

**PERANCANGAN *SPEECH RECOGNITION* PADA *HUMANOID*
ROBOT UNTUK KOMUNIKASI DUA ARAH DAN *VOICE*
BIOMETRIC BERBASIS RASPBERRY PI 3**



SKRIPSI

**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

OLEH:

WAYAN DADANG

03041181320082

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2019

**PERANCANGAN SPEECH RECOGNITION PADA HUMANOID
ROBOT UNTUK KOMUNIKASI DUA ARAH DAN VOICE
BIOMETRIC BERBASIS RASPBERRY**



SKRIPSI

**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendaftar Wisuda Ke 143
Universitas Sriwijaya**

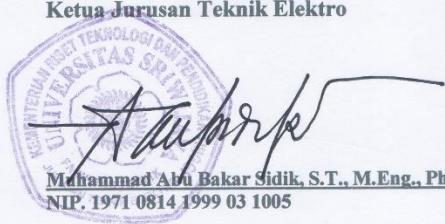
OLEH:

WAYAN DADANG

03041181320082

Palembang, Mei 2019

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. Dr. Bhakti Yudho Suprapto, S.T., MT
NIP. 1971 0814 1999 03 1005

**Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir**



NIP. 1975 02 11 2003 12 1002

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa Saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1)

Tanda Tangan



: _____

Pembimbing Utama

: Dr. Bhakti Yudho Suprapto, S.T., M.T

Tanggal

: 18 / 07 / 2019

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wayan Dadang
NIM : 03041181320082
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Perancangan *Speech Recognition* pada *Humanoid Robot*
untuk Komunikasi Dua Arah dan *Voice Biometric* Berbasis
Raspberry Pi 3 Model B

Hasil Pengecekan : 11 %

Software iThenticate/Turnitin

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan projek ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, Juni 2019



Wayan Dadang

NIM. 03041181320082

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT serta shalawat dan salam agar tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga dan para sahabat. Berkat rahmat dan ridho Allah SWT, penulis dapat membuat skripsi ini yang berjudul “Perancangan *Speech Recognition* pada *Humanoid Robot* untuk Komunikasi Dua Arah dan *Voice Biometric* Berbasis Raspberry Pi 3 Model B”.

Pembuatan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Dr. Iwan Pahendra Anto Saputra, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Terima kasih kepada Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprapto, S.T., M.T. selaku pembimbing utama sekaligus sebagai pencetus dan pengembang ide pada tugas akhir ini.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
5. Orangtua, keluarga, dan saudara yang telah memberikan dukungan sepenuhnya selama pembuatan usulan proposal skripsi.
6. Kepada seluruh teman-teman yang telah banyak membantu selama pembuatan skripsi ini.
7. Dan pihak-pihak yang sangat membantu dalam penulisan skripsi tugas akhir ini yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.
8. Segenap kakak-kakak di Klub Robotika dan Cometronica, yaitu kak Wan Ali, kak Beta, kak Jefri, kak Husen, kak Victor, kak Andri, kak Ojak, dan kak Golfi.
9. Teman-teman robotika 2013, yaitu Akmal, Owen, Nasruddin, Masda, Della, Yusra, Jhon, Asra.
10. Adek-adek kelas yang telah banyak membantu selama proses perekaman dan pembuatan skripsi yaitu Madon, ALmi, Abdo, Hari, Abid, Fitroh, dll.

11. Anak-anak murid yang pernah belajar, yaitu Mona, Eva, Cunni, Rahma, Laras, Chandra. Terimakasih banyak atas dukungan dan doa.
12. Spesial buat guru belajar robot yaitu kak Abdi.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penulisan usulan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan wawasan yang lebih luas kepada pembaca. Oleh karena itu, kritik, dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar dapat menjadi evaluasi yang baik dan berguna untuk perbaikan kedepannya.

Palembang, Mei 2019

Wayan Dadang
03041181320082

ABSTRAK

**PERANCANGAN SPEECH RECOGNITION PADA HUMANOID ROBOT
UNTUK KOMUNIKASI DUA ARAH DAN VOICE BIOMETRIC
BERBASIS RASPBERRY PI 3 MODEL B**
(Wayan Dadang, 03041181320082, 2019, 135 halaman)

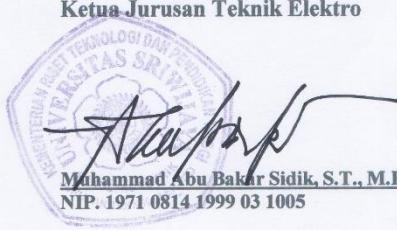
Robot *humanoid* telah menjadi daya tarik tersendiri dalam bidang riset robotika yang memiliki kecerdasan buatan dan dapat berinteraksi dengan manusia, misalnya memiliki kemampuan berkomunikasi secara dua arah untuk robot *service*. Robot yang dirancang dalam penelitian ini adalah sebuah robot humanoid yang memiliki kombinasi antara *speech recognition* dengan *voice biometric*. Perancangan robot ini selain dapat berfungsi sebagai robot komunikasi dua arah juga dirancang berfungsi sebagai robot keamanan berbasis *voice biometric*. Perangkat inti dari robot ini adalah Raspberry Pi 3 model B dan dua buah Arduino UNO R3 sebagai slave. Kemampuan utama robot dirancang untuk dapat melakukan gerakan sesuai perintah terbatas melalui *speech recognition* menggunakan motor servo yang merupakan wujud dari interaksi antara manusia dengan robot. Sedangkan pada *voice biometric* menggunakan *Mel-Frequency Cepstrum Coefficient* (MFCC) yang dikombinasikan dengan fungsi Delta dan Delta-Delta untuk proses ekstraksi ciri, sedangkan kecerdasan buatan menggunakan *gaussian mixture model* (GMM) sebagai algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) yang digunakan untuk proses pengelompokan (*clustering*) penutur. Hasil dari penelitian pada robot yang telah dirancang dengan menggunakan perbandingan 50% data latih dan data uji mencapai tingkat akurasi 99,4% dan mencapai akurasi 99,0% dengan menggunakan perbandingan 80% data latih dan 20% data uji.

