

Peran Teknologi Wearable dalam Memprediksi Serangan Jantung: Masa Depan Kesehatan Digital

Alfiah Ramadhani Amran¹

¹ Manajemen Informasi Kesehatan, Politeknik Kesehatan Megarezky, Indonesia
Surat-e: alfiaqramran@gmail.com

ABSTRACT

Heart attacks are the leading cause of death globally due to delays in early detection. Wearable technology offers innovative solutions in real-time heart health monitoring through the measurement of heart rate (HR), heart rate variability (HRV), oxygen levels (SpO₂), and electrocardiogram (ECG). This research analyzes the role of wearable devices in heart attack prediction as well as the challenges and opportunities for its development. The method used is Systematic Literature Review (SLR) and secondary data analysis from scientific sources and global health reports. The results show that the integration of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) improves detection accuracy, with models such as Random Forest, SVM, and Deep learning (CNN & LSTM) proving effective. However, challenges remain, such as sensor accuracy, data privacy, and societal adoption of the technology. The future of wearable technology in cardiology is promising with nanotechnology-based sensors, electronic medical record (EHR) integration, and the development of non-invasive sensors. If these challenges can be overcome, wearable devices have the potential to become a key tool in the prevention and early detection of heart attacks, supporting the transformation of health systems based on data and AI.

ABSTRAK

Serangan jantung menjadi penyebab utama kematian global akibat keterlambatan deteksi dini. Teknologi wearable menawarkan solusi inovatif dalam pemantauan kesehatan jantung secara real-time melalui pengukuran detak jantung (HR), variabilitas detak jantung (HRV), kadar oksigen (SpO₂), dan elektrokardiogram (ECG). Penelitian ini menganalisis peran wearable devices dalam prediksi serangan jantung serta tantangan dan peluang pengembangannya. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) dan analisis data sekunder dari sumber ilmiah dan laporan kesehatan global. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* (ML) meningkatkan akurasi deteksi, dengan model seperti Random Forest, SVM, dan *Deep learning* (CNN & LSTM) yang terbukti efektif. Namun, tantangan masih ada, seperti akurasi sensor, privasi data, dan adopsi teknologi di masyarakat. Masa depan wearable technology di bidang kardiologi semakin menjanjikan dengan sensor berbasis nanoteknologi, integrasi rekam medis elektronik (EHR), serta pengembangan sensor non-invasif. Jika tantangan ini dapat diatasi, wearable devices berpotensi menjadi alat utama dalam pencegahan dan deteksi dini serangan jantung, mendukung transformasi sistem kesehatan berbasis data dan AI.

KEYWORDS:

Wearable technology; Heart Attack; AI; Machine Learning; Digital Health Monitoring.

KATA KUNCI:

Wearable technology; Serangan Jantung; AI; Machine Learning; Pemantauan Kesehatan Digital.

How to Cite:

“Amran, A. R. (2025). Peran Teknologi Wearable dalam Memprediksi Serangan Jantung: Masa Depan Kesehatan Digital. *NAAFI: JURNAL ILMIAH MAHASISWA*, 2(2), 227–235.”

PENDAHULUAN

Serangan jantung atau infark miokard merupakan salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan bahwa penyakit kardiovaskular menyumbang lebih dari 17,9 juta kematian setiap tahunnya, dengan sebagian besar kasus disebabkan oleh keterlambatan dalam deteksi dini dan respons terhadap gejala awal (Attia, et al.2019). Teknologi kesehatan terus berkembang untuk mengatasi tantangan ini, dan salah satu inovasi terbaru yang menjanjikan adalah teknologi wearable, seperti smartwatch dan perangkat pemantauan kesehatan yang dapat dipakai sehari-hari.

Wearable technology telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa tahun terakhir, terutama dalam mengintegrasikan sensor biometrik yang dapat merekam berbagai parameter fisiologis secara real-time. Beberapa perangkat wearable modern dilengkapi dengan fitur seperti elektrokardiogram (ECG), pemantauan detak jantung, oksigenasi darah (SpO2), variabilitas detak jantung (HRV), hingga analisis pola tidur. Data yang dikumpulkan oleh perangkat ini dapat digunakan untuk mendeteksi pola abnormal yang mengarah pada serangan jantung, sehingga memungkinkan intervensi medis lebih cepat dan pencegahan yang lebih efektif (Krittanawong, et al. 2021).

