



UMSURA
Universitas Muhammadiyah Surabaya

**ANALISIS PENGARUH JARAK SUMBER
ISOTOP (Ir.192) KE FILM / SOURCE FILM
DISTANCE (SFD) DENGAN TEKNIK
RADIOGRAFI *DOUBLE WALL DOUBLE
VIEW* PADA INSPEKSI PIPA
KETEBALAN 8 MM DENGAN *OUTSIDE
DIAMETER* 59,7 MM**

SKRIPSI

**Disusun oleh:
ETDI PURNOMO
(20231331040)**

Dosen Pembimbing:

**Dr. Moh.Arif Batutah, ST, MT, IPM.
NIDN. 0707067402**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
2026**

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH JARAK SUMBER ISOTOP
(Ir.192) KE FILM / *SOURCE FILM DISTANCE* (SFD)
DENGAN TEKNIK RADIOGRAFI *DOUBLE WALL
DOUBLE VIEW* PADA INSPEKSI PIPA KETEBALAN 8
MM DENGAN *OUTSIDE DIAMETER* 59,7 MM**



Disusun Oleh:

Etdi Purnomo

NIM : 20231331040

Dosen Pembimbing

Dr. Moh. Arif Batutah, S.T., M.T., IPM.

NIDN. 07.0706.7402

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
2026**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ISOTOPE SOURCE
DISTANCE (Ir.192) TO FILM / SOURCE FILM
DISTANCE (SFD) USING THE DOUBLE WALL
DOUBLE VIEW RADIOGRAPHY TECHNIQUE IN THE
INSPECTION OF 8 MM THICK PIPES WITH AN
OUTSIDE DIAMETER OF 59.7 MM**



By:

ETDI PURNOMO

NIM: 20231331040

Academic Supervisor

Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT., IPM

NIDN 0707067402

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF ENGINEERING
MUHAMMADIYAH UNIVERSITY SURABAYA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi telah diujikan dan dipertahankan di hadapan penguji dalam sidang pada tanggal 18 Januari 2026 oleh Mahasiswa atas nama **Etdi Purnomo NIM 20231331040** dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima sebagai kelengkapan mendapat gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya

Diajukan dan disahkan oleh:

Dosen Penguji

Tanda Tangan

1. Ir. Ponidi, ST, MT, IPM, A.Eng.



2. Ir. Anastas Rizaly, MT.



Dosen Pembimbing

Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT, IPM.




Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik



Ir. Vippy Dharmawan, M. Ars.
NIDN:0725096402

















Menyetujui
Kaprodi Teknik Mesin



Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT, IPM.
NIDN.0707067402

BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Etdi Purnomo
NIM : 20231331040
Jurusan : S1 Teknik Mesin
Judul : Analisis Pengaruh Jarak Sumber Isotop (Ir.192) ke Film / *Source Film Distance (SFD)* dengan Teknik Radiografi *Double Wall Double View* Pada Inspeksi Pipa Ketebalan 8 mm dengan *Outside Diameter* 59,7 mm

No.	Tanggal	Materi	Paraf Pembimbing	Paraf Mahasiswa
1	28-09-2025	Konsultasi tema		
2	8-10-2025	Konsultasi Bab 1		
3	11-10-2025	Konsultasi Bab 2		
4	18-10-2025	Perbaikan Bab 2		
5	01-11-2025	Konsultasi Bab 3		
6	15-11-2025	Perbaikan Bab 3		
7	29-12-2025	Konsultasi Bab 4		
8	05-01-2025	Konsultasi Bab 5		
9	09-01-2026	Daftar Pustaka		
10	12-01-2026	Konsultasi PPT		

Mengetahui

Dosen Pembimbing



Dr. Moh.Arif Batutah,ST,MT, IPM

(NIDN.070706402)

Menyetujui,

Kaprodi Teknik Mesin



Dr. Moh.Arif Batutah,ST,MT, IPM

(NIDN.070706402)

