

**KENDALI PERGERAKAN LENGAN BUATAN UNTUK AREA LENGAN BAWAH
MENGUNAKAN SINYAL EMG
PROSTHETIC ARM MOVEMENT CONTROL FOR FOREARM AREA WITH EMG SIGNAL
Ilham Rabbani Des Chandra Aziz¹, Dr. Achmad Rizal, S. T., M.T.2 Ramdhan Nugraha, S.Pd, M.T.3**

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹ilham.rabbani.dca@gmail.com, ²achmadrizal@telkomuniversity.ac.id,
³ramdhan@telkomuniversity.ac.id

Abstract

The human hand is one of the most frequently used parts of the body's anatomy. For some jobs, hands are valuable assets. The good and bad performance of human hands is heavily influenced by the good control and coordination of the nerves and muscles. Unfortunately, not all humans are blessed with healthy hands. Various things ranging from diseases such as strokes, paralysis, to the results of amputations due to disease also cause human hands to lose their main function or even totally unusable.

This research aims to make an artificial arm that can be controlled based on EMG signals for people with disabilities. EMG signal readings are done by attaching electrodes to specific points of the pronator teres muscle in the forearm area. The results of the obtained muscle activity will be captured in the form of an EMG signal to then be processed until it reaches a certain reading frequency range for the captured signal. After reading, the signals will then extract characteristics that are used as parameters to conclude the movement obtained using the K Nearest Neighbor (KNN) algorithm in MATLAB and then continued by serial communication with the microcontroller to move the prosthetic arm.

Through this research, the writer obtained 76.7% accuracy on the value of $K = 3$ based on the results of KNN training with Classification Learner in MATLAB. However, through predictions with the new test data the writer could only get 50% accuracy. This can be caused by various things such as the hidden muscle location, the area of muscle detection, and the measurement for Euclidian Distance on KNN in MATLAB which also carried out evenly against fellow training data.

Keywords : *nervous system, signal, EMG, prosthetic arm, serial communication, disabilities, KNN, Euclidian Distance.*

1. Pendahuluan

Tubuh manusia tersusun dari berbagai macam sistem yang kompleks, dan salah satu bagian dari anatomi tubuh manusia adalah tangan. Berbeda dengan bagian tubuh lainnya, tangan manusia membutuhkan keselarasan dan kontrol yang tepat agar dapat berfungsi dengan baik. Kontrol tangan yang baik sangat dipengaruhi oleh kinerja sistem saraf dan bagian otot yang dikendalikan.

Kinerja otot sebagai hasil kontrol sistem saraf dapat diketahui melalui prosedur diagnostik yang dinamakan elektromiografi (EMG). Sinyal EMG merupakan sinyal hasil aktivitas kontraksi otot yang disebabkan oleh aliran ion di sekitar membran otot [1]. Sinyal EMG sendiri adalah sinyal acak yang amplitudonya berkisar dari 0 sampai 1,5 mV rms (rms = root mean square) atau 1 sampai 10 mV (puncak-ke-puncak) dengan rentang frekuensi antara 0 – 500 Hz [3].

Pada kondisi normal, pergerakan tangan diawali dari pengiriman sinyal perintah gerakan dari bagian cortex otak menuju spinal cord yang kemudian diteruskan dan diterima oleh motoneuron (sel saraf motorik) yang ada di otot. Lalu, serat-serat otot bersama dengan motoneuron membentuk motor unit (MU) di mana saat motoneuron diaktifkan dari spinal cord maka serat-serat otot juga akan aktif dan menghasilkan gerakan sesuai perintah otak (kontraksi maupun relaksasi). Namun pada kasus tertentu, kontraksi otot tidak dapat dilakukan dengan optimal atau bahkan sama sekali tidak dapat dilakukan. Hal ini dapat disebabkan oleh banyak faktor, mulai dari kelumpuhan dan hasil amputasi pada bagian tertentu dari tangan (menyebabkan terputusnya sistem saraf motorik pada jaringan otot tertentu) hingga terjadinya atrofi otot (pelemahan massa otot) yang disebabkan oleh stroke berkepanjangan maupun penuaan. Hal ini disebabkan karena serabut-serabut otot tidak berkontraksi untuk waktu yang cukup lama hingga perlahan menjadi mengecil (atrofi) [5,10]

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Elektromiografi (EMG)

Elektromiografi (EMG) merupakan bidang keilmuan yang berhubungan dengan deteksi, analisis, serta pemanfaatan sinyal-sinyal listrik yang berasal dari aktivitas otot rangka. Sinyal listrik yang diproduksi selama aktivitas otot disebut sinyal mioelektrik. EMG biasa digunakan untuk mengevaluasi dan merekam aktivitas kelistrikan yang diproduksi dari otot tubuh manusia [13].

