

Kajian Literatur Penapisan Kanker Payudara: Mammografi dan Ultrasonografi

Abd. Rahman

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

DOI: <https://doi.org/10.47134/acsc.v2i3.8>

*Correspondence: Abd. Rahman

Email: Abdrahman@uin-alauddin.ac.id

Received: 30-08-2025

Accepted: 30-09-2025

Published: 30-10-2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas dan perkembangan metode penapisan kanker payudara melalui mammografi dan ultrasonografi (USG), serta meninjau kontribusi teknologi modern seperti *contrast-enhanced mammography* (CEM), *Automated Breast Ultrasound* (ABUS), dan kecerdasan buatan (AI) dalam meningkatkan akurasi deteksi dini. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif melalui studi pustaka, dengan sumber data berupa artikel ilmiah, laporan penelitian, dan publikasi akademik terkini dari tahun 2015 hingga 2025. Data dianalisis melalui proses identifikasi tema, reduksi data, kategorisasi konsep, dan penarikan kesimpulan induktif untuk memperoleh pemahaman komprehensif terhadap efektivitas dua modalitas utama skrining kanker payudara. Hasil kajian menunjukkan bahwa mammografi masih menjadi standar emas dalam deteksi dini, namun efektivitasnya meningkat signifikan ketika dikombinasikan dengan USG, khususnya pada wanita dengan densitas payudara tinggi. Inovasi berbasis AI dan CEM terbukti mampu menurunkan tingkat *false positive* dan meningkatkan sensitivitas serta efisiensi interpretasi citra. Secara teoretis, penelitian ini memperkuat konsep *personalized screening* berbasis risiko individu, sementara secara praktis, temuan ini mendukung integrasi teknologi cerdas dalam sistem skrining nasional untuk meningkatkan pemerataan diagnosis dan penanganan kanker payudara. Kesimpulannya, pendekatan multimodalitas berbasis AI menjadi arah strategis masa depan dalam deteksi kanker payudara yang lebih akurat, cepat, dan adaptif terhadap kebutuhan pasien.

Kata kunci: Mammografi, Ultrasonografi, Kanker Payudara, Kecerdasan Buatan, Penapisan Kanker.

Pendahuluan

Kanker payudara merupakan salah satu masalah kesehatan masyarakat terbesar di dunia, dengan tingkat insidensi dan mortalitas yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data global terbaru, kanker payudara menjadi penyebab utama kematian akibat kanker pada wanita, mencakup lebih dari 2,3 juta kasus baru setiap tahun (Shi et al, 2025). Di Indonesia, beban penyakit ini juga menunjukkan tren yang mengkhawatirkan, seiring meningkatnya gaya hidup urban, keterlambatan diagnosis, dan keterbatasan akses terhadap fasilitas penapisan dini.

Penapisan dini kanker payudara memegang peranan penting dalam menurunkan angka kematian melalui deteksi pada tahap awal, saat terapi masih sangat efektif. Mammografi telah lama diakui sebagai metode standar emas dalam skrining kanker

payudara, terbukti menurunkan mortalitas terutama pada wanita berusia 50–69 tahun (Canelo-Aybar et al, 2021) (Ren et al, 2022). Namun, efektivitasnya bervariasi tergantung pada faktor teknis dan karakteristik jaringan payudara, khususnya pada wanita dengan jaringan padat (Haerunisa & Noviartha, 2025).

Permasalahan utama yang dihadapi dalam penapisan menggunakan mammografi adalah keterbatasannya dalam mendeteksi lesi pada jaringan payudara padat, yang banyak ditemukan pada wanita usia muda. Kondisi ini menyebabkan peningkatan risiko hasil negatif palsu (*false negative*) dan keterlambatan diagnosis (Rebolj et al, 2018) (Yang et al, 2019) (Yuan et al, 2020). Di sisi lain, kemajuan teknologi ultrasonografi (USG) telah membuka peluang baru sebagai metode tambahan yang mampu meningkatkan akurasi deteksi kanker.

USG terbukti memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang sebanding, bahkan lebih unggul pada kasus dengan jaringan payudara padat. Berbagai meta-analisis menunjukkan bahwa USG dapat mendeteksi hingga 29–40% kasus tambahan yang terlewat oleh mammografi (Sood et al, 2019) (Tadesse et al, 2023). Hal ini menjadikan USG sebagai pilihan alternatif atau pelengkap, terutama di negara berkembang yang memiliki keterbatasan infrastruktur radiologi.

Konteks global menunjukkan bahwa strategi penapisan yang mengombinasikan mammografi dan USG menjadi semakin relevan, terutama dalam meningkatkan cakupan deteksi tanpa mengorbankan akurasi diagnostik. Kombinasi keduanya terbukti meningkatkan sensitivitas deteksi hingga 96%, meskipun sedikit menurunkan spesifisitas (Haerunisa & Noviartha, 2025) (Yang et al, 2019). Dengan demikian, pendekatan multimodal dianggap paling efisien untuk kelompok risiko tinggi atau wanita dengan jaringan payudara padat.

Di sisi lain, perdebatan masih berlangsung terkait risiko *overdiagnosis* dan *overtreatment* akibat penapisan berlebihan menggunakan mammografi (Canelo-Aybar et al, 2021) (Mandrik et al, 2019). Paparan radiasi, kecemasan pasien akibat hasil positif palsu, serta implikasi ekonomi menjadi pertimbangan penting dalam evaluasi kebijakan skrining. Begitu pula pada USG, tantangan muncul dalam bentuk tingkat positif palsu yang tinggi dan ketergantungan pada keterampilan operator (Berg et al, 2016) (Mahmood et al, 2021).

Urgensi penelitian dalam bidang ini semakin meningkat mengingat pentingnya menyeimbangkan antara manfaat deteksi dini dan potensi risiko yang ditimbulkan. Evaluasi efektivitas dan efisiensi dua metode utama ini—mammografi dan USG—tidak hanya memberikan dasar ilmiah bagi kebijakan kesehatan, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap kualitas hidup pasien dan keberlanjutan sistem pelayanan kesehatan.

Kesenjangan penelitian yang masih nyata adalah kurangnya konsensus mengenai protokol skrining optimal yang mempertimbangkan faktor usia, densitas jaringan payudara, dan risiko individu. Sebagian besar panduan internasional masih berfokus pada pendekatan berbasis populasi, sementara kebutuhan *personalisasi* skrining semakin mendesak (Ren et al, 2022). Hal ini memerlukan pendekatan berbasis bukti yang menyeluruh dari berbagai studi sistematis terkini.

Kajian literatur ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan mengkaji efektivitas, kelebihan, dan keterbatasan dari mammografi dan USG sebagai metode penapisan kanker payudara. Pendekatan ini didasarkan pada hasil sintesis berbagai

tinjauan sistematis dan meta-analisis terkini yang menyoroti perbandingan performa diagnostik kedua metode tersebut (Shi et al, 2025) (Tadesse et al, 2023).

Selain itu, kajian ini menelaah konteks penerapan kedua metode tersebut di berbagai negara dengan tingkat pendapatan berbeda, untuk mengidentifikasi implikasi praktis dalam konteks sistem kesehatan yang beragam (Sood et al, 2019). Hal ini menjadi penting karena ketersediaan alat, pelatihan tenaga kesehatan, dan akses masyarakat sangat memengaruhi efektivitas implementasi skrining.

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat pemahaman ilmiah tentang sensitivitas, spesifisitas, dan efektivitas gabungan mammografi dan USG, serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Secara praktis, hasil kajian ini dapat menjadi rujukan bagi penyusunan kebijakan kesehatan nasional terkait strategi penapisan kanker payudara yang efisien, adaptif, dan berbasis bukti.

Selain itu, artikel ini juga memberikan landasan untuk pengembangan model skrining yang mempertimbangkan risiko individu serta kondisi sumber daya lokal. Model adaptif semacam ini akan membantu memaksimalkan manfaat deteksi dini dengan tetap memperhatikan efisiensi biaya dan kesejahteraan pasien.

Akhirnya, tujuan utama artikel ini adalah menyajikan analisis komprehensif terhadap perbandingan efektivitas mammografi dan USG dalam skrining kanker payudara, dengan menyoroti kontribusi masing-masing metode serta potensi sinerginya. Diharapkan hasil kajian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dan kebijakan yang signifikan dalam upaya menurunkan angka kematian akibat kanker payudara secara global maupun nasional.

Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif melalui studi pustaka (*library research*). Pendekatan kualitatif dipilih karena bertujuan untuk memahami fenomena penapisan kanker payudara secara mendalam melalui interpretasi literatur ilmiah yang relevan, bukan melalui pengukuran statistik. Menurut Bingham (2023) dan Pratt (2025), penelitian kualitatif berfokus pada eksplorasi makna dan konteks dari data non-numerik, dengan peneliti sebagai instrumen utama yang menafsirkan data secara induktif (Bingham, 2023) (Pratt, 2025). Pendekatan ini memungkinkan penyajian analisis yang lebih reflektif dan mendalam terhadap kelebihan, keterbatasan, serta efektivitas metode mammografi dan ultrasonografi dalam konteks penapisan kanker payudara.

Metode deskriptif dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan secara sistematis temuan-temuan dari literatur terkait topik yang dikaji. Pendekatan ini menekankan pada penyajian fenomena sebagaimana adanya, tanpa manipulasi atau intervensi, agar dapat memberikan gambaran yang faktual dan menyeluruh (Baillie, 2019) (Doyle, 2019). Dalam konteks penelitian ini, pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan efektivitas, sensitivitas, serta spesifisitas mammografi dan ultrasonografi berdasarkan bukti empiris yang diperoleh dari berbagai studi sistematis dan meta-analisis terkini (Haerunisa & Noviartha, 2025) (Shi et al, 2025).

Sumber data penelitian ini terdiri atas artikel jurnal ilmiah, buku akademik, laporan resmi, dan dokumen kebijakan internasional yang membahas topik terkait penapisan kanker payudara. Pemilihan sumber data dilakukan secara purposif dengan

mempertimbangkan kredibilitas, relevansi, dan tahun publikasi (minimal tahun 2015 ke atas). Artikel yang dijadikan rujukan mencakup berbagai studi sistematis dan meta-analisis dari jurnal bereputasi seperti *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, *British Journal of Cancer*, dan *BMC Cancer* (Rebolj et al, 2018) (Tadesse et al, 2023) (Yang et al, 2019) (Yuan et al, 2020). Selain itu, untuk memperkuat kerangka metodologis, penelitian ini juga menggunakan referensi metodologi kualitatif dari sumber seperti *International Journal of Qualitative Methods* dan *Journal of Research in Nursing* (Abraham, 2024) (Bingham, 2023).

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur dan analisis dokumen akademik menggunakan basis data ilmiah seperti PubMed, Scopus, dan ScienceDirect. Proses ini melibatkan identifikasi kata kunci utama seperti *breast cancer screening*, *mammography effectiveness*, *ultrasonography*, dan *qualitative literature review*. Menurut Granikov et al. (2020) dan Bandaranayake (2024), studi pustaka yang komprehensif harus mengikuti proses sistematis yang mencakup identifikasi, seleksi, dan analisis kritis terhadap sumber untuk memastikan validitas hasil sintesis (Bandaranayake, 2024) (Granikov, 2020).

Prosedur analisis data dilakukan melalui empat tahapan utama: (1) identifikasi tema, yaitu menelusuri fokus utama dari setiap publikasi yang relevan; (2) reduksi data, dengan menyaring informasi sesuai relevansi terhadap topik penapisan kanker payudara; (3) kategorisasi konsep, yang melibatkan pengelompokan hasil temuan berdasarkan kesamaan pola dan variabel seperti sensitivitas, spesifisitas, dan tingkat deteksi; serta (4) penarikan kesimpulan induktif, untuk merumuskan pemahaman yang menyeluruh mengenai efektivitas dan integrasi kedua metode skrining (Bingham, 2023) (Fife, 2024). Pendekatan ini memastikan hasil analisis tidak sekadar deskriptif, tetapi juga interpretatif dan teoritis.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi publikasi ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2015–2025, berbahasa Inggris atau Indonesia, serta relevan dengan topik penapisan kanker payudara menggunakan mamografi dan/atau ultrasonografi. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak melalui proses *peer review*, laporan non-ilmiah, dan penelitian dengan desain kuantitatif murni tanpa analisis kualitatif. Keabsahan data dijaga melalui triangulasi sumber dan *peer review* konseptual, di mana hasil sintesis diperbandingkan antar sumber untuk memastikan konsistensi dan akurasi interpretasi (Kalpokaite, 2018) (Vila-Henninger et al, 2022). Dengan demikian, metode kualitatif-deskriptif ini diharapkan dapat menghasilkan kajian yang relevan, valid, serta dapat dipertanggungjawabkan secara akademik..

Hasil dan Pembahasan

Hasil kajian literatur ini menunjukkan bahwa mamografi tetap menjadi metode utama (*gold standard*) dalam penapisan kanker payudara, sementara ultrasonografi (USG) berperan penting sebagai pelengkap, terutama pada wanita dengan jaringan payudara padat atau pada usia lebih muda. Analisis dari berbagai studi terkini menegaskan bahwa perkembangan teknologi seperti *contrast-enhanced mammography* (CEM) dan integrasi kecerdasan buatan (AI) secara signifikan telah meningkatkan kemampuan deteksi kanker payudara dibandingkan metode konvensional (Chou et al, 2025) (Ciurescu et al, 2025) (Coffey & Jochelson, 2022) (Qureshi et al, 2025) (Sahu et al, 2023) .

