**ANALISIS SINYAL *ELECTROMYOGRAPHY* (EMG) PADA OTOT *BICEPS BRACHII* UNTUK MENDETEKSI KELELAHAN OTOT DENGAN METODE MEDIAN FREKUENSI**

Asyarif Bagus Raharjo1,Bagus Fatukhurrozi 2, Ibrahim Nawawi 3

 *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar*

asyarifbagus.r@gmail.com1, bagusf@untidar.ac.id 2, ibrahimn\_nw@untidar.ac.id 3

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan merancang sistem pendeteksi kelelahan otot, berdasarkan sinyal biologis kondisi otot lengan dengan menggunakan metode median frekuensi sebagai pengidentifikasi sinyal kelelahan. Sistem deteksi kelelahan otot ini menggunakan *myoware muscle sensor* untuk mendeteksi sinyal pada otot *biceps brachii,* arduino uno sebagai ADC (*analog to digital converter*) serta komunikasi serial dengan laptop Pada perangkat lunak (*software*) terdapat *Serial Oscilloscope* sebagai penampil sinyal hasil dari komunikasi serial antara arduino dengan laptop dan juga sebagai perekam sinyal, dan MATLAB sebagai pemroses sinyal hasil rekaman yang dicari frekuensi *spectrumnya* dengan menggunakan metode FFT (*fast fourier transform*), sinyal kemudian dicari median frekuensinya dan ditampilkan hasilnya pada grafik. Hasil dari pengamatan grafik kelelahan yaitu waktu lelah pada otot lengan kanan dan kiri berbeda, otot lengan kanan lebih lama mendapatkan kondisi lelah dari pada lengan kiri. Pada otot lengan kanan mengalami kelelahan pada saat waktu 90 detik sampai 150 detik sedangkan otot lengan kiri mengalami kelelahan saat waktu 60 detik sampai 150 detik.

***Kata kunci:****biceps brachii,* kelelahan otot, frekuensi *spectrum, median frekuensi****.***

***Abstract***

*This study aims to design a system of detecting muscle fatigue, based on biological signals of the condition of arm muscles by using the median frequency method as an identifier of fatigue signals. This muscle fatigue detection system uses a myoware muscle sensor to detect signals in the biceps brachii muscle, arduino uno as an ADC (analog to digital converter) and serial communication with a laptop. In software there is a Serial Oscilloscope as a signal displayer resulting from serial communication between arduino with a laptop and also as a signal recorder, and MATLAB as a signal processor of the recorded results whose frequency spectrum is searched using the FFT (fast fourier transform) method, the signal is then searched for its frequency median and the results are displayed on a graph. The results of the fatigue chart observation are the time of fatigue in the muscles of the right and left arm is different, the muscles of the right arm take longer to get tired than the left arm. In the right arm muscle fatigue at 90 seconds to 150 seconds while the left arm muscle fatigue at 60 seconds to 150 seconds.*

***Keywords:*** *biceps brachii, muscle fatigue, frequency spectrum, median frequency*

I. PENDAHULUAN

Otot adalah bagian tubuh manusia yang berfungsi dalam sistem pergerakan tubuh manusia. Sistem gerak otot terjadi saat kontraksi dan relaksasi. Saat kontraksi otot diawali dengan *impuls* saraf, dan *synopsis* atau daerah hubungan antar saraf dan serabut otot yang dipenuhi oleh *osetil kolin*. Setelah mengalami kontraksi maka otot juga akan mengalami relaksasi, proses ini terjadi secara berulang-ulang. Fungsi otot sangat berperan penting dalam dalam setiap aktivitas manusia, misalnya dalam bekerja, berolah raga, belajar bahkan tidur tidak terlepas dari kerja otot. Semakin berat aktivitas yang dilakukan maka semakin besar pula kekuatan otot yang diperlukan. Penggunaan otot yang berlebihan dapat menyebabkan otot mengalami beberapa masalah kesehatan salah satunya adalah kelelahan otot.[1]