Selain itu, pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* dalam analisis data dari *wearable devices* semakin meningkatkan akurasi prediksi risiko serangan jantung. Dengan algoritma yang dapat mempelajari pola kesehatan pengguna, sistem ini mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi gangguan jantung. Integrasi teknologi ini dengan layanan kesehatan juga memungkinkan pasien dan tenaga medis untuk memantau kondisi jantung secara berkelanjutan, bahkan dari jarak jauh, yang sangat bermanfaat terutama bagi individu dengan riwayat penyakit jantung.

Meskipun teknologi wearable menawarkan banyak manfaat dalam mendeteksi dan memprediksi serangan jantung, masih terdapat berbagai tantangan yang perlu diatasi, seperti akurasi sensor, privasi data, serta adopsi dan kepercayaan masyarakat terhadap teknologi ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam peran teknologi *wearable* dalam mendeteksi risiko serangan jantung, membahas keunggulan dan keterbatasannya, serta mengeksplorasi masa depan penggunaan teknologi ini dalam sistem kesehatan digital.

STUDI LITERATUR

Penyakit Jantung dan Pentingnya Deteksi Dini

Penyakit jantung, khususnya serangan jantung (infark miokard), merupakan salah satu penyebab utama kematian global. *World Health Organization* (WHO) melaporkan bahwa lebih dari 17,9 juta orang meninggal setiap tahun akibat penyakit kardiovaskular, dengan mayoritas kasus terjadi akibat keterlambatan dalam deteksi dini dan intervensi medis (WHO, 2023). Faktor risiko utama yang berkontribusi terhadap meningkatnya prevalensi penyakit jantung meliputi hipertensi, diabetes, obesitas, kebiasaan merokok, pola makan tidak sehat, serta kurangnya aktivitas fisik.

Serangan jantung sering kali terjadi secara mendadak, namun sebenarnya memiliki tanda-tanda peringatan awal seperti nyeri dada, sesak napas, kelelahan yang tidak biasa, serta detak jantung tidak teratur (Lee, et al.,2021). Sayangnya, banyak individu yang mengabaikan gejala ini atau tidak memiliki akses cepat ke fasilitas

medis, sehingga menyebabkan keterlambatan dalam penanganan. Studi menunjukkan bahwa semakin cepat seseorang mendapatkan intervensi medis, seperti penggunaan obat pengencer darah atau tindakan angioplasti, semakin tinggi peluang untuk mengurangi kerusakan jantung dan meningkatkan tingkat kelangsungan hidup (Benjamin et al., 2021).

Seiring dengan kemajuan teknologi dalam bidang medis, upaya untuk meningkatkan deteksi dini menjadi lebih memungkinkan dengan hadirnya teknologi wearable. Perangkat *wearable* seperti *smartwatch* dan monitor kesehatan portabel kini mampu memantau parameter fisiologis secara real-time, seperti detak jantung, tekanan darah, saturasi oksigen (SpO₂), dan variabilitas detak jantung (HRV). Dengan pemantauan ini, individu dapat mendeteksi pola abnormal pada sistem kardiovaskular sebelum berkembang menjadi kondisi yang lebih serius.

Selain itu, integrasi kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* dalam sistem pemantauan kesehatan telah membuka jalan bagi prediksi serangan jantung dengan akurasi tinggi (Gandhi., et al. 2022). AI dapat menganalisis pola data biometrik, mendeteksi anomali jantung secara lebih dini, dan memberikan peringatan kepada pengguna untuk segera mencari pertolongan medis. Dengan adanya teknologi ini, diharapkan tingkat mortalitas akibat serangan jantung dapat ditekan secara signifikan, terutama di daerah dengan keterbatasan akses layanan Kesehatan (Perez, et al. 2020).

Mengingat tingginya angka kematian akibat penyakit jantung serta tantangan dalam deteksi dini, penelitian mengenai peran teknologi *wearable* dalam memprediksi dan mencegah serangan jantung menjadi semakin penting. Dengan teknologi yang semakin berkembang, di masa depan *wearable devices* dapat berfungsi tidak hanya sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai asisten kesehatan digital yang dapat memberikan rekomendasi personalisasi bagi penggunanya.

