

SKRIPSI

REKAYASA *TINY MACHINE LEARNING* MULTI KENDALI DENGAN METODE *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* PADA *EXO GLOVE* UNTUK TERAPI PASCA *STROKE*

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



UMY

UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
YOGYAKARTA

Unggul & Islami

Disusun Oleh:

HENRY ARDIAN IRIANTA

20150130019

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2022

HALAMAN PERNYATAAN

Yang Bertanda tangan Dibawah ini:

Nama : Henry Ardian Irianta

NIM : 20150130019

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Universitas : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

menyatakan bahwa laporan tugas akhir ini yang berjudul "**Rekayasa Tiny Machine Learning Multi Kendali Dengan Metode Convolutional Neural Network Pada Exo Glove Untuk Terapi Pasca Stroke**" adalah asli hasil karya saya dan di dalamnya tidak terdapat karya (tulisan) yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain sebelumnya. Selain itu, karya tulis ilmiah ini juga tidak berisi pendapat atau hasil penelitian yang sudah dipublikasikan oleh orang lain selain referensi yang ditulis dengan menyebutkan sumbernya di dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 14 Maret 2022

Penulis



Henry Ardian Irianta

NIM: 20150130019

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillah was shalatu was salamu 'ala Rasulillah, Amma ba'du,
Alhamdulillah, ini merupakan hasil perjuangan yang melelahkan..
Teriring oleh Taufik dari Allah, kesabaran, ketekunan serta Do 'a,
dengan perasaan haru dan bangga Saya persembahkan kepada :
Bapak dan Ibu,dan kakak, atas Do 'a dan kasih sayang yang tak berujung.
Terimakasih*

MOTTO

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan” - Imam Syafi'i

KATA PENGANTAR

Bismillah. Segala puji bagi Allah jalla wa 'ala. Dan shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad ﷺ, Alhamdulillah, atas berkat rahmat dan taufik-Nya, kami dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan baik dan berkah, sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana di Program sarjana Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang berjudul” **Rekayasa Tiny Machine Learning Multi Kendali Dengan Metode Convolutional Neural Network Pada Exo Glove Untuk Terapi Pasca Stroke**”.

Penelitian ini bertujuan merekayasa sistem multi kendali untuk penerapan mekanis *soft robotic* seperti *Exo glove* pada alat terapi pasca stroke menggunakan *Deep Learning Convolutional Neural Network* (DL-CNN) pada perangkat *embedded* atau *TinyML*.

Penyusunan laporan ini tidak lepas dari peran, dukungan dan doa, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak: Dr. Ir. Bambang Riyanta, S.T., M.T, Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. dan Sunardi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan penguji yang telah membimbing, memotivasi, mengarahkan dan memberi masukan untuk kebaikan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan, oleh karena itu sangat terbuka dan mengharapkan akan saran, kritik dan naneshat untuk perbaikan kualitas tulisan dan pemahaman. Akhir kata dengan segala keterbatasan yang ada, kami berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 14 Maret 2022



Henry Ardian Irianta

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
UCAPAN TERIMAKASIH	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori.....	14
2.2.1. <i>Stroke</i>	14
2.2.2. <i>Exo Glove</i> untuk Proyeksi Rehabilitasi Genggaman Dan Prostetik Proto1.....	17
2.2.3. <i>Speech Command Recognition (SCR)</i>	22
2.2.4. <i>Speech Command Recognition</i> Tutar Disartria Atau Pelo.....	24
2.2.5. Transformasi Sinyal Suara dan Ekstraksi <i>Feature</i> dengan Spektrogram	27
2.2.6. Pemodelan Dengan <i>Deep learning Convolutional Neural Network</i>	32
2.2.7. <i>Hardware</i> dan Protokol Dengan <i>Tiny Machine Learning</i>	42
2.2.8. <i>Framework Opensource</i> Pemodelan CNN dan TinyML interpreter	49
2.2.9. <i>Framework Opensource</i> membangun <i>Firmware Embedded</i>	50
BAB 3 METODE PENELITIAN	52
3.1. Alat untuk Pemodelan DL-CNN	52
3.2. Alat untuk Rekayasa Rangkaian Multi Kendali dan Proto-1	52
3.3. Bahan untuk Pemodelan DL-CNN.....	53

3.4.	Bahan untuk Rekayasa Rangkaian Multi Kendali dan Proto-1	55
3.5.	Skema Perancangan rekayasa.....	57
3.6.	Studi Literatur	58
3.7.	Perancangan Rekayasa Multi Kendali.....	58
3.7.1.	Diagram Alir Sistem Rekayasa Multi Kendali	58
3.7.2.	Blok Diagram Sistem Rekayasa Multi Kendali	61
3.7.3.	<i>Wiring</i> , Skematik, dan Implementasi Rekayasa	61
3.8.	Perancangan Rekayasa Kendali Suara Tutar Pelo dan Non pelo	63
3.8.1.	Pengkoleksian Dataset	63
3.8.2.	<i>Pre-Processing</i> Dataset Dengan <i>Jupyter Notebook</i>	69
3.8.3.	<i>Pre-Processing</i> akhir Atau <i>Feature input</i>	73
3.8.4.	Pemodelan <i>Convolution Neural Network</i> Dengan <i>Jupyter Notebook</i>	77
3.8.5.	<i>inference</i> ESP32, Konversi & Kuantisasi Model dengan <i>TF liteconverter</i>	82
3.9.	Perancangan Rekayasa kendali manual dengan tombol.....	83
3.10.	Perancangan <i>Embedded Firmware</i> kendali gabungan	83
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		86
4.1.	Hasil Ekstraksi Data	86
4.1.1.	Data Hasil Penelitian Transformasi Sinyal Suara Ke Spektrogram	87
4.1.2.	Data Hasil <i>Training</i> Pemodelan.....	91
4.1.3.	Data Hasil <i>Testing</i> Penelitian.....	95
4.1.4.	Data Hasil <i>Convert Hex dump</i> Untuk interpreter ESP32.....	96
4.1.5.	Data Uji Komunikasi ESP32-Master & ESP32-Slave	96
4.1.6.	Data Uji Komunikasi <i>Master & Slave</i>	98
4.2.	Respon Pengujian Rekayasa Sistem.....	98
4.2.1.	Respon Uji Ucapan Pada Ruangan Tertutup (± 24 db)	99
4.2.2.	Respon Uji Ucapan Pada Ruangan Tamu (± 42 db).....	100
4.2.3.	Respon Uji Ucapan Pada Kerumumunan Didalam Ruangan (± 62 db)	100
4.2.4.	Respon Uji Tombol Manual Nirkabel	101
4.3.	<i>Range Of Motion</i> Pada Proto 1	102
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		104
5.1.	Kesimpulan.....	104
5.2.	Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA		106
LAMPIRAN.....		110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	a) Instalasi Pemakain Flextendon. b) ADL menggenggam pena. c) ADL menggenggam sendok. d) ADL menggenggam kaleng. (Tran dkk, 2020).	17
Gambar 2.2	a) <i>Soft Exoskeleton Glove</i> (Setiawan dkk, 2020). b) <i>Exo glove Poly II</i> (Kang dkk, 2019).	18
Gambar 2.3	Sendi utama Jari tangan pada tulang <i>upper limb</i> , dan otot <i>Flexor Digitorum Superficialis</i> (Ramirez dkk, 2019).	19
Gambar 2.4	a) Ilustrasi EM <i>tracker</i> pada <i>joint</i> FDS untk fleksi dan ekstensi. b) Lintasan Aktifitas Fleksi terukur (Polygerinos dkk, 2015).	21
Gambar 2.5	Servo dengan <i>pulley</i> dan sambungan FDS (Ramirez dkk, 2019).	21
Gambar 2.6	Komponen-Komponen pada prostetik PROTO-1.	22
Gambar 2.7	Tipikal Arsitektur pada Sistem ASR (Yu dong, Deng li, 2015).	23
Gambar 2.8	Tipikal Arsitektur Metode KWS (Zhang, 2017).	27
Gambar 2.9	Transformasi sinyal suara menjadi Digital untuk menentukan informasi suara domain diskrit (Rabiner, 1993).	28
Gambar 2.10	Transformasi Sinyal Suara dengan STFT representasi Spektral-Spektrogram (<i>Magnitude</i>).	30
Gambar 2.11	Ilustrasi <i>frame blocking</i> pada sinyal suara (Rabiner, 1993).	31
Gambar 2.12	Ilustrasi ANN dalam dengan lapisan input, tiga <i>lapisan hidden layer</i> , dan lapisan (Yu dong, Deng li, 2015).	33
Gambar 2.13	Blok Diagram Pembelajaran JST / BPNN (Sena, 2017).	34
Gambar 2.14	Rangkuman Algoritma Operasi <i>Feed forward</i> dan <i>Backward</i> pada MLP (Yu dong, Deng li, 2015).	35
Gambar 2.15	Arsitektur CNN (Mathwork, 2020).	36
Gambar 2.16	Output <i>Feuture Map</i> Layer Konvolusi (Indoml, 2018).	37
Gambar 2.17	Perbedaan output <i>Feuture map maxpooling</i> dengan <i>Avg Pooling</i> (Indoml, 2018).	38
Gambar 2.18	<i>learning</i> Menggunakan <i>dropout</i> (Srivastava dkk, 2014).	40
Gambar 2.19	Diagram <i>TinyML</i> .	43
Gambar 2.20	Esp32 Devkit 1 Dan Spesifikasi (ESP32, 2021).	43
Gambar 2.21	<i>ESP NOW unicast</i> protokol.	45
Gambar 2.22	<i>Task scheduler</i> untuk <i>Task</i> secara sekuensial (Freertos, 2021).	46

Gambar 2.23 Modul Sensor INMP441 (INMP441, 2021).....	47
Gambar 2.24 Digital <i>Low-Pass Filter Magnitude</i> (INMP441, 2021).....	48
Gambar 2.25 Modul TP5100 Dan Spesifikasi (TP5100, 2021).....	48
Gambar 2.26 Modul MT3608 Dan Spesifikasi (MT3608, 2021).	49
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan sistem Keseluruhan (Multi Kendali).	60
Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan sistem Keseluruhan (Multi Kendalli).	61
Gambar 3.3 <i>Wiring</i> Rangkaian Rekayasa Multi Kendali.	61
Gambar 3.4 Implementasi Rekayasa Rangkaian Multi Kendali.	62
Gambar 3.5 <i>Wiring</i> Rangkaian Implementasi Prostetik Proto-1.....	62
Gambar 3.6 Prostetik Tangan Proto-1.....	63
Gambar 3.7 Diagram Alir Pengkoleksian Dataset.	64
Gambar 3.8 Merekam Raw Audio Dengan <i>Recorder</i> Huawei Nova5t.....	65
Gambar 3.9 Penyuntingan Massal dengan Audacity	66
Gambar 3.10 Simpan Seluruh Dataset pada folder <i>speech_data</i>	68
Gambar 3.11 a) Import Library Untuk Notebook Generate Training Data. ipynb. b) Notebook Train & Test Data.ipynb. dan c) Notebook Converted Trained Model. ipynb ...	69
Gambar 3.12 Diagram Alir Pre-processing Awal Dataset.	70
Gambar 3.13 Python <i>Syntax Load</i> dan Label Atribut di Folder <i>speech_data</i>	71
Gambar 3.14 Python <i>Syntax Transformasi Array</i> Pada dataset <i>speech_data</i>	72
Gambar 3.15 Python <i>Syntax</i> Normalisasi dan Augmentasi Pada dataset <i>speech_data</i>	72
Gambar 3.16 Diagram Alir <i>Preprocessing</i> Akhir Untuk <i>Feature</i> Input.	73
Gambar 3.17 Python <i>Syntax object</i> untuk <i>generate</i> spektrogram.	74
Gambar 3.18 <i>Feature</i> Input spektrogram. a) Tutar Pelo Vokal ‘‘iii’’. b) Tutar Pelo Vokal ‘‘eee’’. c) Forward. d) Backward.....	76
Gambar 3.19 Blok Diagram Arsitektur Pemodelan	77
Gambar 3.20 Diagram Alir Arsitektur Pemodelan DL-CNN	78
Gambar 3.21 <i>Syntax</i> Python Inisialisasi dan Operasi <i>Training</i> Arsitektur Pemodelan.....	79
Gambar 3.22 <i>Syntax</i> Python Inisialisasi ,Operasi dan Visualisasi <i>Confusion matrix</i>	81
Gambar 3.23 <i>Syntax</i> Python kuantisasi dan konversi bobot hasil pemodelan.	82
Gambar 3.24 <i>Syntax C/C++ Mac indentifier</i> ESP32.....	84
Gambar 4.1 a) Sinyal Domain Waktu ‘ <i>Forward - 1</i> ’. b) Sinyal Domain Waktu ‘ <i>Forward -</i> <i>2</i> . c) Spektrogram ‘ <i>Forward - 1</i> ’. d) Spektrogram ‘ <i>Forward - 2</i> ’.	87

Gambar 4.2	a) Sinyal Domain Waktu ‘Backward - 1’. b) Sinyal Domain Waktu ‘Backward-2. c) Spektrogram ‘Backward - 1’. d) Spektrogram ‘Backward - 2’.	88
Gambar 4.3	a) Sinyal Domain Waktu ‘Pelo eee - 1’. b) Sinyal Domain Waktu ‘Pelo eee - 2’. c) Spektrogram ‘Pelo eee - 1’. d) Spektrogram ‘Pelo eee - 2’.	89
Gambar 4.4	a) Sinyal Domain Waktu ‘Pelo iii - 1’. b) Sinyal Domain Waktu ‘Pelo iii - 2’. c) Spektrogram ‘Pelo iii - 1’. d) Spektrogram ‘Pelo iii - 2’.	90
Gambar 4.5	Perbedaan aktifitas amplitudo pada Tutar vokal ‘iii’ skala logaritmik	91
Gambar 4.6	Bobot hasil pemodelan dalam format <i>numpy Array</i> .	92
Gambar 4.7	a) Aktifitas akurasi & <i>loss Epoch</i> –1. b) Aktifitas akurasi & <i>loss Epoch</i> – 5. c) Aktifitas akurasi & <i>loss Epoch</i> -6. d) Aktifitas akurasi & <i>loss Epoch</i> -10.	93
Gambar 4.8	Grafik nilai akurasi dan <i>loss</i> pemodelan.	94
Gambar 4.9	Parameter Pemodelan setelah di <i>convert</i> menjadi <i>Hexcode</i> .	96
Gambar 4.10	Serial Monitor ESP32- <i>Slave</i> .	97
Gambar 4.11	a) Ilustrasi Jarak Saat Uji Ucap. b) Serial Monitor ESP32- <i>Master</i> .	99
Gambar 4.12	Ilustrasi Saat Uji Tombol.	101
Gambar 4.13	a) ROM menggenggam Al-qur’an. b) ROM menggenggam Cangkir. c) ROM menggenggam <i>deodorant</i> . d) ROM menggenggam Sisir.	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pelafalan bunyi konsonan Responden-3 (Handayani, 2011).	25
Tabel 2.2	Tabel Confusion Matrix.	42
Tabel 3.1	Alat untuk Rekayasa Rangkaian Multi Kendali dan Proto-1	52
Tabel 3.2	Bahan Dataset Rekaman Tutru Vokal Pelo Subjek Sehat.	53
Tabel 3.3	Bahan Dataset <i>Speech Command v2</i>	54
Tabel 3.4	Bahan Dataset Gabungan Untuk <i>Target Class</i> .	55
Tabel 3.5	Bahan Rekayasa Rangkaian Multi Kendali.	55
Tabel 3.6	Bahan Prostetik Tangan Proto – 1.	56
Tabel 3.7	Parameter Dataset Rekaman	65
Tabel 4.1	Hasil Total parameter bobot dan bias pada <i>training</i> pemodelan.	91
Tabel 4.2	Hasil Akurasi Dan Loss pada <i>training</i> pemodelan	94
Tabel 4.3	Tabel <i>Confusion Matrix</i> Hasil uji <i>Testing</i> Pemodelan.	95
Tabel 4.4	Hasil uji Respon <i>pairing</i> mode <i>Wake Master & Slave</i> .	97
Tabel 4.5	Hasil uji Respon <i>pairing</i> mode <i>Sleep-Wake Master & Slave</i> .	98
Tabel 4.6	Respon Uji Ucapan Nirkabel Subjek Sehat <i>Noise ±24db</i> - Ruangan Tertutup.	99
Tabel 4.7	Respon Uji Ucapan Nirkabel Subjek Sehat <i>Noise ±42db</i> – Ruang Tamu.	100
Tabel 4.8	Respon Uji Ucapan Subjek Sehat <i>Noise ±64db</i> – Kerumunan Diruangan.	100
Tabel 4.9	Uji Tombol Nirkabel jarak 1m - Sekuensi <i>On/Off</i> .	102

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. JupyterNotebook: Generate Training Data (pre-processing).....	110
Lampiran 2. JupyterNotebook: Train and Test Data (Pemodelan)	117
Lampiran 3. JupyterNotebook: Converted Trained model (Inference).....	121
Lampiran 4. ESP NOW Mac Adress Identifier.....	122
Lampiran 5. Embedded Firmware: ESP32- Master (main.cpp).....	123
Lampiran 6. Embedded Firmware: ESP32 – Slave (main.cpp)	130