

Alat Deteksi Suara Gergaji Mesin Sebagai Indikasi Awal Terjadinya Penebangan Menggunakan Metode *Convolutional Neural Network*

Ana Surya Ningrum¹, Adianto², Rini Indarti³, Edy Setiawan⁴, Afif Zuhri Arfianto⁵, Zindhu Maulana Ahmad Putra⁶

^{1,2,4,5}Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{3,6}Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{1,2,3,4,5,6}Jln. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail: anasurya@student.ppns.ac.id¹, adianto@ppns.ac.id², riniindarti@ppns.ac.id³, edy_setiawan@ppns.ac.id, afif@ppns.ac.id, zindhu@ppns.ac.id

Info Naskah:

Naskah masuk: 14 Mei 2024

Direvisi: 25 Juni 2024

Diterima: 11 Juli 2024

Abstrak

Kasus penebangan liar di Indonesia bukanlah masalah kecil, penebangan liar mengakibatkan kerusakan sumber daya hutan dalam hal jumlah, kualitas, dan ekosistem. Sudah banyak upaya yang telah ditempuh oleh pemerintah Indonesia, namun hal tersebut belum efektif dalam menangani permasalahan ini, karena keterbatasan pengawasan. Dari masalah tersebut, dirancang sistem pendeteksi suara gergaji mesin sebagai indikasi awal terjadinya aktivitas penebangan. Sistem ini dilengkapi dengan empat sensor suara MAX4466 dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network*. Pada sistem ini juga menggunakan pengolahan data sehingga suara gergaji mesin dapat dikenali oleh sistem secara spesifik dan dapat berkomunikasi jarak jauh dengan penggunaan LoRa RFM95. Dengan demikian, sistem dapat mengidentifikasi suara gergaji mesin dengan jarak maksimum 50 m, akurasi keberhasilan model CNN yang dibuat mencapai 97,5%, dan dapat diintegrasikan dengan *WhatsApp* secara *realtime*.

Keywords:

convolutional neural network;
data processing;
LoRa RFM95;
MAX4466 sound sensor;
sound classification.

Abstract

Illegal logging in Indonesia is no small problem, with illegal logging causing damage to forest resources in terms of quantity, quality and ecosystem. Many efforts have been taken by the Indonesian government, but it has not been effective in dealing with this problem, due to limited supervision. From this problem, a chainsaw sound detection system was designed as an early indication of logging activity. This system is equipped with four MAX4466 sound sensors using the Convolutional Neural Network method. This system also uses data processing so that the chainsaw sound can be recognized by the system specifically and can communicate remotely with the use of LoRa RFM95. Thus, the system can identify the sound of the chainsaw with a maximum distance of 50 m, the success accuracy of the CNN model created reaches 97.5%, and can be integrated with *WhatsApp* in realtime.

*Penulis korespondensi:

Ana Surya Ningrum

E-mail: anasurya@student.ppns.ac.id

1. Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki luas hutan terbesar di dunia, berdasarkan dari Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) hutan di Indonesia meliputi daratan seluas 125,76 hektar atau setara dengan 62,97% dari total luas daratan Indonesia[1]. Sehingga tidak heran Indonesia memiliki julukan sebagai paru – paru dunia karena Indonesia merupakan salah satu negara dengan pemasok oksigen terbesar di dunia[2]. Tidak hanya sebagai pemasok oksigen, terdapat banyak sekali manfaat hutan diantaranya hutan dapat berperan dalam pengendalian air, sebagai sumber kehidupan bagi ekosistem lain, menahan tanah longsor dan mencegah terjadinya erosi, serta sebagai kawasan resapan air dan penyedia sumber daya air[3]. Namun, saat ini luas hutan di Indonesia mulai terkikis karena adanya eksploitasi besar – besaran oleh manusia mulai dari pembangunan infrastruktur negara yang melibatkan lahan hutan hingga penebangan dalam skala besar untuk dijadikan kayu.

Pada kasus ini, akan difokuskan pada permasalahan penebangan yang terjadi di Indonesia. Kasus penebangan liar atau *illegal logging* bukan sebuah permasalahan baru di Indonesia, bahkan sudah sejak zaman orde lama kasus penebangan liar di Indonesia mulai marak[4]. Dan sudah berbagai cara yang ditempuh oleh pemerintah Indonesia untuk menanggulangi permasalahan tersebut, salah satunya membuat undang – undang mengenai pelestarian lingkungan hidup dan hukuman bagi pelaku *illegal logging*. Berdasarkan Pasal 1 Undang-Undang No. 41/1999, hutan lindung didefinisikan sebagai kawasan hutan yang memiliki tujuan utama untuk melindungi sistem penyangga kehidupan dengan mengatur tata air, mencegah banjir, mengontrol erosi, mencegah intrusi laut, dan menjaga kesuburan tanah [5]. Dampak yang disebabkan oleh penebangan yang terjadi secara terus menerus dalam jangka panjang tidak hanya akan dirasakan oleh masyarakat saja, namun dapat membawa dampak yang buruk secara global[6]. Perubahan iklim ekstrim global dapat terjadi akibat dari deforestasi yang dilakukan, mengingat Indonesia merupakan salah satu paru – paru dunia. Ekosistem didalamnya akan rusak, flora dan fauna langka dapat punah karena kegiatan deforestasi yang dilakukan oleh oknum yang tidak bertanggungjawab[7].

Berdasarkan dari permasalahan diatas, perlu adanya inovasi teknologi yang dapat membantu proses pemantauan wilayah hutan dari aktivitas penebangan. Salah satunya menggunakan sensor suara untuk mendeteksi tingkat kebisingan atau amplitudo dan frekuensi dari suara yang dihasilkan gergaji mesin. Peneliti telah menggunakan sensor suara untuk mengidentifikasi aktivitas penebangan [1] dan [7]. Penelitian yang dihasilkan oleh peneliti [1] dapat mengidentifikasi suara gergaji mesin, namun dalam penelitian tidak dijelaskan metode yang diterapkan pada sistem dan sensor mendeteksi amplitudo suara bukan frekuensi suara. Peneliti [7] dengan menggunakan sensor suara FC-04, yang memiliki sensitifitas yang rendah, dapat mengidentifikasi suara gergaji mesin. Selain itu, sistem hanya dapat bekerja di area yang memiliki jaringan internet, sehingga data dapat dikirim ke website pemantauan.