Secara kuantitatif, CEM menunjukkan sensitivitas hingga 87,5% dengan area *under the ROC curve* (AUC) sebesar 0,85, melampaui performa mammografi konvensional dan USG (Chou et al, 2025) (Coffey & Jochelson, 2022). Temuan ini memperlihatkan peningkatan deteksi kanker, khususnya untuk jaringan payudara padat yang sebelumnya menjadi kendala utama dalam skrining konvensional. Sementara itu, penerapan AI dalam mammografi dua dimensi (2D) terbukti dapat mengurangi tingkat kesalahan diagnostik dengan menurunkan *false positive* serta meningkatkan akurasi klasifikasi lesi (Ahmad et al, 2024) (Shen, 2023) (Yan et al, 2023).

Selain mammografi, USG menunjukkan kontribusi signifikan dalam meningkatkan sensitivitas deteksi, terutama di negara berkembang atau populasi dengan keterbatasan fasilitas mammografi. Dalam konteks ini, teknologi *Automated Breast Ultrasound* (ABUS) dan *elastografi* (*strain dan shear wave elastography*) memberikan kemajuan berarti. ABUS memungkinkan deteksi lesi kecil tanpa ketergantungan pada operator, sedangkan elastografi berperan dalam membedakan lesi jinak dan ganas dengan akurasi (He et al, 2025) (Rella et al, 2018) (Tsarouchi et al, 2023) (Zhou et al, 2025). Meski demikian, USG masih memiliki keterbatasan pada aspek spesifisitas dan potensi peningkatan angka biopsi yang tidak perlu (Dan et al, 2023) (Guo et al, 2018).

Tabel 1. Hasil perbandingan antara mammografi, USG, dan kombinasi keduanya dalam skrining kanker payudara

Modalitas	Kelebihan Utama	Keterbatasan	Inovasi Terkini	Referensi
Mammografi	Standar emas, sensitif pada wanita >50 tahun, deteksi mikro-kalsifikasi	Kurang efektif pada payudara padat, paparan radiasi	CEM, AI, deep learning	(Chou et al, 2025) (Ciurescu et al 2025) (Coffey & Jochelson, 2022) (Sahu et al, 2023)
Ultrasonografi	Tanpa radiasi, efektif untuk payudara padat/wanita muda	Operator dependent, spesifisitas rendah	ABUS, elastografi, AI	(Guo et al, 2018) (Rella et al, 2018) (Tsarouchi et al, 2023) (Zhou et al, 2025)
Kombinasi	Sensitivitas tinggi, deteksi dini meningkat	Spesifisitas sedikit menurun	Integrasi AI dan workflow otomatis	(Dan et al, 2023) (Ohuchi et al, 2016) (Qi et al, 2021)

Integrasi AI dan deep learning dalam kedua modalitas (mammografi dan USG) menjadi tren yang paling menonjol dalam penelitian terkini. Teknologi ini berperan penting dalam meningkatkan kecepatan analisis gambar dan akurasi diagnostik, serta membantu radiolog dalam proses deteksi otomatis (Ciobotaru dkk., 2025; Qi dkk., 2021). AI juga memperkuat kemampuan kombinasi kedua modalitas tersebut dalam menurunkan angka *false negative* dan mempercepat *workflow* radiologi (Ahmad et al, 2024) (Qureshi et al, 2025) (Yan et al, 2023).

Temuan menarik lainnya berasal dari studi oleh Ohuchi et al. (2016), yang menunjukkan bahwa kombinasi mammografi dan USG pada populasi wanita dengan payudara padat meningkatkan sensitivitas deteksi kanker sebesar 30–40% dibandingkan mammografi tunggal, meskipun diikuti dengan sedikit penurunan spesifisitas (Ohuchi et

al, 2016). Dengan demikian, kombinasi kedua metode ini memberikan hasil optimal bagi kelompok risiko tinggi.

Studi-studi lanjutan juga menyoroti arah masa depan skrining kanker payudara yang mengarah pada pendekatan *personalized screening*, yaitu pemilihan modalitas berbasis karakteristik individu, risiko genetik, dan densitas jaringan payudara (He et al, 2025) (Tsarouchi et al, 2023). Dengan adanya integrasi teknologi AI, *deep learning*, serta inovasi *imaging* seperti CEM dan ABUS, skrining kanker payudara diharapkan menjadi lebih efektif, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan pasien di berbagai konteks klinis.

Secara keseluruhan, hasil kajian ini mempertegas bahwa meskipun mammografi masih menjadi tulang punggung deteksi dini kanker payudara, kombinasi dengan ultrasonografi dan dukungan teknologi AI menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dan prospektif. Arah penelitian ke depan difokuskan pada peningkatan akurasi, efisiensi, dan implementasi sistem berbasis AI yang terintegrasi dalam praktik klinis rutin untuk mendukung deteksi kanker payudara yang lebih tepat dan cepat.

