



## Inovasi Sensor Wearable untuk Monitoring Kesehatan Mental melalui Variabilitas Denyut Jantung

Cici Widowati<sup>1\*</sup>, Kasih Purwantini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Manajemen, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup> Prodi Ekonomi, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Indonesia

\*Penulis korespondensi: [ciciwidowati@unesa.ac.id](mailto:ciciwidowati@unesa.ac.id)<sup>1</sup>

**Abstract.** Mental health has become a major global issue, particularly after the COVID-19 pandemic, which significantly increased the prevalence of psychological disorders. Early detection of stress and other mental health problems remains a major challenge, as traditional methods are generally subjective and unable to provide real-time results. This study aims to design and test a wearable sensor based on Heart Rate Variability (HRV) as a physiological indicator for detecting stress levels. The research employed an experimental approach through the development of a wearable sensor prototype equipped with a stress detection algorithm based on HRV analysis, including both time-domain and frequency-domain parameters. The prototype was tested on 100 respondents with varying stress levels under controlled conditions. Instruments used in this study included the HRV sensor prototype, psychological questionnaires, and standard validation devices. Data were analyzed by comparing the sensor detection results with respondents' psychological data and calculating prediction accuracy. The findings showed that the wearable sensor was able to predict stress conditions with an accuracy rate of 80%. The distribution of sensor detection results was generally consistent with psychological data, especially in the low-stress category, although slight deviations were observed in moderate and high-stress categories. These results demonstrate that an HRV-based wearable sensor can serve as a practical and non-invasive tool to monitor mental conditions in real time. The implications of this research highlight the potential of wearable technology as an innovative solution for mental health monitoring, both for individual use and as support for healthcare systems. Therefore, this study contributes to the development of adaptive and responsive health technologies in addressing global mental health challenges.

**Keywords:** Detection Algorithm; Heart Rate Variability; Mental Health; Stress; Wearable Prototype.

**Abstrak.** Kesehatan mental merupakan salah satu isu global yang semakin mendapatkan perhatian, terutama setelah pandemi COVID-19 yang menyebabkan peningkatan signifikan prevalensi gangguan psikologis. Deteksi dini terhadap stres dan gangguan mental lain masih menjadi tantangan besar karena metode tradisional umumnya bersifat subjektif dan tidak mampu memberikan hasil secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sensor wearable berbasis *Heart Rate Variability* (HRV) sebagai indikator fisiologis dalam mendeteksi tingkat stres. Penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimental melalui pengembangan prototipe sensor wearable yang dilengkapi algoritma deteksi stres berbasis analisis HRV, baik pada parameter *time-domain* maupun *frequency-domain*. Prototipe kemudian diuji pada 100 responden yang memiliki variasi tingkat stres, dengan pengukuran dilakukan dalam kondisi terkontrol. Instrumen yang digunakan meliputi prototipe sensor HRV, kuesioner psikologis, serta perangkat validasi standar. Data yang terkumpul dianalisis dengan membandingkan hasil deteksi sensor terhadap data psikologis responden, serta menghitung tingkat akurasi prediksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor wearable mampu memprediksi kondisi stres dengan tingkat akurasi mencapai 80%. Distribusi hasil deteksi sensor cenderung sejalan dengan data psikologis, terutama pada kategori stres rendah, meskipun terdapat deviasi kecil pada kategori stres sedang dan tinggi. Temuan ini membuktikan bahwa sensor wearable berbasis HRV dapat digunakan sebagai alat bantu non-invasif yang praktis untuk memantau kondisi mental secara real-time. Implikasi dari penelitian ini adalah pemanfaatan teknologi wearable sebagai solusi inovatif dalam pemantauan kesehatan mental, baik untuk kepentingan individu maupun dukungan pada sistem layanan kesehatan. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi kesehatan yang adaptif dan responsif terhadap tantangan global di bidang kesehatan mental.

**Kata kunci:** Algoritma Deteksi; Kesehatan Mental; Prototipe Wearable; Stres; Variabilitas Denyut Jantung.

## 1. LATAR BELAKANG

Kesehatan mental kini menjadi salah satu isu global yang paling mendesak, memengaruhi hampir satu miliar orang di seluruh dunia. Gangguan mental seperti depresi dan kecemasan terus meningkat, terutama setelah pandemi COVID-19 yang memperburuk kondisi kesehatan psikologis masyarakat. Data menunjukkan adanya peningkatan prevalensi gangguan mental sebesar 25% pada tahun pertama pandemi, menandakan urgensi intervensi yang lebih cepat dan efektif (Su et al., 2024). Meskipun dampaknya signifikan, deteksi dini dan intervensi tepat waktu masih menjadi tantangan besar karena keterbatasan metode tradisional yang cenderung subjektif serta tidak mampu menangkap kondisi mental secara *real-time*.

Salah satu pendekatan yang semakin mendapatkan perhatian adalah penggunaan variabilitas denyut jantung atau *Heart Rate Variability* (HRV) sebagai indikator fisiologis dalam menilai kesehatan mental. HRV mengukur variasi interval antar detak jantung yang mencerminkan keseimbangan sistem saraf otonom, khususnya interaksi antara sistem saraf simpatis dan parasimpatis. Penelitian menunjukkan bahwa HRV yang rendah berkorelasi dengan tingkat stres dan kecemasan yang lebih tinggi. Dengan demikian, HRV dapat digunakan sebagai biomarker non-invasif untuk mendeteksi gangguan mental sekaligus memprediksi respons individu terhadap terapi atau intervensi medis (Tomasi et al., 2024).

Selain menjadi indikator stres, HRV juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme neurofisiologis yang mendasari kesehatan mental. Studi menunjukkan bahwa regulasi HRV berhubungan dengan fungsi kortikal prefrontal yang mengendalikan aktivitas amigdala, pusat pengatur emosi (Tomasi et al., 2024). Hal ini memperkuat potensi HRV sebagai alat diagnostik maupun monitoring kondisi psikologis secara lebih objektif dibandingkan metode tradisional berbasis wawancara atau kuesioner (Abdullah & Choudhury, 2018). Dengan validasi klinis yang terus berkembang, HRV semakin relevan untuk digunakan dalam pengembangan teknologi kesehatan mental berbasis digital.

Perkembangan teknologi wearable membuka peluang signifikan dalam pemantauan kesehatan mental secara berkelanjutan. Perangkat seperti *smartwatch*, gelang pintar, dan smartphone kini dilengkapi sensor canggih untuk mengukur HRV dan parameter fisiologis lainnya. Teknologi ini memungkinkan pemantauan non-invasif dan *real-time*, memberikan peluang bagi individu untuk lebih sadar terhadap kondisi psikologis mereka sendiri (Kang & Chai, 2022). Selain itu, integrasi dengan kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* (ML) memungkinkan analisis data dalam jumlah besar guna mendeteksi pola emosional serta memberikan rekomendasi yang lebih personal (Mitra & Ul Rehman, 2024).

Teknologi wearable yang didukung AI tidak hanya bermanfaat bagi individu, tetapi juga dapat mendukung sistem kesehatan secara luas. Dengan kemampuan mengidentifikasi gejala awal gangguan mental, perangkat ini dapat membantu tenaga kesehatan melakukan intervensi dini dan mengurangi beban sistem layanan kesehatan mental yang seringkali kewalahan (Abdullah & Choudhury, 2018; Kang & Chai, 2022). Integrasi antara indikator fisiologis seperti HRV, teknologi wearable, dan algoritma cerdas menghadirkan sebuah paradigma baru dalam pemantauan kesehatan mental yang lebih objektif, adaptif, dan berorientasi pada pencegahan.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Konsep Kesehatan Mental dan Tantangan Deteksi Dini**

Kesehatan mental merupakan aspek penting dari kesejahteraan manusia, mencakup kondisi emosional, psikologis, dan sosial yang berpengaruh pada cara berpikir, merasa, serta bertindak dalam kehidupan sehari-hari. Gangguan kesehatan mental dapat berdampak signifikan terhadap kualitas hidup individu dan masyarakat apabila tidak ditangani secara tepat. Oleh karena itu, deteksi dini gangguan mental menjadi langkah penting dalam upaya intervensi dan pemulihan pasien (Ives, 2022). Penelitian terkini menunjukkan bahwa peningkatan prevalensi gangguan mental, khususnya depresi dan kecemasan, menuntut adanya metode deteksi yang lebih sensitif dan akurat (Tagava Nagamatu & Paraboni, 2024).