Amplitudo sinyal EMG yang dihasilkan berkisar antara 1-10 mV, dengan rentang frekuensi berkisar antara 0-500 Hz dan didominasi pada rentang antara 50-150 Hz. Sinyal EMG juga sangat dipengaruhi oleh noise, dan umumnya diakibatkan oleh radiasi dari sumber-sumber elektromagnetik seperti barang-barang elektronik. Noise jenis ini terdapat pada kisaran frekuensi antara 50-60 Hz. Selain itu, juga terdapat noise yang dihasilkan dari gesekan elektroda pada permukaan kulit maupun pergerakan kabel elektroda yang umumnya terdapat pada rentang frekuensi 0-20 Hz [6]. Penelitian tidak memanfaatkan filter, namun akan melakukan resampling ke kisaran frekuensi 0-500 Hz dan menggunakan teknik FFT dalam pengolahannya

2.2 Pergerakan Otot Lengan Bawah

Lengan manusia tersusun atas sistem jaringan otot yang kompleks, namun secara umum lengan manusia terbagi menjadi dua area: lengan atas dan lengan bawah. Lengan atas adalah area lengan antara siku hingga ke bahu, sementara lengan bawah merupakan area antara pangkal siku hingga pergelangan tangan. Pergerakan area lengan bawah secara umum terbagi menjadi 4 jenis: fleksi, ekstensi, pronasi, dan supinasi [9].

1. Fleksi

Merupakan gerak menekuk atau membengkokkan. Pada kasus ini, fleksi berarti gerak membengkokkan pergelangan lengan. Gerakan fleksi dihasilkan dari kontraksi otot-otot flexor seperti flexor carpi radialis atau flexor carpi ulnaris.

2. Ekstensi

Gerak ekstensi berarti gerak meluruskan atau kebalikan dari gerak fleksi. Gerakan ini dipicu oleh aktivitas kontraksi otot-otot ekstensor seperti extensor carpi radialis longus dan extensor carpi ulnaris. Namun kontraksi otot ekstensor juga dapat membuat pergelangan tangan menjauh (adduksi) dari posisi fleksi.

3. Pronasi

Gerak ini merupakan gerak membalikkan telapak tangan. Gerakan ini dipengaruhi oleh kontraksi otot pronator seperti pronator quadratus dan pronator teres.

4. Supinasi

Gerak supinasi merupakan gerak menengadahkan tangan. Gerak ini dihasilkan dari gerak otot supinator.

2.2 Fast Fourier Transform (FFT)

Fourier Transform (FT) memungkinkan frekuensi-frekuensi dari sinyal EMG untuk dipecah, dan frekuensi hasil ekstrasinya dapat digunakan untuk meneliti kelainan otot maupun aktivitas otot lainnya. Dikarenakan pengolahan data EMG dilakukan di komputer dengan data diskrit, maka teknik yang umum digunakan adalah Discrete Fourier Transform (DFT). FFT merupakan algoritma untuk menghitung DFT dengan cepat dan efisien. DFT dinyatakan dalam persamaan: Kedalaman bit, banyak sedikitnya jumlah bit pada suatu gambar dalam satuan bit atau pixel. Semakin banyak bit maka gambar yang dihasilkan semakin bagus.

2.3 Domain Waktu & Domain Frekuensi

Perangkat lunak pada sistem yang akan dirancang menggunakan bahasa pemrograman C#. Sebagai bahasa pemrograman dengan jenis OOP (Object Oriented Programming), C# mampu memberikan kebutuhan untuk multi-processing dan interface dengan sensor Kinect. Dalam pengujiannya C# sangat bergantung dengan framework yang disebut .NET Framework, yang digunakan untuk mengcompile dan menjalankan program. Selain itu, bahasa C# dan framework pada sensor Kinect dikembangkan oleh Microsoft, sehingga dapat meningkatkan kompatibilitasnya.[11]

2.3.1 Frekuensi Rata-Rata

Frekuensi rata-rata pada domain frekuensi adalah rata-rata frekuensi dari hasil perhitungan jumlah dari produk power spectrum sinyal EMG dan frekuensinya dibagi total penjumlahan intensitas spektrumnya.

2.3.2. Frekuensi Tengah

Frekuensi tengah ialah frekuensi saat spektrum dibagi menjadi 2 area dengan amplitudo yang setara.

2.3.3 Skewness

Skewness merupakan besaran asimetris dari sebuah sinyal. Suatu distribusi dikatakan simetris jika distribusi tampak sama antara sebelah kiri dan kanan dari titik pusatnya.

2.3.4 Kurtosis

Kurtosis adalah besaran dari ketinggian sebuah distribusi probabilitas. Dengan kata lain, kurtosis merupakan ukuran apakah suatu distribusi lebih rata secara relatif dari distribusi normal atau sebaliknya.

2.3.5 Spectral Entropy

Spectral entropy (SE) dari sebuah sinyal adalah besaran dari distribusi spektrum sinyal tersebut.

2.4 K-Nearest Neighbor (KNN)

KNN merupakan salah satu algoritma pembelajaran dengan menghitung jumlah dari jarak tetangga terdekat dengan beberapa macam metoda. Salah satu metoda yang digunakan dalam KNN adalah Euclidian Distance dengan persamaan:

$$jarak = \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \quad (2.1)$$

di mana x_i adalah data latih, y_i adalah data uji, dan N adalah jumlah dari data latih.

Algoritma KNN menghitung jarak terdekat antara data uji yang baru dengan beberapa data latih yang tersedia sesuai jumlah K yang ditentukan. K merupakan banyaknya tetangga dengan jarak terdekat yang di ambil dari tiap perhitungan kesimpulan. Tiap data latih diklasifikasikan berdasarkan kelasnya masing-masing. Melalui perhitungan Euclidian Distance, algoritma ini memungkinkan prediksi dari data-data baru yang belum diketahui kelasnya sesuai dengan jarak ketetanggaan terdekat dengan data latih yang tersedia.

Dalam KNN penentuan jumlah ketetanggaan K adalah faktor kunci yang sangat mempengaruhi hasil klasifikasi KNN. Nilai K terlalu kecil rawan mendapat hasil prediksi ambigu, sementara nilai K terlalu besar membuat batasan ketetanggaan dari kelas-kelas lainnya terlalu luas. Untuk mengatasi hal ini, dapat digunakan beberapa bentuk metode penentuan nilai K paling optimal. Salah satunya adalah dengan mencari K dengan tingkat akurasi prediksi tertinggi [8,11].

2.5 Motor Servo

Motor servo merupakan motor DC yang dilengkapi dengan sistem kontrol closed feedback yang terintegrasi dalam motor tersebut. Pada motor servo posisi putaran sumbu (axis) dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo sendiri tersusun atas sebuah motor DC, gearbox, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum putaran sumbu (axis) motor servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang pada pin kontrol motor servo [15].

2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari Central Processing Unit (CPU), memori, Input/Output tertentu dan fitur pendukung lainnya seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) dan lain-lain yang sudah terintegrasi di dalamnya [16].

