

Kinerja Ergonomi Sensor ECG AD8232 Dan Pulse Oximeter Dalam Penilaian Beban Kerja Fisiologis Industri Manufaktur

¹Siswiyanti, ²Irfan Maulana Ramdhoni, ³Saufik Luthfianto,
⁴Mohammad Cipto Sugiono,

^{1,2,4} Program Studi Teknik Industri, Universitas Pancasakti Tegal, Jl. Halmahera No.KM. 01, Mintaragen, Kec. Tegal Tim., Kota Tegal, Jawa Tengah 52121 (11 pt)

³Program Studi Teknik Grafika, Jurusan Teknologi Industri, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jl. Srengseng Sawah Raya, Jakarta Selatan, 12630

e-mail: ¹siswieyanti@gmail.com, ²irfanmaulanaramdhoni55@gmail.com, ³saufik.ti.upstegal@gmail.com, ⁴moh_cipto@polimedia.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja ergonomi (menggunakan sensor Electrocardiogram ECG- AD8232 berbasis Internet of Things (IoT)) dan (pulse oximeter) melalui pengukuran % CVL pada 21 pekerja di industri manufaktur, serta menguji apakah terdapat perbedaan signifikan secara statistik dalam pengukuran antara kedua alat tersebut. Pengujian dilakukan dengan merekam data detak jantung secara real-time, di mana sensor AD8232 dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 dan platform Blynk, sedangkan oximeter menggunakan metode photoplethysmography (PPG) dengan tampilan langsung pada layar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor AD8232 unggul dalam kestabilan pembacaan, akurasi sinyal ECG, dan dukungan pemantauan jarak jauh, sedangkan oximeter lebih unggul dalam kemudahan penggunaan. Hasil dari pengujian berpasangan pada subjek yang sama untuk Uji distribusi normal (Shapiro-Wilk) pada data selisih CVL menunjukkan nilai p-value (0.003) lebih kecil dari tingkat signifikansi (0.05) sehingga data selisih tersebut tidak terdistribusi normal, selanjutnya hasil uji non-parametrik Uji Wilcoxon menunjukkan nilai p-value (0.146) lebih besar dari tingkat signifikansi (0.05) menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan dalam % CVL diantara kedua Alat, sehingga kedua alat tersebut menunjukkan kinerja yang serupa dalam hal variabilitas pengukuran % CVL dan masih bisa diterima sebagai alat alternatif pemantauan denyut jantung dan perhitungan CVL.

Kata Kunci : Kinerja ergonomi, ECG AD8232, CVL

Abstract

This study aims to compare the ergonomic performance (using an Internet of Things (IoT) based Electrocardiogram ECG-AD8232 sensor) and (pulse oximeter) through CVL % measurements on 21 workers at industry manufactur, and to test whether there are statistically significant differences in measurements between the two devices. The test was conducted by recording real-time heart rate data, where the AD8232 sensor was connected to an ESP32 microcontroller and the Blynk platform, while the oximeter used the photoplethysmography (PPG) method with direct display on the screen. The results showed that the AD8232 sensor was superior in reading stability, ECG signal accuracy, and remote monitoring support, while the oximeter was superior in ease of use. The results of paired testing on the same subject for the normal distribution test (Shapiro-Wilk) on CVL difference data show a p-value (0.003) smaller than the significance level (0.05) so that the difference data is not normally distributed, then the results of the non-parametric test Wilcoxon test show a p-value (0.146) greater than the significance level (0.05) indicating there is no significant difference in % CVL between the two tools, so that both tools show similar performance in terms of variability in % CVL measurements and can still be accepted as an alternative tool for heart rate monitoring and CVL calculations.

Keywords : Ergonomic performance, ECG AD8232, CVL

PENDAHULUAN

Ergonomi dalam pekerjaan industri tidak hanya berkaitan dengan desain ruang kerja, tetapi juga mencakup bagaimana tubuh pekerja merespon tekanan fisik dan mental yang dihadapi setiap hari. Tujuan ergonomi adalah untuk memastikan bahwa tuntutan pekerjaan dan kemampuan fisiologis pekerja sesuai sehingga aktivitas kerja dapat dilakukan secara efisien, aman, dan nyaman (Firescu & Filip, 2025). Kemampuan fisiologis pekerja sangat penting untuk mengevaluasi ergonomi karena secara akurat dapat menunjukkan tingkat tekanan kerja (Kraft et al., 2023). Respon sistem kardiovaskular adalah salah satu bentuk respons fisiologis yang paling umum digunakan dalam penilaian ergonomi. Respon ini biasanya dinilai dengan mengukur denyut jantung, konsumsi oksigen, dan nilai beban jantung (CVL), yang merupakan perbandingan antara beban kerja dan kapasitas fisiologis individu (Okuda et al., 2025). Metode Cardiovascular Load (% CVL) digunakan untuk menilai beban kerja fisik pekerja dengan membandingkan denyut jantung maksimal dan denyut jantung saat bekerja dengan menggunakan oxymeter (Kurniawan Faradila Aulia et al, 2025). Pulse oximeter sering digunakan karena mudah dioperasikan untuk memantau kesehatan pekerja di lapangan, namun perangkat ini masih memiliki keterbatasan dari sudut pandang ergonomi. Sensor yang ditempatkan pada jari dapat mengganggu pekerjaan tangan, membuat gerakan tangan kurang luwes, dan menyebabkan ketidaknyamanan saat digunakan untuk waktu yang lama. Ini terutama berlaku untuk orang yang melakukan pekerjaan yang memerlukan banyak gerakan (Dias et al., 2023).

