

Rancang bangun sistem portabel pendeksi aktivitas dan kelelahan otot berbasis sensor elektromiografi

Muhammad Rizki^{1*}, Nurista Wahyu Kirana², Ervin Masita Dewi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

^{1*}muhammad.rizki.tele22@polban.ac.id, ²nurista.wahyu@polban.ac.id, ³ervinmasita@polban.ac.id

ABSTRAK

Pemantauan kondisi otot konvensional seringkali terkendala oleh perangkat yang tidak tersedia luas, sulit dioperasikan, serta tidak ergonomis untuk pemantauan berkelanjutan. Keterbatasan tersebut menyulitkan deteksi kelelahan otot secara langsung saat berolahraga dan meningkatkan risiko cedera. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sebuah sistem pemantauan aktivitas dan kelelahan otot yang portabel, efisien dalam penggunaan daya, serta mudah dioperasikan. Sistem ini dikembangkan dengan menggunakan sensor Elektromiografi (EMG) untuk mendekripsi sinyal otot. Penyajian datanya disediakan melalui layar LCD TFT. Analisis sinyal EMG dilakukan menggunakan metode penurunan amplitudo untuk mengidentifikasi terjadinya kelelahan otot pada otot lengan bawah (*forearm*). Sistem mendekripsi kelelahan otot berdasarkan penurunan amplitudo sinyal EMG dan telah diuji dengan akurasi deteksi kelelahan sebesar 83,3%, serta tingkat kesesuaian yang tinggi dengan persepsi subjektif subjek terhadap kelelahan, yang membuktikan efektivitas sistem ini sebagai solusi dalam meminimalkan risiko cedera dan mendukung olahraga yang lebih aman.

Kata kunci: aktivitas otot, elektromiografi, kelelahan otot, portabel

ABSTRACT

Conventional muscle condition monitoring is often hampered by devices that are not widely available, difficult to operate, and not ergonomic for continuous monitoring. These limitations make it difficult to detect muscle fatigue directly during exercise and increase the risk of injury. This study aims to design and develop a portable, energy-efficient, and user-friendly system for monitoring muscle activity and fatigue. The system was developed using Electromyography (EMG) sensors to detect muscle signals. Data presentation is provided via a TFT LCD screen. EMG signal analysis is performed using the amplitude reduction method to identify muscle fatigue in the forearm muscles. The system detects muscle fatigue based on the decrease in EMG signal amplitude and has been tested with a fatigue detection accuracy of 83.3%, as well as a high level of agreement with the subjects' subjective perception of fatigue, proving the effectiveness of this system as a solution to minimize the risk of injury and support safer sports.

Keywords: electromyography, muscle activity, muscle fatigue, portable

1. PENDAHULUAN

Olahraga merupakan aktivitas yang melibatkan unsur fisik untuk memperoleh kegembiraan serta memelihara dan memulihkan kesehatan fisik dan mental [1]. Aktivitas fisik dalam olahraga berperan penting dalam menjaga kesehatan tubuh, termasuk mencegah dan mengobati berbagai penyakit seperti kanker, mengurangi stres, dan mencegah gangguan kesehatan lainnya [2]. Aktivitas olahraga memerlukan kerja otot yang optimal karena otot berfungsi vital dalam pergerakan tubuh melalui proses kontraksi dan relaksasi. Aktivitas fisik yang intens dan berulang dapat menyebabkan kelelahan otot, yaitu kondisi menurunnya kemampuan otot dalam menghasilkan gaya, sehingga menurunkan efisiensi kerja dan meningkatkan risiko cedera [3]. Pemantauan kondisi otot sangat diperlukan untuk mendekripsi kelelahan otot secara dini dan mencegah cedera, namun metode konvensional masih bergantung pada alat medis khusus yang mahal dan kurang praktis untuk digunakan secara terus-menerus [4]-[5].

Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam pengembangan sistem pemantauan kondisi otot menggunakan sinyal elektromiografi (EMG). Studi-studi tersebut umumnya memanfaatkan perangkat EMG untuk mendekripsi aktivitas otot dan kelelahan otot, namun sebagian besar masih

berbasis alat stasioner dan memerlukan proses analisis sinyal yang kompleks di laboratorium [4]. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi berupa sistem yang portabel, terjangkau, serta mampu melakukan pemantauan kondisi otot secara langsung.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan aktivitas dan kelelahan otot berbasis sensor elektromiografi guna mendekripsi risiko cedera saat olahraga. Sistem ini dikembangkan agar dapat memberikan informasi mengenai kondisi otot pengguna, efisien dalam pemakaian daya, mempermudah pemantauan selama latihan, dan mengurangi risiko cedera. Perbedaan utama dari penelitian ini dibanding penelitian sebelumnya terletak pada pengembangan sistem yang portabel, serta mendukung pemantauan berkelanjutan selama aktivitas fisik berlangsung. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dalam bidang olahraga dan kesehatan untuk mendukung latihan yang lebih aman dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, penulis merancang sistem pendekripsi aktivitas dan kelelahan otot menggunakan sensor EMG yang portabel serta dapat diakses melalui layar LCD.

2.1 Gambaran Umum Sistem

Elektromiografi (EMG) adalah teknik untuk mengukur dan merekam aktivitas listrik otot guna mengevaluasi kesehatan otot dan neuron motorik yang mengendalikannya [6]. EMG berperan penting dalam diagnosis kondisi neuromuskular, penentuan tingkat kelelahan otot, serta analisis klinis dan biomedis. Terdapat dua metode utama dalam EMG, yaitu surface EMG yang bersifat non-invasif dan banyak digunakan di bidang olahraga atau rehabilitasi, serta intramuscular EMG yang menggunakan elektroda jarum untuk memperoleh data lebih detail dan spesifik terutama untuk keperluan diagnosis klinis [7]-[8]. Analisis sinyal EMG dilakukan dengan memperhatikan parameter amplitudo yang mencerminkan kekuatan kontraksi, frekuensi yang menunjukkan kecepatan aktivitas listrik, dan waktu onset yang mengukur kecepatan respons otot, dengan karakteristik rentang frekuensi 20–500 Hz dan tegangan 0,4–5V [9]-[10]. EMG banyak diterapkan dalam diagnosis medis, pemantauan program rehabilitasi, penelitian biomekanika, serta optimalisasi teknik olahraga, meskipun memiliki keterbatasan seperti rentan terhadap gangguan sinyal dan kesulitan mendekripsi aktivitas otot dalam [7], [11].

Otot merupakan alat gerak aktif pada tubuh manusia yang memungkinkan terjadinya pergerakan melalui sifat kontraktilitas, ekstensibilitas, dan elastisitas, yang membuat otot mampu berkontraksi, memanjang, dan kembali ke ukuran semula setelah relaksasi [12]. Kontraksi otot terjadi akibat gerakan mengerut dan mengendur pada otot sehingga memungkinkan tulang dan rangka tubuh bergerak. Otot dan tulang bekerja secara berpasangan saat satu otot berkontraksi, otot pasangannya akan berrelaksasi sehingga tulang tertarik ke arah berlawanan [13]. Aktivitas otot yang dilakukan secara terus-menerus atau beban kerja berat dapat menyebabkan kelelahan, yang ditandai dengan penurunan kapasitas kerja dan ketahanan tubuh. Kondisi ini sering dialami oleh pekerja maupun atlet dengan aktivitas padat, terutama jika peningkatan intensitas dan volume latihan tidak diimbangi dengan waktu pemulihannya yang cukup sehingga meningkatkan risiko cedera otot dan penurunan performa [14]-[15].

Kelelahan otot disebabkan oleh gangguan metabolisme energi dan akumulasi produk sampingan metabolismik, seperti asam laktat, yang menghambat kontraksi otot. Kelelahan ini umum terjadi pada olahraga yang menuntut daya tahan tinggi atau intensitas tinggi dalam waktu singkat, dan dapat diperparah oleh kenaikan beban latihan yang tidak terukur yang memengaruhi keseimbangan hormon dan sistem saraf. Oleh karena itu, penting untuk memastikan adanya periode istirahat dan pemulihannya yang cukup agar kebugaran fisik tetap terjaga [3]. Kelelahan sendiri mencakup penurunan kinerja fisik, rasa lelah, serta penurunan produktivitas dan motivasi. Kondisi ini bersifat subjektif dan dapat muncul dalam berbagai bentuk, seperti kelelahan visual, fisik, saraf, atau otot. Kelelahan otot ditandai dengan menurunnya kemampuan otot membangkitkan gaya akibat aktivitas berlebih, kurang istirahat, atau tidur yang tidak cukup. Pemantauan menggunakan teknologi seperti EMG dapat membantu mendekripsi tanda awal kelelahan otot sehingga strategi pemulihannya dapat disusun lebih efektif [16], [3].