Kelelahan otot merupakan penurunan kemapuan pada otot untuk membangkitkan suatu gaya. Kelelahan ini dapat juga dihasilkan dari akibat latihan yang terlalu berat tapi kelelahan yang abnormal dapat disebabkan juga oleh batasan atau interferensi dengan tahapan yang berbeda dari kontraksi otot. Kelelahan otot dapat di ketahui gejalanya dengan menggunakan sebuah alat yang bernama *electromyography* (EMG).[2]

*Electromyography* (EMG) adalah proses merekam aktivitas elektrik dari otot, untuk menentukan apakah sedang melakukan kontraksi atau tidak. Sinyal EMG memiliki informasi terkait kondisi aktifitas otot, EMG dapat mengukur respon otot terhadap stimulasi syaraf selama otot berkontraksi*, power spectrum* EMG bergeser ke arah frekuensi yang lebih rendah, efek ini disebabkan oleh kelelahan otot., sehingga

perekaman sinyal EMG dapat menjadi sebuah *tools* yang bisa diamati untuk mengevaluasi kelelahan otot.[3]

Karagözoglu, dkk melakukan analisis sinyal EMG dalam domain frekuensi yang melibatkan penentuan parameter yang menggambarkan aspek spesifik dari spektrum frekuensi sinyal. Teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk memperoleh spektrum kerapatan daya biasanya melalui komputer digital secara *off-line*. Ada beberapa parameter yang menjadi ciri spektrum dan dapat dideteksi dengan cara digital seperti *mean* dan *median* frekuensi adalah yang paling dapat diandalkan. Median frekuensi memiliki kelebihan yaitu kurang sensitif terhadap *noise*, maka dari itu penulis menggunakan median frekuensi sebagai metode pengidentifikasi sinyal kelelahan otot.[4]

Pendeteksian kelelahan otot secara dini menjadi sangat penting karena dapat mengakibatkan penurunan efisiensi kerja dari otot yang berakibat terganggunya aktifitas sehari hari dan juga dapat menhindari cedera otot akibat latihan yang terlalu berat. Untuk dapat mengetahui lebih awal kondisi atas kelelahan otot, maka diperlukan sistem yang dapat mendeteksi kelelahan otot.Perancangan perekaman sinyal elektrik pada otot *biceps brachii* untuk mendeteksi kelelahan otot pada manusia menggunakan myoware muscle sensor sebagai perndeteksi sinyal otot dan menggunakan *median* frekuensi sebagai pengidentifikasi sinyal kelelahan otot.

1. LANDASAN TEORI

 Berikut adalah landasan teori yang berkaitan dengan rancang bangun perekaman sinyal elektrik pada otot *biceps brachii* untuk mendeteksi kelelahan otot pada manusiayaitu *musculo-skeletal system*, otot lengan manusia, kelelahan otot (muscle fatigue), e*lectromyography* (EMG), *non-invasive* elektroda, arduino uno, dan myoware muscle sensor.

1. *Musculo-Skeletal System*

 Pada manusia sistem *musculo-skeletal* pada manusia berfungsi untuk menjaga posisi tubuh dan berfungsi untuk menghasilkan gerakan. Kontraksi otot pada manusia akan menghasilkan gaya yang cukup untuk menggerakkan organ-organ gerak. Otot *skeletal* melekat pada tulang secara langsung atau dengan bantuan tendon. Kontraksi otot terjadi akibat adanya sinyal yang dikirim oleh otak melalui saraf melalui *motor neuron* dan serabut otot yang membuat sebuah *motot unit*. Setiap otot terdiri dari beberapa *motor unit* dengan tipe serabut otot yang berbeda. Setiap motor neuron berfungsi menerima sinyal pulsa tunggal yang menghasilkan kontraksi pada motor unit tunggal. Sehingga, untuk menghasilkan kontraksi pada semua *motor unit* dibutuhkan sederetan pulsa yang dikirim dari otak. [5]

1. Otot Lengan Manusia

 Lengan adalah termasuk pada ekstrimitas sendi pada tubuh manusia. Lengan mempunyai tiga bagian otot yang menopang bagian lengan diantaranya adalah : otot bahu, otot pangkal lengan atas, dan otot lengan bawah. Otot pada lengan terletak pada ekstremitas atas pada tubuh manusia, terbagi menjadi lengan atas dan lengan bawah. Untuk otot lengan atas terdiri dari otot *dorsal* dan *ventral*.Otot lengan bawah terbagi menjadi otot *radial* dan otot *dorsal*.[6]

1. Kelelahan Otot (Muscle Fatigue)

 Kelelahan otot (muscle fatigue) didefinisikan sebagai pengurangan kinerja pada gaya maksimum dari otot. Istilah kelelahan otot digunakan untuk menunjukkan penurunan sementara kapasitas kerja untuk melakukan tindakan fisik. Kutipan berikut mencirikan berbagai efek yang dianggap berasal dari kelelahan otot:

* Aktivitas otot yang intensif dapat menyebabkan penurunan kinerja, yang dikenal sebagai kelelahan.
* Melakukan tugas motorik dalam jangka waktu lama menginduksi kelelahan motor, yang secara umum didefinisikan sebagai penurunan kemampuan seseorang untuk mengerahkan kekuatan.
* Kelelahan diketahui dapat terlihat dalam sinyal EMG sebagai peningkatan amplitudo dan penurunan karakteristik frekuensi spektralnya.
* Sensasi kelelahan adalah kesadaran akan perubahan dalam sistem bawah sadar kontrol homeostatis.
* Ketidakmampuan untuk menghasilkan kekuatan karena penurunan sensitivitas troponin terhadap kalsium dan Kekuatan otot menjadi habis sehingga otot tidak lagi menanggapi sinyal dari otak.

 Variabel sinyal *myoelectric* menunjukkan perubahan *time-dependent* selama kontraksi gaya secara konstan. Perubahan ini mencerminkan modifikasi fisiologis dari serat otot secara terus – menerus, yang mengacu pada sinyal *non-stasioner*, dan disebut sebagai manifestasi *myoelectric* dari kelelahan otot [7]

1. *Electromyography* (EMG)

 Elektromiografi (EMG) adalah teknik untuk memeriksa dan merekam aktivitas sinyal otot. EMG dilakukan dengan instrumen bernama elektromiograf, untuk menghasilkan rekaman bernama elektromiogram. Elektromiograf mendetekasi potensi listrik yang dihasilkan oleh sel otot ketika otot ini aktif dan ketika sedang beristirahat. [2]

1. *Fast Fourier Transform* (FFT)

 *Fast Fourier Transform* adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Membahas mengenai FFT-IFFT tentunya tidak dapat dilepaskan dari DFT (Discrete Fourier Transform). DFT merupakan metode transformasi matematis untuk sinyal waktu diskrit ke dalam domain frekuensi. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa DFT merupakan metode transformasi matematis sinyal waktu diskrit, sementara FFT adalah algoritma yang digunakan untuk melakukan transformasi tersebut. dirumuskan bersama. Secara matematis, DFT dapat dirumuskan sebagai berikut :

$X\left[k\right]= \sum\_{n=0}^{N-1}x[n].W\_{N}^{nk}$ , $k=0,1,2,…,N-1$ (2.1)

Dimana disebut sebagai twiddle factor, memiliki nilai , sehingga

$X\left[k\right]= \sum\_{n=0}^{N-1}x[n].e^{-\frac{j2πnk}{N}}$ ;$k=0,1,2,…,N-1$ (2.2)

Sementara itu, Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$x\left[n\right]= \frac{1}{N}\sum\_{k=0}^{N-1}X[k].W\_{N}^{-nk}$ ;$n=0,1,2,…,N-1$ (2.3)

Sehingga persamaan IDFT dapat dituliskan juga sebagai berikut :

$x\left[n\right]= \sum\_{k=0}^{N-1}X[k].e^{\frac{j2πnk}{N}}$ ;$n=0,1,2,…,N-1$ (2.4)