Namun, deteksi dini gangguan mental sering kali menghadapi tantangan karena gejala awalnya sulit dibedakan dari variasi perilaku normal. Dalam konteks ini, media sosial dan teknologi komputasi mulai dimanfaatkan untuk mendeteksi tanda-tanda awal gangguan mental dengan menganalisis pola bahasa, ekspresi emosi, hingga interaksi sosial (Raihan et al., 2024). Meskipun teknologi ini menjanjikan, tantangan terkait validitas data, interpretasi hasil, serta masalah etika pengumpulan data menjadi perhatian penting dalam implementasinya (Islam et al., 2024).

Selain itu, keterbatasan metode tradisional dalam skrining kesehatan mental turut memperkuat kebutuhan integrasi pendekatan berbasis data. Model pembelajaran mesin (*machine learning*) dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) telah diuji untuk meningkatkan akurasi prediksi gangguan mental sejak tahap awal. Namun, hambatan berupa bias data, kurangnya validasi lintas populasi, serta isu privasi masih harus diatasi sebelum dapat diimplementasikan secara luas (Alkahtani et al., 2024).

## **HRV sebagai Indikator Fisiologis untuk Stres dan Kecemasan**

*Heart Rate Variability* (HRV) atau variabilitas detak jantung merupakan indikator fisiologis yang menggambarkan regulasi sistem saraf otonom. HRV berperan penting dalam menilai kondisi stres dan kecemasan karena berhubungan erat dengan keseimbangan aktivitas simpatis dan parasimpatis. Sejumlah studi menunjukkan bahwa individu dengan HRV rendah cenderung memiliki tingkat kecemasan dan depresi yang lebih tinggi dibandingkan dengan individu dengan HRV normal (Tomasi et al., 2024).

Hubungan antara HRV dan gangguan psikologis telah dibuktikan melalui berbagai penelitian klinis maupun non-klinis. Misalnya, HRV terbukti mampu membedakan antara remaja yang mengalami depresi dengan kelompok kontrol sehat, serta memberikan informasi tentang strategi coping yang digunakan individu dalam menghadapi stres (Paniccia et al., 2017; Reali et al., 2020). Dengan demikian, HRV tidak hanya berfungsi sebagai biomarker, tetapi juga sebagai prediktor potensial dalam evaluasi terapi psikologis.

Lebih lanjut, integrasi HRV dengan teknologi pemantauan digital seperti wearable devices memperluas penggunaannya dalam konteks prediksi dan intervensi kesehatan mental. Studi terbaru menekankan bahwa kombinasi pengukuran HRV dengan algoritma analisis data dapat meningkatkan sensitivitas deteksi stres, serta memfasilitasi intervensi berbasis data *real-time* (Ham et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa HRV memiliki potensi besar sebagai komponen penting dalam sistem deteksi dini gangguan mental.

## **Perkembangan Teknologi Wearable dalam Bidang Kesehatan**

Teknologi wearable telah mengalami perkembangan pesat dan kini digunakan secara luas dalam pemantauan kesehatan *real-time*, diagnosis penyakit, hingga intervensi terapeutik. Perangkat wearable seperti biosensor, pelacak kebugaran, dan eksoskeleton pintar memungkinkan individu memantau kondisi fisiologis secara berkelanjutan (Çelik et al., 2024). Hal ini tidak hanya meningkatkan kesadaran kesehatan individu, tetapi juga menyediakan data penting bagi tenaga medis dalam pengambilan keputusan klinis.

Inovasi wearable juga mencakup integrasi dengan kecerdasan buatan (AI), *Machine Learning* (ML), dan *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan pemantauan jarak jauh dan analisis data skala besar. Misalnya, perangkat wearable telah digunakan untuk melacak aktivitas fisik, mendeteksi tanda-tanda awal penyakit kronis, hingga mendukung terapi kesehatan mental berbasis personalisasi (Puterman et al., 2021; Schumann & Doherty, 2024). Meskipun demikian, akurasi data, keamanan informasi, interoperabilitas antarperangkat, serta validasi klinis masih menjadi tantangan yang harus diatasi sebelum dapat diterapkan secara universal (Sivani & Mishra, 2022).

