



PERBANDINGAN MODALITAS RADIOLOGI DALAM DIAGNOSIS PENYAKIT GAGAL JANTUNG KONGESTIF (*CONGESTIVE HEART FAILURE/CHF*) : TINJAUAN LITERATUR

Ananda Hikmal Akbari¹, Wisudawan², Ana Meliyana³.

¹Mahasiswa Program Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas
Muslim Indonesia.

²Departement Ilmu Penyakit Jantung & Pembuluh Darah, Fakultas Kedokteran,
Universitas Muslim Indonesia.

³Departement Radiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Muslim Indonesia.

Email : Akbarianandahikmal@gmail.com

Article History :

Received date : 2025/10/23
Revised date : 2025/11/11
Accepted date : 2025/12/14
Published date : 2026/01/03



Copyright: © 2024 by the
authors. Submitted for possible
open access publication under
the terms and conditions of the
Creative Commons Attribution
(BY NC) license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ABSTRAK

Latar Belakang: Gagal Jantung Kongestif (Congestive Heart Failure/CHF) merupakan sindrom klinis kompleks dengan prevalensi dan beban morbiditas yang terus meningkat secara global, termasuk di Indonesia. Diagnosis CHF sering terkendala oleh gejala yang tidak spesifik, sehingga pemeriksaan pencitraan radiologi memegang peran penting dalam menegakkan diagnosis, menilai fungsi jantung, menentukan etiologi, serta memantau respons terapi. Berbagai modalitas radiologi tersedia, masing-masing dengan kelebihan dan keterbatasan.

Metode: Penelitian ini merupakan tinjauan pustaka (literature review) menggunakan data sekunder dari jurnal ilmiah, buku teks, dan e-book yang dipublikasikan pada periode 2015–2025. Penelusuran dilakukan melalui PubMed, Google

Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, ProQuest, dan ResearchGate. Artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, kemudian dianalisis secara naratif untuk membandingkan performa diagnostik berbagai modalitas radiologi dalam diagnosis CHF.

Hasil: Hasil telaah menunjukkan bahwa ekokardiografi tetap menjadi modalitas lini pertama karena ketersediaan dan efisiensinya, meskipun memiliki keterbatasan akurasi terutama pada 2D-ekokardiografi. Cardiac Magnetic Resonance (CMR/MRI) merupakan standar emas untuk evaluasi fungsi dan karakterisasi jaringan miokard. Cardiac CT berkembang sebagai alternatif untuk evaluasi anatomi koroner dan fibrosis. Foto toraks (CXR) berperan sebagai skrining awal, sementara Dynamic Chest Radiography (DCR) dan penerapan kecerdasan buatan menunjukkan potensi sebagai metode non-invasif tambahan.

Kesimpulan: Diagnosis CHF memerlukan pendekatan multimodalitas radiologi. Pemilihan modalitas harus disesuaikan dengan tujuan klinis, ketersediaan fasilitas, dan kondisi pasien untuk memperoleh diagnosis yang akurat dan optimal.

Kata Kunci: Gagal Jantung Kongestif, Modalitas Radiologi.

PENDAHULUAN

Penyakit Gagal Jantung Kongestif (*Congestive Heart Failure*) merupakan sindrom klinis kompleks yang muncul ketika jantung tidak mampu memompa darah secara efektif sehingga terjadi kongesti pada paru dan jaringan tubuh. CHF adalah salah satu kondisi kardiovaskular dengan prevalensi yang terus meningkat di seluruh dunia, menyebabkan morbiditas dan mortalitas yang tinggi, serta beban ekonomi dan sosial yang signifikan¹.

Secara global, estimasi menunjukkan bahwa terdapat sekitar 55–65 juta orang yang hidup dengan penyakit gagal jantung¹. Prevalensi umur- terstandarisasi (*age-standardised prevalence rate*, ASPR) terus meningkat dari tahun ke tahun, khususnya di negara-negara berpenghasilan menengah ke rendah². Di Asia, prevalensi CHF (*Congestive Heart Failure*) berkisar cukup lebar tergantung negara dan wilayah, namun Indonesia termasuk salah satu negara dengan angka ASPR CHF yang tinggi, yaitu sekitar 900,90 per 100.000 penduduk pada tahun 2019³.