Sebagai hasil dari kemajuan dalam teknologi pemantauan fisiologis, sensor Electrocardiogram (ECG) AD8232, yang berbasis Internet of Things (IoT) telah muncul sebagai alternatif untuk perangkat yang memantau denyut jantung. Sensor ini memiliki kemampuan untuk merekam aktivitas listrik jantung secara real-time dengan sangat akurat. Prinsip kerja dan pengembangan teknologi ECG AD8232 telah dipelajari sebelumnya (Salsabila Dany, 2022) tetapi masih sangat terbatas untuk studi ergonomi industri karena elektroda tidak mengganggu pergerakan tangan atau mempengaruhi postur kerja, penempatannya pada area dada dianggap lebih ergonomis. Penggunaan teknologi Internet of Things memungkinkan pemantauan fisiologis secara berkelanjutan dan jarak jauh yang dapat membantu mendeteksi potensi risiko ergonomi dan kelelahan dini (Hudhajanto Rizky Pratama, 2022) dan (Dahiya et al., 2024). Penggunaan teknologi IoT dapat memperkuat pengendalian risiko dan mendukung lingkungan kerja yang aman dan sehat di lingkungan industri (Ersha Mayori et al, 2025).

Industri yang membutuhkan banyak aktivitas fisik seperti manufaktur komponen alat berat membutuhkan sistem pemantauan denyut jantung yang akurat dan ergonomis. Pengamatan awal yang dilakukan di lokasi penelitian menunjukkan bahwa pekerja melakukan tugas perakitan dan pengoperasian mesin secara konsisten dalam jangka waktu yang lama dan dengan variasi gerakan tangan yang relatif terbatas, apabila tidak dipantau dengan baik maka kondisi tersebut dapat meningkatkan beban kerja fisiologis. Pengukuran denyut jantung dengan benar dapat mengetahui tingkat kelelahan, kondisi kardiovaskular dan risiko gangguan kesehatan akibat pekerjaan (Okuda et al., 2025). Pulse oximeter dan sensor ECG AD8232 adalah dua perangkat pemantauan denyut jantung yang umum digunakan di tempat kerja. Sensor ECG merekam aktivitas listrik jantung melalui elektroda yang dipasang pada tubuh sedangkan pulse oximeter menggunakan metode photoplethysmography (PPG) dengan penjepitan jari (Widiatmoko Ari dan Prasetyowati Arttini Dwi, 2025). Fungsi sensor elektrokardiogram adalah untuk merekam aktivitas listrik jantung melalui elektroda tubuh dan menguji akurasinya terhadap elektrokardiogram klinis standar (Etiwy et al., 2019), selain itu pulse oximeter digunakan dengan metode photoplethysmography (PPG) yang menggunakan sensor optik yang biasanya diikat pada ujung jari untuk mengukur perubahan dalam volume darah dan frekuensi denyut nadi (Setiarini Asih et al., 2021). Pulse oximeter lebih mudah digunakan daripada perangkat pemantau denyut jantung lainnya, tetapi kurang akurat ketika digunakan selama aktivitas fisik (Shcherbina et al., 2017) dan (Etiwy et al., 2019) dan ini merupakan masalah utama saat memilih perangkat pemantau denyut jantung. Sensor ECG berbasis IoT AD8232 membutuhkan proses pemasangan dan konfigurasi

awal yang lebih rumit untuk memberikan data fisiologis yang lebih stabil dan terintegrasi untuk memantau denyut jantung secara real time (Bhattarai et al., 2022).

Perbedaan karakteristik kedua perangkat menimbulkan kebutuhan untuk mengevaluasi kinerja ergonomi masing-masing secara komprehensif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sensor ECG wearable menghasilkan pengukuran denyut jantung yang lebih stabil dan responsif dibandingkan sensor PPG (photoplethysmography) yang umumnya digunakan pada pulse oximeter, terutama saat aktivitas fisik dinamis (Shcherbina et al., 2017) (Dahiya et al., 2024). Hal ini menegaskan pentingnya pemilihan perangkat yang ergonomis agar tidak mengganggu aktivitas pekerja dan tetap nyaman digunakan serta mampu memberikan data yang akurat untuk mendukung keselamatan serta produktivitas kerja (Ruqaiyah Baharuddin et al., 2025). Studi secara khusus menilai perbandingan kinerja ergonomi antara sensor ECG AD8232 dan pulse oximeter di lingkungan industri manufaktur masih terbatas sehingga perlu melakukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja ergonomi kedua perangkat dalam pemantauan denyut jantung, khususnya pada pekerja di industri manufaktur sebagai dasar untuk menilai beban kerja fisiologis. Penelitian yang dilakukan nantinya akan menelaah korelasi dan kesesuaian data hasil CVL yang diperoleh dari kedua perangkat serta mengevaluasi dampaknya terhadap kenyamanan dan efisiensi kerja.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen lapangan dengan desain paired comparison yaitu setiap responden yang sama diukur menggunakan dua alat berbeda menggunakan ECG AD8232 dan pulse oximeter. Prosedur penelitian dilakukan dengan meminta setiap pekerja menggunakan kedua perangkat secara bersamaan selama waktu kerja dan data detak jantung direkam secara kontinu. Penelitian dilakukan di salah satu industri manufaktur komponen alat berat dengan karakteristik pekerjaan yang melibatkan aktivitas fisik berulang dan posisi kerja statis yang bisa dikategorikan menjadi pekerjaan ringan, sedang, dan berat berdasarkan observasi langsung dan pembagian siklus kerja (Rehman et al., 2024). Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan untuk memperoleh data pengukuran langsung di lingkungan kerja nyata sekaligus mempertahankan kontrol terhadap variabel-variabel pengukuran. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sensor ECG wearable menghasilkan pengukuran denyut jantung yang lebih stabil dan responsif dibandingkan pulse oximeter, khususnya pada kondisi aktivitas fisik dinamis dan tekanan kerja (Coste et al., 2025). Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sensor ECG AD8232 yang merekam sinyal listrik jantung melalui elektroda dada yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dan mengirimkan data secara real-time ke platform IoT seperti Blynk. Pengukuran juga menggunakan sensor PPG berbasis pulse oximeter yang dioperasikan dengan penjepitan pada jari telunjuk untuk mengukur denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah dengan koneksi Wi-Fi untuk pengiriman data secara kontinu. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan fisiologis pekerja secara ergonomis, akurat dan real-time (Fiyanto Roy Oktaf et al., 2024).

