

## Analisis Perbandingan Metode Ekstraksi Fitur *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance* untuk Deteksi Kelelahan Otot *Biceps Brachii*

Ali Zhafran Daffa<sup>1</sup>, Edita Rosana Widasari<sup>2</sup>, Dahnia Syauqy<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>alizhafran@student.ub.ac.id, <sup>2</sup>editarosanaw@ub.ac.id, <sup>3</sup>dahnial87@ub.ac.id

### Abstrak

Otot berperan penting dalam berbagai aktivitas manusia seperti bekerja, berolahraga, belajar, bahkan saat tidur. Namun, olahraga berlebihan pada otot *biceps brachii* bisa menyebabkan kelelahan, cedera, bahkan kerusakan otot. Untuk deteksi kelelahan otot, peneliti menggunakan *electromyography* (EMG) dengan ekstraksi fitur *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance*. Lalu menganalisisnya menggunakan metode T-Test untuk membandingkan hasil dari ketiga ekstraksi fitur. Ketiga fitur ini berhasil deteksi kelelahan otot dengan baik. *Mean Absolute Value* memiliki T-Hitung 4,941687744 > T-Tabel 1,671552762, dan P-Value 0,0000035 < 0,05. *Root Mean Square* memiliki T-Hitung 4,839272502 > T-Tabel 1,671552762, dan P-Value 0,0000050 < 0,05. Lalu *Variance* memiliki T-Hitung 4,137935321 > T-Tabel 1,671552762, dan P-Value 0,0000574 < 0,05. Ketiganya memenuhi standar uji hipotesis yaitu T-Hitung > T-Tabel, dan P-Value < 0,05. Sehingga membuktikan adanya perbedaan nilai yang signifikan antara nilai waktu normal dengan waktu lelah. Sementara itu untuk waktu komputasi dan penggunaan memori paling baik adalah *Root Mean Square* dengan waktu komputasi 0,452 s dan penggunaan memori sebanyak 2477 MB.

**Kata kunci:** *Biceps Brachii*, Kelelahan Otot, *Electromyography*, T-Test, *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, *Variance*

### Abstract

*Muscles play a crucial role in various human activities, such as working, exercising, learning, and even during sleep. However, excessive exercise on the biceps brachii muscles can lead to fatigue, injuries, and even muscle damage. To detect muscle fatigue, researchers use electromyography (EMG) with feature extraction of Mean Absolute Value, Root Mean Square, and Variance. Then, they analyze these features using the T-Test method to compare the results of the three extractions. All three features effectively detect muscle fatigue. Mean Absolute Value has a T-Value of 4,941687744 > T-Table 1,671552762, and P-Value of 0,0000035 < 0,05. Root Mean Square has a T-Value of 4,839272502 > T-Table 1,671552762, and P-Value of 0,0000050 < 0,05. Then Variance has a T-Value of 4,137935321 > T-Table 1,671552762, and P-Value of 0,0000574 < 0,05. All three meet the hypothesis testing standards, where T-Value > T-Table, and P-Value < 0,05. Indicating a significant difference between normal and fatigued time values. Meanwhile, for computation time and memory usage, Root Mean Square performs the best with a computation time of 0,452 s and memory usage of 2477 MB.*

**Keywords:** *Biceps Brachii*, *Muscle Fatigue*, *Electromyography*, T-Test, *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, *Variance*

## 1. PENDAHULUAN

Otot merupakan bagian tubuh manusia yang memiliki peran penting dalam sistem pergerakan. Sistem gerak otot terjadi ketika adanya kontraksi dan relaksasi otot. Kontraksi otot dimulai oleh impuls saraf dan terjadi pada daerah sinapsis, tempat pertemuan antara saraf

dan serat otot yang mengandung asetilkolin. Setelah mengalami kontraksi, otot akan mengalami relaksasi, dan proses ini terjadi secara berulang. Fungsi otot sangat penting dalam berbagai aktivitas manusia, seperti bekerja, berolahraga, belajar, dan bahkan saat tidur, karena otot bekerja dalam semua kegiatan tersebut. Semakin berat aktivitas yang dilakukan, semakin besar pula kekuatan otot

yang diperlukan. Namun, penggunaan otot secara berlebihan dapat menyebabkan beberapa masalah kesehatan, termasuk kelelahan otot (Raharjo, et al., 2020).

Kelelahan otot merujuk pada kondisi dimana kemampuan otot untuk menghasilkan kekuatan menurun. Keadaan ini dapat terjadi karena latihan yang terlalu berat, namun kelelahan yang tidak normal juga dapat disebabkan oleh pembatasan atau gangguan dalam berbagai tahap kontraksi otot (Yuliansyah, 2017). Melakukan olahraga yang berlebihan pada otot *biceps brachii* dapat mengakibatkan kelelahan otot pada area tersebut, yang berpotensi menyebabkan cedera dan kerusakan otot. Jenis cedera otot yang mungkin terjadi akibat latihan *biceps brachii* yang berlebihan termasuk peregangan otot, robekan otot, atau bahkan cedera otot yang lebih serius (Nesterenko, et al., 2010). Latihan *biceps brachii* yang terlalu intensif dan berulang-ulang juga dapat menyebabkan kelelahan otot kronis, yang ditandai dengan rasa sakit dan ketidaknyamanan yang berlangsung secara berkelanjutan pada otot tersebut. Kelelahan otot kronis ini dapat menimbulkan masalah jangka panjang bagi kesehatan dan kinerja olahraga (Wohlfahrt, et al., 2013).

Identifikasi gejala kelelahan otot dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah perangkat yang disebut *electromyography* (EMG). EMG adalah metode yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik pada otot. Sinyal EMG digunakan untuk mempelajari respons otot terhadap stimulasi saraf saat otot sedang melakukan kontraksi atau relaksasi (Mustiadi, 2017).

Ada beberapa cara untuk mengambil fitur-fitur dari sinyal tersebut. Beberapa domain yang umum digunakan adalah domain waktu, domain frekuensi, dan domain waktu-frekuensi (Winarno, 2015). Namun, dalam klasifikasi sinyal EMG, fitur-fitur yang sering digunakan terletak didomain waktu. Alasannya adalah fitur-fitur ini lebih cepat dihitung karena tidak memerlukan transformasi matematis yang kompleks (Ramirez, 2011). Oleh karena itu, peneliti memilih tiga ekstraksi fitur pada domain waktu untuk dibandingkan mana yang paling terbaik diantara *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance* dalam rangka mengetahui tingkat keberhasilan fitur-fitur domain waktu yang digunakan untuk mendeteksi kelelahan otot pada *biceps brachii*.

*Metode Mean Absolute Value, Root Mean*

*Square*, dan *Variance* biasanya digunakan untuk proses preprocessing pada ekstraksi ciri (feature extraction). Metode ini diperlukan untuk mendapatkan parameter ciri sinyal *electromyograph* berdasarkan domain waktu. Dengan memanfaatkan metode *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance* nantinya peneliti dapat mengetahui tingkat kelelahan otot.

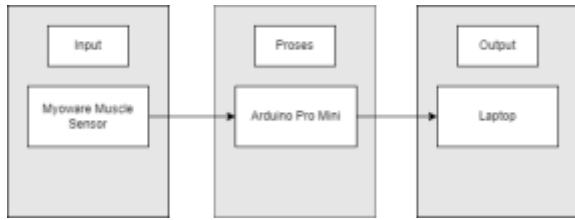
Pada penelitian ini peneliti menggunakan Uji *Independent Sample T-Test* untuk menganalisis perbedaan yang signifikan ketika olahraga angkat beban menggunakan barbel seberat 5 kg dalam waktu 3 menit antara waktu normal dengan waktu lelah. Uji ini akan menentukan tingkat signifikansi dan perbedaan rata-rata antara kedua kelompok. Selanjutnya, tujuan dari tes ini juga untuk mengetahui sejauh mana satu variabel yang *independen* mempengaruhi satu atau lebih variabel yang *dependen* (Masruddin, et al., 2023).

Keberhasilan tingkat akurasi dalam mendeteksi kelelahan otot ini tergantung pada pilihan ekstraksi fiturnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini sinyal EMG dari otot *biceps brachii* yang diteliti akan diproses menggunakan ekstraksi fitur *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance* untuk mengetahui tingkat kelelahan dari otot yang diuji. Dari hasil kelelahan otot tersebut nantinya akan dibandingkan ekstraksi fitur mana yang lebih baik dalam mendeteksi kelelahan pada otot pada *biceps brachii*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Perancangan Sistem

Sistem yang akan dibuat adalah perbandingan ekstraksi fitur MAV, RMS, dan VAR pada pemrosesan sinyal EMG untuk mendeteksi kelelahan otot *biceps brachii*. Masukan dari sistem ini adalah sinyal EMG yang direkam oleh suatu alat yaitu *Myoware Muscle Sensor* dengan cara meletakkan elektroda yang tersambung pada sensor ke *biceps brachii*. Lalu diproses oleh Arduino Pro Mini dan dikirimkan hasilnya ke laptop. Hasil data dari perekaman kemudian diolah dalam format excel kemudian siap untuk diproses. Hasil perekaman akan dilakukan ekstraksi fitur pada aplikasi matlab. Hasil dari proses ekstraksi fitur kemudian ditampilkan pada command window matlab.



Gambar 1. Blok Diagram Perangkat Keras

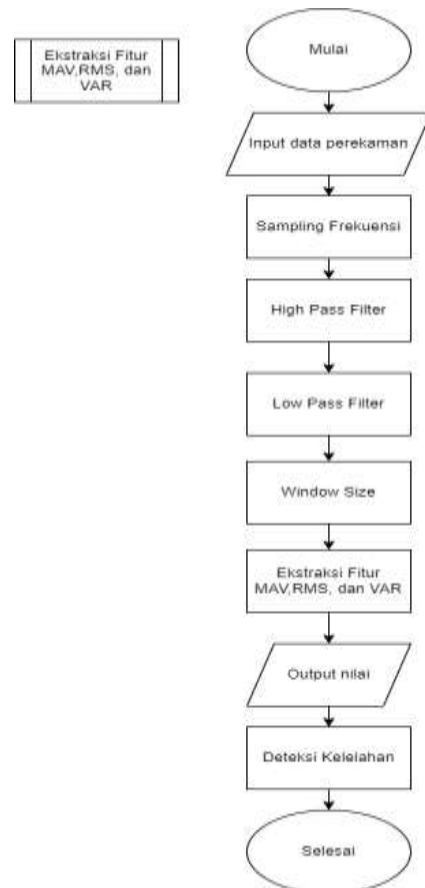
Pada Gambar 1 merupakan Blok Diagram Perangkat Keras. Pada penelitian ini perangkat keras hanya digunakan untuk pengambilan dan perekaman data saja. Proses awal pada diagram blok ini diawali oleh input *Myoware Muscle Sensor* yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal *electromyography* yang dihubungkan dengan *Arduino Pro Mini*. Setelah sensor terhubung dengan *Arduino Pro Mini*, dilanjutkan dengan tahapan proses, dengan melakukan pemrograman menggunakan *arduino ide* untuk membaca sinyal EMG. Pada tahapan ini *Arduino* diberikan daya dengan menggunakan *laptop* yang tersambung dengan kabel *usb* dan juga melakukan perekaman sinyal. Hasil dari perekaman sinyal akan memiliki output yang menampilkan gelombang sinyal beserta data sinyal raw yang nantinya diubah menjadi data *comma separated values*.



Gambar 2. Flowchart Deteksi Kelelahan Otot

Pada Gambar 2 menjelaskan alur dari

mendeteksi kelelahan otot yang diawali dari pembacaan sinyal otot oleh *Myoware Muscle Sensor* yang menampilkan sinyal raw EMG, dimana 10 subjek berjenis kelamin laki-laki dengan rentang usia umur 20-22 tahun. Lalu sinyal diproses dan direkam pada time domain, setelah data sinyal didapatkan lalu dilakukan ekstraksi fitur menggunakan *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance*. Pada proses masing-masing ekstraksi fitur ini sinyal Setelah itu dibandingkan diantara ketiga ekstraksi fitur tersebut untuk mendeteksi kelelahan otot pada *biceps brachii*.



Gambar 3. Flowchart Ekstraksi Fitur MAV,RMS, dan VAR

Pada gambar 3 menjelaskan Proses ekstraksi fitur sinyal menggunakan MAV,RMS, dan VAR. Pertama, input data sinyal dimasukkan. Kemudian memasukkan nilai frekuensi sampling, high pass filter, dan low pass filter untuk menghilangkan noise. Setelah itu data sebanyak 30000 size dipotong per 5000 size sehingga menjadi 6 bagian. Setelah menjadi 6 bagian, dilakukan ekstraksi fitur dengan metode MAV,RMS, dan VAR.. Kemudian hasil dari pemrosesan ini mengeluarkan output yang akan menampilkan nilai amplitudo per 5000 size. Setelah output menampilkan informasi terkait

nilai-nilai pada sinyal, maka bisa diketahui waktu lelah pada otot *biceps brachii*.

**2.2. Implementasi Sistem**

Selanjutnya adalah tahap implementasi. Yang mana akan menjelaskan bagaimana perangkat keras dan pengambilan data ditunjukkan. Berikut adalah implementasi yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Pemakaian Myoware Muscle Sensor

Tahapan pertama tempelkan elektroda pada Myoware Muscle Sensor pada bagian *biceps brachii* subjek. Setelah itu subjek akan diminta mengangkat barbel dengan berat 5 kg dan melakukan kontraksi otot selama 3 menit. Selanjutnya, sinyal otot subjek akan direkam untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 5. Perekaman Sinyal Otot Biceps Brachii

**3. PENGUJIAN DAN ANALISIS**

**3.1. Pengujian Myoware Muscle Sensor**

Pengujian ini diperlukan untuk melihat seberapa baik Myoware Muscle Sensor dalam membaca sinyal dari aktivitas kelistrikan pada otot atau EMG. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Myoware Muscle Sensor

Subjek	Pembacaan Myoware Muscle Sensor	Pembacaan nilai EMG ( Rizky Multaja	Keterangan
--------	---------------------------------	-------------------------------------	------------

(mV)  
(amplitude) m et al. 2016)

Subjek 1	1,080156403-3,924731183	< 10 mV	sesuai
Subjek 2	1,00684262-4,467253177	< 10 mV	sesuai
Subjek 3	0,982404692-3,509286413	< 10 mV	sesuai
Subjek 4	1,045943304-3,582600196	< 10 mV	sesuai
Subjek 5	0,982404692-3,748778104	< 10 mV	sesuai
Subjek 6	1,353861193-3,944281525	< 10 mV	sesuai
Subjek 7	1,10459433-3,57771261	< 10 mV	sesuai
Subjek 8	1,197458456-4,359726295	< 10 mV	sesuai
Subjek 9	1,295210166-3,753665689	< 10 mV	sesuai
Subjek 10	1,56402737-3,504398827	< 10 mV	sesuai

Dari hasil data pengujian Myoware Muscle Sensor, bisa dilihat bahwa sensor dapat berfungsi dengan baik dan semestinya. Terbukti dari 10 subjek yang diuji , semuanya sesuai dengan nilai standar yang ada pada jurnal Rizky Multajam et.al. pada tahun 2016.

**3.2. Pengujian Ekstraksi Fitur MAV,RMS, dan VAR**

Pengujian ini akan mengetahui pada detik berapa subjek mulai merasakan kelelahan otot pada *biceps brachii*

Waktu (s)	Mean Absolute Value (MAV)									
	subjek 1	subjek 2	subjek 3	subjek 4	subjek 5	subjek 6	subjek 7	subjek 8	subjek 9	subjek 10
30	0.552	0.670	0.519	0.572	0.167	0.597	0.707	0.525	0.172	0.651
60	0.294	0.202	0.196	0.199	0.127	0.234	0.254	0.217	0.157	0.203
90	0.147	0.135	0.152	0.146	0.134	0.170	0.132	0.112	0.150	0.141
120	0.148	0.108	0.136	0.133	0.153	0.168	0.109	0.065	0.157	0.130
150	0.090	0.107	0.123	0.120	0.153	0.156	0.131	0.118	0.164	0.124
180	0.157	0.112	0.144	0.150	0.149	0.159	0.145	0.109	0.145	0.135
Waktu Lelah (s)	60	90	90	120	150	120	90	90	150	90

Gambar 6. Nilai Kelelahan Otot MAV

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Gambar 6 saat otot belum mengalami kelelahan amplitudanya lebih besar dari pada saat otot mengalami kelelahan , waktu lelah pada setiap subjek berbeda-beda. Subjek 1 mengalami kelelahan pada detik 60, subjek 2,3,7,8, dan 10

mengalami kelelahan pada detik 90, subjek 4 dan 6 mengalami kelelahan pada detik 120, subjek 5 dan 9 mengalami kelelahan pada detik 150.

Root Mean Square (RMS)										
Waktu (s)	subjek 1	subjek 2	subjek 3	subjek 4	subjek 5	subjek 6	subjek 7	subjek 8	subjek 9	subjek 10
30	0.711	0.840	0.672	0.732	0.220	0.762	0.997	0.675	0.214	0.832
60	0.242	0.241	0.239	0.245	0.160	0.276	0.308	0.268	0.197	0.253
90	0.182	0.144	0.189	0.180	0.168	0.210	0.263	0.170	0.197	0.174
120	0.187	0.135	0.169	0.167	0.191	0.208	0.136	0.185	0.197	0.163
150	0.185	0.133	0.155	0.158	0.192	0.196	0.163	0.148	0.204	0.156
180	0.196	0.139	0.183	0.194	0.189	0.198	0.182	0.240	0.199	0.167
Waktu Lelah (s)	60	90	90	120	150	120	90	90	150	90

Gambar 7. Nilai Kelelahan Otot RMS

Berdasarkan Gambar 7. Subjek 1 mengalami kelelahan pada detik 60, subjek 2,3,7,8, dan 10 mengalami kelelahan pada detik 90, subjek 4 dan 6 mengalami kelelahan pada detik 120, subjek 5 dan 9 mengalami kelelahan pada detik 150.

Variance (VAR)										
Waktu (s)	subjek 1	subjek 2	subjek 3	subjek 4	subjek 5	subjek 6	subjek 7	subjek 8	subjek 9	subjek 10
30	0.504	0.726	0.449	0.533	0.048	0.579	0.990	0.453	0.046	0.689
60	0.058	0.058	0.057	0.060	0.025	0.076	0.095	0.072	0.039	0.064
90	0.033	0.021	0.036	0.032	0.028	0.044	0.028	0.029	0.039	0.030
120	0.035	0.028	0.029	0.028	0.036	0.043	0.019	0.011	0.039	0.026
150	0.034	0.028	0.024	0.025	0.037	0.038	0.027	0.022	0.042	0.024
180	0.039	0.029	0.034	0.038	0.036	0.039	0.033	0.058	0.040	0.028
Waktu Lelah (s)	60	90	90	120	150	120	90	90	150	90

Gambar 8. Nilai Kelelahan Otot VAR

Berdasarkan Gambar 8. Subjek 1 mengalami kelelahan pada detik 60, subjek 2,3,7,8, dan 10 mengalami kelelahan pada detik 90, subjek 4 dan 6 mengalami kelelahan pada detik 120, subjek 5 dan 9 mengalami kelelahan pada detik 150.

### 3.3. Pengujian Hipotesis Ekstraksi Fitur MAV, RMS, dan VAR

Tabel 2. Dasar Keputusan Hipotesis

Dasar Pengambilan Keputusan

H0 = Tidak ada penurunan sinyal *electromyography* yang signifikan pada otot *biceps brachii* ketika angkat beban 5 kg selama 3 menit

H1 = Terdapat penurunan sinyal *electromyography* yang signifikan pada otot *Biceps Brachii* ketika angkat beban 5 kg selama 3 menit

Pada pengujian hipotesis ini menggunakan Metode T-Test. Berdasarkan tabel yang ditunjukkan pada Tabel 2. Menjelaskan dasar pengambilan keputusan hipotesis pada pengujian ini bahwa H0 tidak ada penurunan sinyal EMG pada otot *biceps brachii* ketika angkat beban 5 kg selama 3 menit sedangkan H1 Terdapat penurunan sinyal EMG pada otot *biceps brachii* ketika angkat beban 5 kg selama 3 menit.

Dalam pengujian, hipotesis H0 ditolak apabila T-hitung lebih besar dibandingkan dengan T-Tabel, dan H0 diterima apabila T-Hitung lebih kecil dari T-Tabel, kemudian hipotesis H1 diterima apabila T-hitung lebih besar dibandingkan dengan T-Tabel, dan H1 ditolak apabila T-hitung lebih kecil dibandingkan T-Tabel.

Selain menghitung T-Tabel dan T-Hitung, untuk memastikan agar ekstraksi fitur mempunyai perbedaan yang signifikan antara waktu normal dan waktu lelah adalah dengan cara menghitung P-Value.

Dalam pengujian hipotesis H0 ditolak apabila P-Value lebih kecil dibandingkan 0,05, dan H0 diterima apabila P-Value lebih besar dari 0,05, kemudian hipotesis H1 diterima apabila P-Value lebih kecil dibandingkan 0,05, dan H1 ditolak apabila P-Value lebih besar dibandingkan 0,05.

