



**PEMBUATAN KURVA WAKTU PENYINARAN SINAR-X ISOVOLT
TITAN-E PADA SPESIMEN ALUMINIUM MENGGUNAKAN
COMPUTED RADIOGRAPHY**

Arif Dwi Supiyan¹, Sutrasno², Harun Al Rasyid³

¹Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Sleman, Indonesia,

^{2,3}Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Jakarta, Indonesia

arifdwisupiyan05@gmail.com

Abstrak:

Computed Radiography merupakan suatu sistem atau proses untuk mengubah sistem analog pada konvensional radiografi menjadi digital radiografi. Laboratorium NDT (Non Destructive Test) di Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi – Badan Riset dan Inovasi Nasional belum mempunyai kurva waktu penyinaran untuk computed radiography dan dalam menentukan waktu penyinarannya dilakukan dengan menggunakan Minimum Grey Value (SNR method). Setiap pekerja radiasi selalu mempunyai risiko terkena paparan radiasi pengion selama menjalankan tugasnya. Dosis radiasi yang diterima seseorang dipengaruhi laju dosis dan waktu., sehingga dengan meminimalkan waktu bekerja, dosis yang diterima dapat semakin kecil. Oleh karena itu, diperlukan kurva waktu penyinaran untuk computed radiography pada spesimen aluminium. Pembuatan kurva waktu penyinaran menggunakan teknik radiografi digital berupa computed radiography pada spesimen aluminium dengan ketebalan 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 mm. Pada pengambilan citra dilakukan dengan mevariasikan waktu penyinaran pada energi 90, 100, 110 kV. Data yang dikumpulkan berupa nilai Grey Value dan SNR normalized selanjutnya dibuat grafik dengan menggunakan Microsoft Excel sehingga didapatkan nilai persamaan grafik logarithmic. Hasil pengukuran digunakan untuk menghasilkan persamaan logarithmic yang akan disubstitusikan dengan nilai SNR kelas A dan B. Substitusi SNR normalized pada variable y menghasilkan nilai grey value x pada stepwedge yang disinari. Hasil percobaan menghasilkan kurva penyinaran computed radiography sinar-X untuk material aluminium pada tegangan tabung 90, 100, dan 110 kV.

Kata Kunci: radiografi komputasi, bagan paparan, aluminium spesimen

Abstract:

Computed Radiography is a system or process to convert analog systems in conventional radiography into digital radiography. The NDT (Non Destructive Test) Laboratory at the Radiation Process Technology Research Center - National Research and Innovation Agency does not yet have an irradiation time curve for computed radiography and in determining the irradiation time is

carried out using the Minimum Gray Value (SNR method). Every radiation worker always has the risk of being exposed to ionizing radiation while performing their duties. The radiation dose received by a person is influenced by the dose rate and time, so that by minimizing the working time, the dose received can be smaller. Therefore, an irradiation time curve is needed for computed radiography on aluminum specimens. The creation of irradiation time curves using digital radiography techniques in the form of computed radiography on aluminum specimens with thicknesses of 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, and 20 mm. Image capture is done by varying the irradiation time at 90, 100, 110 kV energy. The data collected in the form of Gray Value and normalized SNR values are then made graphs using Microsoft Excel so that the value of the logarithmic graph equation is obtained. The measurement results are used to generate a logarithmic equation that will be substituted with the SNR values of classes A and B. Substitution of normalized SNR in variable y produces grey value x on the irradiated stepwedge. Experimental results produced X-ray computed radiography irradiation curves for aluminum material at tube voltages of 90, 100, 110 kV.

Keywords: *Computed Radiography, Exposure Chart, Aluminium Specimens*

Pendahuluan

Seiring berkembangnya teknologi, radiografi juga mengalami peningkatan dari radiografi memakai film menjadi digital atau yang sering dikenal *computed radiography* (Septina & Agnizarridlo, 2021). *Computed Radiography* (CR) merupakan sistem radiografi yang dapat mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital sehingga mudah diproses dengan pengolahan citra, untuk menangani ketidakstabilan kualitas citra dari kekeliruan dalam pencahayaan (Artz, 1997). Pada prinsipnya, CR merupakan proses digitalisasi menggunakan *image plate* yang memiliki lapisan kristal *photostimulable* (Korner et al., 2007). Sinar-X yang keluar dari tabung akan mengenai bahan atau objek yang memiliki densitas berbeda satu sama lain. Sinar-X kemudian diserap seluruhnya atau sebagian oleh bahan (Ningtias et al., 2016). Bagian bahan yang memiliki densitas tinggi akan lebih banyak menyerap sinar-X yang kemudian diteruskan dan ditangkap oleh *image plate*. *Imaging plate* adalah lembaran yang dapat menangkap dan menyimpan bayangan *latent* sinar-X. Bayangan *latent* tersebut terbentuk pada film ketika sinar-X melewati benda uji dan ditangkap oleh detector (Sudin et al., 2015).