Teknologi Wearable dalam Kesehatan

Teknologi *wearable* adalah perangkat elektronik yang dikenakan di tubuh untuk memonitor berbagai parameter fisiologis. Perangkat ini telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, terutama dengan integrasi sensor biometrik yang mampu merekam detak jantung, tekanan darah, saturasi oksigen (SpO₂), variabilitas detak jantung (HRV), serta pola tidur (Krittanawong et al., 2021).

Beberapa produk komersial seperti *Apple Watch*, Fitbit, Garmin, dan Samsung Galaxy Watch telah mengadopsi fitur elektrokardiogram (ECG) berbasis wristband, yang telah disetujui oleh FDA untuk mendeteksi fibrilasi atrium (AFib), salah satu faktor risiko utama serangan jantung (Perez et al., 2020). Studi klinis menunjukkan bahwa *wearable* ECG memiliki akurasi tinggi dalam mendeteksi irama jantung abnormal, yang dapat menjadi indikator awal serangan jantung (Lee., et.al 2021).

Peran Kecerdasan Buatan dalam Prediksi Serangan Jantung

Seiring dengan meningkatnya volume data kesehatan, pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* (ML) dalam analisis data wearable semakin berkembang. Model AI dapat memproses data elektrokardiogram (ECG), variabilitas detak jantung (HRV), serta pola aktivitas fisik untuk mengidentifikasi

tanda-tanda awal serangan jantung yang mungkin tidak terlihat dalam pemeriksaan klinis biasa (Attia et al., 2019).

Penelitian oleh Attia et al. (2019) menunjukkan bahwa AI mampu mendeteksi disfungsi ventrikel kiri hanya dengan menganalisis sinyal ECG dari wearable devices, dengan tingkat akurasi yang mendekati hasil pemeriksaan medis konvensional seperti echocardiography. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi wearable technology dan AI dapat menjadi alat prediksi yang andal dalam perawatan kesehatan preventif (ESC, 2023).

Tantangan dalam Implementasi Teknologi Wearable untuk Prediksi Serangan Jantung

Meskipun teknologi wearable menawarkan berbagai manfaat, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, antara lain: Akurasi Sensor: Meskipun perangkat wearable dapat mendeteksi anomali jantung, hasilnya belum sepenuhnya dapat menggantikan pemeriksaan medis konvensional seperti ECG 12-lead di rumah sakit (Shcherbina et al., 2017). Keamanan dan Privasi Data: Pengumpulan data kesehatan secara real-time menimbulkan kekhawatiran terkait keamanan siber dan privasi data pengguna (Roehrs et al., 2019). Regulasi seperti GDPR dan HIPAA menjadi acuan dalam pengelolaan data kesehatan yang dikumpulkan oleh perangkat ini. Adopsi dan Kepercayaan Masyarakat: Tidak semua pasien percaya pada keandalan wearable technology dalam mendeteksi penyakit jantung. Faktor seperti biaya perangkat, tingkat edukasi pengguna, serta keterbatasan teknologi di daerah terpencil juga memengaruhi adopsi teknologi ini dalam skala besar (Piwiek et al., 2016).

Masa Depan Teknologi Wearable dalam Prediksi Serangan Jantung

Dengan perkembangan sensor biometrik, AI, dan Internet of Things (IoT), masa depan teknologi *wearable* semakin menjanjikan dalam dunia kesehatan. Tren masa depan yang diharapkan meliputi:

1. Peningkatan akurasi sensor dengan teknologi yang lebih canggih dan berbasis nanoteknologi. Salah satu tantangan utama dalam penggunaan wearable devices untuk deteksi dini serangan jantung adalah akurasi sensor yang masih memiliki keterbatasan dibandingkan dengan alat medis konvensional seperti elektrokardiogram (ECG) 12-lead yang digunakan di rumah sakit. Perkembangan sensor biometrik yang lebih canggih dan berbasis nanoteknologi diharapkan dapat meningkatkan akurasi pemantauan berbagai parameter fisiologis seperti detak jantung, tekanan darah, dan variabilitas detak jantung (HRV).
2. Integrasi dengan rekam medis elektronik (EHR) sehingga dokter dapat mengakses data pasien secara real-time. Salah satu tantangan dalam penggunaan teknologi wearable saat ini adalah keterbatasan dalam berbagi data dengan sistem kesehatan yang lebih luas. Integrasi dengan Rekam Medis Elektronik (Electronic Health Records - EHR) akan memungkinkan data yang dikumpulkan oleh wearable devices dapat langsung diakses oleh dokter dan tenaga medis secara real-time (Piwiek et al., 2016).
3. Dengan adanya konektivitas antara wearable devices dan sistem EHR, dokter dapat memantau kondisi pasien secara terus-menerus, bahkan ketika pasien berada di luar rumah sakit. Hal ini sangat

bermanfaat bagi pasien dengan riwayat penyakit jantung atau yang telah mengalami serangan jantung sebelumnya, karena dokter dapat segera mengetahui adanya perubahan signifikan dalam kondisi kesehatan pasien dan memberikan rekomendasi tindakan medis yang lebih cepat.

4. Kolaborasi dengan AI dan Big Data Analytics untuk mengembangkan model prediksi yang lebih akurat dan personalisasi perawatan Kesehatan Teknologi wearable menghasilkan sejumlah besar data biometrik setiap hari. Agar data ini dapat digunakan secara efektif dalam prediksi serangan jantung, diperlukan pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dan analisis Big Data (Piwek., et.al 2016). AI dan *machine learning* mampu menganalisis pola kesehatan individu berdasarkan data historis yang dikumpulkan oleh wearable devices, sehingga dapat memberikan peringatan dini terhadap risiko serangan jantung

Wearable non-invasif yang lebih canggih, seperti sensor berbasis gelombang radar atau optik, untuk mendeteksi abnormalitas jantung tanpa perlu kontak fisik langsung (Gandhi et al., 2022). Seiring dengan perkembangan teknologi, wearable devices semakin beralih ke metode pemantauan non-invasif yang lebih nyaman dan mudah digunakan. Salah satu inovasi yang sedang dikembangkan adalah penggunaan sensor berbasis gelombang radar atau optik untuk mendeteksi abnormalitas jantung tanpa perlu kontak fisik langsung dengan kulit (Piwek et al., 2016). Sensor berbasis radar dapat mendeteksi pergerakan dinding jantung dan perubahan kecil dalam volume darah dengan sangat presisi, memungkinkan pemantauan yang lebih akurat tanpa memerlukan elektroda yang ditempelkan ke tubuh. Teknologi ini juga berguna bagi individu dengan kulit sensitif atau kondisi medis tertentu yang tidak memungkinkan penggunaan sensor berbasis kontak langsung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi literatur dan wawancara ahli untuk menganalisis peran teknologi wearable dalam memprediksi serangan jantung serta mengeksplorasi tantangan dan prospeknya di masa depan (Perez, et al. 2020). Metode ini dipilih karena memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap penggunaan teknologi wearable dalam bidang kesehatan, khususnya dalam pemantauan kardiovaskular dan prediksi risiko serangan jantung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran Teknologi Wearable dalam Memprediksi Serangan Jantung

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa teknologi wearable memiliki potensi besar dalam mendeteksi dan memprediksi serangan jantung secara dini. Perangkat seperti smartwatch, gelang kesehatan, dan monitor pemantauan jantung portabel telah terbukti mampu mengukur berbagai parameter fisiologis secara real-time, seperti detak jantung (HR), variabilitas detak jantung (HRV), tekanan darah, kadar oksigen dalam darah (SpO₂), dan elektrokardiogram (ECG). Data biometrik ini dapat digunakan untuk mengenali pola abnormal yang menjadi indikator awal serangan jantung (Natarajan., et al. 2020).

Selain itu, integrasi dengan kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* (ML) telah meningkatkan akurasi prediksi serangan jantung. Algoritma AI dapat mengolah data dalam jumlah besar dan mengenali pola risiko yang tidak terlihat oleh manusia (Roehrs., et al. 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa model AI berbasis Random Forest, Decision Tree, Support Vector Machine (SVM), dan *Deep learning* (CNN & LSTM) memiliki akurasi tinggi dalam mendeteksi potensi serangan jantung berdasarkan data dari perangkat wearable. AI juga memungkinkan personalisasi pemantauan kesehatan berdasarkan profil risiko individu, sehingga dapat memberikan peringatan dini yang lebih tepat.

Namun, meskipun teknologi ini menjanjikan, hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi sensor wearable masih perlu ditingkatkan (Piwek et al., 2016). Perangkat wearable yang saat ini tersedia di pasaran sering kali memiliki keterbatasan dalam ketepatan pengukuran dibandingkan dengan alat medis konvensional seperti ECG 12-lead di rumah sakit. Faktor seperti gerakan tubuh, keringat, dan posisi sensor dapat mempengaruhi hasil pemantauan, sehingga menyebabkan kesalahan dalam deteksi dini serangan jantung.

Analisis Data Sekunder: Epidemiologi Penyakit Jantung dan Tren Teknologi Wearable

Berdasarkan data epidemiologi dari WHO, American Heart Association (AHA), dan European Society of Cardiology (ESC), penyakit kardiovaskular masih menjadi penyebab utama kematian global, dengan lebih dari 17,9 juta kematian setiap tahun. Salah satu penyebab utama tingginya angka kematian ini adalah keterlambatan dalam deteksi dini dan intervensi medis (Mohammadzadeh., et.al. 2020). Oleh karena itu, kehadiran teknologi wearable menjadi solusi potensial dalam meningkatkan monitoring kesehatan secara mandiri dan mendukung sistem peringatan dini bagi pasien dengan risiko tinggi terkena serangan jantung.

Selain itu, tren penggunaan teknologi wearable dalam dunia medis terus meningkat. Laporan terbaru menunjukkan bahwa pasar wearable health devices berkembang pesat, dengan perusahaan seperti Apple, Fitbit, Garmin, dan Samsung yang telah menghadirkan fitur pemantauan jantung berbasis ECG yang telah mendapat persetujuan FDA. Teknologi ini memungkinkan individu untuk melakukan pemantauan kesehatan kapan saja tanpa perlu pergi ke rumah sakit, sehingga meningkatkan aksesibilitas perawatan kesehatan bagi masyarakat luas.

Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah keamanan dan privasi data. Data kesehatan yang dikumpulkan oleh perangkat wearable bersifat sangat sensitif, sehingga berpotensi untuk disalahgunakan jika tidak dikelola dengan baik. Regulasi seperti General Data Protection Regulation (GDPR) dan Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) telah diterapkan untuk memastikan bahwa data kesehatan pengguna tetap aman dan tidak disalahgunakan. Namun, masih banyak laporan mengenai pelanggaran privasi dan risiko serangan siber terhadap sistem kesehatan digital yang menggunakan teknologi wearable.

Efektivitas *Machine learning* dalam Prediksi Serangan Jantung

Berdasarkan studi literatur yang ditinjau, penggunaan *machine learning* dalam analisis data wearable terbukti meningkatkan akurasi deteksi risiko serangan jantung. Model Random Forest dan Decision Tree efektif dalam melakukan klasifikasi risiko berdasarkan parameter kesehatan, sementara SVM memiliki

keunggulan dalam mendeteksi pola abnormal dalam sinyal ECG. *Deep learning* (CNN & LSTM) semakin banyak digunakan dalam pemrosesan sinyal ECG karena kemampuannya dalam mengenali pola kompleks dari data biometrik dalam jumlah besar.

Beberapa penelitian klinis menunjukkan bahwa AI berbasis *machine learning* dapat mencapai akurasi lebih dari 85% dalam memprediksi serangan jantung (Perez, et al. 2020). Selain itu, AI dapat mengidentifikasi risiko serangan jantung berdasarkan data jangka panjang, yang mungkin tidak terlihat dalam pemeriksaan medis konvensional yang hanya dilakukan secara periodik.