Penelitian ini melakukan pengembangan dari alat pendeteksi suara gergaji mesin menggunakan sensor

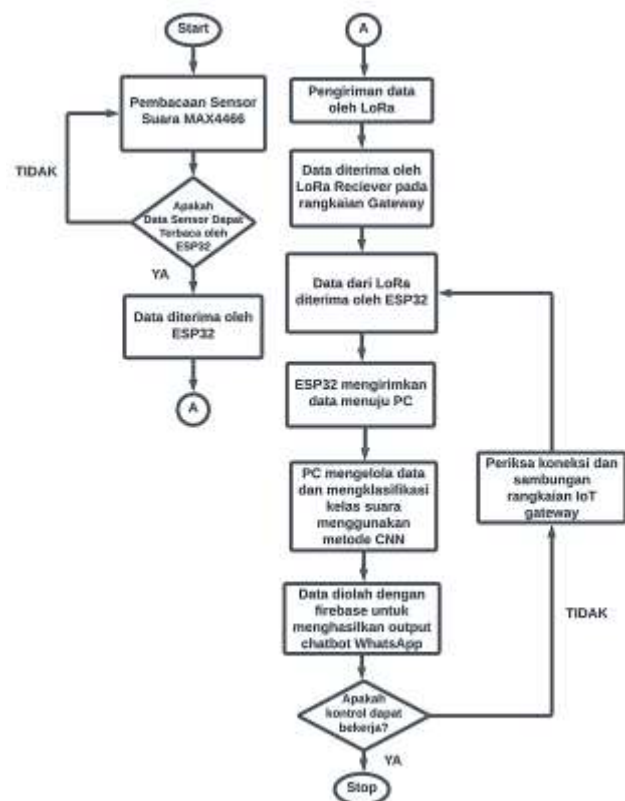
MAX4466 dan dihubungkan oleh ESP32 DevkitV1. Sistem ini terdiri dari dua rangkaian yaitu rangkaian *Node* dan rangkaian *gateway*. Rangkaian *Node* berfungsi sebagai pendeteksi suara dan selanjutnya data tersebut akan dikirimkan pada rangkaian *gateway* melalui LoRa. Pada *gateway*, data tersebut diterima oleh mikrokontroler berupa ESP32 DEVKIT V1 dan selanjutnya akan ditransfer menuju laptop atau PC, data selanjutnya akan diolah pada PC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu CNN (*Convolutional Neural Network*)[8]. Metode CNN digunakan untuk mengklasifikasi suara berdasarkan kelasnya sehingga dapat diputuskan bahwa suara yang terdeteksi merupakan suara gergaji mesin. CNN memiliki kemampuan mengklasifikasi kelas suara dengan tingkat akurasi yang tinggi. Output sistem ini berupa peringatan *chat bot WhatsApp* yang telah dikoneksikan dengan rangkaian *Gateway*.

2. Metode

Metode penelitian yang dilakukan berfokus pada tujuan, desain penelitian, objek penelitian, pengumpulan data, implementasi sistem, dan analisis data.

2.1 Alur Kerja Sistem

Sistem ini dirancang untuk melakukan deteksi suara gergaji mesin sebagai indikasi awal dari terjadinya kegiatan penebangan. Sistem ini diintegrasikan dengan berbagai komponen seperti sensor suara, mikrokontroler ESP32, *database*, dan aplikasi kontrol.

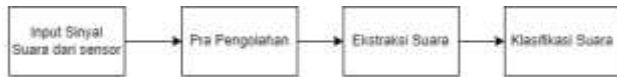


Gambar 1. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem dimulai dari pengambilan data dari sensor suara. Jika terdapat kendala dalam pembacaan data sensor, sistem akan memberikan indikasi untuk memeriksa koneksi pada sensor. Apabila data sensor dapat terbaca oleh ESP32, langkah selanjutnya yaitu data akan dikirimkan menggunakan lora menuju lora yang berada pada rangkaian lora di rangkaian *gateway*. Pada rangkaian *gateway* pengolahan data diterima oleh ESP32 kemudian pengolahan data dilakukan oleh PC/laptop menggunakan metode MFCC (*Mel Frequency Cepstral Coefficient*) untuk mengekstraksi suara sehingga menghasilkan matriks suara dengan bentuk matriks satu dimensi yang kemudian akan diolah dan diklasifikasi menggunakan metode CNN (*Convolutional Neural Network*). Gambar 1 merupakan flowchart dari alur kerja sistem pendeteksi suara gergaji mesin.

2.2 Sistem Pengolahan Data

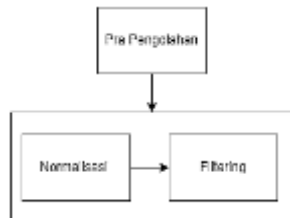
Alur sistem pengolahan data dimulai dari input suara yang ditangkap oleh sensor. Data yang ditangkap oleh sensor merupakan data sinyal analog yang kemudian dikonversi menjadi data sinyal digital agar dapat diolah pada PC, kemudian dilanjutkan dengan proses pra pengolahan, ekstraksi suara menggunakan metode MFCC, dan klasifikasi suara menggunakan CNN. Diagram blok alur pengolahan data audio dapat diamati pada gambar 2



Gambar 2. Diagram Blok Pengolahan Data

2.2.1 Pra Pengolahan

Pra pengolahan merupakan tahapan pertama yang bertujuan untuk memperkuat sinyal yang ditangkap oleh sensor dan mempertahankan karakteristik sinyal suara dari gergaji mesin. Terdapat dua tahapan pada proses pra pengolahan ini, dua proses tersebut adalah normalisasi dan filtering. Gambar 3 adalah gambaran dari proses pra pengolahan.



Gambar 3. Proses Pra Pengolahan Suara

1) Normalisasi

Normalisasi merupakan tahapan awal dalam subsistem pra pengolahan, terdapat proses normalisasi sinyal, dengan variasi nilai amplitudo sinyal yang dibatasi dalam rentang tertentu[9]. Sinyal suara gergaji mesin yang terdapat pada dataset yang telah disiapkan sebelumnya. Persamaan normalisasi suara dapat didefinisikan pada persamaan (1).

$$\tilde{x}[n] = x[n]/\max(|x[n]|) \quad (1)$$

Dengan $\tilde{x}[n]$ adalah sinyal hasil normalisasi dari sinyal $x[n]$ [10].

2) Filtering

Tahapan *filtering* suara atau *pre-emphasis* merupakan suatu proses dimana sinyal suara atau audio yang diolah melalui proses penyaringan dan penguatan magnitude dari sinyal suara sehingga mendapatkan nilai magnitude suara yang stabil. Persamaan *pre-emphasis* ditunjukkan pada persamaan (2).

$$y[n] = s[n] - a \cdot s[n-1] \quad (2)$$

$$, 0.9 \leq a \leq 1$$

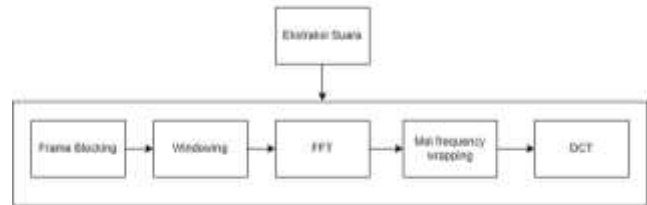
Dimana:

$y[n]$ = nilai sampel ke $-n$

a = konstanta *pre-emphasis*, $0.9 \leq a \leq 1$ [10]

2.2.2 Ekstraksi Suara

Ekstraksi suara merupakan proses ekstraksi ciri dari sinyal audio yang nantinya akan menghasilkan nilai matriks audio satu dimensi. Hasil dari ekstraksi ciri ini akan diolah pada CNN untuk diklasifikasi. Tahapan – tahapan dari proses ekstraksi suara digambarkan pada gambar 4.



Gambar 4. Proses Ekstraksi Suara

1) Frame Blocking

Setelah sinyal melalui proses *pre-emphasis* untuk menguatkan nilai amplitudo pada sinyal audio, tahap selanjutnya adalah *frame blocking*[11]. Proses membagi sinyal suara menjadi beberapa frame dikenal sebagai *frame blocking* atau bingkai, yang masing-masing memuat N sampel sinyal dan dipisahkan dari satu sama lain sejauh M sampel.

2) Windowing

Windowing (penjendelaan) adalah proses pembobotan terhadap setiap jendela atau *frame* yang telah dibentuk dalam proses *framing*[12]. Proses *windowing* ini berfungsi untuk mengurangi atau mengeliminasi sinyal diskontinyu yang berada pada ujung awal dan ujung akhir setiap *frame* sinyal audio, sehingga hasil gelombang menjadi lebih halus dan *noise* semakin berkurang. Fungsi *windowing* telah dijabarkan di bawah ini:

$w(n), 0 \leq n \leq N-1$, dimana N adalah jumlah sampel dari setiap frame, maka hasil dari *windowing* adalah sinyal:

$$1(n) = x1(n)w(n), \quad (3)$$

$$0 \leq n \leq N-1$$

Pada penelitian ini proses *windowing* menggunakan *hamming window* sehingga persamaan *windowing* menjadi:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

Dimana:

N = ukuran frame

$X_1(n)$ = nilai sampel frame sinyal 1

$w(n)$ = fungsi *windowing*

$y_1(n)$ = nilai sampel sinyal [10]

3) FFT (Fast Fourier Transform)

FFT (Fast Fourier Transform) merupakan suatu algoritma matematis dari analisis *fourier* hasil perkembangan dari persamaan sebelumnya yaitu DFT (Discrete Fourier Transform). Metode FFT dapat melakukan perubahan sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi lebih cepat daripada metode DFT. Hal ini dikarenakan keras lemah suara tidak terlalu berpengaruh pada sinyal dalam domain frekuensi daripada dalam domain waktu [13]. Pada proses FFT inilah dapat diketahui frekuensi dari sinyal suara gergaji mesin. Berikut adalah persamaan dari FFT [10].

$$\begin{aligned} X(m + N/2) &= \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n) W_N^{n(m+N/2)} + W_N^{m+N/2} \\ &\quad \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1) W_N^{n(m+N/2)} \\ &= \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n) W_N^{nm} - W_N^m \\ &\quad \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1) W_N^{nm} \end{aligned} \quad (5)$$

4) Mel Frequency Wrapping

Mel Frequency Wrapping merupakan suatu proses untuk melakukan *filter* pada sinyal audio atau suara pada setiap *frame* menggunakan *mel filter bank*. Melalui penggunaan *filter* ini dapat diketahui besar energi yang terdapat pada frekuensi dalam suatu gelombang sinyal suara atau audio [14].

Untuk memfilter sinyal, *filter bank* menggunakan representasi konvolusi. Ini dapat dicapai dengan memmultiplikasi spektrum sinyal dengan koefisien filter bank. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung *filter bank*.

$$y[i] = \sum_{j=1}^N T[j] H[i][j] \quad (6)$$

Dimana:

N = jumlah magnitud spektrum

$T[j]$ = spektrum magnitude pada frekuensi

$H[i][j]$ = koefisien *filter bank* pada frekuensi

j ($1 \leq i \leq M$)

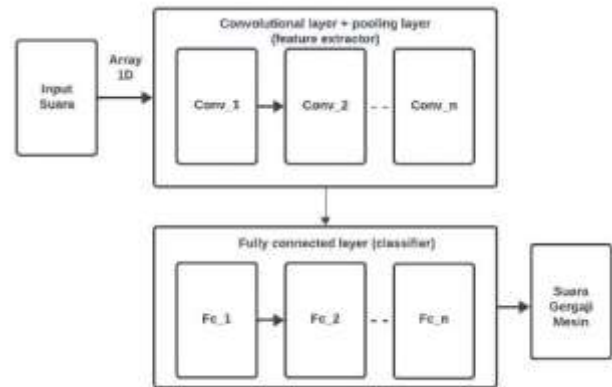
M = jumlah channel dalam filter bank [10]

5) DCT (Discrete Cosine Transform)

Proses terakhir pada MFCC yaitu proses DCT (Discrete Cosine Transform), proses ini mengkonversi nilai hasil dari *mel frequency wrapping* menjadi nilai yang berdomain waktu. Kegunaan dari DCT adalah mendapatkan nilai yang sesuai dari dimensi vektor yang dihasilkan dari proses sebelumnya. Hasil yang didapatkan dari konversi tersebut adalah berupa *mel frekuensi cepstrum koefisien*. Dari proses DCT inilah akan dihasilkan matriks audio satu dimensi yang kemudian diolah pada proses klasifikasi menggunakan model CNN.

2.2.3 Klasifikasi Suara

Klasifikasi suara menggunakan metode CNN, yang terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan *convolutional*, lapisan *pooling*, dan lapisan terhubung sepenuhnya. CNN biasanya membutuhkan banyak data untuk melatih modelnya dengan akurat. Ini terutama berlaku untuk dataset yang berjumlah ribuan atau bahkan puluhan ribu gambar. Akurasi model yang dihasilkan ditentukan oleh jumlah data yang diolah. Memindahkan pembelajaran dari model yang telah dilatih sebelumnya, oleh karena itu, adalah pendekatan yang dipilih untuk mengatasi masalah ini. Proses *transfer learning* CNN digambarkan pada Gambar 5.



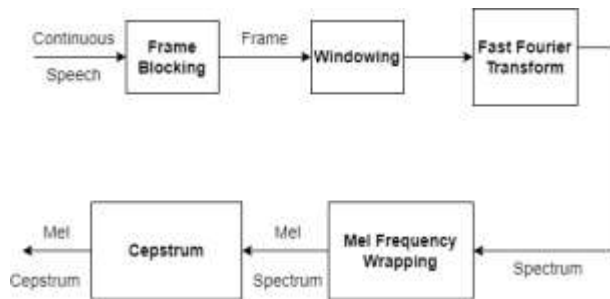
Gambar 5. diagram Proses Transfer Learning

Setelah melalui proses ekstraksi suara, maka data keluar dalam bentuk array 1 dimensi. Matriks tersebut kemudian akan masuk dalam layer *fully connected layer* (*classifier*) dimana terdapat jaringan syaraf tiruan yang telah dibuat sebelumnya menggunakan data latih berupa dataset beberapa sampel suara tanpa *noise* dan dengan *noise*. Setelah proses tersebut akan mendapatkan suatu keputusan bahwa suara tersebut merupakan suara gergaji mesin atau bukan.

2.3 MFCC

Proses MFCC memiliki tujuan utama yaitu meniru perilaku dari pendengaran manusia. Selain itu MFCC telah terbukti dapat menyebutkan variasi dari gelombang manusia [15]. Sebelum sinyal suara atau audio dapat diklasifikasikan, akan dilakukan proses ekstraksi suara menggunakan metode MFCC. Proses ini terdiri dari beberapa tahapan, termasuk *frame blocking*, *windowing*, FFT, *mel frequency wrapping*, dan DFT, dan diakhiri dengan matriks satu dimensi, MFCC dibentuk berdasarkan variasi yang telah diketahui antara frekuensi dan jangkauan telinga

manusia. Filter berfungsi secara linear pada frekuensi rendah dan berfungsi secara logaritmik pada frekuensi tinggi. Ini dilakukan untuk mendapatkan sinyal suara atau audio yang bersifat penting. Data audio diambil dari pengukuran frekuensi sensor MAX4466. Sinyal akan dikirim dan diekstraksi menggunakan MFCC jika frekuensi melebihi batas ambang. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan diagram blok proses MFCC.



Gambar 6. Diagram Proses MFCC

2.4 CNN (Convolutional neural network)

Convolutional neural network merupakan sebuah matriks yang memiliki sebuah fungsi yaitu melakukan sebuah penyaringan atau filterisasi pada sebuah gambar. Pada CNN mempunyai beberapa lapisan yang digunakan sebagai penyaringan terhadap setiap mekanismenya yang disebut sebagai *training*[16]. Tidak hanya pada gambar, metode ini juga cocok untuk proses klasifikasi suara untuk proses pengenalan suara pada gergaji mesin dengan mengenali pola suara dari gergaji mesin. Seperti namanya, CNN menggunakan proses konvolusi. Dengan kata lain, sebuah gambar, seperti mesin, memiliki tiga parameter: tinggi, lebar, dan tebal atau jumlah kanal. Proses filtrasi terjadi selama proses konvolusi ini. Seperti layaknya gambar, filter ini memiliki dimensi tinggi, lebar, dan tebal yang dapat ditentukan. Nilai filter diaktifkan, dan nilai ini berfungsi sebagai parameter atau tolak ukur yang akan diperbarui dalam proses pembelajaran atau pembelajaran model.

3 Hasil dan Pembahasan

Pada bagian hasil dan pembahasan ini berisi mengenai hasil dan data yang didapatkan setelah melalui perancangan sistem. Ekstraksi suara menggunakan metode MFCC, hasil perancangan hardware, skenario pengujian, hasil pengujian, dan klasifikasi suara menggunakan metode CNN. Hasil ini didapat setelah melakukan pengujian sistem pada area terbuka menggunakan suara gergaji mesin.