1. Penentuan Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

Jumlah responden dalam penelitian ini ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik desain penelitian yang membandingkan dua alat pengukur detak jantung secara berpasangan yaitu sensor ECG AD8232 berbasis IoT dan pulse oximeter. Penentuan ukuran sampel minimum dilakukan berdasarkan perbandingan dua pengukuran berpasangan (Alat 1 vs. Alat 2) dengan mempertimbangkan tingkat signifikansi, power statistik, simpangan baku selisih dari data pendahuluan, dan perbedaan minimal yang ingin dideteksi. Perhitungan dilakukan berdasarkan pendekatan uji beda berpasangan (Lwanga & Lemeshow, 1991) dan (Charan & Biswas, 2013).

$$n = \left(\frac{(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta}) \times s_d}{d} \right)^2$$

Keterangan:

(n) = jumlah sampel minimum;

$Z_{1-\alpha/2}$ = nilai Z untuk taraf signifikansi 0,05 (1,96);

$Z_{1-\beta}$ = nilai Z untuk power 80% (0,84);

(s_d) = simpangan baku selisih antar alat (dari data pendahuluan sebesar 6,55%);

(d) = perbedaan minimal yang diharapkan terdeteksi (5%).

Hasil substitusi diperoleh:

$$n = \left(\frac{(1.96 + 0.84) \times 6.55}{5} \right)^2 = 13.45$$

untuk mendeteksi perbedaan yang lebih kecil (d = 4%), diperoleh:

$$n = \left(\frac{(1.96 + 0.84) \times 6.55}{4} \right)^2 = 21.02$$

Jumlah responden sebanyak 21 orang dianggap memenuhi kebutuhan analisis statistik non-parametrik (uji Wilcoxon) serta mampu mewakili variasi respon fisiologis yang diukur pada dua jenis alat tersebut. Pendekatan ini sejalan dengan panduan (Charan & Biswas, 2013) yang menekankan bahwa penentuan ukuran sampel harus mempertimbangkan desain studi dan besarnya perbedaan yang ingin dideteksi, bukan hanya berdasarkan jumlah populasi. Berdasarkan perhitungan diatas maka sampel penelitian yang dibutuhkan adalah 21 orang pekerja, berikut pembagian jumlah sampel per bagian kerja yang akan digunakan sebagai sampel penelitian.

Tabel 1. Jumlah Pekerja

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah (Orang)
1	Welding	5
2	Banding	2
3	Machining	3
4	Finishing	5
5	Taping	3
6	Cutting	3
Total		21

Responden penelitian ini berjumlah 21 orang pekerja yang berasal dari enam bagian kerja berbeda, pembagian ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap aktivitas kerja yang memiliki karakteristik gerakan dan beban otot berbeda dapat terwakili secara proporsional sehingga hasil pengukuran *Cardiovascular Load (CVL)* pada masing-masing alat (sensor ECG AD8232 dan pulse oximeter) dapat menggambarkan variasi respon fisiologis yang muncul di berbagai jenis pekerjaan. Pemilihan sampel dilakukan secara acak sederhana (simple random sampling) untuk memberikan peluang yang sama bagi setiap pekerja untuk terpilih menjadi responden tanpa memperhatikan perbedaan jabatan, usia, maupun tingkat pengalaman. Pendekatan ini sesuai dengan tujuan penelitian yang berfokus pada perbandingan performa alat pengukur, bukan pada karakteristik individu pekerja sebagaimana dilakukan dalam penelitian ergonomi sebelumnya yang menggunakan teknik simple random sampling untuk menentukan responden penelitian (Septianto & Wahyu, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kinerja ergonomi dilihat dari aspek spesifikasi ergonomi dilakukan untuk membandingkan sensor ECG AD8232 berbasis *internet of things* dan pulse *oximeter* dalam pemantauan detak jantung pekerja industri komponen alat berat. Kedua alat tersebut diuji dan diamati secara langsung melalui pendekatan metode observasi ergonomi untuk mengetahui sejauh mana karakteristik ergonomi masing masing alat dapat mempengaruhi kenyamanan, kemudahan pengguna, keamanan dan efektivitas dalam konteks pemantauan denyut jantung pada pekerja industri.

