski sebenarnya mempunyai celah udara dengan densitas rendah. Akibat perbedaan densitas yang besar antara udara dan logam las, gelombang ultrasonik yang mengenai cacat retak akan dipantulkan balik sempurna 100% menuju *probe* dan ditampilkan di layar ultrasonik lebih dari 100% FSH. Bentuk cacat retak yang mempunyai permukaan tidak beraturan (bergerigi) tampak pada indikasi pulsa bergerigi. Selain dari perbedaan densitas, sudut cacat berpengaruh besar terhadap pantulan gelombang ultrasonik.

Hasil penelitian menunjukkan prosentase kemampuan deteksi ultrasonik 86% dibandingkan metode radiografi yang hanya 57%. Cacat *porosity* yang tidak dapat dideteksi oleh metoda ultrasonik bukan berarti gagal, tetapi cacat tersebut masih dapat diterima sesuai acuan standar. Sementara itu, cacat retak maupun cacat *fusion* yang tidak bisa dideteksi metode radiografi sangat berbahaya karena cacat tersebut tidak memenuhi, berapapun panjangnya [10]. Penelitian ini menunjukkan keunggulan metode ultrasonik dibandingkan metode radiografi dalam mendeteksi cacat retak *planar*, bahkan untuk ukuran mikro.



## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan keunggulan metode ultrasonik dibanding dengan metode radiografi dalam mendeteksi cacat retak *planar*. Dari keseluruhan sampel yang diuji, metode ultrasonik dapat mendeteksi 86% cacat sedangkan metode radiografi hanya dapat mendeteksi 57% cacat di dalam sampel sambungan las.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Pemerintah Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui DIPA PTKRN tahun 2020. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para staf PSMN dan semua pihak yang telah memberikan bantuan baik pemikiran, ataupun teknis, terkait dengan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djoli Soembogo, "Radiografi sinar-x rigaku dan isovolt pada pengelasan logam," *Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir Bulletin of Nuclear Reactor Management*, vol. XVI, no.1, 2019.
- [2] R. A. Pitalokhaa dkk., "Inspeksi cacat (diskontinuitas) pada material dengan menggunakan uji ultrasonik dan uji radiografi," dalam *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, SNF2016, vol. V, 2016.
- [3] T. J. Jessop, P. J. Mudge, dan J. D. Harrison, "Ultrasonic measurement of weld flaw size," *The Welding Institute, National Cooperative Highway Research Program Report 242*, 1981.
- [4] O. B. Forli dkk., "A comparison of radiographic and ultrasonic NDE," *Nordtest Report* 72-76, 1983.
- [5] A. W. S. D1.1, "Structural welding code – steel," *American National Standard Institute*, 2017.
- [6] M. Haryanto, Andryansyah, dan L. Suparlina, "Kajian metoda NDT untuk deteksi cacat lack of fusion pada lasan," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir-Padang*, 2019.
- [7] M. Haryanto, S. Nitiswati, dan Andryansyah, "Analisis kualitas sampel las GTAW Dengan metoda NDT," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, Batam 4-5 Agustus 2016*.
- [8] ASME Section V Article 2, "Radiographic Examination," Edition 2019.
- [9] NDT, "Introduction to Ultrasonic Testing," Iowa State University, 2014
- [10] Classroom Training Handbook, "Code, Standard and Specification," B4T Bandung, 2005.



## SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing