

## Penerapan Metode *Hidden Markov Model* Pada Sistem Pengenalan Suara Sirene Kendaraan Darurat

Mohammad Fariq Rajasa<sup>1</sup>, Barlian Henryranu Prasatio<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>mfariqr12@student.ub.ac.id, <sup>2</sup>barlian@ub.ac.id

### Abstrak

Sirene merupakan sebuah alat yang dapat menghasilkan suara yang keras dengan tujuan untuk menunjukkan tanda bahaya. Sirene digunakan untuk kendaraan darurat seperti ambulans, pemadam kebakaran, dan polisi. Sirene kendaraan ini memiliki bunyi yang berbeda dan memiliki penerapan yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sebuah alat yang dapat mengenali jenis suara sirene kendaraan darurat yang dapat digunakan dalam setiap situasi. Dataset yang digunakan adalah SirenNet yang merupakan audio data suara sirene kendaraan berdurasi 3 detik. Alat ini akan menerapkan metode Mel-Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) untuk mengekstraksikan fitur dari data suara, dan melakukan proses pengenalan terhadap data suara dengan algoritma Hidden Markov Model (HMM) untuk diimplementasikan ke dalam Raspberry Pi 4 dan dapat dioperasikan melalui layar LCD Display yang terhubung dengan sistem. Penelitian ini menunjukkan model HMM yang telah dibuat mendapatkan nilai akurasi sebesar 86%, dan alat dapat memprediksi sebesar 73,3% dari 30 jenis data suara. Sistem memiliki akurasi dalam mendeteksi sirene ambulans sebesar 80%, pemadam kebakaran sebesar 90%, dan polisi sebesar 50%.

**Kata kunci:** *Sirene, MFCC, HMM, Raspberry Pi 4 Model B*

### Abstract

*A siren is a device that can produce a loud sound with the aim of indicating danger. Sirens are used for emergency vehicles such as ambulances, fire engines, and police. These vehicle sirens have different sounds and have different applications. The aim of this research is to design a tool that can recognize the type of emergency vehicle siren sound that can be used in every situation. The dataset used is SirenNet which is audio data of vehicle siren sounds with a duration of 3 seconds. This tool will apply the Mel-Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) method to extract features from voice data, and carry out the recognition process for voice data with the Hidden Markov Model (HMM) algorithm to be implemented on the Raspberry Pi 4 and can be operated via the LCD Display screen. connected to the system. This research shows that the HMM model that has been created has an accuracy value of 86%, and the tool can predict 73.3% of 30 types of sound data. The system has an accuracy in detecting ambulance sirens of 80%, fire engines of 90%, and police of 50%.*

**Keywords:** *Siren, MFCC, HMM, Raspberry Pi 4 Model B*

## 1. PENDAHULUAN

Keterlambatannya kedatangan kendaraan darurat ke tempat lokasi kejadian merupakan salah satu permasalahan besar yang mengakibatkan hilangnya korban jiwa (Prakasa, 2016). Penyebab keterlambatan kendaraan darurat ini disebabkan karena kemacetan dan juga kendaraan pribadi yang tidak dapat mendengar suara sirene yang dihasilkan oleh kendaraan darurat (Tran & Tsai, 2020), kendaraan pribadi yang tidak mendengar suara

sirene karena suara di dalam kendaraan atau peredam suara di dalam kendaraan dapat mengganggu pergerakan kendaraan darurat karena tidak mendapatkan prioritas untuk tiba di lokasi kejadian meskipun telah dipasang sebuah sirene pada kendaraan darurat.

Sirene merupakan suatu alat yang sering digunakan oleh kendaraan darurat, diantaranya adalah ambulans, mobil polisi, dan pemadam kebakaran. Sirene dapat menghasilkan suara keras yang digunakan untuk menyampaikan tanda sedang terjadinya kondisi darurat.

Kendaraan darurat yang terpasang dengan sirene dapat menghasilkan gelombang suara yang berbeda sesuai dengan penerapan dan penggunaannya (Permana et al., 2022), Undang-undang Nomor 22 tahun 2009 telah mengatur mengenai kendaraan yang memiliki hak utama dan dapat dipasang sirene. Kendaraan darurat memiliki prioritas yang lebih ditumakan dalam lalu lintas dan diperbolehkan dipasang sirene dengan tujuan untuk memberikan kesempatan untuk kendaraan darurat sampai pada tempat tujuan dengan cepat.

Sebuah sistem yang dapat mengenali suara sirene yang dihasilkan oleh kendaraan darurat merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk meningkatkan keamanan kepada seluruh pengguna jalan raya (Sathruhan et al., 2022), sistem yang dapat mengenali suara sirene kendaraan darurat dapat membantu meminimalisir risiko terjadinya keterlambatan dalam penanganan kondisi darurat dan kendaraan darurat ini mendapatkan prioritas di jalan raya yang semestinya. Maka dari itu, penelitian ini ditujukan untuk membangun sebuah sistem yang dapat membantu pengguna jalan raya dalam membedakan dan mengenali suara sirene kendaraan darurat.

Dalam proses merancang sistem yang dapat mengenali suara sirene kendaraan darurat, perlu dilakukan ekstraksi fitur dari data suara sirene. Metode yang dapat diaplikasikan untuk mengekstraksi data suara yaitu Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC). MFCC merupakan metode ekstraksi fitur yang sering digunakan pada aplikasi pemrosesan suara (Atahan et al., 2021). Selain ekstraksi fitur, sistem memerlukan proses pengenalan data suara sirene menjadi jenis yang sesuai. Algoritma pengenalan yang dapat digunakan yaitu Hidden Markov Model (HMM). HMM merupakan model statistik suatu sistem dengan sebuah Markov proses dengan parameter yang tidak dapat diamati nilainya. Penerapan metode HMM dalam sistem pengenalan suara sirene ini adalah kemudahan untuk menentukan parameter model dari total training data yang terbatas (Shi et al., 2018), dan HMM juga memiliki komputasi yang cepat sehingga cocok untuk diterapkan pada sistem embedded.

Penerapan metode Hidden Markov Model dalam perancangan alat pengenalan suara sirene kendaraan darurat akan menggunakan Raspberry Pi 4 Model B sebagai Microcomputer. Microcomputer ini akan mengolah data suara yang diterima, memuat model yang telah

dirancang dan dimasukkan ke dalam sistem, dan mengkategorisasikan data suara. Sistem dapat menerima data suara melalui Mini USB Microphone yang terhubung pada satu port Microcomputer dan akan menampilkan hasil pengenalan suara sirene pada layar LCD.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Pemrosesan Suara

Pemrosesan suara adalah bidang keilmuan yang menggunakan sinyal audio data sebagai fokus utama yang dipelajari. Sinyal audio dapat dilakukan berbagai aplikasi seperti mengekstraksi fitur dari sinyal suara, yang kemudian dapat dianalisa lebih lanjut untuk kepentingan tertentu.

Proses mengenali bunyi suara masih cukup sulit dilakukan dikarenakan informasi dari data suara yang sedikit atau juga data suara yang ada terganggu dengan noise yang terjadi di sekitar. Penelitian pemrosesan suara memiliki tujuan untuk mengenali, data suara yang terkadang masih sulit dilakukan menggunakan pendengaran biasa manusia (Ranny et al., 2019).

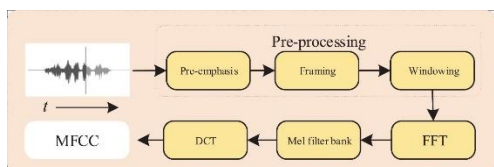
### 2.2. Sirene

Sirene adalah alat yang dapat mengeluarkan gelombang suara yang mendengung dengan keras. Suara sirene sering digunakan sebagai penanda bahwa sedang terjadinya keadaan darurat di sekitar. Sirene sering digunakan pada kendaraan darurat seperti ambulans, mobil polisi, dan kendaraan pemadam kebakaran. Kendaraan darurat yang terpasang dengan sirene memiliki bunyi yang berbeda sesuai dengan penggunaan dan penerapannya (Permana et al., 2022). Dalam Undang-Undang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Nomor 22 tahun 2009, kendaraan darurat ini diberi prioritas yang lebih tinggi daripada kendaraan lain.

### 2.3. MFCC

Menurut (Sanjaya & Salleh, 2014), Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) adalah metode yang sangat sering digunakan dalam bidang pemrosesan suara dikarenakan metode ini baik dalam mempresentasikan hasil sebuah sinyal suara. Proses ekstraksi ciri ini mengubah data yang berawal dari gelombang suara menjadi berbagai parameter cepstral coefficient yang dapat mempresentasikan sebuah data suara (Chamidy, 2016). Metode ini dikembangkan sekitar tahun 1980-an oleh Davis dan

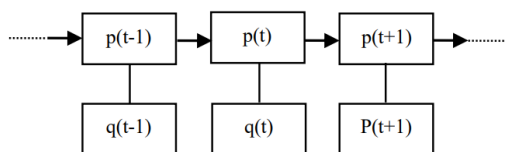
Mermelstein. Metode MFCC ini sering digunakan dalam aplikasi pemrosesan sinyal suara seperti voice recognition, speech recognition, atau gender recognition (Abdul and Al-Talabani, 2022). Metode MFCC ini melewati beberapa tahapan, yaitu: pre-emphasis, framing, windowing, Fast Fourier Transform (FFT), Mel-filter Bank, dan Discrete Cosine Transform (DCT).



Gambar 1. Tahapan MFCC  
Sumber: (Xia *et al.*, 2020)

### 2.4. HMM

Hidden Markov Model (HMM) merupakan sebuah model statistik dimana sistem yang dirancang menjadi model diasumsikan menjadi sebuah proses markov dengan kondisi yang tidak dapat diobservasi. Dalam Markov Model, setiap state dapat langsung diamati. Sehingga, setiap kemungkinan dari transtansi setiap kondisi menjadi parameter yang dapat diaamati. Sedangkan dalam HMM, sebuah state tidak dapat langsung diamati. Tetapi hasil yang dikeluarkan dari suatu state dapat dilihat. HMM dapat diaplikasikan dalam bidang pengenalan pola temporal, dan salah satunya pada pengenalan suara (Prasetyo, 2010).



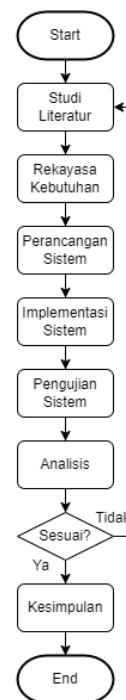
Gambar 2. Arsitektur Hidden Markov Model  
Sumber: (Jollyta *et al.*, 2010)

## 3. METODOLOGI

### 3.1. Tipe Penelitian

Penelitian ini termasuk ke dalam penelitian implementatif pengembangan. Penelitian Implementatif Pengembangan meliputi beberapa tahapan berupa analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian. Penelitian Implementatif Pengembangan diharapkan dapat memenuhi kekurangan yang terdapat pada penelitian sebelumnya.

### 3.2. Metodologi



Gambar 3. Diagram Alir Metode Penelitian

Gambar 3 menampilkan diagram alir yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian. Tahapan yang akan dijalani dalam penelitian ini dimulai dari studi literatur, Rekayasa Kebutuhan yang dibutuhkan oleh sistem, Perancangan dan Implementasi Sistem, Proses pengujian sistem dan analisis dari proses pengujian, dan pengambilan kesimpulan dan saran.

### 3.3. Akumulasi Data Penelitian

Dataset yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang diambil dari internet dengan nama SirenNet. Dataset ini berisikan data suara sirene kendaraan darurat yaitu suara sirene ambulans, sirene pemadam kebakaran, dan sirene polisi. Dataset ini telah melalui proses augmentasi dan memiliki durasi 3 detik.

## 4. REKAYASA KEBUTUHAN

### 4.1. Kajian Masalah

Dalam proses mendeteksi suara sirene kendaraan darurat digunakan nilai frekuensi atau desibel dari masing-masing sirene kendaraan darurat. Acuan ini cukup sulit digunakan dalam pengamatan yang dilakukan secara langsung dengan pendengaran manusia. Jangkauan frekuensi dan desibel yang dimiliki oleh setiap sirene kendaraan darurat sulit untuk dikenali oleh telinga manusia karena memiliki jangkauan yang hampir sama.

Oleh karena itu, perancangan alat pengenalan suara sirene kendaraan darurat ini sangat berguna. Alat ini dapat melakukan mengenali suara secara langsung. Penggunaan metode Hidden Markov Model diharapkan dapat memberikan hasil prediksi yang akurat.

**4.2. Kebutuhan Fungsional**

Kebutuhan fungsional sistem merupakan hal-hal yang dimiliki oleh sistem supaya kebutuhan yang diharapkan dapat dipenuhi. Beberapa kebutuhan fungsional dari sistem yang dibangun adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat mengakuisisi data audio berupa suara sirene kendaraan darurat. Sistem dapat merekam suara sirene kendaraan darurat melalui Mini USB Microphone yang terhubung ke Raspberry Pi 4. Data suara yang direkam akan disimpan dalam sistem dengan format berupa wav file.
2. Sistem dapat mengekstraksi fitur dari data suara yang telah direkam. Setelah sistem menyimpan data suara sirene kendaraan darurat dalam format wav file, sistem akan melakukan proses ekstraksi fitur menggunakan metode MFCC, kemudian menyimpan hasil ekstraksi fitur untuk dikategorikan.
3. Sistem dapat mengenali data input yang diberikan menjadi kelas yang tersedia yaitu ambulance, police, dan firetruck menggunakan Hidden Markov Model (HMM). Setelah data audio menempuh proses ekstraksi fitur MFCC, data tersebut dapat diprediksi menjadi salah satu kategori yang ada yaitu ambulans, pemadam kebakaran, dan polisi.
4. Sistem dapat menampilkan hasil prediksi dari data suara yang diberikan pada layar LCD. Hasil prediksi dari sistem akan ditunjukkan pada layar LCD melalui GUI yang berupa salah satu kategori yang telah dikenali.

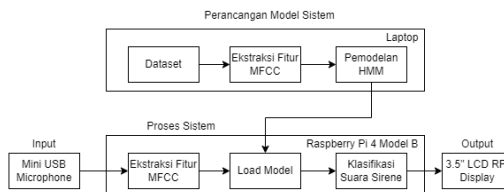
**4.3. Kebutuhan Non-Fungsional**

Kebutuhan non-fungsional sistem merupakan syarat yang perlu dipenuhi sehingga sistem yang dirancang dapat digunakan. Terdapat berbagai kebutuhan sistem ini berupa:

1. Dikarenakan sistem memerlukan daya untuk digunakan, sistem harus selalu terpasang dengan sumber daya 5V kepada port USB-C.
2. Dikarenakan sistem akan mengolah data dan melakukan prediksi suara, sistem memerlukan memori yang cukup untuk memuat model yang akan digunakan dan dapat mengkategorikan data suara yang diterima.

3. Dikarenakan dataset SirenNet memiliki durasi yang konstan yaitu 3 detik, maka proses perekaman suara pada sistem berdurasi 3 detik dan memotong data suara jika perekaman yang terjadi lebih dari 3 detik.

**5. PERANCANGAN SISTEM**



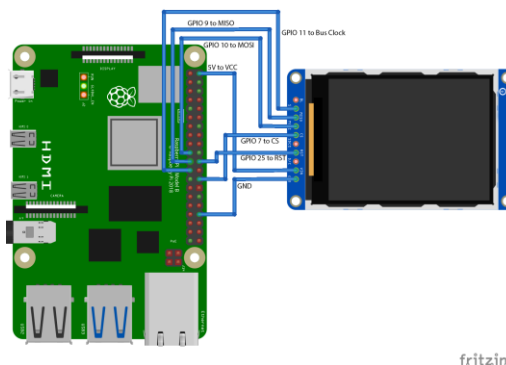
Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Gambar 4 merupakan blok diagram yang menggambarkan bagaimana sistem bekerja dan saling berhubungan. Blok diagram terbagi menjadi dua bagian sistem, proses perancangan model sistem dan proses perancangan perangkat keras dari input, proses sistem, dan output.

Proses perancangan model untuk sistem dilakukan di dalam laptop training model dan juga testing model. Dataset yang digunakan dalam proses training menggunakan dataset SirenNet yang berisikan data suara sirene kendaraan darurat yang telah dikategorisasikan. Dataset ini akan dilakukan proses ekstraksi fitur dengan metode MFCC. Setelah proses ekstraksi fitur, data akan digunakan untuk melakukan training model menggunakan HMM.

Pada proses perancangan perangkat keras, dimulai dari proses input dimana sistem akan menerima data suara melalui Mini USB Microphone untuk diproses. Pada bagian proses sistem, data suara yang diterima akan diproses untuk dilakukan ekstraksi fitur. Hasil ekstraksi fitur akan dikategorikan menggunakan model yang telah dibuat. Hasil prediksi yang dihasilkan akan ditampilkan menggunakan GUI di layar LCD.

**5.1. Perancangan Perangkat Keras**



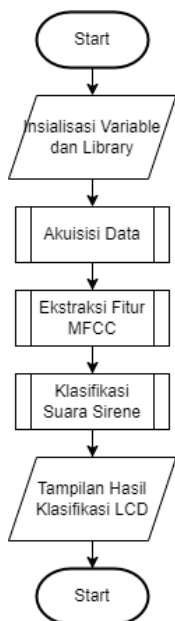
Gambar 5. Skematik Perangkat Keras

Gambar 5 mengilustrasikan skematik perangkat keras sistem. Skematik ini menjelaskan hubungan perangkat keras yang digunakan oleh sistem. Mini USB Microphone terhubung ke Raspberry Pi 4 melalui usb port. Terdapat tujuh pin utama yang terpasang antara microcomputer Raspberry Pi 4 dengan LCD Display, pin tersebut dijelaskan pada tabel 1

Tabel 1. Sambungan Pinout

Raspberry Pi 4	LCD Display
5V	Power Input (5V)
GND	GND
GPIO 10 (MI)	TP SPI Bus input (MOSI)
GPIO 9 (MO)	TP SPI Bus output (MISO)
GPIO 25 (IRQ)	TP Interrupt
GPIO 11 (SCK)	TP SPI Bus Clock (SCLK)
GPIO 7 (TCL)	TP Chip Select

### 5.2. Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 6. Diagram Alir Keseluruhan Sistem

Gambar 6 menampilkan diagram alir keseluruhan dari sistem. Sistem dimulai dari proses akuisisi data suara, melakukan proses ekstraksi fitur MFCC dari data yang telah diakuisisi, melakukan pengenalan suara sirene dengan model HMM, dan menampilkan hasil prediksi pada layar LCD.

Proses akuisisi data dibantu menggunakan library Pyaudio, dimana data suara akan disimpan dalam bentuk frames, yang kemudian digabungkan. Proses ini akan merekam data suara dengan durasi 3 detik dan disimpan dalam format wav.

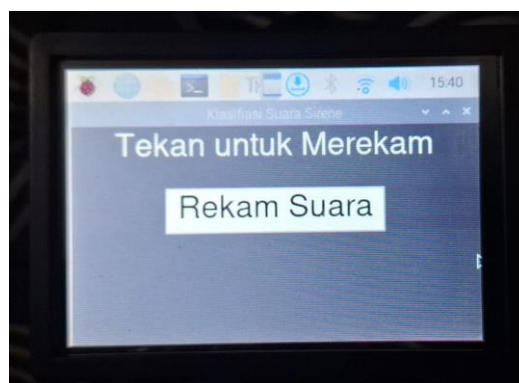
Proses ekstraksi fitur memanfaatkan library

librosa. Proses ini akan menggunakan data suara yang telah diakuisisi oleh program, memotong data yang memiliki durasi lebih 3 agar seluruh data yang diproses memiliki durasi yang sama. Hasil ekstraksi dari fitur akan disimpan untuk digunakan sebagai input untuk training model.

Proses pengenalan suara akan digunakan algoritma Hidden Markov Model untuk memprediksi suara sirene yang telah diakuisi, hasil prediksi ini akan ditampilkan pada LCD Display yang terhubung kepada microcomputer Raspberry Pi.

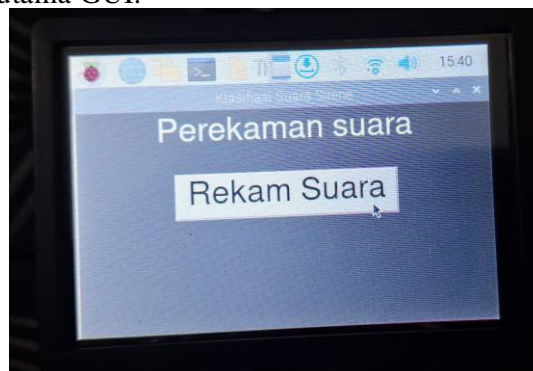
## 6. PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 6.1. Pengujian Implementasi Sistem Pengenalan Suara Sirene



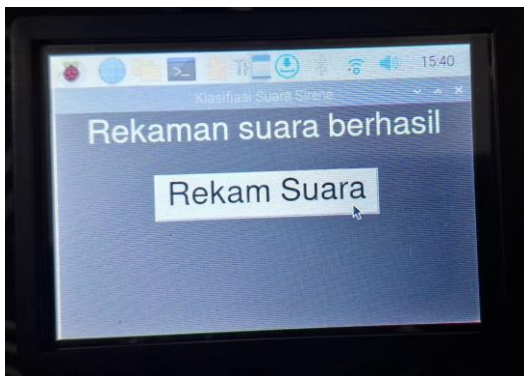
Gambar 7. Tampilan Utama Sistem

Perangkat keras yang telah dirancang dapat menyalakan layar LCD dan menampilkan tampilan GUI yang telah dibuat. Sistem akan menyala ketika Raspberry Pi 4 menerima sumber daya, dan LCD akan menampilkan layar utama GUI.



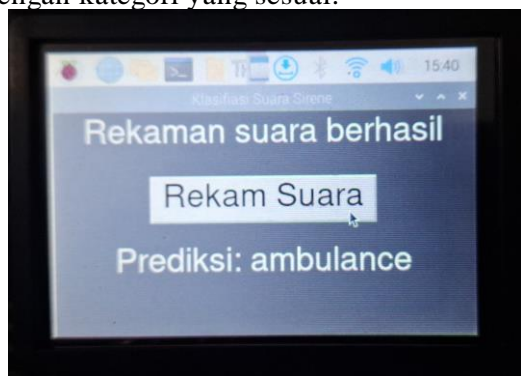
Gambar 8. Tampilan Tombol Ditekan

Menampilkan proses ketika tombol pada halaman utama system ditekan. Program akan langsung melakukan proses perekaman suara dengan menerima data suara melalui yang terhubung dengan raspberry pi 4.



Gambar 9. Tampilan Perekaman Berhasil

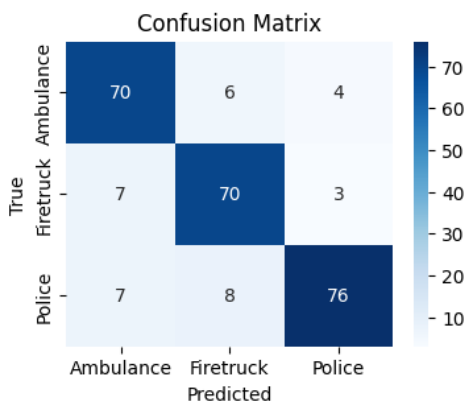
Tampilan layar ketika proses perekaman suara selesai. Data suara yang telah direkam akan disimpan dalam sistem dalam format wav file. Data suara ini akan diolah di dalam sistem sehingga data suara yang diterima dapat prediksi dengan kategori yang sesuai.



Gambar 10. Tampilan Hasil Prediksi

Pada bagian bawah program, akan ditampilkan hasil prediksi dari data yang telah diterima dari hasil pengenalan model yang berada di dalam sistem. Kelas yang dapat diprediksi oleh model system yaitu ambulans, pemadam kebakaran, dan polisi.

**6.2. Pengujian Akurasi Model Sistem Pengenalan Suara Sirene**



Gambar 11. Confusion Matrix Model

Grafik ini menampilkan nilai label true dan label predicted. Menggunakan confusion matrix, dapat dihitung nilai akurasi, presisi, recall, dan f1-score dengan menerapkan nilai True Positive, True Negative, False Positive, dan False Negative.

Tabel 2. Pengujian Model

Sirene	Presisi	Recall	F1-Score
Ambulans	0.83	0.88	0.85
Pemadam	0.83	0.88	0.85
Kebakaran			
Polisi	0.92	0.84	0.87
Akurasi			0.86

Berdasarkan pengujian ini, dapat dilihat bahwa model dapat mengenali berbagai suara sirene kendaraan darurat secara akurat, hal ini dapat dilihat dimana model memiliki nilai akurasi sebesar 86%.

**6.3. Pengujian Prediksi Suara Sirene pada Perangkat Keras**

Pengujian akurasi menggunakan perangkat keras merupakan proses untuk mengetahui hasil akurasi dari proses pengenalan suara sirene yang didapatkan. Pengujian ini dilakukan dengan memasukan data suara yang diketahui kategorinya. Pengujian ini bertujuan untuk mencari hasil yang sama antara kategori data yang dimasukan dan hasil prediksi yang diberikan oleh sistem.

Tabel 3. Akurasi Sistem

Sirene	Akurasi
Ambulans	80%
Pemadam	90%
Kebakaran	
Polisi	50%
Total	73.34%

Pada percobaan ini, suara sirene ambulans dan pemadam kebakaran memiliki akurasi yang cukup tinggi, dimana sistem mendapatkan akurasi sebesar 80% untuk sirene ambulans dan 90% untuk sirene pemadam kebakaran. Sedangkan pada kelas suara sirene polisi, akurasi yang didapatkan tidak terlalu tinggi dimana sistem hanya dapat mendeteksi 5 prediksi sesuai dari 10 data sirene polisi yang diuji.

**7. PENUTUP**

**7.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Implementasi sistem untuk mendeteksi

suara sirene kendaraan darurat sudah berjalan sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Perangkat keras yang telah dibangun dapat terhubung dengan baik dan layar yang digunakan dapat menampilkan program GUI yang telah dibuat. Microphone yang terhubung ke port USB Raspberry Pi 4 dapat merekam data suara untuk dilakukan percobaan.

2. Menggunakan metode Hidden Markov Model dalam perancangan model sistem. Model yang dibangun mendapatkan nilai akurasi yang cukup baik. Menggunakan Dataset SirenNet dengan pembagian data sebesar 80% untuk training model dan 20% untuk testing model. Model mendapatkan akurasi sebesar 86%.

3. Hasil prediksi yang dilakukan oleh alat yang telah dirancang menghasilkan nilai akurasi yang cukup baik, sistem dapat mendeteksi 22 data suara dari total 30 data yang dimasukkan. Alat yang dibangun mendapatkan akurasi 80% pada kelas sirene ambulans, 90% pada kelas pemadam kebakaran, dan 50% pada kelas polisi.

## 7.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian kedepannya yaitu:

1. Menambahkan dataset terutama pada kelas suara sirene polisi dengan tujuan untuk meningkatkan hasil akurasi dalam memprediksi data kelas polisi.

2. Menambahkan dataset yang berisikan suara jalan raya dimana tidak terdapat jenis suara sirene kendaraan darurat sehingga dapat mendeteksi jika tidak adanya suara sirene yang terdeteksi.

## 8. DAFTAR PUSTAKA

- Barai, B., Das, D., Das, N., Basu, S., Nasipuri, M. (2019). VQ/GMM-Based Speaker Identification with Emphasis on Language Dependency. In: Chaki, R., Cortesi, A., Saeed, K., Chaki, N. (eds) *Advanced Computing and Systems for Security. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 883. Springer, Singapore. doi.org/10.1007/978-981-13-3702-4\_8
- Chamidy, T. (2016). "Metode Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) Pada klasifikasi Hidden Markov Model (HMM) Untuk Kata Arabic pada Penutur Indonesia". MATICS: Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (Journal of Computer Science and Information Technology), 8(1), 36-39.
- Davis, S. and Mermelstein, P. (1980) "Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences". *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 28, 357-366. dx.doi.org/10.1109/TASSP.1980.1163420
- Howard, C. Q., Maddern, A. J., & Privopoulos, E. P. (2011). "Acoustic Characteristics For Effective Ambulance Sirens". *Acoustics Australia*, 39(2).
- Islam, Z., & Abdel-Aty, M. (2022). "Real-time emergency vehicle event detection using audio data". arXiv preprint arXiv:2202.01367. doi: doi.org/10.48550/arXiv.2202.01367
- Jollyta, D., Oktarina, D., & Johan, J. (2020). Tinjauan Kasus Model Speech Recognition: Hidden Markov Model. *JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika)*, 6(2), 202-209. doi: dx.doi.org/10.26418/jp.v6i2.39231
- Kusuma, Dine T. (2021). "Fast Fourier Transform (FFT) dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik." *Petir*, vol. 14, no. 1, doi:10.33322/petir.v14i1.1022.
- L. Shi, I. Ahmad, Y. He and K. Chang, (2018). "Hidden Markov model based drone sound recognition using MFCC technique in practical noisy environments," in *Journal of Communications and Networks*, vol. 20, no. 5, pp. 509-518, doi: 10.1109/JCN.2018.000075
- L. Rabiner and B. Juang, (1986). "An introduction to hidden Markov models" in *IEEE ASSP Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 4-16, doi: 10.1109/MASSP.1986.1165342
- L. R. Rabiner, (1989). "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, no. 2, pp. 257-286, Feb., doi: 10.1109/5.18626
- Manunggal, H. S. (2005). Perancangan dan pembuatan perangkat lunak pengenalan suara pembicara dengan menggunakan

- analisa MFCC feature extraction (Doctoral dissertation, Petra Christian University).
- Mittal, U., and Chawla, P. (2023). "Acoustic based emergency vehicle detection using ensemble of deep learning models". *Procedia Computer Science*, 218, 227-234. Available at: doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.005
- Permana, M., Fiolana, F., & W.K., Diah. (2022). "Klasifikasi Suara Sirene Menggunakan STFT (Short-Term Fourier Transform)". *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*. 1. 44-58. Available at: doi.org/10.51903/juisi.v1i3.414
- Prakasa, J. E. W. (2016). "ANTISIPASI KEDATANGAN KENDARAAN DARURAT MELALUI EMERGENCY MESSAGE PADA LINGKUNGAN VEHICULAR ADHOC NETWORK". *Jurnal SPIRIT*, 8, 12-16.
- Prasetyo, M. E. B. (2010). "Teori Dasar Hidden Markov Model". Makalah II2092 Probabilitas dan Statistik.
- Putra, D., & Resmawan, A. (2011). "Verifikasi biometrika suara menggunakan metode MFCC dan DTW". *Lontar Komputer*, 2(1), 8-21.
- Raspberry Pi Foundation. (2024). "Raspberry Pi 4 Model B Datasheet". Diperoleh dari <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>
- Republik Indonesia, (2009). "Undang-undang No.22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan". Jakarta.
- SANJAYA, W.S.M., SALLEH, Z., (2014). "Implementasi Pengenalan Pola Suara Menggunakan Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) dan Adaptive Neuro-Fuzzy Inferense System (ANFIS) sebagai Kontrol Lampu Otomatis", *Al-Hazen Journal of Physics*, 1(1), pp.44-54.
- Shah, Arya; Singh, Amanpreet (2023), "sireNNet-Emergency Vehicle Siren Classification Dataset For Urban Applications", *Mendeley Data*, V1, doi: 10.17632/j4ydzv4kb.1
- S. Sathruhan, O. K. Herath, T. Sivakumar and A. Thibbotuwawa. (2022). "Emergency Vehicle Detection using Vehicle Sound Classification: A Deep Learning Approach," 2022 6th SLAAI International Conference on Artificial Intelligence (SLAAI-ICAI), Colombo, Sri Lanka, pp. 1-6, doi: 10.1109/SLAAI-ICAI56923.2022.10002605.
- Tran, V.T. and Tsai, W.H., (2020). "Acoustic-based emergency vehicle detection using convolutional neural networks". *IEEE Access*, 8, pp.75702-75713. doi: doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988986
- Tran, V. T., Yan, Y. C., & Tsai, W. H. (2017). "Detection of ambulance and fire truck siren sounds using neural networks". *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(5).
- Xia L, Chen G, Xu X, Cui J, Gao Y. (2020). "Audiovisual speech recognition: A review and forecast". *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 17(6). doi:10.1177/1729881420976082
- Y. Atahan, A. Elbir, A. Enes Keskin, O. Kiraz, B. Kirval and N. Aydin. (2021). "Music Genre Classification Using Acoustic Features and Autoencoders," *Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, Elazig, Turkey, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ASYU52992.2021.9598979.
- Z. K. Abdul and A. K. Al-Talabani, (2022). "Mel Frequency Cepstral Coefficient and its Applications: A Review," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 122136-122158, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3223444.