Di Indonesia sendiri, data dari Riskesdas (Riset Kesehatan Dasar) tahun 2018 menunjukkan bahwa prevalensi CHF berdasarkan diagnosis dokter adalah sekitar 1,5 % dari populasi, atau sekitar 1.017.290 orang⁴. Angka ini meningkat dibanding data dari Riskesdas sebelumnya pada tahun 2013, yang masih jauh lebih rendah (sekitar 0,13 %) dalam kategori jantung secara umum⁵. Selain itu, CHF menjadi salah satu penyebab kematian yang signifikan, dengan angka kematian masih relatif tinggi meskipun ada kemajuan terapi medis dan intervensi⁶.

Diagnosis dini dan tepat sangat penting dalam menangani CHF karena gejala klinisnya seringkali tidak spesifik, dan kondisi pasien bisa cepat memburuk jika tidak ditangani dengan tepat. Modalitas pemeriksaan penunjang terutama pencitraan radiologi memainkan peran penting untuk menegaskan diagnosis, mengevaluasi etiologi, mengetahui fungsi jantung dan struktur-strukturnya, serta memantau respons terapi. Beberapa modalitas radiologi yang biasa digunakan termasuk Ekokardiografi (*echocardiography*), *Magnetic Resonance Imaging* jantung (*Cardiac MRI / CMR*), CT jantung (*Cardiac CT / CT Angiografi*), dan Radiografi toraks / foto dada (*Chest X-ray*)⁷.

Meskipun demikian, masing-masing modalitas tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasan, misalnya ketergantungan pada operator (untuk eko), biaya dan waktu (MRI), paparan radiasi dan

kebutuhan kontras (CT), serta sensitivitas dan spesifisitas yang berbeda-beda tergantung konteks klinis dan tingkat keparahan CHF. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan tinjauan literatur yang membandingkan modalitas radiologi dalam hal performa diagnostik (sensitivitas, spesifisitas, ketepatan, kecepatan, efisiensi biaya) dalam diagnosis CHF, agar dapat membantu dalam pengambilan keputusan klinis, kebijakan kesehatan, dan optimalisasi sumber daya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain observasional dengan pendekatan tinjauan pustaka (literature review) untuk menganalisis peran berbagai modalitas radiologi dalam mendiagnosis Congestive Heart Failure (CHF). Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari literatur ilmiah daring berupa jurnal, tesis, buku teks, dan e-book yang dipublikasikan dalam periode 2015–2025, baik berbahasa Indonesia maupun Inggris. Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, ProQuest, dan ResearchGate menggunakan kombinasi kata kunci terkait CHF dan modalitas radiologi. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah hasil diagnosis CHF, sedangkan variabel independen meliputi jenis modalitas radiologi, seperti foto toraks (CXR), ekokardiografi, CT scan, MRI jantung, dan dynamic chest radiography (DCR). Seleksi artikel dilakukan melalui tahapan screening judul, telaah abstrak, dan penilaian teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Data yang terpilih dianalisis secara naratif melalui proses peringkasan, sintesis, perbandingan, dan kritik untuk menilai sensitivitas, spesifisitas, serta akurasi diagnostik masing-masing modalitas radiologi dalam mendukung diagnosis CHF.

HASIL PENELITIAN

Tabel 1. Hasil Literature Review

No	Penulis (Tahun)	Negara	Tujuan	Metode	Hasil
1	de Raat FM, Bouwmeester S, Bouwman RA, Houthuizen P (2024)	Belanda	Membandingkan akurasi Handheld Echocardiography (HHE) dan Standard Echocardiography (SE) terhadap Cardiac Magnetic Resonance (CMR/MRI) dalam menilai LVEF dan stroke volume	Studi observasional pada 20 relawan; hasil HHE dan SE dibandingkan dengan CMR/MRI	HHE memiliki akurasi yang sebanding dengan SE dibandingkan CMR/MRI dalam menilai LVEF dan stroke volume
2	Hiraiwa H, Nagai S, Ito R, Kondo K, Kazama S, Kondo T, Adachi S, Furusawa K, Tanaka A, Morimoto R, Okumura T, Murohara T (2023)	Jepang	Menguji Dynamic Chest Radiography (DCR) untuk penilaian hemodinamik pada pasien gagal jantung	Studi observasional pada 20 pasien gagal jantung; hasil DCR dibandingkan dengan right heart catheterization	DCR mampu memprediksi tekanan atrium kanan, tekanan arteri pulmonalis, wedge pressure, dan cardiac index, sehingga berpotensi sebagai metode non-invasif

