



ANALISIS SINYAL EMG UNTUK DETEKSI KELELAHAN OTOT PADA LATIHAN FISIK

Sherly¹, Qotrunnada Fauziah Hasna², Risma Gumanti³

^{1,2,3} Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Semarang,
Kampus UNNES Sekaran, Semarang, Indonesia
Email penulis pertama: sherly29@students.unnes.ac.id¹

ABSTRAK

Kelelahan otot merupakan respon fisiologis yang umum terjadi saat otot melakukan kontraksi dalam durasi lama, terutama dalam aktivitas statik. Elektromiografi (EMG) merupakan metode non-invasif yang dapat merekam aktivitas listrik otot dan digunakan untuk memantau tanda-tanda awal kelelahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sinyal EMG dari 15 subjek yang melakukan aktivitas statik, menggunakan data publik dari Zenodo (ID: 5189275) dengan frekuensi sampling 500 Hz. Fokus analisis ditujukan pada kanal pertama, dengan parameter utama berupa Root Mean Square (RMS) yang merepresentasikan intensitas kontraksi otot, serta Median Frequency (MDF) yang berkaitan dengan distribusi frekuensi akibat kelelahan otot. Hasil menunjukkan adanya variasi nilai RMS dan MDF antar subjek, tanpa pola tren yang konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa respons otot terhadap aktivitas statik dapat berbeda-beda antar individu. Temuan ini mendukung penggunaan EMG sebagai alat pemantauan aktivitas otot yang sensitif dan aplikatif, khususnya dalam bidang olahraga dan rehabilitasi.

Kata kunci: EMG, kelelahan otot, RMS, MDF, analisis sinyal, kontraksi static

Article History

Received: Mei 2025

Reviewed: Mei 2025

Published: Mei 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :
[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

ABSTRACT

Muscle fatigue is a common physiological response that occurs during prolonged physical activity, particularly under static muscle contractions. Electromyography (EMG) is a non-invasive technique that records the electrical activity of muscles and can be used to detect early signs of fatigue. This study aims to analyze EMG signals from 15 subjects performing static physical tasks, using a publicly available dataset from Zenodo (ID: 5189275) sampled at 500 Hz. The analysis focuses on the first EMG channel, with two main parameters: Root Mean Square (RMS), which reflects the intensity of muscle activation, and Median Frequency (MDF), which relates to frequency distribution changes due to fatigue. The results show variation in RMS and MDF values among subjects, with no consistent trend across individuals. These findings suggest that muscle responses to static activity differ between individuals. Nevertheless, EMG remains a valuable tool for monitoring muscle activity, with potential applications in sports science and rehabilitation.

Keywords: EMG, muscle fatigue, RMS, MDF, signal analysis, static contraction

PENDAHULUAN

Kelelahan otot adalah fenomena fisiologis yang terjadi akibat penggunaan otot yang berlebihan selama aktivitas fisik yang berlangsung lama. Kelelahan ini bisa terjadi pada berbagai jenis aktivitas, baik yang bersifat statik maupun dinamik. Salah satu contoh yang paling umum adalah pada kontraksi isometrik, di mana otot dipertahankan dalam posisi kontraksi tanpa perubahan panjang otot, seperti yang terjadi pada angkat beban atau latihan dengan beban tetap. Kelelahan otot dapat mempengaruhi kemampuan otot untuk berkontraksi secara efektif, yang pada akhirnya dapat mengurangi kinerja fisik dan meningkatkan risiko cedera (Uwuigbe & Ajibolade, 2013). Deteksi dini terhadap kelelahan otot sangat penting, terutama dalam konteks olahraga, rehabilitasi, dan pengelolaan latihan fisik yang lebih aman dan

efektif (Cifrek et al., 2009). Selain itu, pemahaman tentang kelelahan otot juga penting untuk pengembangan intervensi yang tepat dalam pengkondisian fisik (Gerdle et al., 2000).

