

Komparasi Phantom Berbasis Agar dan Minyak Dalam Pengujian *Vertical Distance* dan *Horizontal Distance* pada Perangkat USG

Imam Tri Harsoyo^{(1,a)*}, Pramesti Kusumaningtyas^(1,b), Mohamad Sofie^(1,c) dan Iqbal Dwiky Septyawan^(1,d)

⁽¹⁾Jurusan Teknik Elektromedik, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang, Semarang, 50222
Email : ^(a*)imamtriharsoyo@stikessemarang.ac.id, ^(b)pramesti@stikessemarang.ac.id,
^(c)msofie.ms@gmail.com, ^(d)iqbaldwiky536@gmail.com

Diterima (05 Juni 2025), Direvisi (22 Desember 2025)

Abstract. *Ultrasound phantom is an important tool in simulation, training, and calibration of ultrasound devices. This study aims to compare the performance of agar and oil-based ultrasound phantoms using vertical distance and horizontal distance parameters. Both types of phantoms are made by embedding test objects in the form of nylon ropes in their respective media. Evaluation is carried out by measuring the vertical and horizontal distances displayed on the ultrasound image, then compared with the actual distance. The results show that the oil phantom produces measurement deviations that are still within acceptable tolerance limits. The oil-based phantom shows more stable and accurate results. Thus, the oil-based phantom is considered superior and more recommended for use in simulation and testing of ultrasound devices.*

Keywords: *USG phantom, vertical distance, horizontal distance, agar-based phantom, oil-based phantom.*

Abstrak. Phantom USG merupakan alat bantu penting dalam simulasi, pelatihan, dan kalibrasi perangkat ultrasonografi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa phantom USG berbasis agar dan minyak dengan menggunakan parameter *vertical distance* dan *horizontal distance*. Kedua jenis phantom dibuat dengan menanamkan objek uji berupa tali nilon di dalam media masing-masing. Evaluasi dilakukan dengan mengukur jarak vertikal dan horizontal yang ditampilkan pada citra USG, kemudian dibandingkan dengan jarak aktual. Hasil menunjukkan bahwa phantom minyak menghasilkan deviasi pengukuran yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Phantom berbasis minyak menunjukkan hasil yang lebih stabil dan akurat. Dengan demikian, phantom berbasis minyak dinilai lebih unggul dan lebih direkomendasikan untuk penggunaan dalam simulasi dan pengujian perangkat USG.

Kata kunci: phantom USG, *vertical distance*, *horizontal distance*, phantom berbasis agar, phantom berbasis minyak.

PENDAHULUAN

Ultrasonografi (USG) merupakan modalitas dalam proses diagnosa. Pemeriksaan USG sering dilakukan oleh tenaga kesehatan karena dalam penggunaannya alat ini aman, non-invasif dan

dapat menghasilkan citra yang realtime[1]. Pemeriksaan USG juga dapat diterapkan secara luas di pelayanan kesehatan seperti digunakan untuk memantau kondisi kehamilan hingga persiapan persalinan, mendeteksi lokasi tumor [2], memantau kondisi organ area thorax [3], [4], memantau

aktivitas neural [5] dan otot [6], dan permasalahan lain yang membutuhkan citra realtime. Citra USG juga harus menerapkan prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable), yakni dengan menjaga paparan energi ultrasonik serendah mungkin tanpa mengurangi kualitas gambar yang diperlukan untuk diagnosis yang akurat[7].

Mengingat kebutuhan terhadap alat USG yang besar maka ketersediaan peralatan dengan kinerja yang baik dan tetap sesuai standar harus terjaga. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia mensyaratkan alat kesehatan harus dikalibrasi secara periodik untuk menjaga performanya tetap baik. Untuk menunjang proses kalibrasi diperlukan sebuah phantom yang dapat mewakili jaringan atau objek. Phantom dapat diklasifikasikan kedalam 2 kategori berdasarkan kegunaannya yaitu phantom yang digunakan untuk proses kalibrasi [8], [9], [10] dan phantom yang digunakan dalam proses pembelajaran sebagai pengganti jaringan [11], [12]. Phantom USG yang digunakan untuk proses kalibrasi menekankan pada jarak dan dimensi objek didalam phantom karena pada proses kalibrasi akan dilihat bagaimana parameter *dead zone*, *axial resolution*, *lateral resolution*, *grey scale*, *horisontal distance* dan *vertical distance*. Sedangkan phantom yang digunakan sebagai media pembelajaran menekankan pada kemiripan phantom dengan kondisi jaringan yang terwakilinya. Idealnya phantom USG harus memiliki sifat akustik (kecepatan suara dan redaman suara) dan sifat optik (penyerapan dan hamburan) yang sama seperti jaringan yang direpresentasikan[13], [14], [15].

Bebepara penelitian dilakukan untuk mencari bahan phantom yang sesuai dan merepresentasikan jaringan dengan baik. Material yang digunakan untuk membuat phantom merupakan material berbahan dasar air dan minyak[16]. Bahan berbasis air seperti agar [17], [18], [19], [20], gelatin

[21] dan bahan protein tahu [22], [23] serta susu [17] memiliki kelebihan mudah ditemukan dipasaran, murah dan mudah dalam pembuatannya, namun bahan ini tidak awet. Bahan ini mengalami dehidrasi jika disimpan di udara terbuka dan membengkak jika disimpan di air. Terdapat juga penelitian dengan bahan dasar protein sutra yang terbukti memiliki umur pakai lebih lama dibanding dengan material berbahan dasar air[24]. Sedangkan untuk material dengan basis minyak digunakan bahan polyvinyl[25], [26] dan karet silicon[27], [28], [29] dengan formula tertentu yang terbukti lebih awet dibanding dengan phantom berbahan dasar air. Phantom yang beredar di pasaran menggunakan material berbahan dasar minyak, namun formula dari phantom tersebut merupakan hak milik produsen. Masing-masing bahan memiliki sifat fisik seperti kecepatan suara, redaman akustik dan modulus young yang mungkin berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan phantom berbasis agar dan phantom berbasis minyak untuk parameter *vertical distance* dan *horizontal distance*. Hal ini dilakukan untuk mencari bahan phantom yang mendekati dengan karakteristik dan sifat jaringan.

LANDASASAN TEORI

Ultrasonography (USG)

USG adalah suatu alat dalam dunia kedokteran yang memanfaatkan gelombang ultrasonik, yaitu gelombang suara yang memiliki frekuensi yang tinggi (250 kHz – 2000 kHz) yang kemudian hasilnya ditampilkan dalam layar monitor. Ultrasonography adalah salah satu dari produk teknologi *Medical imaging* (MI), yaitu suatu teknik yang digunakan untuk mencitrakan bagian dalam organ atau suatu jaringan sel (*tissue*) pada tubuh, tanpa membuat sayatan atau luka (non-invasive). Interaksi antara fenomena fisik tissue dan

diikuti dengan teknik pendeteksian hasil interaksi itu sendiri untuk diproses dan direkonstruksi menjadi suatu citra (*image*), menjadi dasar bekerjanya peralatan MI[30]. Dalam konteks ultrasonografi (USG), image processing memegang peran penting karena citra yang dihasilkan sering kali memiliki kualitas rendah, dipengaruhi oleh noise, artefak, dan resolusi spasial yang terbatas.

Phantom USG

Precision Multi-Purpose Gray Scale Phantom adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkalibrasi USG dengan *setting distance* (jarak) tertentu sebagai titik ukur pada USG. *Phantom* USG digunakan juga untuk menstimulasikan karakteristik jaringan bagian dalam tubuh dengan memberi simulasi jarak pada titik tertentu dan simulasi kecerahan warna[31]. **Gambar 1** merupakan model phantom pabrik yang tersedia di pasaran.



