

Implementasi *Wearable Device* untuk Sistem Pendeteksi Kelelahan Otot *Biceps* Menggunakan Metode *Support Vector Machine*

Tetron Jaguar Dasamuka¹, Edita Rosana Widasari²

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹t3tr0n@student.ub.ac.id, ²editarosanaw@ub.ac.id

Abstrak

Kelelahan adalah gejala umum yang dialami oleh banyak orang dan berhubungan dengan banyak kondisi kesehatan. Ini adalah kondisi dimana seseorang mengalami perasaan lemah, kekurangan energi yang signifikan dan merasa sulit untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Kelelahan otot adalah penurunan kekuatan maksimal atau produksi tenaga karena aktivitas kontraktile, dan dapat disebabkan oleh berbagai gangguan neurologis, otot, kardiovaskular, penuaan, dan kelemahan. Tujuan dari penelitian ini adalah Mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan *Myoware Muscle Sensor* dalam membaca aktivitas otot untuk mendeteksi kelelahan otot. Evaluasi akurasi sensor dibutuhkan karena hasil pembacaan sensor akan langsung mempengaruhi validitas temuan serta efektivitas keseluruhan sistem yang digunakan pada penelitian ini, mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan *Myoware Muscle Sensor* dalam membaca aktivitas otot untuk mendeteksi kelelahan otot. Hasil penelitian menunjukkan *Myoware Muscle Sensor* mampu membaca aktivitas otot *biceps* dengan baik sebesar 100%, mengandalkan elektromiografi (*EMG*) untuk mendeteksi sinyal listrik yang dihasilkan oleh kontraksi otot. Penggunaan algoritma *Support Vector Machine (SVM)* dengan fitur *Root Mean Square (RMS)* dalam sistem pendeteksi kelelahan otot *biceps* menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi sebesar 84%. Waktu komputasi mikrokontroler dalam mengolah data *EMG* dan menjalankan algoritma *SVM* cukup efisien untuk kebutuhan *real-time* dengan rata-rata 650ms. Sistem keseluruhan yang dirancang untuk mendeteksi kelelahan otot, mulai dari sensor *input*, pemrosesan sinyal, hingga *output* hasil klasifikasi, 100% bekerja dengan baik dan sesuai harapan.

Kata kunci: *Wearable Device*, Pendeteksi kelelahan otot, *Support Vector Machine (SVM)*, *Electromyography (EMG)*, *Root Mean Square (RMS)*, Sistem Pencegahan Cedera

Abstract

Fatigue is a common symptom experienced by many people and is associated with many health conditions. It is a condition where a person feels significantly weak, lacking in energy, and finds it difficult to carry out daily activities. Muscle fatigue is a decrease in maximum strength or energy production due to contractile activity, and can be caused by a variety of neurological, muscular, cardiovascular, aging, and weakness disorders. The purpose of this study is to evaluate the accuracy of Myoware Muscle Sensor readings in reading muscle activity to detect muscle fatigue. Evaluation of the accuracy of the sensor is needed because the results of the sensor readings will directly affect the validity of the findings as well as the effectiveness of the overall system used in this study. The results indicate that the Myoware Muscle Sensor is capable of accurately reading biceps muscle activity at 100%, relying on electromyography (EMG) to detect electrical signals generated by muscle contractions. The use of the Support Vector Machine (SVM) algorithm with the Root Mean Square (RMS) feature in the biceps muscle fatigue detection system shows a high accuracy level of 84%. The microcontroller's computing time in processing EMG data and running SVM algorithms is quite efficient for real-time needs, averaging 650ms. The overall system designed to detect muscle fatigue, from input sensors, signal processing, to the output of the classification results, works 100% effectively and as expected.

Keywords: *Wearable Device*, Muscle Fatigue Detection, *Support Vector Machine (SVM)*, *Electromyography (EMG)*, *Root Mean Square (RMS)*, Injury Prevention System

1. PENDAHULUAN

Kelelahan adalah gejala umum yang dialami oleh banyak orang dan berhubungan dengan banyak kondisi kesehatan. Ini sering didefinisikan sebagai rasa lelah yang luar biasa, kekurangan energi dan perasaan lelah. Kelelahan otot adalah penurunan kekuatan maksimal atau produksi tenaga karena aktivitas kontraktile, dan dapat disebabkan oleh berbagai gangguan neurologis, otot, kardiovaskular, penuaan, dan kelemahan (Wan, et al., 2017). Kelelahan otot berhubungan dengan cedera muskuloskeletal dalam olahraga, dengan bukti yang menunjukkan perubahan pola aktivasi otot dan kinematika akibat kelelahan (Yousif, et al., 2019). Beberapa studi juga berpendapat bahwa kelelahan otot dapat menyebabkan penyakit muskuloskeletal (*MSDs*) pada pekerja yang melakukan kerja keras berulang jangka panjang (Wang, et al., 2021).

Wearable Device adalah perangkat yang dapat dipakai di tubuh yang menggabungkan komponen elektronik, perangkat lunak, dan desain yang mudah dipakai untuk membantu pengguna dalam melakukan berbagai aktivitas (Ye, et al., 2019). *Wearable Device* sangat berguna untuk deteksi dini dan pengelolaan kondisi medis (Isravel, et al., 2020). *Wearable Device* juga telah digunakan untuk menyediakan berbagai layanan bernilai tambah seperti lokalisasi dan navigasi dalam ruangan, pembayaran keuangan, pemantauan kesehatan fisik dan mental, analitik olahraga, dan analitik asuransi kesehatan. Meskipun ada beberapa tumpang tindih dalam proposisi nilai dari *Wearable Device* dan *Wireless Body Area Networks (WBAN)*, *Wearable Device* lebih sederhana dan lebih banyak digunakan, yang mengarah pada perhatian penelitian yang lebih cepat dibanding *WBAN* (Seneviratne, et al., 2017).

Aplikasi berbasis *Surface Electromyogram (SEMG)* telah banyak digunakan untuk aplikasi seperti kontrol prosthesis lengan atas, olahraga dan pemantauan kebugaran. Ini juga dapat digunakan untuk deteksi kelelahan otot selama olahraga dan kebugaran. Ini berguna bagi mereka yang perlu berolahraga untuk mendapatkan kelelahan otot untuk pertumbuhan otot bicep, atau bagi mereka yang perlu berolahraga untuk mempertahankan otot bicep mereka. (Widasari, et al., 2015)

Penelitian ini menggunakan fitur *Root*

Mean Square (RMS) karena secara efektif merepresentasikan kekuatan sinyal *EMG* dengan mengukur nilai rata-rata kuadrat dari sinyal, sehingga memberikan informasi yang akurat mengenai intensitas aktivitas otot dan korelasi yang kuat dengan tingkat kelelahan otot. Ekstraksi fitur *RMS* juga memiliki waktu yang paling cepat dibandingkan dengan fitur lainnya, serta penggunaan memori yang lebih efisien (Daffa, et al., 2023).

Banyak penelitian telah menganalisis dan mengklasifikasikan sinyal *EMG* dengan menfilter sinyal menggunakan *high-pass filtering* dan mengekstraksi fitur dari data. Fitur yang umum digunakan termasuk *waveform length*, *root mean square*, *zero crossing*, *slope sign change*, dan *mean absolute value*. Serta dari beberapa studi, Algoritma seperti *Random Forest*, *Convolutional Neural Networks*, *Dynamic Time Warping*, *Multi-Layer Neural Network*, *Multi-Layer Perceptron Neural Network*, *k-Nearest Neighbor*, *Linear Discriminant Analysis*, dan *Support Vector Machine* yang digunakan untuk klasifikasi. *SVM* terpilih karena kinerjanya yang baik dalam klasifikasi data non-linear dan kemampuannya untuk bekerja dengan baik pada data *EMG*, termasuk dalam mendeteksi kelelahan otot (Tepe & Demir, 2022).

Sistem pada penelitian ini bekerja dengan cara merekam sinyal elektromiografi (*EMG*) dari otot *Biceps* pengguna dan menganalisisnya untuk mengidentifikasi apakah otot tersebut sedang mengalami kelelahan atau tidak dengan metode *SVM*. Perangkat *wearable* berupa sensor yang dipasang pada lengan pengguna, kemudian data yang diperoleh dari sensor akan dikelola oleh *microcontroller* yang menjalankan algoritma metode *SVM* yang telah di-*training* untuk mengklasifikasikan tingkat kelelahan otot *Biceps* pengguna. *SVM* akan mengklasifikasikan data menjadi beberapa kategori tingkat kelelahan otot *Biceps* yang berbeda antar normal dan lelah. Hasil klasifikasi kemudian akan ditampilkan dalam bentuk suara *buzzer*. Pengguna dapat mengetahui tingkat kelelahan otot *Biceps* mereka secara *real-time*, sehingga mereka dapat menyesuaikan latihan mereka untuk mencegah cedera dan memaksimalkan hasil latihan.