3.1 Hasil Ekstraksi Suara

Berikut adalah dataset yang digunakan untuk proses klasifikasi data menggunakan CNN. Data audio berupa file .wav yang telah disamakan formatnya yaitu terdapat 20 kelas suara yang berbeda dengan jumlah setiap kelas suara terdapat 75 suara dengan durasi 5 detik. Di bawah ini merupakan tabel dataset suara yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 1 Data Sampel Audio

No	Jenis Suara	Jumlah Sampel	Durasi
1	Gergaji Mesin STIHL MS180	75	5 detik
2	Helikopter	75	5 detik
3	Percikan Api	75	5 detik
4	Anjing	75	5 detik
5	Aliran Sungai	75	5 detik
6	Gergaji Tangan	75	5 detik
7	Gergaji Elektrik	75	5 detik
8	Langkah kaki	75	5 detik
9	Hujan	75	5 detik
10	Serangga	75	5 detik
11	Harimau	75	5 detik
12	Kapak	75	5 detik
13	Orang Berbicara	75	5 detik
14	Pohon Roboh	75	5 detik
15	Mesin Kendaraan	75	5 detik
16	Siulan	75	5 detik
17	Angin	75	5 detik
18	Potongan Kayu	75	5 detik
19	Katak	75	5 detik
20	Burung	75	5 detik

Dari dataset audio diatas, data tersebut kemudian diolah menggunakan metode MFCC dan diklasifikasi dengan CNN. Pertama, dilakukan pembacaan letak file audio agar file dapat di-load dan dikenali oleh program, kemudian data yang telah terbaca diproses agar menghasilkan gelombang audio. Gelombang audio yang dihasilkan merupakan grafik gelombang amplitudo dari audio terhadap waktu, sehingga belum dapat diidentifikasi frekuensinya. Gambar 7 merupakan sintaks program yang digunakan untuk menghasilkan gelombang audio atau suara dari file yang telah *di-load* sebelumnya.

```

# Class Conf will save the settings we are going to use in this notebook
class conf:
    sr = 16000
    duration = 5
    hop_length = 340*duration
    fmin = 20
    fmax = sr // 2
    n_mels = 128
    n_fft = n_mels * 20
    samples = sr * duration
    epochs = 30
  
```

Gambar 7 Proses Pengolahan Audio

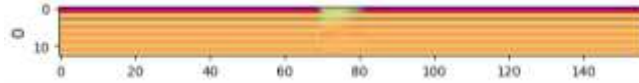
Program tersebut merupakan implementasi dari beberapa fungsi yang berkaitan dengan pemrosesan audio menggunakan *library* librosa untuk menghasilkan spektrogram mel pada audio. Sintaks program untuk penerapan metode MFCC ditunjukkan pada gambar 8. Pada Gambar 8 merupakan program yang digunakan dalam penerapan metode MFCC. Output dari program tersebut berupa grafik gelombang hasil mel spektrogram pada sinyal audio sehingga dapat menunjukkan nilai frekuensi dari audio. Gambar 9, 10, dan 11 merupakan hasil dari grafik audio yang dihasilkan pada setelah melalui ekstraksi suara menggunakan MFCC. Semakin gelap warna pada grafik semakin tinggi frekuensi audio yang dihasilkan.


```

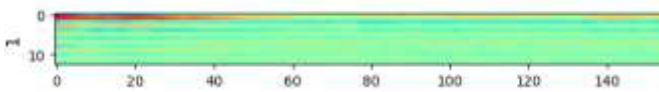
# Visualization of MFCC Plot
# Visualization of MFCC Plot
# Extract MFCC features
fig, ax = plt.subplots(4, figsize = (8, 5))
fig.suptitle('MFCC', fontsize=16)
mfcc_features = np.zeros((13, 128))
i = 0
for row in sample_df.iterrows():
    signal, rate = librosa.load(DATA_PATH + row[1], sr=16000)
    mfcc = librosa.feature.mfcc(y=signal, sr=rate, n_mfcc=13, dct_type=3)
    mfcc_features[i, :] = mfcc.mean(axis=1) # Change this line
    ax[i].imshow(mfcc, cmap='rainbow', interpolation='nearest')
    ax[i].set_ylabel(row[3], fontsize=13)
    i += 1

```

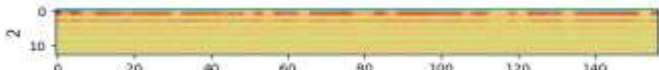
Gambar 8 Program Penerapan Metode MFCC



Gambar 9. Hasil MFCC dari Suara Anjing



Gambar 10. Hasil Mel Spektrogram dari Suara Gergaji Mesin



Gambar 11. Hasil Mel Spektrogram dari Suara Helikopter

3.2 Hasil Perancangan Hardware

Dari komponen yang telah dirancang sesuai desain maka dapat dirangkai pada box. Perancangan hardware terdiri dari dua rangkaian yaitu rangkaian node (pengirim) dan rangkaian pada IoT gateway (penerima), rangkaian *IoT gateway* akan dihubungkan langsung dengan *WhatsApp* petugas yang nantinya bisa mengirimkan pesan berupa *chatbot*. Rangkaian Node terdiri dari rangkaian sensor, rangkaian mikrokontroler, rangkaian *high pass filter*, dan rangkaian LoRa RFM95.



Gambar 12. PCB Rangkaian Node

Perancangan PCB board pada gambar 12 sesuai dengan alur sistem yang telah dibahas. PCB board ini diintegrasikan dengan PCB *IoT gateway*. PCB board diatas memperlihatkan desain wiring PCB kontrol mulai dari sensor, mikrokontroler, rangkaian filter, dan konverter tegangan. Berikut ini adalah komponen – komponen yang digunakan untuk merangkai rangkaian *Node*, dapat diamati pada tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi Komponen PCB Node

No	Komponen	No	Komponen
1	ESP32 Devkit V1	7	Resistor
2	Sensor MAX4466	8	AMS 3.3V
3	Step Down 5V	9	Panel Surya 10Wp
4	LoRa RFM95	10	SCC 10 Ampere
5	LED	11	Baterai
6	Kapasitor		

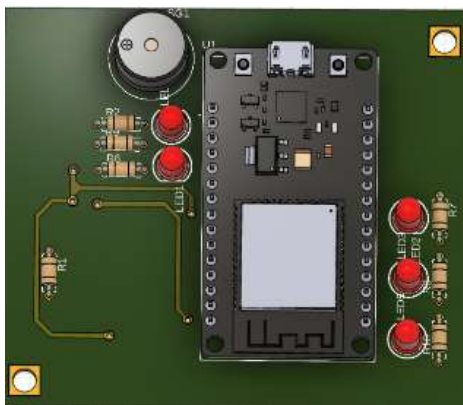
Hasil perancangan sistem pendeteksi suara gergaji dapat diamati pada gambar 13. dimana dalam box berukuran 22cm x 15cm x 7cm telah dirangkai komponen pengisinya yaitu terdapat PCB board, baterai, dan *solar charge controller*. Alat akan aktif apabila terdapat input berupa suara dengan frekuensi diatas 1500 hertz dan memfilter suara yang ditangkap. Sistem pengisian daya dilakukan pada saat siang hari sehingga board PCB akan selalu mendapat *supply* daya dari baterai yang telah terisi ketika siang hari. Tampak dalam rangkaian *node* dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Tampak Dalam Hardware

