

Alat Deteksi Denyut Jantung Tipe *Fingertip* dengan Sensor *Non-invasif* untuk Masyarakat Pedesaan (Studi Kasus Desa Raharja, Banjar, Jawa Barat)

Maria Evita*, Jihan Prihatini, I Kadek Agus Sara Sawita, Muhammad Kamal, Nur Asiah Aprianti

Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 18 Mei 2025

Direvisi: 10 Agustus 2025

Diterima: 13 September 2025

Kata kunci:

Akurasi

Arduino

Denyut jantung

Sensor

Keywords:

Accuracy

Arduino

Heart rate

Sensor

Penulis Korespondensi:

Maria Evita

Email: mariaevita19@itb.ac.id

ABSTRAK

Penyakit jantung merupakan penyakit paling mematikan di dunia termasuk di Indonesia. Penyakit ini diderita oleh penduduk baik di perkotaan ataupun pedesaan. Kurangnya akses peralatan kedokteran khususnya alat deteksi jantung di pedesaan merupakan alasan pengembangan alat deteksi jantung tipe *fingertip* dengan sensor non-invasif yang murah dan praktis untuk digunakan. Alat ini terdiri dari sebuah sensor infra merah yang dilengkapi dengan sebuah filter analog, penguat operasional dan mikrokontroler Arduino Uno untuk mengolah sinyal serta LCD untuk menampilkan denyut jantung. Setelah dilakukan kalibrasi, alat ini kemudian dites terhadap partisipan di Desa Raharja sebanyak 20 orang untuk validasi alat. Dalam dua tahapan pengetesan didapat akurasi rata-rata pada tahap 1 berkisar antara 3,28% sampai 8,08% dan pada tahap 2 berkisar antara 2,89% sampai 31,73%. Sebagian besar hasilnya telah sesuai dengan standar akurasi alat deteksi denyut jantung. Kekurangan pada hasil penelitian ini memungkinkan untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya.

Heart disease is one of the most lethal diseases in the world, including in Indonesia. This disease affects both urban and rural populations. Lack of access to medical equipment particularly for heart rate detection, is the reason for developing a fingertip-type heart rate device using a cheap and convenient non-invasive sensor. This system consists of an infrared sensor equipped with an analog filter, an operational amplifier and Arduino Uno microcontroller for signal processing, and an LCD for displaying the heart rate. After calibration, this system was tested on 20 participants in Desa Raharja to validate its performance. In two phases of testing, the average accuracy obtained ranged from 3.28% to 8.08% in phase 1, and from 2.89% to 31.73% in phase 2. Most of the results have met the accuracy standards for heart rate detection equipment. The shortcomings of this research allow for further development in future studies.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

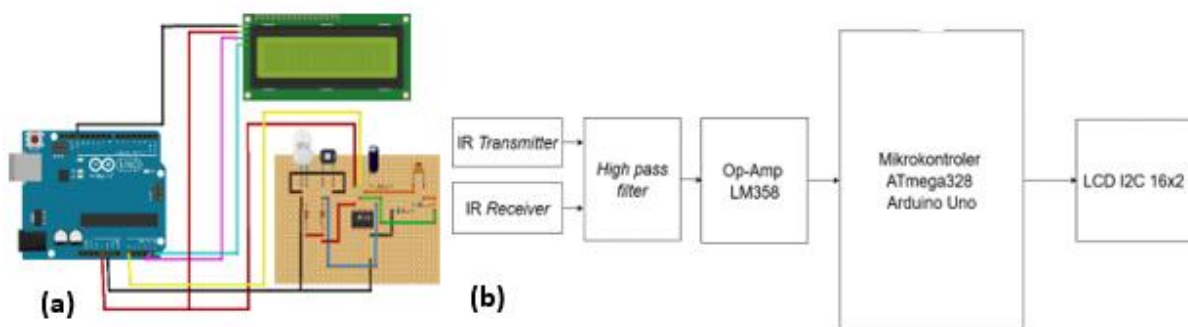
I. PENDAHULUAN

Penyakit jantung merupakan salah satu penyakit mematikan di dunia. Dari data beberapa institusi dinyatakan bahwa penyakit jantung merupakan penyakit nomor 1 paling mematikan di dunia yang terjadi di 80% negara berkembang (Di Cesare et al, 2024)(Mensah et al, 2023). Indonesia termasuk negara berkembang dengan data kematian akibat penyakit jantung pada tahun 2019 sebanyak 651.481 jiwa (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2020). Sebaran penyakit jantung di Indonesia sebagian besar berada di perkotaan (5,6%) dibandingkan di pedesaan (2,5%) (Tiksnadi, 2023). Selain karena pola hidup yang tidak sehat (Nasution et al, 2025), paparan stress (Delavera et al, 2021) serta polusi (Rajagopalan et al, 2018) dan kurangnya aktivitas fisik (Onagbiye et al, 2024) menyebabkan masyarakat di perkotaan lebih rentan terkena penyakit jantung dibandingkan masyarakat di pedesaan. Akan tetapi, ketersediaan alat untuk deteksi penyakit jantung di pedesaan lebih rendah jika dibandingkan dengan di daerah perkotaan (Fazlalizadeh et al, 2024). Oleh karena itu, resiko akibat penyakit ini di daerah pedesaan sama besarnya dengan di daerah perkotaan jika ketersediaan alat deteksi penyakit jantung tidak dipenuhi.

Desa Raharja adalah sebuah desa yang terletak di Kota Banjar, Jawa Barat dengan jumlah penduduk 5.402 jiwa (Wawancara dengan kepala Desa Raharja, Yayat Ruhiyat). Kasus penyakit jantung di daerah ini sebagian besar diderita oleh laki-laki usia dewasa, akibat kebiasaan merokok yang cukup tinggi. Peralatan untuk deteksi penyakit jantung hanya bisa didapat di Rumah Sakit di Kota Banjar yang jaraknya cukup jauh. Puskesmas di daerah ini hanya memiliki alat-alat seperti pengukur tekanan darah, stetoskop, timbangan, dan beberapa alat standar lainnya. Oleh karena itu, di daerah ini dibutuhkan alat untuk deteksi penyakit jantung untuk mengurangi resiko akibat penyakit ini.

Salah satu alat untuk mendeteksi penyakit jantung adalah alat deteksi denyut jantung, untuk mengetahui gejala awal penyakit jantung sebelum dilakukan diagnosis lengkap. Alat deteksi denyut jantung ini terbagi menjadi beberapa jenis: *chest strap* (Sartor et al, 2018), *wrist-worn* (Wang et al, 2017), *armband* (Marzano-Felisatti et al, 2024), *fingertip* (Payette et al, 2024), *holter monitor* (Jiang et al, 2012) dan *Implantable Loop Monitor* (Al-Kaisey et al, 2020). Akan tetapi dari beberapa jenis ini, hanya jenis *fingertip* yang cocok untuk diaplikasikan di pedesaan karena biayanya murah sehingga bisa dibuat cukup banyak dan mudah digunakan (Jain et al, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat deteksi denyut jantung dengan jenis *fingertip* yang murah dan praktis untuk aplikasi di pedesaan khususnya Desa Raharja, Banjar, Jawa Barat. Jenis sensor *fingertip* yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor infra merah (IR Transmitter Receiver 5 mm). Sensor jenis ini dipilih karena sifatnya yang *non-invasif* sehingga tidak menimbulkan rasa sakit (Martínez et al, 2019), praktis untuk digunakan cukup dengan menempelkan ujung jari saja (Kamišalić et al, 2018), harganya relatif murah (Kapu et al, 2017), serta konsumsi daya yang rendah (Lee et al, 2018).