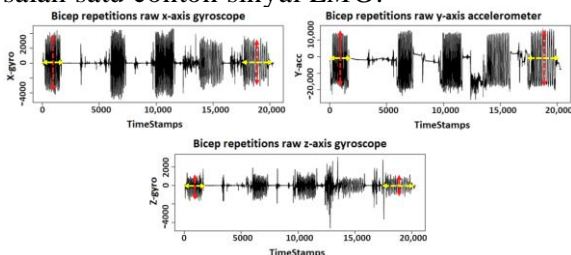
Mengetahui hasil pembacaan sensor, akurasi, waktu komputasi, dan keseluruhan sistem sangat penting dalam pengklasifikasian tingkat kelelahan otot *Biceps* menggunakan *SVM*. Pertama, hasil pembacaan sensor yang akurat sangat krusial karena data yang dihasilkan

menjadi dasar dari keseluruhan proses klasifikasi. Akurasi pembacaan sensor akan mempengaruhi kualitas dari model *SVM* yang dibangun. Kedua, akurasi klasifikasi *SVM* itu sendiri adalah indikator seberapa baik sistem dapat membedakan antara kondisi otot yang normal dan lelah. Model yang memiliki akurasi tinggi akan memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan bagi pengguna. Ketiga, waktu komputasi yang efisien sangat penting dalam sistem *real-time* agar pengguna dapat menerima *feedback* secara cepat tanpa adanya *delay* yang signifikan. Sistem yang mampu memproses data dengan cepat dan akurat akan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik. Terakhir, evaluasi keseluruhan sistem memastikan bahwa semua komponen, mulai dari sensor hingga algoritma klasifikasi dan *output* berupa suara *buzzer* dan *LED* bekerja dengan baik. Ini menjamin bahwa sistem tidak hanya akurat dan cepat, tetapi juga andal dan mudah digunakan, sehingga membantu pengguna dalam menyesuaikan latihan mereka untuk mencegah cedera dan memaksimalkan hasil latihan secara efektif

2. STUDI LITERATUR

2.1. Electromyography (EMG)

Elektromiografi (*EMG*) digunakan untuk mendiagnosis pasien dengan gangguan neuromuskuler. Jenis patologi, lokasi dan etiologi dapat diselidiki dengan menggunakan karakteristik bentuk gelombang *EMG* (Subasi, 2013). Ini adalah prosedur diagnostik yang digunakan untuk menilai kesehatan otot dan sel saraf yang mengendalikannya. *EMG* merekam aktivitas listrik otot saat istirahat dan saat berkontraksi. Ini digunakan untuk mendiagnosis berbagai gangguan dan kondisi, termasuk distrofi otot, saraf terjepit, dan kerusakan saraf (Chandarana, 2008). Pada gambar 2.1 adalah salah satu contoh sinyal *EMG*.

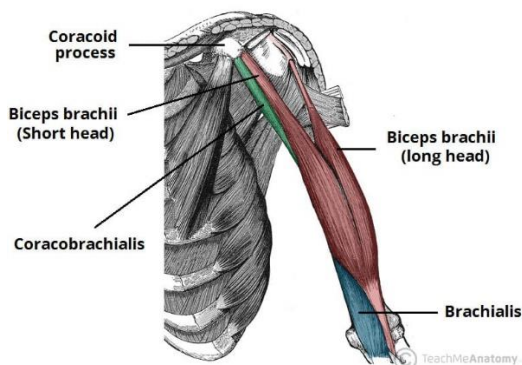


Gambar 2.1 Contoh Sinyal *EMG* dari perubahan yang terjadi pada daya tahan otot Biceps akibat kelelahan

Sumber: (Elshafei & Shihab, 2021).

2.2. Otot Biceps

Otot *Biceps*, atau dikenal sebagai otot *Biceps brachii* dalam bahasa ilmiah, merupakan otot penting pada bagian depan tubuh pada lengan atas. Otot ini berperan penting dalam pergerakan sendi bahu dan siku. Dari segi anatomi, otot *Biceps brachii* memiliki dua kepala: kepala panjang dan kepala pendek seperti pada gambar 2.2. Kepala panjang berasal dari *tuberkulum supraglenoid* pada *skapula*, sedangkan kepala pendek muncul dari proses *korakoid skapula* (Barma & Hottigoudar, 2022). Kedua kepala ini bergabung membentuk satu badan otot, yang kemudian melekat pada *tuberositas radius* di lengan bawah. Otot ini secara khusus bertanggung jawab atas *fleksi* siku dan *supinasi* lengan bawah, menjadikannya otot penting untuk berbagai gerakan atletik maupun aktivitas sehari-hari (Agarwal & Gopal, 2020).

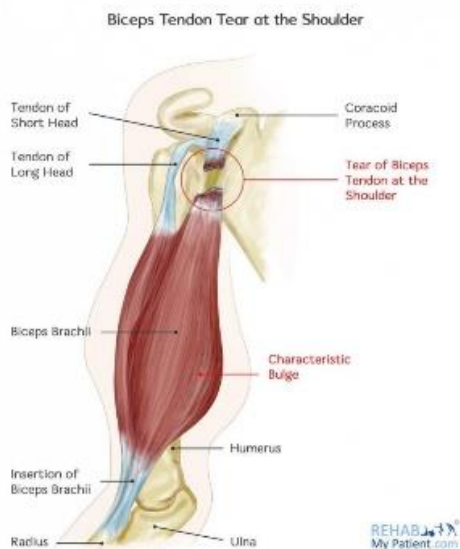


Gambar 2.2 Otot coracobrachialis (hijau), Biceps brachii (merah) dan brachialis (biru) pada lengan atas bagian depan
Sumber: (Ltd, 2024)

2.3. Musculoskeletal Disorder (MSDs)

Gangguan *Muskuloskeletal* merupakan kondisi yang memengaruhi otot, tulang, saraf, dan tendon tubuh, dan sering kali akibat dari paparan regangan berulang, penggunaan berlebih, tekanan, getaran, dan posisi canggung secara tiba-tiba maupun berkelanjutan. *MSDs* dapat mempengaruhi kemampuan pekerja untuk beraktivitas seperti mengangkat, menarik, mendorong, menjaga postur tubuh alami, menahan suhu dingin, dan menahan reaksi torsi dan getaran dari peralatan mesin (CDC, 2022). Pada otot *Biceps* gangguan *MSDs* dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti *Biceps tendonitis*, robekan pada tendon *Biceps* seperti pada gambar 2.3, robekan pada otot, dan sebagainya yang diakibatkan oleh cedera, penggunaan berlebih maupun gerakan intens lainnya (Clinic, 2018).

Dan pada penelitian ini dibangun sebuah sistem deteksi dini kelelahan otot *Biceps* untuk mencegah hal ini terjadi.



Gambar 2.3 Short head Biceps Tendon Tear
 Sumber: (Patient, 2017)

2.4. EMG Signal Pre-processing Filter

EMG Signal Pre-processing Filter atau pra-pemrosesan sinyal EMG, dibutuhkan untuk menerapkan metode yang meningkatkan keakuratan sinyal aktivitas otot. Proses ini melibatkan beragam macam Teknik filtering yang bertujuan untuk mengurangi dampak noise dan artefak dalam sinyal. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan data EMG sehingga dapat digunakan secara efektif untuk diagnosis medis, kontrol prostetik, atau aplikasi lain di mana informasi aktivitas otot sangat penting (Chowdhury, et al., 2013). Pendekatan ini memastikan bahwa informasi yang diperoleh oleh EMG dapat diandalkan dan akurat untuk mendeteksi kelelahan otot pada penelitian ini.