Tabel 1. Spesifikasi Kinerja Ergonomi

No	Pengelompokan Kinerja Ergonomi	Sensor AD8232 Vest Chest 	Oximeter 
Tombol/fitur			
1	Power On/Off	Menggunakan tombol On/Off untuk terhubung ke ESP32 dan sumber daya.	Tombol tekan satu kali untuk menyalakan dan mematikan alat secara langsung
2	Pemasangan sensor	Menggunakan 3 elektroda yang dipasang melalui <i>vest chest protector</i> pada area dada	Penjepit jari (Finger clip) langsung ke jari telunjuk/pengguna
3	Tampilan hasil	Ditampilkan melalui antarmuka aplikasi Blynk, data berbasis grafik ECG	Ditampilkan langsung dilayar LED/LCD dalam bentuk numerik (BPM dan SpO ₂)
4	Pengiriman data	Menggunakan Wi-fi melalui ESP32 untuk upload data secara <i>real-time</i> ke platform IoT	Tidak ada pengiriman data hanya tampilan lokal
5	Pemantauan jarak jauh	Dapat dipantau melalui internet (Blynk)	Tidak mendukung pemantauan jarak jauh
6	Daya dan konsumsi energi	Menggunakan kabel USB atau baterai untuk ESP 32 dan sensor	Menggunakan baterai internal terdapat 2 baterai

Tabel 2. Aspek Penggunaan

No	Pengelompokan Kinerja Ergonomi	Sensor AD8232 Vest Chest 	Oximeter 
Aspek Penggunaan			
1.	Proses Awal Penggunaan	Pemasangan elektroda ketubuh melalui vest chest menyambungkan kabel ke ESP32	Cukup di jepitkan ke jari dan tekan tombol power On
2	Konfigurasi sistem	Hubungkan melalui Arduino IDE dan dihubungkan ke jaringan Wi-Fi	Tidak memerlukan konfigurasi langsung berfungsi
3	Monitoring data	Menggunakan Aplikasi Blynk pada smartphone unruk melihat grafik dan sinyal ECG	Hasil langsung ditampilkan dilayar berupa angka BPM dan SpO ₂
4	Penggunaan saat bekerja	Elektroda tetap stabil ditubuh karena memakai <i>vest chest</i>	Alat harus tetap dijari kalau bekerja
5	Keterbatasan	Membutuhkan instalasi awal dan kestabilan jaringan	Tidak dapat menyimpan data denyut

Perbedaan kinerja ergonomi dari aspek penggunaan antara sensor AD8232 dan pulse oximeter dilakukan pengamatan terhadap beberapa aspek penggunaan yang relevan dalam konteks pemantauan detak jantung pekerja industri. Aspek tersebut meliputi konfigurasi sistem, metode monitoring data dan penggunaan saat bekerja. Hasil perbandingan ditunjukkan pada (tabel 2) aspek penggunaan, dalam kestabilan pemasangan selama aktivitas kerja. Pemakaian menggunakan vest chest protector untuk memastikan elektroda tidak bergeser, sehingga sinyal ECG dan BPM yang ditampilkan lebih stabil. Perangkat ini mendukung monitoring jarak jauh secara real-time melalui koneksi Wi-fi dan Platform Blynk yang menjadikannya lebih unggul untuk pemantauan jangka panjang. Pulse oximeter unggul dalam kemudahan operasi karena pengguna hanya perlu menjepitkan alat ke jari dan menekan tombol power tanpa memerlukan konfigurasi tambahan. Oximeter tidak mendukung pengiriman data secara daring dan akurasi dapat terpengaruh oleh perubahan posisi jari selama bekerja (Etiwy et al., 2019b). Berdasarkan hasil pengamatan sensor AD8232 vest chest protector memiliki keunggulan dalam kestabilan pemasangan selama aktivitas kerja. Pemakaian menggunakan vest chest protector untuk memastikan elektroda tidak bergeser sehingga sinyal ECG dan BPM yang ditampilkan lebih stabil. Perangkat ini mendukung monitoring jarak jauh secara real-time melalui koneksi Wi-fi dan Platform Blynk, yang menjadikannya lebih unggul untuk pemantauan jangka panjang. Pulse oximeter unggul dalam kemudahan operasi karena pengguna hanya perlu menjepitkan alat ke jari dan menekan tombol power tanpa memerlukan konfigurasi tambahan. Oximeter tidak mendukung

pengiriman data secara daring dan akurasi dapat terpengaruh oleh perubahan posisi jari selama bekerja (Etiwy et al., 2019b) .

Tabel 2. Perbandingan Kriteria Kinerja Ergonomi

No	Pengelompokan Kinerja Ergonomi	Sensor AD8232 Vest Chest	Oximeter
			
Kriteria Ergonomi			
1	Kemudahan operasi	Kurang praktis, diperlukan pemrograman	Sangat mudah cukup jepit dan nyalakan
2	Akurasi dan stabilitas pembacaan	Akurat terutama dengan bantuan vest chest protector untuk menstabilkan elektroda	Cukup stabil tetapi rentan terhadap gangguan posisi jari saat bergerak
3	Kenyamanan penggunaan	Pengguna lebih nyaman tidak mengganggu waktu kerja, bisa dipakai sambil bekerja	Ringan, nyaman tidak membatasi gerak
4	Informasi yang ditampilkan	Menampilkan sinyal ECG dan BPM	Hanya BPM dan SpO ₂

Berdasarkan hasil pengamatan kriteria pemakaian sensor ECG AD8232 unggul dalam akurasi, kestabilan pembacaan dan kemampuan menampilkan informasi lebih detail berupa sinyal ECG. Dukungan *vest chest protector* membuat elektroda tetap berada pada posisi optimal selama aktivitas fisik sehingga mengurangi risiko gangguan sinyal. Pulse oximeter unggul pada kemudahan operasi dan kecepatan pengukuran, karena tidak memerlukan instalasi atau konfigurasi tambahan. Alat ini praktis untuk pemeriksaan singkat, namun sensitivitas terhadap perubahan posisi jari dapat memengaruhi kestabilan pembacaan pada kondisi kerja dinamis. Berdasarkan Aspek Penilaian kinerja ergonomi AD8232 yang bertujuan untuk mengidentifikasi potensi beban kerja dan permasalahan yang muncul dalam penggunaan sensor ECG AD8232 vest chest protector, dilakukan analisis terhadap setiap elemen pekerjaan yang terlibat dalam proses pengoperasian alat. Analisis ini meliputi identifikasi nama elemen pekerjaan, jenis kesalahan (error) yang terjadi, frekuensi kejadian pada dua kali pengamatan serta rata-rata waktu penyelesaian setiap elemen. Pendekatan ini bertujuan untuk menilai efisiensi, potensi hambatan dan faktor yang dapat mempengaruhi performa operator saat menggunakan alat. Analisis ini meliputi identifikasi nama elemen pekerjaan, jenis kesalahan (error) yang terjadi, frekuensi kejadian pada dua kali pengamatan serta rata-rata waktu penyelesaian setiap elemen. Pendekatan ini bertujuan untuk menilai efisiensi, potensi hambatan dan faktor yang dapat mempengaruhi performa operator saat menggunakan alat.

Tabel 4. Penilaian Sensor AD8232

No Elemen	Nama Elemen Pekerjaan	Jenis Kesalahan (Error) yang Terjadi	Frekuensi yang Terjadi – Frekuensi yang Terjadi –		Rata-rata Waktu Penyelesaian Rata-rata Waktu Penyelesaian	
			Pengamatan 1	Pengamatan 2	T1 (detik)	T2 (detik)
1	Memakai Vest chest protector	Ukuran tidak pas / longgar	0	1	15,5	14,6

2	Menyalakan detak jantung (On Off)	Koneksi kabel salah/longgr	0	1	10,20	9,8
3	Memasang elektroda ke tubuh melalui vestchest protector	Elektoda tidak menempel sempurna pada kulit	1	1	20,30	18,9
4	Menyambungkan ESP32 ke wifi	Gagal koneksi SSD salah	1	1	25,10	23,6
5	Membuka aplikasi Blynk	Delay loading aplikasi	1	1	12,80	11,9
6	Memonitoring sinyal denyut jantung dari grafik Blynk	Data delay grafik tidak muncul	1	1	7,90	6,85
7	Melepas elektroda	-	1	1	6,50	5,8
8	Mematikan alat denyut jantung	Lupa mematikan alat	0	1	4	5
9	melepas vestchest protector	Sulit di lepas jika dibadan yang besar	1	0	8,40	7,5

Keterangan : 0 = Tidak ada kesalahan, 1 = Terjadinya kesalahan

Berdasarkan hasil pengamatan (tabel 4) terdapat beberapa elemen pekerjaan yang berpotensi menambah beban kerja operator baik dari segi waktu penyelesaian maupun potensi terjadinya kesalahan. Pada tahap awal penggunaan vest chest protector relatif cepat dilakukan dengan waktu rata-rata 15,5 detik pada pengamatan pertama dan 14,6 detik pada pengamatan kedua, meskipun ditemukan satu kasus ukuran yang tidak pas pada pengamatan kedua. Pemasangan elektroda memerlukan perhatian khusus karena kesalahan seperti elektroda tidak menempel sempurna pada kulit terjadi di kedua pengamatan, dengan waktu penyelesaian cukup tinggi (20,3 detik pada pengamatan pertama dan 18,9 detik pada pengamatan kedua), demikian pula pada proses menyambungkan ESP32 ke Wi-Fi, tercatat adanya kesalahan koneksi yang mengakibatkan waktu penyelesaian relatif lama (25,1 detik dan 23,6 detik). Tahap pelepasan elektroda, mematikan alat dan melepas vest chest protector, waktu penyelesaian rata-rata berada di bawah 10 detik, namun pada pengguna dengan postur tubuh besar, pelepasan vest memerlukan waktu lebih lama. Secara keseluruhan elemen pekerjaan yang terkait dengan koneksi jaringan dan pemasangan sensor merupakan faktor yang paling mempengaruhi durasi dan potensi kesalahan sehingga perlu perhatian khusus dalam upaya optimalisasi penggunaan alat di lapangan.

Penilaian kinerja ergonomi oximeter (tabel 5) proses penggunaan pulse oximeter untuk pemantauan detak jantung dan kadar oksigen darah terdiri dari empat elemen pekerjaan utama. Tahap pertama adalah menyalakan alat dengan cara menjepitkannya ke jari dan menekan tombol On. Potensi kesalahan pada tahap ini terjadi jika posisi jari tidak pas sehingga sensor tidak mendeteksi dengan baik. Waktu rata-rata penyelesaian untuk tahap ini relatif singkat, yaitu 3,6 detik pada pengamatan pertama dan 3,4 detik pada pengamatan kedua. Tahap kedua adalah membaca BPM dan SpO₂ pada layar. Kesalahan yang umum terjadi pada tahap ini adalah layar menjadi kurang jelas terbaca apabila alat bergeser posisinya di jari. Meskipun demikian waktu penyelesaian tahap ini cukup singkat yaitu sekitar 2,9 detik pada pengamatan pertama dan 2,7 detik pada pengamatan kedua. Tahap ketiga yaitu menunggu hasil pengukuran stabil, memerlukan