II. METODE



Gambar 1 Rangkaian sistem deteksi denyut jantung (a) dan blok diagram sistem (b)

Sistem deteksi denyut jantung yang telah kami kembangkan tersusun dari beberapa bagian (Gambar 1). Bagian pertama adalah sensor infra merah (IR Transmitter Receiver 5 mm) untuk

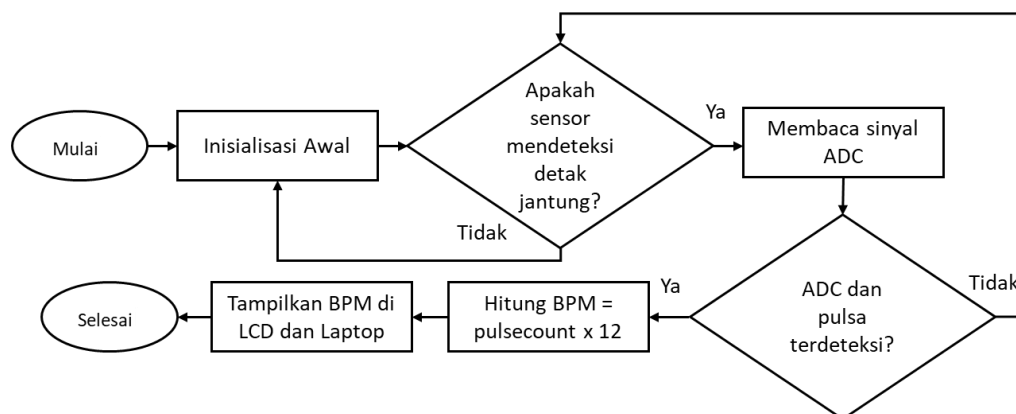
mendeteksi denyut jantung di bagian ujung jari. Bagian selanjutnya adalah sebuah *high pass filter* untuk melewati sinyal

denyut jantung dengan frekuensi tinggi (sekitar 1 Hz) pada denyut sekitar 60 BPM atau lebih (Alkhoury et al, 2021), serta untuk menghilangkan sinyal dengan frekuensi rendah dari bagian tubuh lainnya (Liang et al, 2019).

Bagian berikutnya adalah penguat sinyal LM358. Bagian ini dilengkapi dengan rangkaian *non inverting* untuk menguatkan sinyal denyut jantung sekitar 1-20 mV (Qureshi & Krishnan, 2018). Sinyal ini dikuatkan supaya bisa diolah di ADC Mikrokontroler Arduino yang mensyaratkan masukan sekitar 0-3,3 V (Arduino, 2025). Setelah sinyal masuk ke Mikrokontroler ATmega328 Arduino Uno, sinyal kemudian diolah untuk menghitung denyut jantung dalam *Beat Per Minute* (BPM). Data ini kemudian ditampilkan pada sebuah LCD (12 C 16 × 2) serta sebuah Laptop untuk pengolahan selanjutnya.

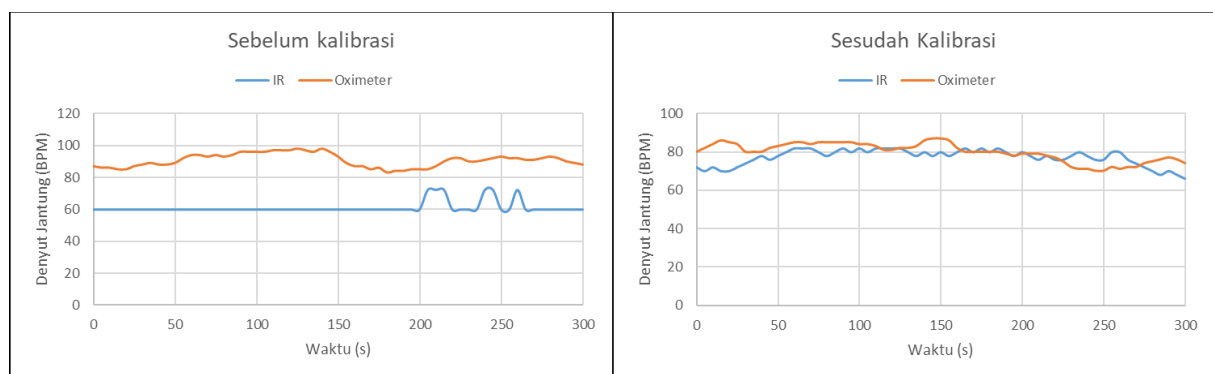
Sementara itu, pengolahan sinyal pada mikrokontroler digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 2. Denyut jantung dalam BPM dihitung berdasarkan pulsa yang terdeteksi (*pulsecount* atau pulsa) setiap 5 detik. Sehingga, perhitungan denyut jantung.

$$BPM = pulsacount \times 12 \quad (1)$$



Gambar 2 Diagram alir pengolahan sinyal pada mikrokontroler

Sebelum sistem ini dites, dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan membandingkan data hasil pengukuran sistem dengan Oximeter komersil (Bion Fingertip Pulse Oximeter LV-80) dengan *sampling rate* 5 detik untuk setiap data (Gambar 3 kiri). Program pada mikrokontroler kemudian disesuaikan dengan data hasil kalibrasi sehingga simpangan setelah kalibrasi berkurang (Gambar 3 kanan).



Gambar 3 Data sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) kalibrasi untuk data sistem denyut jantung yang dikembangkan (grafik biru dengan nama IR) dan Oximeter komersil (grafik jingga dengan nama Oximeter)

$$\text{Toleransi Kesalahan} = \text{BPM IR} - \text{BPM Oximeter} \quad (2)$$

$$\text{akurasi} = \frac{|\text{BPM IR} - \text{BPM Oximeter}| \times 100\%}{\text{BPM Oximeter}} \quad (3)$$

Sementara itu, perhitungan toleransi kesalahan rata-rata (Persamaan (2)) dan akurasi rata-rata (Persamaan (3)) sebelum dan sesudah kalibrasi terlihat pada Tabel 1. Terakhir, dilakukan pengetesan

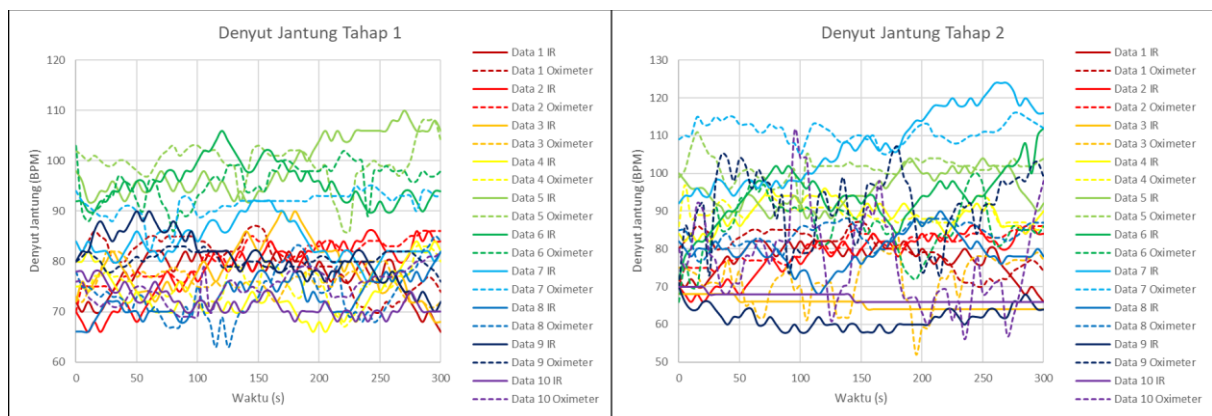
terhadap partisipan di Desa Raharja, Banjar, Jawa Barat. Pengetesan ini dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap 1, pengetesan dilakukan terhadap 10 orang partisipan dengan usia cenderung homogen. Sedangkan, pengetesan pada tahap 2 dilakukan terhadap 10 orang partisipan dengan rentang umur cenderung heterogen.