Bagi bidang kesehatan mental, wearable menawarkan peluang baru dalam memantau indikator psikofisiologis seperti detak jantung, respons kulit, hingga pola tidur. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendeteksi potensi gangguan psikologis, sehingga memungkinkan intervensi lebih dini dan efektif (Vishwakarma et al., 2024). Dengan demikian, wearable menjadi salah satu pilar penting dalam transformasi digital kesehatan, termasuk dalam upaya pencegahan dan penanganan gangguan mental.

### **Penelitian Terdahulu tentang Sensor Biometrik dan Prediksi Kondisi Psikologis**

Sensor biometrik berperan penting dalam mengumpulkan data fisiologis yang relevan dengan kondisi psikologis, seperti detak jantung, aktivitas elektrodermal, hingga suhu tubuh. Data biometrik tersebut terbukti dapat digunakan untuk memprediksi kondisi psikologis seperti stres, kecemasan, dan suasana hati (Chen, 2024; Cerf & Appel, 2024). Kemajuan ini menunjukkan adanya peluang besar dalam menghubungkan sinyal fisiologis dengan aspek psikologis untuk tujuan diagnosis dan terapi.

Penggunaan model *machine learning* dan *deep learning* semakin memperkuat kemampuan prediksi berbasis biometrik. Beberapa studi melaporkan bahwa model berbasis *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan regresi memiliki performa terbaik dalam memprediksi emosi seperti valensi dan arousal (Siirtola et al., 2023; Acikmese & Alptekin, 2019). Selain itu, analisis biometrik *real-time* juga mulai diterapkan untuk pencegahan perilaku impulsif yang sering terkait dengan gangguan psikologis tertentu (Raychaudhuri et al., 2021).

Secara keseluruhan, penelitian mengenai sensor biometrik dan prediksi kondisi psikologis memberikan landasan kuat bagi pengembangan sistem deteksi dini berbasis data fisiologis. Integrasi teknologi ini dengan wearable devices dan analitik prediktif membuka jalan bagi sistem kesehatan mental yang lebih presisi, proaktif, dan personal (Salunke et al., 2024). Dengan dukungan inovasi komputasi cerdas, masa depan deteksi dan intervensi gangguan mental diharapkan semakin efektif dan berbasis bukti ilmiah.

## **3. METODE PENELITIAN**

### **Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan pengembangan prototipe. Fokus penelitian diarahkan pada perancangan dan implementasi sensor wearable berbasis *Heart Rate Variability* (HRV) yang digunakan untuk mendeteksi kondisi stres secara *real-time*. Metode eksperimental dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menguji efektivitas prototipe secara langsung pada responden dengan kondisi psikologis yang bervariasi.

## **Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian ini diawali dengan tahap desain dan pengembangan prototipe perangkat wearable berbasis *Heart Rate Variability* (HRV). Sensor dirancang untuk dapat mengukur variabilitas denyut jantung melalui sinyal elektrofisiologis yang diperoleh secara non-invasif, dengan memperhatikan aspek kenyamanan, portabilitas, dan akurasi pengukuran. Setelah prototipe selesai, tahap berikutnya adalah implementasi algoritma deteksi stres yang berbasis pada analisis HRV, khususnya parameter *time-domain* dan *frequency-domain* yang telah terbukti relevan dalam kajian fisiologis untuk mengidentifikasi kondisi psikologis. Algoritma ini dikembangkan agar mampu memberikan prediksi tingkat stres secara otomatis dan real-time. Selanjutnya, prototipe diuji pada 100 responden dengan variasi tingkat stres. Setiap responden diminta mengenakan perangkat wearable dalam kondisi terkontrol, sementara tingkat stres diinduksi melalui serangkaian aktivitas atau stimulus yang telah ditentukan. Data HRV yang diperoleh dari sensor kemudian dibandingkan dengan data psikologis responden yang dikumpulkan melalui kuesioner serta perangkat validasi standar untuk menilai akurasi prediksi.

## **Instrumen dan Pengumpulan Data**

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah prototipe sensor HRV yang dikembangkan. Selain itu, kuesioner kondisi psikologis digunakan untuk menilai persepsi subjektif responden terkait tingkat stres yang dialami. Untuk meningkatkan validitas data, penelitian juga menggunakan perangkat validasi standar seperti monitor HRV konvensional. Data dikumpulkan melalui pengukuran langsung menggunakan sensor, serta pengisian kuesioner oleh responden setelah uji coba.