Analisis hasil studi pustaka menunjukkan bahwa perkembangan teknologi dalam penapisan kanker payudara telah membawa perubahan signifikan terhadap efektivitas dan efisiensi deteksi dini. Mammografi, sebagai standar emas dalam skrining, terbukti memberikan sensitivitas tinggi terutama pada wanita berusia di atas 50 tahun. Namun, keterbatasannya pada wanita dengan payudara padat masih menjadi isu utama yang menurunkan akurasi deteksi (Chou et al, 2025) (Coffey & Jochelson, 2022). Dalam konteks ini, pengembangan *contrast-enhanced mammography* (CEM) memberikan solusi dengan meningkatkan kontras jaringan sehingga lebih mudah membedakan lesi ganas dan jinak. Inovasi ini tidak hanya memperluas cakupan deteksi, tetapi juga memperkuat posisi mammografi dalam sistem skrining modern.

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dan *deep learning* dalam mammografi menjadi langkah revolusioner dalam bidang radiologi. Studi oleh Ciurescu et al. (2025), Ahmad et al. (2024), dan Qureshi et al. (2025) menegaskan bahwa penerapan AI mampu menurunkan tingkat *false positive* hingga 25% dan mempercepat waktu interpretasi gambar hingga 40%. Pendekatan ini secara teoretis sejalan dengan konsep *computer-aided diagnosis* (CAD) yang berfungsi memperkuat akurasi klinis radiolog manusia (Shen, 2023) (Yan et al, 2023). Dari perspektif teoritis, penerapan AI dalam skrining kanker payudara merepresentasikan penerapan model *augmented intelligence* yakni kolaborasi optimal antara manusia dan mesin untuk meningkatkan validitas diagnostik.

Di sisi lain, ultrasonografi (USG) memiliki peran pelengkap yang sangat penting, khususnya bagi kelompok wanita muda dan mereka yang memiliki densitas payudara tinggi. Sejalan dengan temuan (Guo et al, 2018) dan (Dan et al, 2023) USG memiliki sensitivitas tinggi pada jaringan padat namun menghadapi keterbatasan spesifisitas akibat banyaknya hasil positif palsu. Inovasi *Automated Breast Ultrasound* (ABUS) dan *elastografi* (*strain dan shear wave*) menjadi respon terhadap masalah tersebut, dengan bukti empiris menunjukkan peningkatan kemampuan membedakan lesi jinak dan ganas serta mengurangi ketergantungan pada operator (He et al, 2025) (Rella et al, 2018) (Tsarouchi et al, 2023). Dengan demikian, teori reliabilitas diagnostik diperkuat melalui otomatisasi dan analisis kuantitatif berbasis citra yang mengurangi variabilitas antar operator.

Dalam tataran praktis, kombinasi mammografi dan USG menghasilkan peningkatan sensitivitas deteksi sebesar 30–40% dibandingkan penggunaan tunggal mammografi, sebagaimana dibuktikan oleh (Ohuchi et al, 2016). Meski demikian, peningkatan ini diiringi dengan sedikit penurunan spesifisitas dan kenaikan tingkat biopsi yang tidak perlu. Hal tersebut menegaskan perlunya strategi skrining adaptif berbasis risiko individu dan densitas payudara, sebagaimana direkomendasikan oleh (Tsarouchi et al, 2023). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan pendekatan yang lebih personal (*personalized screening*) dalam praktik klinik modern.

Kontribusi utama dari hasil penelitian ini terhadap bidang penapisan kanker payudara adalah pembentukan paradigma baru menuju skrining yang berbasis teknologi cerdas dan individualisasi risiko. Penerapan AI, CEM, ABUS, dan elastografi memperkuat model integratif antara presisi diagnostik dan efisiensi waktu, serta berpotensi menekan beban ekonomi sistem kesehatan melalui pengurangan kesalahan deteksi dan perawatan yang tidak perlu (Ciobotaru et al, 2025). Dengan meningkatnya kemampuan prediktif dan deteksi otomatis, skrining dapat diarahkan untuk populasi yang lebih luas dengan hasil yang lebih konsisten.

Namun, masih terdapat sejumlah keterbatasan penting. Pertama, sebagian besar studi yang dianalisis masih bersifat *retrospektif* dan dilakukan di pusat radiologi besar, sehingga generalisasi hasil ke populasi global perlu kehati-hatian (Coffey & Jochelson, 2022) (Dan et al, 2023). Kedua, tantangan etis dan teknis dalam penerapan AI, seperti bias data pelatihan dan transparansi algoritma, perlu diperhatikan secara kritis (Ahmad et al, 2024) (Ciobotaru et al, 2025). Ketiga, masih dibutuhkan penelitian longitudinal berskala besar untuk memastikan bahwa peningkatan sensitivitas tidak menimbulkan peningkatan berlebihan pada *overdiagnosis* atau *overtreatment*.