Tabel 1 Nilai toleransi kesalahan rata-rata dan akurasi rata-rata sebelum dan sesudah kalibrasi

	Toleransi Kesalahan Rata-rata (BPM)	Akurasi Rata-rata (%)
Sebelum Kalibrasi	-29,51	32,38
Sesudah Kalibrasi	-2,56	5,99

III. HASIL DAN DISKUSI

Data denyut jantung pada pengetesan tahap 1 untuk rentang umur homogen ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4 kiri. Sedangkan, data untuk rentang umur heterogen (tahap 2), ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4 kanan. Dari grafik denyut jantung ini (Gambar 4 kiri dan kanan), bisa dihitung toleransi kesalahan rata-rata dan akurasi rata-rata dengan menggunakan Persamaan (2) dan (3). Hasil perhitungan ini ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.



Gambar 4 Data denyut jantung pada pengetesan tahap 1 (kiri) dan tahap 2 (kanan)

Rentang umur partisipan yang cenderung homogen terlihat pada Tabel 2 dengan perincian: umur 18-22 sebanyak 8 orang, umur 31 sebanyak 1 orang dan umur 49 tahun sebanyak 1 orang. Sedangkan, rentang umur yang cenderung heterogen (8-60 tahun sebanyak 10 orang), terlihat pada Tabel 3. Jumlah total partisipan 20 orang ini mencukupi untuk memvalidasi alat yang telah dikembangkan (Loro et al, 2024). Sementara itu, keadaan partisipan pada tahap 1 dan 2 bisa terlihat dari hasil wawancara pada Gambar 5 untuk tahap 1 (kiri) dan 2 (kanan).

Tabel 2 Nilai toleransi kesalahan rata-rata dan akurasi rata-rata pengetesan tahap 1

Data ke-	Umur	Toleransi Kesalahan Rata-rata (BPM)	Akurasi Rata-rata (%)
1	22	-2,55	5,99
2	22	-2,06	3,28
3	31	2,14	5,94
4	18	-2,04	4,67
5	20	-0,62	6,26
6	20	-0,03	4,76
7	20	-7,45	8,08
8	22	-0,44	5,62
9	48	0,42	4,40
10	21	-3,19	6,32

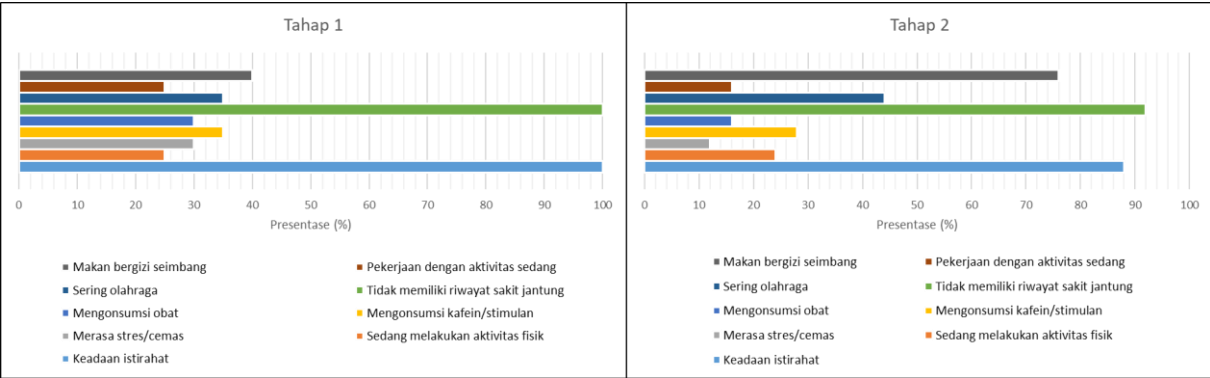
Terlihat bahwa toleransi kesalahan rata-rata pada tahap 1 berkisar antara -0,03 BPM sampai -7,45 BPM (Tabel 2) dan pada tahap 2 berkisar antara -1,57 BPM sampai -29,70 BPM (Tabel 3). Sedangkan, akurasi rata-rata pada tahap 1 berkisar dari 3,28% sampai 8,08% dan pada tahap 2 berkisar antara 2,89% sampai 31,73%. Sebagian besar, nilai ini masih bisa diterima berdasarkan standar IEC

