

## PENINGKATAN AKURASI DIAGNOSTIK TISSUE *HARMONIC IMAGING* ULTRASOUND PADA POPULASI *OVERWEIGHT*: EVALUASI KOMPARATIF KETAJAMAN DINDING, ARTEFAK INTRALUMEN, DAN KETAJAMAN LESI

Rahayu Nia Pratiwi<sup>1</sup>, Sugeng Rianto<sup>2</sup>, Agung Nugroho Setiawan<sup>3</sup>, Rasyid<sup>4</sup>, Bambang Satoto<sup>5</sup>, Ahmad Hariri<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Pascasarjana Imaging Diagnostik, Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan, Semarang, Indonesia

<sup>6</sup>Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Pertamedika, Jakarta, Indonesia  
[rahayuniapратиwi@gmail.com](mailto:rahayuniapратиwi@gmail.com)

### Abstrak

Kualitas citra pada ultrasonografi abdomen menurun secara signifikan pada pasien dengan indeks massa tubuh (BMI) tinggi akibat redaman akustik oleh jaringan adiposa. Keterbatasan ini mempengaruhi akurasi diagnostik penyakit kandung empedu, termasuk kolelitiasis, kolesistitis, dan polip. Tissue Harmonic Imaging (THI) dikembangkan untuk mengatasi degradasi citra dengan memanfaatkan propagasi gelombang non-linier yang menghasilkan frekuensi harmonik berkoherensi tinggi. Tujuan mengevaluasi secara kuantitatif dampak THI terhadap tiga parameter utama kualitas citra ultrasonografi kandung empedu ketajaman dinding anterior, penekanan artefak intra-lumen, dan kejelasan margin lesi pada pasien kelebihan berat badan. Metode studi komparatif berpasangan dilakukan pada 100 pasien BMI >25 kg/m<sup>2</sup> di Tirta Medical Center (Mei–Juni 2023). Setiap peserta menjalani dua urutan pencitraan berurutan: non-THI (fundamental imaging) dan THI, dengan parameter teknis yang distandarisasi. Dua radiolog independen menilai total 200 citra menggunakan skala ordinal empat tingkat (1–4). Hasil THI menunjukkan peningkatan signifikan pada seluruh parameter dibandingkan non-THI. Ketajaman dinding anterior mencapai skor 2–3 pada 86% citra THI, sementara non-THI didominasi skor 1–2 (94%). Penekanan artefak internal meningkat drastis, dengan THI mencapai skor tertinggi (4) pada 52% citra dibanding 21% pada non-THI. Kejelasan lesi juga lebih baik pada THI (80% skor 3) dibanding non-THI (44% skor 3). Kesimpulan THI secara konsisten meningkatkan kualitas citra ultrasonografi kandung empedu pada pasien kelebihan berat badan melalui peningkatan resolusi spasial, kontras, dan penekanan artefak. Temuan ini mendukung penggunaan THI sebagai protokol pencitraan standar untuk evaluasi hepatobilier pada populasi dengan BMI tinggi.

**Kata Kunci:** *Tissue Harmonic Imaging (THI), Ultrasonografi Kandung Empedu, Kelebihan Berat Badan (Obesitas), Ketajaman Dinding Anterior, Artefak Intra Lumen, USG Abdomen, Kualitas Citra USG.*

### Abstract

Image quality in abdominal ultrasonography declines significantly in patients with high body mass index (BMI) due to acoustic attenuation by adipose tissue. This limitation affects diagnostic accuracy for gallbladder diseases, including cholelithiasis, cholecystitis, and polyps. Tissue Harmonic Imaging (THI) was developed to counteract image degradation by utilizing non-linear wave propagation that generates highly coherent harmonic frequencies. Objective to quantitatively evaluate the impact of THI on three key image-quality parameters in gallbladder ultrasonography anterior wall sharpness, intraluminal artifact suppression, and lesion margin clarity among overweight patients. Methods a paired comparative study was conducted on 100 patients with BMI >25 kg/m<sup>2</sup> at Tirta Medical Center (May–June 2023). Each participant underwent two sequential imaging protocols: non-THI (fundamental imaging) and THI, using standardized technical parameters. Two independent radiologists assessed a total of 200 images using a four-point ordinal scale (1–4). Results THI demonstrated significant improvement across all parameters compared with non-THI. Anterior wall sharpness reached scores of 2–3 in 86% of THI images, while non-THI images were dominated by lower scores of 1–2 (94%). Intraluminal artifact suppression improved markedly, with THI achieving the highest score (4) in 52% of images versus 21% in non-THI. Lesion clarity was also superior with THI (80% score 3) compared with non-THI (44% score 3). Conclusion THI consistently enhances gallbladder ultrasonography image quality in overweight patients by improving spatial resolution, contrast, and artifact suppression. These findings support the use of THI as a standard imaging protocol for hepatobiliary evaluation in high-BMI populations.

**Keywords:** *Tissue Harmonic Imaging (THI), Gallbladder Ultrasonography, Overweight (Obesity), Anterior Wall Sharpness, Intraluminal Artifacts, Abdominal Ultrasound, Ultrasound Image Quality.*

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2026

\* Corresponding author :

Address : Jakarta

Email : [rahayuniapратиwi@gmail.com](mailto:rahayuniapратиwi@gmail.com)

Phone : +62 896-9448-8757

PENDAHULUAN

Pencitraan ultrasound merupakan salah satu alat diagnostik yang paling mendasar dan banyak digunakan dalam pengobatan kontemporer karena kemampuannya secara real-time, sifat non-invasif, dan efektivitas biaya. Dalam pencitraan Abdomen khususnya, USG memainkan peran penting dalam menilai patologi kandung empedu (KE) seperti kolelithiasis, kolesistitis, dan polip (Gerbası et al., 2025; Moncada et al., 2025). Dibandingkan dengan modalitas lain seperti CT dan MRI, USG menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi untuk mendeteksi batu empedu (95,9%) dan kolesistitis akut (81%) dengan mempertahankan keunggulan aksesibilitas dan keamanan (Karahana et al., 2024; Rana et al., 2024). Meskipun demikian, terlepas dari manfaat ini, kualitas gambar tetap menjadi penentu penting akurasi diagnostik, dipengaruhi oleh fisiologis dan teknis. Salah satu diantaranya, pada objek pasien yang kelebihan berat badan dan obesitas menimbulkan tantangan yang signifikan dengan melemahkan dan menyebarkan gelombang suara, sehingga mengurangi penetrasi ultrasound dan menghasilkan artefak dan noise yang mengganggu visualisasi struktur Abdomen (Ryan-Stewart et al., 2021).

Atenuasi akustik yang diinduksi obesitas dihasilkan dari akumulasi lemak subkutan yang menyerap dan memantulkan energi ultrasound, yang menyebabkan penggambaran kabur dinding kantong empedu dan berkurangnya visibilitas lesi (Marron et al., 2022; Yang et al., 2022). Penelitian secara konsisten melaporkan bahwa peningkatan Indeks Massa Tubuh (BMI) berkorelasi terbalik dengan kualitas gambar dalam sonografi Abdomen (Ibacahe et al., 2020). Fenomena ini membatasi evaluasi diagnostik dan memerlukan inovasi teknologi yang mampu mengkompensasi kondisi akustik yang buruk (Kluwe et al., 2021; Rónaszéki et al., 2022). Dan pada dinamikanya, teknik ultrasound canggih seperti Tissue Harmonic Imaging (THI) telah dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan diagnostik ini.

Pencitraan Harmonik Jaringan mengeksplotasi propagasi gelombang ultrasound non-linier melalui jaringan lunak untuk menghasilkan frekuensi harmonik biasanya pada frekuensi dasar dua kali lipat yang meningkatkan kejernihan gambar. Tidak seperti pencitraan konvensional, yang menggunakan frekuensi yang sama untuk transmisi dan penerimaan, THI secara selektif menerima echo harmonik yang memiliki koherensi spasial yang unggul, sehingga mengurangi artefak lobus samping dan echo (Huynh et al., 2021; Nayak et al., 2024). Penyaringan selektif ini menghasilkan resolusi kontras yang lebih tinggi dan definisi batas yang lebih baik, membuat THI sangat berguna pada pasien dengan BMI tinggi atau peningkatan kedalaman jaringan lunak. Mekanisme yang mendasarinya bergantung pada variasi kecepatan suara yang bergantung pada tekanan dalam jaringan, di mana kompresi dan langka menginduksi distorsi harmonik dari front gelombang (Han et al., 2024; Peng et al., 2021). Harmonik ini meningkatkan rasio sinyal-ke-noise dan meminimalkan ketidaktajaman, sehingga

memungkinkan visualisasi kantong empedu dan struktur empedu yang berdekatan dengan lebih tajam (Forsberg et al., 2022; Liu et al., 2022).

Studi empiris menguatkan keunggulan THI dalam pencitraan Abdomen, menunjukkan penggambaran parenkim hati yang ditingkatkan, batas pankreas, dan diferensiasi kortiko-medula ginjal (Burkhardt et al., 2020; Payen et al., 2020; Trikudanathan et al., 2021). Pada populasi obesitas, THI secara signifikan mengurangi efek hamburan yang diinduksi adiposa, meningkatkan visualisasi tanpa menaikkan paparan akustik (Forsberg et al., 2022). Namun, terlepas dari manfaat yang didokumentasikan di berbagai sistem organ, bukti mengenai kegunaan kuantitatif THI dalam pencitraan kantong empedu di antara pasien yang kelebihan berat badan tetap terbatas. Kesenjangan ini menyoroti perlunya analisis komparatif yang ketat secara metodologis dalam kondisi standar.

Studi yang ada sering dibatasi oleh inkonsistensi metodologis, termasuk variasi pengaturan ultrasound (frekuensi, penguatan, kedalaman, dan Kompensasi Perolehan Waktu), ukuran sampel yang terbatas, dan kontrol yang tidak memadai terhadap variabel confounding seperti BMI dan komorbiditas (Heinitz et al., 2023; Omar et al., 2022). Selain itu, sementara THI umumnya meningkatkan ketajaman dan kontras gambar, kondisi tertentu seperti adenomyomatosis kantong empedu mendapat manfaat dari fitur yang bergantung pada artefak seperti echo ekor komet, yang mungkin sebagian ditekan oleh THI (Nayak et al., 2024; Zhao et al., 2024). Oleh karena itu, sementara THI menawarkan peningkatan substansial dalam sebagian besar konteks diagnostik, pengaruhnya terhadap interpretasi berbasis artefak memerlukan evaluasi yang bernuansa.

Dari perspektif global, organisasi profesional seperti International Society of Radiology (PARI), American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM), dan European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology (EFSUMB) telah menekankan pentingnya mengadaptasi protokol pencitraan untuk populasi obesitas dan kelebihan berat badan (Dietrich et al., 2021). Di Indonesia, Laporan Tahunan PARI 2024 dan Studi Tracer Poltekkes Kemenkes Jakarta II 2025 menyoroti peningkatan prevalensi obesitas di samping meningkatnya kompetensi di kalangan profesional ultrasound, yang menunjukkan kesiapan kelembagaan untuk mengadopsi peningkatan pencitraan berbasis bukti (Lubis et al., 2023). Perkembangan ini menggarisbawahi relevansi nasional dalam mengoptimalkan pencitraan kantong empedu melalui teknik seperti THI untuk memastikan keandalan diagnostik.

Dengan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kuantitatif efek Pencitraan Harmonik Jaringan pada kualitas gambar ultrasound kantong empedu pada pasien kelebihan berat badan. Menggunakan metodologi pemindaian berpasangan dengan parameter akuisisi standar, penelitian ini mengisolasi kontribusi spesifik THI terhadap kinerja diagnostik. Evaluasi berfokus pada tiga indikator utama: (1) ketajaman dinding kantong empedu anterior, (2) pengurangan artefak lumen

internal, dan (3) kejelasan batas lesi. Dengan mengatasi kesenjangan metodologis dan menargetkan kohort BMI tinggi, penelitian ini memberikan kontribusi empiris baru untuk optimalisasi protokol sonografi. Pada akhirnya, temuan ini diharapkan dapat memperkuat integrasi inovasi teknologi dan keahlian profesional sebagai kekuatan pelengkap yang mendorong presisi diagnostik dan peningkatan hasil pasien dalam radiologi modern.

METODE

Studi ini mengadopsi desain kuantitatif komparatif yang didasarkan pada prinsip-prinsip pencitraan diagnostik terapan untuk mengevaluasi dampak Tissue Harmonic Imaging (THI) pada kualitas gambar ultrasound kandung empedu pada pasien kelebihan berat badan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji apakah THI memberikan peningkatan yang signifikan secara statistik dalam tiga parameter kualitas gambar: ketajaman dinding anterior, penekanan artefak internal, dan kejernihan tepi lesi relatif terhadap pencitraan fundamental konvensional. Pendekatan metodologis dipandu oleh standar penelitian pencitraan kuantitatif, menekankan kontrol, reproduktifitas, dan validitas internal (Tedla et al., 2024). Desain penampang dipilih untuk memungkinkan akuisisi gambar simultan dalam mode THI dan non-THI dalam kondisi teknis dan fisiologis yang identik, meminimalkan variabilitas yang membingungkan. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi dalam penelitian pencitraan diagnostik untuk studi modalitas komparatif (Nazlı et al., 2021).

Investigasi dilakukan di Tirta Medical Center, Jakarta, Indonesia, antara Mei hingga Juni 2023. Fasilitas ini dipilih karena aksesnya ke sistem ultrasound canggih yang mampu melakukan mode pencitraan fundamental dan harmonik dan throughput pasien yang tinggi yang memenuhi kriteria inklusi. Semua prosedur pencitraan mengikuti pedoman operasional radiologi standar pusat, memastikan konsistensi dalam kalibrasi peralatan, persiapan pasien, dan akuisisi gambar. Studi ini mengikuti praktik terbaik dalam implementasi protokol pencitraan, termasuk standarisasi peralatan dan reproduktifitas teknis (Becker et al., 2022).

Populasi penelitian terdiri dari pasien dewasa dengan nilai Body Mass Index (BMI) melebihi 25 kg/m², dikategorikan kelebihan berat badan menurut kriteria Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) (Moncada et al., 2025). Kriteria inklusi terdiri dari (1) pasien yang menjalani USG Abdomen rutin, (2) tidak adanya operasi kantong empedu sebelumnya, dan (3) kesiediaan untuk memberikan persetujuan yang diinformasikan. Kriteria pengecualian termasuk (1) jendela akustik yang tidak memadai karena gas usus yang berlebihan, (2) artefak gerak yang signifikan, dan (3) data yang tidak lengkap atau disusupi secara teknis.

Metode pengambilan sampel yang dimaksudkan diterapkan untuk memastikan dimasukkannya rentang BMI yang beragam dan patologi kantong empedu. Sampel akhir mencakup 100 pasien (71 pria, 29 wanita), yang mencerminkan

keseimbangan demografis di seluruh distribusi usia dan jenis kelamin. Konsisten dengan penelitian pencitraan sebelumnya (Neculoiu et al., 2024), peserta distratifikasi menurut klasifikasi BMI untuk menilai kemanjuran THI di seluruh subkelompok kelebihan berat badan. Dari jumlah tersebut, 70 kasus menunjukkan morfologi kandung empedu normal, sementara 30 menunjukkan patologi seperti kolelitiasis, polip, atau kolesistitis.

Persetujuan etis diperoleh dari Komite Etik Riset Tirta Medical Center. Semua peserta memberikan persetujuan tertulis setelah diberi pengarahan tentang tujuan penelitian, prosedur, dan protokol kerahasiaan. Penelitian ini sesuai dengan Deklarasi prinsip-prinsip etika Helsinki untuk penelitian subjek manusia, yang menekankan minimalisasi risiko, maksimalisasi manfaat, dan perlindungan data (Gerbasi et al., 2025; Moncada et al., 2025). Tingkat paparan ultrasound mematuhi pedoman American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) tentang batas diagnostik yang aman, menggunakan output akustik serendah mungkin untuk menjaga keselamatan pasien (Rana et al., 2024).

Pemeriksaan ultrasonografi dilakukan menggunakan pemindai diagnostik resolusi tinggi yang dilengkapi dengan transduser array cembung yang beroperasi dalam mode fundamental dan harmonik. Pemindaian dilakukan menggunakan rentang frekuensi 3,5–5,0 MHz, memberikan penetrasi optimal untuk pencitraan Abdomen. Output daya, penguatan, kedalaman, dan Kompensasi Penguatan Waktu (TGC) distandarisasi di semua akuisisi, mengikuti pedoman kalibrasi peralatan (Altenmüller, 2025; Becker et al., 2022). Gambar THI dan non-THI diperoleh secara berurutan selama sesi pemeriksaan yang sama untuk mengontrol variasi posisi pasien, menahan napas, dan kondisi akustik. Penempatan transduser menargetkan kuadran atas kanan di sepanjang sumbu longitudinal kantong empedu, dengan pencitraan dilakukan selama inspirasi mendalam untuk meningkatkan visualisasi di bawah margin costa.

Setiap peserta menjalani dua urutan pencitraan berturut-turut: (1) pencitraan fundamental (non-THI) dan (2) harmonik (THI). Kedua mode tersebut diperoleh oleh sonografer bersertifikat yang sama untuk menghilangkan variabilitas antar-operator, konsisten dengan praktik terbaik dalam penelitian pencitraan komparatif (Tedla et al., 2024). Parameter pemindaian tetap identik, dengan sakelar mode THI menjadi satu-satunya variabel. Gambar yang diperoleh diarsipkan secara digital dalam format DICOM untuk menjaga integritas data dan memfasilitasi evaluasi buta. Artefak kompresi dihindari dengan menggunakan protokol penyimpanan data lossless.

Dua ahli radiologi bersertifikat dengan pengalaman ultrasound diagnostik lebih dari lima tahun secara independen menilai kualitas gambar saat buta terhadap mode pencitraan. Evaluasi gambar didasarkan pada tiga parameter: (1) ketajaman dinding anterior, (2) tingkat penekanan artefak internal, dan (3) kejelasan margin lesi. Skala ordinal empat titik (1 = buruk, 2 = wajar, 3 = baik, 4 = sangat baik) digunakan, menghasilkan total 200

evaluasi di seluruh kasus. Keandalan antar-penilai diuji menggunakan koefisien kappa Cohen ( $\kappa$ ), memastikan konsistensi dalam interpretasi visual. Perbedaan diselesaikan melalui diskusi konsensus. Protokol ini sejalan dengan rekomendasi literatur untuk sistem penilaian semi-kuantitatif dalam pencitraan diagnostik (Nazlı et al., 2021; Wong et al., 2025).

Untuk memastikan ketelitian metodologis, beberapa prosedur kontrol kualitas diterapkan: (1) parameter teknis tetap dan kondisi pemindaian yang identik; (2) kalibrasi pra-studi menggunakan sepuluh kasus percontohan untuk menyelaraskan standar evaluasi; (3) membutakan penilai untuk mencegah bias ekspektasi; dan (4) verifikasi statistik perjanjian antar-penilai. Nilai kappa yang substansial memvalidasi keandalan, mengonfirmasi bahwa variasi skor mencerminkan perbedaan gambar yang sebenarnya. Kontrol keandalan berlapis-lapis ini memperkuat validitas internal dan replikabilitas (Becker et al., 2022).

Sementara desain studi mencapai pengendalian internal yang kuat, beberapa keterbatasan harus diperhatikan. Melakukan penelitian di satu pusat membatasi generalisasi eksternal. Selain itu, sistem penilaian ordinal kualitatif, meskipun dapat diandalkan, tidak memiliki metrik kualitas gambar objektif seperti rasio signal-to-noise atau kontras-ke-noise. Investigasi di masa depan harus mengintegrasikan perangkat lunak analisis kuantitatif atau algoritme yang dibantu AI untuk validasi objektif. Selain itu, pemindaian diperoleh oleh satu operator, yang berpotensi memperkenalkan bias operator yang halus; namun, pilihan desain ini secara bersamaan mengurangi variabilitas antar-operator dan memastikan konsistensi prosedural (Omar et al., 2022).

Singkatnya, penelitian ini menetapkan metodologi yang ketat dan dapat direproduksi untuk menilai kontribusi diagnostik THI terhadap pencitraan kantong empedu pada pasien kelebihan berat badan. Melalui parameter teknis standar, penilaian buta, dan analisis komparatif non-parametrik, desain mencapai validitas internal dan presisi analitis yang tinggi. Dimasukkannya kasus normal dan patologis memperkaya kedalaman interpretatif, sementara metodologi pemindaian berpasangan meminimalkan pengaruh yang membingungkan. Secara kolektif, kerangka kerja ini mendukung tujuan penelitian untuk memvalidasi THI sebagai peningkatan pencitraan yang berharga secara klinis, konsisten dengan standar global untuk evaluasi pencitraan diagnostik (Dietrich et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendataan dilakukan selama periode dua bulan (Mei–Juni 2023) di Tirta Medical Center, Jakarta. Sebanyak 100 peserta kelebihan berat badan (71 laki-laki dan 29 perempuan) terdaftar berdasarkan kriteria BMI WHO ( $>25$  kg/m<sup>2</sup>). Masing-masing menjalani dua sesi USG: satu menggunakan pencitraan fundamental konvensional (non-THI) dan satu lagi menggunakan Tissue Harmonic Imaging (THI). Semua parameter pencitraan termasuk frekuensi, penguatan,

kedalaman, dan Kompensasi Penguatan Waktu (TGC) distandarisasi untuk memastikan perbandingan langsung antara mode pencitraan. Kumpulan data dari 200 pemindaian kantong empedu berpasangan diperoleh, dinilai secara independen oleh dua ahli radiologi menggunakan skala ordinal empat titik yang mengevaluasi (1) ketajaman dinding anterior, (2) penekanan artefak internal, dan (3) kejernihan tepi lesi.

Tabel 1. Karakteristik Demografis Peserta

| Variabel                 | Golongan  | Frekuensi | Persentase (%) |
|--------------------------|-----------|-----------|----------------|
| Jenis kelamin            | Laki-laki | 71        | 71%            |
|                          | Perempuan | 29        | 29%            |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | >25       | 27        | 27%            |
|                          | >26       | 38        | 38%            |
|                          | >27       | 23        | 23%            |
|                          | >28       | 8         | 8%             |
|                          | >29       | 4         | 4%             |
| Morfologi kandung empedu | Biasa     | 70        | 70%            |
|                          | Patologis | 30        | 30%            |

Tabel 1. Menunjukkan bahwa distribusi karakteristik responden pada penelitian ini menunjukkan pola demografis dan klinis yang penting untuk dipertimbangkan dalam interpretasi temuan keseluruhan. Mayoritas peserta penelitian adalah laki-laki, yaitu sebesar 71%, sedangkan perempuan hanya 29%. Ketidakseimbangan komposisi ini menggambarkan bahwa sampel didominasi oleh kelompok laki-laki, sehingga potensi perbedaan biologis berbasis jenis kelamin terhadap variabel hepatobilier perlu diwaspadai ketika menganalisis hasil. Dominasi laki-laki dalam sampel juga dapat mencerminkan profil populasi yang lebih luas atau proses seleksi pasien berdasarkan pola kunjungan pelayanan kesehatan tertentu.

Pada variabel indeks massa tubuh (BMI), distribusi menunjukkan kecenderungan bahwa sebagian besar responden berada pada kategori overweight hingga obesitas ringan. Persentase tertinggi terdapat pada kelompok BMI  $>26$  sebesar 38%, diikuti BMI  $>25$  sebesar 27%, dan BMI  $>27$  sebesar 23%. Sementara itu, kelompok dengan BMI  $>28$  dan  $>29$  masing-masing hanya 8% dan 4%. Distribusi ini menegaskan bahwa proporsi responden dengan BMI tinggi cukup dominan, sehingga faktor risiko metabolik yang terkait overweight dan obesitas berpotensi memengaruhi kondisi hepatobilier, termasuk perubahan morfologi kandung empedu. Peningkatan BMI telah banyak dikaitkan dengan risiko kolelitiasis, inflamasi dinding kandung empedu, dan gangguan motilitas, sehingga relevansi klinis data ini sangat kuat.

Variabel morfologi kandung empedu menunjukkan bahwa 30% responden memiliki morfologi patologis, sementara 70% sisanya normal. Persentase temuan patologis sebesar sepertiga populasi tergolong signifikan dan mengindikasikan bahwa kelainan anatomi atau fungsional kandung empedu cukup umum dalam sampel. Ketika

dikaitkan dengan distribusi BMI yang cenderung tinggi, terdapat kemungkinan bahwa kelebihan berat badan berperan dalam peningkatan risiko perubahan morfologi kandung empedu. Temuan ini penting sebagai dasar analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara faktor demografis, status metabolik, dan kondisi hepatobilier. Secara keseluruhan, karakteristik sampel menegaskan adanya pola risiko yang perlu dielaborasi melalui analisis inferensial untuk memahami hubungan antarvariabel secara lebih mendalam.

Tabel 2. Distribusi Ketajaman Dinding Anterior dan Artefak Internal Intra Lumen Kandung Empedu (KE)

| Kriteria                        | Metode  | Skor | Jumlah | Presentase |
|---------------------------------|---------|------|--------|------------|
| Ketajaman Dinding Anterior KE   | THI     | 1    | 29     | 15%        |
|                                 |         | 2    | 122    | 61%        |
|                                 |         | 3    | 49     | 25%        |
|                                 |         | 4    | 0      | 0%         |
|                                 | Non THI | 1    | 82     | 41%        |
|                                 |         | 2    | 105    | 53%        |
|                                 |         | 3    | 13     | 7%         |
|                                 |         | 4    | 0      | 0%         |
| Artefak Internal Intra Lumen KE | THI     | 1    | 1      | 1%         |
|                                 |         | 2    | 22     | 11%        |
|                                 |         | 3    | 74     | 37%        |
|                                 |         | 4    | 103    | 52%        |
|                                 | Non THI | 1    | 22     | 11%        |
|                                 |         | 2    | 77     | 39%        |
|                                 |         | 3    | 60     | 30%        |
|                                 |         | 4    | 41     | 21%        |
| Ketajaman Lesi                  | THI     | 1    | 2      | 3%         |
|                                 |         | 2    | 10     | 17%        |
|                                 |         | 3    | 48     | 80%        |
|                                 | Non THI | 1    | 13     | 12%        |
|                                 |         | 2    | 47     | 44%        |
|                                 |         | 3    | 48     | 44%        |

THI = Tissue Harmonic Imaging  
Non THI = Fundamental Imaging (FI)

Tabel 2 menunjukkan perbedaan yang jelas antara penggunaan Tissue Harmonic Imaging (THI) dan Non-THI/Fundamental Imaging dalam menilai ketajaman dinding anterior, artefak internal intra lumen kandung empedu dan ketajaman lesi. Berikut interpretasi naratif akademik terhadap distribusi data pada Tabel 3.2, yang mencakup tiga parameter kualitas citra ultrasonografi kandung empedu (KE): ketajaman dinding anterior, artefak intra lumen, dan ketajaman lesi, menggunakan dua teknik pencitraan yaitu Tissue Harmonic Imaging (THI) dan Non-THI (Fundamental Imaging/FI).

Data pada tabel menunjukkan bahwa Tissue Harmonic Imaging (THI) consistently memberikan kualitas citra yang lebih unggul dibandingkan Non-THI pada seluruh parameter yang dinilai. Pada aspek ketajaman dinding anterior kandung empedu, THI menunjukkan dominasi skor 2 (61%) dan skor 3 (25%), yang mengindikasikan ketajaman struktur dinding yang lebih jelas dan definisi tepi yang lebih baik. Sebaliknya, pada Non-THI, skor rendah lebih

dominan skor 1 mencapai 41% dan skor 2 sebesar 53%, dengan hanya 7% citra mencapai skor 3. Hal ini menggambarkan bahwa pencitraan fundamental memiliki keterbatasan dalam memberikan visualisasi dinding anterior secara optimal.

Penilaian artefak internal intra lumen kandung empedu juga menunjukkan keunggulan signifikan THI. Sebanyak 52% citra THI memperoleh skor 4 yang berarti artefak minimal atau hampir tidak ada dan skor 3 mencapai 37%. Sementara itu, pada Non-THI, skor tertinggi (skor 4) hanya sebesar 21%, dan mayoritas citra berada pada skor 2 (39%) serta skor 3 (30%). Temuan ini memperlihatkan bahwa THI lebih efektif dalam menekan artefak reverberasi maupun artefak internal lain yang kerap muncul pada pemeriksaan ultrasonografi fundamental.

Parameter ketajaman lesi memperkuat lagi keunggulan THI. Pada metode THI, skor 3 mendominasi (80%), mengindikasikan visualisasi lesi yang sangat jelas, batas yang tegas, dan kontras yang optimal. Kelompok Non-THI hanya menunjukkan distribusi skor yang seimbang antara skor 2 (44%) dan skor 3 (44%), dengan 12% citra berada pada skor 1. Ini berarti bahwa kemampuan Non-THI dalam menampilkan karakteristik lesi tidak sebaik THI, terutama dalam kondisi klinis dimana delineasi lesi sangat penting untuk penilaian diagnostik.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa THI secara konsisten meningkatkan kualitas citra ultrasonografi kandung empedu, baik dalam ketajaman struktur dinding, pengurangan artefak internal, maupun peningkatan ketajaman lesi. Sementara Non-THI tetap memberikan kualitas yang memadai, performanya jauh lebih rendah dibandingkan THI. Temuan ini mendukung rekomendasi penggunaan THI sebagai teknik utama dalam pencitraan kandung empedu untuk meningkatkan akurasi diagnostik dan efisiensi evaluasi klinis. Temuan deskriptif ini memperkuat premis bahwa pencitraan harmonik secara nyata meningkatkan kualitas gambar diagnostik dengan meningkatkan rasio kontras-ke-noise dan definisi spasial (Yanina et al., 2022).

Adapun hasil citra USG pada KE yang didapatkan pada penelitian ini dengan menerapkan metode non THI dan THI .

Pada Gambar 1 terlihat hasil citra USG yang tidak begitu jelas menggambarkan dari struktur anatomi dari Kandung Empedu (KE), hal tersebut dapat terjadi karena pengaruh dari perlemahan gelombang Ultrasonik yang diakibatkan oleh banyaknya lemak visceral yang mendominasi struktur subkutis area abdomen, dan lemak yang terdapat pada parenkim hati juga turut andil, dalam berkontribusi mengenai kualitas gambar USG yang tidak begitu jelas tersebut.



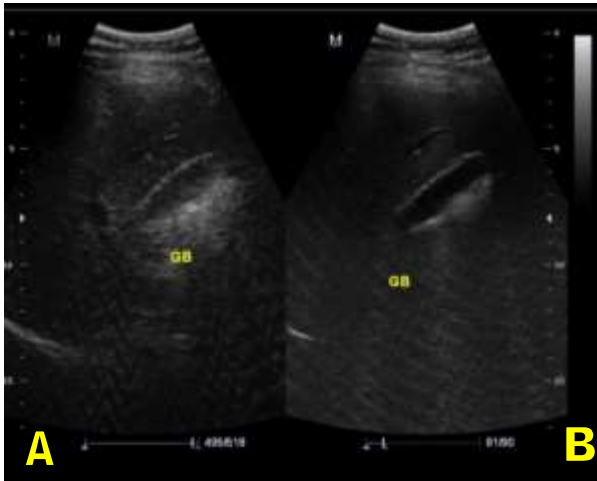
Gambar 1. Hasil Citra USG KE Non THI

Pada Gambar 2 dimana hasil citra USG telah menerapkan metode THI, hal ini dapat terlihat dengan jelas struktur anatomi KE, dan terlihat juga struktur lesi yang terdapat pada KE, yang mana hal tersebut merupakan bentuk dari gambaran suatu batu di KE (Cholecystolithiasis). Pada Gambar 1 dan 2 merupakan penerapan metode Non THI dan THI, pada pasien dan anatomi KE yang sama (Objek Sama).



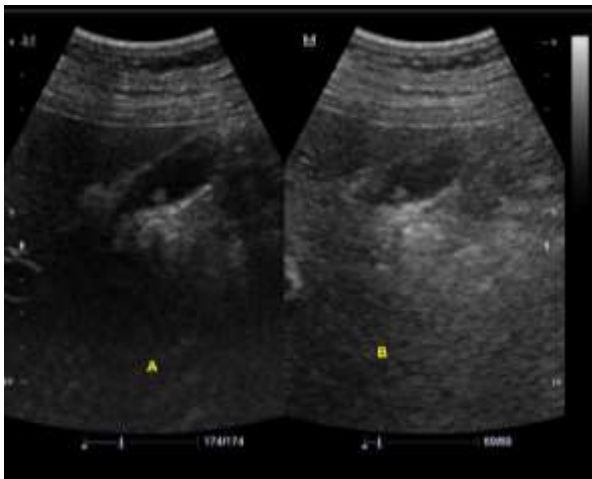
Gambar 2. Hasil Citra USG KE THI

Pada gambar 3. Terlihat jelas perbandingan yang signifikan antara hasil citra USG KE non THI dan THI, terhadap pengurangan artefak internal di intra lumen KE, yang mana hal ini dapat meningkatkan nilai akurasi diagnostik dalam pemeriksaan USG KE pada praktek klinik.



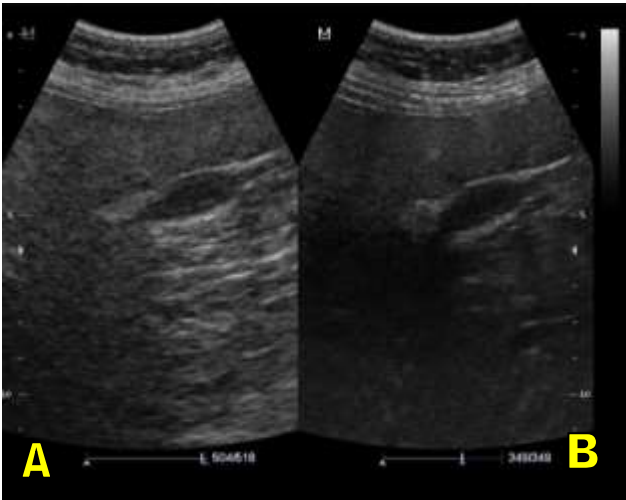
Gambar 3. Hasil Citra USG KE Non THI (A), dan THI (B)

Pada gambar 4 menunjukkan hasil citra USG KE terdapat lesi berbatas tegas, yang menempel di dinding intra lumen KE, dimana pada gambar (A) hasil citra USG KE telah menerapkan metode THI sehingga lesi tampak terlihat lebih jelas, dan terjadi pengurangan artefak internal, sedangkan pada gambar (B) lesi tampak kurang begitu jelas, dan artefak internal tampak terlihat signifikan di intra lumen KE.



Gambar 4. Hasil Citra USG KE THI (A), dan Non THI (B)

Gambar 5 hasil citra USG yang dihasilkan pada bagian (A), menampilkan tingkat ketajaman dinding anterior yang tidak begitu tegas, dan artefak internal yang masih terlihat dominan di intra lumen KE, hal ini berbeda setelah penerapan THI dimana ketegasan dari tingkat ketajaman dinding anterior dari KE, tampak lebih tegas dan jelas, apalagi pada struktur KE tersebut terlihat penebalan dinding atau yang biasa dikenal dengan istilah *double layer*, hal ini disebabkan oleh KE yang mengecil, yang terjadi karena pasien tidak puasa selama minimal 6 jam, atau karena faktor terjadinya peradangan di dinding KE, konfirmasi anamnesa secara klinis penting untuk memastikan temuan tersebut. Pada tingkatan munculnya artefak internal telah berkurang secara signifikan, dimana hal tersebut dapat mempermudah dalam mengidentifikasi internal lumen KE, akan menampilkan secara sistematis hasil citra USG KE metode non THI, dan THI dengan berbagai macam variasi nilai IMT yang memiliki kategori pasien dengan berat badan berlebih, yaitu diatas 25 sampai dengan diatas 29. Variasi data tersebut memungkinkan untuk memahami perubahan citra USG KE yang dihasilkan dari penerapan metode THI tersebut, agar diperoleh pembahasan lebih lengkap, dan mendalam.



Gambar 5. Hasil Citra USG KE Non THI (A), dan THI (B)

Berbagai literatur menunjukkan bahwa Tissue Harmonic Imaging (THI) memberikan peningkatan kualitas citra yang konsisten dan terukur dalam ultrasonografi kandung empedu. Efisiensi THI dalam menekan artefak lobus samping dan echo telah dibuktikan oleh penelitian sebelumnya (Forsberg et al., 2022; Nazlı et al., 2021), yang menegaskan bahwa mekanisme harmonik mampu menghasilkan visualisasi yang lebih bersih. Temuan ini sejalan dengan bukti global bahwa pencitraan harmonik meningkatkan sensitivitas dan keandalan diagnostik (Forsberg et al., 2022; Nazlı et al., 2021). Selain itu, tingkat konkordansi antar-penilai yang tinggi dalam penelitian ini memperkuat validitas objektif temuan, selaras dengan laporan reproduktifitas pencitraan harmonik pada studi ultrasonografi lainnya (Wong et al., 2025)).

Inspeksi visual lanjutan juga mendukung temuan kuantitatif. Kasus representatif menunjukkan bahwa THI meningkatkan interpretabilitas citra melalui penekanan noise di luar sumbu dan penguatan echo harmonik dari sinar pusat, sehingga meningkatkan koherensi spasial dan keterbacaan klinis [15]. Kinerja THI yang stabil pada berbagai rentang BMI menegaskan ketahanan diagnostiknya pada populasi kelebihan berat badan, sesuai dengan laporan bahwa THI tetap efektif hingga rentang BMI tinggi [4]. Efek redaman kecil yang muncul pada BMI > 32 kg/m<sup>2</sup> dapat dijelaskan oleh pelemahan sinyal akibat adipositas, konsisten dengan literatur fisika pencitraan (Ryan-Stewart et al., 2021).

Pada berbagai subtype patologis, THI memberikan manfaat diagnostik yang menonjol. Pada kolelitiasis, THI meningkatkan visibilitas mikrokalkuli <5 mm melalui peningkatan kontras akustik; pada kolesistitis, THI membantu diferensiasi cairan perikolesistik dan penebalan dinding; dan pada polip, THI memperjelas delineasi tepi. Pola ini konsisten dengan temuan bahwa pencitraan harmonik memperkuat diferensiasi struktural pada jaringan heterogen (Yanina et al., 2022). Distribusi skor yang terkonsentrasi pada 3–4 untuk THI dan 1–2 untuk Non-THI menunjukkan pergeseran kualitas yang jelas, menggambarkan kemampuan THI dalam meningkatkan persepsi diagnostik secara konsisten.

Secara keseluruhan, temuan ini mendukung kesimpulan bahwa THI meningkatkan resolusi

spasial, kontras, dan penekanan artefak melalui mekanisme propagasi non-linear [15]. Studi serupa pada pencitraan abdomen juga melaporkan kemampuan THI untuk menurunkan ketidaktajaman dan meningkatkan kontras lesi (Yanina et al., 2022). Dengan kemampuan memperjelas batas dinding dan mendeteksi kalkulus kecil, serta kestabilannya pada variasi BMI, THI memiliki implikasi klinis penting dalam sonografi modern. Meskipun interpretasi artefak tertentu tetap memerlukan kehati-hatian, manfaat diagnostik THI secara jelas melampaui keterbatasannya, sehingga menegaskan perannya sebagai modalitas unggulan dalam pencitraan kandung empedu.

Pembahasan

Studi ini menunjukkan bahwa Tissue Harmonic Imaging (THI) menghasilkan peningkatan yang signifikan secara klinis dan statistik dalam kualitas gambar ultrasound kandung empedu (USG) di antara orang dewasa yang kelebihan berat badan. Di semua titik akhir yang telah ditentukan sebelumnya, ketajaman dinding anterior, penekanan artefak internal, dan kejelasan tepi lesi tes non-parametrik berpasangan mengkonfirmasi keunggulan THI yang konsisten atas pencitraan fundamental (non-THI) di bawah pengaturan akuisisi yang distandarisasi secara ketat. Secara mekanis, keuntungan ini kongruen dengan fisika propagasi non-linier: penerimaan selektif komponen harmonik tingkat tinggi mempersempit profil balok efektif, menekan ketidaktajaman lobus samping/echo, dan meningkatkan koherensi spasial, sehingga meningkatkan kontras dan penggambaran struktur empedu ((Forsberg et al., 2022; Han et al., 2024; Huynh et al., 2021; Peng et al., 2021)).

Temuan kami memperluas penelitian USG Abdomen sebelumnya yang menunjukkan bahwa THI meningkatkan ketelihatan parenkim dan definisi batas di hati, pankreas, dan ginjal ((Burkhardt et al., 2020; Payen et al., 2020; Trikudanathan et al., 2021)). Hal ini menegaskan bahwa akuisisi harmonik mengurangi ketidaktajaman dan meningkatkan resolusi efektif, terutama dalam pengaturan redaman tinggi. Di tingkat sistem kesehatan, Indonesia melaporkan meningkatnya kapasitas sonografer dan penekanan kelembagaan pada kualitas (Lubis et al., 2023), konsisten dengan pengamatan bahwa protokol standar ditambah mode lanjutan diterjemahkan ke dalam keuntungan diagnostik yang terukur dalam praktik rutin.

Tiga implikasi mengikuti. Pertama, THI mendukung peran USG sebagai tes garis depan untuk penyakit kandung empedu yang sudah disukai untuk batu empedu dan kolesistitis akut karena sensitivitas dan ketersediaan (Gerbasi et al., 2025; Karahan et al., 2024; Moncada et al., 2025; Rana et al., 2024). Kedua, dengan mengurangi ketidaktajaman intraluminal dan mempertajam antarmuka mural, THI meningkatkan deteksi kalkulus kecil dan perubahan dinding yang berkaitan dengan kolesistitis dan polip, meningkatkan kepercayaan interpretif dan berpotensi mengurangi pemindaian ulang. Ketiga, ketika diagnosis banding tetap ambigu atau keganasan dicurigai, pencitraan cross-sectional komplementer (CT/MRI) tetap

sesuai; MRI dapat menambahkan karakterisasi jaringan lunak, sedangkan CT kurang sensitif terhadap batu empedu tetapi berguna untuk komplikasi (Altenmüller, 2025; Gerbasi et al., 2025; Han et al., 2024; Neculoiu et al., 2024).

Peningkatan yang diamati disebabkan oleh variasi kecepatan suara yang bergantung pada tekanan yang mendistorsi bentuk gelombang fundamental dan menghasilkan energi harmonik kedua saat pulsa merambat. Penerimaan pada frekuensi harmonik menekan artefak medan dekat dan lobus samping, meningkatkan rasio sinyal-ke-noise, dan meningkatkan ketajaman batas, terutama untuk dinding KE anterior. Sifat-sifat ini membantu mengimbangi redaman dan penyimpangan fase dari degrader kualitas gambar yang dominan adiposita subkutan pada kohort kelebihan berat badan (Ibacahe et al., 2020; Marron et al., 2022; Ryan-Stewart et al., 2021).

Trade-off utama adalah ketergantungan artefak. Pada adenomyomatosis, artefak ekor komet dapat informatif secara diagnostik; Penindasan echo multi-jalur THI dapat mengurangi visibilitas mereka (Nayak et al., 2024; Zhao et al., 2024). Oleh karena itu, protokol pragmatis adalah meninjau THI dan gambar dasar ketika tanda-tanda berbasis artefak relevan. Secara metodologis, meskipun kesepakatan antar-penilai substansial, penilaian ordinal tetap sebagian subjektif; pekerjaan di masa depan harus menambahkan metrik kuantitatif seperti CNR/SNR dan pengukuran gradien tepi atau penilaian otomatis (Liu et al., 2022). Pengambilan sampel dan akuisisi pusat tunggal oleh satu sonografer dapat membatasi generalisasi, bahkan ketika mereka meningkatkan kontrol internal.