3	Kusunose K, Hirata Y, Yamaguchi N, Kosaka Y, Tsuji T, Kotoku J, Sata M (2023)	Jepang	Menilai kemampuan model deep learning pada foto toraks dalam memprediksi peningkatan pulmonary artery wedge pressure (PAWP) dan luaran klinis gagal jantung	Studi observasional pada 192 pasien gagal jantung rawat inap; probabilitas PAWP dihitung menggunakan AI; endpoint berupa rawat inap ulang dan kematian kardiak	Model deep learning pada foto toraks berpotensi memprediksi PAWP dan menambah nilai prognostik di luar faktor klinis konvensional
4	Dhall E, Mahmood A, Aung N, Khanji MY (2024)	Inggris	Menilai perbedaan hasil LVEF antara ekokardiografi dan CMR/MRI serta dampaknya terhadap pengambilan keputusan klinis	Editorial berbasis tinjauan literatur	CMR/MRI merupakan gold standard penilaian LVEF; perbedaan nilai LVEF antar modalitas dapat memengaruhi keputusan terapi gagal jantung
5	Hiraiwa H, Sakamoto G, Ito R, Koyama Y, Kazama S, Kimura Y, Kondo T,	Jepang	Menilai kemampuan DCR dalam menentukan fungsi sistolik jantung melalui korelasi perubahan pixel	Studi eksperimental pada 91 pasien gagal jantung akut; DCR dan ekokardiografi	DCR berpotensi menjadi alat non- invasif untuk mengidentifikasi disfungsi sistolik

	Morimoto R, Okumura T, Murohara T (2025)		value (PV) apex ventrikel kiri dengan LVEF	transthorakal dilakukan setelah stabilisasi klinis	ventrikel kiri berdasarkan LVEF
6	Kim SR, Park SM (2023)	Korea	Meninjau peran berbagai modalitas pencitraan jantung dalam diagnosis, etiologi, terapi, dan prognostik gagal jantung	Systematic review literature	Ekokardiografi menjadi modalitas utama; MRI unggul dalam karakterisasi jaringan dan etiologi; CT bermanfaat untuk evaluasi koroner dan perencanaan prosedur

PEMBAHASAN

Dalam 6 artikel yang dianalisis, terlihat pola konsisten bahwa tidak ada satu modalitas radiologi yang sempurna untuk semua kebutuhan diagnostik pada pasien *Congestive Heart Failure* (CHF). Pemilihan modalitas sangat bergantung pada tujuan klinis, seperti kebutuhan skrining cepat, kuantifikasi fungsi ventrikel, karakterisasi jaringan, evaluasi perfusi, atau penilaian anatomi koroner.

Selain itu, faktor ketersediaan alat, biaya pemeriksaan, pengalaman operator, serta kondisi klinis dan kontraindikasi pasien turut menentukan pilihan modalitas yang paling sesuai. Secara praktis, ekokardiografi tetap menjadi pemeriksaan lini pertama, sementara CMR/MRI menjadi standar acuan untuk pengukuran volumetri dan karakterisasi jaringan. CT jantung berkembang pesat untuk evaluasi anatomi dan pengukuran *Extracellular Volume* (ECV), sedangkan CXR dan DCR kini memperkuat peran sebagai alat skrining dan triase berteknologi tinggi dalam penilaian cepat fungsi jantung.

Ekokardiografi (2D, 3D, *Handheld*)

Ekokardiografi merupakan pemeriksaan awal yang paling sering digunakan karena mudah diakses, cepat, dan tanpa radiasi. Namun, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa hasil 2D-Ekokardiografi (2D-Eko) memiliki variabilitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan *Cardiac Magnetic Resonance* (CMR/MRI) sebagai standar referensi. Misalnya, pada pasien dengan penyakit kardiotoxik, hasil pengukuran LVEF dengan 2D-Eko rata-rata berbeda sekitar 3,7% dari CMR/MRI, dengan rentang kesalahan hingga $\pm 15\%$, sehingga dapat menyebabkan 9–10% pasien salah klasifikasi terutama di sekitar batas LVEF 50% yang menjadi acuan penting dalam keputusan terapi^{13,38}.

Penggunaan 3D-Ekokardiografi (3D-Eko) memberikan peningkatan akurasi karena mampu mengukur volume ventrikel tanpa bergantung pada asumsi bentuk geometrik. Hasil 3D-Eko terbukti lebih mendekati nilai CMR/MRI dengan tingkat kesalahan yang lebih kecil. Selain itu, inovasi *handheld ekokardiografi* (HHE) telah memperluas akses diagnostik di ruang gawat darurat dan klinik dengan hasil pengukuran LVEF serta volume sekuncup yang cukup sebanding dengan metode standar. Meski demikian, HHE belum dapat menggantikan CMR/MRI untuk keputusan besar seperti pemasangan *Implantable Cardioverter Defibrillator* (ICD) atau *Cardiac Resynchronization Therapy* (CRT)^{13,38}. Dengan demikian, kekuatan utama ekokardiografi adalah aksesibilitas dan efisiensi, sedangkan keterbatasannya terletak pada ketergantungan terhadap operator dan kualitas citra.