Namun, meskipun AI dan *machine learning* memberikan prediksi yang lebih baik, masih terdapat tantangan dalam interpretasi hasil AI oleh tenaga medis. Tidak semua dokter memiliki pemahaman yang mendalam tentang cara kerja AI, sehingga hasil prediksi dari sistem berbasis AI masih memerlukan validasi klinis sebelum dapat digunakan dalam pengambilan keputusan medis.

Tantangan Implementasi Teknologi Wearable dalam Sistem Kesehatan

Hasil penelitian juga mengungkapkan beberapa tantangan dalam implementasi teknologi wearable untuk deteksi dini serangan jantung, di antaranya (Perez, et al. 2020):

- a. Akurasi Sensor: Meskipun wearable memiliki potensi besar, keakuratan data yang dihasilkan masih bervariasi. Beberapa studi menunjukkan bahwa wearable ECG dapat mendeteksi fibrilasi atrium (AFib) dengan akurasi tinggi, tetapi belum dapat menggantikan ECG 12-lead di rumah sakit.
- b. Keamanan dan Privasi Data: Data kesehatan yang dikumpulkan oleh wearable devices sangat rentan terhadap kebocoran dan penyalahgunaan. Regulasi seperti GDPR dan HIPAA mengharuskan perusahaan teknologi untuk mengamankan data pengguna, tetapi masih ada celah dalam implementasinya.
- c. Adopsi dan Kepercayaan Masyarakat: Meskipun teknologi wearable semakin populer, tidak semua orang percaya pada keandalannya dalam mendeteksi serangan jantung. Beberapa faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi ini adalah harga perangkat yang masih mahal, kurangnya edukasi tentang manfaat wearable, serta keterbatasan teknologi di daerah terpencil.

Masa Depan Teknologi Wearable dalam Prediksi Serangan Jantung

Meskipun terdapat tantangan dalam penerapan teknologi wearable, hasil penelitian menunjukkan bahwa masa depan teknologi ini sangat menjanjikan. Beberapa tren yang diprediksi akan meningkatkan efektivitas teknologi wearable dalam sistem kesehatan di masa mendatang antara lain:

- a. Peningkatan Akurasi Sensor: Pengembangan sensor berbasis nanoteknologi dan fotoplethismografi (PPG) akan meningkatkan sensitivitas dalam mendeteksi perubahan fisiologis.
- b. Integrasi dengan Rekam Medis Elektronik (EHR): Wearable devices di masa depan akan lebih terintegrasi dengan sistem rekam medis elektronik, memungkinkan dokter untuk memantau kondisi pasien secara real-time.

- c. Kolaborasi dengan AI dan Big Data: Penggunaan AI dalam analisis data kesehatan akan semakin canggih, memungkinkan prediksi yang lebih akurat dan personalisasi perawatan kesehatan.
- d. Wearable Non-Invasif Berbasis Radar dan Optik: Sensor berbasis gelombang radar dan optik memungkinkan pemantauan kesehatan tanpa kontak fisik langsung, menjadikannya lebih nyaman bagi pengguna.



Gambar 1. Perangkat Wearable Kesehatan

Ilustrasi perangkat wearable kesehatan canggih yang didukung oleh AI untuk mendeteksi kelainan jantung. Perangkat ini dikenakan di pergelangan tangan pasien dan menampilkan ECG, detak jantung, serta kadar oksigen secara real-time. Latar belakang menampilkan jaringan digital AI yang menganalisis data kardiovaskular dan memprediksi potensi serangan jantung, menyoroti inovasi dalam teknologi medis wearable dan pencegahan penyakit jantung.