2.5. RMS (Root Mean Square)

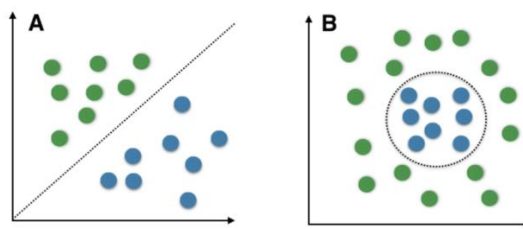
Root Mean Square merupakan Teknik pengukuran untuk variabel yang fluktuatif dan efektif untuk gelombang positif-negatif. Metode ini memfasilitasi perhitungan presisi terhadap nilai yang berubah secara dinamis (Ülkir, et al., 2017). Pada bidang klasifikasi sinyal *EMG*, fitur *RMS* terbukti cukup efektif, pada penelitian yang memanfaatkan *RMS* dengan *Support Vector Machine (SVM)* dalam mengklasifikasi 8 kelas gerakan tangan secara *realtime* kontrol lengan robot dengan rentang akurasi 92-98% (Chowdhury, et al., 2013). Hasil ini menegaskan

kekokohan *RMS* sebagai fitur dalam klasifikasi akurat sinyal *EMG* untuk penelitian ini. Perhitungan *RMS* diimplementasikan melalui formula berikut:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \tag{1}$$

2.6. SVM (Support Vector Machine)

SVM adalah algoritma pembelajaran diawasi yang dapat digunakan untuk klasifikasi dan regresi. Ini mencari *hyperplane* yang maksimal memisahkan berbagai kelas data pelatihan dengan mencari margin terbesar antara *hyperplane* dengan titik data terdekat. Setelah *hyperplane* ditentukan, data baru dapat diklasifikasikan dengan menentukan di sisi mana *hyperplane* jatuh. *SVM* sangat berguna untuk data yang memiliki banyak fitur dan/atau batas pemisahan yang jelas (alokesh985, 2023). Klasifikasi *SVM* sendiri cukup populer dalam penelitian aplikasi kontrol prostetik dikarenakan implementasinya yang sederhana dan mudah pelatihnannya; dan pada penelitian sebelumnya telah terbukti dapat menghasilkan akurasi yang cukup, untuk gangguan *neuromuscular* yang diklasifikasikan pada otot bisep dengan fitur *AM-FM (Amplitude Modulation dan Frequency Modulation)* mendapat akurasi 78%, dan beberapa hasil penelitian lain yang telah disebutkan pada bagan poin *RMS* (Chowdhury, et al., 2013).



Gambar 2.4 Contoh Klasifikasi SVM untuk [A. Data yang dapat dipisahkan secara linear; B. Data yang dapat dipisahkan secara Non-linear]
 Sumber: (alokesh985, 2023).

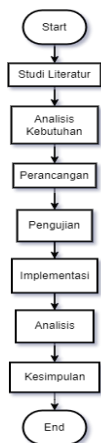
Untuk perhitungan *SVM Score* diimplementasikan dengan formula dibawah ini:

$$SVM\ Score = \sum_{i=1}^k a_i * y_i * K(x_i, x) + b \tag{2}$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada implementasi pengembangan *Wearable Device* untuk mendeteksi kelelahan otot *Biceps* menggunakan metode *Support Vector Machine (SVM)* yang mengandalkan sinyal *EMG*. Penelitian ini

membutuhkan informasi rinci dan landasan teoritis yang kuat dari penelitian sebelumnya. Prosesnya meliputi tinjauan literatur, penilaian kebutuhan, perancangan sistem, pengujian, penerapan, analisis sistem, pengambilan kesimpulan, dan pemberian rekomendasi. Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Penelitian.



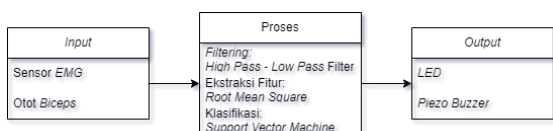
Gambar 3.1 Diagram Alur Pengerjaan Penelitian

Penelitian ini melakukan pengumpulan data dan sampel untuk pengujian di Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang. Metode pengumpulan data melibatkan Myoware Muscle Sensor 2.0 untuk merekam sinyal EMG saat subjek mengangkat barbel 5kg selama 3-5 menit. Analisis meliputi evaluasi akurasi pembacaan sensor, akurasi deteksi kelelahan otot menggunakan SVM dengan fitur Root Mean Square, dan waktu komputasi mikrokontroler.

4. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

4.1. Perancangan Sistem

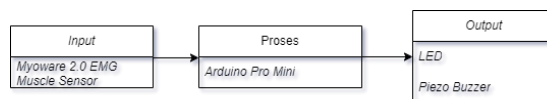
Bab Perancangan Sistem membahas mengenai perancangan Wearable Device untuk mendeteksi Kelelahan Otot Biceps dengan menggunakan metode Support Vector Machine. Bagian ini menguraikan langkah-langkah yang terlibat dalam desain sistem, dimulai dengan pembuatan prototipe, desain perangkat keras, dan pengembangan perangkat lunak. Perancangan sistem ini bertujuan untuk menjamin berfungsinya dan mendeteksi kelelahan otot secara tepat. Gambar 4.1 di bawah menampilkan diagram blok sistem secara lengkap.



Gambar 4.1 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

4.2. Perancangan hardware

Proses desain perangkat keras mencakup pemilihan dan penggabungan bagian fisik yang diperlukan untuk sistem. Para peneliti melakukan analisis terhadap kebutuhan perangkat keras yang mendasari desain ini. Diagram blok pada Gambar 4.2 menggambarkan:



Gambar 4.2 Diagram Blok Hardware

Diagram blok pada gambar 4.2 adalah rancangan hardware dalam penelitian ini. Setelah itu, web *circuito.io* digunakan untuk menggambarkan rangkaian alat yang akan dirancang.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengujian Myoware Muscle Sensor 2.0

Tabel 5.1 tabel pembacaan sensor.

Subjek	Pembacaan Sensor (V)	Pembacaan nilai EMG (Prakash, et al., 2019)	Keterangan
Subjek 1	0.327468 3.944282	< 5V	Sesuai
Subjek 2	0.982405 3.748778	< 5V	Sesuai
Subjek 3	1.045943 3.5826	< 5V	Sesuai
Subjek 4	1.256109 4.750733	< 5V	Sesuai
Subjek 5	0.014663 3.577713	< 5V	Sesuai
Subjek 6	0.239492 4.467253	< 5V	Sesuai
Subjek 7	0.234604 4.359726	< 5V	Sesuai
Subjek 8	1.246334 3.514174	< 5V	Sesuai
Subjek 9	0.933529 3.567937	< 5V	Sesuai
Subjek 10	0.542522 3.504399	< 5V	Sesuai

Pada tabel 5.1 telah dapat terlihat bahwa seluruh subjek menunjukkan hasil yang berada dalam rentang dibawah 5V, sesuai dengan pembacaan nilai EMG menurut hal ini menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor akurat dan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa persentase kesesuaian pembacaan sensor adalah 100%

5.2. Pengujian Akurasi deteksi kelelahan otot dengan Support Vector Machine menggunakan fitur Root Mean Square

Tabel 5.2 tabel akurasi.

Subjek	Waktu	Kondisi Subjek	Kondisi Sistem	Keterangan
Subjek 1	30	Normal	Normal	Sesuai
	60	Normal	Normal	Sesuai
	90	Normal	Normal	Sesuai
	120	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	150	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	180	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	210	Lelah	Lelah	Sesuai
	240	Lelah	Lelah	Sesuai
	270	Lelah	Lelah	Sesuai
	300	Lelah	Lelah	Sesuai
Subjek 2	30	Normal	Normal	Sesuai
	60	Normal	Normal	Sesuai
	90	Normal	Normal	Sesuai
	120	Normal	Normal	Sesuai
	150	Normal	Normal	Sesuai
	180	Lelah	Lelah	Sesuai
	210	Lelah	Lelah	Sesuai
	240	Lelah	Lelah	Sesuai
	270	Lelah	Lelah	Sesuai
	300	Lelah	Lelah	Sesuai
Subjek 3	30	Normal	Normal	Sesuai
	60	Normal	Normal	Sesuai
	90	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	120	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	150	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	180	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	210	Lelah	Lelah	Sesuai
	240	Lelah	Lelah	Sesuai
	270	Lelah	Lelah	Sesuai
	300	Lelah	Lelah	Sesuai
Subjek 4	30	Normal	Normal	Sesuai
	60	Normal	Lelah	Tidak Sesuai
	90	Normal	Normal	Sesuai
	120	Normal	Normal	Sesuai
	150	Normal	Normal	Sesuai
	180	Lelah	Lelah	Sesuai
	210	Lelah	Lelah	Sesuai
	240	Lelah	Lelah	Sesuai
	270	Lelah	Lelah	Sesuai
	300	Lelah	Lelah	Sesuai
Subjek 5	30	Normal	Normal	Sesuai
	60	Normal	Normal	Sesuai
	90	Lelah	Lelah	Sesuai
	120	Lelah	Lelah	Sesuai
	150	Lelah	Lelah	Sesuai
	180	Lelah	Lelah	Sesuai
	210	Lelah	Lelah	Sesuai
	240	Lelah	Lelah	Sesuai
	270	Lelah	Lelah	Sesuai
	300	Lelah	Lelah	Sesuai