Tabel 3. Keseluruhan Hasil Analisis

Ekstra ksi Fitur	Alp ha	P- Value	T- Hitung	T Tabel
MAV	0,0	0,0000	4,94168	1,67155
	5	035	7744	2762
RMS	0,0	0,0000	4,83927	1,67155
	5	050	2502	2762
VAR	0,0	0,0000	4,13793	1,67155
	5	574	5321	2762

Dapat dilihat pada Tabel tersebut hasil dari penjujian analisis ekstraksi fitur *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance* adalah

ketiganya sama-sama baik digunakan dalam mendeteksi kelelahan otot pada *biceps brachii*. Hal ini dikarenakan ketiga ekstraksi fitur tersebut mempunyai perbedaan yang signifikan antara waktu normal dan waktu lelah. Dapat dilihat pada Tabel 3. bahwa ketiga fitur mempunyai T-Hitung yang lebih besar dibandingkan dengan T-Tabel, begitupun dengan P-Value, ketiganya mempunyai P-Value yang lebih kecil dibandingkan nilai alpha yaitu 0,05.

**3.4. Pengujian Waktu Komputasi**

Waktu komputasi adalah durasi waktu yang dibutuhkan alat untuk mengerjakan perintah mulai dari proses mendapatkan nilai masukan hingga memproses dan mendapatkan keluaran.

Tabel 4. Pengujian Waktu Komputasi

Pengujian Waktu Komputasi			
Subjek	MAV	RMS	VAR
Subjek 1	0,485 s	0,441 s	0,431 s
Subjek 2	0,487 s	0,462 s	0,491 s
Subjek 3	0,492 s	0,442 s	0,464 s
Subjek 4	0,493 s	0,465 s	0,440 s
Subjek 5	0,496 s	0,476 s	0,452 s
Subjek 6	0,457 s	0,429 s	0,463 s
Subjek 7	0,526 s	0,470 s	0,466 s
Subjek 8	0,478 s	0,465 s	0,442 s
Subjek 9	0,475 s	0,426 s	0,534 s
Subjek 10	0,469 s	0,444 s	0,499 s
Rata-rata	0,486 s	0,452 s	0,468 s

Berdasarkan pengukuran waktu komputasi yang dilakukan pada program untuk proses ekstraksi fitur pada sinyal EMG, diperoleh hasil berikut dalam tabel diatas. Metode ekstraksi fitur *Root Mean Square* memiliki waktu komputasi paling cepat, dengan rata-rata waktu sekitar 0,452 detik. Sementara itu metode *Variance* membutuhkan waktu sekitar 0,468 detik, dan metode *Mean Absolute Value* membutuhkan waktu sekitar 0,486 detik.

**3.5. Pengujian Penggunaan Memori Sistem**

Tabel 5. Pengujian Penggunaan Memori Sistem

Pengujian Penggunaan Memori Sistem

Subjek	MAV	RMS	VAR
Subjek 1	2506	2480	2489
Subjek 2	2505	2480	2487
Subjek 3	2506	2479	2498
Subjek 4	2504	2478	2497
Subjek 5	2504	2477	2485
Subjek 6	2501	2476	2484
Subjek 7	2501	2476	2484
Subjek 8	2499	2476	2482
Subjek 9	2499	2475	2483
Subjek 10	2500	2473	2490
Rata-rata	2502,5	2477	2487,9

Berdasarkan pengukuran penggunaan memori yang dilakukan pada program untuk proses ekstraksi fitur pada sinyal EMG, diperoleh hasil berikut dalam tabel diatas. Metode ekstraksi fitur *Root Mean Square* memiliki penggunaan memori paling sedikit, dengan rata-rata penggunaan memori sebesar 2477 MB. Sementara itu ekstraksi fitur *Variance* membutuhkan penggunaan memori sebesar 2487,9 MB, dan metode *Mean Absolute Value* membutuhkan penggunaan memori sebesar 2502,5 MB.

