

**DETEKSI DAN ANALISIS SINYAL ELEKTROMIOGRAFI UNTUK
MENGUKUR KONTRAKSI DAN KELELAHAN OTOT
LENGAN MANUSIA MENGGUNAKAN METODE
*FAST FOURIER TRANSFORM***

(Skripsi)

Oleh

Melinda Arum Puspita Dewi

1917041069



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

DETEKSI DAN ANALISIS SINYAL ELEKTROMIOGRAFI UNTUK MENGUKUR KONTRAKSI DAN KELELAHAN OTOT LENGAN MANUSIA MENGGUNAKAN METODE *FAST FOURIER TRANSFORM*

Oleh

MELINDA ARUM PUSPITA DEWI

Elektromiografi (EMG) merupakan metode untuk mengamati aktivitas listrik otot selama kontraksi, yang banyak digunakan dalam olahraga untuk memantau kekuatan otot dan mencegah cedera. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem berbasis *Muscle Sensor V3* dan Arduino Uno untuk mendeteksi, merekam, dan menganalisis sinyal EMG menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Sistem ini dilengkapi *Graphical User Interface* (GUI) berbasis Python untuk visualisasi sinyal secara *real-time*. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras yaitu *Muscle Sensor V3*, elektroda, baterai 9 V dan Arduino Uno serta pengembangan perangkat lunak untuk analisis sinyal. Pengujian dilakukan pada tiga posisi tangan (lurus, menekuk, dan menggenggam) dengan tegangan masing-masing sebesar 0,04 V, 0,06 V, dan 0,08 V. Selain itu, pengujian pada 10 subjek menunjukkan peningkatan tegangan setelah aktivitas fisik dari rentang 0,19–2,05 V menjadi 0,23–2,7 V. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi aktivitas otot dan mengidentifikasi kelelahan otot berdasarkan pola frekuensi sinyal dengan akurasi yang baik. Sistem ini efektif untuk mendukung program latihan dan rehabilitasi atlet, meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi otot, serta membantu pengambilan keputusan untuk mencegah cedera.

Kata kunci: Arduino Uno, Elektromiografi (EMG), *Fast Fourier Transform* (FFT), Kelelahan Otot dan *Muscle Sensor V3*.

ABSTRACT

ELECTROMYOGRAPHY SIGNAL DETECTION AND ANALYSIS TO MEASURE HUMAN ARM MUSCLE CONTRACTION AND FATIGUE USING FAST FOURIER TRANSFORM METHOD

By

MELINDA ARUM PUSPITA DEWI

Electromyography (EMG) is a method of observing the electrical activity of muscles during contraction, which is widely used in sports to monitor muscle strength and prevent injury. This research aims to develop a system based on Muscle Sensor V3 and Arduino Uno to detect, record, and analyze EMG signals using Fast Fourier Transform (FFT). The system is equipped with a Python-based Graphical User Interface (GUI) for real-time signal visualization. The research method includes hardware design namely Muscle Sensor V3, electrodes, 9V battery and Arduino Uno and software development for signal analysis. Tests were conducted in three hand positions (straight, bending, and grasping) with voltages of 0,04 V, 0,06 V, and 0,08 V, respectively. In addition, testing on 10 subjects showed an increase in voltage after physical activity from a range of 0,19 - 2,05 V to 0,23 - 2,7 V. The results show that the system is able to detect muscle activity and identify muscle fatigue based on signal frequency patterns with good accuracy. The system is effective for supporting athletes' training and rehabilitation programs, improving the efficiency of muscle condition monitoring, and assisting decision-making to prevent injuries.

Keyword: *Arduino Uno, Electromyography (EMG), Fast Fourier Transform (FFT), Muscle Fatigue and Muscle Sensor V3.*

**DETEKSI DAN ANALISIS SINYAL ELEKTROMIOGRAFI UNTUK
MENGUKUR KONTRAKSI DAN KELELAHAN OTOT
LENGAN MANUSIA MENGGUNAKAN METODE
*FAST FOURIER TRANSFORM***

Oleh

MELINDA ARUM PUSPITA DEWI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : **DETEKSI DAN ANALISIS SINYAL
ELEKTROMIOGRAFI UNTUK
MENGUKUR KONTRAKSI DAN
KELELAHAN OTOT LENGAN MANUSIA
MENGUNAKAN METODE *FAST
FOURIER TRANSFORM***


Nama Mahasiswa : **Melinda Arum Puspita Dewi**

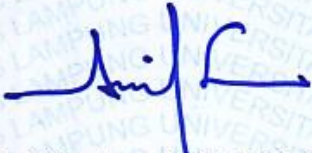
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041069

Jurusan : Fisika


Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

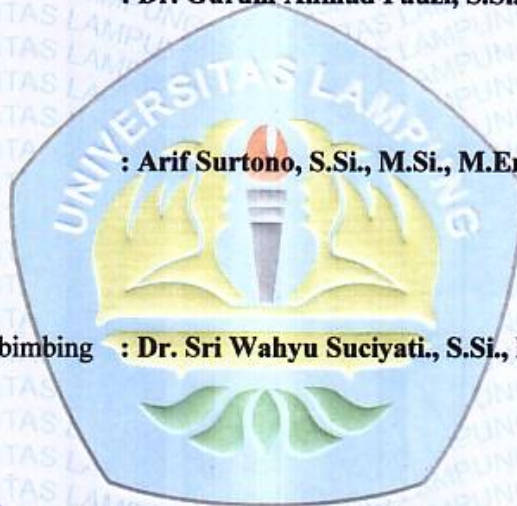
Ketua : **Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



Sekretaris : **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Sri Wahyu Suciwati., S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 07 Januari 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 Januari 2025



Melinda Arum Puspita Dewi
NPM. 1917041069

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 20 Mei 2001 sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Suharman dan Ibu Supiyah. Penulis memulai Pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Perumnas Way Kandis tahun 2007-2013 kemudian melanjutkan Pendidikan sekolah menengah pertama di MTs N 2 Bandar Lampung tahun 2013-2016. Penulis melanjutkan Pendidikan sekolah menengah atas di SMA IT Miftahul Jannah Boarding School Bandar Lampung tahun 2016-2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) tahun 2019.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pengurus organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) bidang dana dan usaha pada tahun 2019-2021. Selain itu, penulis aktif dalam kepanitian kegiatan himafi dan mengikuti organisasi Rohani Islam (Rois) pada tahun 2019-2020. Penulis menempuh kegiatan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Dinas Bina Marga dan Bina Konstruksi Provinsi Lampung dan menulis laporan yang berjudul “Pemetaan Ruas Jalan Usulan Rencana Dana Alokasi Khusus Dinas Bina Marga dan Bina Konstruksi Provinsi Lampung Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode II tahun 2022 di Desa Pelindung Jaya Kelurahan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur. Penulis menyelesaikan penelitian skripsi di

Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika dengan judul **“Deteksi dan Analisis Sinyal Elektromiografi untuk Mengukur Kontraksi dan Kelelahan Otot Lengan Manusia menggunakan Metode *Fast Fourier Transform*”** di bawah bimbingan Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi S.Si., M.T., dan Bapak Arif Surtono S.Si., M.Si., M.Eng.

MOTTO

“Always do the best in all conditions”

Melinda

“...dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah...”

QS. 40:41

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu.”

Umar bin Khattab

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucapkan Alhamdulillahirabbil'alamin, saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku

Alm. Bapak Suharman

Terima kasih telah menjadi penyemangat hidupku dan sumber inspirasi yang tak tergantikan.

Mamak Supiyah

Terima kasih untuk segala doa, dukungan, dan usaha terbaik yang selalu mamak berikan demi kesuksesan dan kelancaran hingga mampu menyelesaikan Pendidikan di tingkat Universitas sebagai sarjana.

Mbak, Mamas dan Adik

Terima kasih atas segala dukungan, semangat dan kebersamaan yang telah diberikan, baik dalam suka maupun duka.

Bapak dan Ibu Dosen

Terima kasih atas ilmu pengetahuan, nasihat, serta saran yang membangaun yang menjadi bekal berharga selama perjalanan pendidikan ini.

Keluarga Besar dan Rekan Seperjuangan Fisika 2019

Terima kasih atas kerja sama, dukungan dan pertemanannya selama menjalani masa perkuliahan.

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Deteksi dan Analisis Sinyal Elektromiografi untuk Mengukur Kontraksi dan Kelelahan Otot Lengan Manusia menggunakan Metode *Fast Fourier Transform*”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Prodi Fisika FMIPA Universitas Lampung dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusun dan penelitian skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 10 Januari 2025

Penulis

Melinda Arum Puspita Dewi

NPM. 1917041069

SANCAWANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Deteksi dan Analisis Sinyal Elektromiografi untuk Mengukur Kontraksi dan Kelelahan Otot Lengan Manusia menggunakan Metode *Fast Fourier Transform*”. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, diantaranya:

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, bimbingan, ilmu dan arahan selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi.
2. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II dan Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas bimbingan, ilmu dan arahnya yang berharga dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati. S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun sehingga penulisan skripsi ini lebih baik.
4. Ibu Dra. Dwi Asmi M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, pengetahuan dan pembelajaran yang diberikan selama masa studi penulis.

7. Para staf dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, atas bantuan dalam memenuhi kebutuhan administrasi dan dukungan lainnya selama penulis menjadi mahasiswa.
8. Almarhum Bapak yang telah memberikan semangat dan motivasi semasa hidupnya serta Mamak atas kerja keras, doa, nasihat dan dukungannya yang tiada henti hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini.
9. Mbak, Mamas dan Adik atas semangat, motivasi, dan dukungan yang diberikan selama penulis menjalani proses studi.
10. Teman-teman seperjuangan Zakkiyah, Eka, Gina, Kartika, Linda dan Cahyo atas bantuan, motivasi, dukungan, dan semangat yang diberikan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam berbagai bentuk, baik materi maupun non-materi, selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
12. Kepada diri sendiri Melinda Arum Puspita D., terima kasih atas perjuangan yang telah dilakukan hingga bisa sampai pada titik ini. Terima kasih atas perjalanan panjang yang penuh pelajaran. Terima kasih telah tetap berusaha bertahan dan terus maju hingga skripsi ini dapat terselesaikan, meskipun belum sepenuhnya sempurna. Semoga perjalanan ini menjadi awal yang baik untuk langkah-langkah yang lebih baik di masa depan.

Penulis berharap, semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan yang terbaik atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 10 Januari 2025

Penulis,

Melinda Arum Puspita Dewi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANCAWANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Otot	8
2.2.1 Otot Lengan Manusia	10
2.3 Kontraksi Otot Lengan	11

2.4 Elektromiografi (EMG).....	12
2.5 Elektroda	17
2.6 Biolistrik.....	19
2.7 <i>Muscle Sensor V3</i>	20
2.8 Arduino Uno.....	21
2.9 Arduino IDE.....	22
2.10 Python 3.0.....	24
2.11 <i>Transformasi Fourier</i>	25
2.12 MATLAB	33

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.3 Prosedur Penelitian.....	35
3.4 Desain dan Perancangan Sistem.....	36
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras	38
3.4.2 Perancangan perangkat lunak	40
3.5 Pengujian Alat	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Perancangan Perangkat Keras.....	47
4.1.1 Realisasi Alat.....	47
4.1.2 Pemrograman Arduino	50
4.2 Realisasi Perancangan Perangkat Lunak untuk Deteksi Kelelahan Otot ...	58
4.2.1 Hasil Perancangan <i>Graphical User Interface (GUI)</i>	58
4.2.2 Kontrol <i>Graphical User Interface (GUI)</i>	61
4.2.2.1 Fungsi Program <i>Import Library</i> Python	61
4.2.2.2 Fungsi Program Tampilan GUI	63
4.2.2.3 Fungsi Kontrol dan Interaksi Pengguna	65
4.2.2.4 Fungsi Pengelohan Data Sinyal EMG	68
4.2.2.5 Fungsi Analisis Sinyal Elektromiografi dan Deteksi Kelelahan Otot	69
4.2.2.6 Fungsi Penyimpanan dan Status.....	71
4.3 Hasil Pengujian Sistem.....	73

4.3.1 Tampilan Hasil Deteksi Sinyal Elektromiografi pada GUI	73
4.3.2 Pengujian dan Pengambilan Data	78
4.3.3 Pengujian dengan Aktivitas Olahraga	78
4.4 Analisis Kelelahan Otot	81

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	88
5.2 Saran	88

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tampilan hasil penelitian (Ivan dan Wahab, 2020).....	7
Gambar 2.2 Otot Lengan Atas [a] Menekuk (1) Bisep Berkontraksi (2) Trisep Berelaksasi; [b] Meluruskan (3) Bisep Berelaksasi (4) Trisep....	11
Gambar 2.3 Simulasi pada elektromiografi.....	13
Gambar 2.4 Peletakan elektroda tempel.....	18
Gambar 2.5 <i>Muscle Sensor V3</i>	20
Gambar 2.6 Tampilan <i>sketch</i> Arduino IDE.....	23
Gambar 2.7 <i>Arduino Board</i>	21
Gambar 2.8 Tampilan Logo Python	24
Gambar 2.9 Contoh dekomposisi sinyal domain waktu menggunakan FFT.....	28
Gambar 2.10 Tampilan <i>Fast fourier transform</i>	31
Gambar 2.11 Tampilan Awal MATLAB	33
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	36
Gambar 3.2 Diagram Blok deteksi sinyal elektromiografi.....	37
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Alat	38
Gambar 3.4 Desain sistem deteksi (a) Tampak Luar (b) Tampak Dalam	39
Gambar 3.5 Rancangan <i>Software</i>	40
Gambar 3.6 Desain <i>interface</i> deteksi sinyal elektromiografi	41
Gambar 4.1 Realisasi perangkat deteksi sinyal elektromiografi.....	47
Gambar 4.2 Tampilan samping perangkat keras	48
Gambar 4.3 Tampilan dalam perangkat keras	48
Gambar 4.4 Alat deteksi sinyal elektromiografi pada subjek.....	49
Gambar 4.5 Deteksi sinyal EMG dengan posisi tangan lurus	52
Gambar 4.6 Hasil pengujian sensor EMG pada kondisi tangan lurus.....	53
Gambar 4.7 Deteksi sinyal EMG dengan posisi tangan menekuk	54
Gambar 4.8 Hasil pengujian sensor EMG pada kondisi tangan menekuk	54

Gambar 4.9	Deteksi sinyal EMG dengan posisi tangan menggenggam.....	55
Gambar 4.10	Hasil Perekaman dengan posisi tangan Menggenggam.....	56
Gambar 4.11	Hasil Rekaman sinyal EMG pada lengan otot.....	57
Gambar 4.12	Tampilan Desain GUI.....	59
Gambar 4.13	Tampilan pada bagian Menu Bar (a) Menu <i>File</i> (b)Menu <i>Save...</i>	59
Gambar 4.14	Tampilan pada bagian Menu Kontrol (a) Menu <i>Options</i> (b) Menu Pengaturan Grafik (c) Menu Analisis	59
Gambar 4.15	Tampilan pada Bagian Status Bar.....	60
Gambar 4.16	Tampilan awal Sinyal EMG yang direkam secara <i>real-time</i>	74
Gambar 4.17	Hasil rekaman sinyal EMG dan Analisis FFT.....	75
Gambar 4.18	Struktur folder tempat penyimpanan hasil rekaman sinyal EMG	76
Gambar 4.19	Tampilan GUI saat <i>Reset</i>	77
Gambar 4.20	Hasil tampilan rekaman sinyal elektromiografi pada subjek (a) sebelum bermain bulu tangkis (b) sesudah bermain bulu tangkis.	84

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Muscle Sensor V3</i>	21
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno	22
Tabel 3.1 Alat-alat Penelitian.....	34
Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian	35
Tabel 3.3 Pin-pin <i>Muscle Sensor V3</i> yang digunakan.....	38
Tabel 3.4 Hasil Deteksi Sinyal Elektromiografi terhadap Gerak Tangan	44
Tabel 3.5 Hasil pengukuran deteksi sinyal elektromiografi.....	45
Tabel 3.6 Hasil Pengujian Sensor Sebelum bermain bulu tangkis.....	46
Tabel 3.7 Hasil Pengujian Sensor Sesudah bermain bulu tangkis.....	46
Tabel 4.1 Hasil Rekaman Sinyal Elektromiografi pada Gerak Tangan.....	58
Tabel 4.2 Display dan button pada GUI.....	60
Tabel 4.3 Hasil pengukuran deteksi sinyal elektromiografi.....	79
Tabel 4.4 Hasil Rekaman Sinyal EMG pada Saat Belum Bermain Badminton...	82
Tabel 4.5 Hasil Rekaman Sinyal EMG pada Saat Setelah Bermain Badminton.	82

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Elektromiografi (EMG) adalah metode diagnostik untuk mengukur aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot saat berkontraksi. Metode ini digunakan dalam mendeteksi kelainan pada otot maupun saraf yang mengendalikan otot tersebut. Selain itu, EMG juga digunakan untuk mengevaluasi respon otot terhadap rangsangan dari saraf, yang pada kondisi normal hanya aktif saat otot berkontraksi. Sinyal yang terekam dari aktivitas otot dapat diterjemahkan menjadi grafik atau nilai numerik yang dapat diinterpretasikan lebih lanjut. Data sinyal ini berguna dalam menganalisis berbagai karakteristik otot, seperti kecepatan kontraksi, kekuatan otot, dan tingkat kelelahan otot (Pamungkas *et al.*, 2019). Teknologi EMG saat ini digunakan dalam berbagai bidang, seperti biomekanika untuk memahami gerakan tubuh, kedokteran olahraga untuk memantau kondisi otot atlet, dan neurofisiologi untuk menganalisis aktivitas otot selama melakukan gerakan. Hal ini dapat membantu dalam pemahaman yang lebih baik tentang fungsi otot dan kekuatan otot pada seorang atlet. Dengan kemampuan untuk mengukur aktivitas otot secara langsung, EMG telah diterapkan secara luas dalam berbagai penelitian dan praktik klinis

Kekuatan otot sangat penting bagi atlet untuk mencapai keberhasilan dan prestasi di bidang olahraga. Salah satu area yang menjadi fokus perhatian yaitu otot lengan bawah yang memiliki peran krusial dalam berbagai cabang olahraga seperti voli, bulu tangkis, basket dan tenis. Otot ini menjadi tumpuan utama dalam menghasilkan kekuatan dan stabilitas yang dibutuhkan untuk performa yang optimal. Kelemahan atau kelelahan otot dapat menjadi kendala signifikan bagi atlet, mengurangi kemampuan mereka dalam beraktivitas dan meningkatkan risiko

cedera. Oleh karena itu, pemantauan kondisi otot dan tingkat kelelahan sangat penting untuk meningkatkan performa dan mencegah cedera (Aisyah, 2021).

Cedera otot adalah resiko umum bagi atlet, terutama dalam cabang olahraga yang menuntut kecepatan gerak, ketangkasan dan daya tahan tinggi, seperti bulu tangkis. Dalam permainan bulu tangkis, atlet harus mampu melakukan lompatan, pukulan, dan perubahan arah dengan cepat dan tepat. Pemantauan kondisi otot dan tingkat kelelahan menjadi sangat penting untuk menjaga performa dan mengurangi kemungkinan cedera (Mundial *et al.*, 2022). Dalam hal ini, penggunaan teknologi EMG yang dirancang dengan *Muscle Sensor V3* dan Arduino sebagai mikrokontroler menjadi solusi yang efektif. *Muscle Sensor V3* kemudian diproses oleh arduino, yang merupakan *platform* mikrokontroler yang mudah digunakan dan fleksibel. *Muscle Sensor V3* bekerja dengan mengukur, menyaring, dan memperbaiki aktivitas listrik otot, menghasilkan sinyal analog yang mudah diproses oleh mikrokontroler Arduino. Arduino adalah platform mikrokontroler yang fleksibel dan mudah digunakan, memungkinkan pengembangan sistem pemantauan yang efisien dan terjangkau. Data yang diperoleh dari sensor ini dapat memberikan informasi penting mengenai kontraksi, kelelahan, dan intensitas kerja otot, yang relevan untuk berbagai aplikasi, termasuk rehabilitasi medis, analisis kinerja atlet, dan penelitian fisiologi otot.

Studi sebelumnya menunjukkan pentingnya kekuatan otot, khususnya otot lengan bawah, dalam olahraga seperti bulu tangkis, voli, basket, dan tenis, di mana otot ini menjadi penopang utama kekuatan dan stabilitas (Mursalin dkk., 2019). Kelemahan fungsi otot dapat mengurangi performa dan meningkatkan risiko cedera. Oleh karena itu, alat diagnostik seperti EMG penting untuk memantau aktivitas otot secara akurat. Salah satu metode analisis yang umum digunakan adalah *Fast Fourier Transform* (FFT), yang memungkinkan penilaian pola aktivitas otot berdasarkan frekuensi. Dengan FFT, kita dapat mengevaluasi kekuatan, kontraksi, kelainan, dan tingkat kelelahan otot (Raharjo dkk., 2020).

Berdasarkan pemaparan tersebut, untuk mengukur kontraksi dan kelelahan otot secara akurat diperlukan alat yang dapat memantau aktivitas listrik pada otot,

terutama otot lengan yang sering digunakan dalam berbagai aktivitas olahraga. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan perangkat EMG yang efisien. Seperti, penelitian oleh Justitian dkk., (2012) dan Faradisa dan Noortyas, (2015) yang mengembangkan EMG berbasis komputer yang menampilkan sinyal deteksi aktivitas otot. Penelitian Abyanto dan Setiawan (2019) dan Sulistyawati dan Kholis (2018) telah merancang EMG menggunakan Arduino Uno untuk mendeteksi kondisi otot dalam situasi tertentu. Penelitian Fahmi dkk. (2021) dan Multajam dkk. (2016) mengembangkan EMG dengan menggabungkan beberapa rangkaian seperti penguat, filter, dan *non-inverting* amplifier untuk menguji respons otot lengan saat kontraksi dan relaksasi. Meskipun demikian, penelitian yang dilakukan Ivan dan Wahab, (2020) menunjukkan bahwa pengujian dengan satu sampel belum memberikan hasil yang optimal dan menyarankan perlunya pengujian dengan sampel lebih banyak untuk memperoleh data yang lebih representatif.

Meskipun banyak penelitian yang telah dilakukan, masih ada kebutuhan untuk mengembangkan alat deteksi sinyal EMG yang mampu menyimpan data secara otomatis. Sebagian besar alat yang ada masih mengharuskan pengambilan data secara manual, yang kurang praktis dalam situasi klinis atau latihan intensif. Oleh karena itu, penelitian ini didesain untuk mengembangkan alat pendeteksi sinyal EMG yang mampu menyimpan hasil rekaman dan memantau tingkat kelelahan pada atlet selama latihan. Alat ini didesain menggunakan *Muscle Sensor V3* dan mikrokontroler Arduino Uno sebagai komponen utama, dimana sinyal yang diperoleh dari aktivitas otot yang akan ditampilkan pada perangkat lunak *Graphical User Interface* (GUI) yang dirancang menggunakan bahasa Python. Analisis lebih lanjut menggunakan metode FFT akan membantu dalam mengidentifikasi pola dan karakteristik aktivitas otot. Sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam program latihan dan rehabilitasi atlet, untuk meningkatkan performa dan mencegah cedera akibat kelelahan otot. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat pendeteksi sinyal EMG berbasis Arduino yang dapat menyimpan data dan memantau tingkat kelelahan otot, sehingga bermanfaat untuk meningkatkan performa atlet dan mencegah cedera.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem untuk mengukur kontraksi dan kelelahan pada otot?
2. Bagaimana mendeteksi sinyal elektromiografi (EMG) dengan memanfaatkan *Muscle Sensor V3*?
3. Bagaimana menampilkan hasil perekaman sinyal EMG dalam bentuk visual menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem yang mampu mengukur kontraksi dan kelelahan pada otot lengan menggunakan sensor EMG.
2. Mendeteksi aktivitas otot melalui sinyal EMG yang diambil dari *Muscle Sensor V3* untuk mengukur kontraksi dan kelelahan otot.
3. Menampilkan hasil perekaman sinyal EMG dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk memvisualisasikan aktivitas otot.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu,

1. Menghasilkan alat yang dapat mengukur kontraksi dan kelelahan otot pada berbagai kelompok pengguna, seperti atlet, karyawan dan pelajar untuk mendukung pencegahan cedera dan penurunan produktivitas.
2. Menyediakan sistem deteksi dini kelelahan otot dengan menganalisis sinyal elektromiografi (EMG) menggunakan *Muscle Sensor V3*.
3. Berkontribusi dalam pengembangan teknologi deteksi kelelahan otot berbasis EMG dan meningkatkan pemahaman tentang hubungan antara sinyal EMG dan kelelahan otot.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya merekam dan menganalisis pola sinyal EMG pada otot lengan manusia.
2. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino Uno
3. Sistem ini menggunakan *Muscle Sensor V3* dan elektroda untuk mendeteksi aktivitas sinyal elektrik pada otot.
4. Pengambilan data dilakukan pada subjek dalam dua kondisi yaitu, sebelum bermain bulu tangkis dan sesudah bermain bulu tangkis. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan pada aktivitas otot.
5. Metode *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk menganalisis sinyal EMG yang diperoleh.
6. Penelitian dilakukan pada laki-laki dan perempuan yang berumur antara 17-24 tahun.

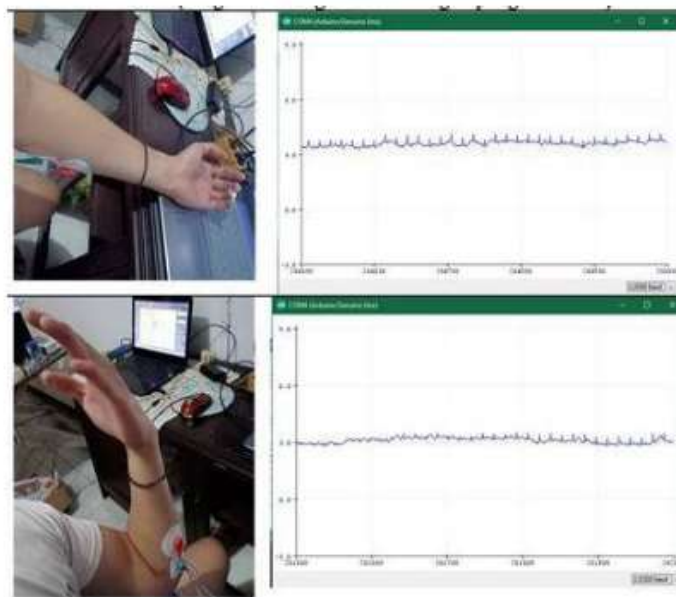
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai alat pendeteksi kelelahan dan kontrak otot pada tubuh manusia telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diantaranya penelitian Firdaus dan Adriana (2016) mengembangkan sistem deteksi kelelahan pada pengemudi mobil berbasis sinyal EMG yang memonitor sinyal biologis pada otot lengan pengemudi. Peneliti melakukan percobaan pada pengemudi yang sedang berkendara di jalan yang padat untuk mengamati perubahan kondisi otot lengan saat berkendara. Kondisi jalan yang padat dapat menyebabkan kelelahan pada pengemudi, yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas. Untuk mengukur tingkat kelelahan, Firdaus dan Andrian (2016) menggunakan parameter frekuensi yang ditransformasi menggunakan algoritma *Fast fourier transform* (FFT) dan menghitung nilai *Mean Power Frequency* (MPF) sebagai indikator kelelahan. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan nilai MPF, yaitu 25,2 Hz saat awal berkendara dan meningkat menjadi 33,3 Hz setelah berkendara. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sinyal EMG dapat digunakan untuk menentukan tingkat kelelahan otot selama aktivitas. Namun, untuk meningkatkan akurasi analisis, diperlukan pengujian dengan sampel yang lebih banyak.

Penelitian Ivan dan Wahab (2020) merancang alat pendeteksi sinyal otot pada lengan manusia menggunakan sensor otot EMG berbasis Arduino Uno. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur perubahan tegangan yang terjadi pada otot lengan saat melakukan berbagai gerakan, seperti mengepal, menekuk pergelangan dan siku, serta mengangkat beban. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen, termasuk mikrokontroler Arduino Uno, sensor EMG V3, elektroda, kabel jumper, dan baterai. Elektroda dipasang pada permukaan kulit lengan untuk mendeteksi sinyal EMG yang kemudian diproses oleh Arduino Uno dan

ditampilkan dalam bentuk grafik pada serial plotter Arduino IDE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap gerakan menghasilkan pola grafik sinyal yang berbeda-beda, meskipun gerakan mengangkat beban memiliki hasil yang mirip baik dalam bentuk sinyal maupun nilai tegangan yang dihasilkan. Untuk pengujian lebih lanjut, diperlukan penggunaan aktivitas fisik lainnya untuk mengukur variasi sinyal. Hasil dari penelitian Ivan dan Wahab (2020) ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Tampilan hasil penelitian (Ivan dan Wahab, 2020)

Fahmi dkk. (2021) melakukan perancangan alat elektromiografi dengan menggabungkan beberapa rangkaian yaitu, rangkaian penguat, rangkaian filter dan rangkaian *non-inverting amplifier*. Data dikumpulkan dengan memasang elektroda pada permukaan kulit otot yang akan dideteksi. Subjek penelitian terdiri dari dua perempuan dan empat laki-laki yang tidak memiliki riwayat atau sedang mengalami penyakit neuromuskular. Penelitian Fahmi dkk. (2021) menggunakan analisis data deskriptif kuantitatif, memproses sinyal dari serial monitor ke *Microsoft Excel* untuk menentukan nilai maksimum dan minimum dari aktivitas otot setiap subjek. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai puncak-ke-puncak (V_{pp}) dari sinyal EMG adalah 0,326V saat relaksasi, 0,384V saat kontraksi, dan nilai V_{pp} meningkat lebih lanjut saat kontraksi dengan tambahan beban. Penelitian ini menyarankan untuk mengembangkan lebih lanjut dengan menambahkan filter digital dan

menggunakan sensor otot EMG untuk pemrosesan langsung melalui mikrokontroler, agar hasil yang diperoleh lebih akurat dan efisien.

Dari ketiga penelitian tersebut menunjukkan kemajuan dalam pengembangan alat pendeteksi sinyal EMG untuk berbagai aplikasi. Firdaus dan Adriana (2016) mengembangkan sistem deteksi kelelahan pada pengemudi berbasis sinyal EMG yang efektif dalam mengidentifikasi perubahan frekuensi otot, menunjukkan bahwa analisis frekuensi sinyal EMG dapat digunakan untuk memantau kelelahan otot selama aktivitas berkendara. Ivan dan Wahab (2020) merancang alat pendeteksi sinyal otot berbasis Arduino Uno yang mampu mendeteksi berbagai gerakan otot lengan, membuktikan keberhasilan dalam menangkap dan menampilkan variasi sinyal EMG sesuai dengan gerakan otot yang dilakukan. Sementara itu, Fahmi dkk. (2021) berfokus pada pengembangan alat elektromiografi yang lebih kompleks dengan penggunaan rangkaian penguat dan filter, menghasilkan pengukuran yang lebih detail pada berbagai kondisi otot. Namun, penelitian ini menyarankan adanya pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan filter digital dan sensor EMG yang lebih canggih untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pengolahan data.

2.2 Otot

Otot merupakan salah satu alat gerak aktif yang mampu menggerakkan seluruh bagian tubuh pada manusia. Otot memiliki sifat yaitu kontraksibilitas, ekstensibilitas, dan elastisitas. Kontraksibilitas merupakan kondisi otot untuk menjadi lebih pendek dari ukuran semula, ekstensibilitas merupakan kondisi otot untuk menjadi memanjang dari ukuran semula dan elastisitas merupakan kondisi otot untuk kembali pada ukuran semula setelah berkontraksi. Kondisi tersebut biasa disebut dengan relaksasi. Terdapat dua macam jenis otot, jika dilihat berdasarkan pembagian jenis gerakannya yaitu otot *volunteer* dan otot *involunter*. Otot *volunteer* merupakan otot yang dapat dikendalikan secara sadar yaitu seperti otot lurik. Otot lurik adalah otot yang melekat pada bagian rangka tubuh yang berfungsi untuk melakukan gerak tubuh. Contoh gerakan dari otot *volunteer* adalah mengangkat lengan. Sedangkan otot *involunter* adalah otot yang dapat bekerja secara otomatis yaitu otot jantung dan otot polos. Contoh dari otot *involunter* adalah otot yang

membuat denyut jantung, otot yang ada pada sistem pencernaan dan sebagainya (Sujana, 2014).

Otot yang bergerak aktif secara terus menerus dapat mengalami kelelahan otot. Selain itu, pergerakan atau aktivitas berat pun dapat menyebabkan kelelahan pada seseorang. Kelelahan merupakan kondisi di mana seseorang mengalami penurunan kapasitas kerja dan ketahanan tubuh yang mengakibatkan turunnya produktivitas. Hampir setiap orang mengalami kelelahan, terutama pada pekerja atau atlet olahragawan yang memiliki aktivitas padat setiap harinya (Innah *et al.*, 2021).

Pada dunia olahraga, kelelahan otot sering terjadi akibat peningkatan intensitas dan volume latihan yang tidak diimbangi dengan waktu pemulihan yang cukup. Atlet sering kali menjalani program latihan dengan beban progresif untuk meningkatkan kekuatan, daya tahan dan performa. Namun, jika kenaikan beban latihan dilakukan terlalu cepat atau tanpa perencanaan yang baik, hal ini dapat menyebabkan akumulasi kelelahan kronis yang berujung pada cedera otot dan penurunan performa (Parwata, 2015).

Menurut Raharjo dkk. (2020), kelelahan otot disebabkan oleh gangguan metabolisme energi dan akumulasi produk sampingan metabolik, seperti asam laktat, yang menghambat kontraksi otot. Kelelahan ini lebih sering terjadi pada olahraga yang menuntut daya tahan tinggi, seperti maraton, atau olahraga dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat, seperti bulu tangkis. Selain itu, kenaikan beban latihan yang tidak terukur dapat memengaruhi keseimbangan hormon dan sistem saraf, yang dapat memperburuk kondisi kelelahan. Oleh karena itu, pelatih olahraga harus memastikan adanya periode istirahat dan pemulihan yang memadai untuk mencegah kelelahan berlebih serta mempertahankan kebugaran fisik atlet. Pencegahan kelelahan dapat dilakukan melalui pemantauan kondisi fisik menggunakan teknologi seperti elektromiografi (EMG). Teknologi ini memungkinkan pelatih dan atlet untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal kelelahan otot berdasarkan analisis sinyal listrik otot, sehingga strategi pemulihan dapat disusun lebih efektif.

Kelelahan menyangkut penurunan kinerja fisik, perasaan lelah, penurunan produktivitas dan penurunan motivasi kerja. Kelelahan tidak dapat didefinisikan, namun bisa dirasakan sehingga penilaian kelelahan dilakukan secara subjektif. Kondisi kelelahan pada setiap individu ditunjukkan secara berbeda-beda diantaranya kelelahan secara visual, kelelahan fisik, kelelahan akibat lingkungan yang monoton, kelelahan saraf dan kelelahan otot. Kelelahan otot merupakan menurunnya kemampuan otot untuk melakukan aktivitas atau membangkitkan suatu gaya. Kelelahan ini dapat terjadi apabila seseorang melakukan kegiatan, aktivitas dan olahraga secara berlebihan. Selain itu, waktu istirahat kurang dan tidur yang tidak cukup dapat menimbulkan kelelahan karena dapat menyebabkan tidak maksimalnya dalam melakukan kegiatan (Rahmawati *et al.*, 2022).

2.2.1 Otot Lengan Manusia

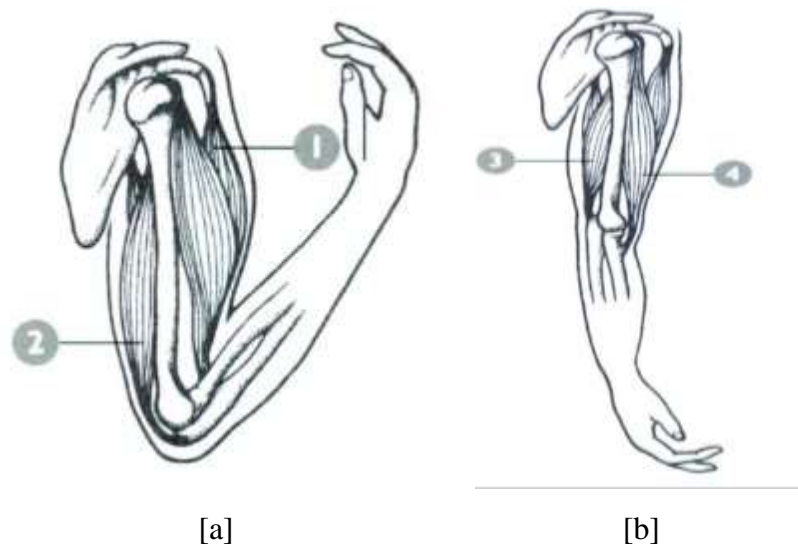
Lengan merupakan anggota persendian pada tubuh manusia. Lengan memiliki tiga bagian otot yang berfungsi untuk menopang lengan itu sendiri yaitu otot bahu, otot pangkal lengan atas, dan otot lengan bawah. Otot lengan merupakan jenis otot lurik yang dapat dikendalikan secara sadar atau *volunteer*. Pada otot lengan atas terdapat otot dorsal dan otot ventral, untuk otot dorsal terdiri dari *muskulust tricep brachii*, *muskulusankoenus* dan untuk otot ventral terdiri dari *musculus biceps brachii*, *musculus brachialis*, *musculus coracobrachialis*. Sedangkan otot lengan bawah terbagi menjadi otot radial dan otot dorsal (Syaifuddin, 2002).

Bagian otot pada lengan jika dilihat dari tampak depan maka terdiri dari deltooid, *Biceps Brachii*, *Brachioradialis*, otot fleksor, lengan bawah, otot *thenar*, otot *hipotenar*, bungkus *fibrus tendinus* jari. Sedangkan jika dilihat dari tampak belakang otot lengan terdiri dari *Triceps brachii*, otot ekstensor lengan bawah, *Extensor Retinaculum*, Tendon ekstensor panjang, perluasan Ekstensor. Otot-otot tersebut yang mempengaruhi adanya gerakan pada lengan tubuh manusia. Untuk jenis otot yang memiliki peranan paling penting dalam pergerakan lengan tangan yaitu otot *biceps* dan otot *triceps*. Otot tersebut memiliki fungsi dasar untuk gerakan

menarik dan memungkinkan lengan untuk direntangkan dan ditekuk. Selain itu fungsi lainnya untuk menahan beban pada sendi bahu dan ekstensi sendi siku (Syarifuddin, 2002).

2.3 Kontraksi Otot Lengan

Kontraksi otot disebabkan adanya gerakan mengendur dan mengerut yang terjadi pada otot saat melakukan suatu gerakan. Dengan adanya kontraksi otot maka, tulang dan rangka pada tubuh manusia dapat bergerak. Di dalam tubuh manusia, otot dan tulang bekerja secara berpasangan, jika salah satu otot berelaksasi maka otot pasangannya akan berkontraksi dan tulang akan ditarik ke arah berlawanan. Begitupun jika salah satu otot berkontraksi maka otot pasangannya akan berelaksasi. Salah satu contoh aksi rangkap ditunjukkan oleh **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Otot Lengan Atas [a] Menekuk (1) Bisep Berkontraksi (2) Trisep Berelaksasi; [b] Meluruskan (3) Bisep Berelaksasi (4) Trisep Berkontraksi (Davies, 2007).

Berdasarkan **Gambar 2.2** dijelaskan bahwa otot lengan atas terdiri dari otot bisep, otot trisep dan otot insertion. Otot bisep (*biceps brachii*) terletak di bagian depan lengan atas dan berfungsi untuk menekuk siku serta memutar lengan bawah, sedangkan otot trisep (*triceps brachii*) berada di bagian belakang lengan atas dan berperan dalam meluruskan siku. Kedua otot tersebut bekerja dalam aktivitas

seperti menarik dan mendorong. Titik insertion adalah tempat otot menempel pada tulang yang bergerak saat otot berkontraksi, seperti otot bisep yang menempel pada tulang radius di lengan bawah, yang memungkinkan lengan bawah terangkat ketika otot bisep berkontraksi. Sementara, otot trisep menempel pada tulang ulna di siku, yang memungkinkannya meluruskan lengan.

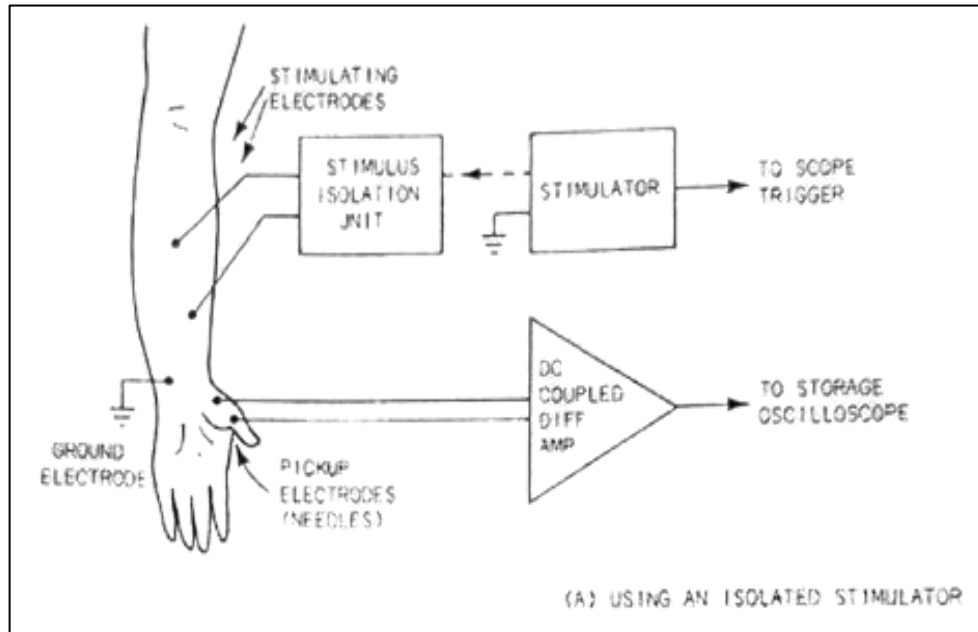
Otot bisep dan trisep merupakan otot pasangan yang bekerja secara antagonis dalam gerakan aksi rangkap (kontraksi-relaksasi). Ketika lengan dalam posisi menekuk seperti terlihat pada **Gambar 2.2 [a]** otot bisep berkontraksi sementara otot trisep berelaksasi. Sebaliknya, ketika lengan kembali ke posisi lurus seperti pada **Gambar 2.2 [b]** otot bisep berelaksasi dan otot trisep berkontraksi. Hal ini menunjukkan bahwa kedua otot tersebut bekerja secara bergantian untuk menghasilkan gerakan yang harmonis pada lengan (Davies, 2007).

2.4 Elektromiografi (EMG)

Elektromiografi (EMG) adalah teknik untuk mengukur respon otot atau aktivitas listrik dalam menanggapi rangsangan saraf otot. Tes ini digunakan untuk membantu mendeteksi, merekam, dan menganalisis aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot selama kontraksi dan relaksasi (Zaeni, 2021). Aktivitas listrik yang terekam berbentuk sinyal listrik, yang dikenal sebagai elektromiogram atau sinyal *mioelektrik*. Sinyal EMG ini digunakan dalam analisis sinyal pada aplikasi klinis dan biomedis. EMG berfungsi untuk mengevaluasi kesehatan otot dan neuron motorik yang mengendalikannya. Ketika neuron motorik mengirimkan sinyal listrik ke otot, sinyal ini menginduksi kontraksi otot.

EMG memainkan peran penting dalam membantu diagnosis berbagai kondisi medis yang mempengaruhi otot dan saraf, seperti penyakit neuromuskular, gangguan saraf, dan cedera otot. Teknik ini memberikan wawasan penting tentang status fungsi otot, serta membantu dalam pengelolaan dan perawatan berbagai gangguan kesehatan. Potensial listrik yang diperoleh dapat ditampilkan pada osiloskop atau sebuah *interface*, dengan keluaran berupa gambar gelombang yang dapat dianalisis. EMG juga berguna untuk menentukan tingkat kelelahan pada otot

dan mendeteksi gangguan atau penyakit pada otot pasien atau pengguna (Muttaqin, 2008).



Gambar 2.3 Simulasi pada elektromiografi (Strong, 1973)

Kontraksi otot dapat terjadi secara otomatis atau dihasilkan oleh rangsangan listrik. Sebagai contoh, **Gambar 2.3** menunjukkan skema stimulasi elektromiografi (EMG) yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik pada otot. proses dimulai dengan penggunaan *stimulating electrodes* (elektroda stimulasi) yang ditempatkan pada kulit di atas otot yang ingin diuji. Elektroda ini berfungsi untuk mengirimkan sinyal listrik yang terisolasi, yang dihasilkan oleh stimulator. Sinyal ini menuju *stimulus isolation unit* yang berfungsi untuk memastikan bahwa stimulasi tidak mengganggu alat pengukuran dan tidak menciptakan arus balik yang dapat merusak sistem. Setelah sinyal terisolasi, sinyal listrik yang dikirimkan akan mengaktifkan otot, dan respon otot akan terekam melalui *pickup electrodes* (elektroda penangkap). Terdapat dua jenis elektroda yang umum digunakan: elektroda jarum (*needles*), yang biasanya dimasukkan ke dalam otot dan digunakan oleh dokter atau profesional berpengalaman, serta elektroda yang ditempelkan pada permukaan kulit, yang lebih sering digunakan oleh individu non-profesional dalam pengukuran aktivitas otot.

Elektroda ini berfungsi untuk menangkap sinyal listrik yang dihasilkan oleh aktivitas otot yang merespons stimulasi. Untuk mengurangi gangguan dari sinyal lain, sistem menggunakan *ground electrode* yang berfungsi sebagai referensi untuk mengurangi noise dan meningkatkan kualitas sinyal yang direkam. Sinyal listrik dari otot ditangkap, sinyal tersebut diteruskan ke *DC coupled diff amp* (penguat diferensial terhubung DC), di mana sinyal diolah untuk meningkatkan amplitudo dan membuang komponen yang tidak diinginkan. Hasil dari proses ini akan dikirim ke *storage oscilloscope* (osiloskop penyimpanan) untuk visualisasi. Penggunaan osiloskop memungkinkan peneliti untuk melihat bentuk gelombang dari sinyal listrik yang dihasilkan oleh otot selama stimulasi. Dengan osiloskop, peneliti dapat menangkap dan menyimpan data untuk analisis lebih lanjut, memungkinkan untuk peninjauan dan interpretasi sinyal otot secara lebih detail Merletti dan Farina (2016).

Sinyal EMG merupakan sinyal tangkapan dari penjumlahan seluruh sinyal yang ada pada daerah yang diberikan elektroda. Karena proses kontraksi dan relaksasi pada setiap individu dan tiap bagian otot gerak berbeda, sinyal yang dihasilkan dapat terkesan seperti sinyal acak atau stokastik. Karakteristik sinyal EMG meliputi rentang frekuensi antara 20-500 Hz, dengan energi dominan pada rentang 50-150 Hz dan rentang tegangan antara 0,4-5 Volt. Nilai amplitudo dan frekuensi tergantung pada jumlah aktivitas kontraksi dan relaksasi pada otot yang dipilih (Criswell, 2011).

Prinsip dasar kerja EMG didasarkan pada pengukuran aktivitas listrik yang dihasilkan oleh serat otot selama kontraksi. Aktivitas ini direkam dalam bentuk sinyal listrik yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang kondisi otot. EMG dapat diukur melalui dua metode utama yaitu:

- EMG Permukaan (*Surface EMG*): Menggunakan elektroda yang ditempelkan di permukaan kulit di atas otot yang akan diukur. *Surface EMG* bersifat *non-invasif* dan sering digunakan dalam penelitian olahraga, rehabilitasi, serta untuk mengukur aktivitas otot pada populasi umum.

- EMG Intramuskular (*Intramuscular EMG*): Menggunakan jarum elektroda yang dimasukkan langsung ke dalam otot. *Intramuscular EMG* lebih *invasif* dan umumnya digunakan dalam diagnosis klinis untuk pasien dengan gangguan neuromuskular. Metode ini memungkinkan pengukuran aktivitas listrik otot yang lebih spesifik dan mendetail (Konrad, 2005).

Komponen utama dalam sistem elektromiografi (EMG) meliputi beberapa perangkat penting yang bekerja bersama untuk mendeteksi, merekam, dan menganalisis sinyal listrik dari otot. Elektroda mendeteksi aktivitas listrik dari otot, dimana elektroda permukaan ditempatkan di atas kulit, sementara elektroda jarum dimasukkan ke dalam otot untuk mengukur aktivitas listrik yang lebih dalam. Sinyal listrik yang sangat lemah yang dihasilkan oleh otot diperkuat menggunakan amplifier, sehingga dapat direkam dan dianalisis dengan lebih baik. Untuk memastikan bahwa hanya aktivitas listrik otot yang diukur, filter digunakan untuk menghilangkan *noise* atau gangguan lain dari sinyal yang direkam. Sinyal analog yang dihasilkan oleh otot kemudian diubah menjadi sinyal digital oleh A/D Converter (*Analog to Digital Converter*), sehingga dapat dianalisis oleh komputer. Terakhir, perangkat lunak analisis memproses sinyal digital menjadi data yang berguna untuk analisis lebih lanjut, seperti mengidentifikasi frekuensi dan amplitudo sinyal EMG (Nomiyasari, dkk., 2011).

Sinyal EMG yang direkam dapat dianalisis untuk memperoleh informasi mengenai kondisi otot melalui beberapa parameter utama. Amplitudo sinyal mencerminkan jumlah dan ukuran unit motorik yang terlibat dalam kontraksi otot, dimana amplitudo yang lebih tinggi menunjukkan kontraksi otot yang lebih kuat atau lebih banyak unit motorik yang aktif (De Luca, 2002). Frekuensi sinyal menunjukkan kecepatan aktivitas listrik di dalam otot dan dapat digunakan untuk mendeteksi kelelahan otot, dimana frekuensi sinyal cenderung menurun seiring waktu saat otot menjadi lelah. Waktu *onset* mengacu pada waktu ketika sinyal EMG pertama kali muncul, yang memberikan indikasi waktu reaksi otot terhadap rangsangan atau gerakan tertentu (Criswell, 2011).