Citra (*image*) istilah lain untuk gambar sebagai salah satu komponen multimedia yang memegang peranan penting sebagai bentuk informasi visual (Kurniasari & Akhlis, 2012). Citra juga dapat diartikan sebagai representasi optis dari sebuah obyek yang disinari oleh sumber radiografi. Citra digital merupakan perubahan dari gambar analog menuju gambar digital, yang diproses secara digital sehingga untuk menghindari terjadinya manipulasi atau pengolahan gambar (Sumijan & Purnama, 2021). Citra digital adalah istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan gambar radiografi dalam bentuk digital yang dapat ditampilkan pada layar monitor (Yusnida & Suryono, 2014). Citra yang memiliki kontras lebih terang atau gelap memiliki histogram yang sempit dan histogramnya terlihat hanya menggunakan setengah daerah derajat keabuan (Zelviani, 2017). Kualitas *image* yang optimal dengan citra kuantitatif membantu keakuratan dalam menginterpretasi sehingga dapat menghindari kesalahan dalam interpretasi (Rosidah et al., 2020). Kualitas radiografi meliputi densitas, kontras,

ketajaman, dan distorsi (Nehru, 2017). Ada beberapa faktor yang memengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas penyinaran radiasi sinar-X dalam pembuatan citra radiografi diantaranya tegangan (kV), arus tabung (mA), dan pengaruh jarak (m). Semakin tinggi tegangan (kV) yang diberikan maka semakin kuat daya tembus dari sinar-X yang dihasilkan tersebut (Jannah et al., 2014).

Dalam melakukan uji radiografi suatu material, keberhasilan pembuatan radiograf antara lain dipengaruhi oleh ketepatan dalam menentukan waktu penyinaran. Cara penentuan waktu penyinaran yang biasa digunakan adalah dengan kurva penyinaran (*exposure chart*). *Exposure chart* merupakan kurva yang menghubungkan antara tebal material dan paparan untuk energi radiasi (sumber radiasi) tertentu. Untuk meradiografi material yang berbeda diperlukan *exposure chart* yang berbeda pula. Begitu pentingnya *exposure chart* dalam pekerjaan radiografi (Suparno & Sanusi, 2012).

Penelitian sebelumnya terkait pembuatan kurva waktu penyinaran telah dilakukan oleh Ardelia Irena yaitu pemodelan kurva waktu penyinaran Betatron SEA 7 menggunakan film AGFA D7 pada spesimen baja. Pada penelitian tersebut dihasilkan model grafik dan persamaan matematis kurva waktu penyinaran Betatron SEA 7 beserta hasil penyimpangan *relative* berdasarkan data *sheet* yang dihitung menggunakan persamaan hubungan waktu dan energi. Model kurva waktu penyinaran yang dihasilkan telah diverifikasi keandalannya menggunakan metode analisis *curve fitting* dengan perangkat lunak Origin (Muthusami et al., 2020).

Penelitian ini membuat *exposure chart* dari bahan aluminium menggunakan *computed radiography* dikarenakan belum ada yang melakukan penelitian tersebut. Dalam pembuatan *exposure chart* tersebut menggunakan *stepwedge* aluminium dengan tebal yang berbeda pada setiap stepnya. Untuk mengetahui hubungan ketebalan dengan tingkat keabuan dilakukan dengan membandingkan pengukuran paparan sinar-X pada *stepwedge* dari bahan tersebut dengan system CR (Susilo et al., 2011). *Stepwedge* merupakan salah satu jenis sensitometer, tetapi *stepwedge* juga disebut dengan penetrometer. *Stepwedge* adalah suatu rangkaian penambahan ketebalan dengan bahan yang memiliki tingkat penyerapan yang sama (Satwika et al., 2021). Alat ini biasanya terbuat dari bahan aluminium yang dibuat step bertingkat ketebalannya, yaitu dari yang tipis sampai yang tebal. *Stepwedge* digunakan untuk menghasilkan tingkat irisan pada film radiografi melalui eksposi sinar-X, alat ini juga sangat baik untuk memonitori peralatan sinar-X dan kombinasi dengan *imaging plate* (Sudin et al., 2015).

Waktu penyinaran dalam teknik radiografi, baik konvensional maupun digital merupakan hal yang sangat penting karena keberhasilan pengujian radiografi salah satunya dipengaruhi oleh ketepatan dalam menentukan waktu penyinaran (Khalifah et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan kurva waktu penyinaran dalam melakukan pengujian radiografi menggunakan sinar-X ISOVOLT Titan-E *computed radiography*. Di Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi (PRTPR – BRIN), penentuan waktu penyinaran untuk *computed radiography* (CR) ISOVOLT Titan-E masih dilakukan secara *trial and error*. Dengan adanya permasalahan tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian pembuatan kurva waktu penyinaran sinar-X ISOVOLT Titan-E. maka dari itu penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dan memudahkan dalam mengoperasikan *Computed Radiography*. Dengan adanya kurva waktu penyinaran tidak perlu dilakukan secara *trial and error* sehingga resiko terkena paparan radiasi juga rendah atau masih dalam batas yang wajar.

