



Klasifikasi Sinyal EMG Menggunakan Random Forest

Tugas Akhir

**Oleh:
Valentina Br Tampubolon (4211911020)**

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul: "Klasifikasi Sinyal EMG Menggunakan Random Forest" adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 31 Juli 2025



Valentina Br Tampubolon
NIM: 4211911020

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Valentina Br Tampubolon (4211911020)

Tanggal Sidang: 16 Juli, 2025

Disetujui oleh:



1. Aditya Gautama Darmoyono S.T., M.T.
NIK: 117180



1. Ir Daniel Sutopo Pamungkas S.T.,M.T.
NIK: 197511282012121002



2. Budiana S.Si, M.Si
NIK: 199201132019031014

Klasifikasi Sinyal EMG Menggunakan Random Forest

Abstrak

Kemajuan teknologi dalam bidang kesehatan telah mendorong pengembangan alat bantu yang inovatif, seperti sistem yang memanfaatkan *Electromyography* (EMG) untuk mendeteksi sinyal listrik dari aktivitas otot. Penelitian ini fokus pada klasifikasi pola gerakan jari tangan menggunakan algoritma Random Forest. Sinyal EMG dikumpulkan melalui sensor Myo Armband yang dipasang pada lengan bawah tangan kanan subjek. Data sinyal yang diperoleh diproses dengan mengubahnya ke dalam domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Dari keseluruhan data, 70 persen digunakan untuk pelatihan model dan 30 persen untuk pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *Random Forest* dapat mengklasifikasikan sinyal EMG dengan akurasi yang baik, memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem pengenalan gerakan berbasis sinyal EMG.

Kata kunci: EMG, Random Forest, Myo Armband

Classification of EMG Signals Using Random Forest

Abstract

Advancements in technology within the healthcare sector have driven the development of innovative assistive devices, such as systems utilizing Electromyography (EMG) to detect electrical signals from muscle activity. This research focuses on classifying the movement patterns of finger movements using the Random Forest algorithm. EMG signals were collected through a Myo Armband sensor placed on the forearm of the right hand of the subjects. The obtained signal data was processed by converting it into the frequency domain using Fast Fourier Transform (FFT). Of the total data, 70 percent was used for model training, while 30 percent was used for testing. The results indicate that the Random Forest algorithm can effectively classify EMG signals with good accuracy, providing significant contributions to the development of gesture recognition systems based on EMG signals.

Keywords: EMG, Random Forest, Myo Armband

Kata Pengantar

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, saya mengucapkan syukur atas rahmat, hidayah, dan berkat-Nya, yang telah memungkinkan saya untuk menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Klasifikasi Sinyal EMG Menggunakan Random Forest”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada program studi Teknik Mekatronika di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam.

Saya menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, disebabkan oleh keterbatasan kemampuan saya sebagai penulis. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang.

Dalam proses penulisan laporan tugas akhir ini, saya senantiasa mendapatkan bimbingan, dorongan, dan semangat dari berbagai pihak. Dengan demikian, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada pembimbing yang terhormat, Yth. Bapak Ir Daniel Sutopo Pamungkas S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing. Beliau telah dengan sabar meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya untuk membimbing penulis dalam menyusun laporan ini. Saya juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Bapak dan Mamak saya yang selalu supportif terhadap pendidikan anaknya.
2. Yth. Ir. Bambang Hendrawan, S.T., M.S.M. selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Yth. Bapak Dr.Ir. Budi Sugandi, S.T., M.Eng., IPM selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
4. Yth. Bapak Ir. Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Batam.
5. Yth. Bapak Adlian Jefiza S.Pd., M.T. selaku Wali Dosen Mekatronika kelas malam khusus karyawan angkatan 2019 di Politeknik Negeri Batam.
6. Seluruh Dosen dan Staf karyawan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Batam yang telah sabar membimbing dan mengajarkan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Mekatronika kelas malam angkatan 2019 yang saling mendukung dan membantu satu sama lain.
8. Dalam perjalanan ini, saya juga ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada pasangan saya Albert Martin Kaban, yang selalu mendukung dan memberikan semangat.
9. Teman-teman di luar bangku perkuliahan serta rekan-rekan kerja yang selalu mendukung, menyemangati, membantu dan bisa mengerti keadaan penulis.

10. Seluruh mahasiswa dan alumni Teknik Elektro Program Studi Mekatronika Politeknik Negeri Batam serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Batam, 31 Juli 2025



Valentina Br Tampubolon
NIM: 4211911020

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	x
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan.....	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	4
2.1. Electromyography.....	4
2.1.1. Sejarah EMG.....	4
2.1.2. Pembangkitan Sinyal EMG.....	5
2.1.3. Metode EMG.....	6
2.2. Myo Armband.....	6
2.3. Otot.....	7
2.4. Random Forest.....	7
2.5. FFT.....	8
2.6. Fitur Frekuensi.....	9
2.6.1. Mean Frequency.....	9
2.6.2. Median Frequency.....	9
2.6.3. Peak Frequency.....	9

2.6.4. Mean Power.....	10
2.6.5. Total Power.....	10
2.7. Bahasa Pemrograman MATHLAB.....	10
Bab 3. Metodologi Penelitian.....	11
3.1. Perancangan.....	11
3.1.1. Pelatihan dan Pengujian Data.....	13
3.1.1.1. Tampilan Pada Matlab.....	14
3.2. Rancangan Perangkat Keras.....	16
3.3. Klasifikasi Sinyal EMG.....	17
3.4. Alat, Bahan dan Lokasi.....	17
Bab 4. Hasil dan Pembahasan.....	18
4.1. Hasil.....	18
4.2. Pembahasan.....	19
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	22
5.1. Kesimpulan.....	22
5.2. Saran.....	22
Daftar Pustaka.....	23
Biodata.....	25
Lampiran A.....	26
Lampiran B.....	29
Lampiran C.....	32

Daftar Gambar

Gambar 1. Mekanisme pembangkitan sinyal EMG.....	5
Gambar 2. Penggunaan Myo armband dan perangkat.....	6
Gambar 3. flowchart pelaksanaan penelitian.....	11
Gambar 4. Pelatihan dan Pengujian Data.....	13
Gambar 5. Tampilan Pada Matlab.....	14
Gambar 6. Tampilan Grafik Pada Matlab.....	14
Gambar 7. Tampilan Sumbu X Grafik Pada Matlab.....	15
Gambar 8. Tampilan Pelatihan dan Pengujian Pada Matlab.....	15
Gambar 9. Blok diagram perangkat keras.....	16
Gambar 10. Plot All Data.....	18
Gambar 11. Evaluasi Klasifikasi.....	21

Daftar Tabel

Tabel 1. Tabel pengujian.....	17
Tabel 2. Tabel deskripsi jari tangan kanan.....	18
Tabel 3. Tabel Data Ekstrasi Fitur Frequency.....	19
Tabel 4. Tabel Pengujian Confusion Matrix.....	20

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu dunia teknologi elektronika tidak hanya terpaku pada satu disiplin ilmu pengetahuan, namun ada yang telah menyatu dan berkembang pada disiplin ilmu lainnya. Misalnya, pada bidang kesehatan terutama kedokteran, banyak aplikasi yang telah dihasilkan oleh bidang elektronika sebagai penunjang ilmu kedokteran seperti halnya dalam mendiagnosis, mengobati dan tindakan dalam mencegah suatu penyakit atau cedera pada kehidupan manusia.

Bidang ilmu yang mempelajari mekanik dan kedokteran, khususnya mengenai otot manusia, telah menggabungkan kedua disiplin ini dalam suatu istilah yang dikenal sebagai biomekanik. Biomekanik, sebagai bagian dari ilmu biomedika, memfokuskan pengetahuannya pada gerakan makhluk hidup, terutama gerak manusia. Keilmuan ini melahirkan paradigma baru dalam penerapan teknologi, percepatan pengobatan, dan diagnosis yang berkaitan dengan gerak manusia, serta menghasilkan teknologi baru seperti *electromyography* (EMG) [1]. EMG berfungsi untuk mendeteksi sinyal listrik yang ditransmisikan oleh sistem saraf saat otot berkontraksi, di mana data output dari EMG diolah menggunakan algoritma matematis tertentu untuk pengembangan aplikasi yang berhubungan dengan aktivitas manusia. Sinyal yang dihasilkan dari EMG dapat berupa grafik yang merepresentasikan gerakan otot, sehingga informasi tersebut dapat diteliti dan digunakan sebagai dukungan oleh ilmu kedokteran dalam mengambil langkah klinis selanjutnya [2]. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan berbagai algoritma, seperti ANFIS, SVM, NN. Pada algoritma ANFIS memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma SVM. Dimana algoritma ANFIS memiliki tingkat akurasi 91,43% dibandingkan algoritma SVM dengan tingkat akurasi 82,86%.

Tangan memiliki peran penting bagi manusia karena sebagian besar aktifitas yang dilakukan manusia menggunakan tangan. Tetapi tidak semua manusia memiliki tangan yang sempurna atau memiliki fungsi seperti tangan pada umumnya. Hal ini merupakan sebuah masalah yang mengganggu bagi penderita disabilitas dalam menjalani kegiatan kesehariannya, namun dengan adanya kemajuan teknologi terutama dalam bidang robot, banyak dari para ilmuwan bahkan di bidang kesehatan juga ikut berinovasi untuk membantu aktifitas mereka salah satunya robot tangan manipulator untuk membantu pasien yang memiliki disabilitas pada tangannya dalam menggenggam atau melepas genggamannya [3]. Fokus utama dalam penelitian ini adalah pengenalan pola pergerakan jari tangan dengan menggunakan pengukuran aktifitas sensor *electromyography* (EMG). Pada penelitian selanjutnya juga ada menggunakan SVM namun menggunakan kernel polynomial dengan memisahkan lima gerakan jari dengan tingkat keberhasilan 92%.

Pengenalan pola sinyal EMG dapat dikenali melalui 3 metode, yaitu domain waktu, domain frekuensi, dan domain waktu dan frekuensi. Metode domain waktu menggunakan *Slope Sign Changes (SSC)*, *Mean Absolute Value (MAV)*, *Waveform Length (WL)*, *Root Mean Square (RMS)*, *Zerro Crossing (ZS)*, serta *Willison Amplitudo (WAMP)*. Sedangkan metode domain frekuensi menggunakan *Mean Power Frequency (MPF)*, dan *Fast Fourier Transforms (FFT)*. Sedangkan gabungan anantara metode domain waktu dan frekuensi menggunakan *Wavelet* dan *Wavelet Packet Transforms (WPT)*. Sinyal EMG juga diteliti menggunakan algoritma *random forest* namun dengan objek yang berbeda, yaitu otot tungkai ketika berjalan[3].

Dengan demikian, dalam penelitian ini fokus utama adalah pengenalan pola gerakan jari melalui analisis sinyal EMG mentah. Penulis akan menerapkan algoritma *Random Forest (RF)* untuk mengklasifikasikan sinyal EMG tersebut dan mengevaluasi tingkat akurasi. Pemilihan metode ini bertujuan untuk mengklasifikasikan sinyal EMG secara efektif serta membandingkan tingkat keberhasilannya dengan hasil penelitian sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan sistem pengenalan gerakan berbasis sinyal EMG.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat diperoleh rumusan masalahnya, yaitu:

1. Bagaimana cara membaca sinyal *Electromyography (EMG)*?
2. Bagaimana melakukan training data sinyal *Electromyography (EMG)*?
3. Bagaimana mengklasifikasikan sinyal EMG menggunakan algoritma *Random Forest (RF)*?

1.3. Tujuan

Dari rumusan masalah diatas dapat ditetapkan beberapa tujuan luarnya, yaitu:

1. Mampu membaca sinyal *Electromyography (EMG)*.
2. Mampu melakukan *training* data sinyal *Electromyography (EMG)*
3. Mampu mengklasifikasikan sinyal EMG menggunakan algoritma *Random Forest (RF)*.

1.4. Manfaat

Dari rumusan masalah diatas dapat diperoleh beberapa manfaatnya, yaitu:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada perkembangan medis.
2. Hasil pada penelitian diharapkan dapat berguna untuk penyandang disabilitas.
3. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bantuan berbasis EMG di masa depan.

1.5. Batasan

Adapun beberapa batasan masalah,yaitu:

1. Penelitian ini hanya pada satu tangan, yaitu tangan kanan dan sensor diletakkan pada lengan kanan.
2. Pola tangan yang akan digunakan ketika jari jempol terbuka, jari telunjuk terbuka, jari tengah terbuka, jari manis terbuka, dan jari kelingking terbuka.
3. Penelitian ini hanya mengolah data yang sudah ada dari jurnal sebelumnya dan difokuskan pada metode klasifikasi Random Forest.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. *Electromyography*

Electromyography adalah teknik untuk mengevaluasi dan merekam aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot rangka. EMG dilakukan menggunakan alat yang disebut *electromyograph*, untuk menghasilkan rekaman yang disebut *electromiogram*. Pada tubuh manusia, pengetahuan mengenai gaya pada otot dan sendi merupakan nilai besar dalam dunia kedokteran dan terapi fisik, dan juga merupakan studi yang dsangat berguna dalam aktifitas atletik. Implementasi metode pengenalan pola yang dapat menginterpretasikan aktivitas otot memiliki peran penting. Sebuah EMG mendeteksi potensial listrik yang dihasilkan oleh sel-sel otot ketika sel-sel ini elektrik atau neurologis diaktifkan. Sinyal dapat dianalisis untuk mendeteksi kelainan medis, tingka aktivasi, perintah lektromiografi (EMG) merupakan perpanjangan dari pemeriksaan klinis yang mampu membedakan antara otot myopatik dan neurogenik serta memberikan bukti adanya neuropati perifer[4].

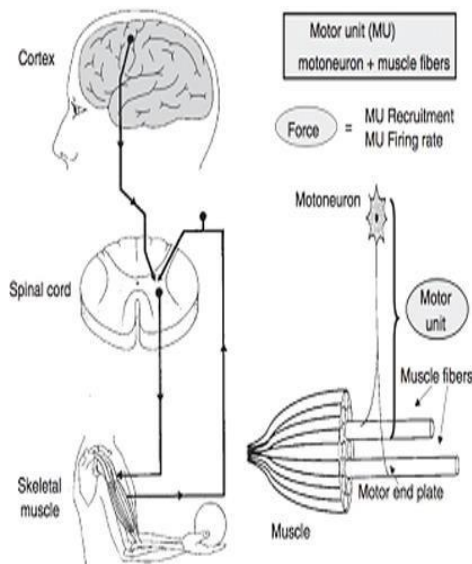
Electromyography merupakan perekaman aktivitas listrik di otot tangan dilakukan sebagai pemeriksaan klinis. *Electromyography* sangat berpengaruh dalam proses pemeriksaan untuk membedakan penyakit *myophatic* dengan *neurogenic*. Alat ini dapat mendeteksi kelainan seperti *chorib denervation* atau fasikulasi pada otot normal, menentukan distribusi kelainan *neurogenic*, membedakan saraf fokal, plexus, atau patologi radikuler, dan bisa memberikan bukti yang mendukung patofisiologi neuropati perifer, baik degenerasi aksonal atau demielinasi. Sinyal elektromiografi (EMG) digunakan untuk komunikasi dalam Antarmuka Manusia-Komputer (HCI) untuk aplikasi medis, di mana sinyal ini dapat membantu dalam pengendalian prostesis dengan mengklasifikasikan niat gerakan berdasarkan pola sinyal otot[5].

2.1.1. Sejarah EMG

H. Piper adalah tokoh utama dalam penelitian sinyal otot, menemukan sinyal EMG pada tahun 1912 di Jerman menggunakan jarum galvanometer [6]. Pada tahun 1924, Gasser dan Erlanger melakukan penelitian serupa dengan osiloskop. Proebster mengobservasi sinyal otot pada tahun 1928, membuka jalan bagi EMG sebagai pemeriksaan klinis. Pada tahun 1929, elektroda jarum yang dikembangkan oleh Adrian dan Bronk mulai digunakan. Kemudian, alat EMG seperti vacuum tube amplifier dan solid state circuit dikembangkan oleh Kugelberg, Petersen, Buchthal, dan lainnya, yang memperkenalkan analisis kuantitatif dari Motor Unit Action Potential (MUAP). MUAP menjadi analisis utama dalam pembacaan sinyal EMG dan merupakan dasar untuk perkembangan EMG[7].

2.1.2. Pembangkitan Sinyal EMG

Sinyal listrik otot dibangkitkan oleh motor unit. Sistem saraf pusat tersusun menjadi beberapa bagian yaitu korteks, *spinal cord* dan motor neuron. Bagian korteks mengirimkan sinyal ke *spinal cord* atau lebih dikenal dengan medula spinalis. *Spinal cord* selanjutnya meneruskan sinyal tersebut ke motor neuron yang ada di otot. Motor neuron bekerjasama dengan serat-serat otot membentuk MU. Jumlah MU dalam sebuah otot berbeda-beda dengan rentang 100 - 1000 MU. Selain itu, gaya yang dihasilkan oleh setiap MU juga bervariasi dan berbeda satu sama lain. Untuk itu, sumber utama dari sinyal EMG adalah potensial aksi dari MU yang dikenal dengan *motor unit action potential* (MUAP), yang dibangkitkan selama kontraksi otot[8]. Jumlah MUAP yang diaktifkan terjadi tidak serempak. MUAP inilah yang ditangkap oleh elektrode-elektrode yang diletakkan pada permukaan kulit. MUAP analisis utama dalam pembacaan sinyal EMG, yang didasarkan pada aktivitas neuron serta motorik otot [9] . Alur mekanisme pembangkitan sinyal EMG dapat digambarkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Mekanisme pembangkitan sinyal EMG[8].

2.1.3. Metode EMG

Perekaman dilakukan dengan cara memasukkan jarum *elektroda disipibel* ke dalam otot. Area perekaman ditentukan oleh volume otot yang dapat dilihat oleh jarum. Jarum elektroda konvensional memiliki jangkauan dengan radius 1 mm dari pusat jari-jari nya. Selain ditampilkan dalam grafik sinyal EMG juga ditransmisikan melalui suara lewat loud speaker alat. Sinyal otot normal akan diam atau tanpa suara saat relaksasi[10].

2.2. Myo Armband

Myo Armband, dikembangkan oleh *startup* bernama *Thalmic Labs* [11] , perangkat inovatif itu memanfaatkan sederet sensor *Electromyographic* (EMG) untuk mendeteksi aktivitas elektrik pada otot-otot di pergelangan tangan. Digabungkan dengan *gyroscope*, *accelerometer* dan *magnetometer*, *Myo* sanggup menerjemahkan informasi tersebut menjadi *gesture* tangan yang beragam untuk mengontrol berbagai perangkat; mulai dari komputer, VR headset sampai drone[12].

MYO dilengkapi dengan beberapa sensor yang dapat mengenali gerakan tangan dan gerakan lengan. Hal ini ditandai dengan menggunakan proses yang disebut *Electromyography* (EMG), mengidentifikasi isyarat dengan menggerakkan otot-otot, 8 sensor engembangan sistem lengan prostetik bionik ini penting untuk memastikan responsif sistem secara real-time terhadap perintah atau sinyal EMG subjek [13] . Oleh karena itu, diperlukan untuk setiap pengguna untuk membuat langkah kalibrasi sebelum menggunakan perangkat. Hal ini dilakukan karena setiap pengguna memiliki berbagai jenis kulit, ukuran otot, dll yang akan membantu *myo armband* mengenali setiap gerakan tubuh yang dilakukan.

Faktor penting lain yang terkait dengan gerakan membaca hanya gambar pendekatan adalah MYO memiliki sensor taktil, yang bertanggung jawab untuk transmisi umpan balik (tiga jenis interval-pendek, menengah dan getaran panjang) kepada pengguna saat ia membuat langkah yang tepat atau ingin mengaktifkan sistem. Untuk koneksi, MYO sendiri menggunakan teknologi Bluetooth adapter, yang memungkinkan perangkat untuk melakukan tugasnya[14]. Penggunaan *myo armband* diletakkan pada lengan tangan seperti pada Gambar 2:



Gambar 2. Penggunaan Myo armband dan perangkat[8].

2.3. Otot

Otot adalah sebuah jaringan konektif yang tugas utamanya adalah berkontraksi yang berfungsi untuk menggerakkan bagian-bagian tubuh baik yang disadari maupun yang tidak. Sekitar 40% berat dari tubuh kita adalah otot [15]. Tubuh manusia memiliki lebih dari 600 otot rangka. Otot memiliki sel-sel yang tipis dan panjang. Otot bekerja dengan cara mengubah lemak dan glukosa menjadi gerakan dan energi panas. Sel-sel otot ini dapat bergerak karena sitoplasma mengubah bentuk.

Pada penelitian ini akan difokuskan pada otot lurik yang terdapat di lurik adalah bekerja sadar dan pergerakannya berdasarkan perintah dari sensor motorik yang terdapat di otak. Otot rangka merupakan otot lurik yang melekat pada tulang yang membentuk daging dari anggota badan. Susunan tulang merupakan salah satu unsur sistem penegak. Tulang manusia dihubungkan dengan tulang yang lain melalui sendi. Otot merupakan alat gerak aktif dan sumsum tulang atau kerangka merupakan alat gerak pasif[16].

Otot rangka dan kerangka berfungsi bersama-sama pada sistem muskuloskeletal. Otot rangka kadang disebut juga otot volunter karena bekerja di bawah control kesadaran. Otot rangka menggunakan sekitar 25% konsumsi oksigen pada saat istirahat dan bisa meningkat 20 kali lipat selama berolahraga.

2.4. Random Forest

Random forest adalah algoritma klasifikasi dan regresi yang menjadi bagian dari kelompok *ensemble learning* [17]. Metode *random forest* merupakan pengembangan dari *decision tree* dimana setiap *decision tree* telah dilakukan proses pelatihan dengan menggunakan sampel individu. *Random forest* yang dihasilkan memiliki banyak *tree* dan setiap *tree* ditanam dengan cara yang sama. Seiring dengan bertambahnya dataset, maka *tree* juga ikut berkembang.

Dalam *random forest*, pemilihan atribut pada setiap kali sebuah node akan dipecah akan diambil secara acak [18]. Setiap *tree* diberi sampel data pelatihan dengan menggunakan metode bagging dan tiap *tree* dibangun menggunakan metode yang sama untuk membangun CART (*classification and regression tree*). Metode ini menerapkan metode *bootstrap aggregating* (bagging) dan *random feature selection*.

Tree tersebut terdiri atas root node, internal node, dan leaf node. Root node adalah simpul yang paling atas akan bertindak sebagai akar dari pohon keputusan. Internal node adalah simpul percabangan yang membagi output dari inputan root node. Selanjutnya pada leaf node akan menentukan hasil keputusan. Metode ini dimulai dengan menghitung nilai entropy sebagai penentu ketidakkurnian atribut dan informasi nilai gain seperti berikut:

$$Entropy(Y) = - \sum_i p(c|Y) \log_2 p(c|Y) \quad (1)$$

Pada persamaan (1) Y adalah himpunan kasus dan $p(c | Y)$ adalah proporsi nilai Y terhadap kelas c .

