



Development of a Quality Control Phantom Made of Acrylic and Aluminium

Alfieta Rohmaful Aeni^{1*}, Danang Noeramarullah Yudhistira²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Teknik
Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia
Jl. HS. Ronggowaluyo, Karawang.
e-mail: alfieta.rohmaful@ft.unsika.ac.id

²Program Studi Metrologi Dan Instrumentasi
Akademi Metrologi Dan Instrumentasi, Indonesia
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 25, Kab. Sumedang
e-mail: danang.yudhistira@akmet.ac.id

DOI:

<https://doi.org/10.52434/jpif.v5i2.43070>

Accepted: November 15, 2025 Approved: November 29, 2025 Published: December 3, 2025

ABSTRACT

The high cost of phantoms for Quality Control (QC) in diagnostic imaging remains a challenge for hospitals in non-urban areas. This study developed a simple and affordable phantom using acrylic and aluminum. Ten circular acrylic layers, each 3 mm thick, were stacked and embedded with 15 holes filled with aluminum disks of varying thicknesses (1–15 mm). The phantom was exposed to X-rays at tube voltages of 50 kV, 60 kV, and 70 kV, with 5 ms exposure time and 160 mA current. Grey value analysis using ImageJ showed that 60 kV produced the best image contrast and clear differentiation of aluminum thicknesses. At 50 kV, thicker aluminum (10–15 mm) was hard to distinguish, while at 70 kV, thinner disks (1–5 mm) were less visible. These results indicate that the developed phantom is sensitive to exposure parameter changes and has potential use in educational and basic X-ray imaging system evaluation.

Keywords: *Phantom, Quality Control, X Ray, Grey Value*

Pengembangan *Quality Control Phantom* Berbahan Akrilik dan Aluminium

ABSTRAK

Tingginya biaya *phantom* untuk Quality Control (QC) citra diagnostik menjadi kendala bagi rumah sakit di wilayah non-perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *phantom* sederhana dan terjangkau menggunakan bahan akrilik dan aluminium. Lembaran akrilik setebal 3 mm dibentuk melingkar dan disusun menjadi 10 lapis, kemudian diberi 15 lubang yang diisi kepingan aluminium dengan ketebalan bertingkat dari 1 mm hingga 15 mm. *Phantom* dieksposi

sinar-X dengan variasi tegangan tabung 50 kV, 60 kV, dan 70 kV, selama 5 ms dan arus 160 mA. Hasil analisis tingkat keabuan dengan *ImageJ* menunjukkan bahwa tegangan 60 kV menghasilkan citra dengan kontras terbaik dan variasi ketebalan aluminium yang jelas. Pada 50 kV, ketebalan aluminium 10–15 mm sulit dibedakan, sedangkan pada 70 kV, ketebalan 1–5 mm tidak tampak jelas. Temuan ini menunjukkan bahwa *phantom* yang dikembangkan cukup sensitif terhadap perubahan parameter eksposi, dan berpotensi digunakan sebagai alat bantu evaluasi sistem pencitraan sinar-X dalam konteks pendidikan dan pengujian dasar.

Kata kunci: *Phantom*, Quality Control, Sinar-X, Tingkat Keabuan.

PENDAHULUAN

Quality Control (QC) dalam citra diagnostik memiliki peran penting dalam memastikan kinerja optimal dari pesawat diagnostik yang digunakan. Sayangnya, pelaksanaan QC masih sering diabaikan oleh sebagian petugas radiasi, yang dapat berdampak pada keakuratan diagnosis (Yalcin & Olgar, 2024). Salah satu komponen utama dalam pelaksanaan QC adalah *phantom*, yaitu benda uji yang berfungsi sebagai pengganti tubuh manusia dengan karakteristik atenuasi yang menyerupai jaringan biologis.