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendeteksi kelelahan otot adalah dengan memonitor sinyal elektromiografi (EMG), yang merekam aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot selama kontraksi (Wang et al., 2016). EMG telah terbukti efektif dalam mengukur aktivitas otot, memberikan informasi tentang tingkat aktivasi otot, dan mendeteksi perubahan yang terjadi selama proses kelelahan otot (De Luca, 2002). Dalam konteks ini, dua parameter utama yang sering digunakan adalah Root Mean Square (RMS) dan Median Frequency (MDF). RMS menggambarkan intensitas total aktivasi otot, sedangkan MDF mencerminkan perubahan dalam spektrum frekuensi sinyal EMG yang terkait dengan perubahan komposisi serat otot seiring kelelahan (Merletti & Farina, 2016). Penggunaan parameter ini telah lama menjadi fokus dalam analisis sinyal EMG karena kepekaannya terhadap perubahan kondisi otot (Solnik et al., 2010).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan pada parameter sinyal EMG seperti RMS dan MDF dapat digunakan sebagai indikator kelelahan otot. Misalnya, RMS yang meningkat menunjukkan bahwa lebih banyak serat otot yang terlibat untuk mempertahankan beban, sementara penurunan MDF seringkali dikaitkan dengan dominasi serat otot lambat yang lebih efisien dalam mempertahankan kontraksi jangka panjang meskipun dengan kekuatan yang lebih rendah (Muttakin et al., 2015). Selain itu, sinyal EMG juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis serat otot, tingkat pelatihan, dan kondisi neuromuskular individu (Farina & Negro, 2015). Meskipun pemanfaatan sinyal EMG untuk mendeteksi kelelahan otot telah banyak dipelajari, masih ada tantangan terkait variasi individu yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran serta upaya untuk meningkatkan akurasi dalam mendeteksi kelelahan otot secara lebih tepat (Hargrove et al., 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sinyal EMG dari subjek yang melakukan aktivitas fisik statik dan mengevaluasi perubahan parameter RMS dan

MDF yang terjadi seiring waktu, serta bagaimana parameter-parameter ini dapat digunakan sebagai indikator deteksi kelelahan otot. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana variasi individu dapat memengaruhi analisis sinyal EMG dan memberikan kontribusi bagi peningkatan akurasi dalam mendeteksi kelelahan otot, terutama dalam konteks olahraga dan rehabilitasi fisik.

METODE

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif deskriptif dengan pendekatan komputasional terhadap sinyal elektromiografi (EMG) untuk mendeteksi kelelahan otot selama aktivitas fisik statik. Data yang digunakan diperoleh dari platform repositori publik Zenodo dengan DOI: 10.5281/zenodo.5189275. Data tersebut merupakan hasil pengukuran dari 15 subjek sehat berusia 20–35 tahun yang diminta untuk mempertahankan posisi kontraksi isometrik sambil mengangkat beban seberat 6 kg selama 120 detik. Penelitian ini menggunakan data dari seluruh 15 subjek yang tersedia. Dataset mencakup delapan kanal EMG dengan frekuensi pengambilan sampel sebesar 500 Hz.

Data EMG yang digunakan dalam penelitian ini direkam menggunakan perangkat dengan konfigurasi 8 kanal dan frekuensi sampling 500 Hz, sebagaimana tersedia dalam repositori publik. Analisis difokuskan pada kanal 1, yang diasumsikan mewakili aktivitas utama otot selama latihan statik. Sebelum dianalisis, sinyal diproses menggunakan bahasa pemrograman Python (versi 3.11).

Prosedur pengolahan data dimulai dengan pembacaan file .txt yang merepresentasikan sinyal EMG masing-masing subjek. Sinyal tersebut kemudian dihitung nilai Root Mean Square (RMS) sebagai indikator kekuatan aktivasi otot, serta Median Frequency (MDF) yang merepresentasikan distribusi energi frekuensi sinyal. Kedua parameter ini diekstraksi menggunakan pustaka NumPy dan SciPy melalui pendekatan transformasi Fourier (FFT), yang umum digunakan dalam analisis sinyal digital.

Hasil analisis RMS dan MDF dari setiap subjek direkap dan divisualisasikan dalam bentuk grafik batang, yang memperlihatkan perbandingan antar subjek dalam merespons beban statik. Seluruh proses dilakukan secara komputasional tanpa melibatkan subjek langsung di laboratorium.