2.2 Cara Kerja Sistem

Sistem bekerja dengan menangkap sinyal aktivitas otot menggunakan sensor Elektromiografi (EMG). Sinyal keluaran dari sensor diproses oleh mikrokontroler untuk memperoleh parameter aktivitas

otot, meliputi kontraksi atau relaksasi, kekuatan otot, jumlah repetisi, serta tingkat kelelahan otot. Tingkat kelelahan ditentukan berdasarkan analisis penurunan amplitudo sinyal EMG maksimum selama aktivitas berlangsung. Prinsip dasar yang digunakan adalah bahwa semakin tinggi tingkat kelelahan otot, semakin menurun amplitudo sinyal EMG maksimum yang dihasilkan. Informasi hasil deteksi ditampilkan secara *real-time* pada layar LCD untuk memudahkan pemantauan oleh pengguna.

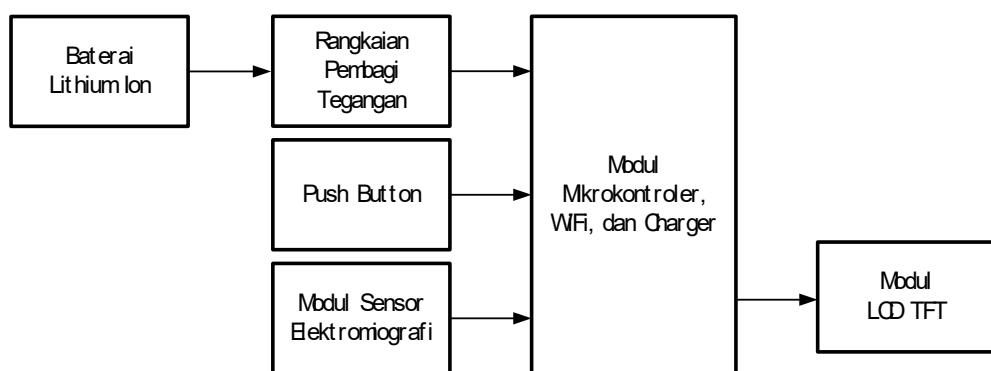
Sistem ini dirancang menggunakan komponen berukuran kecil sehingga menghasilkan desain yang minimalis dan portabel, dengan tujuan meningkatkan kenyamanan pengguna saat digunakan dalam berbagai aktivitas. Aktivitas otot yang dipantau dapat disesuaikan dengan jenis olahraga maupun kebutuhan pengguna. Peletakan sensor EMG perlu disesuaikan dengan lokasi otot target yang akan dipantau. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi penempatan sistem pada otot lengan bawah (*forearm*) untuk mendekripsi aktivitas dan kelelahan otot pada saat melakukan latihan menggunakan *handgrip*.



Gambar 1. Ilustrasi penggunaan sistem

2.3 Perancangan Sistem

Gambar 2 memperlihatkan diagram blok sistem pendekripsi aktivitas otot berbasis sensor elektromiografi (EMG) yang dikembangkan pada penelitian ini. Sistem memperoleh sumber daya utama dari baterai *lithium-ion* yang berfungsi untuk menyuplai daya ke seluruh rangkaian. Tegangan keluaran baterai dimonitor melalui rangkaian pembagi tegangan yang terhubung ke mikrokontroler untuk mendekripsi sisa daya baterai.