Meskipun peran *phantom* sangat vital, harga *phantom* standar yang relatif mahal menjadi kendala utama bagi banyak rumah sakit, terutama di daerah (Alves et al., 2015; Bustos Flores et al., 2022; Mohammed Ali & Al-Murshedi, 2023). Oleh karena itu, dibutuhkan *phantom* sederhana dengan biaya yang lebih terjangkau, mengingat QC perlu dilakukan secara rutin namun tetap efisien. *Phantom* sederhana yang digunakan hendaknya terbuat dari material yang mudah didapatkan, mudah dibuat dan mudah perawatannya (Akhlaghi et al., 2015) namun harus memiliki sifat material yang setara dengan jaringan tubuh manusia untuk merepresentasikan penyerapan dan penyebaran dari radiasi (Souza et al., 2022). Bahan *phantom* sederhana yang digunakan umumnya berupa lembaran seragam berbahan akrilik, aluminium atau tembaga (Bor et al., 2015; Velonis et al., 2023). Aluminium sering dipakai untuk mensimulasikan tulang pada *phantom* (Mohammed Ali et al., 2018) dan akrilik direkomendasikan sebagai material yang setara dengan jaringan tubuh manusia (Bustos Flores et al., 2022).

Kualitas citra radiografi dapat dievaluasi melalui berbagai parameter seperti contrast-to-noise (CNR) dan tingkat keabuan berdasarkan histogram (Alves et al., 2015; Mehdizadeh et al., 2020; Sriwahyuni, 2017). Evaluasi ini dapat dilakukan secara visual maupun kuantitatif menggunakan perangkat lunak analisis citra, seperti *ImageJ*. *ImageJ* merupakan software analisis citra publik yang dikembangkan oleh *National Institutes of Health* dan banyak digunakan dalam analisis citra medis khususnya dua dimensi (Danz et al., 2023; Gümrükçü et al., 2025; Nguyen et al., 2016; Yen et al., 2024).

Untuk mendukung pelaksanaan QC yang lebih ekonomis dan dapat diakses oleh fasilitas layanan kesehatan dengan sumber daya terbatas, maka perlu dikembangkan *phantom* sederhana berbahan akrilik dan aluminium. Efektivitas *phantom* yang dikembangkan ini akan dievaluasi melalui hasil citra radiografi yang dianalisis menggunakan *ImageJ*, guna menentukan kelayakannya sebagai media QC pada sistem pencitraan diagnostik.

METODE PENELITIAN

Pengembangan *Phantom*

Phantom dibuat dengan bahan akrilik transparan setebal 3 mm yang dibentuk lingkaran dengan diameter 15 cm sebanyak 10 lembar. Permukaan akrilik kemudian diberi 30 lubang berdiameter 11 mm dibuat berbentuk lingkaran. Pada bagian tengah akrilik diberikan lubang berbentuk persegi panjang tipis yang digunakan sebagai pengunci ketika 10 lembar akrilik disusun menjadi satu. Seluruh proses pencetakan akrilik menggunakan laser cutting dan hasil *phantom* terlihat pada Gambar 1.

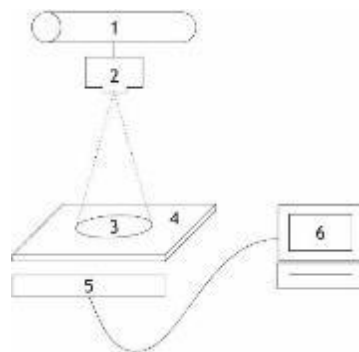


Gambar 1. *Phantom* akrilik dengan lubang yang diisi kepingan aluminium

Lubang pada akrilik diisi lembaran aluminium 1 mm yang dipotong melingkar dengan diameter 1 cm sebanyak 456 keping. Kemudian kepingan aluminium dimasukkan kedalam 30 lubang pada akrilik dengan variasi ketebalan total kepingan aluminium 1 mm untuk tiap lubang.

Pengambilan Citra

Pengambilan citra menggunakan *Digital Direct Radiography* sesuai skema pada Gambar 2 dengan setelan jarak fokus terhadap image reseptor 100 cm dan luas penyinaran 20 x 20 cm. Pemindaian objek menggunakan faktor eksposi tegangan tabung 50kV, 60kV, dan 70kV; arus filamen 160mA; dan waktu eksposi 5ms.