Dari tabel 5.2 dapat diperoleh:

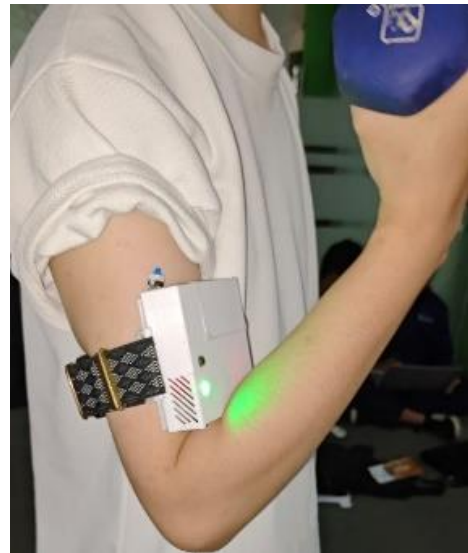
N: 50

True Positives: 8

- Akurasi:

$$Accuracy = \frac{TP}{N} = \frac{42}{50} = 0.84 \text{ or } 84\% \quad (3)$$

Dengan hasil diatas dapat ditunjukkan bahwa klasifikasi handal dengan akurasi 84%



Gambar 5.1 Subjek Normal alat deteksi normal.

5.3. Pengujian waktu komputasi

Tabel 5.3 tabel waktu komputasi.

Subjek	Waktu Komputasi (ms)
Subjek 1	640-660ms
Subjek 2	640-660ms
Subjek 3	640-660ms
Subjek 4	640-660ms
Subjek 5	640-660ms





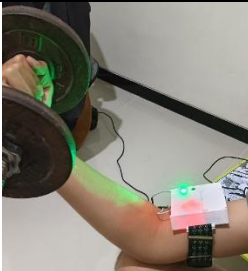
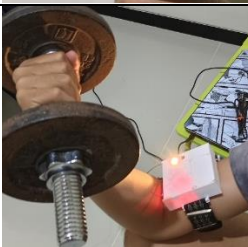



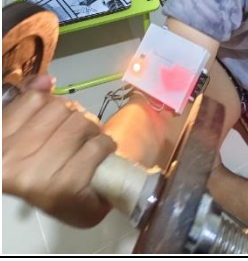
Dari hasil pengujian waktu komputasi pada tabel 5.3, dapat disimpulkan bahwa waktu komputasi untuk subjek berada dalam rentang 640 - 660 ms. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi kelelahan otot dalam waktu kurang dari satu detik, yang cukup cepat untuk aplikasi real-time.

Rata-rata yang didapat untuk tiap subjek sendiri adalah:

$$\frac{640 + 660}{2} = 650ms \quad (4)$$

5.4. Pengujian keseluruhan sistem

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem.

Waktu	Kondisi Subjek & Tampilan Sistem	Keterangan
30		Sesuai (<i>LED</i> Menyala hijau, Buzzer tidak berbunyi)
60		Sesuai (<i>LED</i> Menyala hijau, Buzzer tidak berbunyi)
90		Sesuai (<i>LED</i> Menyala hijau, Buzzer tidak berbunyi)
120		Sesuai (<i>LED</i> Menyala hijau, Buzzer tidak berbunyi)
150		Sesuai (<i>LED</i> Menyala hijau, Buzzer tidak berbunyi)
180		Sesuai (<i>LED</i> Menyala Merah, Buzzer berbunyi)
210		Sesuai (<i>LED</i> Menyala Merah, Buzzer berbunyi)
240		Sesuai (<i>LED</i> Menyala Merah, Buzzer berbunyi)
270		Sesuai (<i>LED</i> Menyala Merah, Buzzer berbunyi)
300		Sesuai (<i>LED</i> Menyala Merah, Buzzer berbunyi)

Pada tabel 5.4 dapat diamati bahwa seluruh sistem berjalan dengan baik dan mencapai 100% sesuai dengan fungsional yang diharapkan. Dalam kondisi otot normal, lampu *LED* menyala hijau dan *Buzzer* senyap sedangkan ketika kondisi lelah *LED* akan menyala merah dan *Buzzer* berbunyi. Ini membuktikan bahwa sistem

mampu mendeteksi kondisi otot dan memberikan respons yang sesuai, seperti desain yang direncanakan.