1. Median Frekuensi

 Median frekuensi (MDF) adalah frekuensi di mana spektrum daya EMG dibagi menjadi dua wilayah dengan jumlah daya yang sama. Median frekuensi juga didefinisikan sebagai setengah dari total daya, atau TTP (membagi luas total daya menjadi dua bagian yang sama). Median frekuensi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$\sum\_{j=1}^{MDF}P\_{j}=\sum\_{j=MDF}^{M}P\_{j}=\frac{1}{2} \sum\_{j=1}^{M}P\_{j}$ (2.5)

Di mana Pj adalah spektrum daya EMG di frekuensi j dan M adalah panjang dari frekuensi.

1. *Non-Invasive* Elektroda

 Elektroda permukaan merupakan alat yang berfungsi sebagai sensor sinyal *myoelectric*. Elektroda ini ditempel pada permukaan kulit yang diperkirakan memiliki sinyal *myoelectric*. Elektroda permukaan ini nantinya akan ditempelkan pada kulit yang orientasi peletakannya mempertimbangkan letak otot. Beberapa karakteristik yang harus dimiliki oleh elektroda permukaan yaitu elektroda harus bersifat *non-polarizable* sehingga tidak terjadi polarisasi pada saat deteksi sinyal *myoelectric*. Elektroda Ag/AgCl bersifat *nontoxic*, yang artinya tidak menghasilkan racun pada saat kontak dengan kulit. Lebih lanjut lagi, elektroda harus memiliki sifat adesif, artinya memiliki daya ikat yang bagus pada daerah kontak sehingga tidak menyebab noise yang berjenis *motion artifac.* [8]

1. Arduino Uno

 Arduino Uno adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis *chip ATmega328,* karena *board* ini berfungsi sebagai arena *prototyping* sirkuit mikrokontroller. *Arduino Uno* memiliki 14 digital pin *input / output* (atau biasa ditulis I/O, dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM antara lain pin 0 sampai 13), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz antara lain pin A0 sampai A5, koneksi USB, jack listrik, *header* ICSP dan tombol *reset*.

1. MyoWare Muscle Sensor

 *MyoWare muscle sensor* adalah suatu sensor EMG yang difungsikan untuk menangkap sinyal listrik pada otot. Modul *MyoWare* ini bekerja dengan cara mengukur sinyal listrik pada otot dan mengirimkanya ke arduino atau ke platform yang lain. Sinyal akan bekerja dengan baik dengan *analog-to-digital converter* (ADC) pada mikrokontroler. Dengan *MyoWare* sensor ini kita dapat melekatkan elektroda secara langsung ke modul *MyoWare* ini tanpa menggunakan kabel tambahan. *MyoWare* dirancang untuk digunakan langsung dengan mikrokontroler. Oleh karena itu, output utama sensor *MyoWare* bukanlah sinyal EMG *raw* melainkan sinyal yang diperkuat, disearahkan, dan integrasi (EMG’s *envelope*). Namun sensor ini masih bisa mengeluarkan sinyal *raw* EMG.

1. METODOLOGI PENELITIAN
2. Metode Penelitian

 Metode penelitain yang digunakan pada penelitian ini yaitu studi literatur, perencanaan dan pembuatan rangkaian, pengujian rangkaian, perbaikan rangkaian, pengambilan data, analisis data dan menarik kesimpulan, dan menyusun buku laporan. Diagram alir metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 1, berikut ini merupakan rancangan pembahasannya:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis melakukan pengumpulan informasi dan pembelajaran mengenai EMG, perekaman sinyal otot pada EMG, kelelahan otot, dan metode-metode yang dilakukan untuk mendeteksi kelelahan otot. Referensi dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, skripsi, dan referensi lain yang berkaitan.

1. Perencanaan rangkaian dan pembuatan rangkaian

Berisikan perencanaan desain alat perekaman sinyal otot, rencana pemilihan komponen, program dan diagram alir program. Pada pembuatan rangkaian berisikan proses pembuatan alat perekaman sinyal otot berbasis Arduino Uno dengan *MyoWare Muscle sensor* sebagai pendeteksi sinyal otot.