Berikut ini merupakan hasil perancangan *hardware* dari rangkaian gateway atau *IoT gateway*. Rangkaian *gateway* berfungsi sebagai penerima dan menyalurkan data yang diterima dari rangkaian node menuju laptop atau PC, kemudian data tersebut akan diolah menggunakan metode – metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Desain PCB gateway dapat dilihat pada gambar 14.

Perancangan PCB board pada gambar 15 sesuai dengan alur sistem yang telah dibahas sebelumnya. PCB board terdiri dari mikrokontroler ESP32, *buzzer*, LED, resistor, dan LoRa. Tampak dalam dari rangkaian *gateway* dapat dilihat pada gambar 15.



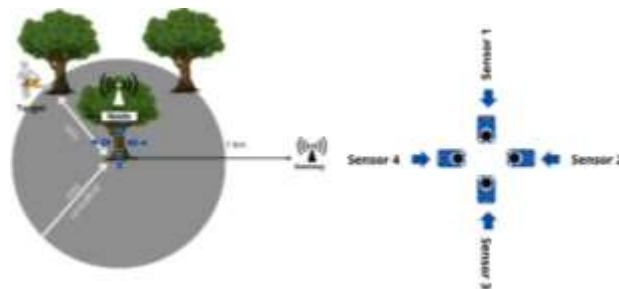
Gambar 14. Desain PCB Gateway



Gambar 15. Tampak Dalam Rangkaian Gateway

3.3 Skenario Pengujian

Skenario pengujian alat ini yaitu pengujian dilakukan di luar ruangan dengan prediksi *noise* suara yang telah diberikan sebelumnya, dapat dilihat pada proses akuisisi data. Rangkaian node dipasang pada salah satu pohon kemudian rangkaian gateway akan diletakkan sejauh 1km dari posisi dipasangnya rangkaian node. Kemudian akan diberikan sound gergaji mesin, sumber suara maksimal berjarak 50 meter dari rangkaian Node, karena jangkauan dari sensor MAX4466 berkisar 50 meter. Kemudian data dari kebisingan tersebut dikirimkan menuju rangkaian Gateway menggunakan komunikasi LoRa. Pendeteksian bunyi suara yang telah terbaca oleh sensor suara MAX4466 yang berupa tegangan analog, tegangan analog tersebut akan disesuaikan dengan spesifikasi *analog to digital converter* (ADC) pada ESP32 dan mengonversikannya menjadi kode digital, hal ini ditujukan agar sinyal dapat diterima oleh PC karena PC hanya dapat mengolah sinyal digital. Gambar 16 adalah gambaran skenario dari pengujian sistem.



Gambar 16. Skenario Pengujian

3.4 Hasil Pengujian

Pengujian sistem dilakukan dengan cara memberikan sumber suara gergaji mesin pada setiap arah sensor. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali uji coba dengan *range* jarak yang berbeda – beda yaitu 10m, 20m, 30m, 40m, dan 50m. nilai threshold frekuensi yang ditetapkan yaitu 1500Hz, sehingga apabila sistem mendeteksi besar frekuensi suara di atas 1500Hz maka sistem akan meneruskan sinyal pada rangkaian *gateway*. Hasil pengujian sistem pada sensor 1 telah dimuat pada tabel 3.

Pada pengujian yang kedua, sumber suara gergaji mesin diberikan pada arah peletakan sensor kedua. Sehingga frekuensi yang ditangkap oleh sensor kedua lebih besar daripada frekuensi yang ditangkap oleh sensor lainnya. Frekuensi terbesar yang ditangkap oleh sensor ke 2 adalah 2047 Hz pada jarak 10m dimana frekuensi tersebut tentunya tidak murni dihasilkan oleh suara gergaji mesin, melainkan terdapat frekuensi – frekuensi *noise*. Hasil pengujian pada sensor 2 dapat diamati pada tabel 4.

Tabel 3. Pengujian Suara Pada Arah Sensor 1

Sensor 1 (Hertz)	Sensor 2 (Hertz)	Sensor 3 (Hertz)	Sensor 4 (Hertz)	Jarak (m)	Status
1788	1762	1758	1747	10	Bahaya
1702	1687	1682	1673	20	Bahaya
1556	1547	1536	1524	30	Bahaya
1544	1535	1527	1518	40	Bahaya
1502	1496	1491	1483	50	Bahaya

Tabel 4. Pengujian Sensor Pada Arah Sensor 2

Sensor 1 (Hertz)	Sensor 2 (Hertz)	Sensor 3 (Hertz)	Sensor 4 (Hertz)	Jarak (m)	Status
1989	2047	1885	1767	10	Bahaya
1865	1878	1847	1732	20	Bahaya
1837	1857	1793	1678	30	Bahaya
1774	1785	1756	1645	40	Bahaya
1685	1693	1674	1587	50	Bahaya

Tabel 5. Pengujian Sensor Pada Arah Sensor 3

Sensor 1 (Hertz)	Sensor 2 (Hertz)	Sensor 3 (Hertz)	Sensor 4 (Hertz)	Jarak (m)	Status
1657	1893	2245	2178	10	Bahaya
1553	1787	2187	2053	20	Bahaya
1478	1693	1978	1884	30	Bahaya
1420	1587	1893	1765	40	Bahaya
1315	1532	1867	1702	50	Bahaya

Pada pengujian yang ketiga, sumber suara gergaji mesin diberikan pada arah peletakan sensor ketiga. Frekuensi terbesar yang ditangkap oleh sensor ketiga adalah 2245 Hz. Pada tabel lima dapat dilihat bahwa rata – rata sensor menangkap frekuensi di atas 1500 Hz, sehingga sinyal frekuensi tersebut diloloskan oleh filter dan memberikan sinyal “Bahaya”. Data pengujian pada sensor 3 dapat diamati pada tabel 5.