CMR/MRI dengan *Cardiac CT*

Cardiac Magnetic Resonance (CMR/MRI) masih diakui sebagai standar emas untuk evaluasi struktur, fungsi, dan karakterisasi jaringan miokard. Modalitas ini mampu mendeteksi fibrosis, edema, dan infiltrasi jaringan menggunakan teknik seperti *Late Gadolinium Enhancement* (LGE), *T1/T2 mapping*, serta pengukuran *Extracellular Volume* (ECV). Dengan kemampuan tersebut, CMR/MRI memberikan informasi komprehensif baik mengenai viabilitas miokard maupun remodeling ventrikel, yang penting dalam perencanaan terapi lanjutan seperti resinkronisasi atau revascularisasi³⁶.

Namun, perkembangan teknologi *Cardiac CT*, khususnya *Dual-Energy CT* dan *CT-ECV*, menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan. Sejumlah penelitian melaporkan korelasi tinggi antara CT-ECV dan CMR/MRI-ECV ($r \approx 0,90$) dengan perbedaan rata-rata kurang dari 1%. Hal ini

menjadikan CT sebagai alternatif yang valid pada pasien yang tidak dapat menjalani CMR/MRI akibat adanya alat implan logam, klaustrofobia, atau keterbatasan akses. Selain menilai fibrosis, CT juga unggul dalam menggambarkan anatomi koroner dan mendeteksi penyakit arteri koroner yang sering menjadi etiologi utama CHF. Kelemahan CT terletak pada paparan radiasi dan penggunaan kontras iodine, yang perlu diperhatikan terutama pada pasien dengan gangguan ginjal atau pemeriksaan berulang³⁶.

Chest X-Ray (CXR) dan Dynamic Chest Radiography (DCR)

Foto toraks konvensional (CXR) tetap berperan penting sebagai pemeriksaan dasar untuk menilai kardiomegali, kongesti vaskular paru, edema paru, dan efusi pleura. Meskipun sensitivitasnya rendah untuk menilai fungsi jantung secara kuantitatif, CXR tetap menjadi langkah awal yang berguna dalam skrining pasien dengan dugaan gagal jantung. Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) telah memperkuat nilai diagnostik CXR. Studi menunjukkan bahwa model deep learning berbasis CXR dapat memprediksi *pulmonary artery wedge pressure* (PAWP) secara akurat, memberikan informasi prognostik tambahan yang membantu stratifikasi risiko pasien sebelum dipulangkan dari rumah sakit^{19,20,37}.

Sementara itu, *Dynamic Chest Radiography* (DCR) merupakan inovasi baru yang menggabungkan prinsip sinar-X dengan perekaman *real-time* menggunakan detektor digital berkecepatan tinggi. DCR menghasilkan citra bergerak yang memungkinkan analisis dinamika gerakan jantung, paru, dan pembuluh darah besar selama satu siklus pernapasan dan denyut jantung. Penelitian oleh Hiraiwa et al. (2023) menunjukkan bahwa perubahan nilai piksel pada area apeks ventrikel kiri memiliki korelasi sedang dengan LVEF ($R = 0,428$; $p < 0,001$) serta berhubungan dengan parameter hemodinamik seperti PAWP dan *cardiac index*. Nilai *cut-off* perubahan *pixel value* (PV) pada DCR memberikan AUC sekitar 0,76 dalam mendeteksi LVEF $< 50\%$, menunjukkan kemampuan diagnostik yang cukup baik untuk skrining disfungsi sistolik^{19,20,37}.

Kelebihan DCR adalah sifatnya non-invasif, cepat, dan melibatkan radiasi rendah dibandingkan CT, dengan kemampuan untuk menilai fungsi jantung dan paru secara bersamaan. DCR juga berpotensi menjadi alat pemantauan longitudinal untuk mengevaluasi perbaikan fungsi ventrikel setelah terapi farmakologis atau pemasangan device seperti CRT. Namun, keterbatasannya adalah

belum tersedianya standar referensi universal, keterbatasan perangkat, serta akurasi yang masih moderat dibandingkan CMR/MRI. Dengan kemajuan teknologi pengolahan citra dan integrasi AI, DCR berpotensi menjadi modalitas fungsional baru dalam evaluasi komprehensif pasien CHF di masa depan.

