

**IMPLEMENTASI MODEL DETEKSI WAKE WORD
UNTUK INTELLIGENT VOICE ASSISTANT
MENGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL
RECURRENT NEURAL NETWORK**

TUGAS AKHIR

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



OLEH:

IKA ELVINA MULYANA

09011381722110

JURUSAN SISTEM KOMPUTER

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

TAHUN 2021

HALAMAN PENGESAHAN

IMPLEMENTASI MODEL DETEKSI *WAKE WORD* UNTUK *INTELLIGENT VOICE ASSISTANT* MENGGUNAKAN METODE *CONVOLUTIONAL RECURRENT NEURAL NETWORK*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

Oleh:

IKA ELVINA MULYANA

09011381722110

Palembang,

Desember 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer

Pembimbing Tugas Akhir


Dr. Ir. H. Sukemi, M.T

NIP. 196612031506041001


Huda Ubaya, M.T

NIP. 198106162012121003

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada:

Hari : Senin

Tanggal : 22 November 2021

Tim Penguji:

1. Ketua Sidang : Firdaus, M.Kom

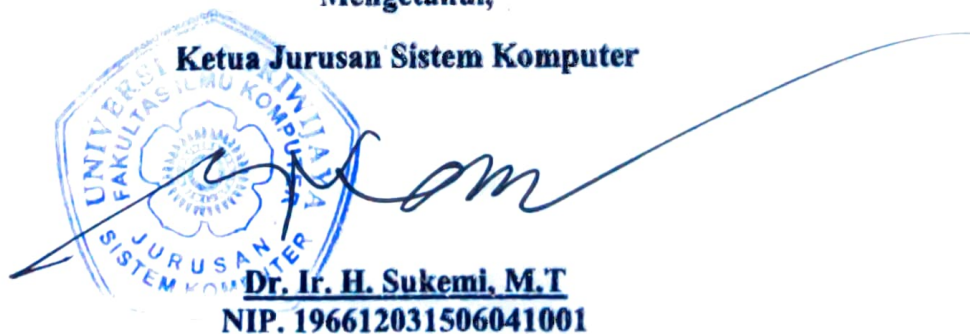
2. Sekretaris Sidang : Muhammad Ali Buchari M.T

3. Penguji Sidang : Dr. Ir. H. Sukemi, M.T

4. Pembimbing : Huda Ubaya, M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T
NIP. 196612031506041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ika Elvina Mulyana
NIM : 09011381722110
Program Studi : Sistem Komputer
Judul : Implementasi Model Deteksi *Wake Word* untuk *Intelligent Voice Assistant* Menggunakan Metode *Convolutional Recurrent Neural Network*

Hasil pengecekan *software iThenticate/Turnitin* : 7%

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, Desember 2021



Ika Elvina Mulyana
09011381722110

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

Mungkin Tuhan hanya ingin melihat seberapa keras kamu berjuang dan seberapa besar sabarmu dalam menghadapinya. Jadikanlah setiap sukamu adalah syukur dan setiap dukamu adalah sabar.

Last but not least, I wanna thank me.

I wanna thank me for believing in me.

I wanna thank me for doing all this hard work.

I wanna thank me for tryna do more right than wrong.

Ku persembahkan untuk:

- ❖ **Mama, Ayah, Adik-adikku, dan keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan memberikan semangat kepadaku.**
- ❖ **Teman-teman jurusan Sistem Komputer Angkatan 2017 yang selalu menjadi bagian dari kenangan dan tidak akan terlupakan**
 - ❖ **Almamaterku Universitas Sriwijaya**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberi rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Implementasi Model Deteksi Wake Word untuk Intelligent Voice Assistant menggunakan Metode Convolutional Recurrent Neural Network**”. Tujuan penulisan laporan ini adalah untuk memenuhi salah satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Komputer pada bidang studi Sistem Komputer di Universitas Sriwijaya.

Selama proses penulisan dan penyelesaian laporan ini, penulis banyak memperoleh dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan hidayah dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua Penulis Mulyadi dan Nurlela serta keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan dan motivasi.
3. Bapak Jaidan Jauhari, M.T. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T selaku Pembimbing Akademik
6. Bapak Huda Ubaya selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberi bantuan, bimbingan, serta arahan selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan Vannisa, Vira, Fidya, Tiara, Nanda, Abdi, Taufiq, Nawawi, dan Hadi yang selalu memberi semangat dan dukungan.
8. Rafi Banar Adi S.Tr.T terimakasih karena telah membantu penulis sampai ketitik ini dan selalu memberi dukungan moril maupun materiil.
9. Seluruh teman-teman di sistem Komputer angkatan 2017 yang tidak bisa di sebutkan satu persatu.
10. Semua pihak terkait yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk perbaikan laporan ini.

Akhir kata, dengan segala kekurangan pada laporan ini penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini ini dapat bermanfaat bagi semua terkhusus untuk mahasiswa Fakultas Ilmu Komputer sebagai referensi dan pembelajaran.

Palembang, Desember 2021

Penulis,



Ika Elvina Mulyana

09011381722110

ABSTRACT

Implementation of Wake Word Detection Model for Intelligent Voice Assistant using Convolutional Recurrent Neural Network

Ika Elvina Mulyana (09011381722110)

*Departement of Computer Engineering, Faculty of Computer Science,
Sriwijaya University*

Email: ikaelvinamulyana@gmail.com

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is a system that regulates human-machine interaction, especially through voice. Intelligent Voice Assistant (IVA) technology is a technology that uses voice to perform commands. There is an important aspect in IVA, namely Wake Word (WW) detection. WW is speech recognition found by word number identification (keyword). Wake Word used is the word "active". The Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) method is a combination of two neural networks involving CNN followed by RNN, by connecting the two CRNN networks to produce good and quite optimal results, especially for audio signals. CRNN has the advantage that in the convolutional layer there is an efficient feature extraction followed by a repeating layer that can extract information from the sequence of features generated by the convolutional layer. With the CRNN model, the results obtained for detecting the "active" sound in this study were an accuracy of 99.37%.

Keyword: Artificial Intelligent, Wake Word, Intelligent Voice Assistant, Convolutional Recurrent Neural Network

ABSTRAK

Implementasi Model Deteksi *Wake Word* untuk *Intelligent Voice Assistant* menggunakan Metode *Convolutional Recurrent Neural Network*

Ika Elvina Mulyana (09011381722110)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: ikaelvinamulyana@gmail.com

ABSTRAK

Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan adalah sistem yang mampu mengatur interaksi manusia dan mesin terutama dapat dilakukan melalui suara. Teknologi *Intelligent Voice Assistant* (IVA) adalah teknologi menggunakan suara untuk melakukan perintah. Terdapat aspek penting dalam IVA yaitu deteksi *Wake Word* (WW). WW adalah khusus pengenalan ucapan yang berurusan dengan deteksi sejumlah kata (kata kunci). *Wake Word* yang digunakan adalah kata “*active*”. Metode *Convolutional Recurrent Neural Network* (CRNN) adalah kombinasi dari dua jaringan saraf yakni melibatkan CNN diikuti oleh RNN, dengan menghubungkan keduanya jaringan CRNN menghasilkan hasil yang baik dan cukup optimal terutama terhadap pemrosesan sinyal *audio*. CRNN memiliki keunggulan pada lapisan *convolutional* yang terdapat fitur ekstraksi secara efisien kemudian diikuti *recurrent layer* dapat mengekstrak informasi dari *feature sequence* yang dihasilkan oleh *convolutional layer* dengan demikian CRNN dapat digunakan untuk meminimalisir kekurangan dan tidak terjadi kendala pada proses pengolahan suara. Dengan model CRNN hasil yang diperoleh untuk terdeteksinya suara “*active*” pada penelitian ini adalah akurasi sebesar 99,37%.

Kata kunci: *Artificial Intelligent, Wake Word, Intelligent voice Assistant, Convolutional Recurrent Neural Network.*

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|------------------------------------|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| ABSTRACTION | viii |
| ABSTRAK | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |

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 TINJAUAN PUSTAKA

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Suara | 6 |
| 2.2 | <i>Intelligent Voice Assistant</i> | 7 |
| 2.3 | <i>Wake word</i> | 7 |
| 2.4 | <i>Neural Network</i> | 8 |
| 2.5 | <i>Convolutional Recurrent Neural Network</i> | 9 |
| 2.6 | <i>Convolutional Neural Network</i> | 10 |
| 2.7 | <i>Recurrent Neural Network</i> | 11 |
| | 2.7.1 <i>Long Short-Term Memory (LSTM) Unit</i> | 14 |
| | 2.7.2 <i>Gated Recurrent Unit (GRU)</i> | 15 |
| 2.8 | Tranformasi <i>Fourier</i> | 16 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 2.9 | <i>Confusion Matrix</i> | 18 |
| 2.9.1 | <i>Accuracy</i> (Akurasi) | 19 |
| 2.9.2 | <i>F1-Score</i> | 19 |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Pendahuluan | 20 |
| 3.2 | Kerangka Kerja..... | 20 |
| 3.3 | <i>Input dataset</i> Suara..... | 21 |
| 3.4 | <i>Pre-processing</i> | 22 |
| 3.5 | <i>Data Training</i> dan <i>Data Testing</i> | 23 |
| 3.6 | Model <i>Convolutional Recurrent Neural Network</i> | 23 |
| 3.7 | Proses <i>Tuning</i> | 25 |
| 3.8 | Model Deteksi <i>Wake word</i> | 27 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Pendahuluan | 29 |
| 4.2 | Pre-Processing | 29 |
| | 4.2.1 Komputasi suara ke <i>spectrogram</i> | 32 |
| | 4.2.2 Proses Sintesis Suara dan Hasil Suara Disintesis | 33 |
| 4.3 | Hasil Klasifikasi | 34 |
| | 4.3.1 Hasil Validasi | 34 |
| 4.4 | Analisis Hasil Validasi | 37 |
| 4.5 | Hasil dan Analisis Prediksi suara berdasarkan <i>Wake word</i> “ <i>Active</i> ” | 37 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|-----|-----------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan..... | 42 |
| 5.2 | Saran..... | 42 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Unsur pembentukan suara..... | 6 |
| Gambar 2.2 Model <i>Neural Network</i> [10]..... | 9 |
| Gambar 2.3 Arsitektur <i>Convolutional Recurrent Neural Network</i> untuk WW [5] | 10 |
| Gambar 2.4 Contoh <i>Convolutional Neural Network</i> . [12] | 11 |
| Gambar 2.5 Arsitektur <i>Loop Recurrent Neural Network</i> . [13]..... | 12 |
| Gambar 2.6 Ilustrasi dari | 14 |
| Gambar 2.7 Contoh dari <i>wideband spectrogram</i> | 17 |
| Gambar 2.8 Contoh dari <i>narrowband spectrogram</i> | 17 |
| Gambar 2.9 Jumlah frekuensi yang ada disetiap waktu pada <i>spectrogram</i> | 18 |
| Gambar 3.1 Alur Kerangka Kerja..... | 21 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir CRNN | 24 |
| Gambar 3.3 Alur kinerja <i>tuning</i> | 26 |
| Gambar 3.4 Alur model deteksi <i>wake word</i> | 28 |
| Gambar 4.1 <i>Dataset</i> suara <i>active</i> | 29 |
| Gambar 4.2 Tampilan jumlah <i>size</i> data suara <i>active</i> | 30 |
| Gambar 4.3 <i>Dataset</i> suara selain “ <i>active</i> ” | 30 |
| Gambar 4.4 Tampilan jumlah <i>size</i> data suara selain “ <i>active</i> ” | 31 |
| Gambar 4.5 Jumlah <i>dataset</i> suara <i>background</i> | 31 |
| Gambar 4.6 Tampilan jumlah <i>size dataset</i> suara <i>background</i> | 32 |
| Gambar 4.7 <i>Spectrogram</i> dari <i>audio background noise</i> dari suara <i>rain</i> | 32 |
| Gambar 4.8 <i>Spectrogram output</i> dari suara yang disintesis | 33 |
| Gambar 4.9 Grafik akurasi pada proses <i>training</i> dan <i>testing</i> hasil validasi | 36 |
| Gambar 4.10 Grafik <i>loss</i> pada proses <i>training</i> dan <i>testing</i> hasil validasi..... | 36 |
| Gambar 4.11 <i>Spektogram</i> suara1, suara2, suara3, suara4 dan suara5 | 39 |
| Gambar 4.12 Hasil deteksi <i>wake word</i> suara1, suara2, suara3..... | 39 |
| Gambar 4.13 <i>Spektogram</i> suara6, suara7, suara8, suara9 dan suara10 | 40 |
| Gambar 4.14 Hasil deteksi <i>wake word</i> suara7, suara9, suara10..... | 40 |
| Gambar 4.15 <i>Spektogram</i> suara11 | 41 |
| Gambar 4.16 Hasil deteksi <i>wake word</i> suara11..... | 41 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Jumlah Kata pada <i>Dataset</i> [14] | 22 |
| Tabel 3.2 Parameter umum pada model CRNN | 25 |
| Tabel 4.1 Tabel nilai performa hasil validasi | 35 |
| Tabel 4.2 Tabel hasil deteksi <i>wake word</i> “ <i>active</i> ” | 38 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Mahasiswa

Lampiran 2. Hasil pengecekan plagiat

Lampiran 3. USEPT

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan adalah sistem yang mampu mengatur interaksi manusia dan mesin melalui suara, komunikasi, gerakan, wajah dan ekspresi. Salah satunya adalah interaksi berdasarkan suara dengan pemahaman mesin dalam mengerti bahasa manusia. Mesin berkomunikasi dengan seorang manusia dengan mengeksplorasi tindakannya, kebiasaannya, perilakunya dan bisa menjadi asisten pribadi melalui suara [1]. Teknologi *Intellegent Voice Assistant* (IVA) adalah teknologi menggunakan suara untuk melakukan perintah. Terdapat aspek penting dalam IVA yaitu deteksi *Wake word* (WW). WW adalah khusus pengenalan ucapan yang berurusan dengan deteksi sejumlah kata (kata kunci) terbatas. Memungkinkan transisi antara berbagai kondisi komputasi berdasarkan *input* suara yang disediakan oleh pengguna. WW bertujuan untuk mendeteksi kata kunci tertentu dari *input audio microphone* atau file yang berkelanjutan karena *output* menentukan kondisi perangkat yang berbeda, deteksi yang sangat tinggi untuk tingkat kekeliruan atau *false alarm* (FA) yang sangat rendah sangat penting untuk memungkinkan hasil yang baik [2].

Pada umumnya terdapat gangguan dari *audio*, distorsi gema, dan suara yang dihasilkan oleh *speaker* perangkat di mana WW tertanam. Suara yang di input ke sistem sering terdapat *noise* atau kebisingan sehingga harus menggunakan algoritma dalam membantu pengelolaan suara tersebut. Algoritma yang membantu dalam pengelolaan suara adalah Algoritma *Voice Activity Detection* (VAD) yang mengacu pada masalah membedakan ucapan dari kebisingan dalam aliran *audio* dari *microfone* atau file [2][3]. Pada percobaan sebelumnya dilakukan Pendekatan tradisional untuk WW didasarkan pada *Hidden Markov Models* [4]. kemudian sistem WW berbasis *deep learning* yaitu *Convolutional Neural Network* (CNN) digunakan untuk WW. Namun CNN tidak dapat memodelkan konteks di seluruh *frame* tanpa *filter* dengan kehilangan *Cross-Entropy* (CE). Ada juga metode

Recurrent Neural Networks (RNN) dipelajari untuk WW dengan kehilangan *Connectionist Temporal Classification* (CTC), RNN hanya dilakukan pada fitur *input*, tanpa mempelajari struktur antara langkah waktu dan frekuensi berturut-turut[5].

Kemudian metode *Convolutional Recurrent Neural Network* (CRNN) adalah kombinasi dari dua jaringan saraf yakni melibatkan CNN diikuti oleh RNN, dengan menghubungkan keduanya jaringan CRNN menghasilkan hasil yang baik dan cukup optimal terutama terhadap pemrosesan sinyal *audio*. CRNN memiliki keunggulan pada lapisan *convolutional* yang terdapat fitur ekstraksi secara efisien kemudian diikuti *recurrent layer* dapat mengekstrak informasi dari *feature sequence* yang dihasilkan oleh *convolutional layer* dengan demikian CRNN dapat digunakan untuk meminimalisir kekurangan dan tidak terjadi kendala pada proses pengolahan suara[6].

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan dibagian latar belakang di atas, maka dapat ditarik sebuah rumusan masalah, yaitu

1. Bagaimana implementasi model *wake word* menggunakan metode *Convolutional Recurrent Neural Network*?
2. Bagaimana merancang model deteksi *wake word*?
3. Bagaimana Menganalisa hasil prediksi dari sistem deteksi *wake word*?