Pada pengujian yang ketiga, sumber suara gergaji mesin diberikan pada arah peletakan sensor keempat. Frekuensi terbesar yang ditangkap oleh sensor keempat adalah 1992 Hz. Pada tabel enam dapat dilihat bahwa rata – rata sensor menangkap frekuensi di atas 1500 Hz, sehingga sinyal frekuensi tersebut diloloskan oleh filter dan memberikan sinyal “Bahaya”. Tentunya frekuensi yang ditangkap oleh sensor pada setiap percobaan memiliki nilai – nilai yang berbeda meskipun sumber suara memiliki jarak yang sama. Faktor utamanya yaitu *noise* yang ditangkap oleh sensor sehingga dapat sangat mempengaruhi nilai frekuensi yang ditangkap oleh sensor. Hasil pengujian dapat diamati pada tabel enam.

Tabel 6. Pengujian Sensor Pada Arah Sensor 4

Sensor 1 (Hertz)	Sensor 2 (Hertz)	Sensor 3 (Hertz)	Sensor 4 (Hertz)	Jarak (m)	Status
1978	1654	1878	1992	10	Bahaya
1885	1534	1789	1874	20	Bahaya
1478	1497	1674	1853	30	Bahaya
1420	1434	1587	1678	40	Bahaya
1315	1378	1352	1498	50	Aman

3.5 Hasil Klasifikasi Suara

Klasifikasi suara merupakan tahap terakhir dari keseluruhan proses. Klasifikasi suara menggunakan metode CNN atau *Convolutional Neural Network* yang terdiri dari 3 lapisan utama. Input yang dimasukkan pada model CNN berupa matriks audio hasil dari ekstraksi suara menggunakan metode MFCC dan matriks yang dihasilkan berupa matriks satu dimensi. Gambar 17 merupakan permodelan CNN yang telah dibuat.

```

INPUTSHAPE = (128, 32, 1)
def create_model():
    created_model = models.Sequential([
        layers.Conv2D(64, (3,3), activation='relu', padding='same', input_shape=INPUTSHAPE),
        layers.BatchNormalization(),
        layers.Conv2D(64, (3,3), activation='relu', padding='same'),
        layers.BatchNormalization(),
        layers.MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)),
        layers.Dropout(0.2),

        layers.Conv2D(128, (3,3), activation='relu', padding='same'),
        layers.BatchNormalization(),
        layers.Conv2D(128, (3,3), activation='relu', padding='same'),
        layers.BatchNormalization(),
        layers.MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)),
        layers.Dropout(0.2),

        layers.Conv2D(256, (3,3), activation='relu', padding='same'),
        layers.BatchNormalization(),
        layers.Conv2D(256, (3,3), activation='relu', padding='same'),
        layers.BatchNormalization(),
        layers.MaxPooling2D((2,2), strides=(2,2)),
        layers.Dropout(0.2),

        layers.GlobalAveragePooling2D(),

        layers.Dense(256, activation='relu'),
        layers.Dense(256, activation='relu'),
        layers.Dense(len(classes), activation='softmax')
    ])
    created_model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['acc'])
    return created_model

```

Gambar 17. Permodelan CNN

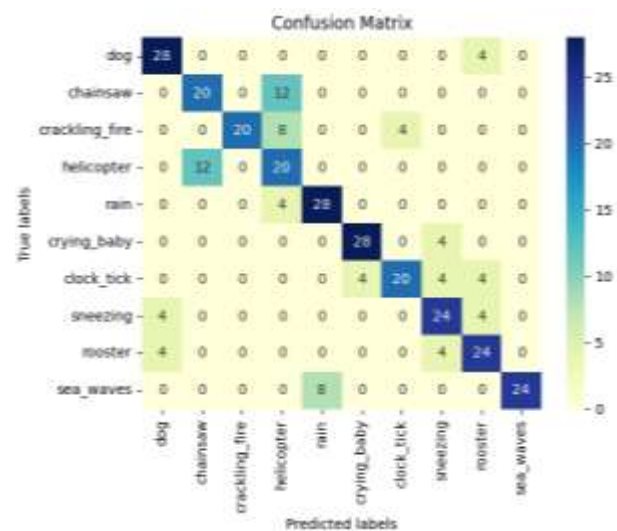
Pada hasil training data dapat dilihat bahwa hasil akurasi sebesar 1,82 dan lossnya sebesar 0,64. Proses training data dilakukan sebanyak 5 kali fold dan 30 epoch. Proses training data tersebut dapat diamati pada gambar 18. Gambar 19 merupakan confusion matriks yang dihasilkan oleh model CNN yang telah dibuat. Dari hasil tersebut dapat ditentukan nilai *weighed average* akurasi melalui perhitungan, dan mendapatkan nilai akurasi sebesar 97,5%.

```

Training fold 5
*****
Epoch 1/30
40/40 - 5s - loss: 1.2875 - acc: 0.5188 - val_loss: 9.6402 - val_acc: 0.1250
Epoch 2/30
40/40 - 4s - loss: 0.7235 - acc: 0.7359 - val_loss: 3.1896 - val_acc: 0.3750
Epoch 3/30
40/40 - 4s - loss: 0.5625 - acc: 0.7986 - val_loss: 1.2789 - val_acc: 0.5250
Epoch 4/30
40/40 - 4s - loss: 0.3956 - acc: 0.8588 - val_loss: 1.8125 - val_acc: 0.5844
Epoch 5/30
40/40 - 4s - loss: 0.4731 - acc: 0.8367 - val_loss: 2.0773 - val_acc: 0.6250
Epoch 6/30
40/40 - 4s - loss: 0.4121 - acc: 0.8586 - val_loss: 2.5152 - val_acc: 0.5125
Epoch 7/30
40/40 - 4s - loss: 0.2480 - acc: 0.9180 - val_loss: 1.5839 - val_acc: 0.7250
Epoch 8/30
40/40 - 4s - loss: 0.2397 - acc: 0.9258 - val_loss: 1.8212 - val_acc: 0.6375
10/10 [=====] - 1s 73ms/step - loss: 1.8212 - acc: 0.6375
Val Score: [1.8212209939956665, 0.63749998079071]

```

Gambar 18. Proses Training Data



Gambar 19. Confusion Matriks

Setelah melalui berbagai proses pengolahan sinyal audio, data tersebut akan disimpan pada database yang terhubung pada *WhatsApp* secara *realtime*. Kemudian dari database dapat mengirimkan *chatbot* peringatan yang terkirim secara otomatis seperti pada gambar 20.