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Etdi Purnomo
NIM : 20231331040
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Jarak Sumber Isotop (Ir.192) ke Film / *Source Film Distance* (SFD) Dengan Teknik Radiografi *Double Wall Double View* Pada Inspeksi Pipa Ketebalan 8 mm Dengan *Outside Diameter* 59,7mm

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari peneliti sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan penelitian yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini peneliti buat dengan sebenarnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Surabaya

Surabaya, Januari 2026
Yang Menyatakan



Etdi Purnomo
20231331040

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH JARAK SUMBER ISOTOP (Ir.192)
KE FILM / *SOURCE FILM DISTANCE* (SFD) DENGAN
TEKNIK RADIOGRAFI *DOUBLE WALL DOUBLE VIEW*
PADA INSPEKSI PIPA KETEBALAN 8 MM DENGAN
*OUTSIDE DIAMETER 59,7 MM***

**ETDI PURNOMO
NIM. 20231331040**

Telah disetujui dan dinyatakan sah sebagai karya ilmiah yang berhak diujikan yang telah ditetapkan oleh fakultas.

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya.

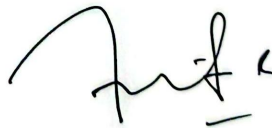
Surabaya, Januari 2026

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Menyetujui,
Kaprosdi Teknik Mesin



Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT, IPM
(NIDN.070706402)



Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT, IPM
(NIDN.070706402)

ANALISIS PENGARUH JARAK SUMBER ISOTOP (Ir.192) KE FILM / SOURCE FILM DISTANCE (SFD) DENGAN TEKNIK RADIOGRAFI DOUBLE WALL DOUBLE VIEW PADA INSPEKSI PIPA KETEBALAN 8 MM DENGAN OUTSIDE DIAMETER 59,7 MM

Nama : Etdi Purnomo
NIM : 20231331040
Pembimbing : Dr. Moh.Arif Batutah, ST, MT, IPM

ABSTRAK

Radiographic Testing (RT) merupakan salah satu metode *Non-Destructive Testing (NDT)* yang digunakan untuk mendeteksi cacat internal pada sambungan las melalui pembentukan citra berbasis radiasi. Salah satu parameter penting dalam pengujian radiografi adalah *Source to Film Distance (SFD)* yang berpengaruh terhadap densitas film, sensitivitas citra, dan ketajaman (*geometric unsharpness*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi SFD terhadap kualitas citra radiografi pada sambungan pipa menggunakan sumber Iridium-192 (Ir-192).

Penelitian ini dilakukan pada pipa dengan variasi SFD 300 mm, 400 mm, dan 500 mm. Data diperoleh melalui proses pengukuran densitas film menggunakan densitometer dan evaluasi sensitivitas melalui pembacaan jumlah kawat pada *IQI* berdasarkan standar ASME Section V Article 2:2025. Hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif dengan membandingkan densitas rata-rata pada posisi melingkar, mengevaluasi sensitivitas, dan menyajikan hubungan antara SFD dan kualitas citra dalam bentuk tabel dan grafik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan SFD menghasilkan peningkatan densitas dan sensitivitas film. Nilai densitas rata-rata melingkar berada pada rentang 2,15 – 2,41 untuk SFD 300 mm, 2,37 – 2,67 untuk SFD 400 mm, dan 2,45 – 2,48 untuk SFD 500 mm, yang seluruhnya memenuhi batas densitas yang dipersyaratkan oleh ASME yaitu 2,0 – 4,0. Sensitivitas citra meningkat dari 4 wire pada SFD 300 mm menjadi 5 wire pada SFD 500 mm, dengan seluruh hasil memenuhi persyaratan IQI (*PASS*). Temuan tersebut sesuai dengan teori radiografi, di mana peningkatan SFD menyebabkan penurunan *geometric unsharpness* dan peningkatan detail citra, namun memerlukan waktu eksposur yang lebih panjang akibat hukum kuadrat terbalik (*Inverse Square Law*).

