

Inovasi Sirine Perlintasan Kereta Api berbasis Teknologi Ramah Lingkungan

Fariz Alrifo Maulana Syamsiadi ¹, Natriya Faisal Rachman ², Teguh Arifianto ³

^{1,3} Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun,
Jl. Tirta Raya, Kota Madiun, Jawa Timur, 63129

² Elektro Pelayaran, Politeknik Pelayaran Surabaya

Jl. Gunung Anyar Boulevard No.1, Surabaya, Jawa Timur, 60155

E-mail: ¹alrifo.tep20202133@taruna.ppi.ac.id, ²natriya.faisal@poltekel-sby.ac.id, ³teguh@ppi.ac.id

DOI : <https://doi.org/10.52620/sainsdata.v3i1.172>

Abstrak

Perlntasan kereta api memiliki peran krusial dalam sistem transportasi karena menjadi titik pertemuan antara jalur kereta dan jalan raya. Namun, keberadaannya juga berpotensi menimbulkan kecelakaan serta menghasilkan kebisingan yang dapat mengganggu lingkungan sekitar. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini merancang sistem sirine perlntasan yang tidak hanya berfungsi optimal dalam memberikan peringatan, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan. Sistem ini dikendalikan oleh arduino uno R3 yang mengatur kerja kit amplifier dan speaker dengan adaptor 12V sebagai sumber daya utama. Berbagai model sirine dikembangkan dan diuji dengan melibatkan responden untuk menilai tingkat kenyamanan serta intensitas kebisingan yang ditimbulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain sirine yang mempertimbangkan aspek akustik dan lingkungan dapat memberikan solusi peringatan suara yang lebih efisien. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan keselamatan di perlntasan kereta api tanpa mengorbankan kenyamanan pengguna jalan dan lingkungan sekitarnya.

Kata Kunci: Perlntasan Kereta Api, Jalan Raya, Kebisingan, Lingkungan, Sirine

Abstract

Railway crossings play a crucial role in the transportation system as they serve as intersections between railway tracks and roadways. However, their presence also poses potential risks of accidents and generates noise that may disrupt the surrounding environment. To address this issue, this study designs a railway crossing siren system that not only functions optimally in providing warnings but also considers environmental sustainability aspects. The system is controlled by arduino uno R3, which regulates the operation of the amplifier kit and speaker, with a 12V adapter as the main power source. Various siren models were developed and tested by involving respondents to assess comfort levels and the intensity of the noise produced. The findings indicate that a siren design that takes acoustic and environmental aspects into account can provide a more efficient auditory warning solution. This approach is expected to enhance railway crossing safety without compromising the comfort of road users and the surrounding environment.

Keywords: railway crossing, roadway, noise, environment, siren

PENDAHULUAN

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi darat yang memiliki signifikansi tinggi dalam sistem transportasi modern (Septiani & Suhermin, 2022; Hamid et al., 2024). Keandalan dalam hal ketepatan waktu, kapasitas angkut yang besar, dan efisiensi operasional menjadikannya pilihan utama bagi masyarakat dalam mobilitas sehari-hari untuk angkutan penumpang maupun barang (Susanto et al., 2020; Dahlan et al., 2021; Puteri, 2021; Aptana et al., 2023; Shafly et al.,



2023). Salah satu aspek krusial dalam operasional kereta api adalah perlintasan sebidang yang berfungsi sebagai titik temu antara jalur kereta api dan jalan raya pada ketinggian yang sama (Kelo et al., 2020; Iswanto et al., 2022; Handoko et al., 2024). Meskipun perlintasan ini memungkinkan kelancaran pergerakan kendaraan dan pejalan kaki melintasi jalur kereta api, keberadaannya juga menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan. Sistem manajemen perlintasan yang efektif sangat diperlukan untuk menjamin keselamatan pengguna jalan serta memastikan kelancaran lalu lintas kereta api.

Perlintasan sebidang sering kali menjadi titik kritis dalam jaringan transportasi akibat tingginya tingkat kecelakaan yang terjadi di lokasi tersebut (Sukmarini & Ridho, 2022). Beberapa faktor utama yang menyebabkan insiden kecelakaan meliputi rendahnya kepatuhan pengguna jalan terhadap regulasi lalu lintas (Kristo et al., 2021; Riyanta et al., 2022) dan efektivitas sistem peringatan yang masih terbatas (Oktaria et al., 2021; Insiyah & Pura, 2022). Banyak pengendara yang mengabaikan sinyal peringatan atau bahkan dengan sengaja menerobos palang pintu perlintasan sehingga meningkatkan potensi kecelakaan fatal (Mahmud, 2020; Rozaq et al., 2021; Wirawan et al., 2021; Antono, 2023; Leliana et al., 2023; Pujindasiwi et al., 2023; Iswanto et al., 2024; Leliana et al., 2024; Zuhair et al., 2024). Selain itu, sistem peringatan di sejumlah perlintasan masih kurang efisien dari segi jangkauan suara sirine maupun kejelasan sinyal sehingga tidak selalu memberikan peringatan dini yang memadai bagi pengguna jalan untuk mengantisipasi kedatangan kereta api (Insiyah & Pura, 2022; Kamila et al., 2023; Leliana et al., 2023; Waruwu et al., 2024).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efektivitas sistem peringatan di perlintasan kereta api untuk memitigasi risiko kecelakaan. Penelitian yang dilakukan oleh (Suyetno, 2022; Satria et al., 2024) mengindikasikan bahwa penggunaan sirine sebagai sistem peringatan berbasis suara dapat meningkatkan kesadaran pengguna jalan terhadap keberadaan kereta api yang melintas. Penelitian lain oleh (Sianipar, 2020) menekankan pentingnya aspek desain akustik dalam pengembangan sistem sirine yang bertujuan untuk meminimalkan dampak kebisingan terhadap lingkungan sekitar. Selain itu, penelitian oleh (Satria et al., 2024) mengungkapkan bahwa penerapan teknologi berbasis mikrokontroler dalam sistem peringatan dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sirine sehingga memungkinkan pemberian peringatan yang lebih akurat dan tepat waktu. Sementara itu, penelitian oleh (Peker & Yildiz, 2022) menyoroti dampak negatif kebisingan yang ditimbulkan oleh sistem peringatan konvensional serta urgensi pengembangan desain sirine yang lebih ramah lingkungan.

Berdasarkan berbagai permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem sirine perlintasan kereta api yang tidak hanya efektif dalam memberikan peringatan tetapi juga mempertimbangkan aspek kenyamanan pendengaran serta dampak terhadap lingkungan sekitarnya. Beberapa aspek utama yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi mekanisme pengendalian sirine berbasis mikrokontroler agar dapat beroperasi secara optimal, evaluasi hasil pengujian terhadap sistem yang telah dikembangkan, dan analisis terhadap berbagai model sirine dalam kaitannya dengan tingkat kenyamanan auditori di sekitar perlintasan kereta api. Diharapkan pendekatan ini mampu menghasilkan sistem peringatan yang lebih optimal dalam meningkatkan keselamatan transportasi perkeretaapian.

Metode penelitian mencakup perancangan sistem sirine berbasis mikrokontroler *arduino uno* sebagai unit pengendali utama. Mikrokontroler ini berfungsi untuk mengatur operasi *amplifier* untuk memperkuat frekuensi suara sehingga sirine dapat menghasilkan sinyal peringatan yang jelas dan dapat didengar dengan baik oleh pengguna jalan. Pengujian dilakukan dalam rentang frekuensi 600-800 Hz untuk menentukan tingkat frekuensi yang paling nyaman didengar dan tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitar. Selain itu, penelitian ini melibatkan responden untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan suara sirine serta dampaknya terhadap pengguna jalan dan komunitas di sekitar perlintasan. Data yang diperoleh dianalisis untuk menentukan model sirine yang paling efektif dan memiliki dampak lingkungan minimal.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem sirine yang tidak hanya optimal dalam meningkatkan keselamatan tetapi juga meminimalkan polusi suara yang berlebihan. Hasil yang diperoleh dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem peringatan di berbagai perlintasan kereta api lainnya sehingga mendukung peningkatan keselamatan transportasi tanpa mengorbankan kenyamanan masyarakat sekitar. Selain berkontribusi dalam aspek keselamatan perkeretaapian, penelitian ini juga berperan dalam inovasi teknologi transportasi melalui pengembangan sistem peringatan yang lebih efisien. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengguna jalan, operator kereta api, dan menjadi referensi dalam perancangan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan di masa depan.

METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Alat

Perancangan perangkat ini diawali dengan proses perakitan komponen utama untuk membentuk sistem terintegrasi yang terdiri dari komponen penerima *input*, pemroses data, dan penghasil *output*. Penyusunan *wiring diagram* dilakukan untuk memastikan koneksi antar komponen berlangsung secara optimal serta membangun *hardware* yang dapat beroperasi dengan baik (Ayuba et al., 2025). Beberapa *hardware* yang digunakan memerlukan dukungan *software* untuk meningkatkan efisiensi sistem. Salah satu *software* utama yang digunakan adalah *arduino IDE* yang berperan sebagai lingkungan pengembangan terintegrasi untuk menulis serta mengunggah kode ke mikrokontroler *arduino uno R3*. Selain itu, pemrograman perangkat dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *arduino* berbasis C/C++ untuk mendukung pengoperasian berbagai komponen dalam sistem.

Tahap perancangan ini mencakup analisis komprehensif terhadap setiap komponen yang digunakan termasuk desain keseluruhan yang meliputi tata letak serta integrasi antar komponen. Sistem ini menggunakan *arduino uno R3* sebagai pusat pengendalian utama yang mengatur seluruh operasi perangkat. Mikrokontroler ini bertugas mengirimkan sinyal aktivasi ke *kit amplifier* yang selanjutnya meneruskan sinyal tersebut ke speaker untuk menghasilkan suara sirine dengan intensitas yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Sumber daya utama berasal dari adaptor 12V yang berfungsi menyediakan tegangan untuk mendukung pengoperasian seluruh sistem. Perancangan ini diharapkan menghasilkan perangkat yang mampu berfungsi secara optimal dalam memberikan peringatan melalui sistem sirine yang efektif dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta menguji beberapa perangkat untuk melakukan perbandingan terhadap performa dan kualitas suara yang dihasilkan. Pengujian ini akan menghasilkan informasi yang berharga terkait keluaran suara dari speaker serta efektivitas sistem sirine yang telah dirancang. Selain itu, penelitian ini juga menitikberatkan pada aspek kenyamanan pengguna dan keberlanjutan lingkungan khususnya dalam meminimalkan dampak kebisingan terhadap masyarakat sekitar. Pendekatan perancangan yang terstruktur diharapkan mampu menghasilkan mekanisme sirine peringatan yang tidak hanya meningkatkan keselamatan tetapi juga mempertimbangkan faktor ergonomi dan kelestarian lingkungan.



Gambar 1. Blok diagram perancangan alat
Sumber: (Dokumentasi penulis, 2023)

2.2 Konfigurasi *Arduino Uno* dengan *Kit Amplifier*

Konfigurasi *arduino uno* dan *kit amplifier* bertujuan meningkatkan daya *output* audio agar menghasilkan suara lebih kuat setelah menerima sinyal dari mikrokontroler. *Kit amplifier* berperan dalam memperkuat sinyal audio sehingga memungkinkan sistem menghasilkan keluaran suara dengan intensitas optimal. Kedua perangkat menggunakan sumber daya yang sama (DC 12V) untuk memastikan kinerja tetap stabil dan efisien. Jika tegangan yang diberikan lebih rendah dari kebutuhan, *kit amplifier* mungkin tidak berfungsi maksimal sehingga *speaker* tidak dapat menghasilkan suara dengan intensitas yang diharapkan. Proses konfigurasi dilakukan melalui koneksi dua pin dari sensor ke *arduino uno* yang kemudian meneruskan sinyal ke *kit amplifier* untuk diproses lebih lanjut. Secara teknis, *kit amplifier* memiliki enam pin dengan konfigurasi dua pin terhubung ke mikrokontroler *arduino*, dua pin tersambung ke *speaker*, dan dua pin lainnya berfungsi sebagai koneksi ke sumber daya. Konfigurasi yang dirancang secara optimal diharapkan dapat meningkatkan kualitas audio serta memastikan perangkat beroperasi dalam kondisi stabil dan efisien.

Tabel 1. Konfigurasi pin pada *arduino* dan *kit amplifier*

<i>Arduino Uno</i>	<i>Kit Amplifier</i>
<i>Vin (power adaptor)</i>	<i>Input</i>
GND	GND

2.3 Pengembangan *Software Arduino*

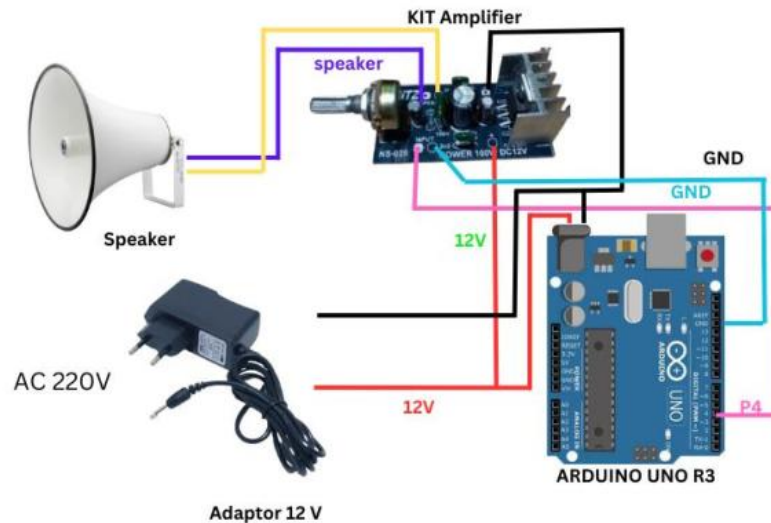
Pengembangan program dalam lingkungan *arduino IDE* berfungsi sebagai unit kendali utama untuk mengoperasikan berbagai komponen sesuai dengan struktur sistem yang dirancang. Tahapan awal pemrograman diawali dengan penetapan *pin* yang akan digunakan untuk menghubungkan *arduino* dengan perangkat eksternal (*speaker* dan *relay*). