

ID: 13

Purwarupa EMG untuk Kuantisasi Aktivitas Otot *Trapezius*

EMG Based Prototype for Quantification of Trapezius Muscle Activation

Chika Ayu Pramesti¹, Dodi Zulherman², Mas Aly Afandi³

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Biomedis Kampus Banyumas, Universitas Telkom

³Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Kampus Banyumas, Universitas Telkom

Jl. DI Panjaitan No.128 Purwokerto, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641 629

chikaayupramesti@student.telkomuniversity.ac.id¹, zulherman@telkomuniversity.ac.id²,
alyafandi@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak – Kelelahan otot (*fatigue*) pada otot trapezius sering kali tidak terukur secara objektif, sehingga efektivitas terapi sulit dievaluasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem alat ukur kelelahan otot yang terintegrasi dengan terapi otot trapezius menggunakan sensor elektromiografi (EMG). Subjek penelitian adalah seorang wanita berusia 21 tahun dalam kondisi sehat tanpa kelainan otot, yang menjadi objek pengujian aktivitas otot trapezius. Sistem dirancang menggunakan sensor EMG untuk mendeteksi sinyal aktivitas listrik otot, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan secara real-time melalui antarmuka Arduino IDE. Penelitian dilakukan dengan dua kondisi utama, yaitu relaksasi dan kontraksi otot, guna membandingkan perbedaan amplitudo sinyal yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 30 kali percobaan, diperoleh nilai rata-rata sebesar 134 mV pada kondisi relaksasi dan 650 mV pada kondisi kontraksi. Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan aktivitas otot secara objektif dan akurat. Hasil tersebut membuktikan bahwa alat bekerja secara stabil dan efektif dalam merekam sinyal EMG, sehingga dapat digunakan sebagai perangkat bantu analisis kelelahan otot yang praktis, terjangkau, dan mendukung pemantauan terapi otot trapezius secara real-time.

Kata Kunci: emg, kelelahan otot, terapi otot trapezius, esp32, alat ukur, magnetic cervical veterbra.

Abstract – Muscle fatigue in the trapezius muscle is often not objectively measurable, making the effectiveness of therapy difficult to evaluate. This study aims to design and test a muscle fatigue measurement system integrated with trapezius muscle therapy using a electromyography (EMG) sensors. The research subject is a 21-year-old healthy woman without muscle abnormalities, who serves as the test subject for trapezius muscle activity. The system is designed using EMG sensors to detect electrical activity signals from the muscles, which are then processed by an ESP32 microcontroller and displayed in real-time through the Arduino IDE interface. The study was conducted under two main conditions, namely relaxation and muscle contraction, to compare the differences in the amplitude of the generated signals. Based on the results of 30 experimental trials, an average value of 134 mV was obtained under relaxation conditions and 650 mV under contraction conditions. This significant difference indicates that the system is able to detect changes in muscle activity objectively and accurately. These results demonstrate that the device operates stably and effectively in recording EMG signals, making it suitable for use as a practical and affordable tool for muscle fatigue analysis, as well as supporting real-time monitoring of trapezius muscle therapy.

Keywords: emg, maximum Indeed, muscle fatigue, trapezius muscle therapy, ESP32, measuring device, magnetic cervical vertebrae



1. Pendahuluan

Di era digital, pola hidup manusia menuju ke arah negatif berdampak pada kesehatan muskuloskeletal, khususnya otot *trapezius* yang berperan penting dalam stabilisasi leher dan bahu. Kebiasaan duduk lama di depan komputer menyebabkan postur tubuh memburuk sehingga menimbulkan nyeri dan kelelahan otot. Data menunjukkan bahwa lebih dari 16,6% orang dewasa mengalami keluhan leher setiap tahun, dengan prevalensi nyeri leher di Indonesia mencapai 40% per tahun. Kondisi ini membuktikan bahwa otot *trapezius* merupakan salah satu otot yang rentan terhadap gangguan akibat aktivitas statis berkepanjangan [1].

