

SKRIPSI

**ESTIMASI SUDUT LENGAN SIKU DENGAN SINYAL EMG
MENGUNAKAN METODE *DEEP LEARNING***



ZALSABILA

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK BIOMEDIS
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022**

**ESTIMASI SUDUT LENGAN SIKU DENGAN SINYAL EMG
MENGUNAKAN METODE *DEEP LEARNING***

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Bidang Teknik Biomedis
Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

ZALSABILA

NIM. 081811733020

Disetujui oleh,

Pembimbing I,



Dr. Khusnul Ain, M.Si.
NIP. 197207051997021001

Pembimbing II,



Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si.
NIP. 199109302019032018

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Estimasi Sudut Lengan Siku dengan Sinyal EMG
Menggunakan Metode *Deep Learning*
Penyusun : Zalsabila
NIM : 081811733020
Pembimbing I : Dr. Khusnul Ain, M.Si
Pembimbing II : Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si.
Tanggal Sidang : 4 November 2022

Disetujui oleh,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Khusnul Ain, M.Si.
NIP. 197207051997021001



Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si.
NIP. 199109302019032018

Mengetahui,

Ketua Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Koordinator Program Studi
S1 Teknik Biomedis
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Herri Trilaksana, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197712282003121003



Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 197903152003122002

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zalsabila
NIM : 081811733020
Program Studi : S1 Teknik Biomedis
Judul Skripsi : **Estimasi Sudut Lengan Siku dengan
Sinyal EMG Menggunakan Metode
*Deep Learning***

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa bagian atau keseluruhan isi ini tidak pernah diajukan untuk mendapat gelar akademis pada bidang studi dan/atau universitas lain dan tidak pernah dipublikasi/ditulis oleh individu selain penyusun kecuali bila dituliskan format kutipan dalam isi Skripsi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Airlangga. Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa adanya paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 21 Desember 2022

Yang membuat pernyataan


Zalsabila

NIM. 081811733020

Zalsabila. 2022. **Estimasi Sudut Lengan Siku dengan Sinyal EMG Menggunakan Metode *Deep Learning***. Skripsi di bawah bimbingan Dr. Khusnul Ain, M.Si. dan Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si. Program Studi S1 Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Penderita stroke mengalami gangguan neurologis sehingga menyebabkan kemandirian individu untuk melakukan kegiatan sehari-hari terancam. Oleh karena itu, penderita stroke perlu menjalani program rehabilitasi. Robot ekoskeleton merupakan solusi sebagai alat rehabilitasi yang dapat dipilih oleh pasien stroke karena memiliki link dan join yang mirip dengan anatomi manusia dan memiliki sistem berbasis kecerdasan buatan. Sistem kecerdasan buatan dibangun dengan model yang dihasilkan dengan metode *Deep Learning* yaitu *Long Short Term Memory* (LSTM). Model LSTM dilatih dengan data fitur EMG dan data sudut lengan. Fitur EMG berasal dari pengolahan data Elektromiografi (EMG) yang diperoleh menggunakan sensor Myoware pada otot bisep brachii sedangkan data sudut lengan diperoleh menggunakan sensor sudut dari potensiometer. *Mean Absolute Value* (MAV), *Root Mean Square* (RMS), *Variance* (VAR), *Zero Crossing* (ZC), dan *Waveform Length* (WL) adalah fitur-fitur yang digunakan. Arsitektur model terdiri dari lima lapisan LSTM bertipe *Bidirectional Long Short Term Memory* (Bi-LSTM) dengan jumlah unit masing-masing 512, 256, 128, 64, dan 32. Model dikonfigurasi dengan MSE sebagai *loss function* dan Adam (*learning rate* 0,0005) sebagai *optimizer*. Berdasarkan model yang dihasilkan didapatkan estimasi sudut dengan performansi terbaik pada variasi terbaik yaitu MAV+RMS+VAR+ZC+WL yang memiliki MAE sebesar 9,535°, RMSE sebesar 12,5500°, rRMSE sebesar 43,717%, dan R^2 sebesar 0,835.

Kata kunci : Eksoskeleton, Estimasi sudut, Sinyal EMG, *Deep Learning*, LSTM

Zalsabila. 2022. **Elbow Angle Estimation with EMG Signal Using Deep Learning Method**. Thesis under the guidance of Dr. Khusnul Ain, M.Si. and Osmalina Nur Rahma S.T., M.Sc. Undergraduate Study Program Biomedical Engineering, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, University Airlangga, Surabaya.

ABSTRACT

Stroke patients have neurological disorders that threaten the individual's independence in carrying out daily activities. Therefore, stroke patients need to carry out a rehabilitation program. The exoskeleton robot is a solution as a rehabilitation tool that can be chosen by stroke patients because it has links and joints that are similar to human anatomy and has an artificial intelligence-based system. An artificial intelligence system is built using a model produced by the Deep Learning method, namely Long Short Term Memory (LSTM). The LSTM model is trained with EMG feature data and arm angle data. The EMG feature comes from processing Electromyography (EMG) data obtained using a Myoware sensor on the biceps brachii muscle while arm angle data is obtained using an angle sensor from a potentiometer. Mean Absolute Value (MAV), Root Mean Square (RMS), Variance (VAR), Zero Crossing (ZC), and Waveform Length (WL) are the features used. The model architecture consists of five LSTM layers of type Bidirectional Long Short Term Memory (Bi-LSTM) with the number of units respectively 512, 256, 128, 64, and 32. The model is configured with MSE as a loss function and Adam (learning rate 0.0005) as optimizer. Based on the resulting model, the angle estimation with the best performance for the best variation is MAV+RMS+VAR+ZC+WL which has an MAE of 9.535°, RMSE of 12.5500°, rRMSE of 43.717%, and R^2 of 0.835.

Keywords: Exoskeleton, Angle estimation, EMG signal, Deep Learning, LSTM

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, skripsi dengan judul “Estimasi Sudut Lengan Siku dengan Sinyal EMG Menggunakan Metode *Deep Learning*” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai acuan penyusunan skripsi yang merupakan salah satu syarat akademik untuk mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa bantuan, arahan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu, menyediakan waktu dan pengetahuannya terutama kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Alm. Budistihara dan Musawarah selaku orang tua serta Ainun Utari dan Nurul Zaskia selaku saudara-saudari dan keluarga yang telah *support system* yang mendukung, menghibur, dan mendoakan selama masa perkuliahan hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Herri Trilaksana S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Fisika dan Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Biomedis Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga yang telah mengabdikan sepenuh hati untuk perkembangan semua civitas akademika.
4. Bapak Dr. Khusnul Ain, M.Si. dan Ibu Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah dengan sabar dan rela meluangkan waktu untuk membimbing penulis dari awal pengerjaan hingga skripsi ini terselesaikan.
5. Bapak Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc. dan Bapak Drs. Djoni Izak Rudyardjo, M.Si. selaku dosen penguji I dan dosen penguji II yang telah memberikan banyak masukan terkait pengerjaan dan penulisan skripsi ini.

6. Bapak Fadli Ama, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan banyak bantuan dan bimbingan selama studi.
7. Dosen-dosen S1 Teknik Biomedis yang telah mendidik dan memberikan wawasan ilmu yang sangat luar biasa dan bermanfaat bagi penulis selama perkuliahan.
8. Staf Tata Usaha (TU) di Program Studi Teknik Biomedis dan Fakultas Sains dan Teknologi yang telah dengan sabar memberikan berbagai keperluan administrasi kepada penulis.
9. Brian Johaness Reynaldi, Muhammad Amrul Muhafizh, dan Ilham Nova Widiyanto yang telah menjadi teman seperjuangan topik skripsi estimasi sudut lengan. Terima kasih telah menjadi teman yang luar biasa dalam menghadapi berbagai permasalahan yang dilalui selama pengerjaan skripsi. Selain itu terima kasih pula kepada Abdulfattah Yurianta yang telah menjadi teman diskusi yang sangat baik selama pengerjaan skripsi ini.
10. Sahabat-sahabat perkuliahan penulis, Amelia, Aini Salsabiela, Salwa Almas Shalihah, Mustika Ainun Sabrina, Dinda Cyberputri, dan Dwi Melly Aprilia Sari yang telah menjadi sosok-sosok terpenting dan sangat bermakna bagi penulis selama perkuliahan.
11. Teman-teman mahasiswa Teknik Biomedis 2018 yang telah kebersamaan penulis selama masa-masa perkuliahan.
12. Teman-teman IBE Reality yang telah memberikan banyak sekali inspirasi dan semangat kepada penulis.
13. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu mendukung dan melancarkan proses penyusunan skripsi ini.
14. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan secara teknis penulisan maupun substansi dalam naskah penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk menyempurnakan naskah ini. Penulisan berharap naskah ini dapat bermanfaat bagi masyarakat umum dan kalangan mahasiswa Teknik Biomedis pada khususnya.