6. KESIMPULAN

Temuan dari penelitian yang dilakukan di atas menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Myoware Muscle Sensor* mampu membaca aktivitas otot *Biceps* dengan baik. Bukti menunjukkan bahwa data mentah yang dihasilkan dari perekaman sesuai dengan standar dari penelitian sebelumnya, yaitu 0-5V.
2. Akurasi dari ekstraksi fitur *Root Mean Square* dan klasifikasi *Support Vector Machine* mendapatkan hasil yang baik dalam mendeteksi kelelahan otot pada *Biceps brachii*, dengan akurasi sebesar 84%
3. Waktu komputasi dilakukan pada 5 subjek yang berbeda dan membuahkan hasil rata-rata waktu komputasi 650ms.
4. Sistem secara keseluruhan berfungsi dengan baik dalam mendeteksi kelelahan otot pada *Biceps*, dapat terlihat pada bab pengujian sebelumnya.

7. DAFTAR PUSTAKA

- alokesh985, 2023. *geeksforgeeks*. [Online] Available at <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-support-vector-machines-svm/> [Accessed 21 March 2023].
- Chandarana, H. M., 2008. Clinical Laboratory Equipments. In: *Bio-Medical Electronics*. s.l.:Nirali Prakashan, pp. 5-9.
- Chowdhury, R. H. et al., 2013. Surface Electromyography Signal Processing and Classification Techniques. *Sensors*, 13(9), pp. 12431-12466.
- Clinic, C., 2018. *Biceps Tendon Injuries*. [Online] Available at <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/14534-biceps-tendon-injuries>
- Daffa, A. Z., Widasari, E. R. & Syaury, D., 2023. Analisis Perbandingan Metode Ekstraksi Fitur Mean Absolute Value, Root Mean Square, dan Variance untuk Deteksi Kelelahan Otot Biceps Brachii. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, VII(7).
- Elshafei, M. & Shihab, E., 2021. Towards Detecting Biceps Muscle Fatigue in Gym Activity. *Sensors*, pp. 1-18.
- Isravel, D. P., Arulkumar, D., Raimond, K. & Issac, B., 2020. Chapter 4 - A novel framework for quality care in assisting chronically impaired patients with ubiquitous computing and ambient intelligence technologies. *Systems Simulation and Modeling for Cloud Computing and Big Data Applications*, pp. 61-79.
- Patient, R. M., 2017. *rehabmypatient*. [Online] Available at <https://www.rehabmypatient.com/shoulder/biceps-tendon-tear-at-the-shoulder>
- Seneviratne, S. et al., 2017. A Survey of Wearable Devices and Challenges. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, pp. 2573-2620.
- Tepe, C. & Demir, M. C., 2022. Real-Time Classification of EMG Myo Armband Data Using Support Vector Machine. *IRBM*, pp. 300-308.
- Wan, J.-j. et al., 2017. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, pp. 1-8.
- Wang, S., Tang, H., Wang, B. & Mo, J., 2021. Analysis of fatigue in the biceps brachii by using rapid refined composite multiscale sample entropy. *Biomedical Signal Processing and Control*, pp. 1-9.
- Widasari, E. R., Miyauchi, R., Tamura, H. & Tanno, K., 2015. A Wireless Surface Electromyogram Monitoring System Using Smartphone and Its Application to Maintain Biceps Muscle. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 2378-2383.
- Ye, S., Zhang, Y. & Yu, P., 2019. Applications of titanium in the electronic industry. *Titanium for Consumer Applications*, pp. 269-278.
- Yousif, H. A. et al., 2019. Assessment of Muscles Fatigue Based on Surface EMG Signals Using Machine Learning and Statistical Approaches. *Materials Science and Engineering*, pp. 1-9.