1. Melakukan pengujian rangkaian

Berisikan tentang pengujian rangkaian perekaman sinyal otot berbasis Arduno Uno yang telah selesai dibuat apakah sudah beroperasi sesuai rencana atau belum dan mencatat hasil pengujian.

1. Perbaikan rangkaian

Berisikan apabila ada masalah dalam rangkaian perekaman sinyal otot maka akan dilakukan perbaikan alat jika masih belum dapat beroperasi dengan baik.

1. Analisis data dan menarik kesimpulan

Berisikan pengambilan data hasil perekaman sinyal otot.

1. Menyusun buku laporan

Berisikan penyusunan hasil dari penelitian dalam bentuk laporan penelitian.

Diagram blok rancang bangun perekaman sinyal elektrik pada otot *biceps brachii* untuk mendeteksi kelelahan otot pada manusia, ditunjukan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

 Secara umum, sistem terdiri atas perangkat lunak (*software*) sebagai interface dan perangkat keras (*hardware*). Pada perangkat keras (*hardware*) terdapat sensor *MyoWare Muscle Sensor* dan Arduino Uno. *MyoWare Muscle Sensor* digunakansebagai penangkap sinyal otot pada bagian otot *biceps brachii.* Sedangkan Arduino Uno berfungsi sebagai ADC (*analog to digital converter*) serta komunikasi serial dengan Laptop. Pada perangkat lunak (*software*) terdapat Arduino IDE yang berfungsi sebagai *uploader* program ke arduino board, *Serial Oscilloscope* sebagai penampil sinyal hasil dari komunikasi serial antara arduino dengan Laptop dan juga sebagai perekam sinyal, dan MATLAB sebagai pemroses sinyal hasil rekaman dicari frekuensi *spectrumnya* dengan menggunakan metode FFT (*fast fourier transform*) yang kemudian di cari median frekuensinya dan hasil akhirnya di plot pada grafik.

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

 Pada bagian ini membahas mengenai pengujian sistem perekaman sinyal berdasarkan hasil yang didapatkan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah sistem sudah sesuai dengan rancangan yang dibuat. Pengujian juga berguna untuk mengetahui tingkat kinerja dari alat yang dibuat tersebut. Setelah melakukan pengujian pada alat, maka selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap hasil yang didapatkan untuk mengetahui keberhasilan dari alat yang dirancang pada tugas akhir ini.

1. Hasil Perekaman Sinyal EMG

 Perekaman sinyal EMG dilakukan dengan menggunakan kedua lengan yaitu lengan kiri dan kanan. Sensor diletakkan pada otot *biceps brachii* kedua lengan. Kedua lengan diberi beban sebesar 5KG dan mengangkat beban tersebut selama 5 menit kemudian direkam sinyal ototnya. Gambar 3 merupakan hasil perekaman sinyal otot *biceps brachii* pada lengan kanan dan Gambar 4 merupakan hasil perekaman sinyal otot *biceps brachii* pada lengan kiri.

****

Gambar 3 Hasil Perekaman Sinyal Otot *Biceps Brachii* Pada Lengan Kanan

****

Gambar 4 Hasil Perekaman Sinyal Otot *Biceps Brachii* Pada Lengan Kiri

1. Pengolahan Sinyal EMG

Sinyal EMG yang sudah direkam masih harus dihilangkan DC *offsetnya*. Dengan menggunakan MATLAB sinyal dapat diolah dan dihilangkan sinyal DC *offsetnya.* Hasil dari penghilangan DC *offset* sinyal EMG dapat dilihat pada gambar 5.