Information gain (Y, a) seperti berikut:

$$= Entropy(Y) - \sum_{v \in values(a)} \frac{Y_v}{Y_a} Entropy(Y_v) \quad (2)$$

Pada persamaan (2) $values(a)$ merupakan semua nilai yang mungkin dalam himpunan kasus a . Y_v adalah subkelas dari Y dengan kelas v yang berhubungan dengan kelas a . Y_a adalah semua nilai yang sesuai dengan a .

Sebelumnya telah ada penelitian mengenai sinyal EMG yang berfokus pada penggunaan kernel pada algoritma SVM. Kernel yang digunakan yaitu kernel linear, RBF, dan polynomial. Dari hasil penelitiannya, kernel polynomial adalah kernel yang paling baik digunakan untuk mengklasifikasikan karena berhasil memisahkan sinyal EMG dari kelima gerakan jari dengan tingkat keberhasilan mencapai 92%. Selanjutnya disusul oleh kernel RBF dengan tingkat keberhasilan 80% yang mengenali dua gerakan jari tengah sebagai gerakan jari manis. Di posisi paling bawah adalah kernel linear dengan tingkat keberhasilan 53% yang tidak mengenali semua percobaan gerakan jari tengah sehingga dikelompokkan pada gerakan jari manis.

Algoritma *random forest* pernah digunakan pada penelitian sinyal EMG yang dihasilkan oleh otot tungkai. *Random forest* digunakan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan fitur dalam berbagai kelas yang mewakili aktivitas otot dengan meningkatkan akurasi klasifikasi [19]. Sinyal EMG otot tungkai memiliki karakteristik yang berbeda karena variasi cara berjalan tiap subjek. Penelitian ini melibatkan 6 subjek dan menggunakan metode graph feature extraction (GFE) serta principal component analysis (PCA) untuk ekstraksi fitur. *Random forest* digunakan sebagai pengklasifikasi data hasil ekstraksi.

2.5. FFT

FFT adalah algoritma yang digunakan untuk menghitung transformasi *Fourier* secara efisien. Transformasi ini mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi, sehingga memudahkan identifikasi komponen frekuensi yang mendominasi sinyal[20].

Dalam penelitian ini, FFT diterapkan secara selektif pada segmen aktif sinyal, yaitu bagian sinyal dengan aktivitas signifikan berdasarkan kriteria seperti ambang amplitudo atau energi. Karena perhitungan komputer membutuhkan bentuk diskrit, DFT digunakan, namun memiliki waktu komputasi yang lama. Untuk mengatasinya, Cooley dan Tukey mengembangkan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) yang mempercepat proses tersebut[21].

Tujuan utamanya adalah mengurangi *noise* dan memfokuskan analisis pada data bermakna. Sinyal direkam dari sensor dengan laju sampling tertentu (200 Hz). Setiap rekaman terdiri dari beberapa detik sinyal kontinu. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah deteksi berbasis ambang (*threshold*). Sinyal dianggap aktif jika amplitudo melebihi nilai ambang tertentu.

2.6. Fitur Frekuensi

Fitur frekuensi adalah ukuran statistik atau karakteristik yang diekstraksi dari spektrum frekuensi suatu sinyal. Dari hasil transformasi FFT, berbagai fitur frekuensi dapat dihitung yang merepresentasikan karakteristik sinyal dalam bentuk spektral. Fitur frekuensi mampu mengungkap informasi tersembunyi seperti intensitas aktivitas, dominasi osilasi tertentu, dan distribusi energi yang sulit ditangkap dalam domain waktu.

Fitur-fitur frekuensi seperti Mean Frequency, Median Frequency, Peak Frequency, Mean Power, dan Total Power menjadi landasan penting dalam sistem pengklasifikasian sinyal motorik, deteksi kelelahan otot, serta pemantauan status kognitif.

2.6.1. Mean Frequency

Mean Frequency (MNF) adalah rata-rata dari spektrum daya, berbobot oleh nilai frekuensi [22]. Ini mencerminkan “pusat massa” distribusi energi. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$\text{MNF} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \cdot P(f_i)}{\sum_{i=1}^N P(f_i)} \quad (3)$$

Berikut adalah penjelasan mengenai simbol-simbol yang digunakan:

f_i : Frekuensi ke- i .

$P(f_i)$: Nilai spektral daya pada frekuensi tersebut.

2.6.2. Median Frequency

Median Frequency (MDF) adalah frekuensi yang membagi spektrum daya menjadi dua bagian yang sama besar. MDF sangat sensitif terhadap perubahan distribusi energi, dan biasanya digunakan untuk mendeteksi fatigue otot, karena nilainya menurun saat aktivitas berulang terjadi. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$\sum_{f=0}^{f_{\text{mdf}}} P(f) = \frac{1}{2} \sum_{f=0}^{f_{\text{max}}} P(f) \quad (4)$$

2.6.3. Peak Frequency

Peak Frequency (PF) adalah frekuensi di mana spektrum daya mencapai nilai maksimum [23]. PF menunjukkan komponen osilasi dominan dalam sinyal. Dalam banyak kasus, ini mencerminkan aktivitas dominan dari sistem saraf atau otot. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$\text{PF} = f_k \text{ di mana } P(f_k) = \max(P(f)) \quad (5)$$

2.6.4. Mean Power

Mean Power (MP) adalah rata-rata dari seluruh nilai spektral daya. Memberikan gambaran kekuatan rata-rata sinyal, berguna untuk membandingkan intensitas antar sinyal atau antar kelas gerakan. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$MP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P(f_i) \quad (6)$$

2.6.5. Total Power

Total Power (TP) adalah jumlah keseluruhan energi dari spektrum. Menggambarkan energi total yang terkandung dalam satu segmen sinyal. Semakin tinggi aktivitas otot atau otak, biasanya nilai TP semakin besar. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$TP = \sum_{i=1}^N P(f_i) \quad (7)$$

2.7. Bahasa Pemrograman MATLAB

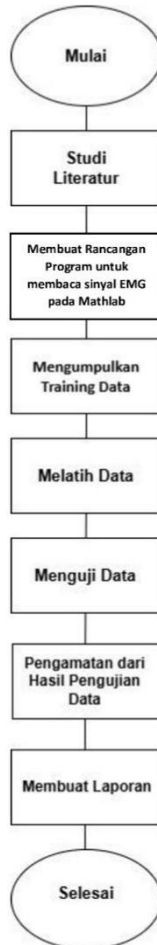
MATLAB (Matrix Laboratory) adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh MathWorks, Inc. untuk pemrograman, analisis, serta komputasi teknis dan matematis berbasis matriks. Nama MATLAB berasal dari kemampuannya dalam menyelesaikan perhitungan dalam bentuk matriks. Versi pertamanya dirilis pada tahun 1970 oleh Cleve Moler dan awalnya dirancang untuk menyelesaikan persamaan aljabar linear. Seiring waktu, MATLAB terus berkembang dalam fungsi dan performa komputasinya, sehingga banyak digunakan dalam pengembangan komputasi dan pemrograman. Salah satu penerapannya adalah dalam teknologi pencitraan medis, khususnya untuk mengolah citra medis dari hasil radiografi digital[24].

MATLAB dapat digunakan di berbagai sistem operasi, termasuk Windows, Linux, dan macOS. Selain itu, MATLAB juga dapat terintegrasi dengan aplikasi atau bahasa pemrograman lain, seperti C, Java, .NET, dan Microsoft Excel[25]. Di dalam MATLAB tersedia berbagai toolbox yang dirancang untuk aplikasi khusus, seperti pengolahan sinyal, sistem kontrol, logika fuzzy, jaringan saraf tiruan, optimasi, pengolahan citra digital, bioinformatika, simulasi, dan teknologi lainnya.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan

Pada gambar 3 ini merupakan flowchart pelaksanaan dari penelitian yang dilakukan :



Gambar 3. *Flowchart* pelaksanaan penelitian.

Pertama, identifikasi masalah akan menjelaskan tantangan dalam pengolahan sinyal EMG, di mana analisis sering dilakukan secara manual dan sulit untuk mendapatkan hasil yang akurat dan cepat. Hal ini menjadi kendala utama dalam aplikasi klinis dan penelitian, di mana kecepatan dan ketepatan analisis sangat penting.

Setelah itu, studi literatur merupakan tahap awal yang krusial dalam penelitian ini. Melalui studi literatur, peneliti dapat memahami teori dasar mengenai sinyal EMG dan algoritma *Random Forest*, serta mengumpulkan berbagai informasi yang dibutuhkan untuk proyek ini. Dengan pemahaman yang mendalam, peneliti dapat merancang proyek dengan lebih efektif.

Tahap berikutnya adalah perancangan program, di mana rancangan perangkat lunak akan dikembangkan menggunakan MATLAB. Aplikasi ini dirancang untuk memproses dan menganalisis sinyal EMG secara otomatis, sehingga mengurangi ketergantungan pada proses manual.

Selanjutnya, dilakukan pengumpulan training data, yang melibatkan pengumpulan data sinyal EMG yang diperlukan sebagai dataset untuk melatih model *Random Forest*. Data yang representatif sangat penting untuk memastikan bahwa model dapat belajar dengan baik.

Proses berikutnya adalah melatih data, di mana model *Random Forest* akan dilatih menggunakan data pelatihan yang telah dikumpulkan. Model ini akan mengenali pola dalam sinyal EMG, sehingga dapat melakukan klasifikasi yang tepat berdasarkan data yang diberikan.

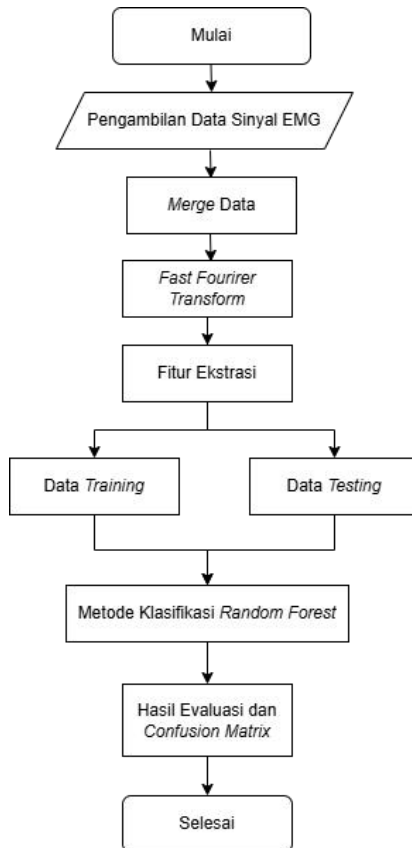
Setelah model dilatih, tahap selanjutnya adalah menguji data untuk mengevaluasi kinerja model dengan menggunakan data uji. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa model dapat melakukan klasifikasi dengan akurat dalam kondisi nyata.

Setelah pengujian, pengamatan dari hasil klasifikasi dilakukan untuk menilai seberapa baik model dalam mengklasifikasikan sinyal EMG. Penilaian ini akan membantu dalam memahami efektivitas model dan area mana yang perlu diperbaiki.

Akhirnya, setelah semua proses selesai, laporan akan disusun untuk mendokumentasikan seluruh langkah, hasil, dan analisis yang diperoleh dari penelitian. Laporan ini tidak hanya mencakup temuan, tetapi juga rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut. Proses ini berakhir dengan laporan yang siap disajikan kepada pihak yang berkepentingan, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemahaman dan aplikasi sinyal EMG dalam bidang medis dan penelitian.

3.1.1. Pelatihan dan Pengujian Data

Gambar 4 merupakan Berikut *flowchart* pada tahap pengumpulan data untuk ditraining:

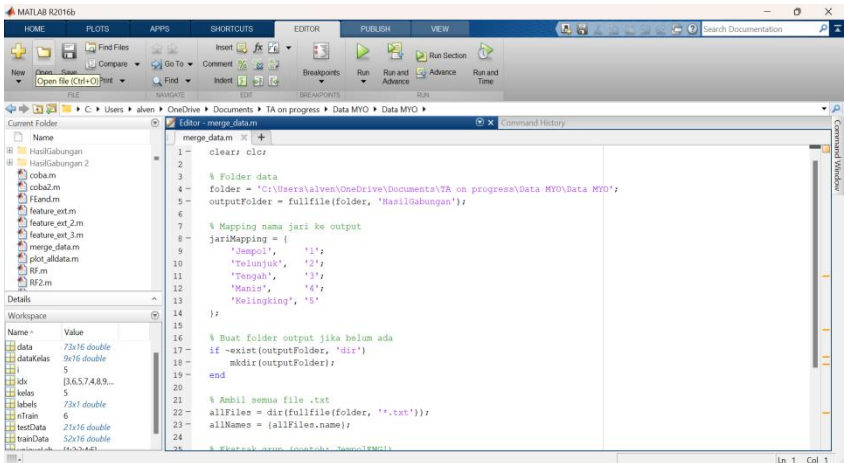


Gambar 4. Flowchart pengumpulan dan training data.

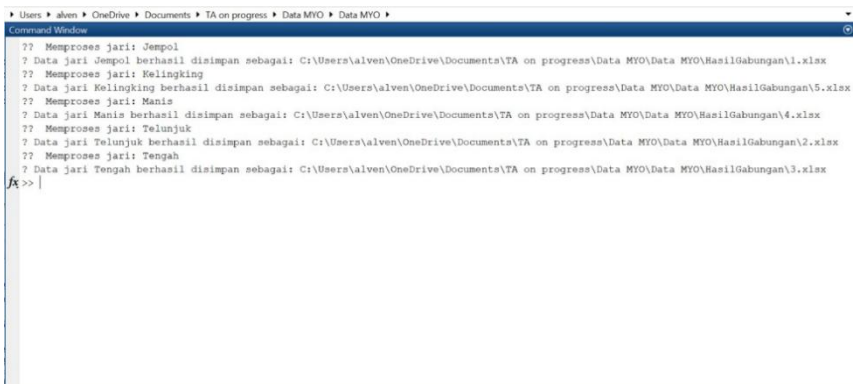
Tahap pertama yang dilakukan adalah pengambilan data mentah sinyal EMG. Data tersebut akan dikelompokkan dalam setiap grup jari, yaitu jempol, telunjuk, tengah, manis, kelingking. Data tersebut akan pisahkan setiap sensor EMG. Di tahap ini data akan dipangkas jumlah data setiap jari sama. Data akan memasuki tahap FFT dilanjutkan dengan ekstraksi menggunakan frekuensi domain. Selanjutnya data akan dipisahkan menjadi data training dan testing. Data-data ini akan menjadi input pada proses pelatihan dan pengujian menggunakan metode random forest.

3.1.1.1. Tampilan Pada Matlab

Gambar 5 dan 6 merupakan tampilan langkah awal yang dilakukan dalam proses learning adalah mengklik *run* sehingga data yang telah dipetakan tersimpan di file excel seperti yang tertera di gambar 5. Data-data tersebut akan ditampilkan dalam 1 grafik, seperti pada gambar 6. Dapat dilihat pada gambar 5 dan 6:

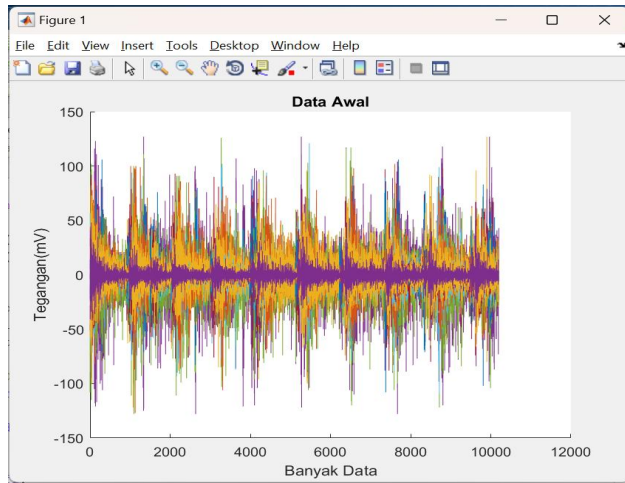


Gambar 5. Tampilan Pada Matlab.



Gambar 6. Tampilan Grafik Pada Matlab.

Pada gambar 7 sumbu x grafik adalah banyaknya data yang diambil dalam 10 detik, sumbu y grafik adalah besar tegangan yang dihasilkan sensor. Dapat dilihat pada gambar 7:



Gambar 7. Tampilan Sumbu X Grafik Pada Matlab.

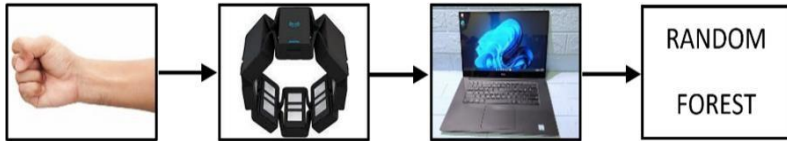
Selanjutnya pada gambar 8 data-data ini akan diolah dan ekstraksi berdasarkan fitur-fitur frekuensi. Proses pelatihan dan pengujian akan dimulai pada windows selanjutnya. Dapat dilihat pada gambar 8:

```
Fband.m x +
1  clc; clear; close all;
2
3  %% ----- PARAMETER -----
4  fs      = 200;                % Sampling rate (Hz)
5  windowSize = 50;            % Ukuran jendela
6  threshold = 5;              % Ambang deteksi STD
7  segmentLimit = 30;         % Maksimum segmen per jari
8  labelNames = {'Jempol','Telunjuk','Tengah','Manis','Kelingking'};
9  emgCols    = [3 4 7 8];    % Kolom EMG
10 emgNames   = {'EMG 3','EMG 4','EMG 7','EMG 8'};
11 nLabel    = numel(labelNames);
12 nCh       = numel(emgCols);
13 halfN     = floor(windowSize/2);
14
15 allFeatures = [];
16
17 P_sum     = zeros(halfN, nCh, nLabel);
18 P_count  = zeros(1, nLabel);
19
20 %% ----- PROSES UTAMA -----
21 for label = 1:nLabel
22     fileName = sprintf('%d.xls', label);
23     raw      = xlsread(fileName);
24     data     = raw(:, emgCols);
25 end
```

Gambar 8. Tampilan Pelatihan dan Pengujian Pada Matlab.

3.2. Rancangan Perangkat Keras

Pada gambar 9 dapat dilihat rancangan dari perangkat kerasnya:



Gambar 9. Blok diagram perangkat keras.

Alur perancangan perangkat keras dapat dilihat pada gambar 9. Proses dimulai dengan deteksi sinyal EMG yang dihasilkan dari gerakan tangan, yang dilakukan oleh Myo Armband. Alat ini secara efektif menangkap aktivitas listrik dari otot-otot tangan. Setelah sinyal EMG terdeteksi, data tersebut kemudian dikoneksikan ke PC melalui Bluetooth, memungkinkan transfer data yang cepat dan tanpa kabel.

Setelah data berhasil dibaca di komputer, langkah selanjutnya adalah melakukan pelatihan dan klasifikasi menggunakan algoritma Random Forest. Pada tahap ini, model dilatih untuk mengenali pola dalam sinyal EMG, yang kemudian menghasilkan bobot data berdasarkan klasifikasi yang telah dilakukan.

Ketika proses pengujian dimulai, data yang baru akan dibaca dan dibandingkan dengan bobot hasil pelatihan. Proses perbandingan ini penting untuk menentukan akurasi klasifikasi. Akhirnya, sistem akan menampilkan output berupa klasifikasi yang menunjukkan kategori atau kelas dari sinyal EMG yang terdeteksi.

3.3. Klasifikasi Sinyal EMG

Hasil klasifikasi akan didata pada tabel pengujian untuk mengukur tingkat keakuratan algoritma *random forest*. *Confusion matrix* adalah salah satu metode yang digunakan mengukur kinerja suatu metode klasifikasi. Berikut adalah tabel pengujian yang digunakan untuk mengukur tingkat keakuratan algoritma ini.

Tabel 1. Tabel pengujian

	Jari jempol tertutup	Jari telunjuk tertutup	Jari tengah tertutup	Jari manis tertutup	Jari kelingking tertutup
Jari jempol tertutup					
Jari telunjuk tertutup					
Jari tengah tertutup					
Jari manis tertutup					
Jari kelingking tertutup					

Nilai akurasi dapat diperoleh dari persamaan (3):

$$\text{Akurasi} = \frac{\sum_{i=1}^l \frac{TP_i + TN_i}{TP_i + TN_i + FP_i + FN_i}}{l} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana : TP_i adalah *true positive*, yaitu jumlah data positif yang terklasifikasi benar TN_i adalah *true negative*, yaitu jumlah data negatif yang terklasifikasi benar FP_i adalah *false positive*, yaitu jumlah data positif yang terklasifikasi salah FN_i adalah *false negative*, yaitu jumlah data negatif yang terklasifikasi salah l adalah jumlah kelas/sampel.

3.4. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini tidak terdapat anggaran yang berarti dikarenakan semua alat dan bahan sudah tersedia di laboratorium Politeknik Negeri Batam sebagai alat penunjang pembelajaran.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

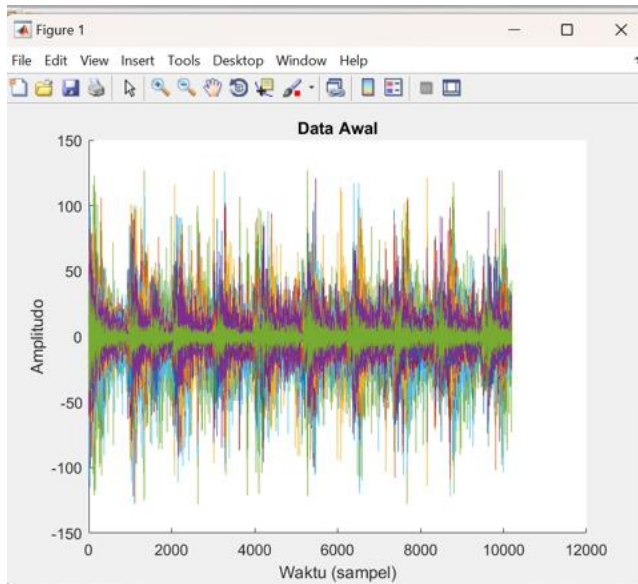
4.1. Hasil

Hasil akhir dari sistem ini adalah sistem yang mengklasifikasikan data-data sinyal EMG menggunakan metode *random forest*. Data EMG akan diambil sebanyak 30 data dari setiap jari, dimana 70% data akan dijadikan data *training* dan 30% data akan dijadikan data *testing*. Pada tabel 2 dapat penelitian ini saya memetakan tiap jari ke dalam bentuk angka.

Tabel 2. Tabel deskripsi jari tangan kanan.

Input jari	Output angka
Jempol	1
Telunjuk	2
Tengah	3
Manis	4
Kelingking	5

Pada gambar 10 data mentah akan dipangkas menjadi 10200 data setiap jari dan sensornya. Ditampilkan data yang telah dipangkas setiap jarinya.



Gambar 10. Plot All Data.

Data-data tersebut akan diambil 30 data untuk diproses FFT dan ekstraksi menggunakan 5 fitur frekuensi. Gambar dibawah ini merupakan hasil dari ekstraksi fitur frekuensi. Pada penelitian ini saya mengambil data sensor EMG 3,4,7, dan 8. Setiap 5 kolom menunjukkan data per EMG yang telah diekstraksi 5 fitur, yaitu *Mean Frequency* (MNF), *Median Frequency* (MDF), *Peak Frequency* (PF), *Mean Power* (MP), dan *Total Power* (TP). Dapat dilihat data ekstrasi fitur *frequency* pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Tabel Data Ekstrasi Fitur Frequency.

Jari	Sensor EMG	MNF	MDF	PF	MP	TP	Sensor EMG	MNF	MDF	PF	MP	TP
Jempol	EMG 3	53,46202	44	40	53258,52	1331463	EMG 3	67,53,596	76	76	39148,2	978705
	EMG 4	50,91751	48	68	22607,36	565184	EMG 4	48,29372	48	84	25979,96	649499
	EMG 7	44,34285	36	32	7428,24	185706	EMG 7	58,88701	64	72	33371,8	834295
Telunjuk	EMG 8	53,75025	44	44	2423,32	60583	EMG 8	51,03604	52	56	11590	289750
	EMG 3	66,50418	76	96	16895,72	422393	EMG 3	54,74261	56	56	95173	2379325
	EMG 4	56,52318	52	44	10066,88	251672	EMG 4	58,05744	56	56	23228,8	580720
	EMG 7	55,34692	64	72	2795,76	69894	EMG 7	44,00405	44	44	2686	67150
Tengah	EMG 8	54,18112	52	44	4674,12	116853	EMG 8	41,62995	36	36	5477,28	136932
	EMG 3	61,95192	68	68	30706,48	767662	EMG 3	56,09856	56	84	4255,52	106388
	EMG 4	56,19239	64	76	5813,36	145334	EMG 4	45,17242	40	44	1661,4	41535
	EMG 7	68,00075	76	76	1013,28	25332	EMG 7	57,52398	68	72	663,2	16580
Manis	EMG 8	52,5945	64	12	608,52	15213	EMG 8	38,62855	36	32	287,24	7181
	EMG 3	70,22012	80	88	150172,7	3754318	EMG 3	64,09498	72	88	40039,4	1000985
	EMG 4	61,19336	68	80	44507,6	1112690	EMG 4	53,2994	56	16	35638	890950
	EMG 7	60,31342	68	28	24907,72	622693	EMG 7	59,31821	68	72	55217,48	1380437
Kelingking	EMG 8	62,26233	68	72	7646,2	191155	EMG 8	67,94454	72	84	18524,44	463111
	EMG 3	53,57844	44	40	1974,84	49371	EMG 3	57,12762	64	68	1236,8	30920
	EMG 4	53,59888	64	76	915,08	22877	EMG 4	68,56331	64	92	984,96	2624
	EMG 7	69,58789	80	88	9423,92	235598	EMG 7	58,8722	60	88	7645,8	191145
	EMG 8	56,89763	60	60	3681,2	92030	EMG 8	66,39757	72	96	2127,24	53181

Dari data-data tersebut akan dipisahkan data pelatihan dan data pengujiannya. Dari 30 data, 70% datanya akan menjadi data training dan sisanya 30% akan menjadi data *testing* yang akan diproses metode *random forest* untuk mengklasifikasi sinyal yang terbaca.

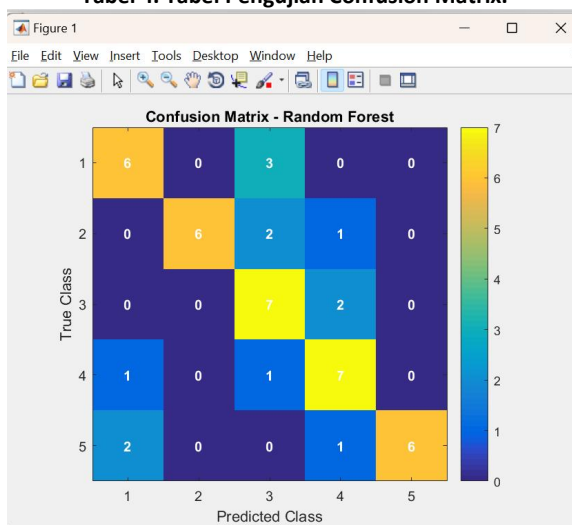
4.2. Pembahasan

Pada gambar 14 merupakan hasil dari proses *testing* menggunakan metode *random forest* pada data sensor EMG 3,4,7 dan 8. Pada proses pengolahan datanya, algoritma *Random Forest* membentuk 100 model pohon keputusan berdasarkan model keputusan prasyarat yang telah ditetapkan. Data EMG akan diambil sebanyak 30 data dari setiap jari, di mana 70% data akan dijadikan data training dan 30% data akan dijadikan data testing. *Confusion matriks* tersebut dapat dilihat bahwa terdapat 6 data sinyal yang memprediksi benar jari jempol, sedangkan 3 data sinyal lainnya memprediksi salah, yaitu jari tengah.

Terdapat 6 data sinyal memprediksi benar jari telunjuk, dan 3 data sinyal lainnya memprediksi salah, yaitu 2 data sinyal jari tengah dan 1 data sinyal jari manis. Terdapat 7 data sinyal memprediksi benar yaitu jari tengah dan 2 data lainnya memprediksi salah yaitu jari manis. Terdapat 7 data sinyal memprediksi benar jari manis, dan 2 data sinyal lainnya memprediksi salah, yaitu 1 data sinyal jari jempol dan 1 data sinyal jari tengah. Terdapat 6 data sinyal memprediksi benar jari kelingking, dan 3 data sinyal lainnya memprediksi salah, yaitu 2 data sinyal jari jempol dan 1 data sinyal jari manis.

Terdapat 6 data sinyal memprediksi benar jari kelingking, dan 3 data sinyal lainnya memprediksi salah, yaitu 2 data sinyal jari jempol dan 1 data sinyal jari manis. Dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4. Tabel Pengujian Confusion Matrix.



AUC adalah singkatan dari *Area Under the Curve*, yaitu luas area di bawah kurva ROC (*Receiver Operating Characteristic*). AUC digunakan untuk mengukur kemampuan model klasifikasi dalam membedakan antara kelas positif dan negatif. Data punya 90.03% peluang menempatkan data positif lebih tinggi dibanding data negatif

Akurasi adalah persentase jumlah prediksi benar terhadap seluruh data uji. Hasil akurasi dari proses pengklasifikasian penelitian ini menggunakan sensor EMG 3, 4, 7, dan 8 berdasarkan confusion matrix di atas adalah $0.7111 \times 100\%$ yaitu 71.11%.

Presisi (*Precision*) adalah salah satu metrik evaluasi dalam pengujian model klasifikasi, yang menunjukkan seberapa banyak dari prediksi positif yang benar-benar positif. Nilai presisi pengujian ini adalah 76.83%.

Recall adalah salah satu metrik evaluasi dalam pengujian model klasifikasi yang mengukur kemampuan model dalam menangkap semua data yang benar-benar positif. Nilai *recall* pengujian ini adalah 71.11%.

F1-Score memberikan rata-rata harmonik antara *presisi* dan *recall*. Harmonik lebih sensitif terhadap nilai rendah. Jika salah satu dari presisi atau *recall* rendah, maka F1 juga akan rendah. Artinya, F1-score menghukum ketidakseimbangan antara keduanya. Nilai F1 yang tinggi berarti model tepat (presisi tinggi) dan lengkap (*recall* tinggi). Nilai F1 adalah 72.06%.

MCC adalah koefisien korelasi antara label aktual dan prediksi model. Nilainya antara -1 hingga +1. MCC lebih adil dan lebih informatif, terutama dalam dataset tidak seimbang, karena mempertimbangkan semua empat komponen dari *confusion matrix*. Nilai MCC adalah 0.6465. Pada gambar 11 dapat dilihat hasil evaluasi klasifikasi menggunakan RF:

```
? Evaluasi Klasifikasi (macro-average):  
AUC           : 0.9003  
CA/Accuracy  : 0.7111  
Precision     : 0.7683  
Recall        : 0.7111  
F1-score      : 0.7206  
MCC           : 0.6465
```

Gambar 11. Evaluasi Klasifikasi.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian Klasifikasi Sinyal EMG Menggunakan *Random Forest* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Tugas Akhir ini berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sinyal *Electromyography* (EMG) dapat dibaca dan diinterpretasikan dengan baik menggunakan algoritma *Random Forest*, yang menghasilkan akurasi sebesar 71.11%, lebih tinggi dibandingkan dengan akurasi 65% yang dilaporkan dalam jurnal sebelumnya.
2. Pelatihan data sinyal EMG dilakukan dengan menguji data dari penelitian sebelumnya, yang telah diekstraksi dan diolah menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mendapatkan fitur frekuensi, dengan 70% data digunakan untuk pelatihan dan 30% untuk pengujian.
3. Klasifikasi sinyal EMG menggunakan algoritma *Random Forest* menunjukkan efektivitas dalam mengidentifikasi pola gerakan, namun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk mengatasi tantangan dalam klasifikasi pola yang lebih kompleks.

5.2. Saran

Saran dari penulis untuk pengembangan lebih lanjut Tugas Akhir ini adalah:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan melibatkan lebih banyak subjek untuk mendapatkan data yang lebih representatif.
2. Mengintegrasikan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam sistem untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan prediksi.
3. Mengintegrasikan feedback pengguna untuk meningkatkan desain antarmuka sistem agar lebih intuitif dan mudah digunakan.

Daftar Pustaka

- [1] D. S. Pamungkas, L. Sihombing, J. Elektro, P. Negeri Batam, and J. Ahmad Yani, "Penggunaan Kernel SVM untuk Klasifikasi Pergerakan Jari Menggunakan Sinyal EMG," 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/>.
- [2] D. S. Pamungkas, W. Pardede, S. K. Risandrya, and P. N. Batam, "Pengenalan Pola Gerakan Jari dengan Algoritma LDA Secara Waktu Sesungguhnya," pp. 17–19, 2022.
- [3] D. S. Putra, A. D. Wibawa, and M. H. Purnomo, "Klasifikasi Sinyal Emg Pada Otot Tungkai Selama Berjalan Menggunakan Random Forest," *Jurnal Inotera*, vol. 1, no. 1, p. 51, Jul. 2017, doi: 10.31572/inotera.vol1.iss1.2016.id7.
- [4] K. R. Mills, "The basics of electromyography," Jun. 2005. doi: 10.1136/jnnp.2005.069211.
- [5] D. C. Toledo-Pérez, J. Rodríguez-Reséndiz, R. A. Gómez-Loenzo, and J. C. Jauregui-Correa, "Support Vector Machine-based EMG signal classification techniques: A review," Oct. 01, 2019, *MDPI AG*. doi: 10.3390/app9204402.
- [6] A. N. Bagus, "Makalah Diagnostik Lanjut EMG."
- [7] C. Chen, D. Li, and M. Xia, "A motor unit action potential-based method for surface electromyography decomposition," *J Neuroeng Rehabil*, vol. 22, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1186/s12984-025-01595-y.
- [8] N. Trisianti, "KLASIFIKASI GERAKAN OTOT LENGAN BAWAH PADA PENDERITA STROKE BERDASARKAN SINYAL EMG MENGGUNAKAN METODE K-NEAREST NEIGHBOR."
- [9] D. Yuliansyah NRP and S. Achmad Arifin, "MUSCLE FATIGUE DETECTION USING EMG SIGNAL AND FORCE DETECTOR ON THE BASIC MOVEMENT OF EXTENSION AND FLEXION KNEE-JOINT FOR EVALUATING USE OF FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION ON THE LOWER LIMB REHABILITATION SYSTEM."
- [10] A. Rahagiyanto, "Identifikasi Ekstraksi Fitur untuk Gerakan Tangan dalam Bahasa Isyarat (SIBI) Menggunakan Sensor MYO Armband," *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, vol. 19, no. 1, pp. 127–137, Nov. 2019, doi: 10.30812/matrik.v19i1.510.
- [11] L. Breiman, "Random Forests," 2001.
- [12] A. Yudha Agung N, T. Afirianto, and I. Arwani, "Pengembangan Permainan Edukasi Pengenalan Chord Gitar Berbasis Virtual Reality Dengan Menggunakan Myo Armband," 2019. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.

- [13] M. A. Daniswara and E. R. Widasari, "IMPLEMENTASI CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK PADA LENGAN PROSTETIK BIONIK BERBASIS WEARABLE ELECTROMYOGRAPHY ARMBAND SENSOR," 2025. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [14] "PERANCANGAN SISTEM KENDALI MIKROKONTROLER BERBASIS GESTURE CONTROL MENGGUNAKAN GESTURE CONTROL ARMBAND."
- [15] S. Wangko, B. Anatomi-Histologi, F. Kedokteran, U. Sam, and R. Manado, "JARINGAN OTOT RANGKA Sistem membran dan struktur halus unit kontraktil."
- [16] S. J. R. Kalangi Bagian, A.-H. Fakultas, K. Universitas, and S. R. Manado, "PERUBAHAN OTOT RANGKA PADA OLAHRAGA."
- [17] D. Setiawan Putra, A. Dharma Wibawa, M. Hery Purnomo, J. Merdeka Komplek Reklamasi Pantai, A. Selatan, and J. Arif Rahman Hakim, "KLASIFIKASI SINYAL EMG PADA OTOT TUNGKAI SELAMA BERJALAN MENGGUNAKAN RANDOM FOREST," 2016.
- [18] FIRZAL ARLAND, "KOMBINASI FITUR SINYAL EMG UNTUK KLASIFIKASI GERAKAN JARI TANGAN".
- [19] S. Shaik and D. U. Ravibabu, "Classification of EMG signals based on curvelet transform and random forest tree method," *Article in Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 31, p. 24, 2017, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/322445926>
- [20] D. T. Kusuma, "Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik," *PETIR*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, Oct. 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.
- [21] J. P. Sugiono *et al.*, "Implementasi Fast Fourier Transform dalam Pengembangan Alat dan Bantuan Program Untuk Mengukur Total Harmonic Distortion".
- [22] S. Shilaskar, S. Bhatlawande, R. Chavare, A. Ingale, R. Joshi, and A. Vaishale, "Human Hand Movement Classification based on EMG Signal using different Feature Extractor," *Biomedical and Pharmacology Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 71–82, 2024, doi: 10.13005/bpj/2835.
- [23] A. Phinyomark, S. Thongpanja, H. Hu, P. Phukpattaranont, and C. Limsakul, "The Usefulness of Mean and Median Frequencies in Electromyography Analysis," in *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*, InTech, 2012. doi: 10.5772/50639.
- [24] A. Atina, "Aplikasi Matlab pada Teknologi Pencitraan Medis," *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, vol. 1, no. 1, p. 28, Aug. 2019, doi: 10.31851/jupiter.v1i1.3123.
- [25] A. Tjolleng, "Pengantar pemrograman MATLAB: Panduan praktis belajar MATLAB," 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/334945947>

Biodata

Nama : Valentina Br Tampubolon
TTL : Batam, 14 Februari 2001
Agama : Kristen Protestan
Alamat : Kavling Bukit Pelita Indah A5 No 23
Email : vtampubolon28@gmail.com
Riwayat : SMA-IPA
Pendidikan

Lampiran A

```
clc; clear; close all;
```

```
%% ----- PARAMETER -----
fs      = 200;          % Sampling rate (Hz)
windowSize = 50;       % Ukuran jendela
threshold = 5;         % Ambang deteksi STD
segmentLimit = 30;     % Maksimum segmen per jari
labelNames = {'Jempol','Telunjuk','Tengah','Manis','Kelingking'};
emgCols    = [3 4 7 8]; % Kolom EMG
emgNames    = {'EMG 3','EMG 4','EMG 7','EMG 8'};
nLabel      = numel(labelNames);
nCh         = numel(emgCols);
halfN       = floor(windowSize/2);

allFeatures = [];

P_sum = zeros(halfN, nCh, nLabel);
P_count = zeros(1, nLabel);

%% ----- PROSES UTAMA -----
for label = 1:nLabel
    fileName = sprintf('%d.xlsx', label);
    raw = xlsread(fileName);
    data = raw(:, emgCols);

    activeSegments = [];

    % ----- Deteksi Segmen Aktif -----
    for i = 1:windowSize:(size(data,1) - windowSize + 1)
        win = data(i:i+windowSize-1, :);
        if mean(std(win)) > threshold
            activeSegments = [activeSegments; win]; %#ok<AGROW>
        end
    end

    % ----- Ekstraksi Fitur Per Segmen -----
    segCount = 0;
    for i = 1:windowSize:(size(activeSegments,1) - windowSize + 1)
        if segCount >= segmentLimit, break; end

        seg = activeSegments(i:i+windowSize-1, :);
        freqFeatures = [];
```

```

localP = zeros(halfN, nCh);

for ch = 1:nCh
    y = seg(:,ch);
    N = length(y);
    Y = abs(fft(y)).^2;
    f = (0:N-1)*(fs/N);

    P = Y(1:halfN);
    f_half = f(1:halfN);

    mnf = sum(f_half .* P) / sum(P);
    cumP = cumsum(P);
    totalP = cumP(end);
    idx_mdf = find(cumP >= totalP/2, 1);
    mdf = f_half(idx_mdf);
    [~, idx_pf] = max(P);
    pf = f_half(idx_pf);
    mp = mean(P);
    tp = totalP;

    freqFeatures = [freqFeatures, mnf, mdf, pf, mp, tp]; %#ok<AGROW>
    localP(:,ch) = P;
end

allFeatures = [allFeatures; freqFeatures, label]; %#ok<AGROW>
P_sum(:,label) = P_sum(:,label) + localP;
P_count(label) = P_count(label) + 1;

segCount = segCount + 1;
end
end

%% ----- SIMPAN FITUR -----
xlswrite('FE-EMG3478.xlsx', allFeatures);
disp('? Ekstraksi fitur frekuensi selesai.');
```

```

%% ----- PLOT SPEKTRUM -----
freqAxis = (0:halfN-1)*(fs/windowSize);

for label = 1:nLabel
    if P_count(label) == 0, continue; end
    figure('Name', labelNames{label}, 'NumberTitle', 'off');
```

```
for ch = 1:nCh
    subplot(2,2,ch);
    P_avg = P_sum(:,ch,label) / P_count(label);
    plot(freqAxis, 10*log10(P_avg)); grid on;
    xlabel('Frekuensi (Hz)');
    ylabel('Power (dB)');
    title(sprintf('%s - %s', labelNames{label}, emgNames{ch}));
end
end
```

Lampiran B

```
clc; clear; close all;
```

```
%% ----- Load Data -----
```

```
trainData = xlsread('train_data.xlsx');
```

```
testData = xlsread('test_data.xlsx');
```

```
X_train = trainData(:,1:end-1);
```

```
Y_train = cellstr(num2str(trainData(:,end)));
```

```
X_test = testData(:,1:end-1);
```

```
Y_test = cellstr(num2str(testData(:,end)));
```

```
%% ----- Normalisasi -----
```

```
mu = mean(X_train);
```

```
sigma = std(X_train);
```

```
X_train = bsxfun(@rdivide, bsxfun(@minus,X_train,mu), sigma);
```

```
X_test = bsxfun(@rdivide, bsxfun(@minus,X_test ,mu), sigma);
```

```
%% ----- Training Model -----
```

```
rng(1); % reproducibility
```

```
model = TreeBagger(100, X_train, Y_train, ...  
    'Method','classification');
```

```
%% ----- Prediksi -----
```

```
[pred_test, scoreTest] = predict(model, X_test);
```

```
pred_test_num = str2double(pred_test);
```

```
Y_test_num = str2double(Y_test);
```

```
order = unique([Y_test_num; pred_test_num]);
```

```
nClass = numel(order);
```

```
%% ----- Confusion Matrix -----
```

```
confMat = confusionmat(Y_test_num, pred_test_num);
```

```
disp('Confusion Matrix:');
```

```
disp(confMat);
```

```
%% ----- Evaluasi: AUC, CA, F1, Recall, Precision, MCC -----
```

```
TP = zeros(nClass,1); FP = TP; FN = TP; TN = TP;
```

```
precision = TP; recall = TP; F1 = TP; AUCvec = TP;
```

```
for k = 1:nClass
```

```
    y_true = (Y_test_num == order(k));
```

```

y_pred = (pred_test_num == order(k));

TP(k) = sum(y_true & y_pred);
FP(k) = sum(~y_true & y_pred);
FN(k) = sum(y_true & ~y_pred);
TN(k) = sum(~y_true & ~y_pred);

precision(k) = TP(k) / (TP(k)+FP(k)+eps);
recall(k) = TP(k) / (TP(k)+FN(k)+eps);
F1(k) = 2 * precision(k)*recall(k) / (precision(k)+recall(k)+eps);

% AUC kelas-k (one-vs-rest)
posClass = y_true;
[,~,AUCvec(k)] = perfcurve(posClass, scoreTest(:,k), true);
end

CA = sum(diag(confMat)) / sum(confMat(:));
macroPrec = mean(precision);
macroRec = mean(recall);
macroF1 = mean(F1);
macroAUC = mean(AUCvec);

% Matthews Correlation Coefficient (multi-class)
N = sum(confMat(:));
S = sum(diag(confMat));
P = sum(sum(confMat,1) .* sum(confMat,2)');
Q = sum(sum(confMat,1).^2);
MCC = (N*S - P) / sqrt( (N^2 - Q)*(N^2 - sum(sum(confMat,2).^2)) + eps );

%% ----- Tampilkan Metrik -----
fprintf('\n? Evaluasi Klasifikasi (macro-average):\n');
fprintf(' AUC : %.4f\n', macroAUC);
fprintf(' CA/Accuracy: %.4f\n', CA);
fprintf(' Precision : %.4f\n', macroPrec);
fprintf(' Recall : %.4f\n', macroRec);
fprintf(' F1-score : %.4f\n', macroF1);
fprintf(' MCC : %.4f\n', MCC);

%% ---- Visualisasi Confusion Matrix ----
figure;
imagesc(confMat);
colormap('parula'); colorbar;
title('Confusion Matrix - Random Forest');
xlabel('Predicted Class'); ylabel('True Class');

```

```
set(gca,'XTick',1:nClass,'XTickLabel',cellstr(num2str(order)));
set(gca,'YTick',1:nClass,'YTickLabel',cellstr(num2str(order)));
axis square;

for i = 1:nClass
    for j = 1:nClass
        text(j,i,num2str(confMat(i,j)), ...
            'HorizontalAlignment','center', ...
            'Color','white','FontWeight','bold');
    end
end
```