Gambar 20. Chatbot WhatsApp

4 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian terhadap sistem dan mendapatkan data hasil uji coba, maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini dapat merancang dan membuat alat pendeteksi suara gergaji mesin menggunakan empat sensor suara MAX4466. Dalam pengujian ini, sensor keempat tidak dapat mendeteksi suara gergaji mesin pada jarak 50 meter, yang berarti sensor keempat tidak dapat mendeteksi suara gergaji mesin. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi ketidak efektifan hasil penangkapan frekuensi suara salah satunya yaitu terdapat *noise*. Hal ini disebabkan oleh tempat uji coba berada di luar ruangan sehingga terdapat banyak sekali *noise* suara sehingga mempengaruhi nilai frekuensi yang ditangkap oleh sensor. akurasi keberhasilan model CNN yang dibuat mencapai 97,5%, dan dapat diintegrasikan dengan *WhatsApp* secara *realtime*.

Ucapan Terimakasih

Disampaikan kepada Allah SWT yang selalu senantiasa memberikan rasa sehat, umur, dan kesempatan sehingga bisa sampai bertahan pada titik ini, dan juga pihak – pihak yang terlibat pada proses pembuatan sistem.

Daftar Pustaka

- [1] A. Zulfadli, O. B. Kharisma, H. Simaremare, and E. Ismaredah, "PENDETEKSI PENEBAANG LIAR MENGGUNAKAN SENSOR SUARA MAX4466 DI KAWASAN HUTAN," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 25, no. 3, pp. 95–102, Aug. 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.3.95-102.
- [2] A. Herlan, I. Fitri, and R. Nuraini, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Data Sebaran Covid-19 Secara Real-Time menggunakan Arduino Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, vol. 5, no. 2, p. 206, Apr. 2021, doi: 10.35870/jtik.v5i2.212.
- [3] M. Hafiz Aziz, S. W. Jadmiko, and S. Yahya, "Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2021.
- [4] I. Putu Gede Surya Angga Pranata, I. Made Suartika, and I. Wayan Arta Wijaya, "PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI PENEBAANG LIAR MENGGUNAKAN SENSOR SUARA BERBASIS IoT-RASPBERRY PI," 2021.
- [5] P. Agustinus Mikael Rondo, "Quo Vadis Penegakan Hukum: Kewenangan Pemerintah Terhadap Lingkungan Hidup dalam Kasus Illegal Logging Di Indonesia," *Jurnal Syntax Transformation*, vol. 3, no. 04, pp. 532–537, Apr. 2022, doi: 10.46799/jst.v3i4.545.
- [6] R. F. Fadhillah and R. Sumiharto, "Klasifikasi Suara Untuk Memonitori Hutan Berbasis Convolutional Neural Network," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 13, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.22146/ijeis.79536.
- [7] D. Candra Prasetyo, G. Andriana Mutiara, and R. Handayani, "SISTEM PENDETEKSI SUARAGERGAJI PADA ILLEGAL LOGGING,"
- [8] B. S. Dewa and I. H. Santoso, "Perancangan Dan Implementasi Alat Pendeteksi Kebisingan Kendaraan Bermotor Berbasis Internet Of Things Dengan Menggunakan Sensor KY-037 Dan Sensor MAX4466 The Design And Implementation Of Motor Vehicle Noise Detection Equipment Based On Internet Of Things Using KY-037 And MAX4466 Sensor," vol. 8, no. 6, p. 3463, 2022.
- [9] P. Fiřo and O. Janouřek, "Differences in the Course of Physiological Functions and in Subjective Evaluations in Connection With Listening to the Sound of a Chainsaw and to the Sounds of a Forest," *Front Psychol*, vol. 13, Feb. 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.775173.
- [10] F. Fauziah, I. I. Tritoasmoro, and S. Rizal, "SISTEM KEAMANAN BERBASIS PENGENALAN SUARA SEBAGAI PENGAKSES PINTU MENGGUNAKAN METODE MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENT (MFCC) DOOR ENTRY USING VOICE RECOGNITION SECURITY SYSTEM WHILE UNTILIZING MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENT (MFCC)," 2021.
- [11] A. S. Irtawaty, M. Ulfah, and R. S. Fathmala, "Application Development of Male and Female Voice Differentiation Based on Gender, Age Range, Frequency Class Based on FFT and K-Means," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 9, no. 1, pp. 32–39, Mar. 2022, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v9i1.2836.
- [12] A. Firman Mawardi, A. Ubaidillah, and K. A. Wibisono, "Rancang Bangun Smart Dispenser Untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Pola Pengenalan Suara (Voice Recognition) Dengan Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Dan Autocorrelation," 2020.
- [13] R. Yohanes Sipasulta, A. S. Lumenta, and S. RUA Sompie, "Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform)," 2014.
- [14] D. T. Kusuma, "Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik," *PETIR*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, Oct. 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.
- [15] V. Zilvan and F. Hensan Muttaqien, "Identifikasi Pembicara Menggunakan Algoritme VFI5 dengan MFCC sebagai Pengekstraksi Ciri," 2011.
- [16] V. Karenina, M. F. Erinsyah, and D. S. Wibowo, "Klasifikasi Rentang Usia Dan Gender Dengan Deteksi Suara Menggunakan Metode Deep Learning Algoritma Cnn (Convolutional Neural Network)," *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, vol. 12, no. 2, pp. 75–82, Sep. 2023, doi: 10.34010/komputika.v12i2.10516.