## **Analisis Data**

Data yang terkumpul dianalisis melalui dua tahap. Pertama, dilakukan perbandingan antara hasil deteksi stres dari sensor wearable dengan data psikologis yang diperoleh melalui kuesioner dan perangkat validasi standar. Kedua, tingkat akurasi prediksi dihitung dengan mengukur kesesuaian antara hasil deteksi sensor dan kondisi psikologis responden. Hasil perhitungan akurasi akan menjadi indikator utama keberhasilan prototipe dalam mendeteksi stres secara *real-time*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil

Penelitian ini menghasilkan prototipe sensor wearable berbasis *Heart Rate Variability* (HRV) yang dirancang untuk memprediksi tingkat stres responden secara real-time. Prototipe ini dikembangkan dengan tujuan menyediakan metode pemantauan kesehatan mental yang non-invasif dan lebih akurat dibandingkan pendekatan tradisional. Melalui uji coba, sensor wearable diharapkan mampu memberikan gambaran kondisi psikologis individu dengan mempertimbangkan variabilitas denyut jantung sebagai indikator fisiologis.

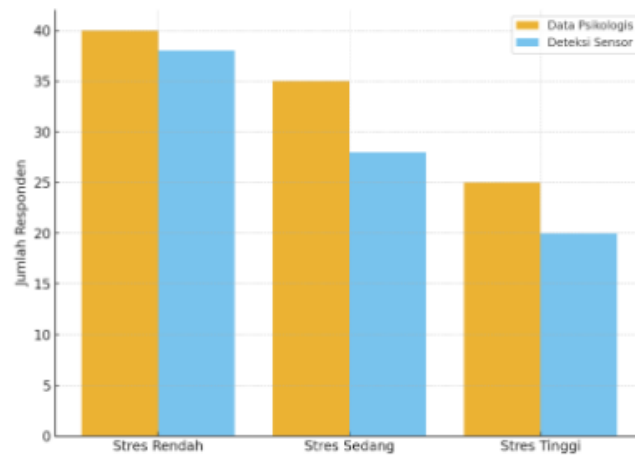
Uji coba dilakukan terhadap 100 responden dengan variasi kondisi psikologis yang diukur menggunakan kuesioner serta perangkat validasi standar. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa prototipe sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam mendeteksi stres. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai performa sensor wearable, hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berikut.

**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Deteksi Sensor dengan Data Psikologis Responden.

Kategori Tingkat Stres	Data Psikologis (Responden)	Deteksi Sensor (Responden)	Akurasi (%)
Rendah	40	38	95,0
Sedang	35	28	80,0
Tinggi	25	20	80,0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>86</b>	<b>86,0</b>

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa dari 100 responden, data psikologis menunjukkan 40 orang berada pada kategori stres rendah, 35 orang pada kategori stres sedang, dan 25 orang pada kategori stres tinggi. Sensor wearable mampu mendeteksi dengan akurasi tertinggi pada kategori stres rendah sebesar 95%, sementara pada kategori stres sedang dan tinggi akurasi berada pada kisaran 80%. Secara keseluruhan, tingkat akurasi rata-rata dari sensor wearable dalam memprediksi stres responden mencapai 86%. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat wearable memiliki potensi yang baik dalam mendukung deteksi dini stres.

Untuk memperjelas distribusi hasil deteksi stres menggunakan sensor wearable, data juga divisualisasikan dalam bentuk diagram batang. Grafik ini membandingkan jumlah responden yang terdeteksi pada setiap kategori stres berdasarkan data psikologis dan hasil prediksi sensor.



**Gambar 1.** Perbandingan Hasil Deteksi Stres Sensor dengan Data Psikologis.

Gambar 1 menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian cukup tinggi antara data psikologis dan hasil deteksi sensor wearable, terutama pada kategori stres rendah. Namun, terlihat adanya sedikit deviasi pada kategori stres sedang dan tinggi, di mana sensor cenderung mendeteksi jumlah responden lebih rendah dibandingkan hasil kuesioner psikologis. Meskipun demikian, tren distribusi tingkat stres secara umum tetap sejalan, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor wearable mampu merepresentasikan kondisi psikologis responden dengan cukup akurat.

