

**IMPLEMENTASI ALGORITMA AKUSTIK DENGAN
METODE *ACOUSTIC ECHO CANCELLATION* (AEC)
DAN *NOISE SUPPRESSION* (NS) PADA *INTELLIGENT
VOICE ASSISTANT***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



Oleh :

**VIRANI PUTRI PERDANA
09011381722138**

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI ALGORITMA AKUSTIK *ACOUSTIC ECHO CANCELLATION (AEC) DAN NOISE SUPPRESSION (NS) PADA INTELLIGENT VOICE ASSISTANT*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

Oleh :

Virani Putri Perdana

09011381722138

Palembang, ²⁰ Oktober 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr.Ir. H. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir

Huda Ubaya, M.T.

NIP. 198106162012121003

HALAMAN PERSETUJUAN

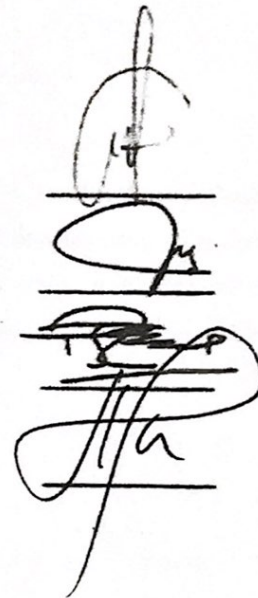
Telah diuji dan lulus pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 15 September 2021

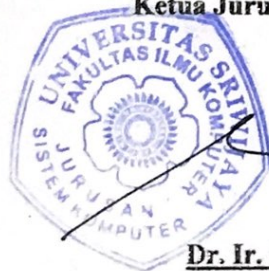
Tim Penguji:

1. Ketua Sidang : Ahmad Zarkasi, M.T
2. Sekretaris Sidang : Kemahyanto Exaudi, M.T
3. Penguji Sidang : Rendyansyah, M.T
4. Pembimbing : Huda Ubaya, M.T



Mengetahui, 24/10/21

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.

NIP. 196612932006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda yang dibawah ini:

Nama : Virani Putri Perdana
NIM : 09011381722138
Judul : Implementasi Algoritma Akustik dengan Metode *Acoustic Echo Cancellation (AEC)* dan *Noise Supression (NS)* Pada *Intellegent Voice Assistant*

Hasil pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 14%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari universitas Sriwijaya. Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.



Palembang, Oktober 2021



Virani Putri Perdana

09011381722138

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

Optimisme merupakan kepercayaan yang menuju pencapaian. Tidak ada yang bisa dilakukan tanpa adanya harapan dan keyakinan.

Terus lakukan hal-hal baik maka insyaallah akan mendapatkan hasil yang terbaik pula.

Memulai dengan penuh keyakinan, Menjalankan dengan penuh keikhlasan dan Menyelesaikan dengan penuh Kebahagiaan.

Ku persembahkan untuk :

- **Kedua orang tuaku Tercinta, adik – adik tersayang, Uwak, Tante, Oom, Adi dan keluarga besar yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepadaku.**
- **Teman-teman seperjuangan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya angkatan 2017 yang tidak akan kulupakan**
 - **Almamaterku Universitas Sriwijaya**

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah. Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul **“Implementasi Algoritma Akustik *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS) pada *Intelligent Voice Assistant*”**.

Penulis berharap dari penulisan laporan tugas akhir ini dapat memberikan referensi bagi para pembaca dan memberikan pengetahuan yang berguna pada bidang yang akan dikerjakan.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang membantu berupa bimbingan, saran, dukungan dan doa dari awal dan akhir pembuatan tugas akhir. Karena itu penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
2. Rasulullah Muhammad Sholallahu ‘Alahi Wasallam yang telah mengajarkan islam kepada ummat manusia.
3. Kedua orang tua saya Firdaus dan Reni Fitriani beserta kedua adik saya M Daniel Fratama dan Apriliansyah Dwi Putra dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi, bantuan dan semangat.
4. Bapak Jaidan Jauhari, M.T. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Dr. Ir. H. Sukemi, M.T. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Dr. Ir. Bambang Tutuko, M.T. selaku Pembimbing Akademik di Jurusan Sistem Komputer.
7. Bapak Huda Ubaya, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir Penulis yang selalu membimbing, memotivasi dan mengarahkan saya.

8. Titing, Tita, Dudit, Om jo, Om elfan dan seluruh keluarga besar yang selalu sedia mendukung, membimbing penulis selama penulis melewati masa perkuliahan di Fakultas Ilmu Komputer
9. Sumarno HadiPutra selaku teman pendamping yang selalu menemani.
10. Teman-teman seperjuangan di Lab perangkat keras komputer & teknologi komponen yaitu Hadi, Vanisa, Ika, Nanda, Safiq ryadhi, dan Syafiq Prayuda yang selalu memberikan semangat.
11. Teman-teman saya di Jurusan Sistem Komputer yaitu Abdi, Ryan, Tiara, Fidyaa, Taufiq, Agung, Nawawi, Barzan, Tata, Rizky, Hafidz dan Arie Fatwa yang telah banyak memberikan bantuan dan semangat.
12. Terima kasih kepada teman-teman Sistem Komputer angkatan 2017 yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar lebih baik lagi dikemudian hari.

Akhir kata dengan segala keterbatasan, penulis berharap semoga laporan ini menghasilkan sesuatu yang bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi mahasiswa Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya secara langsung ataupun tidak langsung sebagai sumbangan pikiran dalam peningkatan mutu pembelajaran.

Palembang, 2021
Penulis

Implementasi Algoritma Akustik Dengan Metode *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS) pada *Intelligent Voice Assistant*

Virani Putri Perdana (09011381722138)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas
Sriwijaya

Email : viraniputri2@gmail.com

ABSTRAK

Manusia dan mesin memiliki beberapa cara dalam berinteraksi diantaranya melalui Bahasa tubuh, kontak mata dan juga bicara. Interaksi yang paling sering digunakan manusia adalah dengan berbicara, salah satu interaksi manusia berbicara adalah melalui pemahaman mesin oleh mesin dari Bahasa yang disampaikan manusia, cara mesin berkomunikasi dengan manusia yakni melalui *Intelligent Voice Assistant*. Ada beberapa aplikasi yang telah membantu interaksi mesin melalui suara menggunakan *Intelligent Voice Assistant*, namun pastinya akan ada gangguan pada kualitas suara yang disampaikan, diantara terdapat *noise* dan gema yang mengganggu. Terdapat metode yang digunakan untuk membantu pengelolaan sinyal suara agar tidak terjadi *noise* dan gema, yakni *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS), pada penelitian ini AEC dapat berfungsi dengan baik untuk meredam gema yang ada pada sinyal suara sehingga menghasilkan nilai ERLE yang sudah cukup baik dan NS dapat menekan *noise* pada sinyal suara sehingga menghasilkan nilai SNR yang bagus.

Kata kunci : *Acoustic Echo Cancellation*, *Noise Suppression*, *Intelligent Voice Assistant*

Algorithm Implementation of Acoustic Acoustic Echo Cancellation (AEC) and Noise Suppression (NS) on Intelligent Voice Assistant

Virani Putri Perdana (09011381722138)

Departement of Computer Engineering, Faculty of Computer Science,
Universitas Sriwijaya
Email : viraniputri2@gmail.com

ABSTRACT

Humans and machines have several ways of interacting including through body language, eye contact and also talk. The interaction that is most often used by humans is by speaking, one of the interactions of humans speaking is through machine understanding by machines from the language conveyed by humans, the way machines communicate with humans, namely through Intelligent Voice Assistant. There are several applications that have helped machine interaction through voice using the Intelligent Voice Assistant, but of course there will be interference with the quality of the voice delivered, including annoying noise and echo. There are methods used to help manage voice signals so that noise and echoes don't occur, namely Acoustic Echo Cancellation (AEC) and Noise Suppression (NS), in this study AEC can function properly to reduce echoes in the sound signal so as to produce an ERLE value. which is quite good and NS can suppress noise in the voice signal so as to produce a good SNR value.

Keyword : Acoustic Echo Cancellation, Noise Suppression, Intelligent Voice Assistant

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA	
2.1 Suara.....	5
2.2 Sinyal Analog dan Sinyal Digital.....	7
2.3 Sinyal Suara (Audio).....	8
2.4 <i>Noise</i>	8
2.4.1 <i>Intermodulasi Noise</i>	9
2.4.2 <i>Crosstalk</i>	9
2.4.3 <i>Thermal Noise</i>	10
2.4.4 <i>Impulse Noise</i>	10
2.5 <i>Echo</i> (Gema)	11
2.6 Filter Adaptif.....	11

2.7	<i>Intelligent Voice Assistant</i>	13
2.8	Algoritma Akustik.....	13
2.8.1	<i>Acoustic Echo Cancellation (AEC)</i>	13
2.8.1.1	<i>Doubletalk Detector</i>	15
2.8.1.2	Adaptif Filter.....	15
2.8.1.3	<i>Nonlinear Processor</i>	16
2.8.1.4	<i>Least Mean Square (LMS)</i>	17
2.8.2	<i>Noise Suppression (NS)</i>	18
2.8.2.1	Kalman Filter.....	19
2.9	Parameter Penelitian.....	19
2.9.1	<i>Sinyal to Noise Ratio (SNR)</i>	20
2.9.2	<i>Echo Return Loss Enhancement (ERLE)</i>	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Pendahuluan.....	21
3.2	Kerangka Kerja Penelitian.....	21
3.3	Masukan Sistem.....	23
3.4	Instalasi & Konfigurasi Sistem.....	23
3.5	Inputan Dataset Suara.....	23
3.6	<i>Preprocessing</i>	25
3.7	Pengolahan Data Suara.....	25
3.8	<i>Acoustic Echo Cancellation (AEC)</i>	25
3.9	<i>Noise Suppression</i>	26
3.10	Realtime Testing.....	27

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Pendahuluan.....	29
4.2	<i>Pre-Processing</i>	29
4.3	Pengolahan Data Suara.....	31
4.4	Implementasi Pada <i>Acoustic Echo Cancellation (AEC)</i>	34
4.5	Implementasi Pada <i>Noise Suppression (NS)</i>	37
4.6	Realtime Testing.....	39
4.6.1	Implementasi Dengan AEC dan NS.....	43
4.7	Hasil dan Analisa Pengujian.....	46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	KESIMPULAN.....	48
5.2	SARAN.....	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sinyal Analog dan Sinyal Digital	7
Gambar 2.2 (a) Sinyal Bernoise (b) Sinyal Asli	9
Gambar 2.3 Blok diagram filter adaptif	12
Gambar 2.4 Blok diagram <i>Acoustic Echo Cancellation</i>	14
Gambar 2.5 Komponen <i>Echo Cancellation</i>	15
Gambar 2.6 Sistem Kerja komponen <i>Acoustic Echo Cancellation</i>	16
Gambar 3.1 Flowchart Kerangka Kerja Penelitian	22
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem AEC	26
Gambar 3.3 Diagram Alir Sistem NS	27
Gambar 3.4 Diagram Proses Realtime	28
Gambar 4.1 Persiapan dataset suara “ <i>Follow</i> ”	30
Gambar 4.2 Jumlah data suara “ <i>Follow</i> ”	30
Gambar 4.3 Data suara asli yang sudah mengandung gema	31
Gambar 4.4 Data suara <i>noise</i>	31
Gambar 4.5 Sinyal Suara 1	32
Gambar 4.6 Sinyal Suara 2	32
Gambar 4.7 Sinyal suara 3	33
Gambar 4.8 Sinyal <i>noise</i> yang digunakan	33
Gambar 4.9 Hasil sinyal 1 setelah di proses dengan AEC	35
Gambar 4.10 Hasil sinyal 2 setelah di proses dengan AEC	35
Gambar 4.11 Hasil sinyal 3 setelah di proses dengan AEC	36
Gambar 4.12 Hasil sinyal 1 setelah proses NS	37
Gambar 4.13 Hasil sinyal 2 setelah proses NS	37
Gambar 4.14 Hasil sinyal 3 setelah proses NS	38
Gambar 4.15 data record	40
Gambar 4.16 Sinyal suara record 1	40
Gambar 4.17 Sinyal suara record 2	41
Gambar 4.18 Sinyal suara record 3	41
Gambar 4.19 Sinyal suara record 4	42
Gambar 4.20 Sinyal suara record 5	42

Gambar 4.21 Hasil dari suara record 1 diproses dengan AEC dan NS	43
Gambar 4.22 Hasil dari suara record 2 diproses dengan AEC dan NS	44
Gambar 4.23 Hasil dari suara record 3 diproses dengan AEC dan NS	44
Gambar 4.24 Hasil dari suara record 4 diproses dengan AEC dan NS	45
Gambar 4.25 Hasil dari suara record 5 diproses dengan AEC dan NS	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jangkauan frekuensi tiap tipe suara.....	6
Tabel 3.1 Jumlah Kata Yang Ada Pada Dataset.....	23
Tabel 4.1 Nilai SNR input dan ERLE	34
Tabel 4.2 Hasil Setelah diproses dengan AEC.....	36
Tabel 4.3 Hasil setelah di proses dengan NS	38
Tabel 4.4 Perbandingan nilai ERLE dan SNR sebelum dan setelah di proses AEC dan NS.....	39
Tabel 4.5 Perbandingan nilai ERLE dan SNR pada data realtime sebelum dan setelah di proses dengan AEC dan NS	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Mahasiswa