Kesimpulan penelitian ini menyatakan bahwa variasi SFD memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas citra radiografi. SFD 500 mm menghasilkan kualitas citra terbaik, sedangkan SFD 400 mm direkomendasikan sebagai kompromi optimum antara kualitas citra dan efisiensi waktu *eksposure*. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi industri pengujian radiografi dan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memvariasikan sumber radiasi, jenis film, dan parameter ketebalan material.

Kata kunci: *Radiographic Testing*, Iridium-192, *Source to Film Distance*, Densitas Film, Sensitivitas, IQI, ASME Section V

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SOURCE TO FILM DISTANCE (SFD) OF ISOTOPE (Ir.192) USING THE DOUBLE WALL DOUBLE VIEW RADIOGRAPHIC TECHNIQUE ON 8 MM THICK PIPES WITH AN OUTSIDE DIAMETER OF 59.7 MM

Author : ETDI PURNOMO
Student ID : 20231331040
Supervisor : Dr. Moh.Arif Batutah, ST, MT, IPM

ABSTRACT

Radiographic Testing (RT) is one of the Non-Destructive Testing (NDT) methods used to detect internal defects in welded joints by generating radiation-based images. One of the key parameters in radiographic inspection is the Source to Film Distance (SFD), which significantly affects film density, image sensitivity, and geometric unsharpness. This research aims to analyze the influence of SFD variation on the radiographic image quality of pipe welds using an Iridium-192 (Ir-192) radiation source.

The experiment was conducted on a pipe specimen with SFD variations of 300 mm, 400 mm, and 500 mm. Data were collected through film density measurements using a densitometer and sensitivity evaluations based on wire visibility in the Image Quality Indicator (IQI), following ASME Section V Article 2:2025 standards. Quantitative analysis was performed by comparing average circular film densities, evaluating sensitivity values, and presenting the relationship between SFD and image quality in tables and graphs.

The results indicated that increasing SFD improves both film density and image sensitivity. The average circular density ranged from 2.15 – 2.41 for SFD 300 mm, 2.37 – 2.67 for SFD 400 mm, and 2.45 – 2.48 for SFD 500 mm, all within the ASME-required range of 2.0 – 4.0. Image sensitivity increased from 4 wires at SFD 300 mm to 5 wires at SFD 500 mm, with all samples satisfying IQI acceptance criteria (PASS). These findings align with radiographic theory, where greater SFD reduces geometric unsharpness and enhances image detail but requires longer exposure times due to the Inverse Square Law.

The study concludes that SFD variation significantly affects radiographic image quality. The SFD of 500 mm produced the highest image quality, while 400 mm is recommended as the optimal compromise between image clarity and exposure efficiency. The results provide valuable practical insight for the radiographic testing industry and can be further extended by varying radiation sources, film types, and material thickness parameters.

Keywords: Radiographic Testing, Iridium-192, Source to Film Distance, Film Density, Sensitivity, IQI, ASME Section V.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat ALLAH SWT, Maha Pengasih dan lagi Maha Penyayang yang telah memberikan berkat, anugerah dan karunia-NYA yang melimpah. Serta tidak lupa kita haturkan sholawat serta salam ditujukan kepada Nabi Muhammad SAW, sebagai Nabi terakhir yang membawa petunjuk dan penyelamat seluruh umat manusia dengan Agama Islam.

Skripsi merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik di Universitas Muhammadiyah Surabaya. Dalam hal ini penyusun mengangkat judul yaitu **“ANALISIS PENGARUH JARAK SUMBER ISOTOP (Ir.192) KE FILM / SOURCE FILM DISTANCE (SFD) DENGAN TEKNIK RADIOGRAFI DOUBLE WALL DOUBLE VIEW PADA INSPEKSI PIPA KETEBALAN 8mm DENGAN *OUTSIDE DIAMETER* 59,7mm”** diharapkan dapat menganalisis pengaruh jarak sumber isotop (Ir-192) ke film (SFD) terhadap kualitas hasil film radiografi ketika menggunakan teknik *Double Wall Double View* pada inspeksi pipa ketebalan 8 mm dan *Outside Diameter* 59,7 mm.