waktu lebih lama dibanding tahap lainnya (5,2 detik pada pengamatan pertama dan 5 detik pada pengamatan kedua). Hal ini disebabkan oleh potensi pergerakan tangan yang dapat mempengaruhi kestabilan sinyal pembacaan. Tahap terakhir adalah melepaskan alat dari jari, di mana proses ini sekaligus mematikan alat secara otomatis. Tahap ini relatif cepat dilakukan dengan waktu rata-rata 2,4 detik pada pengamatan pertama dan 2,2 detik pada pengamatan kedua, dan tidak ditemukan kesalahan pada tahap ini.

Tabel 5. Hasil Penilaian Oximeter

No Elemen	Nama Elemen Pekerjaan	Jenis Kesalahan (Error) yang terjadi	Frekuensi yang terjadi		Rata-rata waktu penyelesaian	
			Pengamatan 1	Pengamatan 2	T1 Detik	T2 Detik
1	Menyalakan alat (Jepit ke jari + tekan tombol on)	Tidak Terdeteksi jika posisi jari tidak pas	1	0	3,6	3,4
2	Membaca BPM dan SP02 di layer	Layer kurang jelas jika alat bergeser	1	1	2,90	2,7
3	Menunggu hasil stabil	Tangan bergerak menyebabkan data	1	1	5,20	5
4	Melepas alat dari jari dan alat off secara otomatis	0	1	0	2,40	2,2

2. Penilaian Pengukuran Frekuensi Denyut Nadi Metode *Cardiovascular Load* (CVL)

Setelah proses pengumpulan data dilakukan langkah berikutnya adalah menghitung Cardiovascular Load (CVL) untuk setiap responden, CVL digunakan untuk menilai tingkat beban kerja fisik berdasarkan perubahan denyut jantung selama aktivitas berlangsung. Nilai CVL diperoleh melalui pengukuran denyut nadi kerja (*working pulse rate*) dan denyut nadi istirahat (*resting pulse rate*) kemudian dihitung menggunakan rumus berikut (Siswiyanti dan Sugiono Cipto, 2025).

$$CVL = \frac{(HR_{work} - HR_{rest})}{(HR_{max} - HR_{rest})} \times 100\%$$

HRwork = denyut jantung rata-rata bekerja (bpm)

HRrest = denyut jantung rata-rata saat istirahat (bpm)

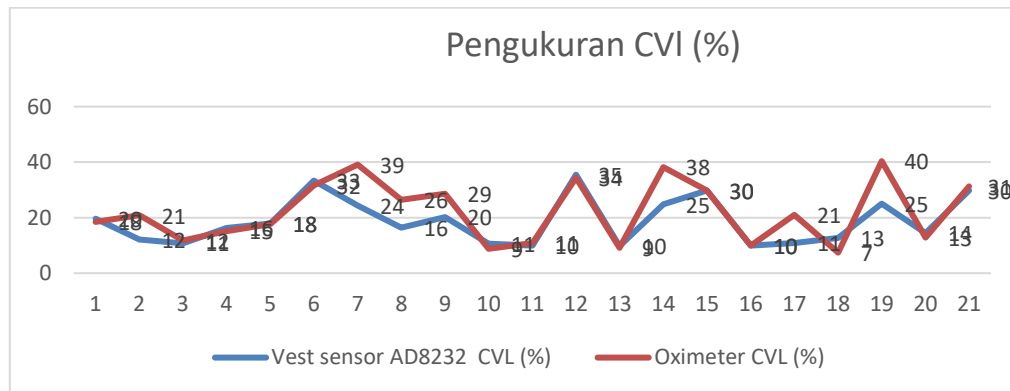
HRmax = 220 – usia (Almaadawy et al., 2024).

Pengambilan data dilakukan pada 21 pekerja laki-laki sehat dengan 3 kali pengukuran pada setiap responden pada pengumpulan data pengukuran denyut nadi didapatkan hasil rata-rata frekuensi denyut nadi seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Mean dan Standar Deviasi serta nilai CVL (%)

Pekerja (Laki-laki)	Umur (th)	Vest Sensor AD8232					Oximeter				
		DNI (bpm)	DNK (bpm)	Nadi Kerja (bpm)	DN MA X (bpm)	CVL (%)	DNI (bpm)	DNK (bpm)	Nadi Kerja (bpm)	DN MA K (bpm)	CVL (%)
Mean	27	82	102	20	193	19	83	107	24	193	22
StandarD eviasi	7	5	12	8	7	8	4	14	12	7	11
Median	27	81	98	19	193	16	84	103	24	193	21
Minimum	17	73	88	11	180	10	77	90	8	180	7
Maksimu m	40	90	120	33	203	35	89	133	45	203	40

Hasil perhitungan beban kerja fisik pekerja dengan metode *cardiovascular load* (CVL) dengan analisisnya berfokus pada perbandingan dua metode pengukuran CVL untuk orang yang sama (Gambar 1).



Gambar 1. Grafik Pengukuran CVL (%)

Hasil Analisis metode denyut nadi digunakan untuk mengetahui apakah hasil CVL dari ECG berbeda secara signifikan dengan CVL dari Pulse Oximeter (PPG) diawali dengan melakukan uji distribusi normal (Shapiro–Wilk) terhadap selisih % CVL. Hasil nilai p-value (Asymp. Sig.) dari Uji Shapiro-Wilk adalah 0.003 sehingga nilai $p \leq 0.05$ menunjukkan data tidak berdistribusi normal. Uji selanjutnya adalah menggunakan uji Wilcoxon Signed-Rank Test. Hasil nilai p-value (Asymp. Sig. (2-tailed)) dari Uji Wilcoxon Signed-Rank Test adalah 0.146, karena $(0.146 > 0.05)$ maka tidak ada perbedaan yang signifikan antara % CVL yang dihasilkan oleh kedua alat tersebut, sehingga hasil ini memperkuat validitas penggunaan sensor AD8232 berbasis Internet of Things (IoT) sebagai alat pemantau denyut jantung ergonomis yang dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat kelelahan fisik dan mental secara real-time.

Tests of Normality ^a						Test Statistics ^a	
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Oximeter - SensorAD823 2
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
selisih	.258	21	.001	.843	21	.003	

a. Lilliefors Significance Correction

Z	-1.452 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.146

a. Wilcoxon Signed Ranks Test
b. Based on negative ranks.

Gambar 2. Nilai Uji Distribusi Normal dan Uji Wilcoxon Signed-Rank Test

Hasil uji statistik ini mengindikasikan bahwa sensor AD8232 berbasis Internet of Things (IoT) dapat digunakan sebagai alternatif alat pemantau denyut jantung yang akurat dan portabel. Perangkat ini memiliki keunggulan dalam integrasi data secara real-time dan tidak mengganggu aktivitas pekerja. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa modul ECG AD8232 memiliki korelasi tinggi dengan alat ECG standar klinis dalam pengukuran sinyal elektrokardiografi dan frekuensi denyut jantung (Sugunakar et al., 2021). Temuan tersebut menegaskan pentingnya pemilihan perangkat yang ergonomis untuk mendukung kenyamanan, keselamatan, dan efektivitas kerja (Etiwy et al., 2019a) dan (Coste et al., 2025).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis kinerja ergonomi, sensor ECG AD8232 berbasis IoT dengan vest chest protector menunjukkan keunggulan dalam akurasi, kestabilan pembacaan serta kemampuan menampilkan data detak jantung secara detail dan real-time melalui Platform Blynk. Dukungan pemantauan jarak jauh menjadikannya lebih efektif untuk penggunaan jangka panjang di lingkungan kerja industri yang dinamis, sebaliknya pulse oximeter unggul pada aspek kemudahan penggunaan dan kecepatan pengukuran tanpa memerlukan instalasi atau konfigurasi tambahan, sehingga cocok untuk pemeriksaan cepat. Keterbatasannya terletak pada tidak tersedianya fitur pemantauan jarak jauh serta sensitivitas tinggi terhadap perubahan posisi jari yang dapat memengaruhi akurasi pembacaan saat pekerja bergerak. Mempertimbangkan hasil perbandingan ini, pemilihan perangkat sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan operasional. Sensor ECG AD8232 lebih direkomendasikan untuk pemantauan beban kerja fisik secara berkelanjutan, sedangkan pulse oximeter dapat digunakan sebagai alat skrining cepat. Implementasi sistem pemantauan yang tepat berpotensi mendukung pengambilan keputusan manajemen kerja, mencegah kelelahan serta meningkatkan keselamatan dan produktivitas pekerja di industri komponen alat berat. Perbandingan hasil pengukuran Cardiac Vagal Load (CVL) antara alat rancangan berbasis sensor Electrocardiogram (ECG) AD8232 dan pulse oximeter (PPG) menunjukkan bahwa hasil uji Wilcoxon Signed-Rank tidak terdapat perbedaan signifikan secara statistik karena nilai ($0.146 > 0.05$) sehingga alat Electrocardiogram (ECG) AD8232 setara dalam hal konsistensi pengukuran dengan pulse oximeter (PPG).