Kata kunci: Humanoid, Speech Recognition, Voice Biometric, Gaussian Mixture Model, Mel-Frequency Cepstrum Coefficient

Indralaya, Juli 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. Dr. Bhakti Yudho Suprapto, S.T., MT
NIP. 1971 0814 1999 03 1005

NIP. 1975 02 11 2003 12 1002

ABSTRACT

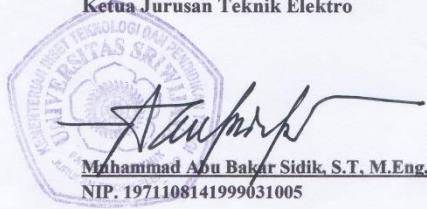
**SPEECH RECOGNITION DESIGN ON HUMANOID ROBOT FOR TWO
DIRECT COMMUNICATIONS AND VOICE BIOMETRIC BASED ON
RASPBERRY PI 3 MODEL B**

(Wayan Dadang, 03041181320082, 2019, 135 pages)

Humanoid robots have become the main attraction in the field of robotics research which has artificial intelligence and can interact with humans, for example having the ability to communicate in two directions for robot service. The robot designed in this study is a humanoid robot which has a combination of speech recognition and voice biometric. Apart from being able to function as a two-way communication robot, the design of this robot can also be used as a voice biometric-based security robot. The core device of this robot is the Raspberry Pi 3 model B and two Arduino UNO R3 as slaves. The main ability of the robot is designed to be able to make movements according to limited orders through speech recognition using a servo motor, which is a manifestation of the interaction between humans and robots. Whereas voice biometrics uses Mel-Frequency Cepstrum Coefficient (MFCC) combined with Delta and Delta-Delta functions for feature extraction processes, while artificial intelligence uses the gaussian mixture model (GMM) as a machine learning algorithm, used for grouping processes (clustering) speakers. The results of the research on robots that have been designed using a 50% comparison of training data and test data reached an accuracy rate of 99.4% and achieved 99.0% accuracy using a ratio of 80% training data and 20% test data.

Key words: Humanoid, Speech Recognition, Voice Biometric, Gaussian Mixture Model, Mel-Frequency Cepstrum Coefficient

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. Dr. Bhakti Yudho Suprapto, S.T., MT
NIP. 1971108141999031005 NIP. 197812072002122002

Palembang, Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Bhakti Yudho Suprapto", placed next to the name "Dr. Bhakti Yudho Suprapto, S.T., MT".

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penulisan.....	5
1.5. Keaslian Penelitian.....	5
1.6. Metode Penelitian	7
1.7. Sistematika Penulisan	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Raspberry Pi 3 Model B	11
2.1.1. Ringkasan Spesifikasi	12
2.1.2. Koneksi yang Terpasang pada Raspberry Pi 3 Model B.....	13
2.1.3. Sistem Operasi Raspberry Pi.....	13
2.1.4. Bahasa Pemrograman Raspberry Pi	15

2.2. Arduino	18
2.2.1. Pengertian Arduino	18
2.2.2. Arduino Uno R3	20
2.2.3. Spesifikasi Arduino UNO R3	20
2.3. Tranduser Suara (<i>Electret Condensor Microphones / ECM</i>)	21
2.3.1. Pengertian <i>Electret Condenser Microphone</i>	21
2.3.2. Cara Kerja <i>Electret Condenser Microphone</i>	23
2.4. Servo Hitec HS-645	25
2.4.1. Pengertian Servo Hitec HS-645	25
2.4.2. Spesifikasi Servo Hitec HS-645	26
2.5. Relay	27
2.5.1. Pengertian Relay	27
2.5.2. Modul Relay 1 <i>Channel</i>	28
2.5.3. Cara Kerja Relay	29
2.6. Speaker Audio.....	29
2.6.1. Pengertian Speaker Audio.....	29
2.6.2. Cara Kerja Speaker	30
2.7. Regulator Tegangan Turnigy UBEC 8-15 A	31
2.8. Modul RFID MFRC522.....	33
2.9. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>) <i>Alphanumeric Display</i> 16x2	35
2.10. Modul Dot Matrix 4x32 dengan IC MAX7219	37
2.11. Google Speech API (<i>Application Programming Interface</i>)	39
2.12. <i>Talking Machine (Text to Speech)</i>	40
2.12.1. <i>Speech Synthesis</i>	41
2.12.2. Modul pyttsx 1.1	42
2.12.3. Modul gTTS (<i>Google Text-to_Speech</i>).....	43
2.13. <i>Voice Biometric (Speaker Authentication)</i>	44

2.14. Ekstraksi Ciri Berbasis MFCC (<i>Mel-Frequency Cepstrum Coefficient</i>)	46
2.14.1. <i>Preemphasis</i>	47
2.14.2. <i>Frame Blocking</i>	47
2.14.3. <i>Windowing</i>	48
2.14.4. <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT).....	49
2.14.5. <i>Mel-Frequency Wrapping</i>	49
2.14.6. <i>Cepstrum</i>	50
2.15. Delta dan Delta-Delta (<i>Double Delta</i>).....	51
2.16. <i>Gaussian Mixture Model</i> (GMM)	52
2.16.1. Teorema Bayessian	55
2.16.2. Klasifikasi Menggunakan Gaussian dan <i>Gaussian Mixture Model</i> (GMM).....	56
2.16.3. Algoritma Ekspektasi Harapan (<i>Expectation Maximisation Algorithm</i> , EM).....	57
2.17. <i>Software</i> Audacity	58
BAB III PERANCANGAN	61
3.1. Blok Diagram.....	62
3.2. Perangkat Perangkat Keras (<i>Hardware</i>) Robot	64
3.2.1. Perancangan Sistem Elektronika Robot	64
3.2.2. Perancangan Desain Robot	65
3.2.2.1. Perancangan Desain Badan Robot	66
3.2.2.2. Perancangan Desain Kepala Robot	67
3.2.2.3. Perancangan Desain Lengan Robot	68
3.2.2.4. Perancangan Desain Kontrol dan Mini Komputer (raspberry Pi) Robot	69
3.3. Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>) Robot	71
3.3.1. Perancangan Sistem Kerja.....	72
3.3.2. Perancangan Pemrograman Python.....	76

3.3.3. Perancangan Pemrograman Arduino.....	78
3.4. Perekaman Dataset Suara.....	78
3.5. Perancangan Fitur Ekstraksi Ciri	80
3.5.1. Perancangan <i>Mel-Frequency Cepstrum Coefficient</i> (MFCC).....	81
3.5.2. Perancangan Fungsi Delta dan Delta-Delta (<i>Double Delta</i>)	83
3.5.3. Perancangan MFCC dengan Delta dan Delta-Delta (<i>Double Delta</i>)	84
3.6. Perancangan <i>Gaussian Mixture Model</i> (GMM)	87
3.6.1. Perancangan <i>Gaussian Mixture Model</i> untuk Pelatihan	88
3.6.2. Perancangan <i>Gaussian Mixture Model</i> untuk Pengujian	92
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	96
4.1. Pengujian dengan 50% dari Jumlah Total Data.....	96
4.2. Pengujian dengan 20% dari Jumlah Total Data.....	101
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	106
5.1. Kesimpulan	106
5.2. Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Raspberry Pi 3 Model B	12
Gambar 2.2. Arsitektur Raspberry Pi 3 Model B	13
Gambar 2.3. Tampilan Raspbian dan Linux Kernel Armv71.....	14
Gambar 2.4. Tampilan IDLE (Python 2.7.13) pada Raspbian GNU/Linux 9.9 <i>(stretch)</i>	16
Gambar 2.5. Tampilan Jendela Pemrograman Python 2.7.13 (Python Editor) pada Raspbian GNU/Linux 9.9 (<i>stretch</i>).....	17
Gambar 2.6. Arduino UNO R3.....	20
Gambar 2.7. Skema Struktur dari <i>Electret Condenser Microphone</i>	22
Gambar 2.8. <i>Electret Condenser Microphone</i>	23
Gambar 2.9. Prinsip Kerja ECM	24
Gambar 2.10. Motor Servo Beserta Dimensi	25
Gambar 2.11. Lebar Pulsa untuk Mengontrol Derajat Servo	26
Gambar 2.12. Relay SPDT 12V	28
Gambar 2.13. Modul Relay SPDT 12V 1 <i>Channel</i>	29
Gambar 2.14. Speaker Audio	30
Gambar 2.15. Bagian-bagian Speaker	31
Gambar 2.16. UBEC Turnigy 8-15 A	32
Gambar 2.17. Modul RFID RC522	33
Gambar 2.18. Modul LCD 16x2 menggunakan chip Hitachi HD44780S.....	36
Gambar 2.19. Modul LED Matriks 8x32	37
Gambar 2.20. IC MAX7219 sebagai Driver LED Matriks 8x8	38
Gambar 2.21. Proses <i>Text to Speech</i> (TTS) pada <i>Talking Machine</i>	42
Gambar 2.22. <i>Speaker Recognition Family Tree</i>	45

Gambar 2.23. Blok Diagram Metode MFCC	46
Gambar 2.24. Ilustrasi <i>Frame Blocking</i> pada Sinyal Suara.....	47
Gambar 2.25. Sinyal Sebelum (Merah) di <i>Windowing</i> dan Setelah di <i>Windowing (WaveMetrics)</i>	48
Gambar 2.26. Proses Kalkulasi pada <i>Mel-Frequency Cepstrum Coefficient</i> (MFCC)	50
Gambar 2.27. Perbedaan Peningkatan Akurasi dari Ekstraksi Fitur Menggunakan MFCC, MFCC + Delta, MFCC + Delta + Double Delta	52
Gambar 2.28. Representasi GMM pada Empat Komponen Jenis data berbeda yang di Kelompokkan (<i>Clustering</i>) kedalam Lingkaran.....	54
Gambar 2.29. Tampilan <i>Software Audacity</i> Versi 2.3.2 (versi terbaru).....	59
Gambar 3.1. Blok Diagram.....	63
Gambar 3.2. Rangkaian Keseluruhan Sistem Elektronika Robot.....	65
Gambar 3.3. Gambar Bentuk Badan Sisi Depan dan Sisi belakang Robot Menggunakan Manekin	67
Gambar 3.4. Gambar Desain Kepala Robot Menggunakan SolidWork	68
Gambar 3.5. Gambar Desain Kedua Lengan Robot Tampak dari Sisi Depan dan Sisi Belakang	69
Gambar 3.6. Gambar Desain Papan Mini Komputer (raspberry pi), Kontroler Arduino, dan Sistem Catu Daya	70
Gambar 3.7. Monitor Komputer untuk Display Raspberry Pi menggunakan HDMI	71
Gambar 3.8. Diagram Perancangan Sistem Kerja Robot	73
Gambar 3.9. <i>Flowchart</i> Sistem Kerja <i>Speech Recognition</i> pada Robot.....	74
Gambar 3.10. <i>Flowchart</i> Sistem Kerja <i>Voice Biometric + RFID</i> pada Robot	76
Gambar 3.11. Tampilan IDE (Integrated Development Environments) untuk Lingkungan Editor Python Versi 2.7.16 pada Ubuntu 19.04	77

Gambar 3.12. Tampilan IDE (Integrated Development Environments) untuk lingkungan editor Arduino versi 1.8.9 pada Ubuntu 19.04	78
Gambar 3.13. Tampilan Data Rekam NIM Penulis Sendiri 1-3-0-8-2 dengan Format wav pada Software Audacity	79
Gambar 3.14. <i>Flowchart</i> Rekaman Suara Dataset Menggunakan <i>Software</i> Audacity	80
Gambar 3.15. <i>Flowchart Mel-Frequency Cepstrum Coefficient (MFCC)</i>	82
Gambar 3.16. <i>Flowchart Delta</i> dan <i>Delta-Delta (Double Delta)</i>	83
Gambar 3.17. <i>Flowchart MFCC + Delta</i> dan <i>Delta-Delta (Double Delta)</i>	85
Gambar 3.18. Hasil Ekstraksi Ciri per Dataset Audio Rekaman.....	87
Gambar 3.19. Hasil Ekstraksi Ciri per 5 Dataset Audio Rekaman.....	87
Gambar 3.20. Enrol Data Latih dengan 50% Data Latih yang telah Disusun ke dalam Notepad dengan Format txt	89
Gambar 3.21. Flowchart untuk Melatih Data Menggunakan GMM	90
Gambar 3.22. Flowchart untuk Pengujian Data Menggunakan GMM	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino UNO R3	21
Tabel 2.2. Spesifikasi Performa Servo Hitec HS-645	26
Tabel 2.3. Spesifikasi Fisis Servo Hitec HS-645	26
Tabel 2.4. Spesifikasi UBEC 8-15 A	32
Tabel 2.5. Features dan Benefits Modul RFID MFRC522	34
Tabel 2.6. Features LCD 16x2 dengan chip Hitachi HD44780S	36
Tabel 2.7. Fitur-fitur IC MAX7219	38
Tabel 2.8. Perbandingan dari fitur dari setiap kunci berbasis bometrik	46
Tabel 4.1. Pengujian dengan 50% dari Jumlah Total Data	96
Tabel 4.2. Pengujian dengan 20% dari Jumlah Total Data	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada abad ke-21 ini, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin maju dan pesat, khususnya dibidang teknologi robotika. Robotika telah menjadi salah satu teknologi yang sangat menjanjikan dimasa depan, karena pada saat bekerja mempunyai kemampuan lebih baik dan presisi dibandingkan dengan manusia. Robot menjadi media riset yang sangat menarik dikalangan peneliti, baik ilmuwan, akademisi, maupun mahasiswa, dibidang teknologi maju khususnya robotika yang menyerupai manusia atau dapat disebut dengan robot *Humanoid*. Robot *Humanoid* banyak digunakan untuk membantu pekerjaan manusia seperti memasak, melipat pakaian, robot hiburan, robot tantara, hingga robot yang ditempatkan di ISS (*International Space Station*) dan banyak fungsi lain dari robot *Humanoid* yang dengan kelebihan tersendiri.

Salah satu bagian menarik dari penerapan robot *Humanoid* adalah sebagai robot asisten dan *service robot* yang dapat berfungsi sebagai robot pemandu dan juga robot yang dapat menjawab pertanyaan yang diberikan oleh manusia. Robot dapat merenspon setiap pertanyaan dari lawan bicaranya sebagai bentuk interaksi berupa komunikasi dua arah antara manusia dan robot. Robot *Humanoid* seperti ini dapat ditempatkan sebagai robot asisten di perusahaan-perusahaan, hotel, universitas, rumah sakit, dan toko.

Dalam kegiatan akademis di sebuah Universitas misalnya, mahasiswa sangat membutuhkan banyak informasi mengenai keberadaan dosen, kepala jurusan, sekretaris, dan orang penting lainnya, untuk menunjang tujuan akademis yang sedang ditempuh. Namun, tidak semua informasi jurusan dapat diperoleh dari asisten yang ada di jurusan tersebut. Terkadang tugas menyediakan informasi berupa ada atau tidaknya orang-orang dibagian jurusan untuk urusan akademik cukup membosankan dilakukan oleh manusia. Padahal keberadaan informasi seperti ini harus selalu tersedia agar semua proses semakin cepat dan mudah, karena

tidak harus menunggu dalam waktu lama untuk mendapatkan informasi yang diperlukan.

Fungsi lain yang harus ada dalam sebuah robot *Humanoid* adalah *Voice Biometric* yang berguna sebagai sistem keamanan. Robot ini dapat difungsikan sebagai robot akses ke dalam suatu ruangan yang diharuskan orang atau mahasiswa untuk mengucapkan kode yang telah terekam pada awalnya sebagai pengenalan suara. Kode ini hanya bisa diucapkan oleh orang yang bersangkutan saja dan orang lain tidak bisa menggunakan kode yang sama. Robot seperti ini akan sangat berguna bagi pengembang sistem keamanan berbasis *biometric* untuk sebuah keamanan akses kode.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pembahasan tentang robot *Humanoid* komunikasi dua arah masih sedikit dilakukan. Riset yang dilakukan oleh Kurniawan, membahas tentang pengenalan wicara terbatas untuk memberi perintah gerakan robot *Humanoid* saja [1]. Dan, pada robot yang dibuat oleh Rikasofiadewi dan Prihatmanto, robot dirancang untuk pemandu pameran yang dapat melakukan komunikasi dua arah, tetapi menggunakan robot *Nao* yang sudah termodul dalam satu robot [2]. Kemudian pada robot yang dibuat oleh Shin dkk, membahas mengenai robot yang bertugas sebagai penerjemah dari Bahasa Inggris ke Bahasa Korea pada rumah sakit untuk membantu pasien yang menggunakan bahasa inggris sebagai pengganti peran manusia [3]. Pada penelitian oleh Joshi dkk, mereka membuat sebuah robot *Humanoid* yang mempu berinteraksi dengan manusia di lingkungan secara *realtime* (terus menerus sepanjang waktu) dengan menerapkan kecerdasan buatan, agar robot dapat memahami apa yang perintahkan dan kemudian melaksanakan perintah yang telah diberikan [4].

Berdasarkan permasalahan diatas penulis berpikir untuk merancang sebuah robot *Humanoid* yang dapat berinteraksi dengan manusia berupa komunikasi dua arah dengan percakapan yang lebih banyak (*long conversations*) ditambah dengan robot yang mampu memberikan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan mengenai sesuatu tentang apapun sekaligus memiliki kemampuan untuk menjadi robot asisten atau robot penjaga yang hanya bisa diakses melalui *voice biometric* untuk sistem keamanan menggunakan MFCC (*Mel-Frequency Cepstrum Coeficients*) dan GMM

(*Gaussian Mixture Model*), dan teknologi *board* komputer berupa *Raspberry Pi 3*, agar robot dapat lebih mudah untuk ditempatkan di jurusan fakultas atau dimanapun. Oleh karena itu penulis membuat penelitian tugas akhir ini dengan judul :

***“Perancangan Speech Recognition pada Humanoid Robot untuk
Komunikasi Dua Arah dan Voice Biometric Berbasis Raspberry Pi 3
Model B”***

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sebuah Robot *Humanoid* yang dapat berinteraksi dengan manusia menggunakan komunikasi dua arah?
2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan *Speech Recognition* untuk komunikasi dua arah pada robot *Humanoid*?
3. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan *voice biometric* pada robot *Humanoid* untuk akses keamanan?
4. Bagaimana membuat sistem kontrol robot *Humanoid* menggunakan Raspberry Pi 3 Model B?
5. Bagaimana merancang robot yang dapat membedakan antara suara satu penutur dengan penutur yang lainnya?
6. Bagaimana merancang robot yang dapat berbicara kepada lawan bicara dengan menggunakan teknologi *Text to Speech* (TTS)?
7. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan MFCC dan fungsi Delta dalam mengekstraksi fitur setiap ucapan penutur?

1.3 Batasan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka pembatasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Hanya membahas rancang bangun robot dari ide penelitian sampai bentuk fisik akhir dari robot *Humanoid* komunikasi dua arah.
2. Hanya membahas sistem kerja secara umum pada robot mulai dari proses pembuatan atau perakitan sampai robot berfungsi setelah diprogram sesuai dengan tujuan penulis.
3. Robot dibuat untuk dapat mengenali ucapan (*speech recognition*) dari lawan bicara menggunakan teknologi *Google Speech Recognition*.
4. Robot dapat menjawab (merespon) pertanyaan yang lawan bicara berikan sebagai bentuk respon komunikasi dua arah menggunakan teknologi gTTS (*google text to speech*).

5. Robot dapat mengenali suara seseorang khusus sebagai *voice biometric* menggunakan MFCC (*Mel-Frequency Cepstrum Coeficients*) dan GMM (*Gaussian Mixture Model*).
6. Modul Komputer yang dipakai yaitu menggunakan Raspberry Pi 3 model B berkekuatan *Processor 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53*.
7. Sensor input sinyal suara menggunakan *Electret Condenser Microphone*.
8. Output suara robot sebagai wujud respon terhadap ucapan yang diberikan berupa speaker audio untuk laptop dengan catu daya 220 Volt AC.
9. Catu daya robot menggunakan adaptor 220 Volt AC ke 12 Volt DC 5 Amper.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk merancang sebuah robot *Humanoid* yang dapat berkomunikasi dua arah dengan manusia. Menciptakan sebuah robot asisten di lingkungan akademis sebagai sarana dalam upaya menciptakan teknologi robot otonom secara mutakhir sesuai perkembangan teknologi maju saat ini.

1.5 Keaslian Penelitian

Fokus penulis dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan membangun sebuah robot *Humanoid* yang mampu berkomunikasi dua arah antara manusia dengan robot, yang mana robot dapat merespon ucapan manusia menggunakan teknologi *Speech Recognition* sebagai pengolah sinyal suara menjadi data digital yang dapat diproses oleh mini komputer Raspberry Pi. Kemudian, database pengenal pola suara menggunakan *database Google API* yang telah diubah kedalam Bahasa Indonesia, serta robot dapat merespon balik ke lawan bicara menggunakan teknologi gTTS (*google text to speech*). Sebelumnya, telah dilakukan penelitian yang berkaitan dengan robot *Humanoid* yang dapat berkomunikasi dua arah, diantaranya ialah “*Pengenalan Wicara untuk Perintah Gerak Robot Humanoid*” oleh Lukman Arif Kurniawan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Novermber Surabaya. Penelitian tersebut membahas tentang rancangan pengenalan wicara sederhana pada robot

Humanoid yang mana sistem yang dirancang mampu menerima perintah wicara terbatas dari suara manusia secara langsung yang kemudian robot dapat melakukan suatu tindakan dari hasil perintah yang diberikan. Kelemahan pada robot yang mereka buat adalah hanya dapat merespon kata-kata terbatas saja[1].

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Putri Nhirun Rikasofiadewi dan Ary Setijadi Prihatmanto dari Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2015 dengan judul penelitian “*Perancangan dan Implementasi Sistem Komunikasi Audio untuk Lumen Robot Sosial-Humanoid Sebagai Pemandu Pameran Pada Electrical Engineering Days 2015*”. Dalam penelitian tersebut membahas tentang robot *Humanoid* bernama Lumen Robot Sosial yang dapat bersikap seperti manusia dan menjadi teman bagi manusia. Robot Lumen dirancang untuk menjadi pemandu sebuah pameran[2].

Penelitian tentang robot *Humanoid* komunikasi dua arah ini juga pernah diteliti oleh Sangmi Shin dkk, dari *M2M Lab, Computer and Information Technology Purdue University West Lafayette, IN, USA* dan *Computer Science and Engineering Dongguk University Seoul, Republic of Korea* pada tahun 2015 dengan judul “*Speech-to-Speech Translation Humanoid Robot in Doctor’s Office*”. Dalam penelitian tersebut membahas tentang robot *Humanoid* yang mempunyai kemampuan mengenali ucapan untuk berkomunikasi satu arah dalam membantu pasien berbicara Bahasa Inggris agar diterjemahan dari Bahasa Inggris ke Bahasa Korea pada tugas Dokter di Rumah Sakit[3].

Kemudian penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Neha Joshi dkk, dari *Robotics and Artificial Intelligence Laboratory, Indian Institute of Information Technology, Allahabad, India* pada tahun 2015 dengan judul “*Speech Controlled Robotics using Artificial Neural Network*”. Dalam penelitian tersebut, penulis membuat sebuah robot *Humanoid HOAP-2* yang mampu mengenali suara perintah secara *realtime* melalui jaringan saraf tiruan yang kemudian kata-kata yang diberikan untuk memberikan perintah kepada robot sesuai dengan tugas robot tersebut[4].

Setelah membaca penelitian -penelitian sebelumnya, ternyata tidak sedikit orang melakukan terobosan-terobosan terbaru dalam membuat robot *Humanoid*

yang mempu mengenali pola ucapan yang diberikan dan kemudian outputnya berupa gerakan dan juga berupa komunikasi dua arah terhadap manusia dan robot. Tetapi belum ada penelitian *Speech Recognition* pada robot *Humanoid* yang mempunyai kemampuan berkomunikasi dua arah menggunakan teknologi berbasis Raspberry Pi 3 yang dipakai pada robot tersebut.

Dari sanalah muncul ide penulis dalam penelitian ini yaitu merancang purwarupa robot *Humanoid* yang mempunyai kemampuan komunikasi dua arah dengan menerapkan teknologi *Speech Recognition* sebagai pengenal ucapan menggunakan *database Google API* yang telah diubah kedalam Bahasa Indonesia, serta robot dapat merespon balik ke lawan bicara menggunakan teknologi gTTS (*google text to speech*).

Robot dirancang menggunakan papan komputer berupa *Raspberry Pi 3*, karena *Raspberry Pi 3* mempunyai *Processor 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53* sebagai unit pengolah. Jadi, dengan menggunakan *Raspberry Pi 3*, sistem komputer dapat terpasang secara mandiri di dalam tubuh robot tanpa harus terkoneksi dengan komputer laptop. Penggunaan *Raspberry Pi* sebagai papan komputer dapat menekan biaya lebih murah dibandingkan dengan membeli modul robot seperti robot *Nao* atau sejenisnya dan juga lebih hemat dalam penggunaan daya.

Oleh karena itu, keaslian dari penelitian ini dapat dipertanggung jawabkan sesuai dengan asas-asas keilmuan yang berlaku, dan sejauh yang saya ketahui, penelitian ini bukan merupakan tiruan dari yang sudah dipublikasikan atau pernah dijadikan untuk mendapatkan gelar sarjana dilingkungan Universitas Sriwijaya maupun Universitas lainnya, kecuali bagian dalamnya terdapat pembaharuan dari penelitian sebelumnya dengan mencantumkan informasi sumber sebagaimana mestinya.

1.6 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Pustaka

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan berbagai macam bahan-bahan bacaan yang berkaitan dengan judul penelitian penulis dari berbagai sumber seperti buku-buku, paper yang diterbitkan dalam sebuah jurnal ilmiah, internet, dan lain-lain.

2. Persiapan Komponen

Pada tahap ini dilakukan pendataan alat-alat dan bahan yang akan digunakan dalam perancangan dan pembuatan robot *Humanoid* komunikasi dua arah.

3. Perancangan dan Perakitan Elektronik serta Mekanik Robot

Perancangan dan perakitan mekanik robot meliputi perancangan idea bentuk robot baik *base* ataupun tempat-tempat sensor dan semua komponen yang akan digunakan, sehingga robot tersebut terlihat lebih unik, menarik serta rapi sesuai dengan kaidah-kaidah nilai estetika teknologi robot *Humanoid*. Robot ini juga dilengkapi beberapa mikrokontroller pendukung yaitu 2 (dua) buah Arduino Uno yang terhubung secara *interface* menggunakan teknologi I2C (*inter-integrated circuit*) sebagai kontrol pendukung mata dan informasi robot pada *LED Matrix*.

4. Instalasi Raspbian dan modul pustaka pada Raspberry Pi

Tahap ini menjadi bagian paling penting agar perangkat lunak atau *software* robot dapat bekerja sebagaimana mestinya. Karena pada tahapan ini, agar semua program dapat dibuat hingga diuji pada lingkungan Linux harus diinstal beberapa modul pendukung.

5. Perancangan Program

Membuat printah-perintah program sebagai wujud konversi dari algoritma ke dalam Bahasa pemrograman yang akan dipakai pada robot. Tahap pemrograman diawali dengan membuat program menggunakan Bahasa Python pada lingkungan linux berbasis mikrokomputer Raspberry Pi 3.

Sedangkan, pada perangkat kontrol tambahan diprogram menggunakan Bahasa *Arduino* dengan rincian algoritma menggunakan Bahasa C sedangkan pustaka menggunakan C++.

6. Perancangan *Voice Biometric* untuk Sistem Biometrik

Pada tahap ini proses paling pertama adalah pembuatan program MFCC menggunakan Bahasa Python. Setelah itu proses merekam suara dari mahasiswa yang suaranya akan digunakan untuk data uji pada MFCC. Suara yang sudah direkam akan di ekstrak menjadi data yang bisa diolah berupa angka-angka yang tersimpan dalam vektor. Kemudian nilai-nilai dalam vector tersebut digunakan untuk proses pelatihan sebelum tahap pengujian menggunakan GMM.

7. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengambilan data dari semua pengujian, apakah robot mampu mengenali ucapan yang kita berikan, kemudian menampilkan di *shell* monitor Python. Dan juga, melihat respon robot baik berupa ucapan balasan menggunakan *text to speech* sekaligus mampu memberi respon berupa lambaian tangan terhadap apa yang kita ucapkan.

8. Analisa

Pada tahap terakhir, penulis menganalisa data yang telah didapatkan dari hasil pengujian langsung pada robot dengan cara melihat respon yang dapat dilakukan oleh robot terhadap kata-kata yang diberikan sehingga penulis dapat mengetahui nilai kesalahan pada robot tersebut, dengan demikian penulis dapat menganalisa kesalahan tersebut untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan cara meminimalisir kesalahan selanjutnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan Proposal Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yang secara garis besar diuraikan sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang, masalah yang akan dibahas, pembatasan bahasan, tujuan penulisan, keaslian penulisan, dan sistematika penulisan sebagai gambaran umum tugas akhir.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan penggunaan teori-teori pendukung yang berkaitan dengan penulisan tugas akhir ini.