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan meradiografi *stepwedge* aluminium dengan step 6 sebagai titik tumpu tegak lurus terhadap *focal spot*. *Stepwedge* aluminium memiliki ketebalan berturut-turut dari step 1 sampai 10 yaitu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 mm. Energi yang digunakan seperti 90, 100, 110 kV serta waktu yang digunakan berbeda-beda setiap kV secara coba-coba menyesuaikan energinya. Dilakukan pengukuran pada nilai *Grey Value* dan SNR *normalized* pada masing-masing tegangan disetiap undakan pada setiap *stepwedge*. Hasil pengukuran digunakan untuk menghasilkan persamaan logaritma yang akan disubstitusikan dengan nilai SNR kelas A dan B. Substitusi SNR *normalised* pada variabel y menghasilkan nilai *Grey Value* x pada *stepwedge* yang disinari. Nilai x yang dihasilkan dibandingkan dengan *Grey Value* yang terukur pada *stepwedge* untuk menentukan undakan dengan *Grey Value* terdekat. Hasil data *Grey Value* dan SNR *normalised* diolah dan dikelompokkan pada tegangan uji. Data tersebut diubah menjadi grafik *exposure chart*. Hasil perbandingan tentang perubahan waktu penyinaran, kemiringan tiap kurva tegangan, kecocokan nilai *Grey value* dan SNR *normalised* menunjukkan terjadinya perubahan korespondensi tegangan aktual.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan menggunakan pesawat sinar-X ISOVOLT Titan E yang bertujuan untuk menghasilkan kurva waktu penyinaran pada spesimen aluminium. Pengambilan citra radiografi dilakukan menggunakan *Computed Radiography* dengan variasi energi 90, 100, 110 kV. Pada penelitian tersebut menggunakan jarak *focal spot* ke benda uji (SFD) sebesar 70 cm serta menggunakan *imaging plate* (IP) *Blue*. Ketika melakukan proses *scanning imaging plate* menggunakan *scanmode* 100 mikron. Spesimen yang digunakan merupakan spesimen yang sesuai standart. Pada *stepwedge* aluminium memiliki 10 undakan dengan variasi ketebalan yang berbeda yaitu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 mm.

Menurut standart BS EN ISO 17636-2:2013 kualitas Citra digital dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu *Signal to Noise Ratio (SNR) normalized*, *Contrast to Noise Ratio (CNR)*, *Image Quality Indicator (IQI)*, dan *Duplex*. Penelitian ini menggunakan *Minimum Grey Value (SNR method)* sesuai standart BS EN ISO 17636-2:2013 (Jechow et al., 2011). SNR merupakan parameter yang menggambarkan tingkat perbedaan antara sinyal yang diukur dengan *noise* yang samuk dalam pengukuran. Semakin besar nilai SNR, maka sinyal dan *noise* akan semakin mudah untuk dibedakan. Meningkatkan SNR akan meningkatkan kualitas citra digital juga. Dalam pembuatan kurva waktu penyinaran variasi energi yang digunakan kurang dari sama dengan 150 kV, maka nilai minimum SNR *normalized* di bedakan menjadi 2 kelas yaitu kelas A dan Kelas B masing-masing mempunyai nilai 70 dan 120. Kelas A biasanya digunakan untuk inspeksi barang yang tidak terlalu *critical*, sedangkan kelas B biasanya digunakan inspeksi barang yang membutuhkan *critical* ketelitian yang tinggi. Penelitian tersebut juga menggunakan SRb sebesar 0,1 dan *scanmode* 100 mikron. Data yang telah mendapat nilai *Grey Value* dan SNR *normalized* selanjutnya dibuat grafik dengan menggunakan *Microsoft Excel* sehingga didapatkan nilai persamaan grafik *logarithmic*. Hasil pengukuran digunakan untuk menghasilkan persamaan logaritma yang akan disubstitusikan dengan nilai SNR kelas A dan B. Substitusi SNR *normalized* pada variabel y menghasilkan nilai *Grey Value* x pada *stepwedge* yang disinari. Nilai x yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan *Grey Value* yang terukur pada *stepwedge*