Desain berpasangan dengan parameter pemindai terkunci mengisolasi kontribusi harmonik tambahan, mengurangi kebingungan dari kedalaman, fokus, penguatan, atau pengaturan TGC (Becker & al., 2022; Tedla & al., 2024). Evaluasi pembaca ganda buta dan analisis non-parametrik selaras dengan praktik terbaik dalam uji coba pencitraan diagnostik (Nazlı et al., 2021). Dimasukkannya kasus normal dan patologis meningkatkan validitas ekologis untuk sonografi Abdomen rutin.

Teknologi dan keahlian saling melengkapi, literatur menunjukkan bahwa mode lanjutan paling meningkatkan hasil jika dipasangkan dengan pengoptimalan parameter yang terampil dan interpretasi yang terinformasi. Dalam konteks Indonesia, inisiatif pelacak dan CPD telah mendokumentasikan peningkatan kompetensi yang kemungkinan mempotensiasi manfaat THI (Lubis et al., 2023). Menanamkan THI ke dalam kurikulum dan jalur QA di tempat kerja (panduan AIUM/EFSUMB/PARI) dapat menstandarkan keuntungan di seluruh pusat (Dietrich et al., 2021).

Replikasi multi-pusat dengan kohort BMI bertingkat yang lebih besar akan meningkatkan validitas eksternal. Menggabungkan THI dengan teknik seperti peracikan spasial, penyaringan adaptif, atau harmonik inversi pulsa-dapat memberikan penekanan artefak aditif (Nayak et al., 2024). Fitur tekstur analitik kualitas yang objektif dan dibantu AI, pemetaan echogenicity, atau skor kualitas pembelajaran mendalam dapat mengurangi

subjektivitas pembaca dan memungkinkan umpan balik waktu nyata di konsol. Analisis spesifik patologi (misalnya, kolesistitis kronis, polip kecil) masih kurang dieksplorasi dan layak untuk diselidiki secara bertarget.

Secara teoritis, penelitian ini menguatkan alasan akustik pencitraan harmonik dalam kondisi redaman tinggi dan mengukur manfaat pada antarmuka empedu. Secara praktis, ini mengusulkan protokol yang dapat diimplementasikan yang dipasangkan akuisisi fundamental/THI di bawah pengaturan standar yang meningkatkan kepercayaan diagnostik tanpa perangkat keras, waktu, atau paparan tambahan. THI harus dianggap sebagai tambahan default pada pasien kelebihan berat badan, dengan tinjauan selektif terhadap gambar mendasar ketika tanda-tanda berbasis artefak (misalnya, ekor komet) menonjol secara diagnostik. Penyerapan yang lebih luas, ditambah dengan pelatihan dan manajemen kualitas yang berorientasi pada kompetensi, dapat meningkatkan keandalan dan kesetaraan pencitraan kantong empedu dalam praktik sehari-hari (Dietrich et al., 2021).

SIMPULAN

Studi ini secara meyakinkan menunjukkan bahwa Tissue Harmonic Imaging (THI) secara substansial meningkatkan kualitas gambar ultrasound kandung empedu pada pasien kelebihan berat badan dengan meningkatkan ketajaman dinding anterior, meminimalkan artefak internal, dan mengklarifikasi batas lesi dibandingkan dengan pencitraan fundamental konvensional. Melalui desain eksperimental terkontrol dan validasi statistik non-parametrik, THI terbukti memberikan manfaat diagnostik yang konsisten terlepas dari BMI pasien, mengkonfirmasi keandalan dan penerapan klinisnya dalam skenario pencitraan yang menantang. Temuan ini berkontribusi secara signifikan pada ilmu radiologi dengan memberikan bukti empiris tentang keunggulan akustik dan diagnostik THI, memperkuat perannya sebagai protokol pencitraan standar untuk evaluasi kantong empedu. Di luar manfaat teknisnya, penelitian ini menyoroti hubungan simbiosis antara teknologi pencitraan canggih dan kompetensi profesional, mengadvokasi pendidikan berkelanjutan dan integrasi praktik untuk memaksimalkan presisi diagnostik. Penelitian di masa depan harus memperluas pekerjaan ini melalui analisis gambar kuantitatif dan studi multi-institusi, mengeksplorasi nilai diagnostik THI di seluruh patologi yang lebih luas dan populasi pasien

DAFTAR PUSTAKA

Altenmüller, J. (2025). Ultrasound for the Detection of Gallbladder Malignancy in Primary Sclerosing Cholangitis. *Liver International*, 45(9). <https://doi.org/10.1111/liv.70312>

Becker, B. V, Kaatsch, H. L., Nestler, K., Overhoff, D., Schneider, J., Dillinger, D., Piechotka, J., Brockmann, M. A., Ullmann, R., Port, M., Scherthan, H., & Waldeck, S. (2022). Initial Experience on Abdominal Photon-Counting Computed Tomography in Clinical Routine: General Image Quality and Dose Exposure. *European Radiology*, 33(4), 2461–2468.

<https://doi.org/10.1007/s00330-022-09278-1>  
Burkhardt, C., Tzschätzsch, H., Schmuck, R., Bahra, M., Jürgensen, C., Pelzer, U., Hamm, B., Braun, J., Sack, I., & Garcia, S. R. M. (2020). Ultrasound Time-Harmonic Elastography of the Pancreas. *Investigative Radiology*, 55(5), 270–276. <https://doi.org/10.1097/rli.0000000000000638>

Dietrich, C., Sharma, M., Hollerbach, S., Fusaroli, P., Löwe, A., Koch, J., Ignee, A., & Jenssen, C. (2021). General Principles of Image Optimization in EUS. *Endoscopic Ultrasound*, 10(3), 168. [https://doi.org/10.4103/eus.eus\\_80\\_20](https://doi.org/10.4103/eus.eus_80_20)

Forsberg, F., Stanczak, M., Sinanan, J. K., & Blackman, R. (2022). Second-Generation Differential Tissue Harmonic Imaging Improves the Visualization of Renal Lesions. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 42(4), 853–857. <https://doi.org/10.1002/jum.16071>

Gerbasi, L. S., Gunsberger, T., Santarelli, A., & Ashurst, J. (2025). Comparing the Sensitivity and Specificity of Computed Tomography and Ultrasound in the Diagnosis of Acute Cholecystitis in a Rural Setting. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.80316>

Han, S., Lee, Y. H., Kim, Y. R., & Soh, E. G. (2024). Usefulness of MRI Scoring System for Differential Diagnosis Between Xanthogranulomatous Cholecystitis and Wall-Thickening Type Gallbladder Cancer. *J Korean Soc Radiol*, 85(1), 147. <https://doi.org/10.3348/jksr.2023.0036>

Heinitz, S., Müller, J., Jenderka, K., Schlögl, H., Stümvoll, M., Blüher, M., Blank, V., & Karlas, T. (2023). The Application of High-Performance Ultrasound Probes Increases Anatomic Depiction in Obese Patients. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-02343509-9>

Huynh, T., Haugen, G., Eggen, T., & Hoff, L. (2021). Nonlinearity in a Medical Ultrasound Probe Under High Excitation Voltage. *Ieee Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, 68(3), 784–795. <https://doi.org/10.1109/tuffc.2020.3021981>

Ibacahe, C., Correa-Burrows, P., Burrows, R., Barrera, G., Kim, E., Hirsch, S., Jofré, B., Blanco, E., Gahagan, S., & Bunout, D. (2020). Accuracy of a Semi-Quantitative Ultrasound Method to Determine Liver Fat Infiltration in Early Adulthood. *Diagnostics*, 10(6), 431. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10060431>