Gambar 1. Ultrasound Phantom (Dokumen Pribadi)

Data Spesifikasi Alat

Nama Alat	: Phantom USG
Merk	: CIRS
Tipe	: 045GS
No. Seri	: D-8655-4

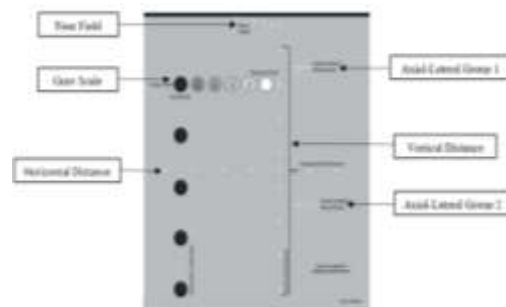
Vertical Distance

Vertical distance ini digunakan untuk berbagai pengukuran yang berbeda. *Vertical distance* menilai kedalaman penetrasi, profil sinar, lebar respon lateral, jarak *vertical* kalibrasi dan fokus zona sistem pencitraan.

Pada diameter ini memiliki jumlah target 8 dengan diameter 100 mikron, kedalaman berkisar 2-16 cm dan jarak *vertical* antar target 20 mm.

Horizontal Distance

Horizontal distance ini digunakan untuk menentukan keakurasian pengukuran, dimana pengukuran dilakukan dengan tegak lurus sumbu sinar. *Horizontal distance* ini menilai kedalaman penetrasi, profil sinar, lebar respon lateral, jarak horizontal kalibrasi dan fokus zona sistem pencitraan. Parameter ini memiliki diameter 100 mikron dengan kedalaman 9 cm, dengan jumlah target 7 dan jarak horizontal antara target 20 mm. **Gambar 2** merupakan tampilan target phantom USG dengan objek yang disusun secara horizontal dan vertikal.



Gambar 2. Tampilan Target (User Manual General Purpose Ultrasound Phantom)

METODE PENELITIAN

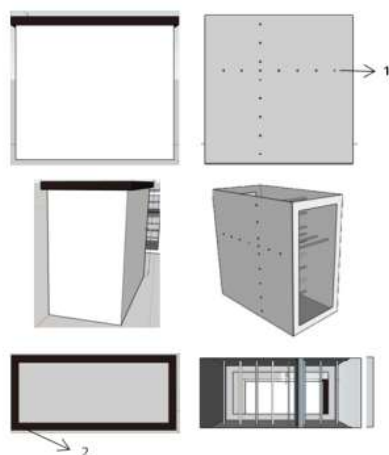
Jenis metode penelitian yang dilakukan yaitu penelitian terapan. Penyusunan riset terapan dilakukan dengan cara menerapkan teori-teori yang sudah didapatkan oleh penulis melalui kedalaman praktek langsung dengan tahapan study lapangan dan analisis data. Penelitian ini dilakukan di laboratorium kampus Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan.

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun prototipe phantom berbasis agar dan minyak yang dilengkapi objek yang disusun horizontal dan vertikal dengan jarak tertentu.

Proses penelitian dimulai dengan studi pustaka dari berbagai sumber seperti jurnal dan website yang berhubungan dengan penelitian. Setelah cukup mendapat referensi dilanjutkan dengan desain alat dan konsep rancangan alat yang akan dibuat. Dari hasil studi literatur diketahui bahwa objek pada phantom merupakan objek dengan nilai densitas yang tinggi seperti nilon sehingga citra dapat terlihat. Kemudian dilakukan pengujian citra dan keakuratan obyek apakah laik atau tidak, setelah dinyatakan bekerja maka dilakukan pengambilan data, apabila tidak maka ulangi perakitan alat dan pemilihan bahan.

Desain Alat

Pembuatan alat phantom USG terdiri dari *box* dan benang nilon monofilament serta bahan *base* yang menghasilkan citra yang cocok sebelum dilakukan uji keakuratan obyek. Desain *casing* terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Desain Alat

Keterangan Desain Alat :

1. Tempat Obyek
2. *Silicon rubber RTV*

Jarak vertikal didefinisikan sebagai jarak sepanjang sumbu bak. Target tali nilon

vertikal digunakan untuk menilai keakuratan pengukuran jarak vertikal sebagai berikut:

1. Oleskan gel ke permukaan pemindaian atau bak berisi bahan *base*.
2. Posisikan transduser pada bidang vertikal. Tali nilon akan tampak seperti titik-titik, bukan garis. Jangan memberikan tekanan berlebihan karena hal ini mungkin bersifat sementara kompres target dan miringkan pengukuran.
3. Sesuaikan pengaturan instrumen (*gain*, *TGC*, *output*, dll) seperti pada “normal” teknik. Catat pengaturan ini untuk digunakan pada pengujian berikutnya.
4. Sejajarkan probe sehingga semua target vertikal ditampilkan secara maksimal tingkat intensitas.
5. Bekukan gambar dan dapatkan salinan cetaknya.
6. Dengan menggunakan jangka sorong elektronik, ukur jarak antara dua kabel dengan cara yang berbeda-beda kedalaman atau sejajarkan gema ke penanda tampilan untuk perbandingan.
7. Catat pengukuran ini.
8. Bandingkan nilai yang diukur dengan jarak dasar yang tercatat.

Kelompok objek horizontal digunakan untuk menentukan keakuratan pengukuran dibuat tegak lurus terhadap sumbu balok. Grup ini memiliki 7 tali nilon yang diposisikan 20 mm terpisah pada kedalaman 9 cm. Prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Isi bak dengan bahan *base*.
2. Posisikan transduser pada bidang vertikal. Tali nilon akan tampak seperti titik-titik, bukan garis.
3. Sesuaikan pengaturan instrumen (*gain*, *TGC*, *output*, dll) seperti pada “normal” teknik. Catat pengaturan ini untuk digunakan pada pengujian berikutnya.

4. Sejajarkan probe sehingga semua target horizontal ditampilkan secara maksimal tingkat intensitas.
5. Bekukan gambar dan dapatkan salinan cetaknya.
6. Dengan menggunakan jangka sorong elektronik, ukur jarak antara dua kabel sepanjang pesawat horisontal.
7. Catat pengukuran ini.
8. Bandingkan nilai terukur dengan jarak yang diketahui antar target.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan menggunakan *ultrasonography* merk Mindray DP-10 milik STIKES Semarang. **Gambar 4** dan **Gambar 5** menunjukkan hasil citra pada masing-masing phantom.



Gambar 4. Citra hasil pemindaian menggunakan phantom berbahan dasar agar



Gambar 5. Citra hasil pemindaian menggunakan phantom berbahan dasar minyak

Hasil pemindaian USG terhadap phantom menunjukkan beberapa perbedaan kualitas citra antara phantom berbasis agar dan phantom berbasis minyak yang tertera

pada **Tabel 1**. Berdasarkan pengamatan terhadap citra hasil pemindaian menggunakan phantom berbasis agar dan minyak terlihat bahwa kualitas citra yang dihasilkan pada phantom berbasis minyak lebih unggul dibanding dengan citra yang dihasilkan phantom berbasis agar. Hasil citra pada phantom berbasis minyak lebih stabil, seragam dan hampir bisa dikatakan bebas gangguan visual. Salah satu aspek yang diperhatikan dalam membandingkan kualitas citra adalah keberadaan noise. Citra dengan tingkat noise yang tinggi cenderung memiliki kualitas visual yang lebih rendah, sehingga memengaruhi kejelasan detail diagnostik. Kualitas gambar dalam pencitraan USG menurun seiring dengan meningkatnya indeks noise, sementara penurunan indeks noise akan menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik[32].

Tabel 1. Perbandingan Kualitas Citra pada phantom berbasis agar dan minyak.

Faktor	Phantom agar	Phantom minyak
Homogenitas	Kurang	Baik
Kontras	Cukup	Baik
Ketajaman Tepi (<i>Edge Sharpness</i>)	Kurang tajam	Tajam
Noise	Lebih banyak	Lebih sedikit
Kestabilan Kedalaman	Sedikit memudar	Stabil
Kualitas Visual Umum	Sedang	Baik

Pengukuran Titik Vertikal

Hasil pengukuran kinerja terhadap parameter *vertical distance* dengan cara mengukur jarak pada standar 20 mm, dimana setiap pengaturan dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali agar dapat menentukan perhitungan ketidakpastian. Pengaturan

standar yang dapat diukur harusnya berjumlah 8 titik dengan diameter 100 mikron, kedalaman berkisar 2-16 cm dan jarak *vertical* antar target 20 mm.