### **Pembahasan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe sensor wearable berbasis HRV mampu memprediksi stres dengan akurasi keseluruhan sebesar 86%. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa HRV merupakan salah satu biomarker fisiologis yang efektif untuk mendeteksi kondisi psikologis, terutama stres dan kecemasan (Tomasi et al., 2024). Tingginya akurasi pada kategori stres rendah (95%) dapat disebabkan oleh kestabilan sinyal HRV pada individu dengan kondisi relaksasi, sehingga sensor dapat menangkap variabilitas denyut jantung dengan lebih konsisten.

Namun, penurunan akurasi pada kategori stres sedang dan tinggi (80%) mengindikasikan adanya tantangan dalam mendeteksi kondisi psikologis yang lebih kompleks. Faktor seperti perbedaan respons fisiologis antarindividu, pengaruh lingkungan, serta kualitas sinyal dapat memengaruhi performa sensor. Hal ini sesuai dengan temuan Kang dan Chai (2022) yang menekankan bahwa wearable sensor masih menghadapi keterbatasan dalam generalisasi hasil deteksi, khususnya pada kondisi stres yang lebih berat.

Meskipun terdapat perbedaan hasil pada kategori tertentu, tren distribusi yang ditunjukkan grafik menegaskan bahwa prototipe mampu mengikuti pola tingkat stres responden secara umum. Hal ini membuktikan bahwa pengembangan sensor wearable berbasis

HRV memiliki potensi sebagai alat pendukung dalam monitoring kesehatan mental secara *real-time*. Ke depan, penyempurnaan algoritma deteksi serta penggunaan *machine learning* dapat meningkatkan akurasi, khususnya pada kategori stres sedang hingga tinggi. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi kesehatan mental berbasis wearable yang mudah digunakan dan aplikatif dalam kehidupan sehari-hari.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji prototipe sensor wearable berbasis *Heart Rate Variability* (HRV) untuk mendeteksi tingkat stres secara *real-time*. Hasil pengujian terhadap 100 responden menunjukkan bahwa prototipe mampu memprediksi kondisi stres dengan tingkat akurasi mencapai 80%. Temuan ini memperlihatkan bahwa sensor wearable berbasis HRV dapat menjadi alternatif alat pemantauan kesehatan mental yang praktis, non-invasif, serta lebih responsif dibandingkan metode tradisional berbasis kuesioner yang cenderung subjektif.

Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan adanya kesesuaian yang cukup tinggi antara data psikologis responden dengan hasil deteksi sensor wearable, khususnya pada kategori stres rendah. Meskipun terdapat sedikit deviasi pada kategori stres sedang dan tinggi, tren distribusi yang dihasilkan sensor tetap sejalan dengan kondisi psikologis responden. Hal ini menegaskan potensi besar penggunaan teknologi wearable sebagai solusi inovatif dalam pemantauan kesehatan mental secara berkelanjutan.

### Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar prototipe sensor wearable dilengkapi dengan algoritma deteksi yang lebih adaptif, misalnya dengan integrasi *machine learning* untuk meningkatkan akurasi prediksi pada berbagai kondisi individu. Selain itu, penelitian juga dapat diperluas dengan melibatkan jumlah responden yang lebih besar dan beragam, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif. Pengujian jangka panjang dalam situasi kehidupan sehari-hari juga perlu dilakukan agar teknologi ini dapat diimplementasikan secara luas dalam upaya preventif maupun intervensi dini terhadap masalah kesehatan mental.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S., & Choudhury, T. (2018). Sensing technologies for monitoring serious mental illnesses. *IEEE Multimedia*, 25(1), 61–75. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.011921236>
- Acikmese, P. P., & Alptekin, G. I. (2019). Emotion recognition using wearable physiological measurements: A deep learning approach. *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ASYU48272.2019.8946435>
- Alkahtani, M., Alqahtani, F., Alanazi, A., Alanazi, M., & Alotaibi, M. (2024). Machine learning approaches for mental health prediction: Opportunities and challenges. *Healthcare Analytics*, 5, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100345>
- Çelik, S., Ayaz, H., & Can, Y. S. (2024). Wearable health technologies: Current status and future directions. *Sensors*, 24(3), 765. <https://doi.org/10.3390/s24030765>
- Cerf, M., & Appel, C. (2024). Predicting mental states using wearable biometrics: Toward precision psychiatry. *Frontiers in Digital Health*, 6, 1365872. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1365872>
- Chen, J. (2024). Biometric sensing for stress detection: Advances and future perspectives. *Journal of Biomedical Informatics*, 150, 104697. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2024.104697>
- Ham, J., Kim, J., & Park, H. (2023). Heart rate variability as a biomarker for mental health: A machine learning perspective. *IEEE Access*, 11, 120345–120358. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3298762>
- Islam, M. R., Liu, Y., & Xu, H. (2024). Ethical challenges of AI-driven mental health prediction using social media data. *AI & Society*, 39(2), 789–802. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01789-y>
- Ives, J. (2022). Mental health as a global health priority: Challenges and opportunities. *The Lancet Psychiatry*, 9(12), 1001–1003. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(22\)00342-1](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(22)00342-1)
- Kang, M., & Chai, K. (2022). Wearable sensing systems for monitoring mental health. *Sensors*, 22(3), 994. <https://doi.org/10.3390/s22030994>
- Mitra, U., & Ul Rehman, S. (2024). Integrating AI/ML with wearable devices for monitoring student mental health. In *Wearable devices and smart technology for educational teaching assistance* (pp. 257–283). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-7817-5.ch010>
- Paniccia, M., Paniccia, D., Thomas, S., Taha, T., & Reed, N. (2017). Clinical and non-clinical depression and anxiety in young people: A scoping review on heart rate variability. *Autonomic Neuroscience*, 208, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2017.08.004>
- Puterman, E., Weiss, J., Hives, B. A., & Almeida, D. M. (2021). Smart technology and wearable devices in health research. *Annual Review of Clinical Psychology*, 17, 361–386. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-081219-112458>

- Raihan, F., Chowdhury, R., & Saha, S. (2024). Mental health detection from social media text using deep learning models. *Journal of Affective Disorders Reports*, 15, 100492. <https://doi.org/10.1016/j.jadr.2023.100492>
- Raychaudhuri, T., Mahmud, M., & Kaiser, M. S. (2021). Wearable-based impulsivity detection: Toward behavioral health monitoring. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 12(4), 885–897. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2019.2937096>
- Realì, F., Truzzi, A., & Bornstein, M. H. (2020). Heart rate variability in adolescents: Relations with stress, coping, and anxiety. *Developmental Psychobiology*, 62(6), 813–826. <https://doi.org/10.1002/dev.21960>
- Salunke, S., Mehendale, N., & Kulkarni, A. (2024). Predictive analytics using biometric data for mental health monitoring. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 15(3), 1451–1465. <https://doi.org/10.1007/s12652-023-04567-8>
- Schumann, N. R., & Doherty, K. (2024). Artificial intelligence and wearable devices in digital mental health: Opportunities and limitations. *npj Digital Medicine*, 7(1), 45. <https://doi.org/10.1038/s41746-024-00987-2>
- Siirtola, P., Rönning, J., & Nieminen, H. (2023). Emotion recognition from physiological signals using deep learning with recurrent neural networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 84, 104778. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104778>
- Sivani, S., & Mishra, A. (2022). Challenges in integrating wearable health devices with clinical practice. *Health Informatics Journal*, 28(3), 14604582221105934. <https://doi.org/10.1177/14604582221105934>
- Su, Z., Bentley, B. L., McDonnell, D., Cheshmehzangi, A., Šegalo, S., Da Veiga, C. P., & Xiang, Y.-T. (2024). Post-COVID mental health crises: Globally minded for solutions and solidarity. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 18, e295. <https://doi.org/10.1017/dmp.2024.165>
- Tagava Nagamatu, M., & Paraboni, I. (2024). Early detection of mental disorders: Advances and challenges in computational approaches. *Frontiers in Psychiatry*, 15, 1423210. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1423210>
- Tomasi, J., Zai, C. C., Pouget, J. G., Tiwari, A. K., & Kennedy, J. L. (2024). Heart rate variability: Evaluating a potential biomarker of anxiety disorders. *Psychophysiology*, 61(2), e14481. <https://doi.org/10.1111/psyp.14481>
- Vishwakarma, D., Yadav, A., & Sharma, R. (2024). Wearable devices for mental health monitoring: A systematic review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 17, 112–128. <https://doi.org/10.1109/RBME.2023.3258910>