Lampiran C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	53,46202	44	40	53258,52	1331463	50,91751	48	68	22607,36	565184,44	34,2485	36	32	7428,24	185706	53,7025	44	44	2423,32	60583	1
2	67,53996	76	76	39148,2	978705	48,29372	48	84	25979,96	649499	58,88701	64	72	33371,8	834295	51,03604	52	56	11590	289750	1
3	58,30965	64	80	12086,72	302166	56,00311	64	80	4335,2	108380	57,02577	52	32	8885,2	222130	62,68035	76	92	2159,6	53990	1
4	66,06448	68	92	9127,04	228176	61,54289	68	64	2543,2	63580	71,2885	76	88	12470,8	311770	67,21373	76	88	2133,64	53341	1
5	67,4804	72	88	14086,6	352165	66,28223	68	84	5523,8	138095	62,91544	68	72	7860,48	196512	58,46791	56	68	1068,12	26703	1
6	63,23365	68	88	8341,68	208542	63,76033	68	84	2569,6	64240	67,7143	72	72	7121,16	178029	61,785	64	64	1000,2	25005	1
7	63,18209	72	84	8646	216150	62,13132	68	88	3813,68	95342	65,0829	68	92	5900	147500	55,73536	64	68	746,52	18663	1
8	53,65099	48	40	5708,08	142702	56,75687	52	40	2043,24	51081	66,20166	76	92	8357	208925	65,76584	76	92	966,12	24153	1
9	72,85641	76	96	8495,16	212379	64,01007	72	96	3056,76	76419	70,46386	72	92	6691,44	167286	67,36396	72	92	1170,28	29257	1
10	64,8939	72	84	7034,8	175870	54,14726	52	40	2196,44	54911	70,04278	68	68	8472,12	211803	71,33872	80	96	1192,24	29806	1
11	64,60536	64	92	7674,48	191862	62,7746	68	80	2882,56	72064	65,2659	68	84	5394,92	134873	48,59051	40	84	700,2	17505	1
12	70,56503	80	88	4653,64	116341	63,73392	72	88	1917,96	47949	52,09169	48	36	4146,76	103669	46,95426	36	36	670,84	16771	1
13	62,14214	72	84	5232,88	130822	61,70665	64	76	2163,16	54079	72,88178	80	88	4794,56	119864	65,88402	76	80	497,52	12438	1
14	58,73131	64	84	4291,92	107298	60,24248	72	36	2362,24	59056	60,70239	64	48	2899,16	72479	58,98959	64	64	596,68	14917	1
15	54,50304	52	40	6496,24	162406	52,52047	48	40	3494,56	87364	68,96578	72	72	5724,28	94182	64,07314	68	88	726,2	18155	1
16	64,7932	76	80	7975,56	199389	67,28483	76	80	2840,16	71004	70,87258	72	88	3562,56	138114	68,7834	60	80	1101,28	27532	1
17	56,41047	56	88	2209,88	55247	51,8785	56	56	1218,08	30452	63,28242	68	68	4051,12	101278	56,77033	64	80	501,2	12530	1
18	63,98824	72	72	3614,4	90360	60,79659	64	88	1221,68	30542	66,69517	80	84	3238,44	80961	61,63115	76	92	392,6	9815	1
19	60,831	72	72	5072,6	126815	62,60611	72	96	2254,24	56356	53,44592	60	60	2558,56	63964	65,68466	44	32	940	23500	1
20	47,81003	40	84	29925,72	748143	65,23554	72	72	17903,68	432592	47,93526	44	44	11307,04	282676	49,4336	44	36	20776,88	519422	1
21	47,14989	40	84	83450,68	2086267	52,29106	48	84	58698,92	1467473	57,72653	68	84	25172,68	629317	56,33139	56	28	3027,52	75688	1
22	62,04923	68	76	21041	526205	61,12523	72	92	14480,64	362016	61,74923	68	84	7161,12	179028	52,33941	52	76	1190,88	29772	1
23	57,59873	68	68	13157,88	328947	60,17718	68	84	8996,2	217405	73,33339	80	80	15506,76	387669	67,89824	72	88	2340,12	58503	1
24	64,02841	68	56	8816,4	220410	63,75281	64	44	4169,24	104985	63,59647	76	84	7892,64	196230	59,95816	60	60	1294,36	32359	1
25	58,02484	56	88	5759,72	143993	58,44602	64	64	3693,12	92328	65,41144	64	86	5153,4	128835	71,52499	84	96	988,4	24710	1
26	60,97128	64	92	4671,56	116789	59,85973	68	68	2472,36	61809	61,21573	64	88	7398,2	184955	61,17348	68	76	967	24175	1
27	56,26946	56	56	5657,48	141437	57,94044	64	72	3933,68	98342	64,72245	64	56	5084,6	127115	55,98294	60	56	684,16	17104	1
28	61,26308	64	92	5823,96	145599	64,02143	68	92	3660	91500	59,31595	60	36	4857,92	121698	63,11928	72	80	821,64	20541	1
29	64,69369	72	84	4705,2	117630	61,05197	68	84	3015,08	75377	58,66337	60	28	1545,52	38638	57,22296	60	80	355,12	8878	1
30	63,42505	68	92	3385,32	84633	67,74144	80	92	1507,76	37694	64,63556	72	72	3679	91975	54,18723	64	80	395,16	9879	1
31	56,35275	60	40	22121,8	553045	58,03316	60	40	3604,8	90120	62,06809	68	68	3623,8	90595	63,06638	68	68	5726	143150	2
32	62,90884	72	80	16335,72	408393	39,92126	36	8	4340,76	108519	58,79485	68	80	3565,8	89145	68,71575	76	96	5322,6	133065	2
33	50,63351	40	32	9580,84	239521	53,08723	44	32	897	22425	62,09089	68	88	2231,44	55786	58,39494	64	88	3445,32	86133	2
34	39,42593	32	32	3558,96	88974	39,08784	28	8	389,84	9746	65,75199	72	92	3752,04	93801	64,6206	72	84	5584,04	139601	2
35	60,93133	56	88	12601,92	315048	64,75156	68	68	5838,44	145961	44,7719	44	28	1262,8	31570	46,82295	40	24	4039,16	100979	2
36	66,50418	76	96	16895,72	422393	56,52318	52	44	10066,88	251672	55,34692	64	72	2795,76	69894	54,18112	52	44	4674,12	116853	2
37	54,74261	56	56	95173	279325	58,05744	56	56	23228,8	580720	44,00405	44	44	2686	67150	41,62995	36	36	5477,28	136932	2
38	56,90259	64	88	28042,36	701059	68,40318	76	76	2546,96	63674	65,46729	72	72	3706,76	92669	67,32787	76	88	10939,84	273496	2
39	62,0937	68	72	3484	87100	59,0096	72	72	534,92	13373	67,17931	72	72	830	20750	72,68994	76	92	5711,12	142778	2
40	62,84916	68	84	2971,88	74297	53,71291	56	56	228,88	5722	62,5155	68	40	537,4	13435	68,19433	76	76	5792,32	144808	2
41	51,78654	56	92	1242,36	31059	43,51145	44	44	277,96	6949	63,01956	68	80	1277,6	31940	69,01352	72	68	6001,24	150031	2
42	19,46716	12	8	28089,4	702235	75,46053	88	92	8836,48	220912	43,72409	44	44	188,04	4701	62,86366	72	88	918,16	22954	2
43	51,25305	52	80	17253,4	431335	45,53971	40	32	9290,4	232260	52,05587	48	28	753,16	18829	53,19375	48	48	2456,32	61408	2
44	57,42801	60	64	2392,4	59810	53,59552	56	64	974,44	24361	49,3584	44	40	539,64	13491	64,04078	40	40	1524,8	38120	2
45	50,93697	48	84	10388,72	259718	55,40015	64	80	1792,4	44810	60,25864	68	76	932,16	23304	74,62967	80	92	5890,84	147271	2
46	66,48361	68	96	29216,12	730403	59,06054	64	36	4761,4	119035	53,73334	56	72	1383	34575	56,94868	60	40	8257,36	206434	2
47	64,98571	68	68	9108,48	227712	59,5338	68	68	728,88	18222	59,48129	68	52	390,28	9757	67,56469	72	92	3211,12	80278	2
48	68,60159	68	88	8706,24	217656	65,14793	72	80	635,68	15892	59,35284	64	72	302,6	7565	58,97476	60	64	1424,8	35620	2
49	69,54926	76	84	13562,76	339069	65,73812	72	84	1190,84	29771	62,97869	72	72	942	23550	61,59414	60	88	1362,72	34068	2
50	65,7664	64	64	9236	230900	67,94397	72	92	655,48	16387	59,39023	68	76	409,68	10242	70,55057	80	80	3264,2	81605	2
51	58,33111	60	76	5650,4	141260	54,79022	56	36	695,6	17390	50,71297	48	36	614	15350	53,08136	52	32	938,4	23460	2
52	54,35617	48	36	5813,68	145342	37,63671	24	20	985,84	24646	70,43561	84	84	634,12	15853	59,82186	68	72	246,8	6170	2
53	37,26047	24	8	28071,84	701796	59,25492	64	28	9534,64	238366	49,88988	48	36	1008,96	59224	60,38269	68	84	5556,56	138914	2
54	77,95771	84	88	49402	1235050	59,22643	64	80	8726,6	218165	52,27383	48	80	2369	52525	42,6598	40	40	1864,72	46618	2
55	56,18567	56	92	34609,52	865238	51,20591	44	76	10476,4	261910	53,12788	56	68	3239,12	80978	70,95732	72	68	7216,72	180418	2
56	56,19132	56	88	10391,8	259795	50,96449	48	24	1230,88	30712	45,87594	36	16	657	16425	62,32552	64	88	4325,28	108132	2
57	45,93563	40	36	15791,92	394798	54,80834	56	76	14872,24	371806	59,51676	68	76	503,2	12580	60,88912	68	72	2470,2	61755	2
58																					