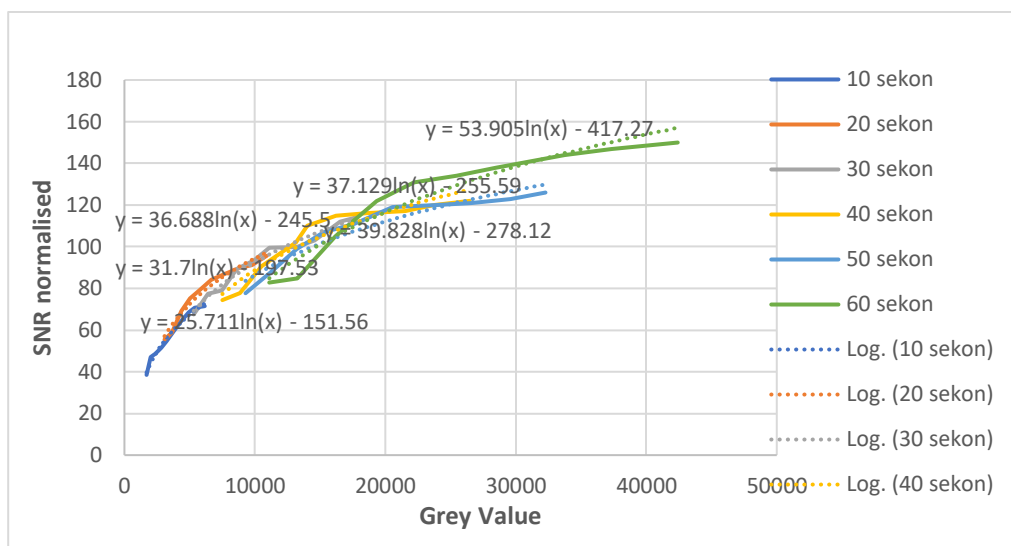
untuk menentukan undakan dengan *Grey Value* terdekat. Hasil data *Grey Value* dan SNR *normalised* diolah dan dikelompokkan pada tegangan uji. Data tersebut diubah menjadi grafik *exposure chart*.

Pada energi 90 Kv dilakukan penyinaran sebanyak 6 kali dengan pusat di step 6 dengan ketebalan 12 mm dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 sekon. Pada masing-masing varian waktu tersebut menghasilkan persamaan garis *logarithmic* berturut-turut yaitu $y = 25,711 \ln(x) - 151,56$; $y = 31,7 \ln(x) - 197,53$; $y = 36,688 \ln(x) - 245,5$; $y = 39,828 \ln(x) - 278,12$; $y = 37,129 \ln(x) - 255,59$; dan $y = 53,905 \ln(x) - 417,27$. Persamaan tersebut dilakukan perhitungan berdasarkan masing-masing kelas SNR *normalised* yaitu kelas A sebesar 70 dan kelas B sebesar 120. Kemudian nilai x yang dihasilkan dibandingkan dengan *Grey Value* yang terukur pada *stepwedge* untuk menentukan undakan dengan *Grey Value* terdekat. Hasil data *Grey Value* dan SNR *normalised* diolah dan dikelompokkan pada tegangan uji pada Tabel 1 *exposure* sementara. Kemudian dibuat grafik kurva waktu penyinaran kelas A dan B dengan sumbu x nilai ketebalan (mm) pada undakan *stepwedge* sedangkan untuk sumbu y bernilai *exposure* (mA.detik) pada Gambar 2.

Pada energi 100 Kv dilakukan penyinaran sebanyak 6 kali dengan pusat di step 6 dengan ketebalan 12 mm dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 sekon. Pada masing-masing varian waktu tersebut menghasilkan persamaan garis *logarithmic* berturut-turut yaitu $y = 23,716 \ln(x) - 133,19$; $y = 30,026 \ln(x) - 187,16$; $y = 42,538 \ln(x) - 304,61$; $y = 39,271 \ln(x) - 276,01$; $y = 33,642 \ln(x) - 220,05$; dan $y = 33,185 \ln(x) - 214,55$. Persamaan tersebut dilakukan perhitungan berdasarkan masing-masing kelas SNR *normalised* yaitu kelas A sebesar 70 dan kelas B sebesar 120. Kemudian nilai x yang dihasilkan dibandingkan dengan *Grey Value* yang terukur pada *stepwedge* untuk menentukan undakan dengan *Grey Value* terdekat. Hasil data *Grey Value* dan SNR *normalised* diolah dan dikelompokkan pada tegangan uji pada Tabel 2 *exposure* sementara. Kemudian dibuat grafik kurva waktu penyinaran kelas A dan B dengan sumbu x nilai ketebalan (mm) pada undakan *stepwedge* sedangkan untuk sumbu y bernilai *exposure* (mA.detik) pada Gambar 4.

Pada energi 110 Kv dilakukan penyinaran sebanyak 6 kali dengan pusat di step 6 dengan ketebalan 12 mm dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 sekon. Pada masing-masing varian waktu tersebut menghasilkan persamaan garis *logarithmic* berturut-turut yaitu $y = 25,711 \ln(x) - 151,56$; $y = 31,7 \ln(x) - 197,53$; $y = 36,688 \ln(x) - 245,5$; $y = 39,828 \ln(x) - 278,12$; $y = 37,129 \ln(x) - 255,59$; dan $y = 53,905 \ln(x) - 417,27$. Persamaan tersebut dilakukan perhitungan berdasarkan masing-masing kelas SNR *normalised* yaitu kelas A sebesar 70 dan kelas B sebesar 120. Kemudian nilai x yang dihasilkan dibandingkan dengan *Grey Value* yang terukur pada *stepwedge* untuk menentukan undakan dengan *Grey Value* terdekat. Hasil data *Grey Value* dan SNR *normalised* diolah dan dikelompokkan pada tegangan uji pada Tabel 3 *exposure* sementara. Kemudian dibuat grafik kurva waktu penyinaran kelas A dan B dengan sumbu x nilai ketebalan (mm) pada undakan *stepwedge* sedangkan untuk sumbu y bernilai *exposure* (mA.detik) pada Gambar 6.