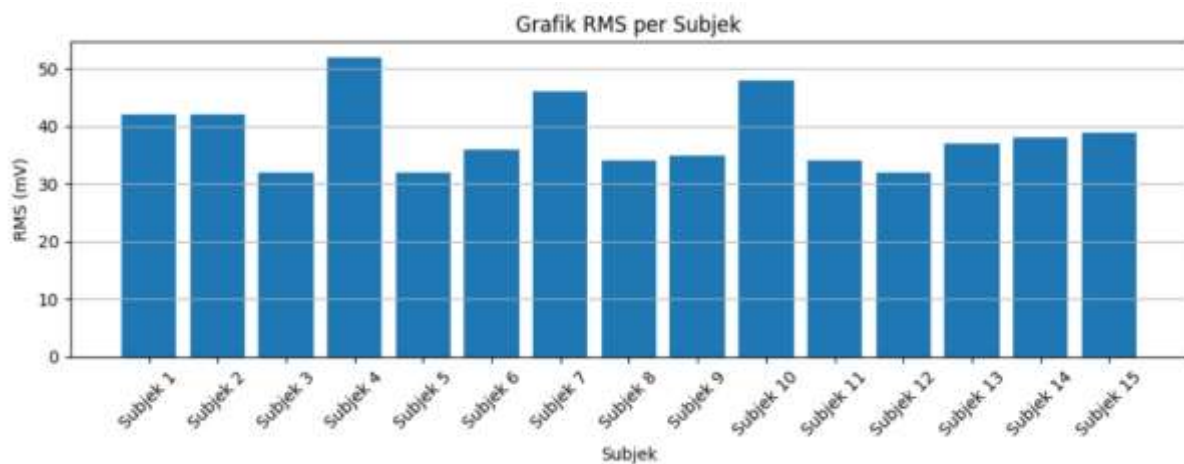
HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengolahan sinyal elektromiografi (EMG) dari Subjek 1 hingga Subjek 15 menunjukkan bahwa nilai RMS dan Median Frequency bervariasi antar individu. RMS menggambarkan intensitas aktivitas otot, sementara MDF mencerminkan perubahan komponen frekuensi yang terjadi akibat kelelahan otot. Nilai RMS dan MDF dihitung dari sinyal mentah yang direkam dengan sampling rate 500 Hz, tanpa penerapan filter tambahan. Analisis dilakukan menggunakan transformasi Fourier (FFT) untuk memperoleh distribusi frekuensi sinyal, dengan RMS digunakan sebagai indikator intensitas kontraksi otot dan MDF sebagai representasi komposisi frekuensi. Meskipun tidak ditemukan pola tren yang konsisten, variasi antar subjek tetap memberikan gambaran menarik mengenai perbedaan karakteristik respons otot selama aktivitas fisik statik.

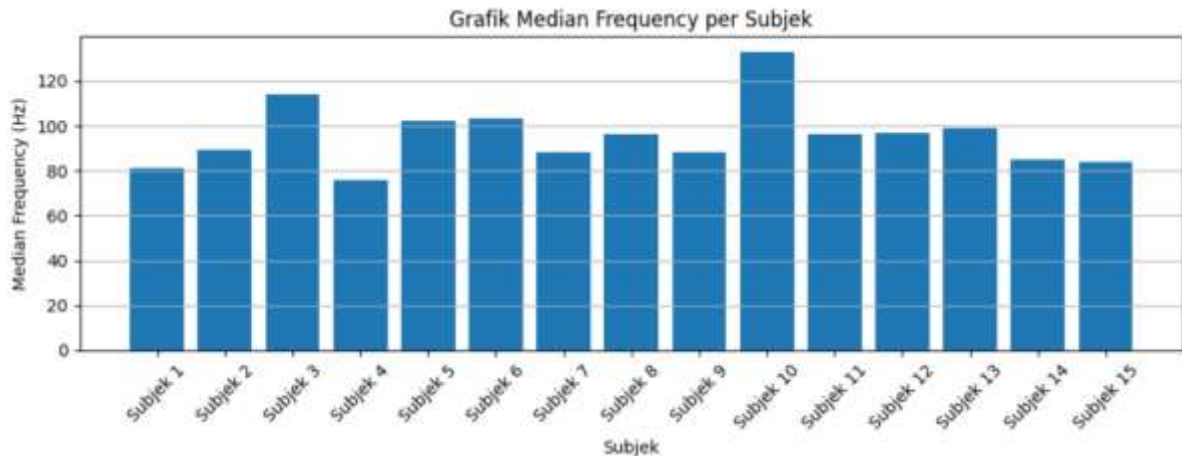
Tabel 1.1 Nilai Root Mean Square dan Median Frequency Subjek 1-15

Subjek	RMS (mV)	Median Frequency (Hz)
Subjek 1	42	81
Subjek 2	42	89
Subjek 3	32	114
Subjek 4	52	76
Subjek 5	32	102

Subjek 6	36	103
Subjek 7	46	88
Subjek 8	34	96
Subjek 9	35	88
Subjek 10	48	133
Subjek 11	34	96
Subjek 12	32	97
Subjek 13	37	99
Subjek 14	38	85
Subjek 15	39	84



Gambar 1 Grafik nilai RMS (Root Mean Square) dari sinyal EMG kanal 1 subjek 1 hingga 15.



Gambar 2 Grafik nilai Median Frequency dari sinyal EMG kanal 1 subjek 1 hingga 15.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa nilai RMS berbeda-beda antar subjek. Beberapa subjek, seperti Subjek 4 dan Subjek 10, memiliki nilai RMS yang cukup tinggi. Hal ini biasanya menunjukkan bahwa otot bekerja lebih keras, yang wajar terjadi saat latihan berlangsung lebih lama atau intensitasnya meningkat. Ketika otot mulai lelah, tubuh akan mengaktifkan lebih banyak serat otot untuk mempertahankan kekuatan. Kondisi ini terekam dalam sinyal EMG sebagai peningkatan nilai RMS.

