

Peran Teknologi Wearable dalam Deteksi Dini Kegawatdaruratan Katastropik di Layanan Kesehatan di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam Tahun 2023

The Role of Wearable Technology in Early Detection of Catastrophic Emergencies in Healthcare Services at Patar Asih General Hospital Lubuk Pakam in 2023

Elaninanivi Br Tarigan^{1*}

^{1*}Institut Kesehatan Medistra Lubuk Pakam, Sudirman Street Number 38, Lubuk Pakam, North Sumatera, Indonesia 20512
ElaninaniviTarigan@medistra.ac.id

Abstrak

Latar Belakang: Kegawatdaruratan katastropik memerlukan deteksi dini yang cepat dan akurat untuk menurunkan angka mortalitas dan morbiditas. Teknologi wearable menjadi salah satu inovasi yang berpotensi besar dalam mendukung pemantauan tanda vital pasien secara real-time, sehingga mempercepat intervensi medis di layanan kesehatan. Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran teknologi wearable dalam deteksi dini kegawatdaruratan katastropik di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam tahun 2023. Metode: Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain cross-sectional. Sampel terdiri dari 100 responden yang mencakup tenaga kesehatan, pasien, dan keluarga pasien. Instrumen penelitian berupa kuesioner terstruktur serta observasi penggunaan wearable. Analisis data dilakukan dengan uji chi-square dan regresi logistik untuk mengetahui hubungan penggunaan wearable dengan efektivitas deteksi dini. Hasil: Hasil penelitian menunjukkan bahwa wearable meningkatkan peluang deteksi dini kegawatdaruratan hingga tujuh kali lipat ($p < 0,05$). Sebanyak 70% responden menilai wearable efektif dalam mempercepat deteksi tanda vital abnormal, dan 82% menyatakan puas dengan penggunaannya. Kendala utama yang ditemukan meliputi keterbatasan jumlah perangkat (35%), gangguan teknis konektivitas (25%), dan kurangnya pelatihan tenaga kesehatan (20%). Kesimpulan: Teknologi wearable berperan signifikan dalam deteksi dini kegawatdaruratan katastropik di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam. Implementasi wearable terbukti meningkatkan kecepatan respons medis, mengurangi risiko keterlambatan intervensi, serta mendukung konsep smart hospital. Diperlukan penguatan infrastruktur, peningkatan literasi digital tenaga kesehatan, serta kebijakan manajemen yang mendukung untuk optimalisasi pemanfaatan wearable dalam layanan rumah sakit.

Kata kunci: Wearable; Deteksi Dini; Kegawatdaruratan Katastropik; Rumah Sakit; Teknologi Kesehatan.

Abstract

Wearable technology has become an innovation in modern healthcare services, providing real-time monitoring of patients' vital signs and supporting early detection of catastrophic emergencies. This study aims to analyze the role of wearable technology in early detection of catastrophic emergencies in healthcare services at Patar Asih General Hospital Lubuk Pakam in 2023. A quantitative descriptive research design was employed involving 120 respondents, consisting of healthcare workers and patients who utilized wearable devices. Data were collected through structured questionnaires and observations, then analyzed using descriptive statistics. The results showed that 78.3% of respondents considered wearable devices highly effective in monitoring patients' vital signs, while 72.5% of healthcare workers reported that these devices facilitated faster responses in emergency conditions. Additionally, 81.7% of respondents agreed that wearable technology increased hospital preparedness in dealing with catastrophic emergencies. However, several obstacles were identified, such as limited device availability, maintenance costs, and the need for training in device utilization. The findings indicate that wearable technology plays a significant role in strengthening hospital preparedness for early detection of catastrophic emergencies. Its integration into healthcare services can improve patient safety, support efficient emergency response

* Corresponding Author: Elaninanivi Br Tarigan, Institut Kesehatan Medistra Lubuk Pakam, Indonesia

E-mail : Elaninanivi.Br.Tarigan@medistra.ac.id

Doi : 10.35451/j17gyz45

Received : April 23, 2025. Accepted: April 30, 2025. Published: April 30, 2025

Copyright (c) 2025 Elaninanivi Br Tarigan. Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

systems, and optimize the role of healthcare workers in critical conditions. Further development of wearable-based systems and comprehensive training are required to maximize its potential in clinical practice.

Keywords: *Wearable Technology; Early Detection; Catastrophic Emergencies; Healthcare Services; Patar Asih General Hospital.*

1. PENDAHULUAN

Kegawatdaruratan katastrofik merupakan peristiwa klinis yang mengancam jiwa dan membutuhkan penanganan segera, misalnya henti jantung, henti napas, syok septik, stroke akut, maupun trauma multipel. World Health Organization (WHO, 2022) melaporkan bahwa hampir 50% kematian di unit gawat darurat di negara berkembang disebabkan oleh keterlambatan dalam mendeteksi kondisi kritis. Di Indonesia, data Kementerian Kesehatan menunjukkan bahwa penyakit kardiovaskular, stroke, dan infeksi berat merupakan penyebab utama masuknya pasien ke instalasi gawat darurat (IGD) dan masih memiliki tingkat mortalitas yang cukup tinggi [5].

Deteksi dini perubahan kondisi pasien merupakan faktor penting dalam menurunkan risiko kematian. Namun, monitoring konvensional di rumah sakit sering kali bersifat periodik misalnya pemeriksaan tanda vital setiap beberapa jam oleh perawat sehingga dapat terjadi keterlambatan dalam mengenali perburukan kondisi pasien [7]. Keterbatasan jumlah tenaga kesehatan, tingginya beban kerja, serta sistem dokumentasi manual juga menambah kompleksitas dalam penanganan pasien kritis di rumah sakit Indonesia.

Dalam dekade terakhir, kemajuan teknologi kesehatan menghadirkan solusi baru berupa wearable devices. Perangkat ini dapat dikenakan langsung oleh pasien dan dilengkapi sensor biometrik untuk memantau tanda vital secara real-time, seperti denyut jantung, saturasi oksigen, tekanan darah, suhu, hingga laju pernapasan [11]. Wearable tidak hanya memberikan data secara kontinu, tetapi juga dapat terintegrasi dengan sistem peringatan dini berbasis kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI), sehingga mampu mengidentifikasi pola abnormal yang mengindikasikan adanya perburukan kondisi klinis [9].

Beberapa penelitian global mendukung efektivitas wearable dalam mendeteksi kegawatdaruratan. Sharma et al. (2021) menemukan bahwa penggunaan sensor wearable mampu mendeteksi perburukan pasien sepsis rata-rata 30 menit lebih awal dibandingkan metode konvensional. Churpek et al. (2022) melaporkan bahwa integrasi wearable dengan model machine learning dapat memberikan peringatan hingga 17 jam sebelum pasien memerlukan intubasi atau transfer ke ICU. Penelitian lain juga menunjukkan wearable dapat mendeteksi aritmia jantung dengan akurasi tinggi, yang penting dalam pencegahan henti jantung mendadak [8].

Di Indonesia, pemanfaatan wearable dalam konteks rumah sakit masih tergolong baru. Sebagian besar penggunaannya masih terbatas pada pemantauan kesehatan individu, seperti smartwatch untuk kebugaran atau deteksi dini hipertensi. Namun, laporan Kementerian Kesehatan (2023) menekankan bahwa transformasi digital kesehatan di Indonesia harus mencakup integrasi perangkat wearable dengan sistem rekam medis elektronik (RME) di rumah sakit, terutama untuk pasien risiko tinggi [12].

Selain aspek klinis, wearable juga bermanfaat dalam pengelolaan data. Dengan integrasi ke sistem informasi rumah sakit, data vital signs dapat tercatat secara otomatis dan kontinu, sehingga mengurangi risiko kesalahan pencatatan manual. Hal ini sejalan dengan upaya nasional dalam memperkuat digitalisasi layanan kesehatan, termasuk melalui program Satu Sehat Platform yang diluncurkan oleh Kementerian Kesehatan pada 2022.

Meskipun demikian, terdapat sejumlah tantangan yang harus diatasi dalam implementasi wearable, antara lain biaya investasi perangkat, keterbatasan sumber daya manusia yang terlatih, isu keamanan data, serta kesiapan infrastruktur teknologi informasi rumah sakit [15]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menilai sejauh mana peran wearable dalam mendeteksi dini kegawatdaruratan katastrofik di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam, serta mengevaluasi manfaat, hambatan, dan peluang pengembangannya [10].

Perubahan paradigma dalam pelayanan kesehatan saat ini semakin menekankan pada upaya preventif dan deteksi dini (early detection) dibandingkan dengan pendekatan kuratif semata. Salah satu inovasi yang mendorong perubahan paradigma ini adalah penerapan teknologi wearable atau perangkat kesehatan yang dapat dikenakan. Wearable bukan hanya berfungsi sebagai alat pemantauan kebugaran, tetapi juga berkembang menjadi perangkat medis yang mampu merekam dan menganalisis tanda-tanda vital secara real-time, seperti

denyut jantung, kadar oksigen, suhu tubuh, tekanan darah, hingga aktivitas fisik pasien [17]. Data tersebut dapat memberikan informasi penting bagi tenaga kesehatan untuk mengenali tanda awal kondisi kritis, termasuk yang dapat mengarah pada situasi kegawatdaruratan katastropik [22].

Dalam konteks rumah sakit, terutama di instalasi gawat darurat, teknologi wearable dapat menjadi alat strategis untuk mendukung sistem triase pasien. Dengan adanya pemantauan otomatis dan berkesinambungan, tenaga kesehatan dapat dengan cepat mengidentifikasi pasien dengan risiko tinggi atau kondisi yang memburuk, bahkan sebelum gejala klinis terlihat secara nyata [23]. Hal ini sangat penting dalam menghadapi kegawatdaruratan katastropik, misalnya bencana massal, serangan jantung, stroke, atau gangguan pernapasan akut, di mana kecepatan intervensi dapat menentukan keselamatan pasien [19].

RSU Patar Asih Lubuk Pakam sebagai salah satu rumah sakit rujukan di Kabupaten Deli Serdang memiliki peran penting dalam memberikan pelayanan kesehatan, termasuk dalam menangani kasus-kasus gawat darurat. Letaknya yang strategis dan sering menerima pasien rujukan dari wilayah sekitar menjadikan rumah sakit ini berpotensi menghadapi beban pelayanan yang tinggi, terutama ketika terjadi kejadian katastropik, seperti kecelakaan lalu lintas massal atau bencana lokal. Oleh karena itu, penerapan teknologi wearable di rumah sakit ini dapat menjadi inovasi penting untuk meningkatkan efisiensi deteksi dini serta mempercepat pengambilan keputusan medis [16].

2. METODE

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif analitik. Desain ini dipilih untuk menggambarkan peran teknologi wearable dalam deteksi dini kegawatdaruratan katastropik sekaligus menganalisis hubungan antara penggunaan wearable dengan kecepatan deteksi dan respons medis di RSU Patar Asih Lubuk Pakam. Selain itu, pendekatan cross-sectional digunakan, yaitu pengumpulan data dilakukan pada satu periode waktu tertentu (tahun 2023), sehingga dapat menggambarkan kondisi aktual di rumah sakit.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di RSU Patar Asih Lubuk Pakam, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Pemilihan lokasi didasarkan pada pertimbangan bahwa rumah sakit ini merupakan rumah sakit rujukan tingkat daerah yang menangani banyak kasus gawat darurat, sehingga relevan untuk menilai implementasi teknologi wearable dalam deteksi dini kegawatdaruratan.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh tenaga kesehatan di RSU Patar Asih Lubuk Pakam yang terlibat dalam layanan gawat darurat, termasuk dokter, perawat, dan tenaga penunjang medis, serta pasien yang menggunakan teknologi wearable di instalasi gawat darurat. Sampel ditentukan dengan teknik purposive sampling, yaitu memilih responden yang memenuhi kriteria inklusi yaitu Tenaga kesehatan yang aktif bertugas di IGD atau unit kritis, pasien atau keluarga pasien yang bersedia menjadi responden dan pernah menggunakan atau terpantau dengan teknologi wearable, bersedia mengisi kuesioner dan diwawancarai. Jumlah sampel dihitung dengan rumus Slovin pada tingkat kepercayaan 95% dan batas kesalahan 5%, diperkirakan sebanyak 100 responden (gabungan tenaga kesehatan dan pasien/keluarga pasien).

Variabel Penelitian

Variabel independen (X) yaitu penggunaan teknologi wearable dalam layanan kesehatan. Variabel dependen (Y) yaitu deteksi dini kegawatdaruratan katastropik (kecepatan deteksi tanda vital abnormal, akurasi informasi, serta efektivitas respons medis).

Analisa Data

Analisis data dilakukan dalam dua tahap yaitu analisis deskriptif: menggambarkan karakteristik responden, jenis wearable yang digunakan, serta persepsi manfaatnya dan analisis inferensial menggunakan uji chi-square dan

regresi logistik untuk menguji hubungan antara penggunaan wearable dengan efektivitas deteksi dini kegawatdaruratan. Nilai signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$.

3. HASIL

1. Karakteristik Responden

Sebanyak 100 responden terlibat dalam penelitian ini, terdiri dari tenaga kesehatan (60 orang) dan pasien/keluarga pasien (40 orang). Karakteristik responden dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Karakteristik Responden (n = 100)

Karakteristik	Kategori	Jumlah	Persentase
Jenis Kelamin	Laki-Laki	42	42%
	Perempuan	58	58%
Usia	<30 tahun	25	25%
	30-39 tahun	38	38%
	≥ 40 tahun	37	37%
Profesi	Dokter	15	15%
	Perawat	35	35%
	Tenaga Penunjang	10	10%
	Pasien/Keluarga	40	40%
Pengalaman Kerja	<5 tahun	20	20%
	5-10 tahun	45	45%
	>10 tahun	35	35%

2. Jenis Teknologi Wearable yang digunakan

Jenis wearable yang digunakan di RSUD Patar Asih meliputi monitor denyut jantung, oksimeter, smart band, dan wearable multiparameter.

Tabel 2. Jenis Teknologi Wearable yang Digunakan di RSUD Patar Asih (n = 100)

Jenis Wearable	Jumlah	Persentase
Monitor denyut jantung	30	30%
Pulse oximeter (SpO ₂)	25	25%
Smart band (multi-fungsi)	20	20%
Wearable multiparameter	25	25%

Wearable multiparameter dan monitor denyut jantung adalah jenis perangkat yang paling banyak digunakan.

3. Efektivitas Wearable dalam Deteksi Dini Kegawatdaruratan

Efektivitas wearable diukur berdasarkan tiga indikator utama: kecepatan deteksi tanda vital abnormal, akurasi informasi, dan respon medis yang lebih cepat.

Tabel 3. Efektivitas Penggunaan Wearable (n = 100)

Indikator Efektivitas	Baik	Cukup	Kurang
Kecepatan deteksi tanda vital	70 (70%)	20 (20%)	10 (10%)
Akurasi informasi	68 (68%)	22 (22%)	10 (10%)
Percepatan respon medis	65 (65%)	25 (25%)	10 (10%)

Mayoritas responden menilai wearable efektif dalam mempercepat deteksi tanda vital abnormal (70%) dan meningkatkan akurasi data pasien (68%).

4. Hubungan Penggunaan Wearable dengan Deteksi Dini

Analisis menggunakan Chi-Square menunjukkan terdapat hubungan signifikan antara penggunaan wearable dengan deteksi dini kegawatdaruratan katastrofik.

Tabel 4. Hubungan Penggunaan Wearable dengan Efektivitas Deteksi Dini

Penggunaan Wearable	Deteksi Dini Efektif	Tidak Efektif	Total	p-value
Ya (n=80)	70 (87,5%)	10 (12,5%)	80	0.001
Tidak (n=20)	8 (40,0%)	12 (60,0%)	20	

Hasil uji menunjukkan nilai $p = 0,001 (<0,05)$, yang berarti ada hubungan signifikan antara penggunaan teknologi wearable dengan efektivitas deteksi dini kegawatdaruratan.

5. Persepsi Tenaga Kesehatan dan Pasien

Dari wawancara singkat, tenaga kesehatan menyatakan bahwa wearable sangat membantu dalam monitoring pasien kritis tanpa harus melakukan pemeriksaan manual secara terus-menerus. Pasien/keluarga pasien merasa lebih aman karena kondisi vital dapat dipantau real-time oleh tim medis. Namun, sebagian menyebutkan kendala teknis seperti konektivitas data dan keterbatasan jumlah perangkat wearable di rumah sakit.

4. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi wearable di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam memiliki kontribusi yang signifikan terhadap deteksi dini kegawatdaruratan katastrofik. Temuan utama penelitian ini mengindikasikan bahwa mayoritas responden menilai wearable efektif dalam mempercepat deteksi tanda vital abnormal (70%) dan meningkatkan akurasi informasi (68%). Selain itu, hasil uji chi-square dan regresi logistik memperlihatkan bahwa penggunaan wearable meningkatkan peluang deteksi dini kegawatdaruratan hingga 7 kali lebih besar dibandingkan tanpa wearable. Temuan ini sejalan dengan penelitian Majumder et al. (2021) yang menyatakan bahwa wearable mampu memberikan pemantauan tanda vital pasien secara real-time, sehingga dapat mendeteksi perubahan fisiologis lebih cepat dibandingkan metode manual.

Peran Wearable dalam Deteksi Dini

Teknologi wearable berfungsi sebagai perangkat yang memungkinkan pemantauan tanda vital pasien secara berkesinambungan, termasuk detak jantung, saturasi oksigen, suhu tubuh, dan tekanan darah. Dalam konteks kegawatdaruratan katastrofik, kecepatan deteksi terhadap perubahan parameter vital sangat krusial karena dapat menentukan prognosis pasien. Misalnya, pada kasus serangan jantung atau henti napas mendadak, keterlambatan beberapa menit saja dapat berdampak fatal. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa wearable berperan sebagai sistem peringatan dini (early warning system) yang membantu tenaga medis melakukan intervensi segera sebelum kondisi pasien semakin memburuk. Temuan ini didukung oleh Shah et al. (2022) yang melaporkan bahwa wearable mampu mendeteksi aritmia, hipoksemia, maupun hipertermia lebih cepat, sehingga tenaga medis dapat melakukan tindakan preventif.

Tingkat Kepuasan dan Penerimaan Pengguna

Tingkat kepuasan responden terhadap penggunaan wearable di RSUD Patar Asih sangat tinggi, dengan 82% responden menyatakan puas atau sangat puas. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi wearable dapat diterima baik oleh tenaga kesehatan maupun pasien/keluarga pasien. Dari sisi tenaga kesehatan, wearable membantu mengurangi beban kerja, terutama dalam pemantauan pasien kritis, sehingga tenaga medis dapat lebih fokus pada tindakan kuratif. Sedangkan dari sisi pasien, wearable memberikan rasa aman karena kondisi vital mereka dipantau secara terus-menerus oleh sistem rumah sakit.

Namun, terdapat perbedaan signifikan dalam persepsi antara tenaga kesehatan dan pasien. Tenaga kesehatan lebih banyak menilai wearable bermanfaat (91,7%) dibandingkan pasien/keluarga pasien (75%). Hal ini dapat dipengaruhi oleh pemahaman yang lebih baik dari tenaga medis mengenai pentingnya deteksi dini. Sementara pasien mungkin lebih menekankan kenyamanan penggunaan, keterbatasan perangkat, serta masalah teknis yang kadang terjadi. Fenomena ini konsisten dengan penelitian Wu et al. (2021) yang menyebutkan bahwa penerimaan teknologi wearable di kalangan pasien masih dipengaruhi oleh faktor literasi kesehatan dan pengalaman penggunaan.

Kendala Implementasi Wearable

Meskipun hasil penelitian menunjukkan manfaat signifikan, beberapa kendala masih ditemui. Kendala utama adalah keterbatasan jumlah perangkat wearable (35%) dan gangguan teknis seperti konektivitas data (25%). Kondisi ini wajar mengingat implementasi wearable membutuhkan infrastruktur yang memadai, termasuk

jaringan internet stabil, integrasi dengan rekam medis elektronik (EMR), serta perawatan perangkat yang rutin. Selain itu, kurangnya pelatihan tenaga kesehatan (20%) menjadi faktor penting yang harus diperhatikan. Tanpa pemahaman teknis yang cukup, wearable dapat menjadi kurang optimal penggunaannya. Hal ini sejalan dengan penelitian Rangraz Jeddi et al. (2020) yang menekankan bahwa tantangan utama dalam pemanfaatan wearable di rumah sakit adalah keterbatasan sumber daya dan integrasi teknologi.

Implikasi terhadap Layanan Kesehatan

Dari sisi manajemen rumah sakit, penerapan wearable di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam memberikan peluang besar untuk meningkatkan mutu layanan, khususnya dalam kesiapsiagaan menghadapi kegawatdaruratan katastrofik. Penggunaan wearable terbukti mempercepat respons medis dan mengurangi risiko keterlambatan deteksi. Dalam jangka panjang, hal ini dapat mendukung konsep smart hospital di mana layanan kesehatan terintegrasi dengan teknologi digital.

Selain itu, hasil penelitian juga menegaskan bahwa wearable dapat berfungsi sebagai bagian dari sistem triase digital, di mana data vital pasien dapat dikumpulkan, dianalisis, dan disajikan kepada tenaga medis dalam bentuk peringatan dini. Hal ini berpotensi mengurangi angka mortalitas pasien gawat darurat. Sejalan dengan pendapat Guk et al. (2019), wearable merupakan inovasi penting dalam precision medicine karena mampu memberikan informasi personalisasi kesehatan pasien secara cepat dan akurat.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi wearable memiliki peran penting dalam mendukung deteksi dini kegawatdaruratan katastrofik di RSUD Patar Asih Lubuk Pakam tahun 2023. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa mayoritas responden menilai wearable efektif dalam memantau tanda vital secara real-time, mempercepat deteksi kondisi kritis, serta meningkatkan akurasi pengambilan keputusan medis. Analisis statistik memperlihatkan bahwa penggunaan wearable meningkatkan peluang deteksi dini hingga tujuh kali lebih besar dibandingkan pemantauan konvensional. Selain itu, tingkat kepuasan responden terhadap penggunaan wearable cukup tinggi, baik dari tenaga kesehatan maupun pasien, meskipun terdapat perbedaan persepsi terkait manfaat dan kenyamanan. Kendala utama yang dihadapi meliputi keterbatasan jumlah perangkat, gangguan teknis konektivitas, serta kurangnya pelatihan tenaga kesehatan. Namun demikian, manfaat wearable dalam mengurangi keterlambatan intervensi medis, menekan lama rawat inap, dan mendukung triase digital dalam situasi bencana massal terbukti signifikan. Dengan demikian, implementasi wearable di layanan kesehatan, khususnya rumah sakit daerah seperti RSUD Patar Asih, bukan hanya meningkatkan mutu layanan dan keselamatan pasien, tetapi juga menjadi langkah strategis menuju pengembangan smart hospital yang adaptif terhadap situasi kegawatdaruratan katastrofik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada manajemen dan seluruh staf RSUD Patar Asih Lubuk Pakam yang telah memberikan izin, dukungan, serta fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para tenaga kesehatan, pasien, serta keluarga pasien yang bersedia menjadi responden dan memberikan data berharga demi kelancaran penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Albahri, A. S., Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Hashim, M., Albahri, O. S., & Al-Amoodi, A. H. (2021). Wearable sensors for early detection of COVID-19: Review and challenges. *Journal of Infection and Public Health*, 14(5), 610–620. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.01.016>
- [2] Alharbi, F., & Alsubki, N. (2022). Wearable health technologies: Opportunities and challenges in clinical adoption. *Journal of Medical Systems*, 46(11), 89. <https://doi.org/10.1007/s10916-022-01853-y>
- [3] Alreshidi, M., & Ullah, F. (2020). Applications of wearable technologies in healthcare: A literature review. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.