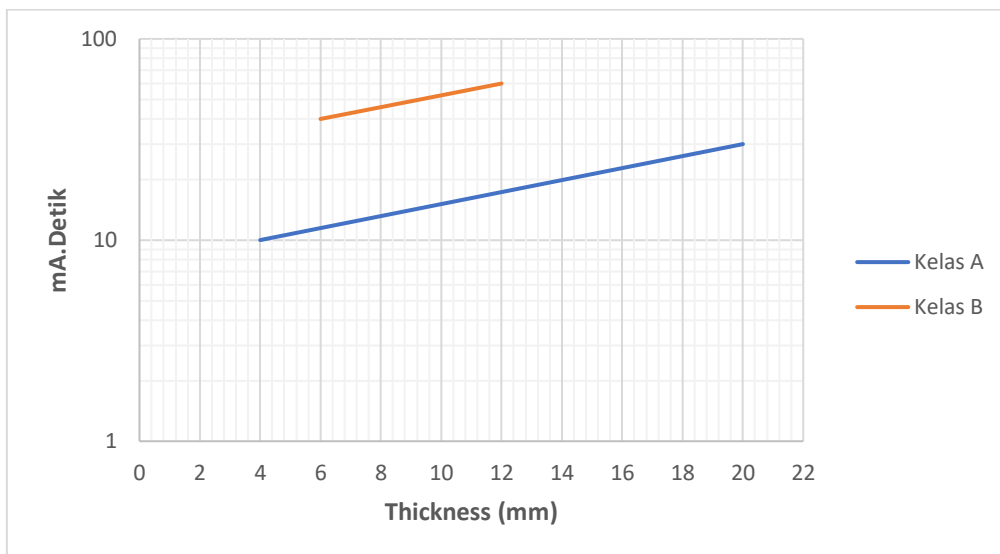
Kurva waktu penyinaran yang telah dibuat pada Gambar 2, 4, dan 6 digabungkan menjadi satu kurva yang dinamakan kurva waktu penyinaran Sinar-X ISOVOLT Titan-E yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8. Gambar 7 merupakan kurva waktu penyinaran kelas A sebesar 70, sedangkan Kelas B merupakan kurva waktu penyinaran sebesar 120.



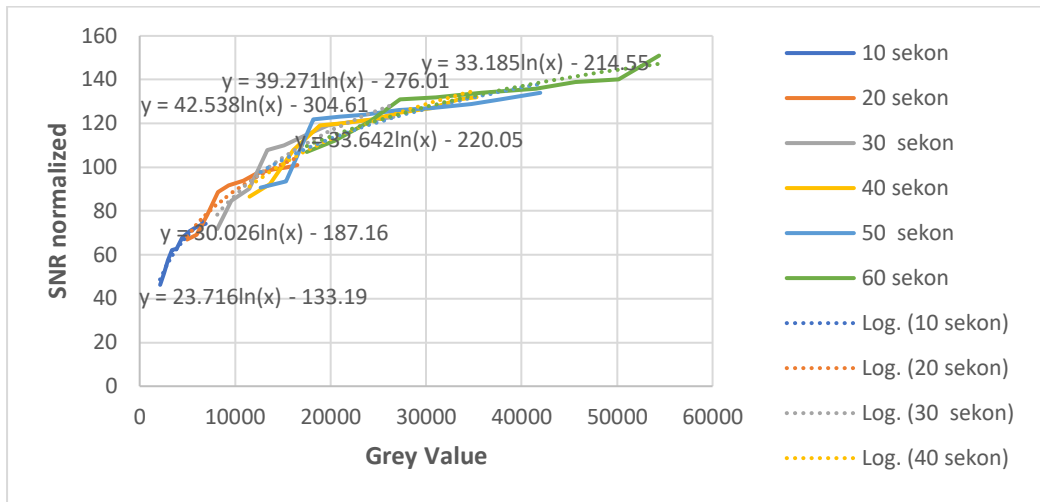
Gambar 1. Hubungan antara *Grey Value* dan *SNR normalised* pada tegangan 90 Kv

Tabel 1. Exposure sementara energi 90 Kv

Kelas A (70)		Kelas B (120)	
E (mA.detik)	Tebal (mm)	E (mA.detik)	Tebal (mm)
10	4	40	6
20	16	50	8
30	20	60	12