3. BAB III Perancangan

Bab ini berisikan penjelasan mengenai perencanaan yang dituangkan ke dalam suatu *flowchart*, prosedur dan langkah-langkah penyelesaian masalah yang dibahas dan analisa dari tiap – tiap *flowchart*.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan tentang bagaimana prosedur pengambilan data dan data hasil pengujian yang dilakukan.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan tentang kesimpulan yang didapat dari pembahasan permasalahan dan beberapa saran yang perlu diperhatikan berkaitan dengan kendala-kendala yang ditemui atau sebagai kelanjutan dari pembahasan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. A. Kurniawan, “Pengenalan Wicara untuk Perintah Gerak Robot Humanoid,” *Jurusang Teknik Elektro FTI – ITS*. [E-PDF].
- [2] P. N. Rikasofiadewi dan A. S. Prihatmanto, “Perancangan dan Implementasi Sistem Komunikasi Audio untuk Lumen Robot Sosial-Humanoid Sebagai Pemandu Pameran Pada Electrical Engineering Days 2015,” Tesis, June 2015. [E-PDF].
- [3] S. Shin, E. T. Matson, J. Park, B. Yang, J. Lee, dan J. W. Jung, “Speech-to-Speech Translation Humanoid Robot in Doctor’s Office,” *Proceedings of the 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications, Queenstown, New Zealand*, Feb 17-19, 2015. [E-PDF].
- [4] N. Joshi, A. Kumar, P. Chakraborty, dan R. Kala, “Speech Controlled Robotics using Artificial Neural Network,” *2015 Third International Conference on Image Information Processing*. [E-PDF].
- [5] A. Dinata, *Physical Computing dengan Raspberry Pi*. Jakarta: Penerbit PT Elex Media Komputindo, 2017.
- [6] Raspberry Pi, “Raspberry Pi 3 Model B,” Raspberry Pi datasheet. [E-PDF].
- [7] GeeksforGeeks, “Python Programming Language.” [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/python-programming-language/>. [Diakses pada 28 April 2019].
- [8] Python, “The Python Wiki.” [Online]. Available: <https://wiki.python.org/moin/>. [Diakses pada 10 Juli 2017].
- [9] Wikipedia-Inggris, “Python (programming language).” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)). [Diakses pada 28 April 2019].
- [10] Python, “IDLE.” [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/idle.html>. [Diakses pada 10 Juli 2017].
- [11] D. Artanto, *Interaksi Arduino dan LabVIEW*. Jakarta: Penerbit PT Elex Media Komputindo, 2012.

- [12] M. Sanjaya, *Panduan Praktis Membuat Robot Cerdas Menggunakan Arduino dan MATLAB*. Yogyakarta: Penerbit CV. Andi Offset (Penerbit Andi), 2016.
- [13] W. Budiharto, *Robotika Modern – Teori dan Implementasi (Edisi Revisi)*. Yogyakarta: Penerbit CV. Andi Offset (Penerbit Andi), 2014.
- [14] M. Sanjaya, *Membuat Robot Arduino Bersama Profesor Bolabot Menggunakan Interface Python*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media, 2016.
- [15] Arduino, “What is Arduino?” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Diakses pada 7 Juni 2017].
- [16] _____, “About Us.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>. [Diakses pada 28 April 2019].
- [17] _____, “ARDUINO UNO REV3.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [Diakses pada 28 April 2019].
- [18] _____, “Compare board specs.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>. [Diakses pada 28 April 2019].
- [19] Hosiden, “Guide for Electret Condenser Microphones,” datasheet. [E-PDF].
- [20] Anonim, “Condenser Microphone Signal.” [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Audio/mic2.html>. [Diakses pada Juni 2017].
- [21] Jameco Electronics, “How Do Servo Motors Work.” [Online]. Available: <http://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>. [Diakses pada Juni 2017].
- [22] Hitec, “HS-645MG High Torque, Metal Gear Premium Sport Servo.” [Online]. Available: <http://hitecrcd.com/products/servos/sport-servos/analog-sport-servos/hs-645mg-high-torque-metal-gear-servo/product>. [Diakses pada Juni 2017].
- [23] Future Electronic Corporation, “Relay Modules,” datasheet. [E-PDF].

- [24] Theory Circuit, “SPDT Relay DPDT Relay.” [Online]. Available: <http://www.theorycircuit.com/spdt-relay-dpdt-relay/>. [Diakses pada 28 April 2019].
- [25] Physics.org, “How do speakers work?,” [Online]. Available: <http://www.physics.org/article-questions.asp?id=54>. [Diakses pada Juni 2017].
- [26] Anonim, “Loudspeaker Details.” [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Audio/spk.html>. [Diakses pada 15 Juni 2017].
- [27] Nooruddeenzangi, “How Speakers Work,” 29 Juni 2013. [Online]. Available: <https://atmega32-avr.com/how-speakers-work/>. [Diakses pada 28 April 2019].
- [28] UBEC, “User Manual of 8A UBEC,” datasheet. [E-PDF].
- [29] MFRC522, “Standard performance MIFARE and NTAG frontend,” datasheet, rev. 3.9, 27 April 2016. [E-PDF].
- [30] Hitachi, “HD44780U (LCD-II) - (Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver),” datasheet, rev. 0.0. [E-PDF].
- [31] Maxim, “Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers,” datasheet, rev 4. [E-PDF].
- [32] G. Shires dan P. Jägenstedt, “Web Speech API,” Draft Community Group Report, 15 Maret 2019. [Online]. Available: <https://w3c.github.io/speech-api/#introduction>. [Diakses pada 29 April 2019].
- [33] Wikipedia-Inggris, “Speech synthesis.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Speech_synthesis. [Diakses pada 29 April 2019].
- [34] Pyttsx, “pyttsx - Text-to-speech x-platform,” rev 1.2, 14 Januari 2015. [Online]. Available: <https://pyttsx.readthedocs.io/en/latest/index.html>. [Diakses pada 10 Juli 2017].
- [35] gTTS, “Documentation,” versi 2.0.3, 15 Desember 2012. [Online]. Available: <https://gtts.readthedocs.io/en/latest/index.html>. [Diakses pada 2 Mei 2019].

- [36] E3C Tecnologia (github), “mpg321,” rev 18 Maret 2011. [Online]. Available: <https://github.com/e3c/mpg321>. [Diakses pada 2 Mei 2019].
- [37] Pypi, “playsound 1.2.2,” versi 1.2.2, revisi 29 Juni 2017. [Online]. Available: <https://pypi.org/project/playsound/>. [Diakses pada 2 Mei 2019].
- [38] H. N. M. Shah, M. Z. Ab. Rashid, M.F. Abdollah, M. N. Kamarudin, C.K. Lin, and Z. Kamis, “Biometric Voice Recognition in Security System,” *Indian Journal of Science and Technology*, vol 7, no. 2, Februari., pp. 104–112, 2014. [E-PDF].
- [39] J. A. Markowitz, “Designing for Speaker Authentication,” ResearchGate, upload 2 Juli 2014. [E-PDF].
- [40] Alibaba Clouder, “Voiceprint Recognition – Not Just a Powerful Authentication Tool,” 17 Maret 2017. [Online]. Available: https://www.alibabacloud.com/blog/voiceprint-recognition-not-just-a-powerful-authentication-tool_72408?spm=a2c5q.11423531.0.0.1bfd43b4nxc900. [Diakses pada 8 Mei 2019].
- [41] K. P. Tripathi, “A Comparative Study of Biometric Technologies with Reference to Human Interface,” *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, volume 14, no. 5, Januari 2011. [E-PDF]
- [42] N. Trivedi, V. Kumar, S. Singh, S. Ahuja, dan R. Chadha, “Speech Recognition by Wavelet Analysis,” *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, vol. 15, no. 8, February 2011. [E-PDF].
- [43] WaveMetrics, “*Spectral Windowing.*” [Online] Available: <https://www.wavemetrics.com/products/igorpro/dataanalysis/signalprocessing/spectralwindowing.htm>. [Diakses pada 15 Juni 2017].
- [44] E. L. Salomons dan P. J. M. Havinga, “A Survey on the Feasibility of Sound Classification on Wireless Sensor Nodes,” *Sensors (MDPI)*, no. 15, Maret., pp. 7462-7498, 2015. [E-PDF].
- [45] H. Fayek, “Speech Processing for Machine Learning: Filter banks, Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) and What's In-Between,” 21 April

2016. [Online]. Available: <https://haythamfayek.com/2016/04/21/speech-processing-for-machine-learning.html#fn:2>. [Diakses pada tanggal 1 Mei 2019].
- [46] ML bot1, “Voice Gender Detection using GMMs : A Python Primer,” 14 Juni 2017. [Online]. Available: <https://appliedmachinelearning.blog/2017/06/14/voice-gender-detection-using-gmms-a-python-primer/>. [Diakses pada 5 Mei 2019].
- [47] _____, “Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) tutorial.” [Online]. Available: <http://practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/guide-mel-frequency-cepstral-coefficients-mfccs/>. [Diakses pada 3 Mei 2019].
- [48] K. Kumar, C. Kim, dan R. M. Stern, “Delta-Spectral Cepstral Coefficients for Robust Speech Recognition,” *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Mei 2011. [E-PDF].
- [49] D. K. Putra, I. I. Triasmoro, dan R. D. Atmaja, “Simulasi dan Analisis Speaker Recognition Menggunakan Metode Mel Frequency Ceptrum Coefficient (MFCC) dan Gaussian Mixture Model (GMM),” *e-Proceeding of Engineering*, vol.4, no.2, Agustus., pp. 1766, 2017. [E-PDF].
- [50] J. VanderPlas, “Python Data Science Handbook – Essential Tools for Working with Data,” First Edition, CA: O’Reilly Media, Inc, 2017. [E-Book].
- [51] A. Kumar, “Spoken Speaker Identification based on Gaussian Mixture Models: Python Implementation,” 14 November 2017. [Online]. Available: <https://appliedmachinelearning.blog/2017/11/14/spoken-speaker-identification-based-on-gaussian-mixture-models-python-implementation/>. [Diakses pada 3 Mei 2019].
- [52] G. S. Kumar, K. A. P. Raju, M. Rao CPVNJ, dan P. Satheesh, “Speaker recognition Using GMM,” *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, no. 6, pp. 2428-2436, 2010. [E-PDF].
- [53] D. Foley, “Gaussian Mixture Modelling (GMM) - Making Sense of Text Data using Unsupervised Learning,” 8 Maret 2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/gaussian-mixture-modelling-gmm-833c88587c7f>. [Diakses pada tanggal 1 Mei 2019].

- [54] C. Rasmussen dan C.Williams, *Gaussian Process for Machine Learning*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2006. [E-book].
- [55] A. Novikov. Course Lecture, Topic: “Bayesian Methods for Machine Learning.” National Research University Higher School of Economics, Coursera, 9 Mei 2019. [Online]. Available: <https://www.coursera.org/lecture/bayesian-methods-in-machine-learning/gaussian-mixture-model-LyAxY>. [Diakses pada 5 Mei 2019]
- [56] Practical Cryptography, “Gaussian Mixture Model Tutorial.” [Online]. Available: <http://www.practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/gaussian-mixture-model-tutorial/>. [Diakses pada 5 Mei 2019].
- [57] Tufan_gupta2000, “Gaussian Mixture Model,” GeeksforGeeks. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/gaussian-mixture-model/>. [Diakses pada 11 Mei 2019].
- [58] Audacity, “Free - open source - cross-platform audio software.” [Online]. Available: <https://www.audacityteam.org/>. [Diakses pada tanggal 18 Mei 2019].