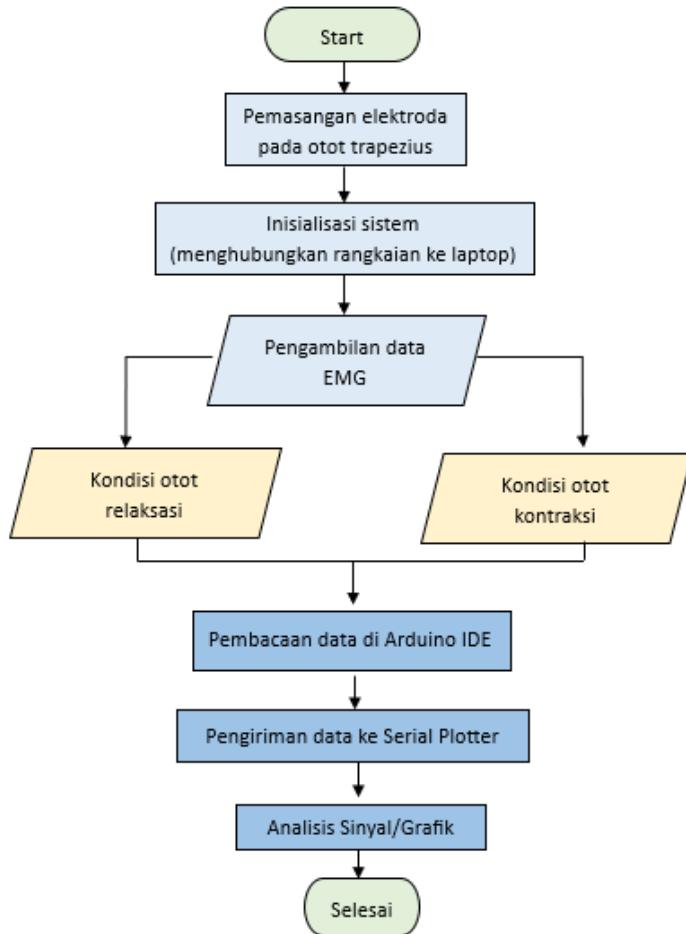
Dalam praktik fisioterapi, penilaian kelelahan otot masih bersifat subjektif berdasarkan keluhan pasien, sehingga rawan ketidakakuratan. Teknologi *elektromiografi* (EMG) dapat digunakan sebagai solusi karena mampu merekam aktivitas listrik otot dan menjadi indikator objektif kondisi kelelahan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis sinyal EMG efektif dalam mendeteksi kontraksi maupun relaksasi otot, namun perangkat EMG yang ada masih relatif mahal dan sulit diakses. Di sisi lain, terapi menggunakan *magnetic cervical veterbrata* telah digunakan untuk mengurangi ketegangan otot secara *non-invasif*, tetapi perangkat yang ada umumnya hanya berfungsi sebagai alat pijat tanpa pemantauan kondisi otot [1].

Beberapa penelitian terdahulu telah mendukung relevansi pendekatan ini. Syurrahmi et al. (2023) menunjukkan bahwa durasi mengetik berkorelasi dengan timbulnya *myofascial trigger point* pada otot *trapezius*, sehingga pemantauan aktivitas otot secara kontinu penting untuk mencegah kelelahan kronis [2]. Jayadi et al. (2023) menemukan bahwa *massage therapy* mampu mengurangi kekakuan otot *trapezius* hingga 88% responden, menandakan bahwa terapi pijat efektif dalam meredakan ketegangan otot [3]. Nabilah et al. (2020) mengembangkan sistem EMG untuk kendali *electrolarynx* dan membuktikan bahwa sinyal otot leher dapat dideteksi akurat dengan algoritma pemrosesan tertentu meski sinyalnya kecil dan rawan *noise* [4]. Halimah et al. (2024) meneliti teknik fisioterapi *ischemic compression* dan *passive stretching*, yang keduanya terbukti efektif mengurangi nyeri pada kasus *myofascial pain syndrome* otot *trapezius* [1]. Sementara itu, Abyanto et al. (2018) merancang alat deteksi kelelahan otot berbasis *Arduino UNO* dan menunjukkan perbedaan signifikan tegangan EMG antara kondisi kontraksi dan relaksasi [5]. Kajian-kajian ini menggaris bawahi tiga hal penting, bahwa aktivitas otot *trapezius* yang berlebihan dapat menimbulkan kelelahan dan nyeri, terapi pijat terbukti efektif mengurangi kekakuan otot, dan sistem berbasis sensor EMG berpotensi besar dalam mendeteksi aktivitas otot secara *real-time*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada rancangan sistem yang tidak hanya memberikan terapi, tetapi juga mengukur tingkat kelelahan otot *trapezius* secara *real-time* dengan sensor EMG dan *mikrokontroler* ESP32. Sistem ini diharapkan mampu menampilkan data sebelum dan sesudah terapi, sehingga efektivitas intervensi dapat diamati secara objektif. Rumusan masalah penelitian ini mencakup bagaimana merancang perangkat untuk mengukur kinerja otot *trapezius* secara *real-time* menggunakan sensor EMG, serta bagaimana mekanisme pengukuran dilakukan pada saat terapi dengan alat *magnetic cervical veterbrata*. Tujuan penelitian adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan aktivitas otot *trapezius* bagian atas menggunakan sensor EMG yang mampu menampilkan sinyal secara *real-time* melalui antarmuka berbasis *Arduino IDE*, guna mendukung proses observasi kondisi otot selama terapi. Mengevaluasi efektivitas terapi pijat *magnetic cervical vertebrata* terhadap kelelahan otot dengan membandingkan sinyal EMG sebelum dan sesudah terapi menggunakan pendekatan analisis statistik sederhana, untuk mengetahui adanya perubahan karakteristik aktivitas otot secara kuantitatif.

2. Metode Penelitian

2.1. Metode yang Digunakan

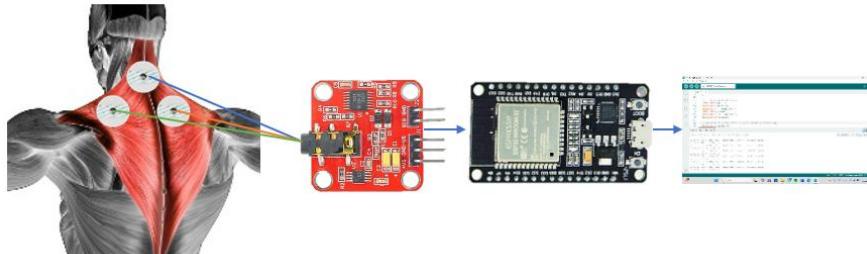


Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium untuk merancang dan menguji sistem alat ukur kelelahan otot berbasis sensor EMG. Subjek penelitian adalah seorang wanita berusia 21 tahun dalam kondisi sehat tanpa riwayat cedera pada otot leher dan bahu. Tahapan penelitian secara umum dapat dijelaskan berdasarkan diagram alir sebagai berikut. Langkah pertama adalah pemasangan elektroda pada otot *trapezius*, yaitu pada bagian proksimal dan distal otot sesuai arah serabut otot. Tujuannya untuk memperoleh sinyal aktivitas listrik otot yang akurat ketika otot dalam kondisi relaksasi maupun kontraksi. Setelah elektroda terpasang, dilakukan inisialisasi sistem, yaitu menghubungkan seluruh rangkaian alat (sensor EMG, ESP32, dan catu daya) dengan laptop yang menjalankan perangkat lunak *Arduino IDE*. Tahapan berikutnya adalah pengambilan data sinyal EMG, di mana sensor mendeteksi aktivitas listrik otot ketika subjek melakukan dua kondisi berbeda, yaitu kondisi otot relaksasi (tanpa kontraksi) dan kondisi otot kontraksi (saat otot bekerja). Sinyal yang diperoleh dari kedua kondisi ini akan menunjukkan perbedaan amplitudo tegangan yang menandakan tingkat aktivitas otot. Selanjutnya, data hasil pembacaan dikirim ke laptop melalui *Serial Monitor* pada *Arduino IDE* untuk proses pembacaan dan perekaman data. Data yang telah dikumpulkan kemudian dikirim ke *Serial Plotter*, sehingga sinyal EMG dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik waktu nyata (*Real-time*). Tahap akhir yaitu analisis sinyal atau grafik, di mana data yang diperoleh dianalisis untuk mengamati perbedaan nilai tegangan antara kondisi relaksasi dan kontraksi. Analisis ini

digunakan untuk mengevaluasi apakah sistem mampu mendeteksi perubahan aktivitas otot dengan baik, serta untuk menilai efektivitas alat dalam memantau tingkat kelelahan otot secara objektif.