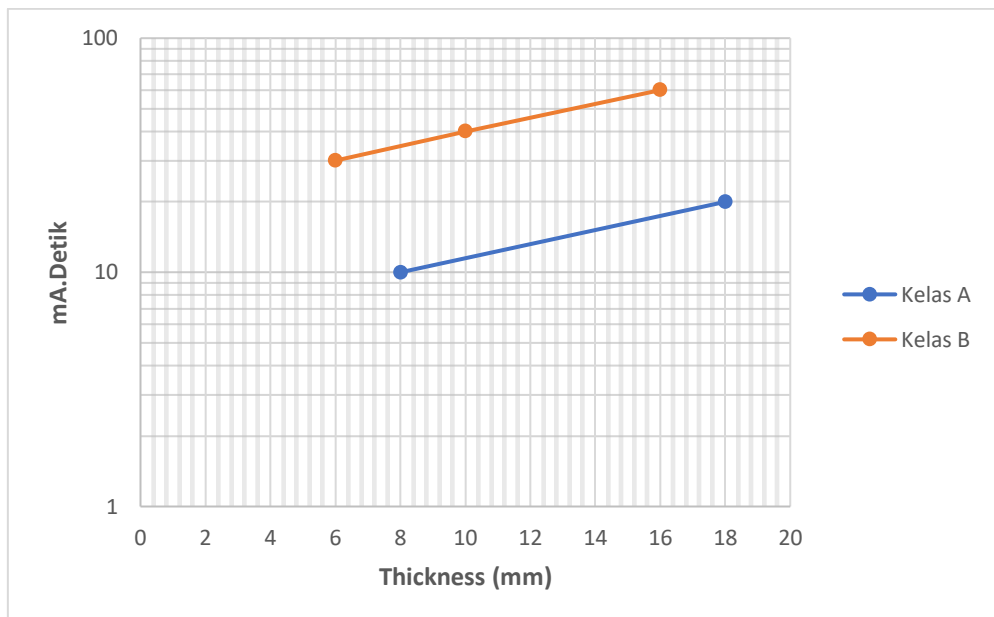
Gambar 2. Exposure chart energi 90 kv kelas A dan B



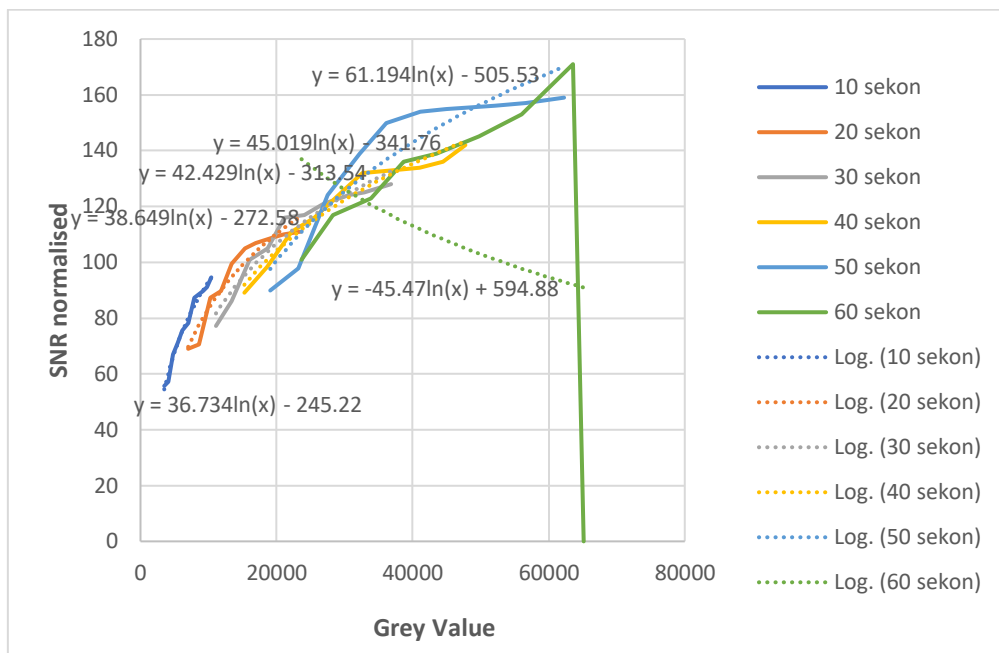
Gambar 3. Hubungan antara *Grey Value* dan *SNR normalised* pada tegangan 100 Kv

Tabel 2. Exposure sementara energi 100 Kv

Kelas A (70)		Kelas B (120)	
E (mA.detik)	tebal (mm)	E (mA.detik)	tebal (mm)
10	8	30	6
20	18	40	10
		50	12
		60	16



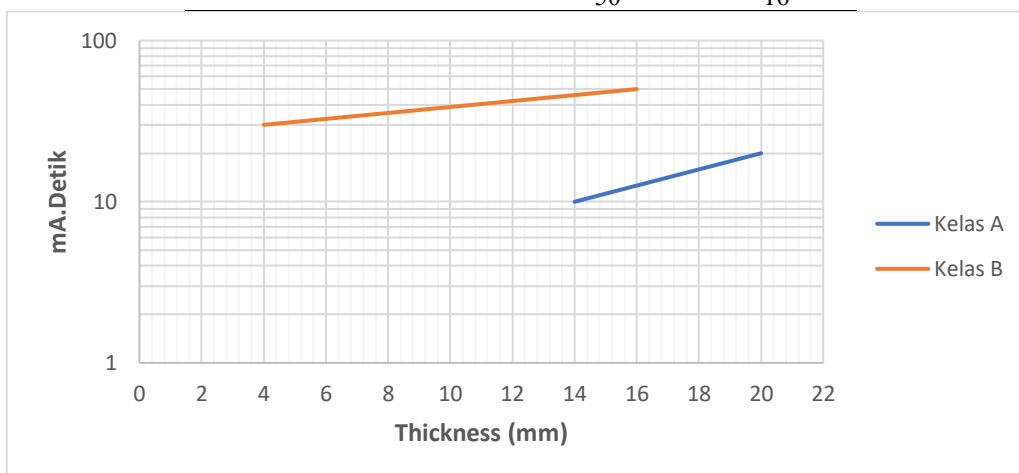
Gambar 4. Exposure chart energi 100 kv kelas A dan B