Lampiran 2. Form Revisi Pembimbing

Lampiran 3. Form Revisi Penguji

Lampiran 4. Hasil Cek Plagiat

Lampiran 5. USEPT

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia dan mesin memiliki beberapa cara dalam berinteraksi diantaranya melalui bahasa tubuh, kontak mata dan juga bicara. Interaksi yang paling sering digunakan manusia adalah dengan berbicara, ada beberapa aset kompleks yang dimiliki manusia dalam berbicara diantaranya pendengaran, suara serta otak sebagai pemroses informasi[1]. Salah satu interaksi manusia berbicara adalah dengan melalui pemahaman mesin oleh mesin dari bahasa yang di sampaikan oleh manusia, sehingga mesin belajar untuk berkomunikasi dengan manusia melalui suara[2]. Salah satu cara mesin berkomunikasi dengan manusia yaitu melalui teknologi *Intelligent Voice Assistant*(IVA)[3].

IVA merupakan teknologi yang menggunakan suara untuk melakukan perintah[3]. Dalam penggunaannya IVA memiliki aspek penting yaitu adanya *Keyword Spotting* (KWS). KWS merupakan pengenalan ucapan yang berurusan dengan deteksi sejumlah kata (kata kunci) terbatas dalam ucapan, yang nantinya akan di input ke audio mikrofon atau file yang berkelanjutan[4]. Ada beberapa aplikasi yang telah membantu interaksi mesin untuk dapat berkomunikasi melalui suara dengan menggunakan IVA, aplikasi tersebut diantaranya *siri* pada *apple*, dan *alice* yang di produksi *yandex* digunakan pada smarthphone[3][5][6].

Namun dalam penggunaan aplikasi nanti pastinya akan ada gangguan pada kualitas suara yang disampaikan. Penyebab terganggunya kualitas suara dapat disebabkan oleh banyaknya variasi bahasa dalam penyampaian, sehingga penerjemahan makna dari sinyal suara menjadi kompleks, gangguan tersebut akan mengakibatkan terjadinya *noise* pada suara. Selain itu juga akan ada gema yang mengganggu kualitas suara, yang di sebabkan oleh adanya suara yang berasal dari speaker masuk ke mikrofon, dan menyebabkan sinyal informasi yang akan diterima atau di deteksi ketujuan bercampur[2][7]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka di perlukan suatu metode. Terdapat beberapa metode yang pernah digunakan untuk membantu pengelolaan sinyal suara agar tidak terjadi *noise* dan gema pada sinyal suara yaitu metode *Hidden Markov Model* (HMM), *Multi Layer Perceptron* (MLP).

Namun dari beberapa metode tersebut masih terdapat beberapa kelemahan, karena jumlah data suara yang belum sesuai antara kondisi data training dan data testing sehingga proses untuk mengenali sinyal suara yang di dapat memiliki jumlah data yang banyak. Untuk mendapatkan sinyal suara yang baik kita akan menggunakan metode lain yaitu *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS)[2][8]. AEC dan NS memiliki fungsi yang hampir sama yaitu untuk menekan gema dan meredam suara *noise* yang terjadi pada sisi sumber itu sehingga didapatkan sinyal suara yang dapat menyampaikan informasi yang akan di dengar sudah tidak mengandung gema dan *noise*[2][7][8]. Sehingga kedua metode tersebut nantinya akan di gunakan dalam implementasi *Intelligent Voice Assistant* dan mendapatkan hasil output yaitu file suara yang sudah baik.

1.2 Perumusan Masalah

Dari penjelasan yang telah disampaikan pada latar belakang di atas, maka dapat di tarik rumusan masalah sebagai berikut :

Bagaimana pengimplementasian algoritma akustik dengan menggunakan metode *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS) untuk *Intelligent Voice Assistant*?