Citra hasil pemindaian pada phantom berbasis minyak untuk pengukuran kinerja pada parameter *vertical distance* yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Pengukuran Titik Vertikal

data sebanyak 3 kali agar dapat menentukan perhitungan ketidakpastian. Pengaturan standar yang dapat diukur harusnya berjumlah 7 yang memiliki diameter 100 mikron dengan kedalaman 9 cm. Citra hasil pemindaian pada phantom berbasis minyak untuk pengukuran kinerja pada parameter *horizontal distance* yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Pengukuran Titik Horizontal

Pengukuran Titik Horisontal

Hasil pengukuran kinerja terhadap parameter *horizontal distance* dengan cara mengukur jarak pada standar 20 mm, dimana setiap pengaturan dilakukan pengambilan

Hasil pengukuran masing-masing titik tertampil pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pengukuran Terhadap Parameter *Vertical Distance* dan *Horizontal Distance*

Parameter vertical distance						Parameter horizontal distance							
Pengaturan Standar			Hasil Pengukuran			Toleransi (mm)	Pengaturan Standar			Hasil Pengukuran			Toleransi (mm)
			1	2	3					1	2	3	
Kedalaman 2-16 mm	1-2	20 mm	20.6	20.7	20.7	5% 19-21	Kedalaman 9 cm	1-2	20 mm	20.7	20.6	20.7	5% 19-21
	2-3	20 mm	20.2	20.3	20.3			2-3	20 mm	20.6	20.6	20.5	
	3-4	20 mm	20.6	20.7	20.6			3-4	20 mm	20.6	20.5	20.6	
	4-5	20 mm	20.6	20.6	20.7			4-5	20 mm	20.2	20.2	20.1	
	5-6	20 mm	20.6	20.6	20.5			5-6	20 mm	20.2	20.3	20.2	
	6-7	20 mm	20.6	20.5	20.5			6-7	20 mm	20.6	20.7	20.6	
	7-8	20 mm	20.6	20.5	20.5								

Hasil pengukuran pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa baik parameter *vertical distance* dan *horizontal distance* tidak melebihi batas toleransi yang ditentukan yaitu $\pm 5\%$. Nilai deviasi dari pengukuran parameter *vertical distance* adalah $13,6\%$ dengan nilai terkecil $20,3\text{mm}$ dan nilai terbesar $20,7\text{mm}$. Sedangkan nilai deviasi dari pengukuran parameter *horizontal distance* sebesar $20,8\%$ dengan nilai terkecil $20,1\text{ mm}$ dan nilai terbesar $20,7\text{ mm}$. Untuk penelitian phantom USG, standar deviasi pengukuran dinilai sangat bagus saat $SD < 1\text{ mm}$, sehingga pengukuran pada phantom berbasis minyak memiliki hasil yang stabil.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membandingkan kinerja phantom ultrasonografi (USG) berbasis agar dan minyak dengan menggunakan parameter *vertical distance* dan *horizontal distance*. Phantom dibuat dengan bahan dasar agar dan minyak, sedangkan objek uji yang ditanamkan dalam phantom berupa tali nilon. Hasil pengujian menunjukkan bahwa phantom berbasis minyak memberikan citra yang lebih stabil dan akurat dibandingkan phantom berbasis agar. Baik pada parameter *vertical distance* maupun *horizontal distance*, nilai pengukuran phantom minyak masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima secara klinis. Phantom berbasis minyak menunjukkan deviasi pengukuran yang kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa phantom jenis ini lebih unggul dalam mendukung simulasi dan kalibrasi perangkat USG. Dengan demikian, phantom berbasis minyak dapat