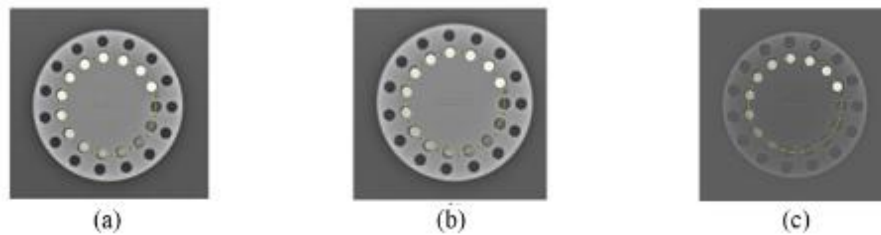
Gambar 2. Skema Sistem DDR: (1) Tabung Sinar-X, (2) Kolimator, (3) *Phantom*/Obyek, (4) Meja Obyek (5) detektor Flat panel (6) Komputer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Observasi Visual

Secara visual, *phantom* tampak jelas karena dapat dibedakan dari latar belakang citra. Area yang tampak gelap merepresentasikan bagian dengan koefisien atenuasi rendah, yang memungkinkan sinar-X untuk diteruskan dengan lebih mudah. Sebaliknya, area terang menunjukkan bagian dengan koefisien atenuasi tinggi, di mana sinar-X lebih banyak diserap oleh objek. Berdasarkan Gambar 3(b) citra radiografi yang diperoleh, eksposi dengan tegangan tabung 60 kV menghasilkan tampilan visual paling optimal dibandingkan dengan 50 kV maupun 70 kV.

Pada Gambar 3(a), citra *phantom* pada eksposi 50 kV menunjukkan bahwa variasi ketebalan aluminium di beberapa area, terutama pada bagian dengan lapisan aluminium tebal, menghasilkan tampilan yang relatif seragam. Fenomena ini terjadi karena energi foton pada 50 kV berada di bawah threshold efektif untuk menembus aluminium dengan ketebalan > 10 mm, sehingga hampir seluruh foton teratenuasi melalui efek fotolistrik yang dominan pada energi rendah (Fosbinder & Orth, 2012). Sementara itu, pada tegangan 70 kV, meskipun batas antara akrilik dan latar belakang masih dapat dikenali, Gambar 3(c) menunjukkan kualitas citra yang dihasilkan lebih rendah pada eksposi 60 kV dan 50 kV. Selain itu, pada bagian lubang dengan variasi ketebalan aluminium yang tipis, kepingan aluminium tidak terdefinisi dengan jelas. Hal ini dikarenakan energi foton pada 70 kV terlalu tinggi untuk material dengan Z rendah seperti aluminium ($Z=13$) sehingga foton teratenuasi melalui mekanisme hamburan Compton (Fosbinder & Orth, 2012).



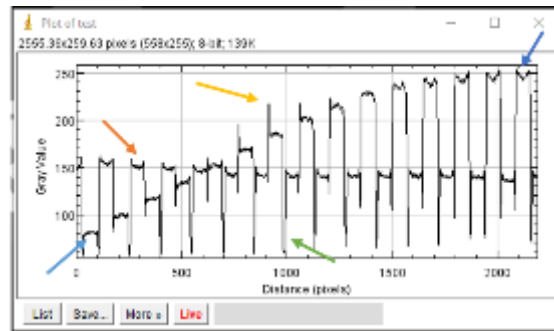
Gambar 3. Citra *phantom* tegangan (a) 50kV (b) 60kV dan (c) 70kV

Analisis Grafik *Grey Value*

Analisis kontras pada citra radiograf dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ dengan metode penarikan garis melingkar melalui setiap lubang yang berisi kepingan aluminium. Dari hasil profil garis tersebut diperoleh data nilai tingkat keabuan (*grey value*; berkisar antara 0 [putih] hingga 255[hitam]) yang merepresentasikan intensitas sinar-X yang ditransmisikan. Pada Gambar 4, grafik hasil pemindaian citra dengan tegangan 60 kV, tampak terdapat 15 puncak dengan ketinggian bertingkat, mencerminkan variasi ketebalan aluminium. Puncak terendah (tingkat keabuan $\approx 80 \pm 5$) mengindikasikan ketebalan aluminium yang tipis, sedangkan puncak tertinggi (tingkat keabuan $\approx 250 \pm 5$) menunjukkan bagian dengan ketebalan aluminium yang lebih besar. Variasi grafik terlihat jelas pada rentang ketebalan 1–13 mm, sementara ketebalan 14–15 mm masih menunjukkan perbedaan meskipun tidak signifikan.