2.2. Perancangan Hardware



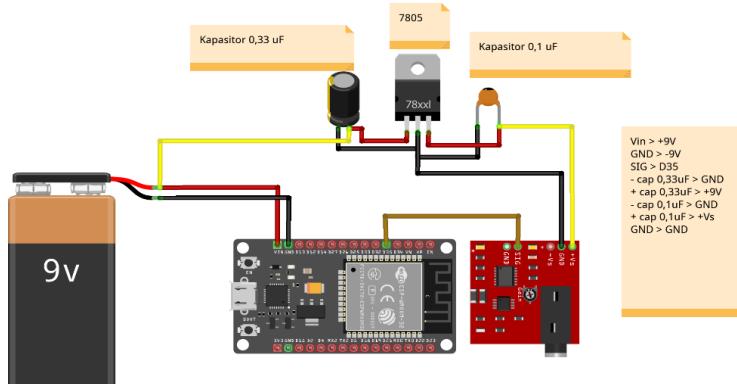
Gambar 2. Diagram Blok Perancangan *Hardware*

Diagram blok pada gambar tersebut menjelaskan alur kerja sistem pengukuran kelelahan otot *trapezius* menggunakan sensor EMG yang terintegrasi dengan *mikrokontroler* ESP32. Tahapan awal dimulai dari otot *trapezius* sebagai objek pengukuran, di mana elektroda ditempelkan pada bagian atas otot untuk menangkap sinyal bioelektrik yang dihasilkan saat otot berkontraksi maupun dalam kondisi relaksasi. Sinyal yang ditangkap ini memiliki tegangan sangat kecil dan rentan terhadap gangguan (*noise*), sehingga perlu dilewatkan ke sensor EMG. Pada bagian sensor, sinyal diperkuat melalui rangkaian penguat (*amplifier*) serta disaring dengan filter internal untuk mengurangi *noise*, sehingga menghasilkan sinyal analog yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi otot.

Setelah diperkuat, sinyal analog tersebut diteruskan ke *mikrokontroler* ESP32 melalui pin ADC (*Analog to Digital Converter*). ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sekaligus pemroses data, di mana sinyal analog diubah menjadi data digital agar dapat dianalisis lebih lanjut. *Mikrokontroler* ini juga memiliki kemampuan untuk mengelola data secara *Real-time*.

Hasil pembacaan dan pemrosesan sinyal kemudian dikirimkan ke laptop melalui koneksi serial. Pada tahap ini, *Arduino* IDE digunakan baik untuk memprogram ESP32 maupun untuk menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk angka serta grafik yang dapat diamati secara langsung. Visualisasi ini memudahkan peneliti atau pengguna dalam membandingkan kondisi otot sebelum dan sesudah terapi.

2.3. Skema Rangkaian



Gambar 3. Skema Rangkaian

Tabel 1. Sambungan Pin Antar Komponen

No	Input	Output
1.	Vin	+9V
2.	GND	-9V
3.	SIG	D35
4.	-Kapasitor 0,33 μ F	GND
5.	+Kapasitor 0,33 μ F	+9V
6.	-Kapasitor 0,1 μ F	GND
7.	+Kapasitor 0,1 μ F	+Vs
8.	GND	GND

Rangkaian di atas menunjukkan sistem yang dirancang untuk membaca sinyal otot (EMG) menggunakan sensor EMG yang terhubung dengan *mikrokontroler* ESP32, dengan sumber daya berasal dari baterai 9V. Untuk menjaga kestabilan tegangan yang digunakan dalam rangkaian, digunakan IC regulator 7805 yang berfungsi menurunkan tegangan *input* dari baterai 9V menjadi tegangan stabil sebesar 5V. Pada sisi *input* dan *output* regulator, dipasang kapasitor 0,33 μ F dan 0,1 μ F yang berfungsi sebagai filter untuk meredam *noise* serta mencegah lonjakan tegangan yang bisa mengganggu kinerja sistem.

Sensor EMG memperoleh catu daya langsung dari baterai 9V. Pin Vin dari sensor disambungkan ke +9V, sedangkan GND ke *ground* baterai. Sinyal analog dari sensor EMG yang mewakili aktivitas listrik otot dikirim melalui pin SIG ke pin analog D35 pada ESP32, yang berfungsi sebagai input ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk membaca sinyal EMG. Modul EMG ini juga dilengkapi dengan penguat sinyal (*amplifier*) dan filter internal, sehingga mampu menghasilkan sinyal yang bersih untuk dibaca oleh *mikrokontroler*. ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang membaca data dari sensor EMG dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti mengirim data secara nirkabel (misalnya melalui Wi-Fi atau *Bluetooth*). Seluruh *ground* dari rangkaian yaitu dari baterai, regulator, sensor EMG, dan ESP32 harus disatukan sebagai *common ground* agar sinyal dapat terbaca dengan benar dan tidak terjadi perbedaan potensial yang mengganggu.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2. Hasil Pengujian Kondisi Relaksasi dan Kontraksi

Percobaan	Relaksasi (mV)	Kontraksi (mV)
1	138,12	640,24
2	134,78	657,20
3	132,08	657,52
4	131,84	665,67
5	131,65	669,23
6	130,14	669,48
7	132,61	644,42
8	133,78	649,91
9	133,09	698,04
10	133,12	686,14
11	133,25	643,00
12	131,70	645,00

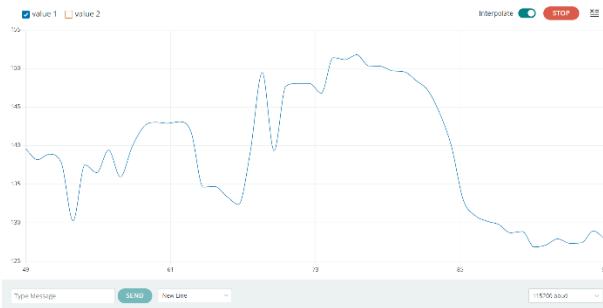
Percobaan	Relaksasi (mV)	Kontraksi (mV)
13	129,82	648,22
14	130,16	653,10
15	131,84	660,22
16	132,00	650,27
17	132,71	649,50
18	133,14	655,05
19	133,88	644,34
20	133,26	647,34
21	132,94	647,36
22	133,66	659,70
23	133,45	651,22
24	132,22	643,41
25	132,13	645,53
26	132,02	660,23
27	130,67	655,03
28	141,38	649,92
29	141,17	641,68
30	142,17	637,90



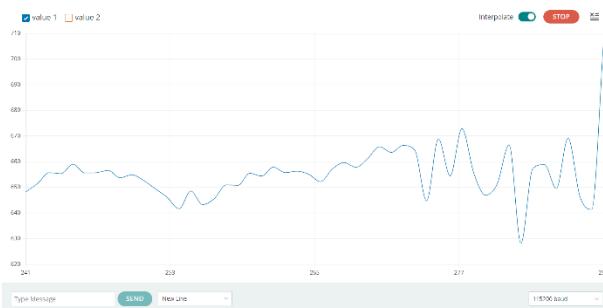
Gambar 4. Kondisi Saat Relaksasi



Gambar 5. Kondisi Saat Kontraksi



Gambar 6. Grafik Saat Kondisi Relaksasi



Gambar 7. Grafik Saat Kondisi Kontraksi

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada tabel, diperoleh data aktivitas listrik otot (EMG) pada kondisi relaksasi dan kontraksi otot *trapezius* selama 30 kali percobaan. Nilai tegangan yang dihasilkan pada kondisi relaksasi berkisar antara 129,82 mV hingga 142,17 mV, sedangkan pada kondisi kontraksi berkisar antara 637,90 mV hingga 669,29 mV. Perbedaan yang cukup signifikan antara kedua kondisi ini menunjukkan bahwa sensor EMG mampu mendeteksi perubahan aktivitas otot dengan baik. Saat otot dalam keadaan relaksasi, sinyal EMG relatif stabil dengan fluktuasi kecil, menandakan adanya aktivitas dasar otot (tonus otot) yang tetap terjadi meskipun tanpa gerakan besar. Sebaliknya, pada saat otot berkontraksi, nilai tegangan meningkat secara drastis sekitar 4 hingga 5 kali lipat dibandingkan kondisi relaksasi, menandakan adanya peningkatan jumlah serabut otot yang aktif.

Pada kondisi relaksasi, subjek berada dalam posisi duduk tegak dengan bahu rileks dan tidak memberikan tegangan pada otot *trapezius*. Elektroda di tempatkan pada bagian atas bahu sesuai posisi otot target. Nilai tegangan yang terbaca relatif kecil dan stabil, dengan fluktuasi ringan yang menunjukkan aktivitas dasar otot (tonus otot) yang masih berlangsung meskipun tanpa gerakan berarti. Sementara pada kondisi kontraksi, subjek diminta untuk mengangkat bahu atau menahan beban ringan selama beberapa detik sehingga otot *trapezius* berkontraksi. Pada kondisi ini terlihat adanya peningkatan tonus otot yang lebih tinggi, dan hasil pembacaan sinyal EMG menunjukkan lonjakan tegangan signifikan dibandingkan kondisi relaksasi. Grafik sinyal EMG pada *Arduino Serial Plotter* memperlihatkan peningkatan, menandakan bahwa sistem sensor mampu mendeteksi perbedaan aktivitas listrik otot dengan baik. Perbandingan antara kedua kondisi ini memberikan bukti visual dan numerik bahwa alat yang dirancang bekerja secara efektif dalam merekam aktivitas listrik otot. Selain itu, hasil visualisasi sinyal juga memperlihatkan pola perubahan amplitudo yang dapat digunakan untuk menganalisis tingkat kelelahan otot berdasarkan durasi dan kekuatan kontraksi.