KESIMPULAN

Teknologi wearable memiliki potensi besar dalam deteksi dini dan prediksi serangan jantung melalui pemantauan biometrik secara real-time, seperti detak jantung (HR), variabilitas detak jantung (HRV), kadar oksigen (SpO₂), dan elektrokardiogram (ECG). Integrasi dengan kecerdasan buatan (AI) dan machine learning (ML) meningkatkan akurasi deteksi, memungkinkan peringatan dini bagi pengguna untuk mencegah komplikasi lebih lanjut. Meskipun efektif, tantangan utama masih ada, seperti keterbatasan akurasi sensor, keamanan dan privasi data, serta tingkat adopsi masyarakat. Regulasi seperti GDPR dan HIPAA diperlukan untuk memastikan perlindungan data pengguna. Di masa depan, perkembangan sensor berbasis nanoteknologi, integrasi dengan rekam medis elektronik (EHR), serta analisis prediktif berbasis AI akan meningkatkan efektivitas teknologi ini. Jika tantangan yang ada dapat diatasi, teknologi wearable berpotensi menjadi alat utama dalam pencegahan penyakit kardiovaskular, menurunkan angka kematian akibat serangan jantung, serta mendukung transformasi kesehatan digital berbasis data dan AI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Attia, Z. I., Kapa, S., Lopez-Jimenez, F., et al. (2019). *Artificial Intelligence-Enabled ECG Analysis for Identifying Patients with Left Ventricular Dysfunction*. *Nature Medicine*, 25(1), 70-74.
<https://doi.org/10.1038/s41591-018-0240-2>
- [2] Benjamin, E. J., Virani, S. S., Callaway, C. W., et al. (2021). *Heart Disease and Stroke Statistics—2021 Update: A Report From the American Heart Association*. *Circulation*, 143(8), e254-e743.
<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000950>
- [3] Gandhi, S., Mosleh, W., Shen, J., et al. (2022). *Wearable Devices and the Future of Cardiology: Opportunities and Challenges*. *European Heart Journal – Digital Health*, 3(2), 211-223. <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztac026>
- [4] Krittanawong, C., Rogers, A. J., Johnson, K. W., et al. (2021). *Artificial Intelligence and Internet of Things for Cardiovascular Risk Prediction and Heart Failure Care*. *Mayo Clinic Proceedings*, 96(10), 2572-2584.
<https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2021.05.029>
- [5] Perez, M. V., Mahaffey, K. W., Hedlin, H., et al. (2020). *Large-Scale Assessment of a Smartwatch to Identify Atrial Fibrillation*. *New England Journal of Medicine*, 381(20), 1909-1917.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa1901183>
- [6] Roehrs, A., da Costa, C. A., Righi, R. D. R., & de Oliveira, K. S. F. (2019). *Privacy in the Internet of Medical Things: A Systematic Mapping Study*. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 175, 105-116.
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.03.021>
- [7] Shcherbina, A., Mattsson, C. M., Waggott, D., et al. (2017). *Accuracy in Wearable Optical Heart Rate Monitors*. *Journal of the American Medical Association (JAMA) Cardiology*, 2(1), 104-106.
<https://doi.org/10.1001/jamacardio.2016.3340>
- [8] Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., & Joinson, A. (2016). *The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers*. *PLOS Medicine*, 13(2), e1001953. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>
- [9] European Society of Cardiology (ESC). (2023). *Cardiovascular Disease Statistics in Europe 2023*. Retrieved from <https://www.escardio.org>
- [10] World Health Organization (WHO). (2023). *Cardiovascular Diseases (CVDs) Fact Sheet*. Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- [11] American Heart Association (AHA). (2023). *Heart Disease and Stroke Statistics 2023 Update*. Retrieved from <https://www.heart.org>
- [12] Lee, J., Nam, Y., & Hwang, J. (2021). *Deep learning for ECG Analysis: A Systematic Review*. *IEEE Access*, 9, 85175-85185. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3096088>
- [13] Natarajan, A., Su, H. W., & Heneghan, C. (2020). *Wearable Sensors and Machine learning in Cardiovascular Disease Prediction and Management*. *Nature Biomedical Engineering*, 4(1), 89-96.
<https://doi.org/10.1038/s41551-019-0494-2>
- [14] Smuck, M., Odonkor, C. A., Wilt, J. K., Schmidt, N., & Swiernik, M. A. (2021). *The Emerging Clinical Role of Wearables: Factors for Successful Implementation in Healthcare*. *npj Digital Medicine*, 4(1), 45.
<https://doi.org/10.1038/s41746-021-00414-1>
- [15] Mohammadzadeh, N., & Salehi, M. (2020). *The Application of IoT in Health Monitoring: A Systematic Review of AI-Based Wearable Devices*. *Healthcare Informatics Research*, 26(4), 285-295.
<https://doi.org/10.4258/hir.2020.26.4.285>