Perbandingan Modalitas

Setiap modalitas radiologi memiliki keunggulan dan keterbatasan yang khas dalam menilai *congestive heart failure* (CHF). Pemilihan modalitas sangat bergantung pada tujuan klinis, ketersediaan teknologi, kondisi pasien, serta urgensi pemeriksaan.

Setiap modalitas radiologi memiliki keunggulan dan keterbatasan spesifik dalam menilai CHF. Pemilihan modalitas harus disesuaikan dengan tujuan klinis, ketersediaan sumber daya, kondisi pasien, serta urgensi pemeriksaan. Ekokardiografi tetap menjadi pilihan utama karena ketersediaannya yang luas, biaya rendah, dan kemampuan *real-time* untuk menilai LVEF. Namun, 2D-Eko menunjukkan variabilitas yang tinggi, dengan bias rata-rata $-3,7\%$ dan *limits of agreement* $\pm 15\%$ dibandingkan CMR/MRI, yang dapat menyebabkan salah klasifikasi sekitar 9% pasien. Sebaliknya, 3D-Eko menunjukkan peningkatan akurasi signifikan dengan bias $-1,6\%$ dan batas kesalahan lebih sempit, menjadikannya lebih dapat diandalkan³⁸.

Inovasi Auto-Eko berbasis AI juga memberikan kemajuan penting. Studi oleh de Raat et al. (2024) menunjukkan bahwa metode ini memiliki korelasi tinggi dengan CMR/MRI ($R = 0,89$), dengan variabilitas antar-pembaca hampir nol (1,00) dan hasil uji ulang yang stabil (2,5% vs 7,9%). Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi AI dalam ekokardiografi mampu meningkatkan konsistensi dan akurasi diagnostik, terutama pada pasien dengan LVEF rendah atau kualitas citra yang buruk²¹

Selain itu, inovasi berupa *handheld* ekokardiografi (HHE) memberikan keunggulan dalam hal portabilitas dan kemudahan akses. Hasil penelitian oleh de Raat et al. (2024) menunjukkan bahwa HHE mampu memberikan hasil yang sebanding dengan ekokardiografi standar, dengan bias relatif kecil terhadap CMR/MRI. Kelebihannya terletak pada kemampuannya digunakan di ruang gawat darurat atau pelayanan primer sebagai *point-of-care tool*. Namun, HHE tetap memiliki keterbatasan dalam presisi, sehingga lebih tepat diposisikan sebagai alat skrining awal, bukan sebagai dasar keputusan terapi definitif¹³.

Cardiac Magnetic Resonance (CMR/MRI) dianggap sebagai gold standard untuk evaluasi struktur dan fungsi jantung, serta memiliki keunggulan utama dalam karakterisasi jaringan. CMR/MRI dapat mendeteksi fibrosis, infiltrasi, hingga edema miokard yang sering luput pada ekokardiografi. Namun, keterbatasan CMR/MRI adalah biaya tinggi, waktu pemeriksaan lebih lama, serta kontraindikasi pada pasien dengan implan logam tertentu atau klaustrofobia⁴¹.

Sementara itu, *computed tomography* (CT) terutama unggul untuk evaluasi anatomi koroner. Perkembangan teknik CT-ECV bahkan memungkinkan kuantifikasi fibrosis yang selama ini hanya dapat dilakukan dengan CMR/MRI. Kelebihan CT adalah kemampuannya memberikan informasi anatomi sekaligus evaluasi jaringan, menjadikannya alternatif bagi pasien yang tidak dapat menjalani CMR/MRI. Akan tetapi, kekurangannya adalah paparan radiasi dan penggunaan kontras iodine yang membatasi penggunaannya untuk pemeriksaan berulang³⁶.

Sementara itu, CMR/MRI unggul dalam akurasi dan karakterisasi jaringan, CT menawarkan alternatif yang handal untuk evaluasi anatomi dan fibrosis, sedangkan CXR dan DCR tetap relevan sebagai alat skrining cepat yang kini diperkuat teknologi AI dan citra dinamis. Kelemahan utama masing-masing modalitas meliputi akurasinya yang terbatas (Eko 2D, CXR), keterbatasan akses (CMR/MRI), serta paparan radiasi (CT). Oleh karena itu, pendekatan multimodalitas menjadi strategi optimal untuk mencapai diagnosis yang komprehensif dan individualisasi terapi CHF³⁶.