60601-2-27 untuk pengukuran denyut jantung bahwa toleransi kesalahan adalah ± 5 BPM atau akurasi 10% (International Electrotechnical Commission, 2011). Akan tetapi, pada beberapa data hal ini tidak memenuhi. Kemungkinan karena sensor tidak terlindungi sehingga ada gangguan dari lingkungan (pencahayaan berlebih dari sinar matahari) yang cukup signifikan sehingga mengganggu proses akuisisi data (Fine et al, 2021). Selain itu, gerakan jari atau posisi tidak tetap khususnya pada partisipan anak-anak (Gambar 4 kanan Data 9) bisa menyebabkan toleransi kesalahan cukup besar (Pi et al, 2021). Faktor luar lain yang mungkin berpengaruh adalah suhu ketika melakukan tes. Suhu udara yang cukup tinggi (30°C) ini bisa meningkatkan serapan inframerah pada sensor, sehingga mengganggu pengukuran denyut jantung yang sebenarnya (Askarian et al, 2019).

Tabel 3 Nilai toleransi kesalahan rata-rata dan akurasi rata-rata pengetesan tahap 2

Data ke-	Umur	Toleransi Kesalahan Rata-rata (BPM)	Akurasi Rata-rata (%)
1	42	3,95	12,7
2	60	-1,57	12,69
3	42	-6,72	10,64
4	22	-0,27	2,89
5	12	-6,11	6,27
6	16	8,49	11,24
7	12	-3,68	8,20
8	20	-4,67	6,03
9	8	-29,70	31,73
10	9	-9,83	13,42

Selanjutnya, dari hasil wawancara terlihat bahwa partisipan telah menerapkan pola hidup sehat seperti makan bergizi seimbang, sering berolahraga, tidak mengonsumsi obat atau suplemen, tidak mengonsumsi kafein, serta tidak merasakan stres atau cemas. Terlihat pula hanya sebagian kecil partisipan yang mengidap penyakit jantung. Oleh karena itu, kisaran data hasil pengetesan pada denyut jantung normal yaitu 50 – 130 BPM (Loro et al, 2024).



Gambar 5 Keadaan partisipan saat pengambilan data tahap 1 (kiri) dan tahap 2 (kanan)