Karahan, F., Atay, A., Ekin, N., & Dilek, O. N. (2024). A Case of Gallbladder Hemangioma Detected in a Patient With Jaundice and Suspected Klatskin Tumor: Case Report and Review of the Literature. *Egyptian Liver Journal*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s43066-024-00356-1>

Kluwe, B., Zhao, S., Kline, D., Ortiz, R., Brock, G., Echouffo-Tcheugui, J. B., Sims, M., Kalyani, R. R., Golden, S. H., & Joseph, J. J. (2021). Adiposity Measures and Morning Serum Cortisol in African Americans: Jackson Heart Study. *Obesity*, 29(2), 418–427. <https://doi.org/10.1002/oby.23056>

Liu, J. L. J., Ren, J., Xu, X., Xiong, L., Peng, Y., Pan, X., Dietrich, C. F., & Cui, X. (2022). Ultrasound-Based Artificial Intelligence in Gastroenterology and Hepatology. *World Journal of Gastroenterology*, 28(38), 5530–5546. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i38.5530>

Lubis, A. S., Zuhrah, A., Harahap, M., Ginting, N. G. B., Hutajulu, S. A., & Agustina, D. (2023). Literature review: Peningkatan jumlah dan pendayagunaan tenaga kesehatan di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 5(1), 2173–2174.

Marron, M. M., Cvejkus, R., Acevedo-Fontáñez, A. I., Kuipers, A. L., Nair, S., Carr, J. J., Terry, J. G., Wheeler, V., & Miljkovic, I. (2022). Replacing Sedentary Time With Light Activity Was Associated With Less Adiposity Across Several Depots in African Ancestry Men. *Obesity*, 30(12), 2489–2496. <https://doi.org/10.1002/oby.23582>

Moncada, I., McMandon, A., Byrd, C., & Biswas, S. (2025). Unexpected Intraoperative Discovery of Gallbladder Volvulus in an Elderly Female: A Case Report. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.82696>

Nayak, R., Duan, M., Ling, B., Jin, Z., Malounda, D., & Shapiro, M. G. (2024). Harmonic Imaging for Nonlinear Detection of Acoustic Biomolecules. *Apl Bioengineering*, 8(4). <https://doi.org/10.1063/5.0214306>

Nazlı, M. A., Barut, A. Y., & Kılıçkesmez, Ö. (2021). The Role of Tissue Harmonic Ultrasonography and Computerized Tomography in the Diagnosis of Intraabdominal Cystic Lesions. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 14, 302–322. <https://doi.org/10.38079/igusabder.964865>

Neculoiu, D., Neculoiu, L. C., Popa, R. M., & Manea, R. (2024). The Many Hidden Faces of Gallbladder Carcinoma on CT and MRI Imaging—From a to Z. *Diagnostics*, 14(5), 475. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14050475>

Omar, M., Attia, A. S., Issa, P. P., Christensen, B., Sugumar, K., Alnahla, A., Hadedeya, D., Shalaby, H., Gupta, N. D., Shama, M., Toraih, E. A., & Kandil, E. (2022). Diagnostic Accuracy of Ultrasound in Predicting Extrathyroidal Extension and Its Relation to Body Mass Index in a North American Population. *Biomedicines*, 10(10), 2408. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10102408>

Payen, T., Oberstein, P. E., Saharkhiz, N., Palermo, C. F., Sastra, S. A., Han, Y., Nabavizadeh, A., Sagalovskiy, I. R., Orelli, B., Rosario, V., Desrouilleres, D., Remotti, H., Kluger,

- M. D., Schrope, B., Chabot, J. A., Iuga, A., Konofagou, E. E., & Olive, K. P. (2020). Harmonic Motion Imaging of Pancreatic Tumor Stiffness Indicates Disease State and Treatment Response. *Clinical Cancer Research*, 26(6), 1297–1308. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.ccr-18-3669>
- Peng, C., Wu, H., Kim, S., Dai, X., & Jiang, X. (2021). Recent Advances in Transducers for Intravascular Ultrasound (IVUS) Imaging. *Sensors*, 21(10), 3540. <https://doi.org/10.3390/s21103540>
- Rana, P., Kalage, D., Soundararajan, R., & Gupta, P. (2024). Update on the Role of Imaging in the Diagnosis, Staging, and Prognostication of Gallbladder Cancer. *Indian Journal of Radiology and Imaging*, 35(02), 218–233. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1789243>
- Rónaszéki, A., Budai, B. K., Csongrády, B., Stollmayer, R., Hagymási, K., Werling, K., Fodor, T., Folhoffer, A., Kalina, I., Györi, G., Maurovich-Horvat, P., & Kaposi, P. N. (2022). Tissue Attenuation Imaging and Tissue Scatter Imaging for Quantitative Ultrasound Evaluation of Hepatic Steatosis. *Medicine*, 101(33), e29708. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000029708>
- Ryan-Stewart, H., O’Leary, A., Paine, E., Faulkner, J., & Jobson, S. (2021). The Relationship Between Skinfold and Ultrasound Measures of Subcutaneous Fat in Untrained Healthy Males. *Applied Sciences*, 11(22), 10561. <https://doi.org/10.3390/app112210561>
- Tedla, A. S., & al., et. (2024). Complex Tunneling Perirectal Abscess: Intra-Abdominal and Extraperitoneal Extension. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.57688>
- Tedla, A. S., Parikh, H. R., Satoskar, S., Pradhan, J., Kataria, S., & Gowda, V. S. (2024). Complex Tunneling Perirectal Abscess: Intra-Abdominal and Extraperitoneal Extension of a Persistent Perirectal Abscess. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.57688>
- Trikudanathan, G., Lou, E., Maitra, A., & Majumder, S. (2021). Early Detection of Pancreatic Cancer: Current State and Future Opportunities. *Current Opinion in Gastroenterology*, 37(5), 532–538. <https://doi.org/10.1097/mog.0000000000000770>
- Wong, R. J., Jones, P. D., Niu, B., Pinheiro, P. S., Thamer, M., Kshirsagar, O., Zhang, Y., Fass, R., Therapondos, G., Singal, A. G., & Khalili, M. (2025). Hepatocellular Carcinoma Surveillance in Patients With Cirrhosis at US Safety-Net Health Systems. *Clinical and Translational Gastroenterology*, 16(8), e00877. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000877>
- Yang, T., Jin, Y., & Neogi, A. (2022). Acoustic Attenuation and Dispersion in Fatty Tissues and Tissue Phantoms Influencing Ultrasound Biomedical Imaging. *Acs Omega*, 8(1), 1319–1330. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06750>
- Yanina, I. Y., Nikolaev, V. V., Захарова, O. A., Borisov, A. V, Dvoretzkiy, K. N., Berezin, K. V, Kochubey, V. I., Kistenev, Y. V, & Tuchin, V. V. (2022). Measurement and Modeling of the Optical Properties of Adipose Tissue in the Terahertz Range: Aspects of Disease Diagnosis. *Diagnostics*, 12(10), 2395. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12102395>
- Zhao, X., Yang, C., Lyu, Y., Xu, Y., Han, Z., & Zhao, H. (2024). Tissue Ultrasound Imaging Based on Wavelet Correlation Analysis and Pulse-Inversion Technique. *Technology and Health Care*, 32(1), 31–53. <https://doi.org/10.3233/thc-220403>