Selain deretan puncak bertingkat, grafik juga menunjukkan puncak dengan tingkat keabuan yang relatif konstan di sekitar nilai 150, yang merepresentasikan bagian badan akrilik. Teramati pula fluktuasi tingkat keabuan yang tajam di tepi puncak aluminium. Tingkat keabuan yang sangat rendah, mendekati nol, mengindikasikan celah antara akrilik dan aluminium, memungkinkan sinar-X untuk melewatinya dengan mudah. Sebaliknya, lonjakan tingkat keabuan yang tinggi

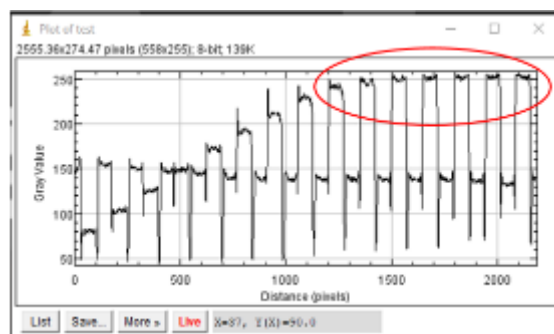
menunjukkan daerah dengan tumpukan aluminium yang rapat, sehingga menghambat penetrasi sinar-X secara signifikan.



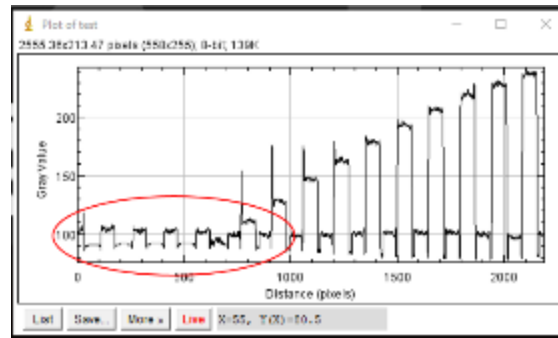
Gambar 4. Profil garis citra radiograf tegangan 60kV

Pada tegangan 50 kV, grafik pada Gambar 5(a) menunjukkan bahwa nilai keabuan untuk aluminium dengan ketebalan 10–15 mm tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi sinar-X pada tegangan tersebut tidak cukup untuk menembus aluminium dengan ketebalan relatif besar, sehingga menghasilkan tingkat keabuan yang cenderung homogen dan tidak mudah dibedakan secara visual.

Sebaliknya Gambar 5(b), pada eksposi 70 kV, grafik untuk variasi ketebalan aluminium 1–6 mm juga tidak menunjukkan perbedaan mencolok. Hal ini terjadi karena energi sinar-X yang tinggi dengan mudah menembus bagian aluminium yang tipis, sehingga kontras antar ketebalan pada citra menjadi kurang terlihat. Fenomena tersebut sesuai dengan hukum atenuasi linier Beer-Lambert ($I = I_0 e^{-\mu x}$) dimana untuk suatu benda dengan nilai koefisien atenuasi tertentu (μ), intensitas foton yang tembus (I) akan dipengaruhi oleh intensitas awal (I_0) dan ketebalan benda (x) (Wang & Wu, 2007).



(a)



(b)

Gambar 5. Profil garis citra radiograf tegangan (a) 50kV dan (b) 70kV

KESIMPULAN

Phantom berbahan akrilik dengan 15 variasi ketebalan aluminium (1–15 mm) telah dikembangkan dengan biaya produksi kurang lebih Rp 800.000, jauh lebih terjangkau dibandingkan dengan *phantom* komersil (> Rp 25 juta), dan terbukti mampu menghasilkan citra radiografi dengan kontras terukur yang sensitif terhadap perubahan parameter eksposi.

Hasil pengujian pada sistem DDR menunjukkan: (1) tegangan tabung 60 kV menghasilkan kontras optimal untuk tiap rentang ketebalan aluminium (rentang tingkat keabuan: 80 - 250); (2) pada tegangan tabung 50 kV, ketebalan aluminium 10-15 mm sulit dibedakan karena rendahnya energi eksposi; dan (3) pada tegangan tabung 70 kV, ketebalan aluminium 1 – 5 mm sulit dibedakan karena over-penetrasi.

Phantom ini layak digunakan untuk alat bantu QC dasar sistem pencitraan sinar-X terutama dalam konteks pendidikan, penelitian, dan evaluasi non-klinis di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk (1) perbandingan kuantitatif dengan *phantom* standar internasional (IEC 61223-3-3), (2) pengujian durabilitas *phantom*, dan (3) pengembangan varian *phantom* untuk sistem lain seperti CT-scan.