3. Perancangan Sistem

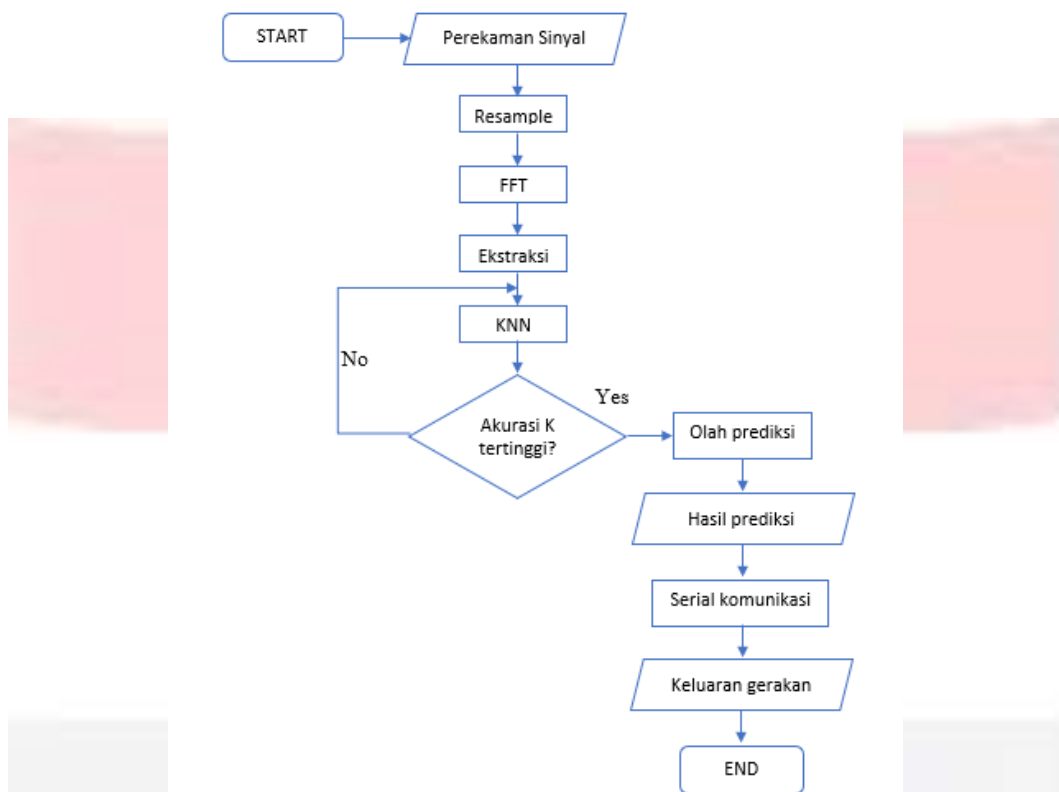
3.1 Blok Diagram Sistem

Berikut adalah diagram blok sistem secara keseluruhan.



Gambar III-1. Blok Diagram Sistem

3.2 Diagram Alir



Gambar III-2. Diagram Alir Sistem

Pada **Gambar III-2.** dijelaskan mengenai diagram alir yang digunakan pada sistem ini secara keseluruhan. Tahap pertama ialah proses perekaman sinyal EMG menggunakan MATLAB melalui elektroda. Kemudian data sinyal disimpan dan diolah dalam MATLAB untuk mencapai jarak deteksi frekuensi untuk sinyal EMG. Data sinyal yang sudah diolah dalam domain waktu kemudian diolah kembali melalui proses FFT untuk dirubah ke dalam domain frekuensi dan dilakukan ekstraksi ciri sesuai gerak yang dilakukan oleh lengan bawah. Lalu, hasil ekstraksi ciri dalam domain frekuensi dari tiap data yang diolah akan digunakan dalam algoritma KNN untuk menentukan persentase nilai K dengan akurasi terbaik dalam melakukan prediksi dari data-data yang baru. Nilai K dengan akurasi terbaik kemudian akan digunakan untuk memprediksi gerakan dari data-data sinyal yang baru. Hasil prediksi yang didapat akan diteruskan ke mikrokontroler melalui serial komunikasi antara MATLAB dengan mikrokontroler dengan gerakan lengan robot sesuai hasil prediksi sebagai keluarannya.

4 Hasil Pengujian dan Analisa

4.1 Hasil Analisa

Data hasil pengelompokkan dari tiap hasil olah rekaman kemudian dikumpulkan dan dibagi menjadi dua kategori: data latih dan data uji. Penulis mengambil 15 data sinyal dari tiap kelas sebagai data latih untuk pelatihan KNN, sementara 15 data lainnya akan digunakan sebagai data uji dan dibandingkan dengan hasil prediksi dari KNN.

4.1.1 Pelatihan Data Uji dengan KNN

Data latih yang sudah dikumpulkan kemudian akan dilatih menggunakan fitur Classification Learner MATLAB. Dengan menggunakan Euclidian distance sebagai acuan perbandingan jarak antar data, penulis mengambil nilai K dari tiga sampai sembilan untuk melihat persentase akurasi terbesar dari hasil pelatihan data.

Pengambilan nilai K dibatasi dari tiga sampai sembilan dikarenakan penggunaan nilai K terlalu besar akan membuat batas ketetangaan antar kelas terhadap data-data yang baru menjadi terlalu luas sehingga menyulitkan pengambilan kesimpulan prediksi yang tepat.

4.5.2 Analisa Prediksi Data Uji

Berdasarkan hasil latih KNN didapatkan nilai $K=3$ mendapat akurasi tertinggi. Maka berdasarkan hasil KNN, nilai K yang digunakan untuk memprediksi data-data uji yang baru adalah 3. Kemudian dari nilai K tersebut kelas untuk tiap data baru yang diukur jarak ketetanggaannya akan diukur dengan Euclidian distance berdasarkan nilai $K=3$.

4.5.3 Analisa Hasil Prediksi terhadap Data Uji

Tabel IV-1. Data Perbandingan Hasil Prediksi KNN dengan Data Uji

No.	Gerakan	$K=3$
1	'fleksii'	'fleksii'
2	'fleksii'	'fleksii'
3	'fleksii'	'fleksii'
4	'fleksii'	'fleksii'
5	'fleksii'	'fleksii'
6	'fleksii'	'fleksii'
7	'fleksii'	'fleksii'
8	'fleksii'	'fleksii'
9	'fleksii'	'ekstensi'
10	'fleksii'	'fleksii'
11	'fleksii'	'fleksii'
12	'fleksii'	'fleksii'
13	'fleksii'	'fleksii'
14	'fleksii'	'fleksii'
15	'fleksii'	'fleksii'
16	'ekstensi'	'ekstensi'
17	'ekstensi'	'ekstensi'
18	'ekstensi'	'fleksii'
19	'ekstensi'	'fleksii'
20	'ekstensi'	'fleksii'
21	'ekstensi'	'fleksii'
22	'ekstensi'	'fleksii'
23	'ekstensi'	'ekstensi'
24	'ekstensi'	'fleksii'
25	'ekstensi'	'fleksii'
26	'ekstensi'	'fleksii'
27	'ekstensi'	'fleksii'
28	'ekstensi'	'fleksii'
29	'ekstensi'	'ekstensi'
30	'ekstensi'	'ekstensi'
31	'pronasi'	'relaksasi'
32	'pronasi'	'pronasi'
33	'pronasi'	'pronasi'
34	'pronasi'	'ekstensi'
35	'pronasi'	'ekstensi'
36	'pronasi'	'pronasi'
37	'pronasi'	'ekstensi'

38	'pronasi'	'ekstensi'
39	'pronasi'	'ekstensi'
40	'pronasi'	'relaksasi'
41	'pronasi'	'relaksasi'
42	'pronasi'	'pronasi'
43	'pronasi'	'relaksasi'
44	'pronasi'	'relaksasi'
45	'pronasi'	'relaksasi'
46	'relaksasi'	'relaksasi'
47	'relaksasi'	'ekstensi'
48	'relaksasi'	'relaksasi'
49	'relaksasi'	'ekstensi'
50	'relaksasi'	'ekstensi'
51	'relaksasi'	'pronasi'
52	'relaksasi'	'relaksasi'
53	'relaksasi'	'ekstensi'
54	'relaksasi'	'relaksasi'
55	'relaksasi'	'ekstensi'
56	'relaksasi'	'ekstensi'
57	'relaksasi'	'relaksasi'
58	'relaksasi'	'ekstensi'
59	'relaksasi'	'relaksasi'
60	'relaksasi'	'relaksasi'
Total gerakan		60
Benar		30
Akurasi (%)		50

Berdasarkan perhitungan manual menggunakan Euclidian distance, persentase prediksi yang benar hanyalah 50% dari keseluruhan data, sementara berdasarkan hasil pelatihan KNN di MATLAB persentase akurasi untuk nilai $K=3$ mencapai 76,7%.

Gerakan	Jumlah	$K=3$	Akurasi (%)
'fleksi'	15	14	93,33%
'ekstensi'	15	5	33,33%
'pronasi'	15	4	26,67%
'relaksasi'	15	7	46,67%
Total	60	30	

Terlihat gerak fleksi mendapat akurasi tertinggi sebesar 93,33%. Hal ini dapat disebabkan karena proses pelatihan data di MATLAB dilakukan merata untuk semua sampel yang dilatih, sementara hasil prediksi dengan menggunakan perhitungan manual memungkinkan perhitungan ketetangaan data latih terhadap data uji dilakukan secara tepat. Meski begitu, perhitungan manual beresiko mendapat hasil prediksi yang ambigu (di mana terdapat dua atau lebih kelas dengan jumlah ketetangaan anggotanya terhadap data uji sama dengan kelas lainnya).