Modalitas yang lebih sederhana seperti *chest X-ray* (CXR) masih berperan penting dalam skrining awal, terutama untuk menilai kardiomegali, efusi pleura, atau kongesti paru. Kelebihannya adalah cepat, murah, dan selalu tersedia, tetapi sensitivitasnya rendah sehingga tidak dapat menggantikan modalitas canggih. Inovasi terbaru seperti *Dynamic Chest Radiography* (DCR) menambahkan kemampuan kuantitatif dalam menilai fungsi ventrikel. Hiraiwa et al. (2023) melaporkan bahwa DCR memiliki korelasi signifikan dengan LVEF ($R = 0,428$, $p < 0,001$), dengan AUC sekitar 0,76 untuk mendeteksi disfungsi sistolik. Kelebihan DCR adalah sifatnya non-invasif dan mudah dilakukan, sementara keterbatasannya adalah akurasinya yang masih moderat bila dibandingkan dengan Eko atau CMR/MRI. Selain itu, penerapan AI pada CXR seperti dilaporkan oleh Kusunose et al. (2023) menambah kemampuan prognostik, karena prediksi PAWP dengan model AI terbukti lebih bermakna dibanding interpretasi manual oleh dokter^{20,37}.

Lalu pada penelitian lain mengatakan Pengukuran LVEF menggunakan ekokardiografi masih menjadi metode utama dalam praktik klinis, tetapi keterbatasan besar dari metode *Simpson biplane* (MBS) adalah ketergantungannya pada operator dan variabilitas hasil yang cukup tinggi. Studi terbaru dengan *AI-based* Auto-Eko menunjukkan perbaikan signifikan dalam hal konsistensi dan akurasi. Baik Auto-Eko maupun MBS-Eko memiliki korelasi tinggi dengan CMR/MRI ($R = 0,89$), namun Auto-Eko terbukti lebih mendekati CMR/MRI terutama pada pasien dengan LVEF rendah, kelainan gerakan dinding, atau kualitas gambar yang buruk. Variabilitas antar-pembaca pada Auto-Eko hampir nol (1.00), jauh lebih baik dibandingkan MBS (<0.91), dan uji ulang (*test-retest*) menunjukkan kestabilan hasil lebih tinggi (2,5% vs 7,9%)²¹.

Secara keseluruhan, Ekokardiografi unggul dalam ketersediaan, CMR/MRI unggul dalam akurasi, CT menawarkan alternatif valid untuk fibrosis dan anatomi, dan CXR/DCR tetap relevan sebagai skrining cepat. Kelemahan utama masing-masing berkisar pada akurasi (pada Eko 2D, CXR), keterbatasan akses (pada CMR/MRI, PET), serta risiko radiasi pada CT. Oleh karena itu, pendekatan multimodalitas sering kali menjadi pilihan terbaik untuk diagnosis komprehensif CHF.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah literatur, dapat disimpulkan bahwa diagnosis Congestive Heart Failure (CHF) memerlukan pendekatan multimodalitas radiologi karena setiap modalitas memiliki tingkat sensitivitas, spesifisitas, serta keunggulan klinis yang berbeda. Ekokardiografi, khususnya 2D, merupakan modalitas yang paling praktis dan luas digunakan untuk penilaian awal fungsi jantung, meskipun akurasinya masih dapat ditingkatkan melalui penggunaan ekokardiografi 3D atau teknologi berbasis kecerdasan buatan. Cardiac Magnetic Resonance (CMR/MRI) tetap menjadi standar emas dalam evaluasi CHF karena memiliki sensitivitas dan spesifisitas tertinggi dalam menilai fungsi ventrikel, volume, serta karakterisasi jaringan miokard. Modalitas CT, khususnya pengukuran extracellular volume (CT-ECV), menunjukkan kesesuaian yang baik dengan CMR/MRI dan dapat menjadi alternatif yang valid pada kondisi tertentu. Dynamic Chest Radiography (DCR) menawarkan potensi sebagai metode non-invasif untuk menilai fungsi dan hemodinamik jantung secara dinamis, meskipun saat ini masih berperan sebagai pemeriksaan penunjang. Sementara itu, foto toraks