61	61,95192	68	68	30706,48	767662	56,19239	64	76	5813,36	145334	68,00075	76	76	1013,28	25332	52,5945	64	12	608,52	15213	3
62	56,09856	56	84	4255,52	106388	45,17242	40	44	1661,4	41535	57,52398	68	72	663,2	16580	38,62855	36	32	287,24	7181	3
63	58,73839	68	68	186613,4	4665335	56,49093	68	88	43798,24	1094956	46,11616	44	44	34874,76	871869	47,15016	44	44	12482,6	312065	3
64	52,98108	68	76	107963,2	2690881	44,87751	40	28	23158,2	578955	59,06104	60	80	29141,04	728256	57,06424	60	56	5286,8	132170	3
65	64,63465	68	88	60091,52	1502288	66,92094	72	88	10563,4	264085	58,86314	56	56	8852,8	212350	59,93805	60	44	11686,6	292165	3
66	70,8461	64	60	80253,96	2006349	47,16902	40	60	3458,6	586465	68,77232	80	84	39410,04	985251	52,86758	56	84	4884	122100	3
67	74,80254	88	96	67270,4	1681760	73,91145	80	84	13920,72	348018	67,23908	72	84	28772,56	719314	66,51208	84	84	2911,2	72780	3
68	61,64267	72	72	26181,2	654530	61,42541	68	72	5787,24	144681	55,52311	64	84	8099,68	202492	55,48213	56	84	1378,52	34463	3
69	65,01663	72	72	16144,08	403602	59,3762	72	72	3211,4	80285	67,0295	76	84	9504,16	237604	67,34947	76	76	1132,68	28317	3
70	62,90553	64	60	18798,92	469973	69,57871	76	96	3666	91650	62,47859	68	88	4497	112425	60,93269	72	88	830,24	20756	3
71	69,96002	76	72	11487,64	287191	64,17778	76	80	3038,48	75962	55,37965	52	52	2005,68	50142	59,00275	68	92	415,04	10376	3
72	45,32412	44	72	26705,8	667645	63,53745	68	72	2911,04	72776	60,58628	68	88	1170,24	29256	57,6276	64	60	221,52	5538	3
73	47,63322	40	84	8316,6	207915	65,13292	72	88	2532	63300	52,32638	48	32	803	20075	52,13775	56	56	310,04	7751	3
74	48,87849	44	76	9211,84	230296	55,90012	64	76	1323,72	33093	53,20311	56	72	475,56	11889	54,06862	56	88	161,2	4030	3
75	47,08292	44	84	8526,6	213165	66,93037	76	76	1504,16	37604	51,82995	52	36	457,8	11445	49,75333	56	64	200,48	5012	3
76	60,22619	64	44	5026,2	125655	49,77268	44	44	1376,2	34405	55,98077	56	24	598,76	14969	55,47237	68	68	250,4	6260	3
77	65,16285	80	88	7192	179800	63,78355	68	88	1064,2	26605	66,07528	76	88	401,92	10048	59,41555	72	92	286,6	7090	3
78	63,56882	72	72	6631	165775	56,61811	68	88	1074,4	26860	67,59234	76	92	776,76	19419	73,16332	84	96	396,52	9913	3
79	61,33449	68	92	7286,32	182158	60,26968	68	88	1260,72	31518	50,1198	44	84	254,76	6369	49,02896	48	84	171	4275	3
80	66,7114	68	88	7322	183050	60,72978	60	88	1146,6	28665	60,76685	72	72	2883,28	7092	55,92288	60	96	153,32	3833	3
81	70,14339	76	84	11549,04	288726	62,08718	72	76	1775,2	44380	54,17751	60	64	152,52	3813	59,60798	64	64	162,4	4060	3
82	66,44558	72	84	12715,88	318977	62,10688	64	92	2377,56	59439	56,83439	68	68	168,8	4220	59,34379	68	92	294,48	7362	3
83	61,44279	72	72	7826,76	195659	59,41395	64	88	1066,04	26651	50,0887	60	64	277,28	6945	50,58869	60	68	166,28	4157	3
84	56,44143	60	68	20938,44	523461	67,42594	76	92	2719,28	679232	46,0347	44	24	6364,92	159123	49,05554	44	68	13686,96	342174	3
85	45,75006	44	44	128991,4	3234784	48,92294	44	44	5975,92	1492898	57,5287	60	68	32705,52	819513	69,27315	72	96	5831,32	145783	3
86	48,32492	52	68	37002,92	925073	67,58451	76	96	2585,16	646629	59,42679	60	40	3780,6	932640	61,98329	64	92	8946,84	223671	3
87	69,1734	72	76	33092,48	827312	67,28638	72	92	6397,48	159937	54,94098	60	72	13881,6	347040	51,92361	52	72	2228,96	55724	3
88	70,63406	76	84	31870,8	796770	68,20596	76	84	8921,08	223027	68,42446	80	88	7261,08	181527	68,27471	80	88	1308,32	32708	3
89	63,58882	72	72	18245,52	456138	62,41313	64	72	3996,68	99917	57,38927	64	92	8350,6	208765	51,04216	56	80	1431,64	35791	3
90	62,22114	64	68	14525,6	363140	63,96288	68	92	3792,88	94822	60,12422	60	44	10968,56	274214	61,36428	68	56	1461,64	36541	3
91	70,22012	80	88	150172,7	3754318	61,19336	68	80	44507,6	1112690	60,93342	68	28	24907,72	622693	62,26233	68	72	7646,2	191155	4
92	64,09498	72	88	40039,4	1000985	53,2994	56	16	3658	80950	59,31821	68	72	55217,48	1380437	67,94454	72	84	18524,44	463111	4
93	54,45771	52	32	32934,4	823360	56,44082	56	80	11818,64	295466	67,06512	64	56	29014,76	725369	65,4391	64	56	8747	218675	4
94	66,42547	72	84	15758,8	393970	57,02157	60	56	6137	153425	65,23811	72	84	13378,68	284467	63,02535	72	84	3486,44	87161	4
95	62,79212	68	84	10099,76	252494	58,25202	64	64	3888,84	97221	68,38921	76	84	6573,08	164327	69,99657	72	72	2583,2	64580	4
96	61,67403	64	68	19527,92	488198	60,61744	68	96	6809,72	170243	73,10989	84	84	14299,28	357482	64,05001	72	88	3185,44	79636	4
97	70,82144	76	96	31895,8	799395	64,58825	72	76	6814,4	170360	50,25124	40	36	7151,12	178778	58,02352	64	84	4650,28	116257	4
98	66,45842	68	68	21256,6	531415	66,37118	72	96	6084,92	152123	68,75319	80	96	7615,08	190377	58,06717	56	92	1989,32	49733	4
99	62,48719	72	72	17898,32	447458	55,42137	44	44	3683,52	92088	65,57209	76	96	8159,16	203979	67,1676	76	88	4049,04	101226	4
100	63,48239	68	88	8897,16	222429	61,00528	64	40	3930,48	98262	60,92715	68	88	5813,4	145335	51,9987	44	36	2267,56	56689	4
101	70,0009	84	88	9599	239975	56,79007	56	88	3282,48	82062	53,97582	40	92	4036	100900	61,82848	72	92	1105,6	27640	4
102	63,1808	76	88	8509,44	212736	58,52501	56	88	1505,08	37627	58,14128	68	72	5169,08	129227	57,18142	56	32	1076,2	26905	4
103	74,69779	88	88	12723,68	318092	67,84182	80	80	2794	69850	71,06315	80	84	5884,68	147117	62,39732	68	88	2052,64	51316	4
104	69,45103	72	92	6858,88	171472	67,66306	72	92	1910,04	47751	54,73174	60	72	2935,88	73997	58,44852	64	88	1586	39650	4
105	69,77379	80	88	7410,76	185269	56,29649	56	84	2465,04	61626	64,15556	64	64	1998,92	49973	58,10348	64	88	610,72	12568	4
106	59,50274	72	72	6316,04	157901	60,02336	68	72	1616	40400	61,70123	64	88	1553,2	38830	53,06655	56	64	696,48	17412	4
107	65,67664	72	84	9945,6	248640	68,70326	80	96	2219,72	55493	38,86735	36	44	1939,56	48489	46,95043	44	64	760,24	19006	4
108	67,28587	76	80	8855	221375	56,93269	56	80	1377,4	34435	52,23934	56	68	1282,44	32061	58,76894	56	56	812,88	20322	4
109	63,06296	68	84	8938,24	223456	61,05483	64	76	2334	58350	68,65592	72	68	2260	56500	70,93848	68	96	1423,16	35579	4
110	64,68871	72	36	15886,72	397168	55,46462	60	32	5472,8	136820	61,36926	68	88	1865,32	46633	58,82367	60	40	1565,52	39138	4
111	57,97817	60	68	39515,6	987890	44,45581	40	24	37183,72	929593	57,83631	64	36	18515,16	462879	61,8807	64	36	9239,44	230986	4
112	53,66236	48	44	112944,6	2823614	57,14112	60	88	36741,2	918530	52,22673	44	36	20285,6	507140	47,54078	36	32	6617,68	165442	4
113	61,88983	60	56	66440,8	1661022	50,11027	56	56	43322,56	1083604	54,2942	48	44	91399,84	2284996	62,31447	64	64	26739,2	668480	4
114	65,82192	64	64	54231,36	1355784	61,05879	64	76	22547,72	563693	63,30333	64	96	32869,4	821735	61,51222	64	40	11905,88	297647	4
115	57,93938	60	88	35846,52	896163	63,97469	68	96	10684,52	267113	60,79946	68	36	13322,04	33051	63,63694	64	88	6322,4	158060	4
116	66,33647	72	72	72	72	72	64	72	9041,8	226045	58,0405	64	76	27879,92	696973	62,49421	68	68	9727,92	243198	4
117	54,14561	56	36	13545,96	338649	59,35909	56	84	5784,4	144610	60,67756	60	88	9372,2	234305	60,45052	64	80	4553,68	111342	4
118	61,25026	64	60	13755,68	343892	61,23808	72	88	4243,88	106097											

125	53,57844	44	40	1974,84	49371	53,59888	64	76	915,08	22877	69,58789	80	88	9423,92	235598	56,89763	60	60	3681,2	92030	5
126	57,12762	64	68	1236,8	30920	68,56331	64	92	984,96	24624	58,8722	60	88	7645,8	191145	66,39757	72	96	2127,24	53181	5
127	51,59847	48	88	1108	27700	50,49528	48	48	345,68	8642	61,96271	64	84	8445,12	211128	62,26503	64	88	1576,28	39407	5
128	62,21952	68	72	13080,56	327014	66,22358	68	88	19944	498600	49,44386	56	64	2541,92	63548	69,67875	68	64	2076	51900	5
129	54,88665	56	76	7438	185950	57,35934	64	76	12530,04	313251	50,01846	52	36	4536,96	113424	58,02281	56	40	4595,84	114896	5
130	62,29114	64	80	7752,08	193802	49,33313	52	76	18143,64	453591	68,39838	76	84	18639,44	465986	58,80577	64	72	2872,48	71812	5
131	60,68478	68	68	2231,08	55777	60,24447	68	68	2550,28	63757	61,41278	64	44	12873,56	321839	67,40258	72	72	3775,72	94393	5
132	61,72919	64	96	4431,28	110782	68,14123	76	88	3600	90000	71,75616	80	96	10396,4	259910	65,32375	68	96	2258,2	56455	5
133	56,35682	52	36	2157,64	53941	54,76683	56	36	1485,6	37140	66,22111	72	84	6115,48	152887	63,95781	72	88	643,4	16085	5
134	64,60229	72	88	2456,48	61412	58,69167	64	88	1427	35675	71,41928	76	76	6751,56	168789	69,22208	80	88	606,12	15153	5
135	69,46657	84	84	2598,08	64952	59,30793	60	92	630,92	15773	66,48163	68	68	4338,8	108470	62,18225	68	88	682,32	17058	5
136	63,36568	68	64	1663,4	41585	61,53583	68	68	681,32	17033	54,11884	48	88	3800,2	95005	53,88754	60	88	729,8	18245	5
137	51,5557	48	36	12753,76	318844	51,96184	48	56	21643,52	541088	35,44781	32	28	5704,12	142603	49,78743	48	72	1581,16	39529	5
138	50,77942	44	36	13415,6	335390	51,16261	48	36	14743,8	368595	47,69147	48	56	6333,04	158326	52,99052	56	56	1461,6	36540	5
139	62,4577	72	84	15627,44	390686	61,55694	68	84	17999,92	449998	62,51179	68	76	15639	390975	57,96989	68	76	2522,4	63060	5
140	60,63962	72	72	6792,52	169813	61,59124	72	72	6968,2	174205	57,64343	60	64	8017	200425	59,33452	64	64	1906,8	47670	5
141	68,26734	80	88	1852,48	46312	68,98659	80	80	1787,72	44693	63,23622	72	84	2780,64	69516	56,55436	56	32	523,2	13080	5
142	60,09227	68	84	1647,16	41179	61,74987	68	96	1020,88	25522	68,66682	76	88	3001	75025	61,6718	72	64	605,28	15132	5
143	57,15154	64	64	3259,36	81484	57,40636	64	76	2683,28	67082	60,5913	68	88	749,72	18743	64,45746	72	84	429,36	10734	5
144	54,46268	52	44	10067,8	251695	56,48616	52	44	16453	411325	63,22837	68	84	10081,2	252030	47,65933	44	56	2162,84	54071	5
145	56,69089	52	40	14042,2	351055	40,74607	36	12	27148,84	678721	59,48972	64	84	16835,52	420888	63,35141	64	64	5300,44	132511	5
146	65,795	68	92	4932,8	123320	62,58685	64	76	3875,28	96882	61,38062	64	40	11008,32	275208	56,78664	56	40	1153,96	28849	5
147	55,10597	64	88	1850	46250	55,26782	72	72	1053,6	26340	68,52337	72	56	7117,72	177943	64,55689	68	88	959,88	23997	5
148	68,46779	80	84	1385	34625	67,66924	76	84	1085,76	27144	54,68358	56	76	4927,44	123186	56,34861	60	92	892,04	22301	5
149	59,02749	64	76	2005,96	50149	54,21747	48	32	1355,68	33892	68,26387	80	84	4254,64	106366	61,4825	68	80	835,76	20894	5
150	63,06752	72	84	1215,92	30398	60,47027	68	84	899,08	22477	66,60134	72	96	3973,16	99329	66,71942	68	96	841,4	21035	5