Sebagai rekomendasi, arah penelitian masa depan sebaiknya berfokus pada integrasi multi-modalitas berbasis AI dalam sistem skrining nasional, serta pengembangan pedoman klinis yang menyesuaikan dengan karakteristik demografis dan genetika populasi lokal. Selain itu, dibutuhkan kerangka kerja kolaboratif antar disiplin—radiologi, onkologi, data science, dan kebijakan kesehatan—untuk memastikan bahwa inovasi teknologi diterapkan secara etis, efisien, dan berkelanjutan. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan mutu diagnostik, tetapi juga memperkuat landasan ilmiah bagi kebijakan skrining kanker payudara yang berbasis bukti dan berorientasi pada keselamatan pasien.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan sintesis literatur, penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi mammografi dan ultrasonografi (USG), terutama dengan dukungan teknologi kecerdasan buatan (AI) serta inovasi seperti *contrast-enhanced mammography* (CEM) dan *Automated Breast Ultrasound* (ABUS), telah secara signifikan meningkatkan sensitivitas dan akurasi dalam penapisan kanker payudara. Pendekatan multimodalitas ini tidak hanya memperkuat efektivitas deteksi dini, tetapi juga memperluas jangkauan diagnosis pada populasi dengan densitas payudara tinggi atau keterbatasan sumber daya medis. Secara teoretis, temuan ini memperkaya pengembangan konsep *augmented intelligence* dalam radiologi diagnostik serta memperkuat model *personalized screening* berbasis risiko individu.

Dalam konteks sosial dan budaya, hasil penelitian menegaskan pentingnya penerapan skrining adaptif di berbagai kelompok populasi sebagai upaya menurunkan mortalitas dan memperbaiki kesetaraan akses layanan kesehatan. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada generalisasi hasil karena sebagian besar studi bersifat *retrospektif* dan berbasis pusat rujukan besar. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi implementasi sistem skrining berbasis AI dan CEM dalam konteks populasi yang lebih luas dan beragam, guna membangun model penapisan yang lebih inklusif, akurat, serta berkelanjutan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar praktisi di bidang radiologi dan onkologi mulai mengintegrasikan mammografi berbasis AI, *contrast-enhanced mammography* (CEM), serta ultrasonografi otomatis (ABUS) ke dalam sistem skrining rutin, terutama bagi populasi dengan risiko tinggi dan payudara padat. Bagi akademisi, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan pendekatan triangulasi metode yang mengombinasikan analisis kualitatif, kuantitatif, dan teknologi komputasi untuk mengevaluasi efektivitas implementasi sistem skrining berbasis teknologi cerdas di berbagai konteks sosial dan demografis. Selain itu, penting bagi pembuat kebijakan untuk mengembangkan pedoman nasional skrining adaptif yang menyesuaikan modalitas pencitraan dengan profil risiko individu guna meningkatkan pemerataan layanan diagnostik. Penelitian masa depan sebaiknya berfokus pada eksplorasi model kolaboratif antara manusia dan AI, pengujian lintas budaya, serta pengembangan algoritma transparan agar hasil deteksi lebih dapat dipertanggungjawabkan secara etis dan ilmiah. Dengan langkah ini, inovasi dalam penapisan kanker payudara dapat diterapkan secara efektif, berkelanjutan, dan memberikan dampak nyata terhadap peningkatan kualitas hidup perempuan di berbagai lapisan masyarakat.

Daftar Pustaka

- Abraham, D. P. P. (2024). A Methodological Framework for Descriptive Phenomenological Research. *Western Journal of Nursing Research*, 47. <https://doi.org/10.1177/01939459241308071>
- Ahmad, J., Akram, S., Jaffar, A., Ali, Z., Bhatti, S., Ahmad, A., & Rehman, S. (2024). Deep learning empowered breast cancer diagnosis: Advancements in detection and classification. *PLOS ONE*, 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304757>
- Baillie, J. (2019). Commentary: An overview of the qualitative descriptive design within nursing research. *Journal of Research in Nursing*, 25, 458–459. <https://doi.org/10.1177/1744987119881056>
- Bandaranayake, P. (2024). Application of grounded theory methodology in library and information science research: An overview. *Sri Lanka Library Review*. <https://doi.org/10.4038/sllr.v38i2.70>
- Berg, W., Bandos, A., Mendelson, E., Lehrer, D., Jong, R., & Pisano, E. (2016). Ultrasound as the primary screening test for breast cancer: Analysis from ACRIN 6666. *Journal of the National Cancer Institute*, 108(4). <https://doi.org/10.1093/jnci/djv367>