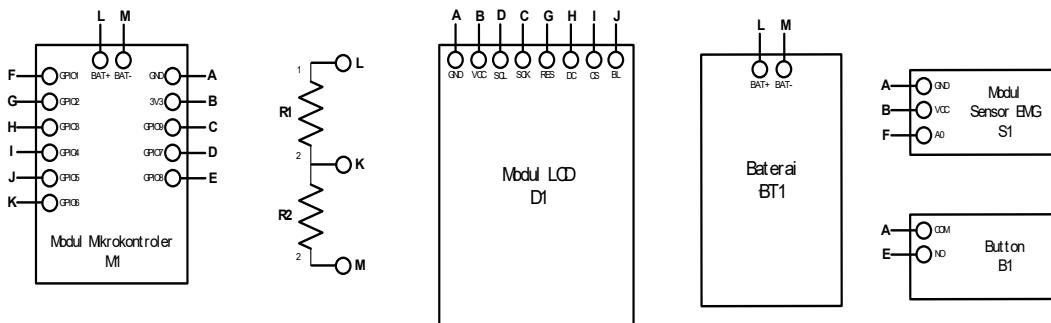


Gambar 2. Diagram blok pendekripsi aktivitas dan kelelahan otot dengan sensor EMG

Modul sensor EMG akan menangkap sinyal dari aktivitas otot, kemudian mengirimkan sinyal tersebut ke mikrokontroler untuk diproses. Modul mikrokontroler berperan sebagai pusat pengendali sistem sekaligus mendukung fungsi pengisian daya menggunakan USB type C. Hasil pemrosesan data aktivitas otot ditampilkan pada modul LCD TFT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi otot secara langsung.

2.4 Perancangan Elektronik

Perancangan elektronik pada sistem ini adalah membuat rangkaian elektronik. Gambar 3 memperlihatkan diagram rangkaian elektronik dari sistem pemantau aktivitas otot berbasis sensor Elektromiografi (EMG) yang dirancang pada penelitian ini. Sistem ini terdiri atas beberapa modul utama, yaitu modul mikrokontroler, modul LCD, modul sensor EMG, *push button*, rangkaian pembagi tegangan, dan *baterai lithium-ion* sebagai sumber daya.

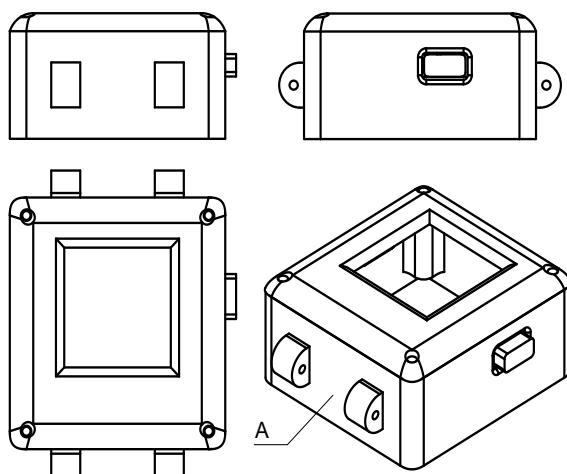


Gambar 3. Diagram pengkabelan sistem elektronik

2.5 Perancangan Mekanik

Desain mekanik dari sistem pendekripsi aktivitas otot berbasis sensor EMG dapat dilihat pada Gambar 4. *Casing* perangkat dirancang dengan bentuk persegi yang minimalis, portabel dan ergonomis. Desain ini dilengkapi dengan beberapa fitur, seperti lubang untuk pemasangan tombol, lubang untuk koneksi daya, serta jendela pada bagian atas yang berfungsi sebagai tempat pemasangan modul LCD TFT.

Casing mekanik ini dirancang agar mampu melindungi komponen elektronik di dalamnya dari benturan ringan serta faktor lingkungan, seperti debu. Desain sudut *casing* dibuat membulat untuk meningkatkan estetika serta mengurangi potensi cedera pengguna akibat tekstur *casing* yang sudut tajam. Selain itu, *casing* juga dilengkapi dengan lubang pengait untuk *strap* sehingga posisi perangkat tetap stabil saat digunakan dalam aktivitas olahraga. Dimensi *casing* telah disesuaikan agar dapat menampung seluruh rangkaian elektronik termasuk *baterai lithium-ion* tanpa mengurangi aspek ergonomis.



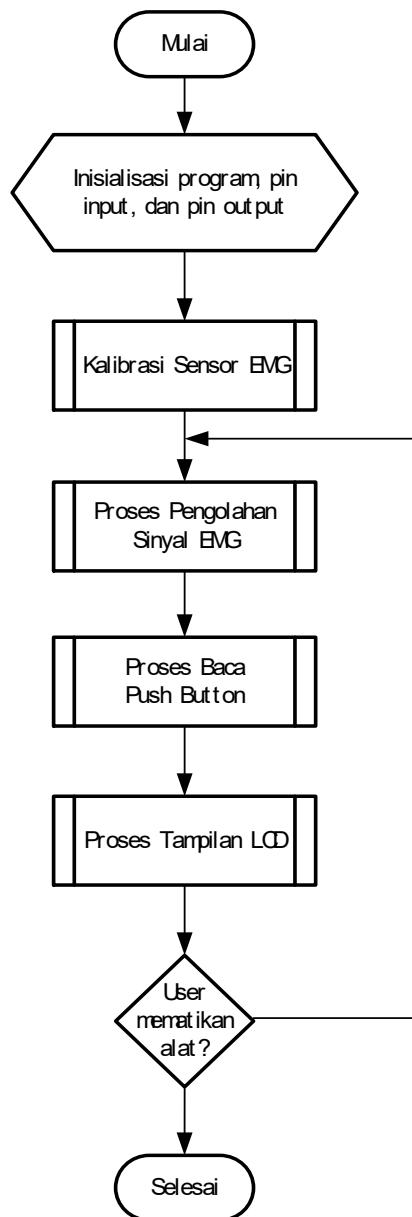
Gambar 4. Perancangan desain mekanik

2.6 Perancangan Algoritma

Gambar 5 memperlihatkan diagram alir algoritma kerja sistem pemantau aktivitas otot berbasis sensor EMG. Algoritma dimulai dengan proses inisialisasi program yaitu pengaturan pin *input* dan *output* pada mikrokontroler. Setelah inisialisasi, sistem memasuki tahap kalibrasi sensor EMG. Pada tahap ini, pengguna diminta untuk melakukan kontraksi dan relaksasi otot selama 5 detik. Data hasil

kontraksi dan relaksasi ini digunakan sebagai referensi awal untuk mendekripsi aktivitas otot selanjutnya dan untuk menyesuaikan ambang batas pengolahan sinyal.

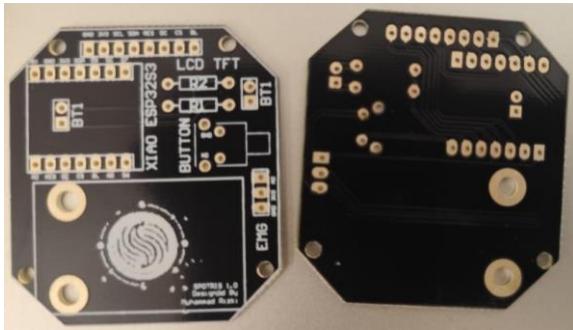
Selanjutnya, sistem melakukan proses pengolahan sinyal EMG yang diterima dari sensor. Mikrokontroler memproses sinyal tersebut untuk memperoleh parameter aktivitas otot, seperti kekuatan kontraksi, jumlah repetisi, kondisi otot relaksasi/kontraksi, dan indikator kelelahan otot. Setelah pengolahan sinyal, sistem membaca status *push button* untuk mendekripsi perintah dari pengguna, termasuk perintah untuk mematikan alat. Kemudian, hasil pemrosesan sinyal ditampilkan pada layar LCD. Proses ini berlangsung secara berulang hingga pengguna memberikan perintah untuk mematikan alat melalui push button. Ketika alat dimatikan, algoritma berakhir dan sistem berhenti beroperasi.



Gambar 5. Diagram alir keseluruhan sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem dilakukan sesuai dengan perancangan yang dijelaskan dibagian metode penelitian. Adapun hasil implementasi dan uji coba dari sistem pemantauan aktivitas dan kelelahan otot berbasis sensor EMG terdapat pada Gambar 6 sebagai realisasi elektronik dan Gambar 7 realisasi mekanik.



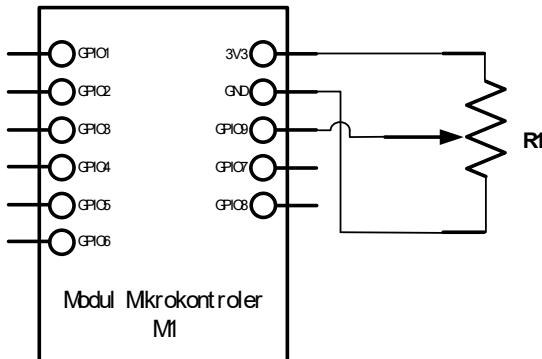
Gambar 6. Realisasi rangkaian elektronik



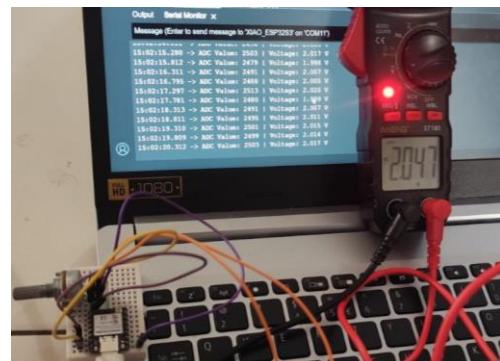
Gambar 7. Realisasi desain mekanik

3.1 Pengujian Modul Mikrokontroler

Modul mikrokontroler diuji untuk memastikan bahwa seluruh fungsinya berjalan dengan baik dan setiap pin *input* beroperasi sesuai spesifikasi. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah “*analogRead*” pada pin-pin *input* yang telah ditentukan, kemudian hasil pembacaan dibandingkan dengan tegangan aktual yang diukur menggunakan *voltmeter*. Tegangan input diberikan melalui potensiometer dengan sumber tegangan sebesar 3,3V, yang selanjutnya disesuaikan untuk menguji rentang pembacaan setiap pin. Gambar rangkaian pengujian ada pada Gambar 8, pengujinya pada Gambar 9, serta hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.



Gambar 8. Rangkaian pengujian modul mikrokontroler



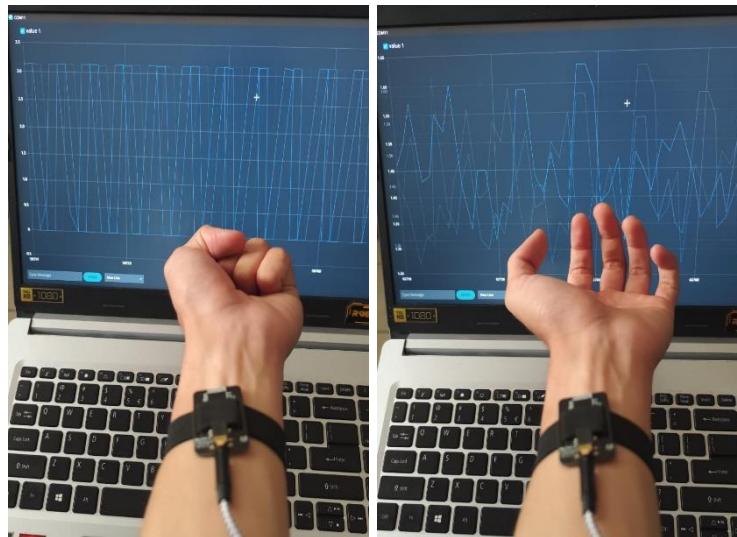
Gambar 9. Pengujian modul mikrokontroler

Tabel 1 Hasil pengujian pin input modul mikrokontroler

No.	Pin	Output Potensio (%)	Tegangan (V)	ADC Terbaca	Konversi Tegangan $\frac{ADC \times 3.3}{4095}$
1	GPIO 1	0	0	0	0
	GPIO 6		0	0	0
2	GPIO 1	50	2,04	2503	2,01
	GPIO 6		2,05	2503	2,01
3	GPIO 1	100	3,3	4095	3,3
	GPIO 6		3,3	4095	3,3

3.2 Pengujian Modul Sensor Elektromiografi

Sensor elektromiografi (EMG) bekerja dengan mendekteksi potensial listrik yang dihasilkan oleh sel otot ketika mengalami kontraksi maupun relaksasi. Aktivitas otot tersebut menghasilkan arus listrik dengan amplitudo yang proporsional terhadap tingkat aktivitas otot. Besarnya amplitudo sinyal EMG dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain penempatan elektroda pada permukaan kulit dan jenis elektroda yang digunakan. Gambar 10 memperlihatkan pengujian sensor elektromiografi, sedangkan Tabel 2 menyajikan hasil deteksi sinyal sensor saat otot dalam kondisi kontraksi dan relaksasi.



Gambar 10. Pengujian sensor elektromiografi

Tabel 2. Hasil pengujian sensor elektromiografi

Jenis Otot	Keadaan Otot	Amplitudo (mV)
<i>Forearm</i>	Kontraksi	200
	Relaksasi	20
	Selisih	180

3.3 Pengujian Modul LCD TFT

Pengujian modul LCD dilakukan dengan mendesain menu serta mengintegrasikannya dengan variabel yang telah diproses oleh mikrokontroler. Gambar 11 menunjukkan pengujian layar LCD TFT yang terdiri dari waktu, daya baterai, kekuatan, repetisi, kelelahan, dan kondisi otot.



Gambar 11. Realisasi pengujian layar LCD

3.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

Untuk menguji kinerja alat yang telah dikembangkan, dilakukan pengujian langsung pada otot *forearm*. Setelah pemasangan, subjek diminta untuk menggerakkan *handgrip* selama beberapa kali sehingga menu pada alat bekerja dengan baik. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan pernyataan subjek mengenai tingkat kelelahan yang mereka rasakan, untuk mengevaluasi kesesuaian antara data objektif dari alat dengan persepsi subjektif subjek. Gambar 12 menunjukkan ilustrasi pengujian sistem saat digunakan oleh subjek serta Tabel 3 hasil pengujian keseluruhan.



Gambar 12. Pengujian sistem saat latihan

Tabel 3. Hasil pengujian sistem kelelahan

Beban Handgrip (Kg)	Repetisi	Tegangan Kontraksi (mV)	Hasil Sistem	Hasil Sebenarnya
55	1	220	Normal	Normal
	2	198	Normal	Normal
	4	163	Normal	Lelah
	6	120	Lelah	Lelah
	8	88	Lelah	Lelah
	10	54	Lelah	Lelah

Hasil pengujian menunjukkan evaluasi sistem deteksi kelelahan otot berbasis sinyal EMG dengan beban handgrip 55 kg. Sistem mendeteksi kelelahan berdasarkan penurunan amplitudo sinyal kontraksi otot selama aktivitas repetitif. Deteksi kelelahan dihitung dari rata-rata sinyal sebanyak 3 repetisi terakhir, dengan rumus:

$$Kelelahan = 100 \times \left(1 - \left(\frac{Rata-rata\ 3\ repetisi}{Sinyal\ Kalibrasi} \right) \right) \quad (1)$$

Pengujian pada enam titik menunjukkan akurasi 83,3% (5 dari 6 deteksi benar). Sistem mendeteksi kondisi normal pada repetisi awal dan mendeteksi kelelahan pada sinyal rendah (120mV, 88mV, 54 mV). Satu kesalahan terjadi pada repetisi keempat karena sistem memerlukan minimal tiga repetisi untuk kalkulasi, sehingga respons awal agak lambat. Sistem secara umum berfungsi baik dengan komunikasi data *real-time* dan hasil klasifikasi yang cukup akurat. Namun, terdapat sedikit *delay* pada fase awal akibat proses kalkulasi rata-rata dan pembaruan tampilan. Kesimpulannya, sistem deteksi kelelahan EMG menunjukkan performa baik dengan akurasi 83,3%. Ke depan, peningkatan algoritma diperlukan agar lebih sensitif pada fase transisi kelelahan serta perbaikan kalibrasi awal untuk mengurangi false negatif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan sistem portabel pendekripsi aktivitas dan kelelahan otot berbasis sensor elektromiografi (EMG) yang mampu memantau kondisi otot dan memberikan informasi langsung kepada pengguna melalui layar LCD. Sistem menunjukkan akurasi deteksi kelelahan sebesar 83,3%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem efektif dalam mendeteksi penurunan amplitudo sinyal EMG sebagai indikator kelelahan otot, serta menunjukkan kesesuaian yang tinggi dengan persepsi subjektif subjek terhadap kelelahan.