1.3 Batasan Masalah

Berikut dijelaskan beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam laporan ini :

1. Metode yang akan digunakan adalah *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS).
2. Hanya mengimplementasikan algoritma untuk menghapus dan menekan gema atau *noise* sehingga menghasilkan file suara yang baik.
3. Format file suara yang digunakan berbentuk wav
4. Dataset yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari Tensorflow dataset yakni *Speechcomandsv2 2018*[9].

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dibuatnya penelitian ini yaitu :

1. Meredam gema yang ada pada sinyal suara dengan menggunakan *Acoustic Echo Cancellation* (AEC)
2. Menekan noise yang ada pada sinyal suara dengan menggunakan *Noise Suppression* (NS)

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dibuatnya penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan hasil sinyal suara yang sudah cukup baik tanpa gema dan *noise*
2. Menganalisa hasil kinerja dari sistem algoritma *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) dan *Noise Suppression* (NS)

1.6 Metodologi Penelitian

Berikut merupakan metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini :

a. Tahap pertama (Perumusan Masalah)

Tahap ini merupakan penentuan dari pokok permasalahan mengenai pengimplementasian algoritma akustik pada *Intelligent Voice Assistant* .

b. Tahap kedua (Study pustaka/literatur)

Tahap ini dilakukan dengan cara mencari referensi yang didapatkan dari jurnal dan buku yang ada kaitan dengan penelitian yang dilakukan sehingga dapat menunjang laporan tugas akhir.

c. Tahap ketiga (Perancangan)

Tahap ini berisi rancangan proses dilakukannya penelitian berdasarkan rumusan masalah dan literature yang digunakan .

d. Tahap keempat (Pengujian)

Tahap ini dilakukan pengujian untuk kinerja sistem yang sudah dibuat untuk meredam gema dan menekan *noise* sehingga menghasilkan sinyal suara yang sudah baik.

e. Tahap kelima (analisis dan kesimpulan)

Tahap ini merupakan hasil dan pengambilan data dan menganalisa data berdasarkan algoritma akustik yang telah dibuat sehingga mendapatkan hasil sinyal suara yang baik . serta dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini akan melewati beberapa tahapan sebagai berikut :

BAB 1 . PENDAHULUAN

Pada bab pertama ini berisikan penjabaran sistematik topik yang diambil meliputi latar belakang, perumusan dan batasan masalah, tujuan, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab kedua ini akan menjelaskan dasar teori yang bertujuan untuk menunjang pembahasan dari penelitian ini meliputi dasar teori dari suara, sinyal analog dan sinyal digital, sinyal suara, noise, gema, adaptif filter, *Intelligent Voice Assistant (IVA)*, *Acoustic Echo Cancellation (AEC)*, dan *Noise Suppression (NS)*.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ketiga ini akan menjelaskan bagaimana penelitian ini berjalan mulai dari persiapan sistem, persiapan data, pre-processing, pengolahan sinyal suara, masuk ke algoritma AEC dan NS serta validasi hasil sinyal suara.

BAB IV. HASIL DAN ANALIS

Pada bab keempat ini berisi tentang hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V. KESIMPULAN

Pada bab kelima ini berisi tentang kesimpulan yang di tarik berdasarkan analisa terhadap penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. T. Putra, "Sistem Pengenal Wicara Menggunakan Mel-Frequency Cepstral Coefficient," *Semesta Tek.*, vol. 20, no. 1, pp. 75–80, 2017.
- [2] E. Hänsler, "Acoustic echo cancellation," *Wiley Encycl. Telecommun.*, pp. 1-7, 2003.
- [3] Polyakov, E. V., et al. "Investigation and development of the intelligent voice assistant for the Internet of Things using machine learning." *2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*. IEEE, 2018.
- [4] Luboš, Šmídl, and Trmal Jan. "Keyword spotting result post-processing to reduce false alarms." *Recent Advances in Signals and Systems 9*, pp. 49-52, 2009.
- [5] J. Ghofrani and D. Reichelt, "Using Voice Assistants as HMI for Robots in Smart Production Systems," in *CEUR Workshop Proc*, vol. 2339, pp. 62–65, 2019.
- [6] M. Assefi, G. Liu, M. P. Wittie, and C. Izurieta, "An experimental evaluation of apple siri and google speech recognition," *Proceedings 2015 ISCA SEDE*, vol. 118, pp. 133- 139, 2015.
- [7] Raghavendran, Srinivasaprasath. "Implementation of an acoustic echo canceller using matlab." (2003).
- [8] Fujimoto, Masakiyo, Kentaro Ishizuka, and Tomohiro Nakatani. "Study of integration of statistical model-based voice activity detection and noise suppression." *Ninth Annual Conference of the International Speech Communication Association*. 2008.
- [9] Warden, Pete. "Speech commands: A dataset for limited-vocabulary speech recognition." *arXiv preprint arXiv:1804.03209* ,2018.
- [10] D. Putra and A. Resmawan, "Verifikasi biometrika suara menggunakan

metode MFCC dan DTW,” *Lontar Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–21, 2011.

- [11] H. Sujadi, I. Sopiandi, and A. Mutaqin, “Sistem Pengolahan Suara Menggunakan Algoritma FFT (Fast Fourier Transform),” *Sintak*, pp. 101–107, 2017.
- [12] J. Adler, M. Azhar, and S. Supatmi, “Identifikasi Suara dengan MATLAB sebagai Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Speech Recognition in MATLAB as Artificial Neural Network Application,” vol. 1, pp. 16–23, 2013.
- [13] N. Izzah, “Klastering Suara Berdasarkan Gender Menggunakan Algoritma K-Means Dari Hasil Ekstraksi FFT (Fast Fourier Transform),” *J. Ilm. Soulmath J. Edukasi Pendidik. Mat.*, vol. 6, no.1, pp. 47–58, 2018.
- [14] B. Adam, R. Magdalena, and I. N. A. Ramatryana, “Perancangan Dan Simulasi Pemisahan Refl Lagu Dengan Metode Discrete Cosine Transform (dct),” *eProceedings Eng.*, vol. 5.1, 2018.
- [15] Y. H. Putra, J. Adler, and G. Gunawan, “Aplikasi filter finite impulse response (FIR) untuk menghilangkan noise pada suara manusia menggunakan graphical user interface (GUI) pemrograman matlab,” *Tek. Komputer. Unikom, Bandung*, 2011.
- [16] Sumardi, Syahid. "Simulasi Penekanan Derau dengan Metode Finite Impulse Response (FIR) secara Adaptif Menggunakan Algoritma Least Mean Square (LMS)." *Rekayasa Aplikasi dan Perancangan Industri* , pp. 381-388, 2004.
- [17] E. H. Krishna, M. Raghuram, K. V. Madhav, and K. A. Reddy, “Acoustic echo cancellation using a computationally efficient transform domain LMS adaptive filter,” in *10th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA 2010)*, pp. 409–412, 2010.
- [18] Kurniati, Florentina Tatrini, and Valentinus Ronny A. Febriyanto. "Pemodelan Filter Adaptif Untuk Perbaikan Kualitas Sinyal Audio Multi

Wicara." *Jurnal Sistem dan Informatika (JSI)* 9.1, pp. 1-9 , 2014.

- [19] S. A. D. Prasetyowati, E. N. B. Susila, and others, "Simulasi Sistem Penghapus Bising Kendaraan Dengan Least Mean Square Adaptif Menggunakan Program Matlab," *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 10, no. 1, 2017.
- [20] A. Bayhaki, W. Wahyudi, and A. Hidayatno, "Penekanan Derau secara Adaptif pada Pengenalan Ucapan Kata," Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, 2011.
- [21] G. López, L. Quesada, and L. A. Guerrero, "Alexa vs. Siri vs. Cortana vs. Google Assistant: a comparison of speech-based natural user interfaces," in *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2017, pp. 241–250.
- [22] S. F. Boll, "Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction," *IEEE Trans. Acoust.*, vol. 27, no. 2, pp. 113–120, 1979, doi: 10.1109/TASSP.1979.1163209.
- [23] J. Tchorz, M. Kleinschmidt, and B. Kollmeier, "Noise suppression based on neurophysiologically-motivated SNR estimation for robust speech recognition," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 821–830, 2001.
- [24] N. Murugendrappa, A. G. Ananth, and K. M. Mohanesh, "Adaptive noise cancellation using kalman filter for non-stationary signals," in *Iop conference series: Materials science and engineering*, 2020, vol. 925, no. 1,
- [25] M. A. R. Wicaksono, F. Kurniawan, and L. Lasmadi, "Kalman Filter untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak," *Aviat. Electron. Inf. Technol. Telecommun. Electr. Control.*, vol. 2, no. 2, pp. 145–160, 2020.
- [26] S. Chilakapati, J. Mamidala, and V. M. Manda, "Acoustic Echo Cancellation using Normalised Least Mean Square (NLMS) Adaptive