- Bingham, A. (2023). From Data Management to Actionable Findings: A Five-Phase Process of Qualitative Data Analysis. *International Journal of Qualitative Methods*, 22. <https://doi.org/10.1177/16094069231183620>
- Canelo-Aybar, C., Ferreira, D., Ballesteros, M., Posso, M., Montero, N., Solá, I., Saz-Parkinson, Z., Lerda, D., Rossi, P., Duffy, S., Follmann, M., Graewingholt, A., & Alonso-Coello, P. (2021). Benefits and harms of breast cancer mammography screening for women at average risk of breast cancer: A systematic review for the European Commission Initiative on Breast Cancer. *Journal of Medical Screening*, 28, 389–404. <https://doi.org/10.1177/0969141321993866>
- Chou, C., Hong, Y., Lin, Y., & Lin, P. (2025). Screening of breast cancer in higher-risk Taiwanese women using contrast-enhanced mammography. *Heliyon*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41851>
- Ciobotaru, A., Corches, C., Gota, D., & Miclea, L. (2025). Deep learning and federated learning in breast cancer screening and diagnosis: A systematic review. *IEEE Access*, 13, 76322–76351. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3560211>
- Ciurescu, S., Cerbu, S., Dima, C., Borozean, F., Pârvănescu, R., Ilaș, D., Cîtu, C., Vernic, C., & Sas, I. (2025). AI in 2D mammography: Improving breast cancer screening accuracy. *Medicina*, 61. <https://doi.org/10.3390/medicina61050809>
- Coffey, K., & Jochelson, M. (2022). Contrast-enhanced mammography in breast cancer screening. *European Journal of Radiology*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110513>
- Dan, Q., Zheng, T., Liu, L., Sun, D., & Chen, Y. (2023). Ultrasound for breast cancer screening in resource-limited settings: Current practice and future directions. *Cancers*, 15. <https://doi.org/10.3390/cancers15072112>
- Doyle, L. M. C., Keogh, B., Brady, A. & McCann, M. (2019). An overview of the qualitative descriptive design within nursing research. *Journal of Research in Nursing*, 25. <https://doi.org/10.1177/1744987119880234>
- Fife, S. G. J. (2024). Deductive Qualitative Analysis: Evaluating, Expanding, and Refining Theory. *International Journal of Qualitative Methods*, 23. <https://doi.org/10.1177/16094069241244856>
- Granikov, V. H. Q., Crist, E. & Pluye, P. (2020). Mixed methods research in library and information science: A methodological review. *Library & Information Science Research*, 42(2). <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2020.101003>
- Guo, R., Lu, G., Qin, B., & Fei, B. (2018). Ultrasound imaging technologies for breast cancer detection and management: A review. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 44(1), 37–70. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2017.09.012>
- Haerunisa, L., & Noviartha, D. (2025). The analysis study of diagnostic performance and accuracy of mammography as screening and diagnostic of breast cancer: A comprehensive systematic review. *The International Journal of Medical Science and Health Research*. <https://doi.org/10.70070/8a3ben43>
- He, J., Liu, N., & Zhao, L. (2025). New progress in imaging diagnosis and immunotherapy of breast cancer. *Frontiers in Immunology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1560257>

- Kalpokaite, N. R., I. (2018). Demystifying Qualitative Data Analysis for Novice Qualitative Researchers. *The Qualitative Report*. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2019.4120>
- Mahmood, S., Anjum, M., Farooq, F., Gilani, S., Fatima, M., Andlib, S., & Ramzan, H. (2021). Comparison of mammography and ultrasonography for early detection of breast cancer. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*. <https://doi.org/10.53350/pjmhs211571450>
- Mandrik, O., Zielonke, N., Meheus, F., Severens, J., Guha, N., Acosta, R., & Murillo, R. (2019). Systematic reviews as a 'lens of evidence': Determinants of benefits and harms of breast cancer screening. *International Journal of Cancer*, 145, 994–1006. <https://doi.org/10.1002/ijc.32211>
- Ohuchi, N., Suzuki, A., Sobue, T., Kawai, M., Yamamoto, S., Zheng, Y., Shiono, Y., Saito, H., Kuriyama, S., Tohno, E., Endo, T., Fukao, A., Tsuji, I., Yamaguchi, T., Ohashi, Y., Fukuda, M., & Ishida, T. (2016). Sensitivity and specificity of mammography and adjunctive ultrasonography to screen for breast cancer in the Japan Strategic Anti-cancer Randomized Trial (J-START): A randomised controlled trial. *The Lancet*, 387, 341–348. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)00774-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(15)00774-6)
- Pratt, M. (2025). On the Evolution of Qualitative Methods in Organizational Research. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-111722-032953>
- Qi, X., Yi, F., Zhang, L., Chen, Y., Pi, Y., Chen, Y., Guo, J., Wang, J., Guo, Q., Li, J., Chen, Y., Lv, Q., & Yi, Z. (2021). Computer-aided diagnosis of breast cancer in ultrasonography images by deep learning. *Neurocomputing*, 472, 152–165. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.11.047>
- Qureshi, S., Rehman, A., Hussain, L., Sadiq, T., Shah, S., Mir, A., Nadim, M., Williams, D., Duong, T., Chaudhary, Q., Habib, N., Ahmad, A., & Shah, S. (2025). Breast cancer detection using mammography: Image processing to deep learning. *IEEE Access*, 13, 60776–60801. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3523745>
- Rebolj, M., Assi, V., Brentnall, A., Parmar, D., & Duffy, S. (2018). Addition of ultrasound to mammography in the case of dense breast tissue: Systematic review and meta-analysis. *British Journal of Cancer*, 118, 1559–1570. <https://doi.org/10.1038/s41416-018-0080-3>
- Rella, R., Belli, P., Giuliani, M., Bufi, E., Carlino, G., Rinaldi, P., & Manfredi, R. (2018). Automated breast ultrasonography (ABUS) in the screening and diagnostic setting: Indications and practical use. *Academic Radiology*, 25(11), 1457–1470. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.02.014>
- Ren, W., Chen, M., Qiao, Y., & Zhao, F. (2022). Global guidelines for breast cancer screening: A systematic review. *The Breast*, 64, 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2022.04.003>
- Sahu, A., Das, P., & Meher, S. (2023). Recent advancements in machine learning and deep learning-based breast cancer detection using mammograms. *Physica Medica*, 114, 103138. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2023.103138>

- Shen, X. H. S., Cui, M., Zhao, Q., Guo, Y., Huang, Y., Zhang, W., Chen, S., Zhang, Y., Chen, S., Chen, K., Cheng, W., Zuo, C., Tan, L., Ding, D., Dong, Q., Jeromin, A., Yen, T., Yu, J. (2023). Plasma Glial Fibrillary Acidic Protein in the Alzheimer Disease Continuum: Relationship to Other Biomarkers, Differential Diagnosis, and Prediction of Clinical Progression. *Clinical Chemistry*. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvad018>
- Shi, J., Li, J., Gao, Y., Chen, W., Zhao, L., Li, N., Tian, J., & Li, Z. (2025). The screening value of mammography for breast cancer: An overview of 28 systematic reviews with evidence mapping. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 151. <https://doi.org/10.1007/s00432-025-06122-z>
- Sood, R., Rositch, A., Shakoor, D., Ambinder, E., Pool, K., Pollack, E., Mollura, D., Mullen, L., & Harvey, S. (2019). Ultrasound for breast cancer detection globally: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Global Oncology*, 5. <https://doi.org/10.1200/jgo.19.00127>
- Tadesse, G., Tegaw, E., & Abdisa, E. (2023). Diagnostic performance of mammography and ultrasound in breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Ultrasound*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s40477-022-00755-3>
- Tsarouchi, M., Hoxhaj, A., & Mann, R. (2023). New approaches and recommendations for risk-adapted breast cancer screening. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 58. <https://doi.org/10.1002/jmri.28731>
- Vila-Henninger, L., Dupuy, C., Van Ingelgom, V., Caprioli, M., Teuber, F., Pennetreau, D., Bussi, M., & Gall, C. (2022). Abductive coding: Theory building and qualitative (re)analysis. *Sociological Methods & Research*, 53, 968–1001. <https://doi.org/10.1177/00491241211067508>
- Yan, F., Huang, H., Pedrycz, W., & Hirota, K. (2023). Automated breast cancer detection in mammography using ensemble classifier and feature weighting algorithms. *Expert Systems with Applications*, 227, 120282. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120282>
- Yang, L., Wang, S., Zhang, L., Sheng, C., Song, F., Wang, P., & Huang, Y. (2019). Performance of ultrasonography screening for breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12885-020-06992-1>
- Yuan, W., Hsu, H., Chen, Y., & Wu, C. (2020). Supplemental breast cancer-screening ultrasonography in women with dense breasts: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Cancer*, 123, 673–688. <https://doi.org/10.1038/s41416-020-0928-1>
- Zhou, J., Zhang, Y., & Shi, S. (2025). Ultrasound elastography: Advances and challenges in early detection of breast cancer. *Frontiers in Oncology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1589142>