****

Gambar 5 Sinyal EMG Tanpa DC *Offset*

 Data yang sudah dihilangkan DC *offsetnya* selanjutunya akan dipotong per 5 detik dan dicari frekuensi *spectrumnya* beserta median frekuensinya. Gambar 6 merupakan hasil potongan sinyal EMG pada detik 65 sampai 70 dan juga frekuensi *spectrumnya.*

****

Gambar 6 Frekuensi *Spectrum* Sinyal EMG Detik Ke 65 Sampai 70

 Setelah didapat frekuensi spectrum dan frekuensi mediannya selanjutnya hasil perhitngan digambarkan ke dalam bentuk grafik. Gambar 7 menunjukan grafik kelelahan otot. Penurunan frekuensi median terlihat setelah dimulainya latihan selama 150 detik dan itu merupakan indikasi yang jelas dari kelelahan otot.

****

Gambar 7 Grafik Kelelahan Otot

1. Analisis Sinyal EMG

Berdasarkan pengamatan terhadap grafik kelelahan pada setiap subjek maka data bisa ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data Kelelahan Otot Pada Setiap Subjek



 Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 1 saat otot belum mengalami kelelahan frekuensinya lebih besar dari pada saat otot mengalami kelelahan. Waktu lelah pada otot lengan kanan dan kiri juga berbeda, otot lengan kanan lebih lama mendapatkan kondisi lelah dari pada lengan kiri pada tabel 4.1 terlihat otot lengan kanan mengalami kelelahan pada saat waktu 90 detik sampai 150 detik sedangkan otot lengan kiri mengalami kelelahan saat waktu 60 detik sampai 150 detik.

1. KESIMPULAN

 Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sistem perekaman telah berhasil dibuat dan secara keseluruhan sistem perekaman sinyal otot dapat bekerja sesuai perencanaan awal yaitu untuk mengetahui kelelahan otot. Saat Otot belum mengalami kelelahan frekuensinya lebih besar dari pada saat otot mengalami kelelahan. Waktu lelah pada otot lengan kanan dan kiri juga berbeda, otot lengan kanan lebih lama mendapatkan kondisi lelah dari pada lengan kiri. Pada otot lengan kanan mengalami kelelahan pada saat waktu 90 detik sampai 150 detik sedangkan otot lengan kiri mengalami kelelahan saat waktu 60 detik sampai 150 detik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Triadi, 2016, *Desain Pembuatan Modul Kit ECG, EOG, EMG, Suhu Tubuh Dan Respirasi Untuk Arduino Uno*, Bandung : Universitas Telkom
2. Yuliansyah, D., 2017*, Deteksi Kelelahan Otot Menggunakan Sinyal Emg Dan Detektor Gaya Pada Gerak Dasar Ekstensi Dan Fleksi Knee-Joint Untuk Evaluasi Penggunaan Functional Electrical Stimulation Pada Sistem Rehabilitasi Lower Limb*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
3. Mustiadi, I., 2013, *Klasifikasi Sinyal Emg Berbasis Wavelet Dan Jaringan Syaraf Tiruan*, Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
4. Karagözoglu, B., Sindi, W.H., Al-Omari A.A., 2009, *Design and Development of a Practical Muscle Fatigue Monitor*, Jeddah : King Abdulaziz University
5. Cheryl ,L.L., et. Al, 2011, *Application of FES for Hemiplegia in Extremity Coordination Trainning*, In: (iCBBE) 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Presented at the (iCBBE) 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering,pp.1-4.
6. Saifuddin, A.B., 2002, *Buku Acuan Nasional Pelayanan Kesehatan Maternal dan Neonatal*, Jakarta : Yayasan Bina Pustaka. Sarwono Prawirohardjo.
7. *Yuliansyah, D., 2017, Deteksi Kelelahan Otot Menggunakan Sinyal Emg Dan Detektor Gaya Pada Gerak Dasar Ekstensi Dan Fleksi Knee-Joint Untuk Evaluasi Penggunaan Functional Electrical Stimulation Pada Sistem Rehabilitasi Lower Limb, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.*
8. Mukhlis, H., 2017, *Perekaman Sinyal Elektrik Aktifitas Otot Kaki Untuk Analisis Ergonomis*, Medan : Universitas Sumatera Utara