Meskipun demikian, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur analisis berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk klasifikasi tingkat kelelahan yang lebih presisi, memperluas cakupan deteksi pada kelompok otot lain, dan integrasi lebih mendalam dengan *Internet of Things* (IoT) agar mendukung pemantauan jarak jauh secara efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima Kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, khususnya bidang akademik, atas Bantuan Dana Tugas Akhir 2023 yang telah diberikan.

REFERENSI

- [1] D. Pranata, "Pengaruh Olahraga Dan Model Latihan Fisik Terhadap Kebugaran Jasmani Remaja," *J. Kesehat. Olahraga*, vol. 10, pp. 107–116, 2022.
- [2] S. G. Ernyati Pakpahan, "Ini Segudang Manfaat Berolahraga," Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. [Online]. Available: https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/2295/ini-segudang-manfaat-berolahraga
- [3] A. B. Raharjo, B. Fatukhurrozi, and I. Nawawi, "Analisis Sinyal Electromyography (EMG) Pada Otot Biceps Brachii Untuk Mendekripsi Kelelahan Otot Dengan Metode Median Frekuensi," *J. Electr. Eng. Comput. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [4] D. Yuliansyah, "Deteksi Kelelahan Otot Menggunakan Sinyal Emg Dan Detektor Gaya Pada Gerak Dasar Ekstensi Dan Fleksi Knee-Joint Untuk Evaluasi Penggunaan Functional Electrical Stimulation Pada Sistem Rehabilitasi Lower Limb," *Sepuluh Nop. Inst. Technol.*, p. 171, 2017.
- [5] M. Garouche and O. Thamsuwan, "Development of a Low-Cost Portable EMG for Measuring the Muscular Activity of Workers in the Field," *Sensors*, vol. 23, no. 18, 2023, doi: 10.3390/s23187873.
- [6] E. Zaeni, I., A., *Dasar-Dasar Elektronika Medik*. Ahlimedia Book, 2021.
- [7] D. Merletti, R., & Farina, "Surface Electromyography: Physiology, Engineering, and Applications," *IEEE Press.*, 2016.
- [8] P. Konrad, "The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography," *Noraxon Inc*, 2005.
- [9] C. J. De Luca, "Surface Electromyography: Detection and Recording," *DelSys Inc.*, 2002.
- [10] E. Criswell, "Cram's Introduction to Surface Electromyography.Cram's Introduction to Surface Electromyography," *Jones Bartlett Learn.*, 2011.
- [11] Soetomo, "Petunjuk Praktis Elektrodiagnostik," *Airlangga Univ. Press.*, 2013.
- [12] Satyanegara, *Ilmu Bedah Saraf Edisi V*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2014.
- [13] K. Davies, *Buku Pintar Nyeri Tulang dan Otot*. Jakarta: Erlangga, 2007.
- [14] M. Innah, Alwi, Muhammad Khidri, Gobel, Fatmawati Afrianti, and H. H. Abbas, "Faktor yang Berhubungan dengan Kelelahan Kerja pada Penjahit Pasar Sentral Bulukumba," *Wind. Public Heal. J.*, vol. 01, no. 05, pp. 471–481, 2021, doi: <https://doi.org/10.33096/woph.v1i5.160>.
- [15] I. M. Y. Parwata, "Kelelahan dan Recovery dalam Olahraga," *Pendidik. Kesehat. Rekreasi*, vol. 1, no. 2337–9561, pp. 2–13, 2015.
- [16] A. Rizka, Sutangi, and A. Rahmawati, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Terhadap Kelelahan Kerja Pada Pekerja Pengisian Air Minum Dalam Kemasan Di PT Bharata Sakti Persada Indramayu Tahun 2021," *Afiasi J. Kesehat. Masyarakat*, vol. 7, no. 2, pp. 288–292, 2022.