konvensional (CXR) memiliki keterbatasan sensitivitas, namun tetap berguna sebagai skrining awal dan berpotensi meningkat nilai diagnostiknya dengan penerapan deep learning. Oleh karena itu, pemilihan modalitas radiologi dalam diagnosis CHF sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan klinis, ketersediaan fasilitas, dan kondisi pasien untuk memperoleh hasil diagnosis yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Martin SS, Aday AW, Allen NB, et al. 2025 Heart disease and stroke statistics: a report of US and global data from the American Heart Association. *Circulation*. 2025;151(8). doi:10.1161/CIR.0000000000001303
2. Yan S, Deng P, Chai K, et al. Global, regional, and national burden of heart failure and its risk factors between 1990 and 2021 and projections to 2050: an analysis of the Global Burden of Disease Study. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes*. 2025;1–11. doi:10.1093/ehjqcco/qcaf054
3. Feng J, Zhang Y, Zhang J. Epidemiology and burden of heart failure in Asia. *JACC Asia*. 2024;4(4):249–264. doi:10.1016/j.jacasi.2024.01.013
4. Rahmania A, Samrina. The effect of health education on knowledge in the prevention of congestive heart failure for at-risk groups. *J Glob Res Public Health*. 2023;8(1):33–36. doi:10.30994/jgrph.v8i1.429
5. Hasbi F, Kurniawan AH, Nida K, Oktaviani M. Analysis of heart failure treatment costs based on the INA-CBGs tariff package for patients with national health insurance. *Asian J Soc Sci Manag Technol*. 2022;4(5).
6. Rusmawati A, Fawzi A, Faizah NH. The effectiveness of discharge planning implementation on the quality of life of post-opname patients with heart failure at hospital. *J Nurs Pract*. 2024;7(2):417–426. doi:10.30994/jnp.v7i2.593
7. Chaudhari M, Ashwath ML. Cardiac imaging in the diagnosis and management of heart failure. *J Clin Med*. 2025;14(14):1–26. doi:10.3390/jcm14145002
8. Virani SS, Alonso A, Benjamin EJ, et al. Heart disease and stroke statistics—2020 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. 2020;141:e139–e596. doi:10.1161/CIR.0000000000000757
9. Yusuf S, Joseph P, Rangarajan S, et al. Modifiable risk factors, cardiovascular disease, and mortality in 155,722 individuals from 21 high-, middle-, and low-income countries. *Lancet*. 2020;395(10226):795–808. doi:10.1016/S0140-6736(19)32008-2
10. Abozaid W, Wong S, Deyell MW, Sanatani S, Vijayashankar SS. Tachycardia-induced cardiomyopathy: a case series and literature review. *CJC Pediatr Congenit Heart Dis*. 2024;3(6):272–284. doi:10.1016/j.cjcpc.2024.10.007

11. Alfaddagh A, Khraishah H, Rashed W, Sharma G, Blumenthal RS, Zubaid M. Clinical characteristics and outcomes of young adults with first myocardial infarction: results from Gulf COAST. *IJC Heart Vasc.* 2020;31:100680. doi:10.1016/j.ijcha.2020.100680
12. Lind L, Ingelsson M, Sundstrom J, Ärnlöv J. Impact of risk factors for major cardiovascular diseases: comparison of lifetime observational and Mendelian randomisation findings. *Open Heart.* 2021;8(2):e001735. doi:10.1136/openhrt-2021-001735
13. de Raat FM, Bouwmeester S, Bouwman RA, Houthuizen P. Comparison between handheld echocardiography and cardiac magnetic resonance for stroke volume and left ventricular ejection fraction quantification. *J Med Ultrasound.* 2024;32(3):215–220. doi:10.4103/jmu.jmu_52_23
14. Kim KH, Pereira NL. Genetics of cardiomyopathy: clinical and mechanistic implications for heart failure. *Korean Circ J.* 2021;51(10):797–836. doi:10.4070/KCJ.2021.0154
15. Bullock-Palmer RP, Rosario KF, Douglas PS, et al. Multimodality cardiac imaging and the imaging workforce in the United States: diversity, disparities, and future directions. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2024;17(2):e016409. doi:10.1161/CIRCIMAGING.123.016409
16. Matta AG, Carrié D. Epidemiology, pathophysiology, diagnosis, and principles of management of Takotsubo cardiomyopathy. *Med Sci Monit.* 2023;29:e939020. doi:10.12659/MSM.939020
17. Bairashevskaya AV, Belogubova SY, Kondratiuk MR, et al. Update of Takotsubo cardiomyopathy: present experience and outlook for the future. *IJC Heart Vasc.* 2022;39:100990. doi:10.1016/j.ijcha.2022.100990
18. Defilippis EM, Beale A, Martin T, et al. Heart failure subtypes and cardiomyopathies in women. *Circ Res.* 2022;130(4):436–454. doi:10.1161/CIRCRESAHA.121.319900
19. Hiraiwa H, Nagai S, Ito R, et al. Ability of dynamic chest radiography to identify left ventricular systolic dysfunction in heart failure. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2025;41(3):507–521. doi:10.1007/s10554-025-03332-x
20. Hiraiwa H, Sakamoto G, Ito R, et al. Dynamic chest radiography as a novel minimally invasive hemodynamic imaging method in patients with heart failure. *Eur J Radiol.* 2023;161:110729. doi:10.1016/j.ejrad.2023.110729
21. Huang S, Li J, Li Q, et al. Cardiomyopathy: pathogenesis and therapeutic interventions. *MedComm.* 2024;5(11):e772. doi:10.1002/mco2.772
22. Mutarelli A, Nogueira GPG, Pantaleao AN, et al. Prevalence of rheumatic heart disease in first-degree relatives of index cases: a systematic review and meta-analysis. *Glob Heart.* 2025;20(1). doi:10.5334/gh.1417
23. Abassi Z, Khoury EE, Karram T, Aronson D. Edema formation in congestive heart failure and underlying mechanisms. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:933215. doi:10.3389/fcvm.2022.933215