direkomendasikan sebagai alternatif yang lebih efektif untuk keperluan pelatihan, pengujian, dan kalibrasi alat USG dibandingkan dengan phantom berbasis agar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Eber and C. Villaseñor, "Ultrasound: advantages, disadvantages, and controversies.," *Nurse Pract Forum*, vol. 2, no. 4, pp. 239–242, Dec. 1991.
- [2] H. Li *et al.*, "An improved deep learning approach for detection of thyroid papillary cancer in ultrasound images," *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-25005-7.
- [3] A. Hendin, S. Koenig, and S. J. Millington, "Better With Ultrasound: Thoracic Ultrasound," 2020. doi: 10.1016/j.chest.2020.04.052.
- [4] H. Kalagara *et al.*, "Point-of-Care Ultrasound (POCUS) for the Cardiothoracic Anesthesiologist," 2022. doi: 10.1053/j.jvca.2021.01.018.
- [5] C. Rabut *et al.*, "Ultrasound Technologies for Imaging and Modulating Neural Activity," 2020. doi: 10.1016/j.neuron.2020.09.003.
- [6] J. Wijntjes and N. van Alfen, "Muscle ultrasound: Present state and future opportunities," 2021. doi: 10.1002/mus.27081.
- [7] A. Riswandari Zulhiznaniyah and dan Suharyana, "Analisis Distribusi Dosis Pada Terapi Alpha dengan Teknik Pencil Beam Scanning Pada Tumor Kraniofaringioma Menggunakan Software MCNP6," 2025.

- [8] M. Chatrasingh and J. Suthakorn, "A novel design of N-fiducial phantom for automatic ultrasound calibration," *J Med Phys*, vol. 44, no. 3, 2019, doi: 10.4103/jmp.JMP_92_18.
- [9] W. Lu *et al.*, "Coplanarity Constrained Ultrasound Probe Calibration Based on N-Wire Phantom," *Ultrasound Med Biol*, vol. 49, no. 10, pp. 2316–2324, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2023.05.015.
- [10] C. Wu *et al.*, "Automatic spatial calibration of freehand ultrasound probe with a multilayer N-wire phantom," *Ultrasonics*, vol. 128, p. 106862, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.ULTRAS.2022.106862.
- [11] S. A. Armstrong, R. Jafary, J. S. Forsythe, and S. D. Gregory, "Tissue-Mimicking Materials for Ultrasound-Guided Needle Intervention Phantoms: A Comprehensive Review," 2023. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2022.07.016.
- [12] Y. Wang *et al.*, "Fabrication of SEBS Block Copolymer-Based Ultrasound Phantom Containing Mimic Tumors for Ultrasound-Guided Needle Biopsy Training," *Ultrasound Med Biol*, vol. 48, no. 6, 2022, doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2022.02.020.
- [13] P. Chen *et al.*, "Acoustic characterization of tissue-mimicking materials for ultrasound perfusion imaging research," *Ultrasound Med Biol*, vol. 48, no. 1, 2022, doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2021.09.004.
- [14] C. K. McGarry *et al.*, "Tissue mimicking materials for imaging and therapy phantoms: A review," 2020. doi: 10.1088/1361-6560/abbd17.
- [15] S. Tok and E. Kadioglu, "Ultrasonography in soft-tissue foreign-body detection: A phantom study," *Pol J Radiol*, vol. 86, no. 1, pp. e496–e499, Jan. 2021, doi: 10.5114/pjr.2021.108879.
- [16] M. Fonseca, B. Zeqiri, P. C. Beard, and B. T. Cox, "Characterisation of a phantom for multiwavelength quantitative photoacoustic imaging," *Phys Med Biol*, vol. 61, no. 13, 2016, doi: 10.1088/0031-9155/61/13/4950.
- [17] T. Drakos *et al.*, "Ultrasonic attenuation of an agar, silicon dioxide, and evaporated milk gel phantom," *J Med Ultrasound*, vol. 29, no. 4, 2021, doi: 10.4103/JMU.JMU_145_20.
- [18] M. Earle, G. De Portu, and E. Devos, "Agar ultrasound phantoms for low-cost training without refrigeration," in *African Journal of Emergency Medicine*, 2016. doi: 10.1016/j.afjem.2015.09.003.
- [19] C. F. R. Putri, G. Maslebu, and A. Setiawan, "Analisis Densitas Larutan Berbasis Citra Phantom Agar dalam Kendali Mutu USG," *POSITRON*, vol. 11, no. 1, p. 26, Oct. 2021, doi: 10.26418/positron.v11i1.44404.
- [20] A. Collocola, M. Ortino, and S. Durante, "Quality control in ultrasound: an experiment to assess the obsolescence of ultrasound probes with an agar gel phantom," *Journal of Advanced Health Care*, 2020, doi: 10.36017/jahc2003-011.
- [21] L. M. Maloney, P. A. Seidman, K. M. Zach, N. K. Tewari, M. F. Tito, and C. R. Page, "Use of gelatin puzzle phantoms to teach medical students isolated