Surabaya, 21 Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Strok	5
2.2. Rehabilitasi Medis Pasca Strok	5
2.3. Eksoskeleton	6
2.4. <i>Range of Motion</i> (ROM) pada Sendi Siku	6
2.5. Elektromiogram (EMG)	7
2.6. Otot <i>Biceps Brachii</i>	7
2.7. <i>MyoWare Muscle Sensor</i>	8
2.8. Potensiometer	9
2.9. NI myDAQ Student Data Acquisition Device	10
2.10. Python	11
2.11. TensorFlow	11
2.12. Keras	12

2.13. <i>Deep Learning</i>	12
2.14. <i>Long Short Term Memory (LSTM)</i>	13
2.15. <i>Bidirectional Long Short Term Memory (Bi-LSTM)</i>	15
2.16. <i>Dropout Layer</i>	16
2.17. <i>Loss Function</i>	17
2.18. <i>Aktivasi Sigmoid</i>	18
2.19. <i>Optimasi Adam</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1. <i>Tempat dan Waktu Penelitian</i>	20
3.2. <i>Alat dan Bahan Penelitian</i>	20
3.3. <i>Metode Penelitian</i>	21
3.3.1. <i>Studi Literatur</i>	21
3.3.2. <i>Persiapan Akuisisi Data</i>	22
3.3.3. <i>Akuisisi Data</i>	24
3.3.4. <i>Sinyal Preprocessing</i>	26
3.3.5. <i>Ekstraksi Fitur</i>	29
3.3.6. <i>Pelatihan Model LSTM</i>	31
3.3.7. <i>Prediksi dan Evaluasi Model LSTM</i>	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. <i>Hasil Persiapan Akuisisi Data</i>	34
4.2. <i>Hasil Akuisisi Data</i>	37
4.3. <i>Hasil Signal Preprocessing</i>	40
4.3.1. <i>Data EMG</i>	40
4.3.2. <i>Data Sudut</i>	43
4.4. <i>Hasil Ekstraksi Fitur</i>	44
4.5. <i>Hasil Pelatihan Model LSTM</i>	46
4.6. <i>Hasil Prediksi dan Evaluasi Model</i>	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1. <i>Kesimpulan</i>	56
5.2. <i>Saran</i>	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Spesifikasi kelistrikan sensor EMG Myoware.....	9
2.2	Spesifikasi <i>Bourns 3590S-2-502L Precision Potentiometer</i> (Bourns, 2010)	10
3.1	Demografi Naracoba.....	25
4.1	Hasil pengukuran akurasi akuisisi data sudut	34
4.2	Analisis nilai EMG dari masing-masing subjek naracoba.....	39
4.3	Daftar model <i>machine learning</i> yang dihasilkan	48
4.4	Hasil evaluasi performa masing-masing model subjek	51
4.5	Hasil evaluasi performa model ABC pada masing-masing subjek.....	53

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Cakupan gerak sendi siku tampak literal (Waschke <i>et al.</i> , 2015)	6
2.2	Otot biceps brachii tampak ventral (Waschke <i>et al.</i> , 2015)	8
2.3	Layout Sensor EMG Myoware (Advancer Technologies, 2015).....	9
2.4	<i>Bourns 3590S-2-502L Precision Potentiometer</i> (Bourns, 2003).....	10
2.5	NI myDAQ Student Data Acquisition Device (National Instruments, 2022).....	11
2.6	Arsitektur Long Short Term Memory (LSTM).....	13
2.7	Salah satu gerbang LSTM	14
2.8	Skema diagram struktur Bi-LSTM.....	16
2.9	Model jaringan saraf dengan 2 <i>hidden layers</i> (a) Jaringan saraf standar (b) Contoh penerapan <i>thinned net</i> dengan mengaplikasikan <i>dropout</i> pada jaringan. Unit yang disilang merupakan unit yang akan diputuskan (Strivastava <i>et al.</i> , 2014).....	17
2.10	Grafik fungsi aktivasi <i>sigmoid</i> (Fausset, 1994)	18
3.1	Diagram alir rancangan metode penelitian.....	21
3.2	Skema konfigurasi alat akuisisi data	22
3.3	Desain 3D eksoskeleton (a) bagian gear (b) secara keseluruhan	23
3.4	Flowchart program akuisisi data	25
3.5	Skema proses sinyal preprocessing data EMG	26
3.6	Flowchart program filtering data.....	28
3.7	Arsitektur model LSTM	31
4.1	Hasil persiapan akuisisi data berupa (a) grafik linearitas antara sudut potensiometer dengan tegangan potensiometer (b) grafik akurasi antara sudut goniometer dengan tegangan potensiometer dengan sudut goniometer.	35
4.2	Pemasangan alat akuisisi data kepada naracoba	37
4.3	Hasil plot data raw EMG dan sudut	38
4.4	Hasil plot data EMG dan sudut setelah pergeseran.....	38

4.5	Hasil plot EMG dan sudut dari ketiga naracoba.....	39
4.6	Hasil plot signal EMG pada (a) kondisi awal (b) kondisi setelah baseline.....	40
4.7	Grafik filter IIR bandpass butterworth pada (a) Magnitude response (b) Phase response	41
4.8	Hasil plot signal EMG sebelum dan setelah filter dalam domain waktu	42
4.9	Hasil plot signal EMG sebelum dan setelah filter dalam domain frekuensi	42
4.10	Hasil plot sinyal EMG setelah rectification dan sinyal sudut pada rentang data 0-200000	42
4.11	Hasil plot sinyal EMG setelah normalisasi	43
4.12	Grafik hasil plot data sudut setelah smoothing pada (a) rentang data 10000-12000 (b) rentang data 0-96000	43
4.13	Hasil plot fitur MAV EMG dengan sudut.....	44
4.14	Hasil plot fitur RMS EMG dengan sudut.....	44
4.15	Hasil plot fitur VAR EMG dengan sudut.....	45
4.16	Hasil plot fitur ZC EMG dengan sudut	45
4.17	Hasil plot fitur WL EMG dengan sudut	45
4.18	Heatmap korelasi fitur EMG dan sudut.....	46
4.19	Grafik data Loss pada pelatihan model SA_RZW	48
4.20	Hasil prediksi sudut dari model SA_RZW(a) setelah denormalisasi (b) setelah denormalisasi dan smoothing	49
4.21	Hasil prediksi sudut dari model SABC_RZW(a) setelah denormalisasi (b) setelah denormalisasi dan smoothing	50
4.22	Grafik performa rata-rata masing-masing model subjek terhadap (a) evaluasi rRMSE (b) evaluasi R2	52
4.23	Grafik performa model ABC pada masing-masing subjek terhadap (a) evaluasi rRMSE (b) evaluasi R2	54

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran
1	Design 3D alat eksoskeleton
2	Kode Program Akuisisi Data
3	Kode Program Machine Learning
4	Kode Program Preprocessing dan Ekstraksi Fitur
5	Hasil Plot <i>Training</i> and <i>Visualidation loss</i>
6	Hasil Plot Prediksi Sudut setelah Denormalisasi dan <i>Smoothing</i>