24. Prausmüller S, Arfsten H, Spinka G, et al. Plasma neprilysin displays no relevant association with neurohumoral activation in chronic HFrEF. *J Am Heart Assoc.* 2020;9(11):e015071. doi:10.1161/JAHA.119.015071
25. Angeli F, Bodega F, Bergamaschi L, et al. Multimodality imaging in the diagnostic work-up of patients with cardiac masses: state-of-the-art review. *JACC CardioOncol.* 2024;6(6):847–862. doi:10.1016/j.jaccao.2024.09.006
26. Rao SV, O'Donoghue ML, Ruel M, et al. 2025 ACC/AHA/ACEP/NAEMSP/SCAI guideline for the management of patients with acute coronary syndromes. *Circulation.* 2025;151. doi:10.1161/CIR.0000000000001309
27. Alldredge BK, Corelli RL. *Koda-Kimble & Young's Applied Therapeutics: The Clinical Use of Drugs.* 10th ed. Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
28. Wells BG, DiPiro JT, DiPiro CV, Schwinghammer TL. *Pharmacotherapy Handbook.* 7th ed. McGraw-Hill; 2009.
29. Khan MS, Shahid I, Bennis A, Metra M, Butler J. Global epidemiology of heart failure. *Nat Rev Cardiol.* 2024;21(10):717–734. doi:10.1038/s41569-024-01046-6
30. Siwik D, Apanasiewicz W, Żukowska M, et al. Diagnosing lung abnormalities related to heart failure in chest radiogram, lung ultrasound, and thoracic computed tomography. *Adv Respir Med.* 2023;91(2):103–122. doi:10.3390/arm91020010
31. Gehlken C, Screever EM, Suthahar N, et al. Left atrial volume and left ventricular mass indices in heart failure with preserved and reduced ejection fraction. *ESC Heart Fail.* 2021;8(4):2458–2466. doi:10.1002/ehf2.13366
32. Malone A, Gariwala V, O'Neill C. Congestive heart failure presenting as diffuse pulmonary nodules on CT. *Radiol Case Rep.* 2022;17(2):364–367. doi:10.1016/j.radcr.2021.11.006
33. Santos É, Menezes Falcão L. Chagas cardiomyopathy and heart failure: from epidemiology to treatment. *Rev Port Cardiol.* 2020;39(5):279–289. doi:10.1016/j.repc.2019.12.006
34. Hiraiwa H, Nagai S, Ito R, et al. Clinical utility of dynamic chest radiography in the oblique view to evaluate cardiac contraction: a case description. *Quant Imaging Med Surg.* 2025;15(3):2632–2641. doi:10.21037/qims-24-1679
35. Fyles F, FitzMaurice TS, Robinson RE, et al. Dynamic chest radiography: a state-of-the-art review. *Insights Imaging.* 2023;14(1). doi:10.1186/s13244-023-01451-4
36. Hoshino N, Fukui Y, Hida K, Obama K. Similarities and differences between study designs in short- and long-term outcomes of laparoscopic versus open low anterior resection for rectal cancer: a systematic review and meta-analysis. *Ann Gastroenterol Surg.* 2021;5(2):183–193. doi:10.1002/ags3.12409

37. Kusunose K, Hirata Y, Yamaguchi N, et al. Deep learning approach for analyzing chest X-rays to predict cardiac events in heart failure. *Front Cardiovasc Med.* 2023;10:1081628. doi:10.3389/fcvm.2023.1081628