

# Rancang Bangun *Phantom Ultrasonography* Untuk Kalibrasi *Ultrasonography* (USG)

## *Design Of Phantom Ultrasonography For Ultrasonography (USG) Calibration*

Christopher Nicolaus Bagaskoro Satrio Anggono<sup>1</sup>, Abdul Haris Kuspranoto<sup>2</sup>, Muhammad Ulin Nuha ABA<sup>3</sup>, dan Dian Andrianto<sup>4</sup>

<sup>1)2)3)4)</sup> Teknik Elektromedik Polbitrada, Jl. Sambiroto Raya No.64-D, Sambiroto, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Indonesia 50276

Alamat korespondensi: [bagaskoro.satrio19@gmail.com](mailto:bagaskoro.satrio19@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *Phantom Ultrasonography* (USG) sebagai media kalibrasi *Ultrasonography* (USG) dengan bahan yang lebih terjangkau namun tetap memenuhi standar kualitas dan presisi. *Phantom* USG dirancang menggunakan dua bahan dasar, yaitu air akuades dan oli mesin Pertamina Meditran S SAE 40, untuk kemudian dibandingkan performanya dalam menghasilkan citra ultrasonik. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen murni dengan pendekatan laboratorium, melalui tahapan perancangan alat, pembuatan *phantom*, serta pengujian fungsi menggunakan parameter Jarak Vertikal dan Horizontal. Pengujian dilakukan dengan USG transduser *convex* di RS Roemani Muhammadiyah Semarang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *phantom* berbahan dasar oli mesin memberikan citra yang lebih jelas dan stabil dibandingkan dengan air akuades. Hasil pengukuran jarak vertikal menunjukkan nilai *error* absolut terkecil sebesar 0,01 cm (0,1 mm) pada objek 1–2 dengan nilai *error* relatif 0,3 %, dan terbesar sebesar 0,09 cm (0,9 mm) pada objek 7–8 dengan nilai *error* relatif 4,5 %. Sedangkan untuk jarak horizontal, nilai *error* absolut terkecil tercatat sebesar 0,14 cm (1,4 mm) pada objek 1–2 dengan nilai *error* relatif 6,8 %, dan terbesar sebesar 0,19 cm (1,9 mm) pada objek 2–3 dan 4–5 dengan nilai *error* relatif 9,5 %. Seluruh nilai *error* vertikal dan horizontal masih berada dalam batas toleransi AAPM TG-1, yaitu  $\pm 2$  mm atau  $\pm 2$  % untuk pengukuran vertikal dan  $\pm 3$  mm atau  $\pm 3$  % untuk pengukuran horizontal. Dengan demikian, *phantom* berbahan oli mesin dapat dikategorikan laik sebagai media kalibrasi USG yang ekonomis, efektif, dan memenuhi standar akurasi internasional. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis bagi fasilitas kesehatan untuk melakukan kalibrasi USG dengan biaya yang lebih rendah.

Kata kunci: *Phantom* USG, kalibrasi USG, bahan oli, bahan air, Jarak Vertikal, Jarak Horizontal.

### Abstract

*This study aims to design and build an Ultrasonography (USG) Phantom as an Ultrasonography (USG) calibration medium with more affordable materials but still meets quality and precision standards. The USG Phantom is designed using two basic materials, namely distilled water and Pertamina Meditran S SAE 40 engine oil, to then compare its performance in producing ultrasonic images. The research method used is a pure experimental study with a laboratory approach, through the stages of tool design, phantom creation, and functional testing using Vertical and Horizontal Distance parameters. Testing was carried out with a convex transducer USG at Roemani Muhammadiyah Hospital Semarang. The test results show that the engine oil-based phantom provides a clearer and more stable image compared to distilled water. The results of vertical distance measurements show the smallest absolute error value of 0.01cm (0.1mm) on objects 1–2 with a relative error value of 0.3%, and the largest of 0.09cm (0.9mm) on objects 7–8 with a relative error value of 4.5%. Meanwhile, for horizontal distance, the smallest absolute error value was recorded at 0.14 cm (1.4 mm) on objects 1–2 with a relative error value of 6.8%, and the largest was 0.19 cm (1.9 mm) on objects 2–3 and 4–5 with a relative error value of 9.5%. All vertical and horizontal error values were still within the AAPM TG-1 tolerance limits, which were  $\pm 2$  mm or  $\pm 2$ % for vertical measurements and  $\pm 3$  mm or  $\pm 3$ % for horizontal measurements. Thus, the engine oil phantom can be categorized as a suitable ultrasound calibration medium that is economical, effective, and meets international accuracy standards. This research is expected to be a practical solution for healthcare facilities to perform ultrasound calibration at a lower cost.*

Keywords: *USG Phantom, USG calibration, engine oil material, water material, Vertical Distance, Horizontal*

*Distance.*

## Pendahuluan

Perkembangan teknologi pada peralatan kesehatan saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, mendorong terciptanya alat-alat medis yang semakin efisien dan efektif (1). Salah satu perangkat diagnostik yang umum digunakan di bidang medis adalah *Ultrasonography* (USG). USG merupakan teknologi pencitraan medis non-invasif yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk menampilkan gambar organ-organ *internal* tubuh secara *real-time* (2). Kualitas citra yang dihasilkan oleh USG sangat bergantung pada kondisi dan kalibrasi perangkat sehingga kalibrasi yang baik diperlukan untuk memastikan akurasi hasil diagnosis (3,4). Namun, dalam praktiknya banyak fasilitas kesehatan yang belum secara rutin melakukan kalibrasi karena keterbatasan sarana dan biaya (5,6).

Salah satu alat bantu untuk kalibrasi *Ultrasonography* (USG) adalah *Phantom Ultrasonography* (USG), yaitu model atau simulasi jaringan tubuh manusia yang digunakan untuk menguji kinerja dan akurasi alat *Ultrasonography* (USG) (7). *Phantom* yang tersedia di pasaran umumnya memiliki harga yang cukup tinggi, sehingga menjadi kendala bagi rumah sakit atau klinik dengan anggaran terbatas (6,8). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan *Phantom* USG dengan bahan yang lebih ekonomis namun tetap memenuhi standar kualitas citra yang diperlukan untuk kalibrasi (9).

*Phantom* memungkinkan dilakukannya pengukuran parameter penting seperti resolusi spasial, kedalaman penetrasi, serta akurasi jarak vertikal dan horizontal. Kualitas *phantom* sangat dipengaruhi oleh sifat akustik medium, seperti kecepatan rambat gelombang, atenuasi, dan impedansi akustik, yang idealnya mendekati jaringan biologis (Culjat et al., 2010). Standar internasional untuk pengujian kualitas USG telah ditetapkan dalam laporan AAPM TG-1 (1998) yang merekomendasikan toleransi  $\pm 2$  mm atau  $\pm 2$  % untuk jarak vertikal dan  $\pm 3$  mm atau  $\pm 3$  % untuk jarak horizontal (10). Selain itu, regulasi di Indonesia melalui Permenkes No. 54 Tahun 2015 menegaskan pentingnya uji kesesuaian alat pencitraan medis, termasuk USG, agar mutu diagnostik tetap terjaga (11).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *Phantom Ultrasonography* (USG) menggunakan bahan dasar yang lebih terjangkau, yaitu air akuades dan oli mesin, kemudian membandingkan kinerjanya dalam menghasilkan citra USG pada parameter pengukuran Jarak Vertikal dan Horizontal sesuai standar AAPM TG-1. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan alternatif *Phantom* USG yang layak dan ekonomis bagi fasilitas

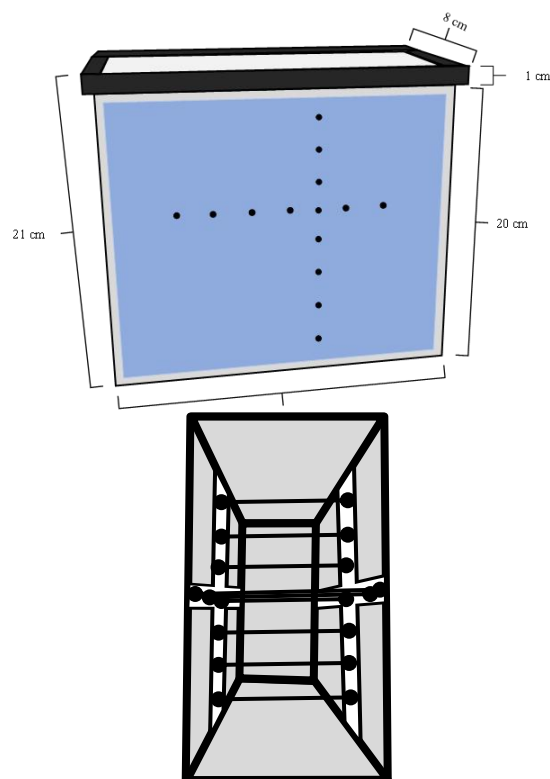
kesehatan untuk mendukung kualitas layanan diagnostik yang lebih baik (4,12).

## Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen murni (*true experimental research*) yang dilaksanakan di laboratorium dan rumah sakit. Tahapan penelitian meliputi perancangan, pembuatan, dan pengujian *Phantom Ultrasonography* (USG) (13). Bahan dasar yang digunakan adalah air akuades dan oli mesin (Pertamina Meditran S SAE 40) (14), yang dipilih karena lebih terjangkau dan mudah didapat. Penelitian dilakukan pada Maret – Juli 2025, bertempat di Politeknik Bina Trada Semarang dan RS Roemani Muhammadiyah Semarang.

*Phantom* berbentuk kotak dengan dimensi luar  $19 \times 8 \times 21$  cm<sup>3</sup>, berbahan *body* plat besi 1,2 mm, *acoustic window* dari *silicone rubber* RTV 2 mm, dan objek pengukuran dari benang nilon 0,12 mm. Medium pengisi berupa air akuades dengan viskositas  $\pm 1$  mPa·s atau oli mesin Pertamina Meditran S SAE 40 dengan viskositas 127–145 mPa·s. Kapasitas medium pengisi  $\pm 3000$  mL (15,16).

Objek uji berupa benang nilon dipasang secara vertikal dan horizontal dengan jarak antar titik 2 cm, menggunakan dudukan objek agar stabil. Setelah perakitan selesai, *phantom* diisi penuh dengan medium hingga menutupi seluruh rangka objek uji, kemudian ditutup rapat agar tidak terjadi kebocoran.



Gambar 1. Skema rancangan *Phantom* USG dan Posisi Objek Uji di Dalam *Phantom* USG

Skema memperlihatkan rancangan *phantom* berbentuk kotak dengan dimensi, bahan *body*, *acoustic window*, medium pengisi, serta susunan benang nilon secara vertikal dan horizontal. Susunan objek uji memungkinkan pengukuran jarak sesuai standar AAPM TG-1.

Pengujian dilakukan menggunakan *Ultrasonography* (USG) dengan transduser *convex* (GE LOGIQ P6) untuk mengevaluasi kualitas citra dan akurasi jarak. Lokasi pengujian citra dan fungsi *Phantom* dilakukan di RS Roemani Muhammadiyah Semarang. Parameter yang diuji meliputi Jarak Vertikal, yaitu jarak antar objek uji dari permukaan ke kedalaman *Phantom* dan Jarak Horizontal, yaitu jarak antar objek uji pada kedalaman yang sama secara lateral. Masing-masing pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap titik uji, kemudian dicatat dan dihitung rata-rata, *error* absolut, serta persentase *error* terhadap jarak rancangannya (17).

Data hasil pengukuran dianalisis dengan membandingkan nilai rata-rata hasil pengukuran dengan jarak rencana 2 cm untuk tiap-tiap objek. Nilai *error* dihitung dalam persentase maupun satuan absolut, kemudian dibandingkan dengan batas toleransi sesuai standar AAPM TG-1, yaitu  $\pm 2$  mm atau  $\pm 2$  % untuk pengukuran jarak vertikal dan  $\pm 3$  mm atau  $\pm 3$  % untuk pengukuran jarak horizontal (10,18).

### Hasil

*Phantom Ultrasonography* (USG) berhasil dirancang dan dibuat sesuai rancangan, menggunakan bahan *body* dari plat besi, *acoustic window* dari *silicone rubber* RTV, dan medium pengisi berupa air atau oli. *Phantom* yang telah selesai dirakit ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Wujud Fisik *Phantom* USG Yang Telah Dirakit Lengkap Dengan Bagian-Bagian Utamanya**

Pengujian dilakukan dengan mengisi *Phantom*

menggunakan air akuades sebagai medium. Hasil citra yang diperoleh dari pemindaian *Ultrasonography* (USG) menunjukkan bahwa objek uji tampak tidak jelas dan sulit dikenali. Hal ini disebabkan oleh viskositas air yang rendah ( $\sim 1$  mPa·s), sehingga gelombang ultrasonik tidak terdistribusi dan terpantul dengan baik. Citra hasil



**Gambar 3. Citra Hasil Pemindaian *Phantom* Berbahan Dasar Air, Menunjukkan Objek Uji Kurang Jelas**

pemindaian ditunjukkan pada Gambar 3.

Selanjutnya, *Phantom* diisi dengan oli mesin Pertamina Meditrans S SAE 40, yang memiliki viskositas lebih tinggi (127–145 mPa·s) sehingga lebih mendekati sifat akustik jaringan tubuh (14). Hasil citra pemindaian dengan oli menunjukkan objek uji lebih jelas, stabil, dan mudah dikenali pada layar *Ultrasonography* (USG), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



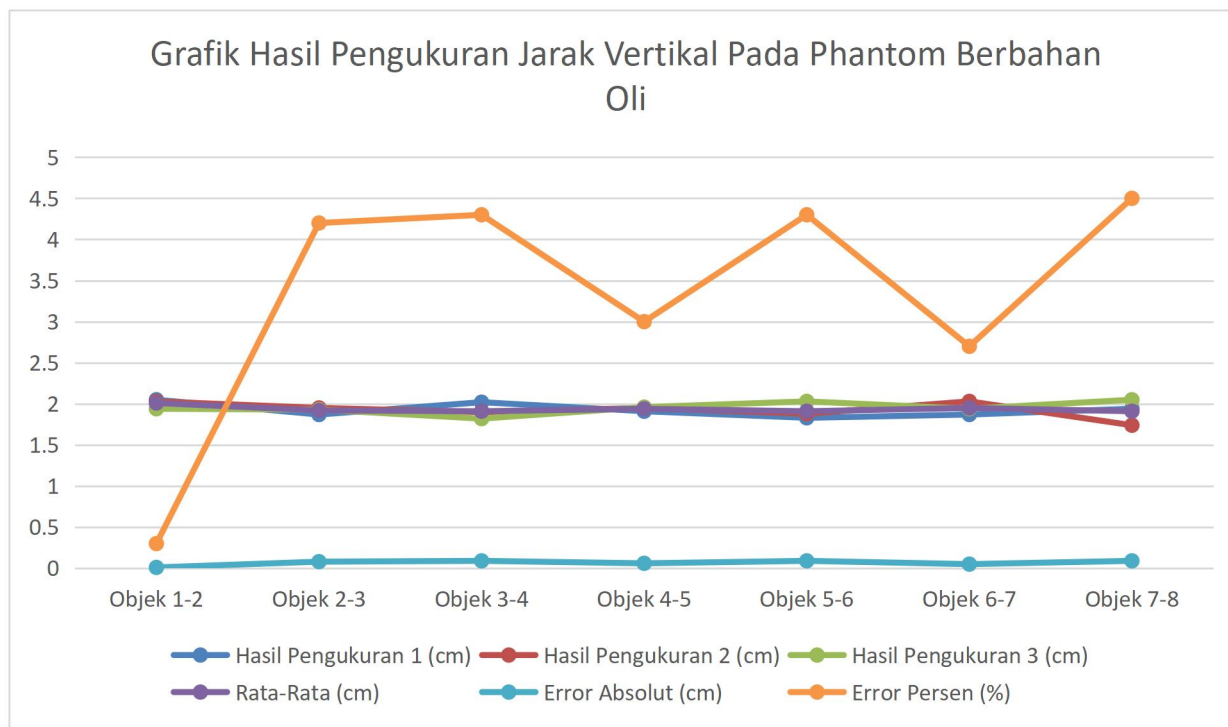
**Gambar 4. Citra Hasil Pemindaian *Phantom* Berbahan Dasar Oli, Menunjukkan Objek Uji Lebih Jelas**

**Tabel 1. Hasil Pengukuran Jarak Vertikal pada *Phantom* Berbahan Oli dengan Jarak Rancang 2 cm**

Titik Setting	Hasil Pengukuran (cm)			Rata-Rata (cm)	Error Absolut (cm)	Error Relatif (%)
	1	2	3			
Objek 1-2	2,05	2,03	1,94	2,01	0,01	0,3
Objek 2-3	1,87	1,95	1,93	1,92	0,08	4,2
Objek 3-4	2,02	1,9	1,82	1,91	0,09	4,3
Objek 4-5	1,91	1,95	1,96	1,94	0,06	3
Objek 5-6	1,83	1,88	2,03	1,91	0,09	4,3
Objek 6-7	1,87	2,03	1,94	1,95	0,05	2,7
Objek 7-8	1,94	1,74	2,05	1,91	0,09	4,5

Hasil pengukuran jarak vertikal pada *phantom* berbahan oli disajikan pada Tabel 1. Nilai *error* absolut terkecil tercatat sebesar 0,01 cm (0,1 mm) dengan *error* relatif 0,3 % pada objek 1–2, sedangkan nilai *error* absolut terbesar sebesar 0,09 cm (0,9 mm) dengan *error* relatif 4,5 % pada objek 7–8. Seluruh nilai *error* masih berada dalam batas toleransi

menurut standar AAPM TG-1. Grafik hasil pengukuran jarak vertikal ditunjukkan pada Gambar 5 untuk memperlihatkan distribusi dan tren data secara visual. Terlihat bahwa *error* relatif cenderung meningkat pada objek yang lebih dalam, dengan puncak *error* pada objek 7–8.



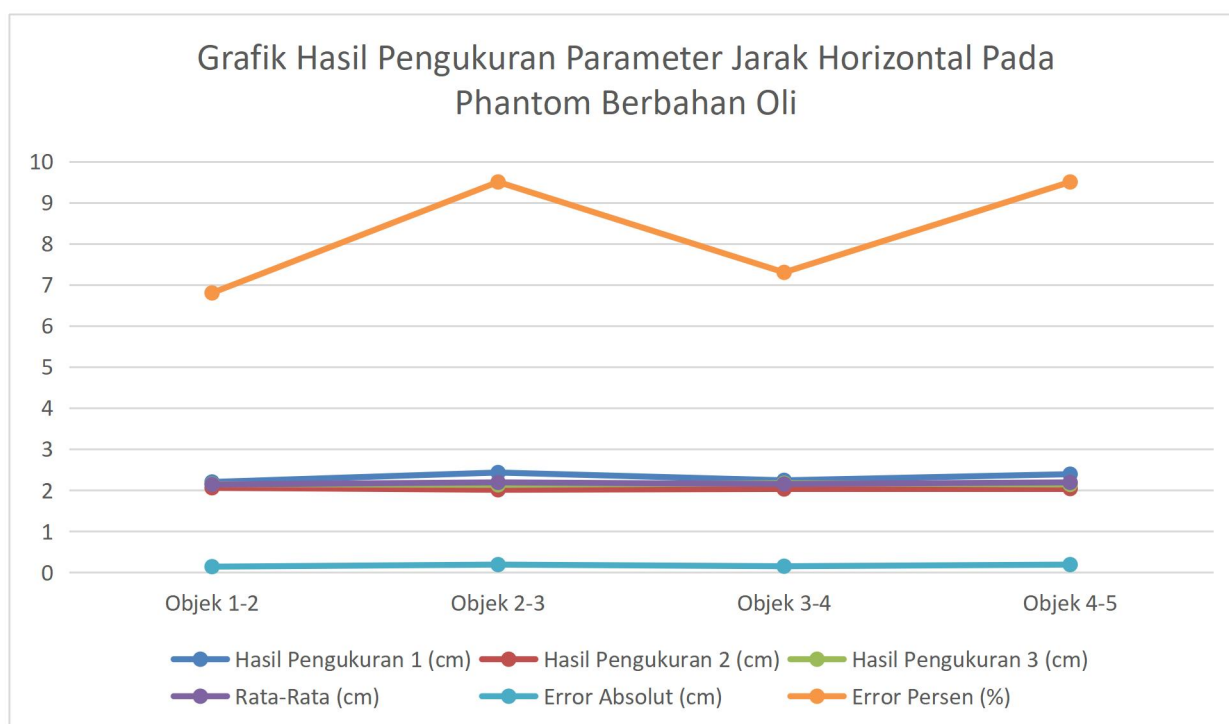
**Gambar 5. Grafik Hasil Pengukuran Jarak Vertikal Pada *Phantom* Berbahan Oli, Menunjukkan *Error* Masih Dalam Batas Toleransi**

**Tabel 2. Hasil Pengukuran Jarak Horizontal pada *Phantom* Berbahan Oli dengan Jarak Rancang 2 cm**

Titik <i>Setting</i>	Hasil Pengukuran (cm)			Rata-Rata (cm)	<i>Error</i> Absolut (cm)	<i>Error</i> Relatif (%)
	1	2	3			
Objek 1-2	2,2	2,06	2,15	2,14	0,14	6,8
Objek 2-3	2,43	2,01	2,13	2,19	0,19	9,5
Objek 3-4	2,24	2,03	2,17	2,15	0,15	7,3
Objek 4-5	2,39	2,04	2,14	2,19	0,19	9,5

Hasil pengukuran jarak horizontal pada *phantom* berbahan oli disajikan pada Tabel 2. Nilai *error* absolut terkecil tercatat sebesar 0,14 cm (1,4 mm) dengan *error* relatif 6,8 % pada objek 1-2, sedangkan nilai *error* absolut terbesar 0,19 cm (1,9 mm) dengan *error* relatif 9,5 % pada objek 2-3 dan objek 4-5.

Grafik hasil pengukuran jarak horizontal ditunjukkan pada Gambar 6 untuk memperlihatkan distribusi dan tren data secara visual. Terlihat bahwa *error* horizontal relatif lebih tinggi dibandingkan *error* vertikal.



**Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran Jarak Horizontal Pada *Phantom* Berbahan Oli, Menunjukkan *Error* Masih Dalam Batas Toleransi**

### Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *phantom* berbahan oli mesin menghasilkan citra lebih jelas dibandingkan air. Hal ini sejalan dengan temuan Culjat et al. (2010) yang menyatakan bahwa material *phantom* dengan impedansi akustik mendekati jaringan biologis (seperti minyak dan silikon) lebih efektif dalam memantulkan gelombang ultrasonik

dibandingkan air. Penelitian McGarry et al. (2020) juga melaporkan bahwa medium berbasis minyak memiliki stabilitas citra yang lebih baik dibandingkan medium cairan murni. Selain itu, Jawli et al. (2024) menekankan bahwa pemilihan bahan *phantom* sangat berpengaruh terhadap keberhasilan kalibrasi USG. Viskositas oli yang lebih tinggi menghasilkan interaksi akustik yang lebih optimal sehingga citra

objek uji lebih jelas, stabil, dan mudah dikenali. Sebaliknya, air yang memiliki viskositas rendah tidak mampu memantulkan gelombang ultrasonik dengan baik, sehingga citra yang dihasilkan tidak memadai untuk tujuan kalibrasi.

Nilai *error* pengukuran jarak, baik vertikal maupun horizontal, berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan oleh AAPM TG-1. Pada pengukuran jarak vertikal, *error* absolut terkecil tercatat pada objek 1–2 sebesar 0,01 cm (0,1 mm) dengan *error* relatif 0,3%, sedangkan *error* absolut terbesar terdapat pada objek 7–8 sebesar 0,09 cm (0,9 mm) dengan *error* relatif 4,5%. Sementara itu, pada pengukuran jarak horizontal, *error* absolut terkecil tercatat pada objek 1–2 sebesar 0,14 cm (1,4 mm) dengan *error* relatif 6,8%, dan terbesar sebesar 0,19 cm (1,9 mm) pada objek 2–3 serta 4–5 dengan *error* relatif 9,5%. Seluruh hasil masih berada dalam batas toleransi  $\pm 2$  mm atau  $\pm 2\%$  untuk vertikal dan  $\pm 3$  mm atau  $\pm 3\%$  untuk horizontal, sehingga *phantom* berbahan oli mesin dapat diterima untuk keperluan kalibrasi *Ultrasonography* (USG).

Nilai *error* relatif vertikal lebih rendah dibandingkan horizontal. Fenomena ini dapat dijelaskan karena pengukuran jarak horizontal lebih rentan terhadap distorsi gelombang ultrasonik lateral dan adanya *noise*, sedangkan arah vertikal lebih stabil mengikuti lintasan gelombang utama. Oli mesin, meskipun meningkatkan reflektivitas, juga dapat memengaruhi distribusi gelombang sehingga terjadi perbedaan *error* antara vertikal dan horizontal.

Kelebihan dan kekurangan dari bahan yang dipilih adalah bahan Oli menghasilkan citra yang lebih jelas, stabil, dan memungkinkan perhitungan *error* sesuai standar AAPM TG-1. Namun, nilai *error* horizontal masih cukup tinggi dan perlu evaluasi

lebih lanjut. Air, meskipun lebih murah, tidak mampu menampilkan objek uji dengan baik sehingga tidak dapat digunakan untuk kalibrasi jarak.

Keterbatasan pada penelitian ini adalah dikarenakan hanya menggunakan satu jenis oli (Pertamina Meditrans S SAE 40), jumlah titik uji terbatas, serta belum dilakukan uji ketahanan jangka panjang. Selain itu, pada medium air objek uji tidak terdeteksi, sehingga tidak memungkinkan perbandingan kuantitatif. Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan mencoba bahan alternatif seperti gel silikon atau gelatin dengan *scatterer* tambahan, serta mengevaluasi kestabilan *phantom* pada penggunaan berulang.

Selain analisis *error*, dilakukan juga perhitungan ketidakpastian pengukuran yang mengacu pada MK Perhitungan dan Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran Nomor MK 002-18 (11) dengan metode kalibrasi langsung (*direct calibration*), di mana *Ultrasonography* (USG) dan *Phantom* dihubungkan secara langsung. Model matematis yang digunakan adalah:

$$C = D_{STD} - D_{UUT}$$

dengan:

- $C$  = koreksi penunjukan distance pada USG
- $D_{STD}$  = jarak sebenarnya pada *Phantom*
- $D_{UUT}$  = jarak terbaca pada USG

Sumber ketidakpastian terdiri dari tipe A (pengulangan pengukuran) dan tipe B (ketidakpastian sertifikat kalibrator, resolusi alat, dan *drift* standar). Koefisien sensitivitas pada semua komponen = 1, sesuai turunan pertama dari model matematis. Derajat kebebasan pada tipe A untuk enam kali pengukuran adalah 4, sedangkan tipe B dengan tingkat reliabilitas 10 adalah 50.

**Tabel 3. Tabel *Uncertainty Budget***

No.	Komponen	Distribusi	U	Pembagi	ui
1.	Pengukuran Berulang	<i>Normal</i>	$\partial$	$\sqrt{n}$	$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
2.	Sertifikat Standar	<i>Normal</i>	<i>Usertf standard</i>	$K$	$\frac{Usertfstd}{K}$
3.	Resolusi	<i>Segi empat</i>	<i>Uresolusi</i>	$\sqrt{3}$	$\frac{Ures}{\sqrt{3}}$
4.	<i>Drift</i>	<i>Segi empat</i>	<i>Udrift</i>	$\sqrt{3}$	$\frac{Udrf}{\sqrt{3}}$

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai koreksi mutlak ditambah ketidakpastian gabungan masih lebih kecil dari atau sama dengan batas

toleransi, sehingga dapat dikatakan layak digunakan untuk kalibrasi.

Berdasarkan MK pengujian kinerja dan keselamatan listrik (MK 001-18 dan PO.002-18), pengujian kinerja dinyatakan memenuhi syarat jika  $\geq 70\%$  titik pengukuran berada dalam batas toleransi. Nilai toleransi untuk masing-masing parameter kinerja merujuk pada Tabel berikut:

**Tabel 4. Nilai Toleransi Untuk Tiap Parameter Pengujian Kinerja**

No.	Parameter	Toleransi/Ambang Batas
1.	<i>Axial Zone</i>	Titik terluar tidak boleh menyatu Diameter = 0.8cm ( <i>probe</i> <5MHz)
2.	<i>Grey Scale</i>	Diameter = 1 cm ( <i>probe</i> $\geq$ 5MHz)
3.	<i>Horizontal Distance</i>	$\pm 3\% \pm 3$ mm
4.	<i>Vertical Distance</i>	$\pm 2\%$ atau $\pm 2$ mm

Dalam penelitian ini, seluruh parameter kinerja masuk dalam batas toleransi sehingga memenuhi persyaratan teknis. Telaah teknis juga dilakukan terhadap kondisi fisik, fungsi alat, dan pengujian kinerja, yang semuanya menunjukkan bahwa *Phantom* berbahan oli layak digunakan sebagai media kalibrasi yang praktis dan ekonomis.

Temuan ini juga sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa medium berbasis minyak atau silikon lebih mendekati sifat akustik jaringan tubuh manusia dibandingkan air. Oleh karena itu, *Phantom* berbahan dasar oli dapat menjadi alternatif bagi fasilitas kesehatan dengan anggaran terbatas untuk kalibrasi rutin USG.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *Phantom Ultrasonography* (USG) yang dirancang dengan bahan dasar oli mesin Pertamina Meditrans S SAE 40 mampu menghasilkan citra *Ultrasonography* (USG) yang jelas, stabil, dan objek uji dapat dikenali dengan baik. Sebaliknya, *Phantom* dengan bahan dasar air menunjukkan kualitas citra yang kurang baik, dengan objek uji tampak samar dan sulit dikenali.

Hasil pengukuran jarak vertikal dan horizontal pada *Phantom* berbahan oli menunjukkan bahwa pada pengukuran vertikal, nilai *error* absolut terkecil tercatat pada objek 1–2 sebesar 0,01 cm (0,1 mm) dengan *error* relatif 0,3%, sedangkan nilai *error* absolut terbesar terdapat pada objek 7–8 sebesar 0,09 cm (0,9 mm) dengan *error* relatif 4,5%. Untuk pengukuran horizontal, nilai *error* absolut terkecil tercatat pada objek 1–2 sebesar 0,14 cm (1,4 mm) dengan *error* relatif 6,8%, dan terbesar sebesar 0,19 cm (1,9 mm) pada objek 2–3 serta 4–5 dengan *error*

relatif 9,5%. Seluruh hasil pengukuran masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan oleh AAPM TG-1, yaitu  $\pm 2$  mm atau  $\pm 2\%$  untuk pengukuran vertikal dan  $\pm 3$  mm atau  $\pm 3\%$  untuk pengukuran horizontal, sehingga *Phantom* berbahan oli mesin layak digunakan sebagai media kalibrasi USG.

Dengan demikian, *Phantom Ultrasonography* (USG) berbahan oli mesin dapat dikategorikan laik dan efektif sebagai media kalibrasi *Ultrasonography* (USG) yang ekonomis, serta dapat menjadi alternatif praktis bagi fasilitas kesehatan untuk melakukan kalibrasi rutin dengan biaya yang lebih rendah.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penggunaan *Phantom Ultrasonography* (USG) berbahan dasar oli mesin dapat dipertimbangkan sebagai alternatif media kalibrasi di fasilitas kesehatan dengan anggaran terbatas, karena terbukti ekonomis dan tetap memenuhi standar akurasi.

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menguji ketahanan *Phantom* dalam jangka waktu yang lebih lama, termasuk pengaruh suhu, kelembapan, dan frekuensi penggunaan terhadap kualitas citra. Selain itu, disarankan pula untuk mengeksplorasi bahan-bahan lain dengan sifat akustik yang lebih mendekati jaringan biologis seperti gel silikon untuk meningkatkan kualitas citra lebih lanjut.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada RS Roemani Muhammadiyah Semarang atas izin dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Aldy Susanto atas bantuan teknisnya dalam pengujian alat, serta kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun material sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

### Daftar Rujukan

1. Pardosi PJ, Primasyukra MA, Ulina S, Abdillah K. Analisa Pemeliharaan Preventif Alat Ultrasonograph (USG) Siemens Aquason-X300 di Rumah Sakit Universitas Sumatera Utara. *J MUTIARA ELEKTROMEDIK* [Internet]. 2024 Jun 26;8(1):29–36. Available from: <http://ejournal.sari-mutiara.ac.id/index.php/Elektromedik/article/view/5300>
2. Sehmbi H, Perlas A. Basics of Ultrasound Imaging. In: *Regional Nerve Blocks in Anesthesia and Pain Therapy* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2015. p. 27–56. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319->

- 05131-4\_3
3. Dabukke H, Sijabat S, Harefa AJ, Putri MA. Sosialisasi Pentingnya Kalibrasi Peralatan Kesehatan Di Pelayanan Kesehatan. *J Abdimas* [Internet]. 2024;5(2):242–7. Available from: <https://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/JAM/article/view/5207>
  4. Culjat MO, Goldenberg D, Tewari P, Singh RS. A Review of Tissue Substitutes for Ultrasound Imaging. *Ultrasound Med Biol* [Internet]. 2010 Jun;36(6):861–73. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030156291000075X>
  5. Amini R, Akbar F, Azwar E. Studi Kualitatif Sistem Manajemen Logistik Alkes di Puskesmas Blang Kuta Kabupaten Pidie Jaya Tahun 2022. *J Heal Med Sci* [Internet]. 2022;1(2):177–88. Available from: <https://pusdikra-publishing.com/index.php/jkes/article/view/821>
  6. Giannotti E, Jethwa K, Closs S, Sun R, Bhatti H, James J, et al. Promoting simulation-based training in radiology: a homemade *phantom* for the practice of ultrasound-guided procedures. *Br J Radiol* [Internet]. 2022 Sep 1;95(1137). Available from: <https://academic.oup.com/bjr/article/7451403>
  7. Jawli A, Aldehani W, Nabi G, Huang Z. Tissue-Mimicking Material Fabrication and Properties for Multiparametric Ultrasound *Phantoms*: A Systematic Review [Internet]. Vol. 11, Bioengineering. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. p. 620. Available from: <https://www.mdpi.com/2306-5354/11/6/620>
  8. McGarry CK, Grattan LJ, Ivory AM, Leek F, Liney GP, Liu Y, et al. Tissue Mimicking Materials for Imaging and Therapy *Phantoms*: A Review [Internet]. Vol. 65, Physics in Medicine and Biology. IOP Publishing Ltd; 2020. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6560/abbd17>
  9. Oglat A, Matjafri M, Suardi N, Oqlat M, Abdelrahman M, Oqlat A, et al. Chemical Items Used for Preparing Tissue-Mimicking Material of Wall-Less Flow *Phantom* for Doppler Ultrasound Imaging. *J Med Ultrasound* [Internet]. 2018;26(3):123. Available from: [https://journals.lww.com/10.4103/JMU.JMU\\_13\\_17](https://journals.lww.com/10.4103/JMU.JMU_13_17)
  10. Goodsitt MM, Carson PL, Witt S, Hykes DL, Kofler JM. Real-time B -mode ultrasound quality control test procedures. Report of AAPM Ultrasound Task Group No. 1. *Med Phys* [Internet]. 1998 Aug 23;25(8):1385–406. Available from:
  11. Kementrian Kesehatan Republik Indonesia. Metode Kerja Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. Vol. I. 2018.
  12. Ratar VI, Trihandaru SS, Maslebu G. Analisis Resolusi Spasial Citra Ultrasonografi (USG) Pada Arah Tangensial Radias Citra Menggunakan *Phantom* Berbasis Silicon Rubber. *J Fis dan Apl* [Internet]. 2020 Feb 27;16(1):1. Available from: <http://iptek.its.ac.id/index.php/jfa/article/view/16%281%2901>
  13. Yunitri, N.; Janitra, F. E.; Kustanti, C. Y. .; Nur Aini; Tiara Octary; Melati Fajarini; Hidayat Arifin; Putri AR. . DMYS. Metode Penelitian Eksperimental. *J Kesehat* [Internet]. 2020;11(2):67–79. Available from: <https://jurnal.stikesbethesda.ac.id/index.php/jurnalkesehatan/article/view/453>
  14. Pertamina Lubricants. Meditran S Series Product Data Sheet. 2022.
  15. Pangestuti D, Maslebu G, Trihandaru S. Perancangan Pengukuran Akurasi Jarak Menggunakan *Phantom* Silicone Pada Kontrol Kualitas Ultrasonografi Dengan Teknik Komputasi. *J Sains dan Edukasi Sains* [Internet]. 2019 Feb 28;2(1):36–41. Available from: <http://ejournal.uksw.edu/juses/article/view/1973>
  16. Ommen ML, Schou M, Beers C, Jensen JA, Larsen NB, Thomsen EV. 3D printed calibration micro-*phantoms* for super-resolution ultrasound imaging validation. *Ultrasonics* [Internet]. 2021 Jul;114:106353. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0041624X21000019>
  17. Putri CFR, Maslebu G, Setiawan A. Analisis Densitas Larutan Berbasis Citra *Phantom* Agar Dalam Kendali Mutu USG. *POSITRON* [Internet]. 2021 Oct 15;11(1):26–30. Available from: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpositron/article/view/44404>
  18. Fatimah S, Maslebu G, Trihandaru S. Analisis Homogenitas Citra Ultrasonografi Berbasis Silicone Rubber *Phantom* Dengan GLCM. *J Fis* [Internet]. 2018;8(1):18–27. Available from: <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jf/article/view/14359>