SARAN

Industri disarankan untuk menggunakan data % CVL yang dihasilkan oleh kedua alat tersebut sebagai identifikasi potensi resiko ergonomis dan merancang solusi perbaikan di tempat kerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada industry manufaktur atas izin yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Almaadawy, O., Uretsky, B. F., Krittanawong, C., & Birnbaum, Y. (2024). Target Heart Rate Formulas for Exercise Stress Testing: What Is the Evidence? In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 13, Issue 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jcm13185562>
- [2] Bhattarai, C., Yadav, S. K., & Koirala, S. (2022). IoT Based ECG Using AD8232 and ESP32. *Nepal Journal of Science and Technology*, 21(2), 115–121. <https://doi.org/10.3126/njst.v21i2.62361>
- [3] Charan, J., & Biswas, T. (2013). How to calculate sample size for different study designs in medical research? In *Indian Journal of Psychological Medicine* (Vol. 35, Issue 2, pp. 121–126). <https://doi.org/10.4103/0253-7176.116232>
- [4] Coste, A., Millour, G., & Hausswirth, C. (2025). A Comparative Study Between ECG- and PPG-Based Heart Rate Sensors for Heart Rate Variability Measurements: Influence of Body Position, Duration, Sex, and Age. *Sensors*, 25(18). <https://doi.org/10.3390/s25185745>
- [5] Dahiya, E. S., Kalra, A. M., Lowe, A., & Anand, G. (2024). Wearable Technology for Monitoring Electrocardiograms (ECGs) in Adults: A Scoping Review. In *Sensors* (Vol. 24, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24041318>
- [6] Dias, M., Silva, L., Folgado, D., Nunes, M. L., Cepeda, C., Cheetham, M., & Gamboa, H. (2023). Cardiovascular load assessment in the workplace: A systematic review. In *International Journal of Industrial Ergonomics* (Vol. 96). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103476>
- [7] Ersha Mayori et al. (2025). *Pengembangan Sistem Pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Berbasis IoT di Kawasan Industri Pulogading*. 8. <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jutin/article/view/50921/31453>
- [8] Etiwy, M., Akhrass, Z., Gillinov, L., Alashi, A., Wang, R., Blackburn, G., Gillinov, S. M., Phelan, D., Marc Gillinov, A., Houghtaling, P. L., Javadikasgari, H., & Desai, M. Y. (2019a). Accuracy of wearable heart rate monitors in cardiac rehabilitation. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 9(3), 262–271. <https://doi.org/10.21037/cdt.2019.04.08>
- [9] Etiwy, M., Akhrass, Z., Gillinov, L., Alashi, A., Wang, R., Blackburn, G., Gillinov, S. M., Phelan, D., Marc Gillinov, A., Houghtaling, P. L., Javadikasgari, H., & Desai, M. Y. (2019b). Accuracy of wearable heart rate monitors in cardiac rehabilitation. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 9(3), 262–271. <https://doi.org/10.21037/cdt.2019.04.08>
- [10] Firescu, V., & Filip, D. (2025). Human Factors and Ergonomics in Sustainable Manufacturing Systems: A Pathway to Enhanced Performance and Wellbeing. *Machines*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/machines13070595>
- [11] Fiyanto Roy Oktaf et al. (2024). *Design and Development of a Heart Rate and Blood Oxygen Saturation Monitoring Device in Humans During Sleep Condition Based on the Internet of Things. Volume 7 Issue 1*. DOI: <https://doi.org/10.21009/JEVET.0071.05>
- [12] Kraft, A. M., Velasco Garrido, M., Herold, R., Harth, V., & Preisser, A. M. (2023). Physical workload and cardiopulmonary parameters in relation to individual capacity of bulk waste workers – a cross-sectional field-study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00389-z>

- [14] Lwanga, S. K., & Lemeshow, S. (1991). *Sample size determination in health studies a practical manual*. https://archive.org/details/isbn_9780471925170
- [15] Okuda, M., Kawamoto, Y., Tado, H., & Fujita, Y. (2025). Heart Rate Monitoring for Physiological Workload in Forestry Work: A Scoping Review. In *Forests* (Vol. 16, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/f16030520>
- [16] Rehman, R. Z. U., Chatterjee, M., Manyakov, N. V., Daans, M., Jackson, A., O'Brisky, A., Telesky, T., Smets, S., Berghmans, P. J., Yang, D., Reynoso, E., Lucas, M. V., Huo, Y., Thirugnanam, V. T., Mansi, T., & Morris, M. (2024). Assessment of Physiological Signals from Photoplethysmography Sensors Compared to an Electrocardiogram Sensor: A Validation Study in Daily Life. *Sensors*, 24(21). <https://doi.org/10.3390/s24216826>
- [17] Salsabila Dany, H. A. T. I. A. I. (2022). *Sistem Monitoring Denyut Jantung Berbasis IoT menggunakan protokol XMPP*. 2. <https://jitel.polban.ac.id/jitel/article/view/109/45>
- [18] Septianto, A., & Wahyu, S. T. (2021). *Analisa Perbaikan Postur Kerja Pekerja Dalam Ilmu Ergonomi Menggunakan Metode Workplace Ergonomics Risk Assessment (WERA) dan Standard Nordic Questionnaire* (Vol. 6, Issue 1).
- [19] Setiariini Asih et al. (2021). *Sistem Monitoring Frekuensi Denyut Nadi pada Pelari Menggunakan Metode Photoplethysmographic*. Vol 8, No. 6. <https://jtiik.ub.ac.id/index.php/jtiik/article/view/3729/pdf>
- [20] Shcherbina, A., Mikael Mattsson, C., Waggott, D., Salisbury, H., Christle, J. W., Hastie, T., Wheeler, M. T., & Ashley, E. A. (2017). Accuracy in wrist-worn, sensor-based measurements of heart rate and energy expenditure in a diverse cohort. *Journal of Personalized Medicine*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/jpm7020003>
- [21] Siswiyanti dan Sugiono Cipto. (2025). Perubahan Postur Duduk (Statis) Menjadi Postur Duduk-Berdiri (Dinamis) Meningkatkan Produktivitas Batik Tulis. *Public Health and Safety International Journal*, Vol. 5 No.1(1), 2715–5854. <https://doi.org/10.55642>
- [22] Sugunakar, M. B. S., Maruthy, K. N., Srinivas, C. H., & Johnson, P. (2021). INDIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY A comparative study between single lead AD8232 heart rate monitor and standard electrocardiograph to acquire electrocardiographic data for cardiac autonomic function testing. / *Indian Journal of Science and Technology*, 14(6), 534–540. <https://doi.org/10.17485/IJST/v14i6.1822>
- [23] Widiatmoko Ari dan Prasetyowati Arttini Dwi. (2025). *View of Accuracy Analysis of Oxygen Saturation Measurements of TKDN Oximeters Using the Uncertainty Method*. Vol 6, No. 2. <https://journal.polbitrada.ac.id/index.php/Jtemp/article/view/156/90>