**4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa *Myoware Muscle Sensor* dapat merekam sinyal *electromyography* dengan baik. Bukti menunjukkan bahwa amplitudo data yang dikirim dari hasil perekaman sudah sesuai dengan standar yang berlaku. Selanjutnya Proses Ekstraksi fitur yang dilakukan pada suatu gelombang sinyal *electromyography* menggunakan 3 fitur yaitu *Mean Absolute Value*, *Root Mean Square*, dan *Variance*. Hasilnya adalah ketiga fitur ini dapat melakukan deteksi kelelahan otot *biceps brachii* dengan baik. Dimana *Mean Absolute Value* mempunyai T-Hitung 4,941687744 > T-Tabel 1,671552762, dan P-Value 0,0000035 < 0,05. Selanjutnya *Root Mean Square* mempunyai nilai T-Hitung 4,839272502 > T-Tabel 1,671552762, dan P-Value 0,0000050 < 0,05. Lalu *Variance* juga mempunyai nilai T-Hitung 4,137935321 > T-Tabel 1,671552762, dan P-Value 0,0000574 < 0,05. Ketiga fitur ini dapat melakukan proses ekstraksi fitur dengan baik dikarenakan ketiga ekstraksi fitur memenuhi standar uji hipotesis

yaitu  $T\text{-Hitung} > T\text{-Tabel}$ , dan  $P\text{-Value} < 0,05$ . Sehingga membuktikan adanya perbedaan nilai yang signifikan antara nilai waktu normal dengan waktu lelah. Setelah itu pengujian waktu komputasi dilakukan 10 kali untuk setiap metode ekstraksi fitur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ekstraksi fitur *Root Mean Square* memiliki waktu komputasi terbaik dengan waktu 0,452 s. Sementara itu, ekstraksi fitur *Variance* membutuhkan waktu 0,468 s, dan ekstraksi fitur *Mean Absolute Value* membutuhkan waktu komputasi sebesar 0,486 s. Kemudian pengujian penggunaan memori sistem juga dilakukan 10 kali untuk setiap metode ekstraksi fitur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ekstraksi fitur *Root Mean Square* menggunakan memori paling sedikit memori diantara ketiga ekstraksi fitur lainnya, dengan rata-rata penggunaan memori sebesar 2477 MB. Sementara itu, ekstraksi fitur *Variance* menempati posisi kedua dengan penggunaan rata-rata memori sebesar 2487,9 MB. Lalu ekstraksi fitur *Mean Absolute Value* menempati posisi akhir dengan penggunaan rata-rata memori sebesar 2502,5 MB.

Saran dari penelitian ini adalah Pengembangan selanjutnya diharapkan mampu membuat sebuah alat dan melakukan klasifikasi untuk mendeteksi kelelahan otot pada *biceps brachii* sehingga dapat diketahui performa realtime masing masing ekstraksi fitur. Juga dapat menemukan ekstraksi fitur yang performanya jauh lebih baik daripada ekstraksi fitur yang sudah diteliti sebelumnya.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Masruddin, Kahar, I. & Suarja, S., 2023. Latihan Resistance Band Dan Skipping : Pengaruh Terhadap Peningkatan Kemampuan Shooting Sepak Bola Persema. Jurnal Pendidikan Olahraga, 12(1), pp. 134-150.
- Mustiadi, I., 2017. Klasifikasi Sinyal EMG Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Dan Discrete Wavelet Transform. Teknoin, 23(3), pp. 223-240.
- Nesterenko, S., Domire, Z. J., Morrey, B. F. & Sotelo, J. S., 2010. Elbow strength and endurance in patients with a ruptured distal biceps tendon. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 19(2), pp. 184-189.
- R Raharjo, A. B., Fatukhurrozi, B. & Asnawi, I., 2020. Analisis Sinyal Electromyography (EMG) Pada Otot Biceps Brachii Untuk Mendeteksi Kelelahan Otot Dengan Metode Median Frekuensi. 1(1), pp. 1-5.
- Ramirez, E. J., 2011. Stages for Developing Control Systems using EMG and EEG Signals : A survey. Computer Science and Electronic Engineering, p. 33.
- Winarno, H. A., 2015. Ektrasi Fitur EMG Menggunakan Metode MPF Sebagai Alat Uji Keergonomisan Desain Tas Punggung. Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains, pp. 85-88.
- Wohlfahrt, W. M. et al., 2013. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. British Journal of Sports Medicine, 47(6), pp. 342-250.
- Yuliansyah, D., 2017. Deteksi Kelelahan Otot Menggunakan Sinyal Emg Dan Detektor Gaya Pada Gerak Dasar Ekstensi Dan Fleksi Knee-Joint Untuk Evaluasi Penggunaan Functional Electrical Stimulation Pada Sistem Rehabilitasi Lower Limb. Sepuluh Nopember Institute of Technology.