REFERENSI

- Akhlaghi, P., Miri Hakimabad, H., & Rafat Motavalli, L. (2015). Determination of tissue equivalent materials of a physical 8-year-old *phantom* for use in computed tomography. *Radiation Physics and Chemistry*, *112*, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.03.030>
- Alves, A. F. F., Miranda, J. R. de A., Bacchim Neto, F. A., Duarte, S. B., & Pina, D. R. de. (2015). Construction of pediatric homogeneous *phantoms* for optimization of chest and skull radiographs. *European Journal of Radiology*, *84*(8), 1579–1585. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.05.015>

- Bor, D., Unal, E., & Uslu, A. (2015). Comparison of different *phantoms* used in digital diagnostic imaging. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 795, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.05.013>
- Bustos Flores, M., Prata Mourão, A., & Chevalier del Rio, M. (2022). Breast *phantom* made of acrylic slabs for tests in mammography DR. *Applied Radiation and Isotopes*, 188, 110389. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110389>
- Danz, J. C., Flück, H. P., Campus, G., & Wolf, T. G. (2023). Computed vs. film-based radiographs' contour artifacts influence diagnosis of secondary caries. *European Journal of Radiology*, 166, 111004. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.111004>
- Fosbinder, R. A. ., & Orth, Denise. (2012). *Essentials of radiologic science*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Gümrükçü, Z., Bayrak, S., & Balaban, E. (2025). Clinical and radiographical evaluation of the effects of two different flap designs in third molar surgery: A single blind randomized clinical trial. *Current Problems in Surgery*, 62, 101675. <https://doi.org/10.1016/j.cpsurg.2024.101675>
- Mehdizadeh, M., Tavakoli, M. B., & Moghaddam, F. G. (2020). Investigating the Effect of Different Metal Sheets on Reducing Radiation Behind Intraoral Digital Phosphor Plates During Intraoral Radiography using Gray Value. *The Open Dentistry Journal*, 14(1), 704–710. <https://doi.org/10.2174/1874210602014010704>
- Mohammed Ali, A., & Al-Murshedi, S. (2023). Low-cost chest paediatric *phantom* for dose optimisation: construction and validation. *Radiologia (English Edition)*, 65(4), 327–337. <https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2022.11.001>
- Mohammed Ali, A., Hogg, P., Johansen, S., & England, A. (2018). Construction and validation of a low cost paediatric pelvis *phantom*. *European Journal of Radiology*, 108, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.09.015>
- Nguyen, V.-H., Tran, N.-L., Vu, P.-T., Le, T.-L., & Pham, N.-H. (2016). Development of digital image processing software for Vikomed X-ray equipment. *2016 International Conference on Biomedical Engineering (BME-HUST)*, 41–44. <https://doi.org/10.1109/BME-HUST.2016.7782099>
- Souza, S. A. S. de, Alves, A. F. F., Mamprim, M. J., & Pina, D. R. (2022). Quality and dose optimization in canine chest radiography using a digital radiography system. *Radiation Physics and Chemistry*, 195, 110085. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110085>
- Sriwahyuni. (2017). PENGARUH TEGANGAN TABUNG (KV) TERHADAP KUALITAS CITRA RADIOGRAFI PESAWAT SINAR-X DIGITAL RADIOGRAPHY (DR) PADA

- PHANTOM ABDOMEN. SPEKTRA: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(2), 113–118.
<https://doi.org/10.21009/SPEKTRA.022.04>
- Velonis, M., Papanastasiou, E., Hatzioannou, K., Siountas, A., Kamperis, E., Papavasileiou, P., Koukourakis, M. I., & Seimenis, I. (2023). Dose optimization of 2D X-ray image acquisition protocols in image-guided radiotherapy. *Physica Medica*, 115, 103161.
<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2023.103161>
- Wang, L. V. ., & Wu, H. . (2007). *Biomedical optics : principles and imaging*. Wiley-Interscience.
- Yalcin, A., & Olgar, T. (2024). Developing a novel *phantom* for image quality evaluation in digital radiography. *Radiation Physics and Chemistry*, 222, 111868.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111868>
- Yen, J.-Y., Hsu, H.-J., Lai, Y.-L., Chou, I.-C., Chen, Y.-C., & Lee, S.-Y. (2024). Efficacy of customized crown-level position jig in measuring peri-implant crestal bone level on periapical radiographs: An in vitro study. *Journal of Dental Sciences*, 19(1), 338–344.
<https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.06.021>