- ultrasound transducer movements and fundamental concepts,” *BMC Med Educ*, vol. 20, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s12909-020-1937-8.
- [22] C. Parker and T. Foster, “Realistic tofu-based phantom model for ultrasound-guided femoral nerve blocks,” *Vis J Emerg Med*, vol. 18, 2020, doi: 10.1016/j.visj.2019.100678.
- [23] Y. F. Zhang, H. Li, and X. M. Wang, “Technical report: A cost-effective, easily available tofu model for training residents in ultrasound-guided fine needle thyroid nodule targeting punctures,” *Korean J Radiol*, vol. 20, no. 1, 2019, doi: 10.3348/kjr.2017.0772.
- [24] C. D. Nguyen *et al.*, “Investigation of silk as a phantom material for ultrasound and photoacoustic imaging,” *Photoacoustics*, vol. 28, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.pacs.2022.100416.
- [25] W. Li, B. Belmont, and A. Shih, “Design and Manufacture of Polyvinyl Chloride (PVC) Tissue Mimicking Material for Needle Insertion,” in *Procedia Manufacturing*, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.09.078.
- [26] Y. He *et al.*, “Characterizing mechanical and medical imaging properties of polyvinyl chloride-based tissue-mimicking materials,” *J Appl Clin Med Phys*, vol. 20, no. 7, 2019, doi: 10.1002/acm2.12661.
- [27] S. Fatimah, G. Maslebu, S. Trihandaru, and * Alamat, “Analisis Homogenitas Citra Ultrasonografi Berbasis Silicone Rubber Phantom dengan GLCM,” *Jurnal Fisika*, vol. 8, no. 1, pp. 18–27, 2018.
- [28] V. I. Ratar, S. S. Trihandaru, and G. Maslebu, “Analisis Resolusi Spasial Citra Ultrasonografi (USG) pada Arah Tangensial Radial Citra menggunakan Phantom Berbasis Silicon Rubber,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 16, no. 1, p. 1, Feb. 2020, doi: 10.12962/j24604682.v16i1.4287.
- [29] D. Pangestuti, G. Maslebu, and S. Trihandaru, “Perancangan Pengukuran Akurasi Jarak Menggunakan Phantom Silicone Pada Kontrol Kualitas Ultrasonografi dengan Teknik Komputasi,” *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, vol. 2, no. 1, pp. 36–41, Feb. 2019, doi: 10.24246/juses.v2i1p36-41.
- [30] G. Cloutier, F. Destrempes, F. Yu, and A. Tang, “Quantitative ultrasound imaging of soft biological tissues: a primer for radiologists and medical physicists,” *Insights Imaging*, vol. 12, no. 1, p. 127, 2021, doi: 10.1186/s13244-021-01071-w.
- [31] J. M. Thijssen, G. Weijers, and C. L. de Korte, “Objective Performance Testing and Quality Assurance of Medical Ultrasound Equipment,” *Ultrasound Med Biol*, vol. 33, no. 3, pp. 460–471, Mar. 2007, doi: 10.1016/J.ULTRASMEDBIO.2006.09.006.
- [32] I. Hikmah, S. Indah Purnama, A. Prayugo Hariyanto, and dan Nur Afifah Zen, “Optimasi Dosis dan Kualitas Citra Pesawat CT-Scan pada Mata Menggunakan Shielding untuk Pencitraan CT-Scan Kepala,” 2023.

