



Phantom Agar-Agar sebagai Media Kalibrasi USG Alternatif: Evaluasi Lima Parameter Kualitas Citra

Diah Tiara Ayu Utami^{1*}, Muhamad Sofie², Pramesti Kusumaningtyas³

¹⁻³ Program Studi D-3 Teknik Elektromedis, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: diahtiara.utami@gmail.com

Abstract. Routine ultrasound (USG) calibration is essential for maintaining diagnostic accuracy, yet the high cost of commercial phantoms remains a significant barrier. This study aimed to develop an affordable agar-based USG phantom and evaluate its performance across five image quality parameters: vertical and horizontal distance accuracy, grayscale uniformity, penetration and attenuation, and slice thickness. The phantom was assessed using a Mindray DP-10 system equipped with a 4.5 MHz convex probe. Results demonstrated mean percentage errors of 0.803% for vertical distance and 1.860% for horizontal distance, both within the tolerances prescribed by AAPM TG-128. Grayscale uniformity yielded a mean coefficient of variation of 8.77%, exceeding the 5% threshold, presumably attributable to non-uniform graphite dispersion. Penetration error was recorded at 0.275%, while the attenuation coefficient was measured at 0.6466 dB/cm/MHz, approximating the soft tissue reference value. Slice thickness was determined to be 0.1885 cm. In comparison with a commercial CRIS phantom, the fabricated phantom exhibited superior vertical accuracy and comparable horizontal accuracy. These findings indicate that the agar-based phantom constitutes a viable, low-cost alternative for USG quality assurance, contingent upon optimization of graphite dispersion to enhance grayscale uniformity.

Keywords: Agar-Agar; Grayscale Uniformity; Phantom USG; Quality Control; Ultrasonography

Abstrak. Kalibrasi ultrasonografi (USG) secara rutin merupakan prasyarat untuk menjamin akurasi diagnostik, namun harga phantom komersial yang tinggi menjadi kendala signifikan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan phantom USG berbasis agar-agar yang terjangkau serta mengevaluasi kinerjanya pada lima parameter kualitas citra: akurasi jarak vertikal dan horizontal, homogenitas grayscale, penetrasi dan atenuasi, serta ketebalan slice. Phantom diuji menggunakan sistem Mindray DP-10 dengan probe konveks 4,5 MHz. Hasil menunjukkan rata-rata persentase error sebesar 0,803% untuk jarak vertikal dan 1,860% untuk jarak horizontal, keduanya berada dalam batas toleransi AAPM TG-128. Homogenitas grayscale menghasilkan koefisien variasi rata-rata 8,77%, melampaui ambang 5%, yang diduga disebabkan oleh distribusi grafit yang tidak merata. Error penetrasi tercatat sebesar 0,275%, sedangkan koefisien atenuasi terukur 0,6466 dB/cm/MHz, mendekati nilai referensi jaringan lunak. Ketebalan slice ditentukan sebesar 0,1885 cm. Dibandingkan dengan phantom komersial CRIS, phantom yang difabrikasi menunjukkan akurasi vertikal yang lebih unggul serta akurasi horizontal yang sebanding. Temuan ini mengindikasikan bahwa phantom berbasis agar-agar merupakan alternatif yang layak dan ekonomis untuk quality assurance USG, dengan catatan diperlukan optimalisasi dispersi grafit guna meningkatkan homogenitas grayscale.

Kata kunci: Agar-Agar; Homogenitas Grayscale; Kendali Mutu; Phantom USG; Ultrasonografi.

1. LATAR BELAKANG

Ultrasonografi (USG) merupakan modalitas pencitraan medis yang bersifat aman, non-invasif, dan mampu menghasilkan citra secara *real-time*, sehingga menjadi salah satu teknologi diagnostik yang paling banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi klinis, terutama pada pemeriksaan antenatal care (ANC) untuk mendeteksi kelainan janin dan risiko komplikasi persalinan secara dini. Sejalan dengan hal tersebut, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia berkomitmen meningkatkan akses layanan kesehatan ibu dan anak dengan menargetkan ketersediaan perangkat USG di seluruh 10.321 puskesmas pada tahun 2024, di mana hingga akhir tahun 2022 sebanyak 6.886 puskesmas (66,7%) telah memiliki perangkat

Naskah Masuk: 18 Mei 2026; Revisi: 19 Juni 2026; Diterima: 09 Juli 2026; Tersedia: 17 Juli 2026

USG (Kementerian Kesehatan RI, 2023). Meningkatnya jumlah perangkat USG yang beroperasi, secara langsung menuntut sistem kalibrasi yang terstruktur agar akurasi diagnostik tetap terjaga, mengingat performa alat dapat menurun seiring waktu pemakaian (Songsaeng et al., 2024). Tanpa kalibrasi rutin, perangkat berisiko menghasilkan citra tidak akurat yang dapat membahayakan keselamatan pasien, sebagaimana diamanatkan dalam Permenkes No. 54 Tahun 2015.

Kalibrasi perangkat USG memerlukan phantom sebagai media uji yang dirancang untuk mensimulasikan karakteristik fisik dan akustik jaringan lunak manusia. Meskipun phantom komersial telah tersedia, harganya yang tinggi menjadi kendala utama bagi puskesmas, terutama dengan anggaran terbatas, sehingga mendorong pengembangan phantom mandiri berbahan ekonomis (Jawli et al., 2024; Oglat et al., 2018). Salah satu bahan yang paling banyak digunakan sebagai *tissue-mimicking material* (TMM) adalah agar-agar. Keunggulan agar-agar terletak pada biaya rendah, kemudahan fabrikasi serta kemampuan mentransmisikan gelombang ultrasonik dengan kecepatan rambat suara berkisar 1.490–1.540 m/s yang mendekati jaringan lunak manusia (Putri et al., 2021; Fakhira & Widita, 2025). Fakhira dan Widita (2025) membuktikan bahwa phantom berbasis agar mampu menghasilkan citra memadai untuk pengujian resolusi spasial. Namun, agar-agar rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme dan dehidrasi yang mengurangi stabilitas jangka panjang phantom (Cabrelli et al., 2016; Pye et al., 2017).

Sebagai upaya mengatasi keterbatasan bahan berbasis air, berbagai penelitian telah mengembangkan phantom berbasis minyak sebagai alternatif. Keunggulan material berbasis minyak terletak pada stabilitasnya yang baik dalam jangka Panjang dan tingkat *noise* lebih rendah. phantom berbasis minyak menghasilkan citra yang jernih dengan tingkat *noise* lebih rendah serta kesalahan pengukuran kedalaman lebih kecil dibandingkan phantom berbasis air. Dan homogenitas *grayscale* dan ketajaman tepi objek lebih baik dibandingkan phantom agar, dengan nilai standar deviasi *grayscale* yang rendah (Qonitin et al., 2025; Yuristika et al., 2025). Selain itu, material berbasis polimer sintesis seperti *polyvinyl alcohol* (PVA) dibuat melalui proses *freeze-thaw* berulang serta gel kopolimer SEBS berbasis minyak memiliki stabilitas mekanik dan akustik jangka panjang lebih baik (Bracq et al., 2022; Cabrelli et al., 2016). Namun, kelemahan utama material keduanya adalah proses pembuatannya lebih kompleks dan biaya tinggi sehingga kurang praktis untuk fasilitas kesehatan primer dengan sumber daya terbatas.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan kalibrator USG berbasis phantom agar-agar yang dimodifikasi dengan *graphite powder* dan natrium azide, dilengkapi target kawat nilon dan plat akrilik 26°, untuk mengevaluasi lima parameter kualitas citra USG (akurasi jarak vertikal, horizontal, *grayscale uniformity*, penetrasi, atenuasi, dan ketebalan *slice*) sebagai solusi kalibrasi yang ekonomis dan aplikatif bagi fasilitas kesehatan primer.

2. KAJIAN TEORITIS

Ultrasonografi (USG) merupakan modalitas pencitraan diagnostik yang memanfaatkan gelombang suara berfrekuensi tinggi untuk menghasilkan gambaran struktur organ dalam tubuh secara *real-time*. Prinsip kerjanya melibatkan transduser berbasis efek piezoelektrik yang mengubah energi listrik menjadi gelombang ultrasonik, kemudian menerima gelombang pantul dari jaringan yang memiliki perbedaan impedansi akustik untuk selanjutnya diolah menjadi citra diagnostik dalam skala keabuan. Kualitas citra yang dihasilkan dipengaruhi oleh *Time Gain Compensation* (TGC), kemampuan kompensasi pelemahan sinyal dikedalaman tertentu, serta pemilihan frekuensi transduser yang sesuai, di mana frekuensi rendah digunakan untuk penetrasi lebih dalam dan frekuensi tinggi untuk resolusi lebih baik pada jaringan dangkal. Pemeliharaan dan pengujian performa alat secara berkala diperlukan guna menjaga validitas diagnostik dan keselamatan pasien (Hoskins et al., 2019; Gaitini et al., 2023).

Phantom USG dirancang untuk mensimulasikan karakteristik fisik dan akustik jaringan lunak manusia, sehingga memungkinkan evaluasi performa alat secara objektif dan dapat diulang. Phantom yang memadai harus mengandung *tissue-mimicking material* yang menyerupai jaringan tubuh, dilengkapi target buatan seperti kawat nilon dan plat akrilik (Jawli et al., 2024; Oglat et al., 2018). Kawat nilon digunakan untuk pengujian akurasi jarak vertikal dan horizontal karena impedansi akustiknya yang berbeda signifikan dari medium menghasilkan pantulan kuat dan diameter seragam yang presisi sebagai titik referensi (Oglat et al., 2018). Septyawan (2026) menegaskan bahwa penempatan kawat nilon secara presisi sangat memengaruhi akurasi pengukuran jarak agar nilai *error* tetap dalam batas toleransi. Plat akrilik bersudut digunakan sebagai reflector pengujian ketebalan *slice* dan penetrasi kedalaman, karena perbedaan impedansi akustik yang besar dengan medium agar menghasilkan pantulan kuat dan terdeteksi jelas pada citra (Jackson & Russell, 2019; Oglat et al., 2018).

Agar-agar telah banyak dikaji sebagai bahan dasar *tissue-mimicking material* karena memiliki kecepatan rambat suara yang mendekati jaringan lunak manusia, mudah dibuat, dan berbiaya rendah. serta terbukti mampu menghasilkan citra memadai untuk pengujian resolusi spasial (Fakhira & Widita, 2025). Namun, agar rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme dan dehidrasi yang mengurangi stabilitas temporal phantom (Gaitini et al., 2023; Cabrelli et al., 2016). Untuk mengatasinya, ditambahkan *graphite powder* (0,5–3%) sebagai *scatterer* dan natrium azide (0,1–0,5%) sebagai pengawet tanpa mengubah karakteristik akustik medium secara signifikan (Bracq et al., 2022; Jawli et al., 2024).

Parameter kualitas citra dievaluasi meliputi akurasi jarak vertikal dan horizontal, *grayscale uniformity*, penetrasi, atenuasi, dan ketebalan *slice*. Akurasi jarak dinilai dari ketepatan kaliper elektronik terhadap posisi fisik kawat nilon, sedangkan *grayscale uniformity* dievaluasi melalui keseragaman intensitas piksel pada beberapa ROI, di mana ketidakseragaman dapat mengindikasikan kerusakan elemen transduser. Penetrasi dan atenuasi menggambarkan kemampuan dan pelemahan sinyal seiring kedalaman, sementara ketebalan *slice* diukur menggunakan metode *inclined plane* dengan plat akrilik bersudut 26° (Oglat et al., 2018; Jawli et al., 2024; Yuristika et al., 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan rancang bangun. Phantom USG difabrikasi secara mandiri menggunakan agar-agar (140 gram) dan *graphite powder* (40 gram) yang dilarutkan dalam 2700 ml air suling, dipilih karena mudah diperoleh, ekonomis, dan mampu mensimulasikan karakteristik akustik jaringan lunak (Bitarafan-Rajabi et al., 2014; Yuristika et al., 2025). Target uji terdiri dari kawat nilon yang diposisikan vertikal dan horizontal untuk pengujian akurasi jarak, serta plat akrilik bersudut 26° di dasar phantom untuk pengujian penetrasi, dan ketebalan *slice*.



Gambar 1. Desain phantom

Pengujian dilakukan menggunakan pesawat USG Mindray DP-10 di laboratorium STIKES Semarang. Sebelum pengambilan data, pesawat USG dikondisikan dalam pengaturan standar tanpa melakukan perubahan pada parameter mesin seperti *gain*, *depth*, maupun TGC guna memastikan konsistensi hasil pencitraan (Goodsitt et al., 1998).

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan phantom USG menggunakan sistem ultrasonografi. Parameter yang diuji meliputi akurasi jarak vertikal dan horizontal, grayscale uniformity, penetrasi dan atenuasi, serta ketebalan slice. Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara. Pertama, pengukuran jarak antar target dan lebar bayangan plat akrilik dilakukan menggunakan fitur kaliper pada mesin USG Mindray DP-10. Kedua, analisis nilai *Mean Gray Value* pada citra B-mode dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ dengan menyeleksi *Region of Interest* (ROI) pada area yang ditentukan (Harris-Love et al., 2016; Cinta & Lasiyah, 2026).

Akurasi jarak vertikal dan horizontal diukur dengan membandingkan jarak antar target pada citra USG (fitur kaliper) terhadap jarak aktual pada phantom, mengacu pada AAPM Task Group 128 dengan toleransi error $\leq 2\%$ untuk jarak aksial dan $\leq 3\%$ untuk jarak lateral (Pfeiffer et al., 2008; AAPM, 2020; Nguyen et al., 2014). Nilai error dihitung menggunakan rumus:

$$\text{error}\% = \frac{\text{nilai ukur} - \text{nilai referensi}}{\text{nilai referensi}} \times 100\%$$

Keterangan:

error% = persentase kesalahan pengukuran

nilai ukur = jarak antar objek yang terukur pada citra USG dengan fitur kaliper

nilai referensi = jarak antar objek yang telah ditentukan dengan desain phantom

Grayscale uniformity diuji dengan menganalisis distribusi nilai piksel pada tiga ROI sejajar di area citra phantom menggunakan ImageJ, dengan koefisien variasi (CV%) sebagai indikator tingkat keseragaman, mengacu pada metode evaluasi *mean gray value* dan fluktuasi statistik nilai piksel (Patent US5689443, 1997; Armstrong et al., 2022). CV% dihitung dengan rumus:

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%$$

Keterangan:

CV% = koefisien variasi yang menunjukkan tingkat keseragaman citra

σ (*sigma*) = standar deviasi nilai piksel pada ROI yang diuji

Xbar = nilai rata-rata intensitas piksel pada ROI yang diuji

Penetrasi diuji dengan mengukur kedalaman maksimum plat akrilik yang masih terdeteksi pada citra USG, dengan toleransi perubahan ≤ 1 cm dari *baseline* menurut AAPM TG-128 (Pfeiffer et al., 2008). Atenuasi diukur dengan membandingkan intensitas piksel (*mean*) pada kedalaman berbeda menggunakan ImageJ, dengan nilai standar koefisien atenuasi jaringan lunak sekitar 0,5 dB/cm/MHz (Bitarafan-Rajabi et al., 2014; Oglat, 2022). Koefisien atenuasi dihitung dengan rumus:

$$\alpha = \frac{\Delta dB}{2d}$$

Keterangan:

α (*alpha*) = koefisien atenuasi (dB/cm)

ΔdB = perubahan intensitas sinyal dalam satuan desibel (dB)

d = jarak antara dua titik pengukuran (cm)

Untuk mencari mendapatkan nilai ΔdB dihitung menggunakan rumus:

$$\Delta dB = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{mean_1}{mean_2} \right)$$

Keterangan:

ΔdB = perubahan intensitas sinyal dalam satuan desibel (dB)

$mean_1$ = nilai intensitas piksel rata-rata pada kedalaman yang lebih dalam

$mean_2$ = nilai intensitas piksel rata-rata pada kedalaman yang lebih dangkal

Ketebalan *slice* diuji dengan menempatkan plat akrilik miring 26° di dalam phantom, kemudian lebar bayangan plat akrilik pada citra USG diukur menggunakan fitur kaliper, mengacu pada metode Jackson dan Russell (2019) di mana lebar bayangan bidang miring merepresentasikan ketebalan *slice* pada kedalaman tertentu. Ketebalan *slice* dihitung dengan rumus:

$$sw = L \times \sin \theta$$

Keterangan:

sw (*slice width*) = ketebalan slice atau resolusi elevasi (cm)

L = lebar bayangan plat akrilik yang terukur pada citra USG (cm)

θ (*theta*) = sudut kemiringan plat akrilik terhadap bidang horizontal (derajat)

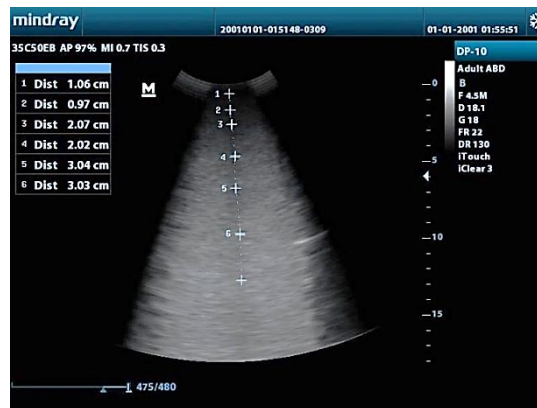
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merancang dan menguji performa kalibrator USG berbasis phantom agar-agar dan *graphite powder* sebagai *tissue-mimicking material*, dengan target uji berupa tali nilon dan plat akrilik. Pengujian dilakukan menggunakan perangkat Mindray DP-10 dengan probe konveks, meliputi enam parameter kualitas citra: akurasi jarak vertikal dan horizontal, keseragaman *grayscale*, penetrasi, atenuasi, dan ketebalan *slice*, guna menilai kelayakan kalibrator sebagai media uji alternatif.

Hasil Pengukuran

Akurasi Jarak Vertikal

Pengujian akurasi jarak vertikal dilakukan dengan mengukur jarak antar tujuh objek nilon yang disusun secara vertikal pada kedalaman tertentu di dalam phantom.



Gambar 2. Pengukuran akurasi jarak vertikal

Tabel 1. Hasil pengukuran akurasi jarak vertikal dengan jarak rancang 1,2,3 cm

Titik setting	Hasil Pengukuran (cm)			Rata-Rata (cm)	Jarak Rancang (cm)	Nilai Error (%)
	1	2	3			
Objek 1-2	1.06	0.95	1.01	1.007	1	0.7
Objek 2-3	0.97	1.11	0.91	0.997	1	0.3
Objek 3-4	2.07	1.87	2.03	1.99	2	0.5
Objek 4-5	2.02	2.06	1.96	2.013	2	0.65
Objek 5-6	3.04	3.11	3.03	3.06	3	2
Objek 6-7	3.03	3.01	3.02	3.02	3	0.67

Berdasarkan Tabel 1, nilai error jarak vertikal antara 0,3% hingga 2%, Dengan keseluruhan nilai error adalah 0,803%. Seluruh nilai error berada di bawah batas toleransi yang ditetapkan oleh AAPM Task Group 128 yaitu $\leq 2\%$ untuk akurasi pengukuran jarak vertikal (Pfeiffer et al., 2008; AAPM, 2020), sehingga phantom dinyatakan baik dalam pengujian akurasi jarak vertikal.

Akurasi Jarak Horizontal

Pengujian akurasi jarak horizontal dilakukan dengan mengukur jarak antar lima objek nilon yang disusun secara horizontal di dalam phantom.



Gambar 3. Pengukuran akurasi jarak horizontal

Table 2. hasil pengukuran akurasi jarak horizontal dengan jarak rentang 1,5 cm

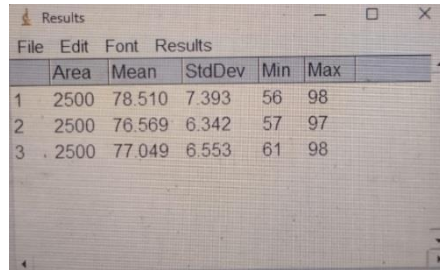
Titik setting	Hasil Pengukuran (cm)			Rata-Rata (cm)	Nilai Error (%)
	1	2	3		
Objek 1-2	1.5	1.52	1.5	1.507	0.47
Objek 2-3	1.53	1.52	1.53	1.527	1.8
Objek 3-4	1.49	1.6	1.52	1.54	2.7
Objek 4-5	1.56	1.52	1.53	1.537	2.47

Berdasarkan Tabel 2, nilai error jarak horizontal antara 0,47% hingga 2,7%, Dengan rata-rata keseluruhan error adalah 1,86%. Seluruh nilai error ini berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan oleh AAPM TG-128 yaitu tidak melebihi 3% untuk pengukuran jarak horizontal (Pfeiffer et al., 2008). sehingga phantom dinyatakan baik dalam pengujian akurasi jarak vertikal.

Grayscale Uniformity



Gambar 4. ROI pada citra usg di aplikasi imagej



	Area	Mean	StdDev	Min	Max
1	2500	78.510	7.393	56	98
2	2500	76.569	6.342	57	97
3	2500	77.049	6.553	61	98

Gambar 5. hasil nilai piksel di ROI**Tabel 3.** Hasil pengukuran grayscale uniformity

bagian	Hasil Pengukuran (cm)			CV%
	Mean	StdDev	Rata-rata mean	
ROI 1	78.51	7.393	77.376	9.55
ROI 2	76.569	6.342		8.31
ROI 3	77.049	6.553		8.45

Pengujian grayscale uniformity dilakukan dengan menganalisis nilai piksel (mean) pada tiga ROI yang dipilih secara sejajar di area citra phantom menggunakan perangkat lunak ImageJ. Dengan mengukur nilai CV%:

ROI 1

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% = \frac{7.393}{77.376} \times 100\% = 9.55\%$$

ROI 2

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% = \frac{6.432}{77.376} \times 100\% = 8.31\%$$

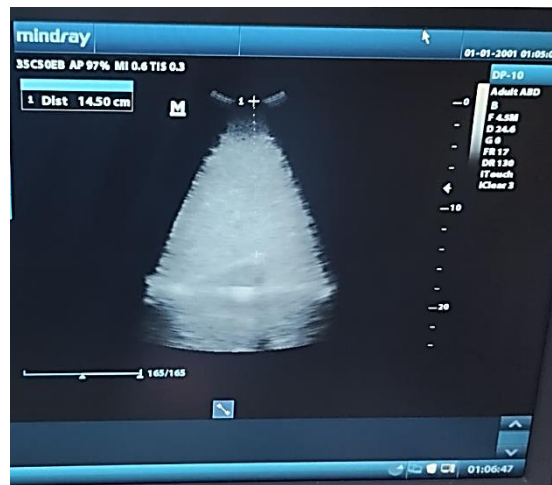
ROI 3

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% = \frac{6.553}{77.376} \times 100\% = 8.45\%$$

Nilai koefisien variasi (CV%) pada ketiga ROI masing-masing sebesar 9,55%, 8,31%, dan 8,46%. Dengan nilai keseluruhan CV sebanyak 8,77% Nilai CV% yang cukup tinggi untuk keseragaman citra, sehingga keseragaman citra phantom dinyatakan kurang seragam.

Penetrasi dan Atenuasi

a. Penetrasi



Gambar 6. Pengukuran kedalaman penetrasi

Tabel 4. Hasil pengukuran kedalaman penetrasi dengan nilai referensi 14,5cm

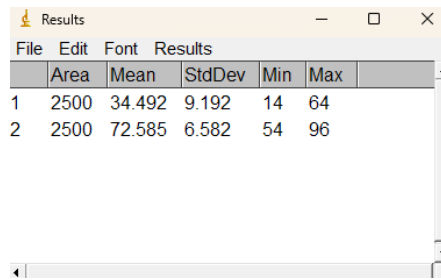
Objek	Hasil Pengukuran (cm)			Rata-Rata (cm)	Nilai Error (%)
	1	2	3		
1	14.5	14.59	14.53	14.54	0.275

Pengujian penetrasi dilakukan dengan mengukur kedalaman maksimum plat akrilik yang masih terdeteksi pada citra USG. Hasil pengukuran menunjukkan kedalaman rata-rata 14,540 cm dengan nilai error sebesar 0,275% terhadap jarak rancang 14,5 cm. Nilai error ini berada jauh di bawah batas toleransi dan nilai kurang dari 1cm , sehingga phantom dinyatakan baik dalam pengujian parameter penetrasi.

b. Atenuasi



Gambar 7. ROI pada aplikasi imagej



	Area	Mean	StdDev	Min	Max
1	2500	34.492	9.192	14	64
2	2500	72.585	6.582	54	96

Gambar 8. Hasil nilai piksel pada ROI

Pengujian atenuasi dilakukan dengan membandingkan intensitas piksel pada kedalaman berbeda. Hasil analisis dengan ImageJ mendapatkan nilai mean kedalaman dangkal dan dalam sebesar 72.585 dan 34.492. dengan jarak kedalaman antara kedua ROI adalah 5cm. Perhitungan koefisien atenuasi sebagai berikut:

$$\Delta dB = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{mean1}}{\text{mean2}} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{34.492}{72.585} \right)$$

$$= 20 \cdot (-0.3233) = -6.466$$

Pada perhitungan diatas nilai yang di dapat dari ΔdB adalah -6.466

$$a = \frac{\Delta dB}{2d} = \frac{-6.466}{2 \times 5} = \frac{-6.466}{10}$$

$$= -0.6466$$

Nilai koefisien atenuasi yang diperoleh sebesar 0,6466 dB/cm/MHz mendekati nilai standar jaringan lunak yaitu 0,5 dB/cm/MHz, sehingga phantom menunjukkan karakteristik akustik yang cukup representatif sebagai tissue-mimicking material. Hasil ini mendukung pernyataan Putri et al. (2021) bahwa agar-agar memiliki karakteristik akustik yang mendekati jaringan lunak manusia.

Ketebalan slice



Gambar 9. Pengukuran lebar bayangan plat akrilik yang terukur pada citra USG

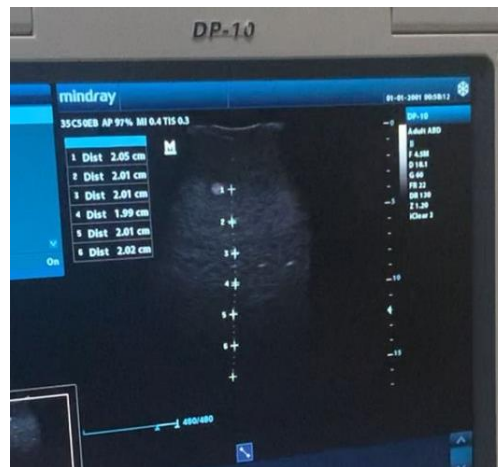
Pengujian ketebalan slice dilakukan dengan menempatkan plat akrilik miring 26 derajat di dalam phantom. Lebar bayangan plat akrilik yang tampak pada citra USG diukur menggunakan fitur kaliper dan menunjukkan nilai 0,43 cm. Perhitungan ketebalan slice menghasilkan:

$$sw = L \times \sin \theta = 0,43 \times \sin 26^\circ \\ = 0,1885$$

Nilai ketebalan slice sebesar 0,1885 cm menunjukkan bahwa phantom mampu menguji parameter ketebalan slice dari sistem USG yang digunakan. Parameter ini penting untuk mengevaluasi kemampuan perangkat dalam menghasilkan citra irisan tipis yang akurat.

Hasil Perbandingan

Hasil perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran dari lima parameter diatas yaitu akurasi jarak vertikal dan horizontal, grayscale uniformity, penetrasi, atenuasi dan ketebalan slice terhadap hasil perbandingan dari phantom komersial dan standar pada setiap parameter. Dimana kita akan menggunakan phantom CRIS sebagai phantom pembanding dengan hasil menunjukan perbandingan parameter akurasi vertikal dan horizontal seperti pada tabel 5 dan 6

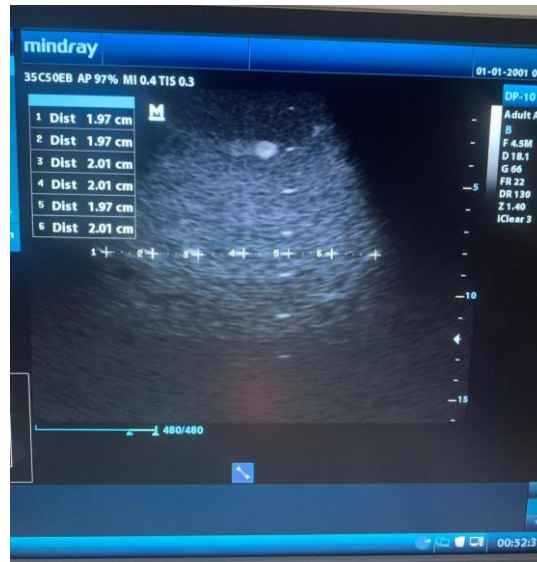


Gambar 10. Hasil pengukuran akurasi jarak vertikal dengan phantom komersial

Tabel 5. Hasil perbandingan akurasi jarak vertikal

	hasil pengukuran		hasil perbandingan	
	hasil ukur	error%	hasil ukur	error%
objek 1-2	1.007	0.7	2.05	2.5
objek 2-3	0.997	0.3	2.01	0.5
objek 3-4	1.99	0.5	2.01	0.5
objek 4-5	2.013	0.65	1.99	0.5
objek 5-6	3.06	2	2.01	0.5
objek 6-7	3.02	0.67	2.02	1
nilai error keseluruhan%	0.803		0.917	

Hasil pengujian akurasi jarak vertikal pada phantom menunjukkan rata-rata error sebesar 0,803%, sedangkan phantom komersial CRIS diperoleh rata-rata error sebesar 0,917%, dengan selisih hanya 0,114%. Kedua nilai error ini berada jauh di bawah batas toleransi 5% dan juga memenuhi standar AAPM yang lebih ketat $\leq 2\%$.



Gambar 11. Hasil akurasi jarak horizontal dengan phantom komersial

Tabel 6. Hasil perbandingan akurasi jarak horizontal

	hasil pengukuran		hasil perbandingan	
	hasil ukur	error%	hasil ukur	error%
objek 1-2	1.507	0.47	1.97	1.5
objek 2-3	1.527	1.8	1.97	1.5
objek 3-4	1.54	2.7	2.01	0.5
objek 4-5	1.537	2.47	2.01	0.5
objek 5-6	-	-	1.97	1.5
objek 6-7	-	-	2.01	0,5
nilai error keseluruhan %	1.860		1.100	

Hasil pengujian akurasi jarak horizontal pada phantom buatan menunjukkan rata-rata error sebesar 1,860%, sedangkan pada phantom komersial diperoleh rata-rata error sebesar 1,100%, dengan selisih 0,760%. Kedua nilai error juga memenuhi standar AAPM yang menetapkan toleransi $\leq 3\%$ untuk akurasi jarak horizontal.

Untuk mengetahui kelayakan phantom yang dirancang, hasil pengujian dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh (AAPM) Task Group 128 dan penelitian lainnya. serta spesifikasi phantom komersial CRIS Model 045. Perbandingan ini bertujuan untuk memastikan bahwa phantom berbasis agar-agar yang dibuat memenuhi kriteria standar yang berlaku. Hasil perbandingan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan hasil setiap parameter dengan hasil banding dan standar

no	parameter	hasil pengukuran	hasil perbandingan	standar/acuan
1	Akurasi jarak vertikal	Nilai error: 0,803%	Nilai error: 0,917%	AAPM TG-128: Error $\leq 2\%$
2	akurasi jarak horizontal	Nilai error: 1,86%	Nilai error: 1,100%	AAPM TG-128: Error $\leq 3\%$
3	Grayscale uniformity	Nilai error: 8,77%	-	$\leq 5\%$ (Yuristika et al., 2025) / Perubahan $\leq 10\%$ dari baseline (Pfeiffer et al., 2008)
4	penetrasi	Nilai error: 0,275%	-	AAPM TG-128: Perubahan ≤ 1 cm dari baseline
5	atenuasi	0,6466	-	0,5 dB/cm/MHz (Bitarafan-Rajabi et al., 2014)
6	ketebalan slice	0,1885	-	semakin kecil semakin baik (jackson & rusell, 2019)

Hasil perbandingan diatas menunjukkan bahwa lima dari enam parameter memenuhi standar. Akurasi jarak vertikal dan horizontal dengan error sebesar 0,803% dan 1,86%, keduanya di bawah batas toleransi $\leq 2\%$ dan $\leq 3\%$, dengan selisih hasil perbandingan yang kemungkinan disebabkan oleh posisi probe dan ketegangan kawat nilon. Penetrasi kedalaman dengan error 0,275%, jauh di bawah batas ≤ 1 cm dari *baseline*, menunjukkan bahwa phantom mampu menghantarkan gelombang ultrasonik secara optimal. Koefisien atenuasi sebesar 0,6466 dB/cm/MHz sedikit tinggi dari acuan jaringan lunak 0,5 dB/cm/MHz (Bitarafan-Rajabi et al., 2014), namun masih dalam rentang normal 0,3–1,0 dB/cm/MHz sehingga dapat diterima. Ketebalan *slice* sebesar 0,1885 cm mengindikasikan resolusi elevasi yang memadai sesuai prinsip bahwa nilai lebih kecil menunjukkan kualitas lebih baik (Jackson & Russell, 2019). Pada parameter yang melampaui standar adalah *grayscale uniformity* dengan CV 8,77% melebihi $\leq 5\%$, meski masih dalam toleransi perubahan $\leq 10\%$ dari *baseline* (Pfeiffer et al., 2008).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Kalibrator USG berhasil difabrikasi menggunakan bahan yang relatif murah dan mudah diperoleh, yaitu agar-agar dan *graphite powder*. Kalibrator yang dirancang mampu menguji enam parameter kualitas citra USG, di mana lima parameter memenuhi standar AAPM: akurasi jarak vertikal dengan rata-rata error 0,803% (toleransi $\leq 2\%$), akurasi jarak horizontal dengan error 1,860% (toleransi $\leq 3\%$), penetrasi dengan error 0,275% yang menunjukkan akurasi sangat baik, koefisien atenuasi sebesar 0,6466 dB/cm/ MHz yang mendekati nilai standar jaringan lunak 0,5 dB/cm/MHz, serta ketebalan *slice* sebesar 0,1885 cm yang berada dalam rentang normal

USG diagnostik. Namun, parameter *grayscale uniformity* menunjukkan koefisien variasi rata-rata sebesar 8,77% yang belum memenuhi batas toleransi 5%, meskipun berada di bawah batas 10% dari *baseline* sesuai AAPM TG-128. Berdasarkan uji perbandingan dengan phantom komersial CIRS Model 045, phantom buatan menunjukkan performa yang kompetitif dan setara pada parameter akurasi jarak, dengan error vertikal yang lebih rendah (0,803% vs 0,917%) serta error horizontal yang mendekati performa CIRS (1,860% vs 1,100%). Dengan demikian, phantom berbasis agar-agar yang dirancang berpotensi menjadi alternatif yang ekonomis dan efektif untuk kalibrasi perangkat USG, terutama bagi institusi dengan keterbatasan anggaran untuk membeli phantom komersial yang relatif mahal.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lanjutan., Proses pencampuran *graphite powder* saat fabrikasi phantom dilakukan lebih merata, misalnya dengan alat pengaduk mekanis, untuk meningkatkan homogenitas distribusi partikel sehingga nilai keseragaman *grayscale* dapat memenuhi batas toleransi. Penelitian lanjutan disarankan mengkaji variasi konsentrasi pada bahan. agar koefisien atenuasi lebih mendekati nilai standar jaringan lunak, serta menambahkan pengujian untuk parameter lain agar pengujian lebih komprehensif. Penggunaan bahan pengawet yang lebih efektif juga perlu dipertimbangkan untuk memperpanjang masa simpan phantom dan menjaga stabilitas akustiknya dalam jangka panjang. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan berupa belum dilakukannya pengujian stabilitas jangka panjang dan daya tahan phantom terhadap perubahan suhu, sehingga penelitian lanjutan perlu mempertimbangkan aspek tersebut. Selain itu, diperlukan uji banding langsung dengan phantom komersial menggunakan perangkat USG yang sama dan kondisi pengujian yang terkontrol untuk memvalidasi kinerja phantom berbasis agar-agar ini secara lebih komprehensif sebagai alternatif yang ekonomis namun tetap andal.

DAFTAR REFERENSI

- Armstrong, S. A., et al. (2022). Tissue-mimicking materials for ultrasound-guided needle intervention phantoms: A comprehensive review. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(1), 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.07.016>
- Bitarafan-Rajabi, A., Takavar, A., Ghiasi, H. R., Alibabaei, N., Riyahi, N., Alam, A. R., Fard-Esfahani, A., Sohrabi, M., & Bitarafan-Rajabi, A. (2014). Assessment of attenuation coefficient in tissue-mimicking phantoms. *Journal of Medical Physics*, 39(3), 165–172.
- Bracq, A., Dap, F., & Dautel, G. (2022). Fabrication of SEBS block copolymer-based ultrasound phantom containing mimic tumors for ultrasound-guided needle biopsy training. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 48(6), 985–994. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.00085>

- Cabrelli, L. C., Pelissari, P. I. B., & Carneiro, A. A. O. (2016). Stability study of polyvinyl alcohol cryogel for tissue-mimicking phantom. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 63(10), 1540–1549.
- Cinta, C. N., & Lasiyah, N. (2026). *The Effect of Ultrasonic Wave Frequency and Resolution on Image Quality in Ultrasonic Devices*. *Journal of Engineering Science and Technology Management (JES-TM)*, 6(1), 316–328.
- Fakhira, N., & Widita, R. (2025). Analysis of the use of agar phantom in the spatial resolution test of ultrasound images. *Journal of Physics: Conference Series*, 2980(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2980/1/012030>
- Gaitini, D., Ewertsen, C., Piskunowicz, M., Secil, M., Ricci, P., Fischer, T., ... & Clevert, D. A. (2023). Diversity of current ultrasound practice within and outside radiology departments with a vision for 20 years into the future. *Insights into Imaging*, 14, 207. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01548-w>
- Goodsitt, M. M., Carson, P. L., Witt, S., Hykes, D. L., & Kofler, J. M. (1998). Real-time B-mode ultrasound quality control test procedures. Report of AAPM Ultrasound Task Group No. 1. *Medical Physics*, 25(8), 1385–1406.
- Harris-Love, M. O., Monfaredi, R., & Ismail, C. (2016). Quantitative ultrasound: Measurement considerations for the assessment of muscle and adipose tissue. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(2), 418–425.
- Hoskins, P. R., Martin, K., & Thrush, A. (2019). *Diagnostic Ultrasound: Physics and Equipment* (3rd ed.). CRC Press.
- Jackson, S. J., & Russell, S. (2019). A precise, reproducible method for measuring ultrasound probe slice thickness using a Gammex 403 phantom. *Ultrasound*, 27(3), 148–155. <https://doi.org/10.1177/1742271X19830742>
- Jawli, N. M., Oglat, A. A., & Saleh, M. S. (2024). Tissue-mimicking materials for ultrasound phantom: A comprehensive review. *Journal of Medical Ultrasound*, 32(1), 12–25.
- Nguyen, T., Tran, Y., & Seshadri, V. (2014). Strengthening brachytherapy programs with ultrasound (US) quality assurance (QA). 2014 CSM. <https://doi.org/10.1594/ranzcr2014/R-0149>
- Oglat, A. A. (2022). A review of blood-mimicking fluid properties using Doppler ultrasound applications. *Journal of Medical Ultrasound*, 30(4), 255–265.
- Oglat, A. A., Matjafri, M. Z., Suardi, N., Oqlat, M. A., & Abdelrahman, M. A. (2018). A new scatter particle and mixture fluid for preparing blood mimicking fluid for wall-less flow phantom. *Journal of Medical Ultrasound*, 26(3), 135–142. https://doi.org/10.4103/JMU.JMU_40_18
- Patent US5689443. (1997). *Method and apparatus for evaluating ultrasound image quality*. United States Patent and Trademark Office.
- Pfeiffer, D., Sutlief, S., Feng, W., Pierce, H. M., & Kofler, J. (2008). AAPM Task Group 128: Quality assurance tests for prostate brachytherapy ultrasound systems. *Medical Physics*, 35(12), 5471–5489. <https://doi.org/10.1118/1.3006337>
- Putri, A. R., Sari, D. P., & Wijaya, I. K. (2021). Karakterisasi phantom USG berbasis agar-agar untuk pengujian kualitas citra. *Jurnal Fisika Indonesia*, 25(3), 145–152.

- Pye, S. D., Ellis, W., & MacGillivray, T. (2017). Broadband acoustic measurement of an agar-based tissue-mimicking material: A longitudinal study. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 43(7), 1494–1505.
- Qonitin, M., Harsoyo, I. T., & Kusumaningtyas, P. (2025). Evaluasi air dan oli sebagai material dasar phantom anechoic untuk aplikasi ultrasonography. *Jurnal Teknologi Kesehatan*, 17(1), 78–90.
- Septyawan, I. D. (2026). Komparasi phantom berbasis agar dan minyak dalam pengujian vertical distance dan horizontal distance pada perangkat USG. *Jurnal Elektromedik dan Kesehatan*, 9(1), 34–47.
- Songsaeng, D., Ngamsombat, C., & Suwannakarn, K. (2024). Quality control of ultrasound machines: A comprehensive review of current practices and standards. *Journal of Health Science and Medical Research*, 42(2), 89–105.
- Yuristika, K. D., Harsoyo, I. T., & Kusumaningtyas, P. (2025). Perbandingan stabilitas bahan dan kualitas citra grayscale pada phantom ultrasonography berbasis agar dan oli. *Jurnal Teknologi Laboratorium Medik*, 14(1), 23–38.