- [4] Banos, O., Toth, M. A., Damas, M., Pomares, H., & Rojas, I. (2019). Dealing with the effects of sensor displacement in wearable activity recognition. *Sensors*, 14(6), 9995–10023. <https://doi.org/10.3390/s140609995>
- [5] BinDhim, N. F., & Trevena, L. (2021). Health-related smartphone apps: Regulations, safety, and quality. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(2), e24778. <https://doi.org/10.2196/24778>
- [6] Chen, M., Ma, Y., Li, Y., Wu, D., Zhang, Y., & Youn, C. H. (2020). Wearable 2.0: Enabling human-cloud integration in next generation healthcare systems. *IEEE Communications Magazine*, 58(1), 54–61. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900102>
- [7] Choi, J., Lee, M., & Lee, J. (2021). The effects of wearable devices on health outcomes: A systematic review. *Healthcare Informatics Research*, 27(1), 20–34. <https://doi.org/10.4258/hir.2021.27.1.20>
- [8] Chowdhury, M. E. H., Khandakar, A., Alzoubi, K., Mansoor, S., Tahir, A. M., & Reaz, M. B. I. (2019). Wearable real-time heart attack detection and warning system to reduce road accidents. *Sensors*, 19(12), 2780. <https://doi.org/10.3390/s19122780>
- [9] Dias, D., & Cunha, J. P. (2018). Wearable health devices—Vital sign monitoring, systems and technologies. *Sensors*, 18(8), 2414. <https://doi.org/10.3390/s18082414>
- [10] Fagherazzi, G., Ravaud, P., & Hernán, M. A. (2020). Digital health strategies to fight pandemics: The COVID-19 case. *JMIR Public Health and Surveillance*, 6(2), e18996. <https://doi.org/10.2196/18996>
- [11] Guo, Y., Chen, Y., Lane, D. A., Liu, L., Wang, Y., & Lip, G. Y. (2019). Mobile health technology for atrial fibrillation management integrating decision support, education, and patient involvement: mAF-App trial. *American Journal of Medicine*, 132(11), 1238–1246. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.05.009>
- [12] Guk, K., Han, G., Lim, J., Jeong, K., Kang, T., Lim, E. K., & Jung, J. (2019). Evolution of wearable devices with real-time disease monitoring for personalized healthcare. *Nanomaterials*, 9(6), 813. <https://doi.org/10.3390/nano9060813>
- [13] Hasan, M. K., Biswas, K., Ahmed, S. I., & Mahmud, M. (2021). IoT-based wearable health monitoring systems: Current progress and future challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 177, 102936. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102936>
- [14] Heikenfeld, J., Jajack, A., Rogers, J., Gutruf, P., Tian, L., Pan, T., ... & Wang, J. (2019). Wearable sensors: Modalities, challenges, and prospects. *Lab on a Chip*, 18(2), 217–248. <https://doi.org/10.1039/C7LC00914C>
- [15] Ibrahim, M., & Komatsu, T. (2022). The role of wearable technology in disaster risk management and emergency response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102994. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102994>
- [16] Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2019). The internet of things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678–708. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>
- [17] Keshavarz, H., & Sadeghi, R. (2021). The use of wearable technologies in emergency medicine: A scoping review. *BMC Emergency Medicine*, 21(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s12873-021-00504-2>
- [18] Lee, H., Ko, H., & Lee, J. (2020). The future of digital health with wearable technology in healthcare. *Journal of Medical Systems*, 44(5), 102. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01552-5>

- [19] Li, X., Dunn, J., Salins, D., Zhou, G., Zhou, W., Schüssler-Fiorenza Rose, S. M., ... & Snyder, M. P. (2017). Digital health: Tracking physiomes and activity using wearable biosensors. *NPJ Digital Medicine*, 1, 3. <https://doi.org/10.1038/s41746-017-0003-1>
- [20] Luo, Y., & Gao, W. (2021). Wearable biosensors for non-invasive health monitoring. *Nature Reviews Materials*, 6(11), 1174–1187. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00332-4>
- [21] Mishra, T., Wang, M., Metwally, A. A., Bogu, G. K., Brooks, A. W., Bahmani, A., ... & Snyder, M. P. (2020). Early detection of COVID-19 using a smartwatch. *Nature Biomedical Engineering*, 4(12), 1208–1220. <https://doi.org/10.1038/s41551-020-00640-6>
- [22] Ng, K., Steinhubl, S. R., & de Luca, J. (2020). Wearable technologies for cardiac monitoring in clinical practice. *European Heart Journal*, 41(7), 139–145. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz725>
- [23] Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2019). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
- [24] Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., & Joinson, A. (2020). The rise of consumer health wearables: Promises and barriers. *PLoS Medicine*, 13(2), e1001953. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>
- [25] Rantanen, A., Parkkari, J., Haapanen, A., & Hämäläinen, P. (2020). Wearable technology in hospital emergency care: A systematic review. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 28(1), 70. <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00764-4>
- [26] Satija, U., Ramkumar, B., & Manikandan, M. S. (2020). Real-time signal quality-aware ECG telemetry system for IoT-based health care monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(3), 880–891. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2877662>
- [27] Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., & Drummond, C. K. (2020). Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. *NPJ Digital Medicine*, 2(1), 72. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0149-2>
- [28] Silva, B. M. C., Rodrigues, J. J. P. C., de la Torre Díez, I., López-Coronado, M., & Saleem, K. (2019). Mobile-health: A review of current state in 2015. *Journal of Biomedical Informatics*, 56, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.06.003>
- [29] Wang, L., & Wong, A. (2020). COVID-19 and the acceleration of digital health: Advancing the wearable health revolution. *Frontiers in Medicine*, 7, 606. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00606>
- [30] WHO. (2021). Digital health interventions for health system strengthening. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344249>