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak terjadi kesalahan persepsi dalam memahami kajian yang terdapat dalam laporan ini maka batasan masalah pada laporan ini adalah

1. Data set yang digunakan dari *Google Speech Command* dan *soundbible*
2. Kata yang digunakan berupa 1 kata
3. Hanya mendeteksi *wake word* tidak mendeteksi identitas suara laki-laki atau perempuan.

1.4 Tujuan

Adapun pada penelitian ini memiliki tujuan adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasi model *wake word* dari *file audio* berekstensi *.wav*.
2. Merancang model deteksi *wake word*.
3. Menganalisa hasil prediksi dari sistem deteksi *wake word*.

1.5 Manfaat

1. Mendapatkan hasil output suara yang telah di sintesis
2. Mendapatkan hasil prediksi *wake word* dari suara yang telah di sintesis
3. Dapat menganalisa hasil dari sistem deteksi *wake word*

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini akan melewati beberapa tahapan sebagai berikut:

a) Perumusan masalah

Tahap ini penentuan pokok permasalahan mengenai sistem deteksi *wake word* menggunakan metode CRNN

b) Literatur penulisan

Tahap ini mengenai pencarian referensi yang berkaitan dengan penelitian yang di bahas dan pencarian dataset yang akan digunakan.

c) Perancangan sistem

Tahap ini mengenai perancangan sistem sesuai dengan perumusan masalah sebelumnya.

d) Pengujian

Tahap ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan rancangan.

e) Analisis

Tahap ini merupakan hasil dari pengambilan data dan menganalisa berdasarkan penelitian deteksi *wake word* menggunakan metode CRNN.

f) Kesimpulan dan saran

Tahap ini berisi kesimpulan yang ditarik dari analisa dan literatur serta saran untuk penulis selanjutnya untuk referensi.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini akan melewati beberapa tahapan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada bab pertama ini berisi tentang penjabaran secara sistematis topik yang diambil meliputi latar belakang, perumusan dan batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab kedua ini menjelaskan dasar teori yang menunjang pembahasan dari penelitian ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Pada Bab ketiga ini menjelaskan bagaimana penelitian ini berjalan dari input suara, *pre-processing* pengolahan data suara, dan hasil dari *output* suara tersebut.

BAB IV Hasil dan Analisis

Pada bab keempat ini menjelaskan hasil dan analisa terhadap penelitian yang telah dilakukan dari proses *pre-processing* hingga *output*

BAB V Kesimpulan

Pada bab kelima ini menarik kesimpulan berdasarkan analisa terhadap penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. V Polyakov, M. S. Mazhanov, A. Y. Rolich, L. S. Voskov, M. V Kachalova, and S. V Polyakov, **“Investigation and development of the intelligent voice assistant for the Internet of Things using machine learning”** in *2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*, 2018, pp. 1–5.
- [2] Q. Song and H. Shen, **“Intelligent voice assistant.”** 2012.
- [3] T.Hughes, **“Recurrent neural networks for voice activity detection.”**
- [4] J. R. Rohlicek, W. Russell, S. Roukos, and H. Gish, **“Continuous hidden Markov modeling for speaker-independent word spotting,”** in *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1989, pp. 627–630.
- [5] S. O. Arik *et al.*, **“Convolutional recurrent neural networks for small-footprint keyword spotting”** *arXiv Prepr. arXiv1703.05390*, 2017.
- [6] H. Wu, **“Convolutional recurrent neural networks for hyperspectral data classification,”** 2017.
- [7] T. Nasution, **“Metoda Mel Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) untuk Mengenali Ucapan pada Bahasa Indonesia.”**
- [8] A. Patil, **“Intelligent Voice Assistant,”** 2020.
- [9] F.Ge, **“Deep neural network based wake-up-word speech recognition with two-stage detection.”**
- [10] E. Lopian, **“RECURRENT NEURAL NETWORK UNTUK PENGENALAN UCAPAN PADA DIALEK MANADO.”**
- [11] S. S.T, *Deep Learning Modernisasi Machine Learning untuk Big Data. .*
- [12] febe febrita, **“IMPLEMENTASI ALGORITMA CONVOLUTIONAL RECURRENT NEURAL NETWORK DALAM LATIN CHARACTER RECOGNITION.”**

- [13] Aryo Pradipta, “**Recurrent Neural Network (RNN) dan Gated Recurrent Unit (GRU).**”
- [14] Pete warden, “**Speech Commands: A Dataset for Limited-Vocabulary Speech Recognition.**”