Elektromiografi (EMG) memiliki berbagai aplikasi di berbagai bidang yang sangat penting. Dalam bidang medis, EMG digunakan untuk mendiagnosis gangguan neuromuskular seperti *amyotrophic lateral sclerosis (ALS)*, *carpal tunnel syndrome*, *neuropati*, dan *miopati*. Di bidang rehabilitasi, EMG berperan dalam program rehabilitasi fisik dengan mengukur aktivitas otot untuk menilai kemajuan pemulihan dan menyesuaikan terapi yang diperlukan. Dalam penelitian ilmiah, EMG digunakan dalam studi biomekanika untuk memahami pola aktivasi otot selama berbagai aktivitas fisik, seperti berjalan, berlari, atau angkat beban. Di dunia olahraga dan latihan, EMG membantu atlet dan pelatih dalam mengoptimalkan teknik dan strategi pelatihan dengan menganalisis pola aktivasi otot selama latihan.

Elektromiografi (EMG) menawarkan berbagai manfaat signifikan. Salah satu keuntungan utama adalah sifat *non-invasif* dari *Surface EMG*, yang membuatnya aman dan dapat digunakan secara luas. EMG mampu mengidentifikasi pola aktivasi otot yang tidak dapat terlihat oleh mata telanjang, memberikan wawasan mendalam tentang fungsi otot. Selain itu, teknik ini sangat berguna dalam diagnosis dan pengelolaan berbagai kondisi medis serta dalam penelitian ilmiah dan pengembangan teknik olahraga. Meskipun demikian, EMG juga memiliki beberapa keterbatasan. *Noise* dan gangguan dari sinyal lain, seperti detak jantung atau aktivitas otot lainnya, dapat mempengaruhi hasil. Selain itu, penempatan elektroda yang salah atau kurang tepat dapat mengakibatkan sinyal yang tidak akurat. *Surface EMG* juga mungkin tidak dapat mendeteksi aktivitas otot dalam yang terletak jauh dari permukaan kulit (Merletti dan Farina, 2016).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi sinyal yang dihasilkan oleh elektromiografi dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor fisiologis dan faktor non-fisiologis. Faktor fisiologis yaitu temperatur, umur, tinggi badan dan berat badan, sedangkan untuk faktor non-fisiologi meliputi tahanan elektroda dan desah (*noise*), filter, penempatan elektroda, jarak antara elektroda aktif dan elektroda referensi, jarak antara elektroda aktif dan saraf yang diperiksa, dan sensitivitas. Faktor-faktor tersebut harus dipahami agar mempermudah dalam proses pengambilan data sehingga tidak ada kesalahan interpretasi. Kesalahan dari faktor fisiologis dapat menyebabkan hasil yang berbeda antara pemeriksaan satu dengan pemeriksaan

lainnya, sedangkan kesalahan dari faktor non-fisiologis dapat mengakibatkan gangguan atau *noise* yang mempengaruhi ketepatan hasil dan berpotensi menyebabkan salah interpretasi (Soetomo, 2003).

2.5 Elektroda

Elektroda adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur potensial listrik dengan memindahkan transmisi ion ke penyalur elektroda. Salah satu jenis elektroda yang umum digunakan dalam pengukuran elektromiografi (EMG) adalah elektroda permukaan atau *Surface EMG*. Elektroda permukaan ini bekerja dengan cara ditempelkan pada permukaan kulit di atas otot yang akan diukur. Sebagai sensor sinyal mioelektrik, *Surface EMG* bersifat *non-invasif*, sehingga sering digunakan dalam penelitian olahraga, rehabilitasi, dan pengukuran aktivitas otot pada populasi umum (Soetomo, 2013).

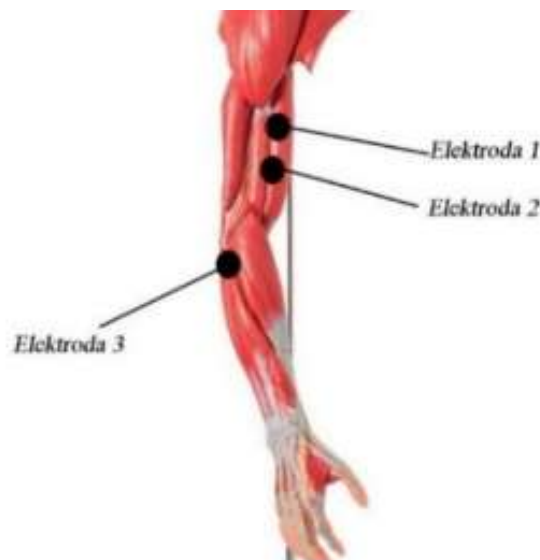
Elektroda permukaan terbuat dari bahan logam yang tahan karat, seperti perak, nikel, atau alloy, yang dipilih karena sifat konduktif dan biokompatibilitasnya. Persiapan kulit sebelum pemasangan elektroda permukaan sangat penting untuk menjaga kestabilan elektroda dan memperoleh impedansi kulit yang rendah. Langkah-langkah persiapan ini termasuk mencukur rambut dan mencuci kulit, karena kulit dengan impedansi rendah diperlukan untuk memperoleh sinyal yang optimal, mengingat amplifier *Surface EMG* umumnya dirancang untuk bekerja dengan impedansi kulit antara 5–50 kOhm (De Luca, 2002).

Penggunaan elektroda permukaan (*surface electrodes*) memiliki beberapa keuntungan. Elektroda ini tidak memerlukan penetrasi ke dalam kulit atau jaringan otot, sehingga tidak menimbulkan nyeri atau ketidaknyamanan bagi subjek. Selain itu, pemasangan elektroda permukaan sangat mudah dan cepat, membuatnya praktis untuk digunakan tanpa pengawasan medis atau keterampilan teknis khusus. Hal ini menjadikannya sangat sesuai untuk penggunaan di lingkungan non-klinis, seperti dalam penelitian olahraga dan rehabilitasi (Criswell, 2011). Risiko infeksi dan komplikasi lainnya hampir tidak ada, sehingga aman digunakan pada berbagai jenis pasien. Keuntungan lain dari elektroda permukaan termasuk kemampuan untuk

memantau aktivitas otot secara *real-time* dan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode *invasif*, karena tidak memerlukan alat khusus atau bahan steril (Merletti & Farina, 2016).

Namun, elektroda permukaan juga memiliki beberapa keterbatasan. Pengukuran dengan elektroda ini hanya efektif untuk otot-otot yang dekat dengan permukaan kulit, sehingga sinyal dari otot yang lebih dalam mungkin kurang akurat atau tidak dapat diukur. Kualitas sinyal yang diperoleh juga sangat dipengaruhi oleh kondisi kulit, seperti impedansi yang tinggi atau sensitivitas terhadap bahan logam. Selain itu, elektroda ini lebih rentan terhadap gangguan sinyal eksternal dan penempatan yang tidak tepat dapat menyebabkan distorsi sinyal (Reaz *et al.*, 2006)

Penempatan elektroda yang tepat penting dalam mendapatkan sinyal EMG yang akurat. Dalam penggunaan *Surface EMG*, elektroda harus ditempelkan dengan tepat dan secara langsung pada otot yang akan diamati. Penempatan elektroda yang tidak tepat dapat mengakibatkan nilai amplitudo yang lebih rendah atau sinyal yang terdistorsi.



Gambar 2.4 Peletakan elektroda tempel (Fahmi dkk., 2021).

Gambar 2.4 menunjukkan cara meletakkan elektroda permukaan dengan menggunakan tiga buah elektroda: satu elektroda sebagai titik referensi dan dua

elektroda sebagai titik V1 dan V2. Elektroda berwarna merah (mid) diletakkan pada bagian otot yang akan diukur atau sebagai titik V1. Elektroda berwarna hijau (end) diletakkan pada otot bagian ujung berdekatan dengan mid sebagai nilai V2, sementara elektroda berwarna kuning (referensi) diletakkan terpisah sebagai referensi (Fahmi dkk., 2021).

2.6 Biolistrik

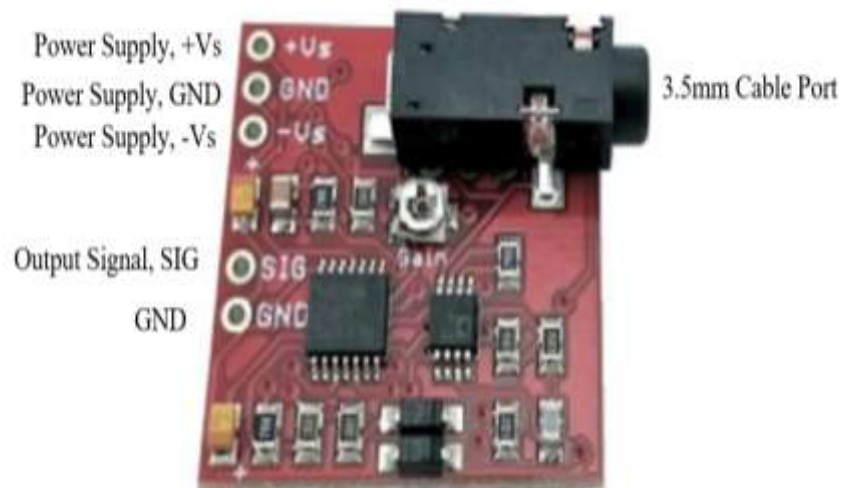
Biolistrik merupakan daya listrik yang terdiri dari pancaran elektron yang keluar dari setiap titik tubuh. Ini juga dapat diartikan sebagai fenomena yang terjadi pada tingkat sel, dimana energi digunakan untuk berbagai proses biologis seperti sintesis molekul baru, konduksi saraf, kontraksi otot, dan menghasilkan radiasi energi yang menghasilkan sinar. Energi biolistrik dihasilkan sebagai hasil dari pengaturan metabolisme dalam tubuh, yang kemudian menciptakan medan elektromagnetik di sekitar tubuh (Tinungki, 2023). Dalam konteks elektromiografi (EMG), biolistrik mengacu pada aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot selama kontraksi. Ketika sistem saraf mengirim sinyal ke otot untuk berkontraksi, terjadi perubahan potensial listrik di sepanjang membran sel otot. Perubahan ini menghasilkan sinyal listrik yang dapat diukur dan direkam menggunakan instrumen EMG. Sinyal EMG adalah representasi dari aktivitas listrik selama kontraksi otot dan digunakan untuk menganalisis kekuatan, kecepatan, dan durasi kontraksi otot (Jati, 2023).

Biolistrik tidak hanya penting dalam studi EMG, tetapi juga relevan dalam berbagai teknologi medis lainnya. Misalnya, elektrokardiografi (EKG) digunakan untuk merekam aktivitas listrik jantung, elektroensefalografi (EEG) untuk merekam aktivitas listrik otak, dan elektroterapi untuk terapi medis. Semua teknologi ini memanfaatkan listrik yang dihasilkan dalam tubuh untuk tujuan diagnostik dan terapeutik. Medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh energi biolistrik berfungsi sebagai "antibodi getaran" yang melindungi tubuh. Mirip dengan cara kerja antibodi fisik yang merespons penyakit, medan elektromagnetik ini bereaksi terhadap gangguan eksternal, beroperasi secara spontan dan otomatis untuk menjaga keseimbangan tubuh. Semakin besar gangguan atau getaran eksternal yang masuk,

semakin besar pula respons medan elektromagnetik tubuh untuk menjaga stabilitas (Pujotomo, 2016).

2.7 *Muscle Sensor V3*

Muscle Sensor V3 merupakan sebuah sensor yang sudah terdiri dari komponen penguat, *filter*, dan *envelope detector*. Komponen tersebut berfungsi mengukur aktivitas otot melalui potensi listrik, disebut dengan elektromiografi (EMG). Cara kerja sensor ini sama seperti elektromiografi yang digunakan pada dunia medis. Namun elektromiografi yang digunakan pada dunia medis menggunakan sebuah jarum yang dimasukkan ke dalam otot yang akan diukur. Sedangkan pada sensor ini menggunakan elektroda sekali pakai yang ditempelkan langsung pada permukaan kulit yang akan dideteksi. *Muscle Sensor V3* terdiri dari kabel penghubung elektroda dan elektroda sebanyak 3 buah. Keuntungan menggunakan *Muscle Sensor V3* yaitu dapat digunakan secara langsung oleh mikrokontroler karena sinyal sudah diperkuat, diperbaiki, dihaluskan dan disearah. Sensor ini banyak digunakan pada robot, perangkat elektronik yang dapat digerakkan dan alat Kesehatan. *Muscle Sensor V3* ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 *Muscle Sensor V3* (Technologies., 2023)

Adapun spesifikasi dari *Muscle Sensor V3* yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**

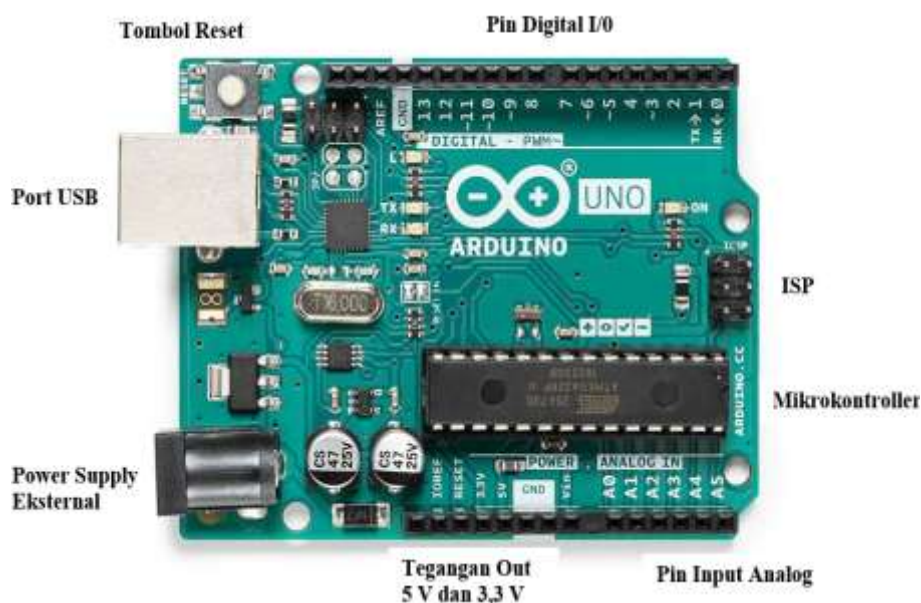
Tabel 2.1 Spesifikasi *Muscle Sensor V3*

Parameter	Min	Typ	Max
Power Supply Voltage (Vs)	$\pm 3V$	$\pm 5V$	$\pm 30V$
Pengaturan Gain = $207 \cdot (x / 1 \text{ k } \Omega)$	0.01Ω ($0.002x$)	$50 \text{ k } \Omega$ ($10.350x$)	$100 \text{ k } \Omega$ ($20.700x$)
Output Signal Voltage (Rectified dan Smoothed)	0V	-	+Vs
Differential Input Voltage	0 mV	2-5 mV	+Vs/Gain

Sumber : (Technologies., 2023)

2.8 Arduino Uno

Perangkat keras yang berfungsi sebagai ADC (*Analog to Digital Converter*) pengubah sinyal analog menjadi nilai digital untuk dapat ditampilkan pada Laptop/PC. Dalam rangkaian *board* Arduino terdapat mikrokontroler AVR yang merupakan produk dari Atmel. Kelebihan Arduino selain bersifat *open source* yaitu Arduino memiliki bahasa programnya sendiri yaitu Bahasa C dan dalam *board* Arduino sudah terdapat loader berupa USB sehingga mempermudah ketika di program. Papan Arduino ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Arduino Board (Arduino, 2023)

Adapun Spesifikasi dari Arduino Uno ditunjukkan oleh **Tabel 2.2** berikut.

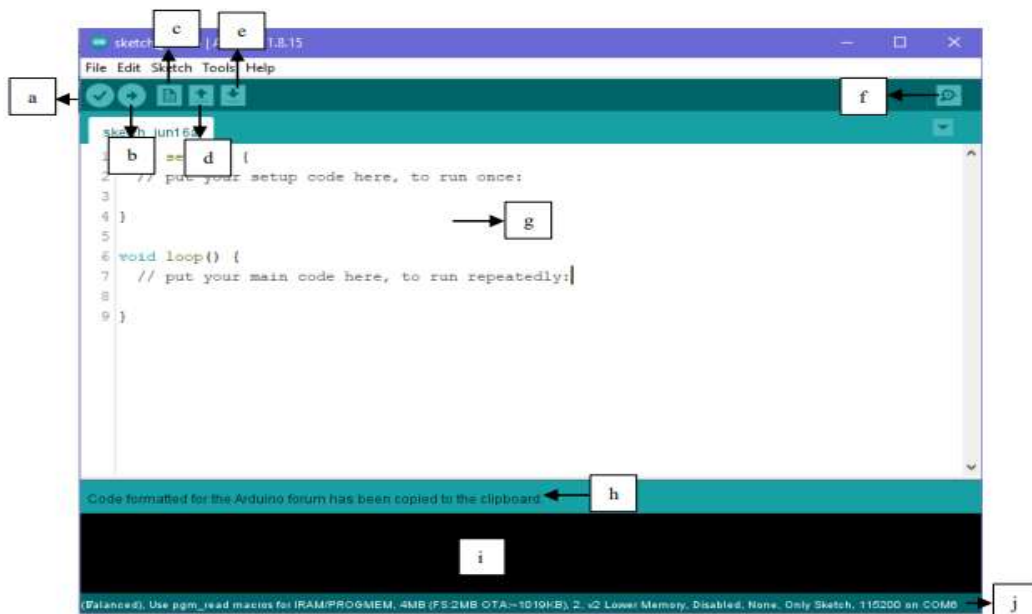
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

2.9 Arduino IDE

Arduino merupakan sebuah *platform* yang bersifat *open source* (sumber terbuka). Arduino digunakan untuk membuat proyek-proyek elektronika sebuah perangkat lunak atau biasa disebut IDE (*Integrated Development Environment*). Arduino IDE adalah Bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai Bahasa C. Perangkat lunak atau IDE disebut dengan Arduino IDE digunakan untuk membuat, mengedit, memverifikasi serta mengunggah kode program ke mikrokontroler (perangkat keras), yang disebut dengan *sketch*. Pada penelitian ini Arduino Ide digunakan untuk penulisan kode program yang mengendalikan perangkat keras berupa sensor

otot (*Muscle Sensor V3*) yang digunakan dalam penelitian ini. Kode yang diunggah ke mikrokontroler Arduino Uno berfungsi untuk mengendalikan sensor dan menerima data sinyal EMG yang akan dianalisis lebih lanjut menggunakan program Python. Tampilan Arduino IDE terdiri dari beberapa bagian yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Tampilan *sketch* Arduino IDE (Arduino, 2023)

Berdasarkan **Gambar 2.7** dijelaskan bahwa fungsi dari komponen pada *sketch* Arduino IDE sebagai berikut.

- Verify* atau dapat disebut *compile* berfungsi untuk memastikan program yang dibuat sudah benar dan tidak terdapat kesalahan atau *error*.
- Upload* merupakan *tools* yang berfungsi untuk mengunggah *sketch* ke mikrokontroler.
- New sketch* berfungsi untuk membuka halaman baru atau *sketch* baru.
- Open sketch* merupakan *tools* yang berfungsi untuk membuka *sketch* yang sudah dibuat dan disimpan sebelumnya dengan format file “ino”.
- Save sketch* berfungsi sebagai *tools* menyimpan *sketch*.
- Serial monitor* berfungsi sebagai *tools* membuka *interface* untuk komunikasi *serial*.
- Sketch* berfungsi sebagai tempat untuk menuliskan program.

- h. Keterangan aplikasi berfungsi untuk menampilkan pesan seperti saat proses “*compiling*” dan “*done uploading*”.
- i. Konsol berfungsi untuk menampilkan pesan yang sedang dikerjakan dan memberikan informasi tentang *sketch* yang dibuat.
- j. *Port* berfungsi untuk menginformasikan *port* yang sedang dipakai dalam *board arduino* (Arduino, 2023).

2.10 Python 3.0

Python merupakan salah satu bahasa pemrograman komputer yang telah banyak digunakan oleh individu, perusahaan, ataupun developer untuk mengembangkan aplikasi berbasis desktop, web dan mobile. Dengan *library* yang lengkap, ringkas dan sederhana, Python memudahkan programmer untuk membuat aplikasi menggunakan *source code* yang sederhana (Muhammad Romzi dan Kurniawan, 2020).



Gambar 2.8 Tampilan Logo Python

Gambar 2.8 merupakan logo Python, bahasa pemrograman yang digunakan dalam penelitian ini untuk membuat data dan mengembangkan *graphical user interface* (GUI). Python pertama kali dikenalkan oleh *Guido van Rossum* pada tahun 1990 di CWI, Amsterdam sebagai pengembangan dari bahasa pemrograman ABC. Python adalah Bahasa pemrograman interpretatif multiguna dengan perancangan yang dapat menerjemahkan kode secara langsung dan dikenal sebagai bahasa yang menggabungkan kapabilitas yang luas dengan sintaksis kode yang jelas. Python bersifat case sensitive sehingga penulisan huruf besar, kecil dan tanda petik akan mempengaruhi hasil. Python dapat dijalankan di berbagai *platform* sistem operasi

seperti, Windows, Linux/Unix, Mac OS X dan lain-lain (Supardi dan Syarief, 2020).

Python dipilih karena memiliki pustaka yang lengkap dan mendukung pengolahan data sinyal EMG secara efisien. Dalam penelitian ini, Python digunakan sebagai platform utama untuk mendeteksi, memproses dan menganalisis sinyal EMG melalui GUI yang dikembangkan menggunakan *library* tkinter. *Library* tkinter, sebagai salah satu standar GUI pada Python, memudahkan pembuatan tampilan aplikasi melalui komponen seperti *Textbox*, *Button*, *Label*, *Frame*, *Window* yang sangat mendukung pengembangan aplikasi GUI secara efektif (Supardi dan Syarief, 2020).

Program Python yang dikembangkan memiliki beberapa fungsi utama yaitu menampilkan sinyal EMG secara *real-time* dari sensor, sehingga memungkinkan visualisasi langsung data sinyal selama proses pengambilan data berlangsung. Selain itu, program ini juga melakukan pemrosesan sinyal yang mempermudah pengamatan pola sinyal dan mendeteksi frekuensi tertentu. Fitur tambahan yang disediakan meliputi penyimpanan data dalam berbagai format, seperti CSV atau *Excel*, serta opsi untuk pengaturan grafik dan kontrol GUI lainnya. Dengan berbagai fungsi tersebut, penggunaan Python dan tkinter dalam penelitian ini menghasilkan platform interaktif dan komprehensif untuk mendukung analisis sinyal EMG, baik dari segi tampilan data *real-time* maupun analisis.

2.11 Transformasi Fourier

Dalam pemrosesan sinyal digital, menganalisis sinyal input dan output menjadi penting untuk dapat memahami karakteristik sistem fisik tertentu. Analisis dan sintesis sinyal dalam domain waktu seringkali memerlukan proses yang rumit dan perhitungan turunan fungsi, yang dapat mengakibatkan ketidakakuratan. Transformasi Fourier adalah alat matematis fundamental yang digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Prinsip dasar Transformasi Fourier adalah bahwa setiap sinyal dapat diuraikan menjadi sejumlah komponen sinusoidal yang berbeda, masing-masing dengan frekuensi, amplitudo,

dan fase yang berbeda. Transformasi Fourier kontinu umumnya, digunakan untuk sinyal yang memiliki sifat berkelanjutan, sedangkan bentuk diskritnya, yaitu *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang digunakan untuk sinyal dengan sampel terbatas (Lestari dan Yuniarti, 2021).

DFT memiliki kelemahan dalam hal efisiensi komputasi, terutama ketika jumlah titik data besar, karena jumlah perhitungannya meningkat secara kuadrat terhadap jumlah sampel. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkanlah algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang mampu melakukan perhitungan DFT secara lebih efisien dengan menggunakan prinsip *divide-and-conquer*. FFT merupakan metode yang mempercepat perhitungan DFT dengan cara membagi sinyal menjadi komponen frekuensi genap dan ganjil, lalu menghitung hasilnya secara rekursif, sehingga mempercepat kompleksitas waktu dari $O(N^2)$ menjadi $O(N \log N)$. FFT umumnya digunakan dalam pemrosesan sinyal digital karena kemampuannya untuk menghitung komponen frekuensi dengan cepat dan akurat (Roa, *et al.*, 2011). *Transformasi Fourier Diskret* (DFT) berasal dari *Transformasi Fourier* kontinu $X(f)$ yang dirumuskan sebagai:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 menunjukkan bahwa $X(f)$ merupakan representasi sinyal dalam domain frekuensi, $x(t)$ sebagai fungsi dalam domain waktu, j adalah bilangan imajiner ($\sqrt{-1}$), π merepresentasikan sudut (180°), f adalah indeks *output* dalam domain frekuensi, dan t merupakan indeks sampel *input* dalam domain waktu. Dalam pemrosesan sinyal kontinu, CFT (*Continuous Fourier Transform*) digunakan untuk mengubah fungsi domain waktu kontinu $x(t)$ menjadi fungsi domain frekuensi kontinu $X(f)$. Untuk sinyal diskrit, DTFT (*Discrete Time Fourier Transform*) digunakan untuk mengonversi $x(n)$ dari domain waktu diskrit menjadi $X(f)$ dalam domain frekuensi kontinu, yang didefinisikan:

$$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{j2\pi fn} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{j\Omega n} \quad (2.2)$$

Dari **Persamaan 2.2** $X(f)$ adalah representasi dalam domain frekuensi, $x(n)$ adalah fungsi dalam domain waktu, dan n adalah indeks sampel input dalam domain waktu. Sementara itu, DFT didefinisikan untuk menghasilkan sinyal diskrit dalam domain frekuensi $X(k)$:

$$X(f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(n) e^{j\frac{2\pi k}{N}n} = \sum_{k=0}^{N-1} x(n) e^{-j\omega n} = \sum_{k=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad (2.3)$$

Dari **Persamaan 2.3** $X(k)$ adalah fungsi dalam domain frekuensi, dengan k adalah indeks *output* dalam domain frekuensi $(0, 1, \dots, N - 1)$. Sehingga $X(k)$ akan menunjukkan urutan ke- k komponen *output* dalam domain frekuensi $(X(0), X(1), \dots, X(N - 1))$. Kemudian nilai N merepresentasikan jumlah sampel *input* dalam domain waktu, $x(n)$ merupakan fungsi dalam domain waktu, dengan n adalah indeks sampel input dalam domain waktu $(0, 1, \dots, N - 1)$. Sehingga $x(n)$ akan menunjukkan urutan ke- n komponen input dalam domain waktu $(x(0), x(1), x(2), \dots, x(N - 1))$.

Berdasarkan persamaan Euler, transformasi ini dapat dinyatakan kembali sebagai:

$$e^{-j\theta} = \cos \theta - j \sin \theta \quad (2.4)$$

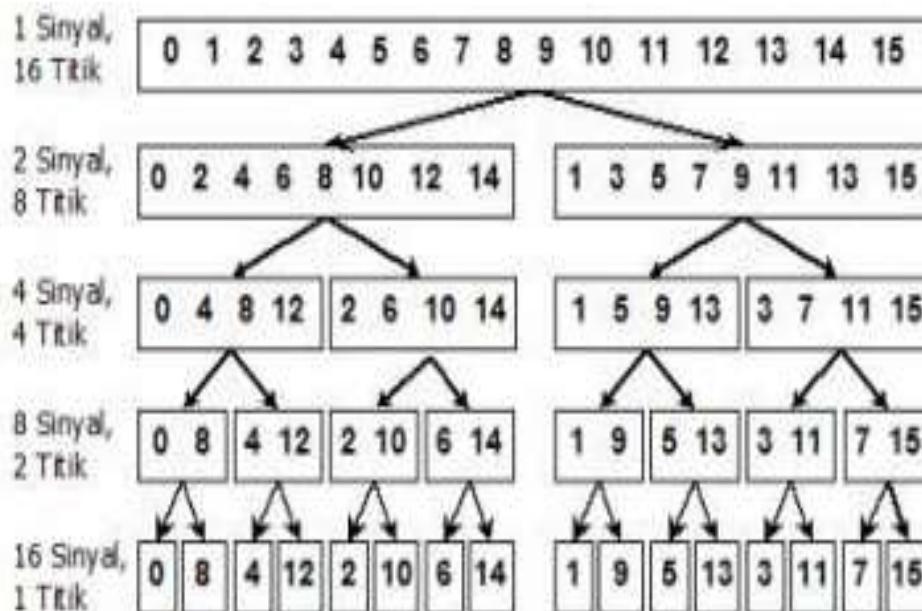
Dengan persamaan berikut, maka persamaan DFT menjadi:

$$X(f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(n) e^{j\frac{2\pi k}{N}n} = \sum_{k=0}^{N-1} x(n) \left[\cos\left(\frac{2\pi k}{N}n\right) - j \sin\left(\frac{2\pi k}{N}n\right) \right] \quad (2.5)$$

Dengan nilai N merupakan parameter penting karena menentukan berapa banyak sampel masukan yang diperlukan, hasil domain frekuensi dan jumlah waktu proses yang diperlukan untuk menghitung N -titik DFT. Proses ini memerlukan N^2 perkalian, sehingga jika jumlah sampel besar, perhitungan DFT memakan waktu yang cukup lama.

2.12 Fast Fourier Transform (FFT)

DFT memainkan peranan yang penting sebagai prosedur matematis untuk menentukan isi frekuensi dari urutan domain waktu, namun sangat tidak efisien. Jumlah titik dalam DFT meningkat menjadi ratusan atau ribuan, sehingga jumlah yang dihitung menjadi tidak dapat ditentukan. Sebuah DFT 8-titik, harus melakukan N^2 atau 64 perkalian kompleks. Sedangkan FFT melakukan $(\frac{N}{2}) \log_2 N$ yang memberikan penurunan yang signifikan dari N^2 perkalian kompleks. Ketika $N = 512$ maka DFT memerlukan 200 kali perkalian kompleks dari yang diperlukan oleh FFT.



Gambar 2.9 Contoh dekomposisi sinyal domain waktu menggunakan FFT

Gambar 2.9 menunjukkan contoh dekomposisi sinyal dalam domain waktu menggunakan FFT. Dalam ilustrasi ini, sinyal dengan 16 titik diuraikan melalui empat tahap yang terpisah. Tahap pertama memisahkan sinyal 16 titik menjadi dua sinyal masing-masing terdiri dari 8 titik. Tahap kedua menguraikan data menjadi empat sinyal terdiri dari 4 titik. Pola ini berlanjut hingga sinyal terdekomposisi menjadi satu titik. Dekomposisi dilakukan setiap kali sinyal dipisahkan menjadi sampel genap dan sampel ganjil (Susilawati, 2009).

Algoritma FFT memecah sampel menjadi dua bagian yaitu bagian genap $x(n) = x(2n)$ dan bagian ganjil $x(n) = x(2n + 1)$. Pada **Persamaan 2.6**, pembagian persamaan DFT sebelumnya pada **Persamaan 2.3** menjadi bagian genap dan bagian ganjil.

$$X(k) = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)W_N^{k2n} + \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n + 1)W_N^{k(2n+1)} \quad (2.6)$$

Dari **Persamaan 2.6** $X(k)$ merepresentasikan fungsi dalam domain frekuensi, di mana k adalah indeks *output* dalam domain frekuensi $(0, 1, 2, \dots, N - 1)$. Oleh karena itu, $X(k)$ menunjukkan elemen ke- k dari komponen *output* dalam domain frekuensi yaitu $(X(0), X(1), X(2), \dots, X(N - 1))$. Selanjutnya, N yang adalah jumlah total sampel *input* dalam domain waktu, $x(2n)$ merupakan fungsi dalam domain waktu, dengan n adalah sebagai indeks untuk sampel *input*-genap dalam domain waktu $(0, 2, 4, \dots, N - 2)$. Maka, $x(2n)$ akan menunjukkan urutan elemen ke- n dari komponen *input*-genap dalam domain waktu $(x(0), x(2), x(4), \dots, x(N - 2))$. Sementara $x(2n + 1)$ adalah fungsi dalam domain waktu, dengan n sebagai indeks untuk sampel *input*-ganjil dalam domain waktu $(1, 3, 5, \dots, N - 1)$. Dengan demikian $x(2n + 1)$ menunjukkan urutan elemen ke- n dari komponen *input*-ganjil dalam domain waktu $(x(1), x(3), x(5), \dots, x(N - 1))$.

Dengan menggunakan hubungan $W_N^{k2n} = W_{N/2}^{kn}$, maka **Persamaan 2.6** dapat ditulis ulang sebagai:

$$X(k) = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)W_{N/2}^{kn} + W_N^k \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n + 1)W_{N/2}^{kn} \quad (2.7)$$

Selanjutnya, dibuat fungsi baru untuk mewakili komponen genap dan bagian ganjil pada algoritma FFT:

$$X_e(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)W_{N/2}^{kn} = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x_e W_{N/2}^{kn} \quad (2.8)$$

$$X_o(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1)W_{N/2}^{kn} = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x_o W_{N/2}^{kn} \quad (2.9)$$

Dengan memasukkan **Persamaan 2.8** dan **Persamaan 2.9** ke **Persamaan 2.7** diperoleh algoritma FFT yang dinyatakan sebagai:

$$X(k) = X_e(k) + W_N^k X_o(k) \quad (2.10)$$

Persamaan ini menjelaskan bagaimana algoritma FFT mentransformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Proses ini merubah sinyal elektromiografi yang terekam oleh elektroda berubah menjadi sinyal elektromiografi dalam domain frekuensi. Selain melakukan transformasi ke domain frekuensi, analisis ini juga menghitung rata-rata magnitudo atau amplitudo rata-rata, yang merepresentasikan kekuatan rata-rata sinyal dalam domain frekuensi. Rumus rata-rata magnitudo yaitu:

$$\text{Amplitudo rata - rata} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X(k)| \quad (2.11)$$

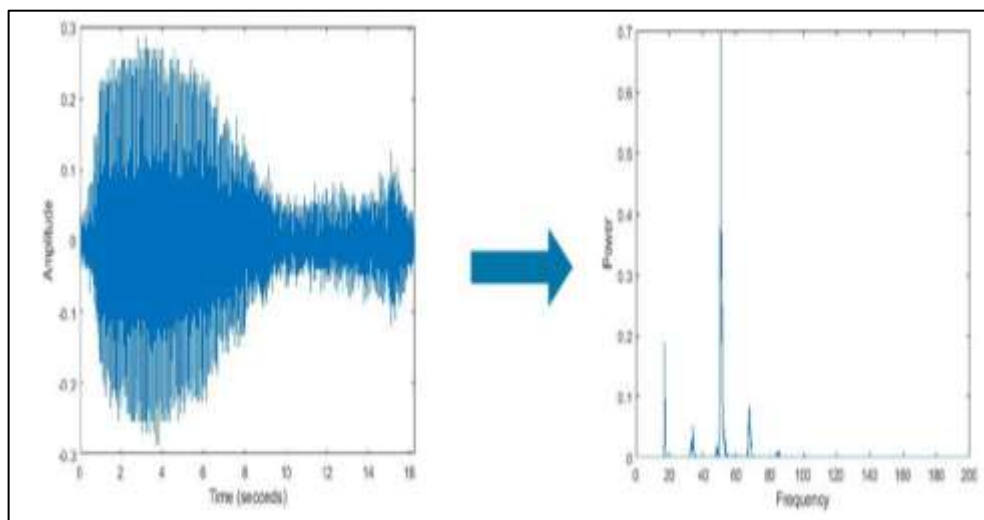
Dimana amplitudo rata-rata merupakan nilai rata-rata magnitudo dari hasil FFT. $|X(k)|$ merupakan magnitudo dari hasil FFT pada setiap frekuensi ke- k . N merupakan jumlah total sampel.

Nilai amplitudo rata-rata ini digunakan untuk memberikan informasi tentang energi rata-rata sinyal, yang dapat membantu dalam menganalisis aktivitas otot. Pada sinyal elektromiografi (EMG), amplitudo rata-rata dapat menjadi salah satu indikator untuk mendeteksi perubahan aktivitas otot, termasuk kelelahan otot. Selain amplitudo rata-rata, frekuensi median juga sering digunakan sebagai parameter dalam analisis sinyal EMG untuk mengidentifikasi perubahan pada

spektrum frekuensi. Frekuensi median mencerminkan titik di mana separuh energi spektral berada di bawahnya dan perubahan nilai ini sering dikaitkan dengan adanya kelelahan otot. Seiring bertambahnya kelelahan, frekuensi median cenderung menurun.

Meskipun FFT efisien dalam pemrosesan sinyal, algoritma ini juga memiliki keterbatasan. FFT rentan terhadap noise, yang dapat mengaburkan komponen frekuensi penting pada sinyal. Selain itu, resolusi frekuensi FFT tergantung pada jumlah titik data, semakin banyak sampel, semakin tinggi resolusi frekuensi yang dihasilkan. Untuk mengatasi keterbatasan ini, sering kali digunakan teknik tambahan seperti filtering, windowing, dan padding guna meningkatkan akurasi analisis (Oppenheim dan Schafer, 1999).

FFT dapat diimplementasikan dalam berbagai bahasa pemrograman seperti Python, MATLAB, dan C++, dengan menggunakan pustaka khusus seperti NumPy di Python atau FFTW di C++ untuk memudahkan perhitungan. Dalam analisis sinyal EMG, FFT berguna untuk mengidentifikasi komponen frekuensi aktivitas otot dan memungkinkan deteksi frekuensi dominan serta perubahan frekuensi terkait kontraksi atau kelelahan otot, yang sangat relevan dalam aplikasi klinis dan penelitian (Merletti dan Farina, 2016). Adapun contoh dari analisis menggunakan *fast fourier transform* ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Tampilan *Fast fourier transform* (Kholis, 2006).

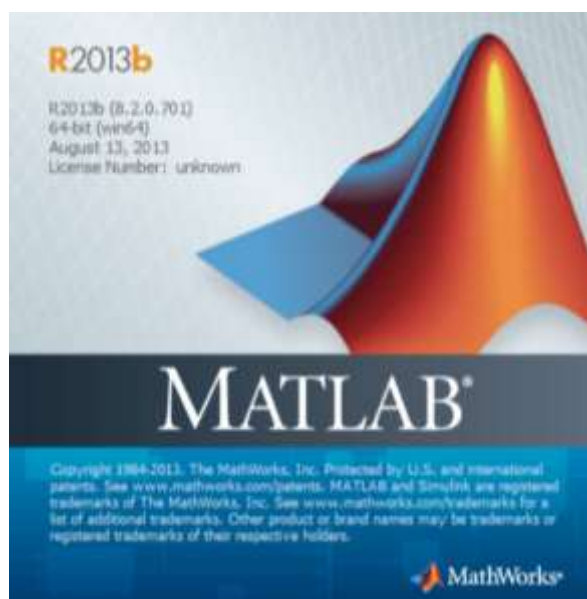
Gambar 2.10 menunjukkan transformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Grafik kiri menampilkan sinyal asli dalam domain waktu, dengan sumbu horizontal mewakili waktu (detik) dari 0 hingga 16 detik dan sumbu vertikal mewakili amplitudo dari -0,3 hingga 0,3. Grafik ini menggambarkan perubahan amplitudo sinyal secara dinamis, yang berhubungan dengan aktivitas otot. Puncak amplitudo pada grafik kiri menunjukkan kondisi saat otot berkontraksi, di mana intensitas sinyal meningkat, sementara penurunan amplitudo menunjukkan saat otot berelaksasi ketika kondisi aktivitas otot menurun.

Grafik kanan menunjukkan hasil dari transformasi FFT, mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Pada grafik ini, sumbu horizontal pada grafik ini mewakili frekuensi (dalam Hertz), berkisar dari 0 hingga 200 Hz, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan daya (power) atau intensitas frekuensi dalam sinyal. Puncak-puncak di grafik ini mengidentifikasi frekuensi dominan dari sinyal yang diukur, dengan puncak paling tinggi sekitar 60 Hz menunjukkan bahwa frekuensi tersebut adalah komponen utama dalam sinyal yang diamati. Sedangkan puncak lainnya, lebih kecil memberikan informasi mengenai frekuensi tambahan yang terlibat.

Transformasi ini dapat membantu dalam memahami komposisi frekuensi dari sinyal yang kompleks, yang tidak terlihat jelas dalam domain waktu saja. Dengan memvisualisasikan sinyal dalam domain frekuensi, pola frekuensi dominan dapat diidentifikasi dan analisis mengenai bagaimana otot bekerja selama periode pengukuran menjadi lebih mudah. Identifikasi pola frekuensi yang dominan ini memberikan wawasan tentang karakteristik aktivitas otot yang sedang dianalisis. Transformasi ini memudahkan analisis struktur frekuensi dari sinyal yang kompleks, yang bisa bermanfaat untuk memahami mekanisme otot selama kontraksi dan relaksasi.

2.12 MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah perangkat lunak untuk pemrosesan data, pemrograman, dan analisis numerik yang dikembangkan oleh MathWorks. MATLAB populer di kalangan akademisi dan praktisi di berbagai bidang seperti teknik, sains dan pemrosesan sinyal (MathWorks, 2024). Dengan menggunakan MATLAB dapat mempermudah penyelesaian masalah seperti operasi matriks, persamaan diferensial, grafik, dan visualisasi data secara efisien.



Gambar 2. 11 Tampilan Awal MATLAB

Gambar 2.11 menunjukkan versi MATLAB yang digunakan dalam pengolahan data pada penelitian ini. Pengguna MATLAB dapat memulai dengan menulis *script* di Editor atau langsung mengetikkan perintah di Command Window. MATLAB menyediakan berbagai alat dan fungsi untuk mendukung analisis data dan visualisasi, membuatnya sangat fleksibel untuk berbagai aplikasi. Keunggulan MATLAB yaitu antarmuka yang mudah digunakan, library yang luas dan visualisasi yang kuat. Namun, salah satu keterbatasannya adalah biaya lisensi yang relatif mahal dibandingkan dengan perangkat lunak lainnya seperti Python (Ozgur *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung pada bulan Mei 2023 hingga Juni 2024. Selain itu, pengambilan data juga dilakukan di lapangan bulutangkis Adira pada bulan Mei 2024.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Alat -alat Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Laptop	Digunakan untuk membuat dan mendesain GUI sebagai tampilan sinyal EMG
2	<i>Software Arduino IDE</i>	Digunakan untuk pemrograman yang akan di upload ke Arduino Uno
3	<i>SketchUp</i>	Digunakan untuk membuat model 3D dari rangkaian dan komponen untuk perencanaan dan visualisasi.
4	<i>Software Visual Studio Code</i>	Digunakan untuk membuat <i>graphical user interfaces</i> (GUI) dan mengimplementasikan algoritma FFT serta analisis kelelahan otot
5	Tang Potong	Digunakan untuk memotong kabel yang digunakan pada rangkaian
6	<i>Microsoft Excel</i>	Digunakan untuk pengolahan data awal sebelum ke program Python

No	Nama Alat	Fungsi
7	<i>Fritzing</i>	Digunakan untuk membuat desain rangkaian yang akan dirancang..
8	Kabel USB	Untuk mentransmisikan dan mengupload program dari laptop ke Arduino Uno.

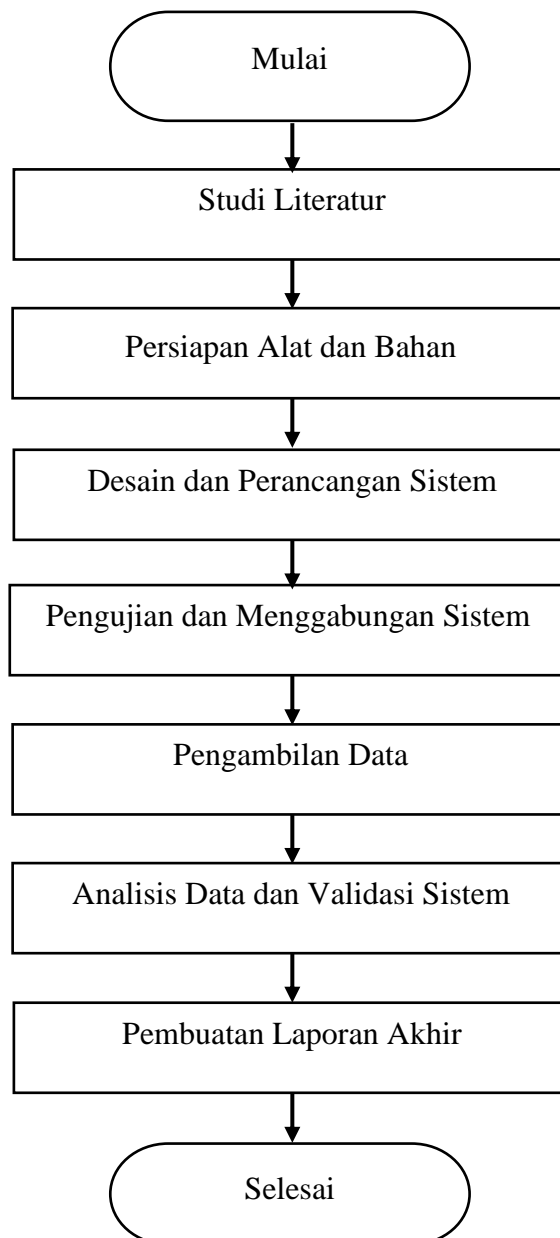
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian

No.	Nama Alat dan Bahan	Fungsi
1	<i>Muscle Sensor V3</i>	Digunakan untuk penguat dan deteksi sinyal elektromiografi.
2	Baterai 9V	Digunakan untuk penambah sumber tegangan listrik
3	Pad Elektroda	Ditempelkan pada kulit untuk menangkap sinyal otot
4	Kabel Jumper	Digunakan sebagai penghubung dari satu komponen ke komponen lainnya.
5	Arduino Uno	Digunakan sebagai mikrokontroler yang berfungsi untuk membaca sinyal dari sensor

3.3 Prosedur Penelitian

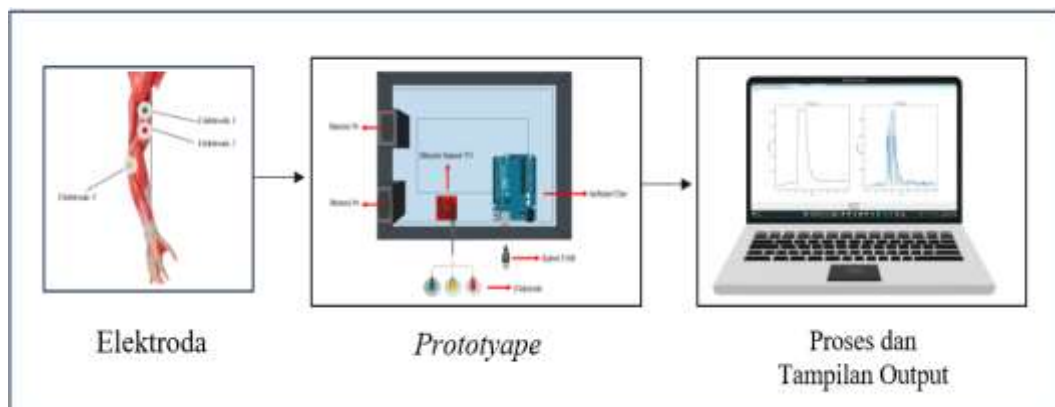
Pada penelitian ini penulis akan merealisasikan perancangan dalam tiga tahapan pembuatan mulai dari perancangan alat deteksi hingga tampilan sinyal pada *graphical user interfaces* (GUI). Pertama, mencari literatur yang berhubungan dengan deteksi sinyal otot dan pemrograman untuk membuat GUI. Kedua membuat prototipe, yaitu membuat rancangan sistem meliputi perancangan rangkaian (*hardware*), serta membuat program GUI (*software*). Ketiga, pengujian prototipe dan menganalisis keberhasilan dari *prototype* yang telah dibuat. Adapun diagram alir penelitian mengenai deteksi sinyal elektromiografi ditunjukkan pada **Gambar 3.1** berikut adalah diagram alir penelitian.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Desain dan Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem deteksi sinyal elektromiografi terbagi menjadi dua yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*) sistem identifikasi tingkat kelelahan. Adapun perancangan dan desain sistem deteksi sinyal elektromiografi ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



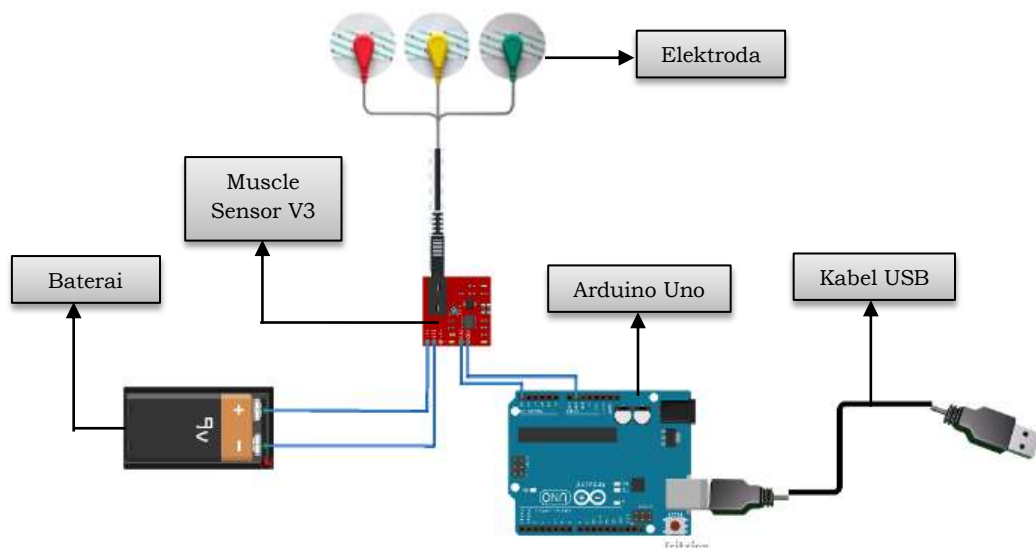
Gambar 3.2 Diagram Blok deteksi sinyal elektromiografi

Gambar 3.2 menunjukkan rancangan desain keseluruhan alat deteksi sinyal elektromiografi. Dalam penelitian ini deteksi sinyal akan dirancang untuk mendeteksi pada otot lengan manusia sebagai sampel untuk pengujian. Pengambilan sampel dilakukan dengan memasang tiga elektroda pada lengan. Elektroda hijau ditempelkan pada bagian tengah otot yang akan diukur, elektroda merah ditempelkan pada bagian ujung otot, dan elektroda kuning sebagai elektroda referensi atau *ground*. Penempatan elektroda ini penting untuk memastikan bahwa sinyal yang diambil mewakili aktivitas otot secara akurat, serta untuk mengurangi gangguan dari noise. Sistem ini berfungsi untuk mendeteksi gerakan dan aktivitas otot berdasarkan sinyal yang dihasilkan oleh *Muscle Sensor V3*. Sensor tersebut akan mengambil data berupa beda potensial saat otot berkontraksi. Data yang diambil selanjutnya diolah oleh Arduino, yang berfungsi dalam memproses sinyal listrik yang diterima dan mengirimkannya ke komputer atau PC.

Setelah data diproses, sinyal akan ditampilkan pada serial plotter dan serial monitor untuk memeriksa kesesuaian hasilnya. Setelah data sesuai, sinyal akan dikirimkan ke program Python untuk ditampilkan pada GUI yang dirancang menggunakan bahasa pemrograman Python. Sebelum dimasukkan ke dalam program Python, data awal dari Arduino IDE diambil dan diolah di *Microsoft Excel* sebagai batasan untuk menentukan tingkat kelelahan otot. Hasil pengolahan ini kemudian digunakan dalam program Python untuk melakukan deteksi lebih lanjut, sehingga sistem dapat memberikan informasi mengenai kondisi kelelahan otot yang terkini melalui tampilan di GUI.

3.4.1 Perancangan Perangkat Keras

Tahap perancangan perangkat keras (*hardware*) dilakukan untuk mengetahui komponen dan rancangan yang akan dibuat untuk sistem deteksi sinyal otot. Perangkat keras (*hardware*) terdiri dari beberapa komponen, antara lain sensor, Arduino Uno, elektroda, dan baterai. Pada penelitian ini sensor yang dimanfaatkan adalah *Muscle Sensor V3* untuk mendeteksi sinyal elektromiografi. Sedangkan, mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno. Adapun sketsa rangkaian dibuat dengan memperhatikan *wiring* di setiap komponen ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Alat

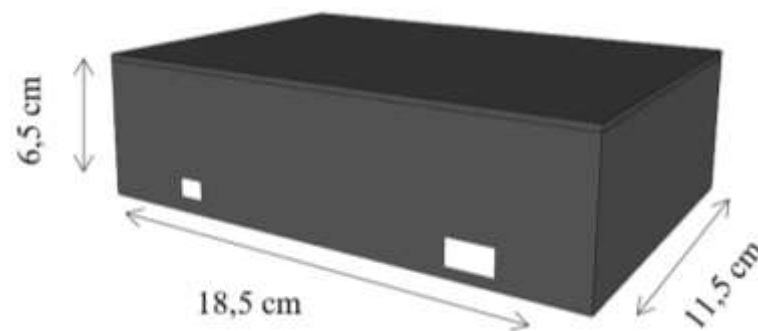
Dapat dilihat pada tabel berikut pin *Muscle Sensor V3* yang digunakan pada rangkaian tersebut.

Tabel 3.3 Pin-pin *Muscle Sensor V3* yang digunakan

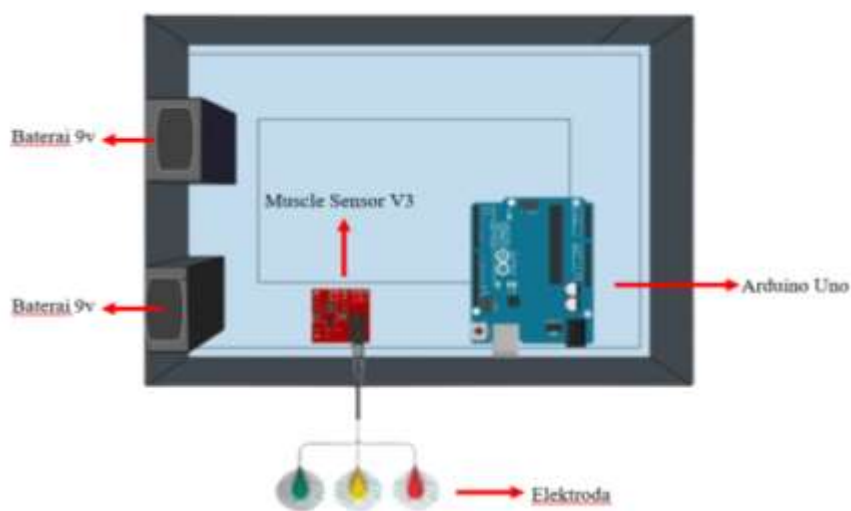
Pin	Koneksi	Fungsi
-vs	Baterai bermuatan negatif (-)	Memberikan tegangan negatif dari baterai ke sensor
GND	<i>Ground</i>	Menghubungkan <i>ground</i> dari baterai ke sensor untuk menyesuaikan rangkaian

Pin	Koneksi	Fungsi
+vs	Baterai bermuatan positif (+)	Memberikan tegangan positif dari baterai ke sensor
SIG	Pin A5 Arduino Uno	Mengirimkan sinyal EMG yang telah diperkuat dan difilter ke Arduino
GND	GND Arduino Uno	Menghubungkan ground dari arduino ke sensor untuk menyelesaikan rangkaian.

Pada perancangan perangkat keras deteksi sinyal elektromiografi ini dapat dilihat perancangan visualisasi bagian luar dan bagian dalam dari penelitian ini tersedia dalam **Gambar 3.4 (a)** dan **Gambar 3.4 (b)**



(a)



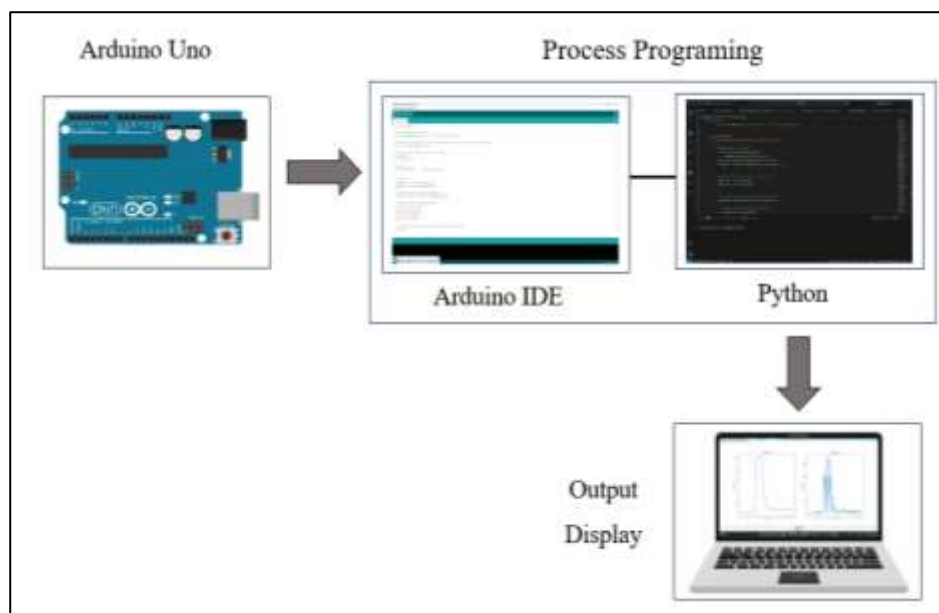
(b)

Gambar 3.4 Desain sistem deteksi (a) Tampak Luar (b) Tampak Dalam

Gambar 3.4 (a) dan **Gambar 3.4 (b)** menunjukkan desain *prototype* alat yang dibuat dengan ukuran panjang 18,5cm, lebar 11,5cm dan tinggi 6,5cm. Pada tampilan samping, terdapat kabel elektroda yang terhubung dengan sensor dan elektroda yang akan ditempel pada kulit yang akan dideteksi. Selain itu, terdapat juga kabel USB yang terhubung antara Arduino Uno dan laptop.

3.4.2 Perancangan perangkat lunak

Berikut merupakan perancangan sistem deteksi yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.

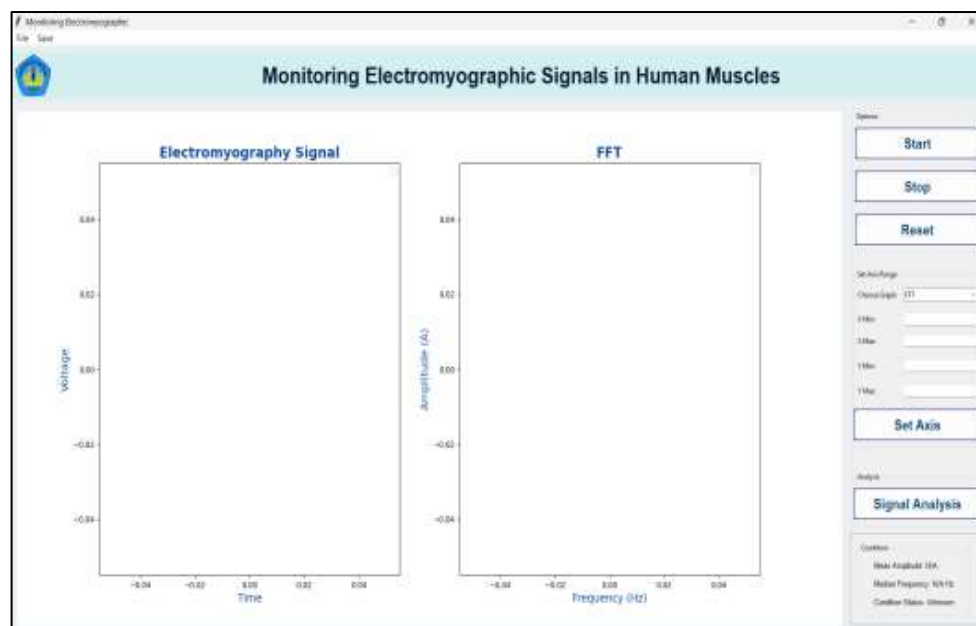


Gambar 3.5 Rancangan *Software*

Program deteksi sinyal elektromiografi pada Arduino Uno dibuat menggunakan arduino IDE. Program ini berfungsi untuk menjalankan fungsi dari *Muscle Sensor V3* yang sudah tersambung dengan elektroda yang ditempelkan pada kulit. Arduino memiliki beberapa pin, namun pada penelitian ini 2 pin yang akan digunakan, tersambung dengan *Muscle Sensor V3* yaitu pin A5 yang dihubungkan dengan pin SIG dan ground pada Arduino Uno yang disambungkan dengan pin *ground* pada *Muscle Sensor V3*. Sinyal masukan yang diterima oleh Arduino Uno dan dikirimkan ke arduino IDE.

Pada tahap perancangan perangkat lunak, GUI (*Graphical User Interface*) dirancang untuk memudahkan pemantauan sinyal elektromiografi (EMG) secara lebih jelas, sehingga hasil analisis dapat dilakukan dengan lebih efektif. Tampilan sinyal EMG dibuat menggunakan aplikasi *Visual Studio Code* dengan bahasa pemrograman Python, yang memanfaatkan pustaka Tkinter. Tkinter adalah modul bawaan Python yang memungkinkan pembuatan tampilan antarmuka grafis secara langsung dan telah terintegrasi dalam instalasi Python. Tkinter sangat cocok digunakan dalam proyek ini untuk membuat GUI karena fleksibilitas dan kemudahannya dalam menampilkan data *real-time*. Sebelum mengimplementasi GUI, perangkat keras diprogram terlebih dahulu menggunakan arduino IDE.

Pada tahap ini, arduino berfungsi untuk mendeteksi sinyal dari *Muscle Sensor V3* dan mengirimkan data sinyal EMG ke komputer melalui komunikasi serial. Kemudian menentukan batasan kelelahan yang berguna untuk menentukan ambang batas kelelahan pada setiap subjek. Setelah batasan nilai kelelahan diketahui, sinyal yang dikirimkan oleh Arduino akan diteruskan ke *software Visual Studio Code*, di mana pemrograman GUI dibuat menggunakan Python dan Tkinter. GUI ini dirancang untuk menampilkan sinyal EMG secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau aktivitas otot yang sedang diukur.



Gambar 3. 6 Desain *interface* deteksi sinyal elektromiografi

Pada **Gambar 3.6** merupakan rancangan tampilan desain interface deteksi sinyal EMG yang akan dibuat untuk memvisualisasikan data EMG dengan dua grafik utama. Kolom grafik pertama (*Electromyography Signal*) menampilkan sinyal EMG yang terdeteksi secara *real-time*. Sinyal ini merepresentasikan aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot selama berkontraksi dan relaksasi. Pengguna dapat melihat perubahan sinyal secara langsung dari grafik ini. Sedangkan, kolom grafik kedua (FFT) menampilkan hasil dari *Fast Fourier Transform* (FFT), yang mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Analisis ini sangat berguna untuk mengidentifikasi frekuensi utama dalam sinyal EMG, yang dapat membantu dalam mendeteksi kondisi otot dan aktivitas spesifik.

Selain itu, di sisi kanan antarmuka terdapat *control panel* yang berisi beberapa komponen penting yaitu, menu bar, tombol kendali (*start, stop, reset*), kolom pengaturan sumbu (*set axis range*), dan tombol *signal analysis*. Pada menu Bar pada GUI ini menyediakan opsi File untuk menyimpan data, *Options* untuk pengaturan tambahan, *Save* untuk menyimpan hasil pengukuran atau grafik, dan *Analysis* untuk memulai analisis sinyal. Tombol *Start, Stop, Reset* berfungsi mengontrol aliran data: *Start* memulai pengambilan data *real-time*, *Stop* menghentikannya sementara dan menghentikan total, dan *Reset* menghapus data di grafik. Fitur *Set Axis Range* memungkinkan pengguna menyesuaikan skala sumbu X dan Y pada grafik FFT, sementara tombol *Signal Analysis* digunakan untuk memulai analisis sinyal EMG dengan membandingkan data terhadap batas kelelahan yang telah ditentukan.

Pada bagian ujung bawah GUI terdapat Status bar yang berfungsi memberikan informasi penting terkait status kondisi otot. Desain ini dirancang agar dapat mempermudah pemantauan aktivitas otot melalui sinyal EMG yang di tampilan secara *real-time*, serta melakukan analisis frekuensi sinyal melalui FFT untuk mendeteksi kelelahan otot atau pola aktivitas tertentu. Tampilan GUI ini memungkinkan sistem untuk dioperasikan dengan lebih efektif dan efisien, mendukung penelitian atau aplikasi medis yang memerlukan deteksi aktivitas otot.

3.5 Pengujian Alat

Alat yang telah dirancang perlu diuji terlebih dahulu untuk memastikan sistem sesuai dengan perencanaan. Metode pengujian yang digunakan adalah dengan menguji sistem rangkaian dan secara keseluruhan. Pemeriksaan meliputi:

3.5.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk memastikan bahwa *Muscle Sensor V3* bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor dalam mendeteksi sinyal elektromiografi (EMG) pada otot lengan. Pengujian dilakukan pada lengan dengan variasi gerakan tangan yang berbeda. Sensor diharapkan mampu membaca sinyal otot lengan dengan akurat dan menampilkan hasilnya pada GUI secara *real-time*.

Proses pengujian dimulai dengan memastikan seluruh perangkat keras, termasuk sensor dan mikrokontroler, terhubung dengan benar sesuai rangkaian yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3**. Pastikan perangkat lunak Arduino IDE sudah terinstal, dan mikrokontroler telah tersambung ke laptop. Elektroda dipasang pada lengan subjek sesuai dengan diagram pada **Gambar 3.2**. Setelah memastikan semua komponen tersambung dengan baik, kode sumber untuk pembacaan sensor diunggah ke mikrokontroler dan Serial Monitor dibuka untuk menampilkan data.

Selanjutnya, pengujian dilakukan pada tiga posisi tangan yang berbeda yaitu lurus, menekuk, dan menggenggam. Setiap posisi diuji selama tiga menit tanpa perubahan posisi, dan perubahan sinyal pada serial monitor dicatat. Prosedur ini diulang untuk setiap posisi tangan. Setelah data pengujian diperoleh, tabel hasil pengukuran sensor akan disajikan untuk menampilkan perbandingan kinerja sensor di berbagai posisi tangan. Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sinyal EMG dari prototipe dengan data dari studi atau standar sebelumnya yang sudah dilakukan. Pengujian ini dilakukan pada satu subjek dengan tiga variasi gerakan. Hal ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan deteksi perbedaan sinyal secara akurat.