IV. KESIMPULAN

Telah dikembangkan alat pendeteksi denyut jantung yang bersifat *non-invasif* menggunakan sensor infra merah untuk diaplikasikan di Desa Raharja. Hasil kalibrasi dengan akurasi rata-rata 5,99% menunjukkan bahwa alat ini sudah bisa diaplikasikan di lapangan. Dari data lapangan tampak bahwa akurasi rata-rata pada tahap 1 berkisar antara 3,28% sampai 8,08% dan pada tahap 2 berkisar antara 2,89% sampai 31,73%. Selain karena faktor internal dalam rangkaian, faktor eksternal seperti gangguan lingkungan, penempatan posisi jari saat pengukuran serta faktor suhu juga kemungkinan mempengaruhi pengukuran yang berkontribusi pada akurasi ini. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya disarankan sensor dilindungi dari pengaruh lingkungan: cahaya, suhu dan tekanan atau posisi jari yang tidak tepat. Selain itu, bisa ditambahkan juga filter *low-pass* pada rangkaian supaya data lebih halus serta filter khusus untuk membedakan sinyal infra merah dan sinar merah biasa.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada ITB atas bantuan dana Hibah PPMI FMIPA untuk Pengabdian Masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kaisey, A. M., Koshy, A. N., Ha, F. J., Spencer, R., Toner, L., Sajeev, J. K., Teh, A. W., Farouque, O., & Lim, H. S. (2020). Accuracy of wrist-worn heart rate monitors for rate control assessment in atrial fibrillation. *International Journal of Cardiology*, 300, 161–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.11.120>
- Alkhoury, L., Choi, J.-W., Wang, C., Rajasekar, A., Acharya, S., Mahoney, S., Shender, B. S., Hrebien, L., & Kam, M. (2021). Heart-rate tuned comb filters for processing photoplethysmogram (PPG) signals in pulse oximetry. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 35(4), 797–813. <https://doi.org/10.1007/s10877-020-00539-2>
- Arduino. (no date). analogReference. Arduino Documentation. <https://www.arduino.cc/reference/tr/language/functions/analog-io/analogreference> (Diakses pada 29 Juli 2025, pukul 12:46 WIB)
- Askarian, B., Jung, K., & Chong, J. W. (2019). Monitoring of heart rate from photoplethysmographic signals using a Samsung Galaxy Note8 in underwater environments. *Sensors*, 19(13), 2846. <https://doi.org/10.3390/s19132846>
- Delavera, A., Siregar, K. N., Bahar, R. J., & Eryando, T. (2021). Hubungan kondisi psikologis stress dengan hipertensi pada penduduk usia ≥ 15 tahun di Indonesia. *Jurnal Biostatistik, Kependudukan, dan Informatika Kesehatan*, 1(3), Article 2. <https://doi.org/10.7454/bikfokes.v1i3.1014>
- Di Cesare, M., McGhie, D. V., Perel, P., Mwangi, J., Taylor, S., Pervan, B., Kabudula, C., Narula, J., Bixby, H., Pineiro, D., Gaziano, T. A., & Pinto, F. J. (2024). The Heart of the World. *Global Heart*, 19(1), Article 11. <https://doi.org/10.5334/gh.1288>
- Fazlalizadeh, H., Khan, M. S., Fox, E. R., Douglas, P. S., Adams, D., Blaha, M. J., Daubert, M. A., Dunn, G., van den Heuvel, E., Kelsey, M. D., Martin, R. P., Thomas, J. D., Thomas, Y., Judd, S. E., Vasan, R. S., Budoff, M. J., & Bloomfield, G. S. (2024). Closing the Last Mile Gap in Access to Multimodality Imaging in Rural Settings: Design of the Imaging Core of the Risk Underlying Rural Areas Longitudinal Study. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, 17(2), Article e015496. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.123.015496>
- Fine, J., Branam, K. L., Rodriguez, A. J., Boonya-Ananta, T., Ajmal, (A.), Ramella-Roman, J. C., McShane, M. J., & Coté, G. L. (2021). Sources of inaccuracy in photoplethysmography for continuous cardiovascular monitoring. *Biosensors (Basel)*, 11(4), 126. <https://doi.org/10.3390/bios11040126>
- Global Burden of Disease Collaborative Network. (2020). Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) disease and injury burden, 1990–2019. Institute for Health Metrics and Evaluation.
- International Electrotechnical Commission. (2011). IEC 60601-2-27: Medical electrical equipment – Part 2-27: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electrocardiographic monitoring equipment (3rd ed., with Corrigendum 2012). International Electrotechnical Commission.
- Jain, Naman., G, Priya., G, Ramya. (2015). Low Cost Heart Rate Monitoring Using Fingertips. *International Journal of Applied Engineering Research*, Volume 10, Number 11, pp. 29641-29649
- Jiang, K., Huang, C., Ye, S.-m., & Chen, H. (2012). High accuracy in automatic detection of atrial fibrillation for Holter monitoring. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)*, 13(9), 751–756. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1200107>
- Kamišalić, A., Fister, I., Turkanović, M., & Karakatič, S. (2018). Sensors and functionalities of non-invasive wrist-wearable devices: A review. *Sensors*, 18(6), 1714. <https://doi.org/10.3390/s18061714>

- Kapu, H., Seneviratne, U., & Mahony, K. (2017). Resting heart rate estimation using pyroelectric infrared (PIR) sensors. *Biomedical Signal Processing and Control*, 39, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.03.003>
- Lee, J., Jang, D. H., Park, S., & Cho, S. H. (2018). A low-power photoplethysmogram-based heart rate sensor using heartbeat locked loop. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 12(6), 1220–1229. Article 8496849. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2018.2876671>
- Liang, Q., Xu, L., Bao, N., Qi, L., Shi, J., Yang, Y., & Yao, Y. (2019). Research on non-contact monitoring system for human physiological signal and body movement. *Biosensors*, 9(2), 58. <https://doi.org/10.3390/bios9020058>
- Loro, F. L., Martins, R., Ferreira, J. B., de Araujo, C. L. P., Prade, L. R., Both, C. B., Nobre Nobre, J. C., Monteiro, M. B., & Dal Lago, P. (2024). Validation of a wearable sensor prototype for measuring heart rate to prescribe physical activity: Cross-sectional exploratory study. *JMIR Biomedical Engineering*, 9, Article e57373. <https://doi.org/10.2196/57373>
- Martínez, N., Bertran, M., Sapiro, G., & Wu, H.-T. (2019). Non-contact photoplethysmogram and instantaneous heart rate estimation from infrared face video. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.05194>
- Marzano-Felisatti, J. M., De Luca, L., Priego-Quesada, J. I., & Pino-Ortega, J., (2024). A Comparative Analysis Between Chest Straps and Armband. *Applied Sciences*, 14(24), 11872. MDPI.
- Mensah, G. A., Fuster, V., Murray, C. J. L., Roth, G. A., & Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks Collaborators. (2023). Global burden of cardiovascular diseases and risks, 1990–2022. *Journal of the American College of Cardiology*, 82(25), 2350–2473. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.11.007>
- Nasution, I. S., Rahmadani, A. D., Audina, W., Purnama Sari, D., & Deswita Sari, N. (2025). Systematic Review: Pengaruh gaya hidup dan pengetahuan masyarakat terhadap risiko penyakit jantung koroner. *Sehat Rakyat: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(2), 287–298. <https://doi.org/10.54259/sehatrakyat.v4i2.4337>
- Onagbiye, S. O., Guddemi, A., Baruwa, O. J., Alberti, F., Odone, A., Ricci, H., Gaeta, M., Schmid, D., & Ricci, C. (2024). Association of sedentary time with risk of cardiovascular diseases and cardiovascular mortality: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Preventive Medicine*, 179, Article 107812. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107812>
- Payette, J., Vaussenat, F., & Cloutier, S. G. (2024). Heart rate measurement using the built-in triaxial accelerometer from a commercial digital writing device. *Sensors*, 24(7), 2238. <https://doi.org/10.3390/s24072238>
- Pi, I., Pi, I., & Wu, W. (2021). External factors that affect the photoplethysmography waveforms. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.05753>
- Qureshi, F., & Krishnan, S. (2018). Wearable hardware design for the Internet of Medical Things (IoMT). *Sensors*, 18(11), 3812. <https://doi.org/10.3390/s18113812>
- Rajagopalan, S., Al-Kindi, S. G., & Brook, R. D. (2018). Air pollution and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review. *Journal of the American College of Cardiology*, 72(17), 2054–2070. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.07.099>
- Sartor, F., Gelissen, J., van Dinther, R., Roovers, D., Papini, G. B., & Coppola, G. (2018). Wrist-worn optical and chest strap heart rate comparison in a heterogeneous sample of healthy individuals and in coronary artery disease patients. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 10, Article 10. <https://doi.org/10.1186/s13102-018-0098-0>
- Tiksnadi, B. B. (2023). Comparison of cardiovascular disease-related mortality and morbidity in urban and rural residential areas in Jatinangor Subdistrict, West Java, Indonesia: An epidemiological community study. *Pakistan Heart Journal*, 56(4), 268.
- Wang, R., Blackburn, G., Desai, M., Phelan, D., Gillinov, M., Houghtaling, P., & Gillinov, (2017). Accuracy of wrist-worn heart rate monitors. *JAMA Cardiology*, 2(1), 104–106. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2016.3340>