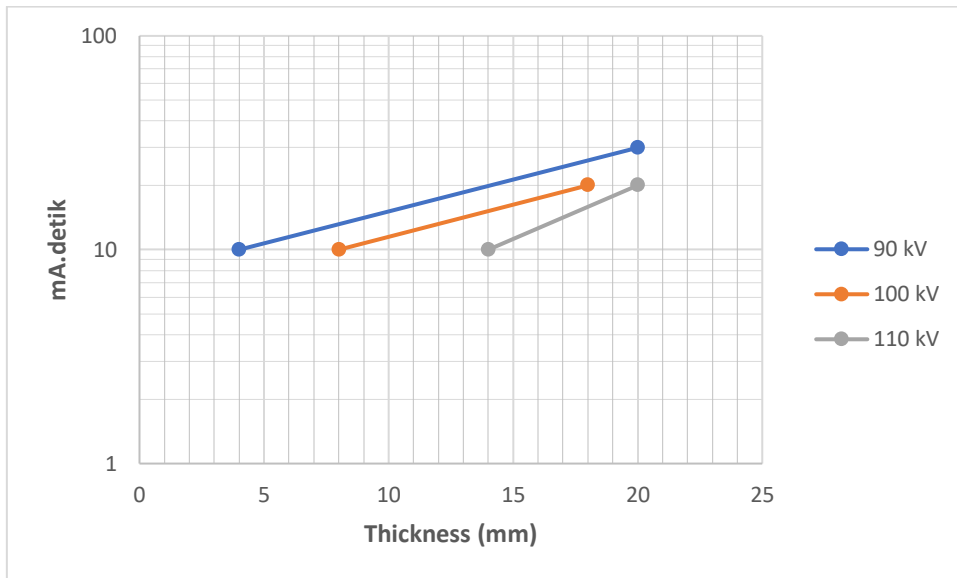
Gambar 5. Hubungan antara *Grey Value* dan *SNR normalised* pada tegangan 110 KV

Tabel 3. Exposure sementara energi 100 Kv

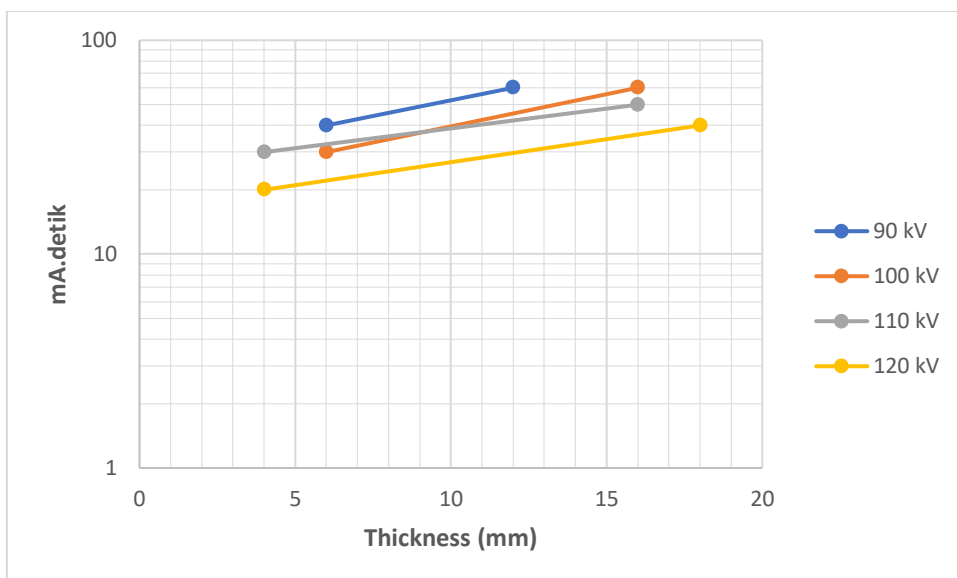
Kelas A (70)		Kelas B (120)	
E (mA.detik)	Tebal (mm)	E (mA.detik)	Tebal (mm)
10	14	30	4
20	20	40	12
		50	16



Gambar 6. Exposure chart energi 100 kv kelas A dan B



Gambar 7. Kurva waktu penyinaran sinar-X ISOVOLT Titan E kelas A



Gambar 8. Kurva waktu penyinaran sinar-x ISOVOLT Titan-E kelas B

Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dibuat kurva waktu penyinaran sinar-X ISOVOLT Titan E menggunakan *Computed Radiography* pada spesimen aluminium dengan *Minimum Grey value (SNR Method)*. Kurva yang telah dibuat dapat dinyatakan valid dan dapat dipermudah dalam melakukan penyinaran sinar-X ISOVOLT Titan E untuk spesimen aluminium dengan nilai SNR *normalized* dua kelas yaitu kelas A dan B sebesar 70 dan 120.