Rata-rata nilai pada kondisi relaksasi berada di kisaran 134 mV, sedangkan pada kondisi kontraksi sekitar 650 mV. Hal ini membuktikan bahwa sistem pengukuran yang digunakan, baik sensor EMG maupun rangkaian penguatnya, bekerja secara efektif dalam merekam perubahan sinyal otot. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa sistem berbasis sensor EMG yang

dirancang dapat membedakan kondisi otot relaksasi dan kontraksi secara objektif, serta berpotensi digunakan untuk analisis tingkat kelelahan otot melalui pengukuran parameter sinyal yang lebih lanjut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa alat ukur kelelahan otot *trapezius* berbasis sensor elektromiografi (EMG) dan *mikrokontroler* ESP32 berhasil dibuat dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sensor EMG mampu mendeteksi perubahan aktivitas listrik otot secara *Real-time*, di mana terdapat perbedaan signifikan antara kondisi relaksasi dan kontraksi. Nilai tegangan rata-rata pada kondisi relaksasi berada di kisaran 134 mV, sedangkan pada kondisi kontraksi meningkat hingga sekitar 650 mV, menandakan bahwa sistem dapat membedakan aktivitas otot dengan jelas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil dan mampu menampilkan sinyal otot melalui *Serial Plotter Arduino* IDE secara visual dan akurat. Integrasi antara sensor EMG dengan perangkat magnetic cervical veterbrata juga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi terapi otot *trapezius*, karena alat tidak hanya memberikan pijatan magnetik, tetapi juga memantau kondisi otot sebelum dan sesudah terapi.

Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan sebagai alat bantu analisis kelelahan otot yang praktis, terjangkau, dan efektif dalam mendukung evaluasi terapi otot secara objektif. Untuk penelitian selanjutnya, sistem ini dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur penyimpanan data otomatis, antarmuka pengguna berbasis aplikasi, serta algoritma analisis sinyal EMG yang lebih kompleks guna mendeteksi tingkat kelelahan secara kuantitatif dan berkelanjutan.

Referensi

- [1] A. Halimah, A. Tang, N. H. Ramadhan, Y. Ramba, S. S. Leksonowati and R. Nugraha, "Ischemic Compression dan Passive Streching untuk Menurunkan Nyeri Pada Myofascial Pain Syndrome Otot Upper Trapezius," *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, vol. 15, no. 4, p. 724, 2024.
- [2] Syurrahmi, A. Rahmanti, L. Purna, P. S. Wiguna, A. Mutiara and N. K. K. D. Patrisia, "Hubungan Lama Mengetik Terhadap Terjadinya Myofascial Trigger Point Syndrome Otot Upper Trapezius Pada Pekerja Rental," *Jurnal JUFDIKES*, vol. 5, no. 1, pp. 20-26, 2023.
- [3] Jayadi, Riswandi and F. B. M. N. Ibrah, "Efektivitas Massage Musculus Trapezius terhadap Relaksasi Kekuatan Otot Punggung," *Journal of Sport Science and Physical Education*, vol. 4, no. 1, p. 46, 2023.
- [4] N. Ashriyah, T. A. Sardjono and M. Nuh, "Pengembangan Instrumentasi dan Analisis Sinyal EMG pada Otot Leher," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 1, p. 2, 2020.
- [5] F. T. Abyanto and F. B. Setiawan, "Deteksi Kejemuhan Seluruh Otot Manusia Menggunakan Sensor EMG Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO," *SNIKO*, pp. 10-11, 2018.
- [6] F. Florentinus and B. Setiawan, "Pengukuran Kkuatan Kontraksi Otot Pada Bagian Torso Tubuh Menggunakan Sensor Elektromiografi," *SNIKO*, pp. 10-11, 2018.
- [7] V. Fatmawati, "Penurunan Nyeri dan Disabilitas Dengan Integrated Neuromuscular Inhibition Techniques (INIT) dan Massage Effleurage Pada Myofascial Trigger Point Syndrome Otot Trapezius Bagian Atas," *Sport and Fitness Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 60-71, 2013.