Dalam penyusunan skripsi ini, tentunya tidak lepas dari bantuan dan dorongan semua pihak. Untuk itu penyusun tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Mundakir, S. Kep., Ns., M. Kep. FISQua. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Surabaya;
2. Bapak Ir. Vippy Dharmawan, M. Ars selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya;
3. Bapak Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT, IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya;

4. Bapak Dr. Moh. Arif Batutah, ST, MT, IPM. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing sampai skripsi ini selesai;
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya yang telah memberikan ilmu dan pengetahuannya selama menjadi mahasiswa;
6. Orang Tua dan Keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan materiil sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik;
7. Bapak Doddy Muharram selaku pimpinan ditempat saya bekerja yang memberi kesempatan kepada karyawannya untuk mengembangkan diri dalam pendidikan dan memfasilitasi dalam pembuatan skripsi ini
8. Bapak Abimanyu Aryobowo dan Bapak Maslichan selaku kepala Operasional dan Sub Koordinator NDT yang banyak memberi masukan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Istri dan anak – anak saya yang telah menjadi *Support System* terbaik dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2023 Universitas Muhammadiyah Surabaya yang selalu memberikan dukungan motivasi.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi pembaca, dan Universitas Muhammadiyah Surabaya sebagai tambahan literatur penelitian mahasiswa.

Akhir kata, hanya kepada ALLAH jualah segalanya dikembalikan dan penyusun sadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, disebabkan karena keterbatasan yang dimiliki. Untuk itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menjadi perbaikan di masa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2026

Etdi Purnomo

DAFTAR ISI

JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN	i
BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL & GRAFIK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Sistematika Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Review Penelitian Sebelumnya	9
2.2. Inspeksi NondestructiveTesting.....	11
2.3. Prinsip Radiografi Industri.....	12
2.4. Karakteristik Sumber Radiasi Ir.192.....	13

2.5. Ketidajaman Geometri.....	18
2.6. Teknik Penyinaran DWDV.....	22
2.7. Sensitivitas radiasi dan kualitas citra radiografi	25
2.8. Image Quality Indicator (IQI).....	27
2.9. Film Radiografi.....	32
2.10.Skrin	38
2.11.Kaset	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1. Jenis Pendekatan Penelitian.....	41
3.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	41
3.3. Lokasi Pelaksanaan Penelitian.....	41
3.4. Obyek dan spesifikasi penelitian.....	41
3.5. Peralatan dan Obyek Penelitian.....	42
3.6. Variabel Penelitian	47
3.7. Desain Eksperimen dan variasi SFD.....	48
3.8. Perhitungan SFD minimum	48
3.9. Penentuan Pergeseran	49
3.10.Perhitungan SFD ellip	49
3.11.Perhitungan Eksposure Time	50
3.12. Prosedur pelaksanaan radiasi	52
3.13. Metode pengukuran dan pengumpulan data	52
3.14. Metode Analisa data	52
3.15. Pengambilan Nilai Densitas Film.....	50
3.16. Diagram Alir Penelitian.....	51

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1. Hasil Densitas.....	55
4.2. Hasil Sensitivitas	55
4.3. Hasil Film.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan	62
5.2. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Prinsip dasar radiografi.....	13
Gambar 2.2.	Konstruksi sumber sinar	14
Gambar 2.3.	Kamera Gamma (Type Sentinel 880D).....	15
Gambar 2.4.	Crank cable	16
Gambar 2.5.	Source Guide Tube.....	17
Gambar 2.6.	Pengaruh Ukuran sumber radiasi terhadap penumbra	18
Gambar 2.7.	Pengaruh jarak sumber radiasi ke obyek terhadap penumbra.....	19
Gambar 2.8	Pengaruh jarak layar ke obyek terhadap penumbra.....	19
Gambar 2.9.	Bayangan tepi obyek oleh beberapa sumber titik	20
Gambar 2.10.	Teknik DWDV (ellip).....	23
Gambar 2.11.	Teknik DWDV (superimposed).....	22
Gambar 2.12.	Kontras Radiografi.....	25
Gambar2.13	Parameter yang mempengaruhi citra kualitas radiografi	26
Gambar 2.14.	IQI Tipe Kawat (ASTM)	28
Gambar 2.15.	IKB Tipe pelat.....	29
Gambar 2.16.	Identifikasi takikan IKB plaque ASTM.....	29
Gambar 2.17.	Penampang lintang film radiografi	33
Gambar 2.18.	Proses Terjadinya bayangan laten	35