Dikarenakan keterbatasan peneliti, hasil penelitian ini belum sempurna. Maka perlu dilakukan penggunaan *imaging plate* (IP) jenis lain atau IP dengan kualitas yang

lebih baik agar memperoleh data yang lebih akurat, dan perlu dilakukan pembuatan kurva waktu penyinaran sinar-X ISOVOLT Titan E untuk spesimen yang lain.

Daftar Pustaka

- Artz, D. S. (1997). Computed radiography for the radiological technologist. *Seminars in Roentgenology*, 32(1), 12–24.
- Jannah, N., Armynah, B., & Abdullah, B. (2014). Analisis Kurva Karakteristik Image Plate Computed Radiography (CR) Sebagai Indikator Sensitifitas Terhadap Sinar-X. *Prosiding Seminar Nasional Geofisika*, 200–206.
- Jechow, M., ZSCHERPEL, U., REDMER, B., & EWERT, U. (2011). Dependence of Signal-to-Noise Ratio on Radiation Energy and Grey Value in Digital Industrial Radiology.
- Khalifah, A. M., Kashyout, W. A., Abdalla, S. A., Zeweil, H. S., Zahran, S. M., Ebeid, T. A., & Dosoky, W. M. (2022). Leverage of chromium methionine supplementation in laying japanese quail's diets on performance, quality, and blood traits challenged by heat stress. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 10(3), 676–684.
- Korner, M., Weber, C. H., Wirth, S., Pfeifer, K.-J., Reiser, M. F., & Treitl, M. (2007). Advances in digital radiography: physical principles and system overview. *Radiographics*, 27(3), 675–686.
- Kurniasari, H. B., & Akhlis, I. (2012). Penerapan Pengolahan Citra Digital Dengan Matlab 7.1 Pada Citra Radiografi. *Unnes Physics Journal*, 1(1).
- Muthusami, R., Kesavan, A., Ramachandran, V., Vasudevan, V., Irena, K., & Rangappan, R. (2020). Synthesis of mesoporous silica nanoparticles with a lychee-like morphology and dual pore arrangement and its application towards biomimetic activity via functionalization with copper (II) complex. *Microporous and Mesoporous Materials*, 294, 109910.
- Nehru, N. (2017). Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Kualitas Citra Radiografi. *Journal Online of Physics*, 3(1), 14–22.
- Ningtias, D. R., Suryono, S., & Susilo, S. (2016). Pengukuran Kualitas Citra Digital Computed Radiography Menggunakan Program Pengolah Citra. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 12(2), 161–168.
- Rosidah, S., Soewondo, A., & Adi, M. S. (2020). Optimasi Kualitas Citra Radiografi Abdomen Berdasarkan Body Mass Index dan Tegangan Tabung pada Computed Radiography. *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Komunitas*,

5(1), 23–31.

- Satwika, L. G. P., Ratini, N. N., & Iffah, M. (2021). Pengaruh Variasi Tegangan Tabung Sinar-X terhadap Signal to Noise Ratio (SNR) dengan Penerapan Anode Heel Effect menggunakan Stepwedge. *Buletin Fisika Vol*, 22(1), 20–28.
- Septina, F., & Agnizarridlo, T. (2021). Pemeriksaan Radiografi Intraoral pada Unit Pelayanan Radiodiagnostik. Universitas Brawijaya Press.
- Sudin, A., Widyandari, H., & Muhlisin, Z. (2015). Studi pengaruh ukuran pixel imaging plate terhadap kualitas citra radiograf. *Youngster Physics Journal*, 4(3), 225–230.
- Sumijan, S., & Purnama, P. A. W. (2021). Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra Digital Penerapan dalam Bidang Citra Medis. PENERBIT INSAN CENDEKIA MANDIRI.
- Suparno, S., & Sanusi, A. (2012). Penentuan Waktu Penyinaran Radiografi Ir-192 Menggunakan Persamaan Dosis Radiasi. *Widyanuklida*, 12(1).
- Susilo, S., Budi, W. S., & Kusminarto, K. (2011). Analisis homogenitas bahan acrylic dengan teknik radiografi sinar-x. *Jurnal Fisika*, 1(1). <https://doi.org/10.15294/jf.v1i1.1650>
- Yusnida, A. M., & Suryono, S. (2014). Uji Image Uniformity Perangkat Computed Radiography Dengan Metode Pengolahan Citra Digital. *Youngster Physics Journal*, 3(4), 251–256.
- Zelviani, S. (2017). Kualitas citra pada direct digital radiography dan computed radiography. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 11(1).