4.5.4 Komunikasi Serial MATLAB dengan Mikrokontroler

Setelah didapat hasil prediksi yang tepat, komunikasi serial dengan mikrokontroler melalui GUI MATLAB akan mengirimkan masukan data ke mikrokontroler sesuai dengan kelas hasil prediksi yang didapatkan. Tombol-tombol pada GUI MATLAB akan mengirimkan masukan ke mikrokontroler sesuai kode yang dibutuhkan untuk menggerakkan lengan buatan berdasarkan kode tiap gerakan.

Setelah memberi masukan ke mikrokontroler, maka mikrokontroler akan memproses masukan tersebut sesuai kode yang ada dan mengubahnya menjadi gerakan pada lengan robot sesuai dengan hasil prediksi KNN yang didapat.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, maka dapat disimpulkan:

1. Nilai akurasi sebesar 50% dari hasil prediksi KNN yang didapat masih belum cukup bagus untuk mengklasifikasikan tiga gerakan area lengan bawah dengan empat posisi berbeda dengan hanya melalui satu lini otot.
2. Dari semua gerakan, gerak fleksi mendapat keakuratan nilai prediksi terbagus (93,33%). Hal ini dapat saja disebabkan karena area ekspos otot flexor carpi radialis lebih luas dari pronator teres sehingga hasil perekaman sinyal dapat lebih terasa.
3. Ketidakkuratan pada proses prediksi data uji dapat disebabkan oleh lokasi otot pronator teres yang tersembunyi di balik lapisan otot lainnya seperti brachioradialis, flexor carpi radialis, dsb. Sehingga menyulitkan perekaman sinyal EMG dengan perbedaan karakteristik antar otot yang signifikan.
4. Ketidakkuratan pada proses prediksi juga dapat disebabkan oleh metode latih KNN dari MATLAB yang juga menghitung jarak Euclidian distance antar sesama data latih. Sehingga akurasi prediksi untuk data uji yang baru tidak cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [1] De Luca, C. J. 2006. Electromyography: Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, pp. 98-109.
- [2] Khushaba. R. 2010. Application of Biosignal-Driven Intelligent Systems for Multifunction Prosthesis Control, University of Technology, Sydney.
- [3] De Luca, C. J. 2002. Surface electromyography: Detection and recording. DelSys Incorporated.
- [4] Guyton, Arthur C. 2007. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran. Ed.11. Jakarta : EGC.
- [5] Keller, K., Engelhardt, M., 2013. Strength and muscle mass loss with aging process. Age and strength loss. Muscles Ligaments Tendons J. 3(4): 346–350.
- [6] S. Leif, and L. Pablo, Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications, Elsevier Science & Technology, July 2005.
- [7] J. Muhammad Zahak. 2012. Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis, Australia: Intech.
- [8] W. Anne & G. Allison. 2014. Ross and Wilson Anatomy & Physiology in Health and Illness, 12th Edition.
- [9] J. Kilby, and K. Prasad. 2013. Analysis of Surface Electromyography Signals Using Discrete Fourier Transform Sliding Window Technique, Volume 5, No 2, International Journal of Computer Theory and Engineering.
- [10] A. Cemil, E. Orhan. 2016. Comparison of Different Time and Frequency Domain Feature Extraction Methods on Elbow Gesture's EMG, Volume 2, Issue 3, European Journal of Interdisciplinary Studies.

- [11] Sharma, V., and A. Parey. "A Review of Gear Fault Diagnosis Using Various Condition Indicators." *Procedia Engineering*. Vol. 144, 2016, pp. 253–263.
- [12] H. Misra, S. Iqbal, H. Bourlard and H. Hermansky, "Spectral entropy based feature for robust ASR," 2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Montreal, Que., 2004, pp. 1-193.
- [13] Imandoust, S. B. & Bolandraftar, M. 2013. Application of K-Nearest Neighbor (KNN) Approach for Predicting Economic Events: Theoretical Background. *Journal of Engineering Research and Applications*, 3(5).
- [14] P. Aprilo Paskalis, F. Hurriyatul, A. Issa. 2019. Implementasi K-Nearest Neighbor untuk Klasifikasi Ekspresi Wajah Berdasarkan Data Muscle Sensor dan Berbasis Arduino. Universitas Brawijaya.
- [15] Motor Servo [Online]. Available: <http://elektronika-dasar.web.id/motor-servo/>
- [16] Pengertian dan Kelebihan Mikrokontroler [Online]. Available: <https://elektronika-dasar.web.id/pengertian-dan-kelebihan-mikrokontroler/>