Tabel 3. 4 Hasil Deteksi Sinyal Elektromiografi terhadap Gerak Tangan

Kondisi	Nilai Tegangan Rata-Rata (V)
Lurus	
Menekuk	
Menggenggam	

Tabel 3.4 menunjukkan perubahan rata-rata deteksi sinyal terhadap tiga variasi posisi tangan. Pengambilan data selanjutnya dilakukan untuk menentukan batasan tingkat kelelahan yang nantinya akan dimasukkan ke dalam pemrograman Python untuk membuat GUI. GUI ini akan menampilkan status kelelahan saat mendeteksi sinyal EMG dengan menekan tombol proses analisis. Batasan ini dibuat berdasarkan data dari 10 subjek, yaitu campuran antara subjek laki-laki dan subjek perempuan, dengan rentang usia 15-24 tahun. Pengambilan data sebagai batas kelelahan dilakukan sebanyak dua kali pada setiap subjek, yaitu pada saat subjek dalam keadaan rileks (sebelum bermain bulu tangkis) dan keadaan setelah bermain bulu tangkis selama 30 menit. Prosedur pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Memastikan tangan dalam kondisi kering agar elektroda dapat terpasang dengan baik.
2. Membersihkan kulit area otot biceps, kemudian menempelkan dua elektroda pada area tersebut dan satu elektroda pada belakang siku.
3. Pastikan perangkat keras sudah tersambung dengan baik, kemudian sambungkan port Arduino ke komputer/PC. Membuka tampilan serial monitor pada *software* Arduino IDE untuk melihat nilai keluaran dari hasil rekaman sensor.
4. Melakukan gerakan lengan naik turun (kontraksi dan relaksasi) selama kurang lebih 3 menit. Nilai yang tampil pada serial monitor kemudian disalin ke dalam *Microsoft Excel*.
5. Hitung nilai yang telah disalin ke dalam *Microsoft Excel* untuk memperoleh nilai rata-rata dari setiap subjek. **Tabel 3.5** menampilkan hasil rata-rata nilai yang telah dihitung untuk setiap subjek. Selanjutnya, hitung rata-rata dari data

yang diperoleh dari 10 subjek. Nilai rata-rata ini akan digunakan sebagai batasan untuk memasukkan nilai ke dalam program GUI yang telah dirancang.

Tabel 3. 5 Hasil pengukuran deteksi sinyal elektromiografi

No	Gender	Umur	BB (Kg)	TB (Cm)	Nilai Tegangan Sebelum aktivitas (V)	Nilai Tegangan Setelah aktivitas (V)
1						
2						
3						
...						
...						
8						
9						
10						

Data yang sudah dihitung pada tabel **Tabel 3.5** digunakan untuk menentukan nilai batas kelelahan yang dimasukkan ke dalam program Python yang akan dirancang menjadi GUI. Nilai rata-rata deteksi sinyal EMG dari seluruh subjek ini akan menjadi acuan untuk menampilkan status kelelahan otot. Saat sinyal EMG mencapai atau melebihi batas kelelahan, GUI akan otomatis menunjukkan indikator kelelahan.

3.5.2 Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian pada perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan program yang sama dengan pengujian pada perangkat keras. Namun, pada pengujian ini pengambilan data menggunakan tambahan pencatatan respon subjektif mengenai kelelahan yang dialami oleh subjek. Pengujian ini melibatkan 6 subjek, terdiri dari 3 perempuan dan 3 laki-laki dengan usia antara 17-24 tahun. Penelitian ini dilakukan dua kali, yaitu sebelum dan sesudah bermain bulu tangkis. Hasil perekaman ditampilkan dalam **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7**.

Tabel 3. 6 Hasil Pengujian Sensor Sebelum bermain bulu tangkis

Sampel	Status kelelahan responden	Status kelelahan hasil deteksi	Keterangan
Perempuan			
Perempuan			
Perempuan			
Laki-laki			
Laki-laki			
Laki-laki			

Tabel 3. 7 Hasil Pengujian Sensor Sesudah bermain bulu tangkis

Sampel	Status kelelahan responden	Status kelelahan hasil deteksi	Keterangan
Perempuan			
Perempuan			
Perempuan			
Laki-laki			
Laki-laki			
Laki-laki			

Berdasarkan tabel diatas, status kelelahan hasil deteksi diperoleh dari nilai yang sudah diatur dalam pemrograman. Batasan ini berasal dari pengambilan data pada perangkat keras dan digunakan sebagai patokan tingkat kelelahan pada data di tabel tersebut. Status kelelahan pada subjek merupakan hasil wawancara penulis kepada responden terkait kondisi mereka saat pengambilan data.

Jika hasil status kelelahan hasil deteksi sesuai dengan status kelelahan responden, keterangan akan ditulis sebagai "Benar". Sebaliknya, jika tidak sesuai, keterangan akan ditulis "Salah." Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesalahan dalam pendeteksian. Respon dari subjek dikumpulkan selama pengambilan data, baik sebelum maupun sesudah bermain bulu tangkis, untuk menilai keakuratan deteksi dan mengevaluasi sistem deteksi yang dirancang.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa.

1. Sistem pendeteksi kelelahan otot berbasis *Muscle Sensor V3* dan Arduino Uno telah berhasil dikembangkan untuk merekam dan menganalisis sinyal EMG secara *real-time* melalui GUI berbasis Python.
2. Perangkat berhasil membedakan tingkat kontraksi otot berdasarkan posisi tangan (lurus, menekuk, menggenggam). Selain itu, tegangan sinyal EMG menunjukkan peningkatan setelah aktivitas fisik, dengan rentang tegangan sebelum aktivitas fisik 0,19 V – 2,05 V dan setelah aktivitas fisik 0,23 V – 2,7 V yang mencerminkan perubahan kondisi otot.
3. Sistem ini berhasil menganalisis dan menampilkan sinyal EMG secara *real-time*. Peningkatan amplitudo sinyal setelah aktivitas fisik menunjukkan perubahan yang signifikan, yang mengindikasikan adanya kelelahan otot. Hal ini memungkinkan deteksi kelelahan otot secara lebih efisien. Selain itu, sistem ini dapat mendukung program latihan atau rehabilitasi atlet dengan meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi otot dan membantu pengambilan keputusan untuk mengurangi resiko cedera.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan akurasi deteksi sinyal EMG, disarankan untuk menambah jumlah sampel agar hasil pengukuran lebih akurat, terutama saat mengukur aktivitas fisik. Penggunaan elektroda berkualitas tinggi dan penempelan yang tepat juga sangat penting. Selain itu, sistem perlu dikembangkan agar lebih responsif terhadap variasi gerakan, serta memperbaiki algoritma pemrosesan sinyal untuk hasil yang

lebih optimal. Melakukan evaluasi pada berbagai kelompok usia dan jenis kelamin juga diperlukan untuk memastikan sistem bekerja dengan baik di berbagai kondisi. Sistem ini juga dapat diterapkan di lingkungan kerja dengan aktivitas fisik berat, seperti untuk memantau kelelahan pada atlet atau pekerja lapangan, serta memberikan pelatihan bagi pengguna. Untuk memudahkan penggunaan, sistem dapat dikembangkan menjadi aplikasi berbasis IoT atau website yang lebih mudah digunakan, sehingga dapat diterapkan secara praktis dalam kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abyanto, F. T., dan Setiawan, F. B. (2019). *Deteksi Kejenuhan Seluruh Otot Manusia menggunakan Sensor Emg Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*. 69–74.
- Aisyah, N. (2021). Kondisi Fisik Olahraga Bulutangkis. *Jurnal Ilmiah Sport Coaching and Education*, 5(1), 47–54.
- Aprilia, A., dan Sollu, T. S. (2021). Sistem Monitoring *Real-time* Detak Jantung dan Kadar Oksigen Dalam Darah Pada Manusia Berbasis Iot (Internet of Things). *Foristek*, 10(2), 95–103.
- Arduino. (2023). Arduino IDE. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>. Diakses pada 02 Januari 2023 pukul 20.00 WIB.
- Basmajian, J. V., & De Luca, C. J. (1985). *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Williams & Wilkins.
- Bracewell, R. N. (2000). *The Fourier Transform and Its Applications*. Stanford University.
- Criswell, E. (2011). *Cram's Introduction to Surface Electromyography*. Jones & Bartlett Learning.
- Davies, K. 2007. *Buku Pintar Nyeri Tulang dan Otot*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Duhe, E. D. P. (2020). Latihan Fisik Untuk Kekuatan Dan Daya Tahan Olahraga Voli Physical Exercise For Power And Endurance Volleyball Sport. *Jambura Journal of Sports Coaching*, 2(1), 18–20.
- De Luca, C. J. (2002). *Surface Electromyography: Detection and Recording*. DelSys Incorporated.
- Fahmi, N. A., Widodo, A., Kholis, N., & Baskoro, F. (2021). Rancang Bangun Elektromiograf untuk Identifikasi Gerakan Otot Bisep. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(3), 609–618.

- Faradisa, I. S., & Noortyas, P. (2015). *Deteksi Sinyal Elektromyogram (EMG) Saat Kontraksi Dan Relaksasi Dengan Personal Komputer*. 428–436.
- Fernando, F., & Setiawan, F. B. (2019). *Pengukuran Kekuatan Kontraksi Otot Pada Bagian Torso Tubuh Menggunakan Sensor Elektromiografi*. 75–84. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.12>
- Firdaus, S., & Adriana, M. (2016). Pengembangan Sistem Deteksi Kelelahan Pada Pengemudi Mobil Berbasis Sinyal Electromyography (Emg). *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 3(1), 18. <https://doi.org/10.34128/je.v3i1.11>
- Gunawan, H. Y., & Setiawan, F. B. (2019). *Perancangan Penampil Grafik Sinyal Ketegangan Otot Perut dengan menggunakan Sensor Elektromiografi*. 10– 11.
- Innah, M., Muhammad Khidri Alwi, Fatmah Afrianty Gobel, & Abbas, H. H. (2021). Faktor yang Berhubungan dengan Kelelahan Kerja pada Penjahit Pasar Sentral Bulukumba. *Window of Public Health Journal*, 01(05), 471–481. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i5.160>
- Ivan, V., & Wahab, F. (2020). Pendeteksian Sinyal Otot Lengan Manusia Menggunakan Sensor Otot EMG Berbasis Arduino Uno. *Prosiding SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, 76–80.
- Jati, B., M., E. (2023). *Pengantar Fisika Kedokteran 2: Biolistrik, Biomagnetik, Biooptika, Radiasi Nuklir, Teknologi Sinar-X, dan MRI*. UGM Press. Yogyakarta.
- Justitian, R., Apsari, R., & Agrisghara, F. C. S. (2012). Rancang Bangun Elektromiograf Berbasis Personal Computer. *Skripsi Program Studi S1 Teknobiomedik Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya*.
- Kholis, N. (2006). Generator Sinyal Electromyographic Dengan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform. *Semesta Teknika*, 9(2), 146–161
- Konrad, P. (2005). *The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. Noraxon Inc. USA.
- Lestari, D., & Yuniarti, E. (2021). *InfoTekJar : Jurnal Nasional Analisis Aktifitas Otot dengan Elektroda Ag / AgCL Menggunakan Labview 2015. March 2019*. <https://doi.org/10.30743/infotekjar.v3i2.1066>
- Lukar, T. Y. H. ., & Setiawan, F. B. (2019). *Deteksi Sinyal Otot Manusia Pada Android Menggunakan Sensor Elektromiografi Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*. 99–106. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.15>
- MathWorks. (2024). *MATLAB and Simulink User Guide*. MathWorks. <https://www.mathworks.com>. Diakses dari pada 13 Januari 2025. Pukul 19.00.

- Merletti, R., & Farina, D. (2016). *Surface Electromyography: Physiology, Engineering, and Applications*. IEEE Press.
- Muhammad Romzi, & Kurniawan, B. (2020). Pembelajaran Pemrograman Python Dengan Pendekatan Logika Algoritma. *JTIM: Jurnal Teknik Informatika Mahakarya*, 03(2), 37–44.
- Multajam, R., Sanjaya, W. S. M., Sambas, A., Subkhi, M. N., & Muttaqien, I. (2016). Desain dan Analisis Electromyography (EMG) serta Aplikasinya dalam Mendeteksi Sinyal Otot. *Al-HAZEN Jurnal of Physics*, 2(2), 37–47.
- Mursalin, A. P., Ihsan, A., & Yasriuddin, Y. (2019). *Analisis Kekuatan Otot Lengan Terhadap Kemampuan Servis Flat Atlet Tennis Lapangan Club Yuniior Soppeng*.
- Nomiyasari, ir.ratna adil, m.t., paulus susetyo w., s.t., ir. moch. rochmad, M. t. (2011). Perancangan Dan Pembuatan Model Ecg Dan Emg Dalam Satu Unit Pc. *Perancangan Dan Pembuatan Model Ecg Dan Emg Dalam Satu Unit Pc*, 1–9.
- Nursuwars, F. M. S., Fathurrohman, F., Awaludin, F., & Sarah, A. (2020). Narrative Review: Electromyography sebagai Pengendali Lengan Prostetik. *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal Of Innovation Technology)*, 1(2), 31–35.
- Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (1999). *Discrete-Time Signal Processing*. Pearson Education,
- Ozgur, C., Colliau, T., Rogers, G., & Hughes, Z. (2021). MatLab vs. Python vs. R. *Journal of Data Science*, 15(3), 355–372. 1
- Pamungkas, D. S., Kurniawan, S. R., & Prasetyo, E. (2019). *Kendali Jari Robot Dengan Electromyography*. 18(2), 159–168.
- Parwata, I. M. Y. (2015). Kelelahan dan Recovery dalam Olahraga. *Pendidikan Kesehatan Rekreasi*, 1(2337–9561), 2–13.
- Polii, A. P., Fitriyah, H., & Arwani, I. (2019). *Implementasi K-Nearest Neighbor untuk Klasifikasi Ekspresi Wajah Berdasarkan Data Muscle Sensor dan Berbasis Arduino* (Vol. 3, Nomor 2). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Pranata, D. (2022). Pengaruh Olahraga Dan Model Latihan Fisik Terhadap Kebugaran Jasmani Remaja. *Jurnal Kesehatan Olahraga*, 10, 107–116.
- Pujotomo, I. (2016). Proses Listrik Dalam Tubuh Manusia. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 8 NO.1, JAN(2016), 20–24.
- Qayyum Mundial, I., Shahzad Alam Khan, M., Asif, M., Saheen, F., Ali, Y., Ali, I., Hussain Phul, A., Sultan, S., Rehman, F., & Khairpur Mirs, K. (2022). The Real-time monitoring of muscle fatigue using Surface Electromyography

- (sEMG). *International Journal of Information Technology and Language Studies (IJITLS)*, 6(2), 17–25. <http://journals.sfu.ca/ijitls>
- Raharjo, A. B., Fatukhurrozi, B., & Nawawi, I. (2020). Analisis sinyal electromyography (emg) pada otot biceps brachii untuk mendeteksi kelelahan otot dengan metode median frekuensi. *Journal of Electrical Engineering, Computer and Information Technology*, 1(1), 1–5.
- Rahmawati, A., Amalianah, R., & Sutangi. (2022). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Terhadap Kelelahan Kerja Pada Pekerja Pengisian Air Minum Dalam Kemasan Di PT Bharata Sakti Persada Indramayu Tahun 2021. *Afiasi : Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(2), 288–292.
- Rao, K., Kim, D. N., Hwang, J. J. (2011). *Fast Fourier Transform: Algorithms and Applications*. Springer.
- Reaz, M. B. I., Hussain, M. S., & Mohd-Yasin, F. (2006). Techniques of EMG signal analysis: Detection, processing, classification and applications. *Biological Procedures Online*, 8(1), 11–35. <https://doi.org/10.1251/bpo115>
- Soetomo, (2013). *Petunjuk Praktis Elektrodiagnostik*. Airlangga Universitas Press. Surabaya.
- Satyanegara. 2014. *Ilmu Bedah Saraf Edisi V*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Strong, P. 1973. *Biophysical Measurements*. Tektronix, Inc. Universitas Michigan.
- Sulistyawati, I. N., & Kholis, N. (2018). Rancang Bangun Elektromiograf (Emg) Berbasis Mikrokontroler Untuk Mendeteksi Cedera Otot Pada Pergelangan Kaki (Ankle). *Jurnal Teknik Elektro, VIII*, 557–562.
- Syaifuddin. 2002. *Anatomi Fisiologi*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Technologies, A., 2013. *Three-lead Differential Muscle/Electromyography Sensor for Advancer Technologies*. Diakses pada 02 Januari 2023 pukul 20.00 WIB.
- Taufiqurrahman, M dan Hidayat, T. (2016). Perbandingan Tingkat Kebugaran Jasmani Antara Kelas XI IPA dan Kelas XI IPS Sekolah MAN 2 Gresik. *Jurnal Pendidikan Olahraga*, 2003, 669–673.
- Tinungki, Y., L. (2023). *Buku Ajar Ilmu Biomedik Dasar*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Yulhanapis, A. (2021). Rancang Bangun dan Analisis Elektromiografi dengan menggunakan Elektroda Ag| AgCl. *Repository.Uinjkt.Ac.Id*.
- Zaeni, I., A., E. (2021). *Dasar-Dasar Elektronika Medik*. Ahlimedia Book.