Gambar 2.19. Pengaruh skrin terhadap efek edge Undercutting.....	38
Gambar 2.20 Kaset lentur amplop	39
Gambar 2.22 Kaset kaku	39
Gambar 3.1 Kamera Radiografi type sentinel 880 Delta	42
Gambar 3.2 Lead letter dan Ident Box	43
Gambar 3.3 IQI ASTM Set 1B	43
Gambar 3.4 Roll meter	44
Gambar 3.5 Viewer	44
Gambar 3.6 Densitometer	45
Gambar 3.7 Exposure Chart Ir-192	46
Gambar 3.8 Pengukuran tebal material	46
Gambar 3.9 Mengukur tinggi reinforcement.....	47
Gambar3.10 Pembagian titik acuan pengukuran densitas film.....	53
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian	54
Gambar 4.1 Hasil RT SFD 300mm Loc. 0°	58
Gambar 4.2 Hasil RT SFD 300mm Loc. 90°	58
Gambar 4.3 Hasil RT SFD 400mm Loc. 0°	59
Gambar 4.4 Hasil RT SFD 400mm Loc. 90°	59
Gambar 4.5 Hasil RT SFD 500mm Loc. 0°	59
Gambar 4.6 Hasil RT SFD 500mm Loc. 90°	60

DAFTAR TABEL & GRAFIK

Tabel 2.1.	Hasil Penelitian Sebelumnya.....	10
Tabel 2.2.	Material dan karakteristik perisai.....	15
Tabel 2.3.	Geometric Unsharpness Limitations.....	21
Tabel 2.4.	Kelompok bahan IQI.....	30
Tabel 2.5.	Pemilihan image quality indicator.....	31
Tabel 2.6.	Wire IQI Designation.....	32
Tabel 2.7.	Klasifikasi film menurut standar ASTM	36
Tabel 2.8.	JenisFilm AGFA	36
Tabel 2.9.	Jenis Film Fuji.....	37
Tabel 2.10	Pedoman Pemilihan film AGFA.....	38
Tabel 4.1.	Hasil densitas film SFD 300mm.....	55
Tabel 4.2.	Hasil densitas film SFD 400mm.....	55
Tabel 4.3.	Hasil densitas film SFD 500mm.....	56
Tabel 4.4.	Hasil Sensitivitas.....	57
Grafik 4.1.	Hubungan SFD terhadap densitas	56
Grafik 4.2.	Hubungan SFD terhadap sensitivitas.....	57

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi-Mamoudan, F., Malitckii, E., Santos, T. G., & Vilaça, P. (2025). *Radiographic and ionizing radiation methods in non-destructive testing and evaluation*. *Sensors*, 25(12),3635.
<https://doi.org/10.3390/1424-8220/25/12/3635>
- Alnaily, H. A., & Aboalhol, T. R. (2024). *Evaluation of weld defects in petroleum pipelines using X-Ray for MAG, TIG, and SMAW techniques*. **International Science and Technology Journal**, 35(1), 1–15.
<https://doi.org/10.62341/hatr0553>
- ASME. (2025). *Nondestructive examination*. New York: The American Society of Mechanical Engineers
- Conklin, B., Leeman, C. M., & Jones, T. (Eds.). (2023). *NDT Technician* (2nd ed.). The American Society for Nondestructive Testing. ISBN 978-1-57117-378-6
- International Atomic Energy Agency. (2024). *Radiation safety in industrial radiography: IAEA safety standards series* (IAEA Pub. No. 1466). IAEA. GHH
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1466_web.pdf
- Khakim, M. L., & Hanto, S. (2025). Effect of radiographic film quality on SMAW weld defect detection in SA 240 Gr 316L pressure vessels. *Jurnal Polimesin*, 23(2), 233-238

- Liu, Z., Hu, X., & Zhang, Z. (2025). Analysis of Radiation Level and Estimation of Protection Distance of $\{\gamma\}$ Mobile Flaw Detection Source. *arXiv preprint arXiv:2504.09556*
- Mahvelatishamsabadi, M., & Lee, S. (2025). Automated weld defect detection in radiographic images using Normalizing Flows. *Machines*, 13(9), 836. <https://doi.org/10.3390/machines13090836>
- Moussa, J. R., Harmon, D., & Rane, S. (2025). Industrial radiography: Trends, market drivers, and alternatives to gamma-based devices. *Health Physics*, 129(3), 174–183. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000002016>
- NDTmart.com. (n.d.). *Source guide tube extension 6-6*. NDTmart. Diakses 06 Oktober 2025, dari <https://www.ndtmart.com/source-guide-tube-extension-6-6-p-3456.html>
- NDT Resource Center; Radio Isotope (Gamma). Diakses 06 Oktober 2025, dari <https://www.nde-ed.org/educationresources/communitycollege/radiography/equipmentmaterials/isotopesources.htm>
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2013. *Teknik Radiografi Tingkat 2*. Jakarta 2013
- Qualité NDE. (n.d.). *Sentinel 880 Delta source projector*. Diakses 06 Oktober 2025, dari <https://www.qnde.ca/produit/sentinel-880-source/>

- QSA Global, Inc. (n.d.). *SENTRY Series gamma-ray source projectors*. Diakses 06 Oktober 2025, dari <https://www.qsa-global.com/sentry-series-gamma-ray-source-projectors>
- Ramli, R., Amin, M. S. M., & Zasikin, M. H. (2021, March). The effect of object to film distance (OFD) to industrial radiography image. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1106, No. 1, p. 012020). IOP Publishing
- Riska, A., Syukran, S., & Lubis, H. (2022). Inspection of Pipe Welds Using the Radiography Method with the Double Wall Double Image Technique. *Journal of Welding Technology*, 4(2), 60-63.
- Roudotul, S. (2024). TEKNIK RADIOGRAFI DWDV DENGAN SUMBER RADIASI KAMERA GAMMA PADA LASAN PIPA 2,5" SCH 40. Selviah Roudotul Jannah. https://www.academia.edu/attachments/111710781/download_file
- Suparno, S., & Rangkuti, M. (2013). Pembuatan Kurva Penyinaran Radiografi Ir-192 Menggunakan Persamaan Dosis. *Widyanuklida*, 13(1).
- Sutanto, G., Perdana, R., & Nugroho, P. (2025). *Development of standard test specimens and geometric unsharpness evaluation for industrial radiographic testing*. **Jurnal Material dan Proses Manufaktur (JMPM)**, 9(2), 106–115
[file:///C:/Users/etdi/Downloads/26290-Article%20Text-112654-1-10-20251227%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/etdi/Downloads/26290-Article%20Text-112654-1-10-20251227%20(1).pdf)

- ul Hassan, I., Panduru, K., & Walsh, J. (2025). Non-destructive testing methods for condition monitoring: A review of techniques and tools. *Procedia Computer Science*, 257, 420-427.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050925007914/pdf?md5=ddd111d276c5910fa3198f76c6b14b1d&pid=1-s2.0-S1877050925007914-main.pdf>
- Xiong, L., Liang, L., Zhu, H., & Dai, X. (2023). *Control of geometric unsharpness in digital radiography*. **Nondestructive Testing**, 45(1), 54–57.
<https://doi.org/10.11973/wsjc202301011>