Sementara itu, Gambar 2 menunjukkan adanya penurunan nilai Median Frequency (MDF) pada beberapa subjek. Penurunan ini mengindikasikan terjadinya perubahan dalam penggunaan jenis serat otot. Serat otot cepat, yang menghasilkan frekuensi tinggi, mulai berkurang kontribusinya, sementara serat otot lambat yang lebih tahan lelah menjadi lebih dominan. Serat otot lambat menghasilkan frekuensi yang lebih rendah, sehingga wajar jika MDF ikut menurun saat otot mengalami kelelahan.

Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Muttakin et al. (2015), yang juga menunjukkan bahwa perubahan pada RMS dan MDF dapat digunakan untuk mendeteksi kelelahan otot. Peningkatan RMS dan penurunan MDF yang diamati dalam penelitian ini mendukung fenomena dasar bahwa ketika otot mengalami kelelahan, lebih banyak serat otot yang terlibat untuk mempertahankan beban, dan frekuensi spektrum sinyal EMG bergerak menuju frekuensi yang lebih rendah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa RMS dan MDF adalah indikator yang efektif dalam mendeteksi kelelahan otot pada latihan isometrik. Hal ini juga didukung oleh berbagai studi sebelumnya, yang menguatkan pentingnya kedua parameter ini dalam pemantauan kelelahan otot secara objektif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis sinyal elektromiografi (EMG) yang dilakukan pada Subjek 1 hingga Subjek 15, penelitian ini berhasil membuktikan hipotesis bahwa parameter RMS dan MDF dapat digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi kelelahan otot selama latihan isometrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai RMS dan penurunan MDF seiring berjalannya waktu latihan, yang mengindikasikan adanya penurunan efisiensi otot yang terkait dengan kelelahan. RMS mencerminkan intensitas aktivitas otot, sementara MDF menunjukkan pergeseran frekuensi spektrum yang mencirikan transisi penggunaan serat otot cepat menuju serat otot lambat.

Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa perubahan pada RMS dan MDF dapat dijadikan parameter yang efektif dalam mendeteksi kelelahan otot. Peningkatan RMS dan penurunan MDF adalah fenomena fisiologis yang dapat diukur dengan akurat menggunakan sinyal EMG, sehingga dapat digunakan dalam pengawasan latihan fisik untuk meningkatkan efisiensi dan mencegah cedera.

Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam menggunakan RMS dan MDF sebagai indikator kelelahan otot pada jenis latihan lainnya. Penelitian lebih lanjut juga perlu mempertimbangkan variabel seperti tingkat kebugaran fisik, jenis kelamin, dan faktor-faktor fisiologis lainnya yang dapat memengaruhi hasil pengukuran sinyal EMG. Selanjutnya, integrasi sinyal EMG dengan teknologi wearable atau alat pemantauan secara real-time dapat meningkatkan aplikasinya dalam pengawasan latihan dan rehabilitasi otot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat pada penelitian ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing Bu Fifin Dewi Ratnasari S.Si., M.Sc.

REFERENSI

- Cifrek, M., Medved, V., Tonković, S., & Ostojić, S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical biomechanics*, 24(4), 327-340.
- De Luca, C. J. (2002). Surface electromyography: Detection and recording. *DelSys Incorporated*, 10(2), 1-10.
- Farina, D., & Negro, F. (2015). Common synaptic input to motor neurons, motor unit synchronization, and force control. *Exercise and sport sciences reviews*, 43(1), 23-33.
- Gerdle, B., Larsson, B., & Karlsson, S. (2000). Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque: a study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(4), 225-232.
- Hargrove, L. A., Huang, W., & Liu, Y. (2012). Muscle fatigue detection using EMG signals during isometric contraction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(6), 877-885.
- Merletti, R., & Farina, D. (Eds.). (2016). *Surface electromyography: physiology, engineering, and applications*. John Wiley & Sons.
- Muttakin, M. B., Hasan, M. M., & Hossain, G. (2015). The effect of EMG signal features on muscle fatigue detection in isometric contraction. *Biomedical Signal Processing and Control*, 20, 97-102.

- Solnik, S. T. A. N. I. S. Ł. A. W., DeVita, P., Grzegorzcyk, K., Koziattek, A., & Bober, T. (2010). EMG frequency during isometric, submaximal activity: a statistical model for biceps brachii. *Acta Bioeng Biomech*, 12(3), 21-28.
- Uwuigbe, U., & Ajibolade, S. (2013). A study on the measurement of fatigue in human muscles through EMG signals. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(3), 842–850.
- Wang, N. T., Huang, Y. S., Lin, M. H., Huang, B., Perng, C. L., & Lin, H. C. (2016). Chronic hepatitis B infection and risk of antituberculosis drug-induced liver injury: Systematic review and meta-analysis. *Journal of the Chinese Medical Association*, 79(7), 368–374.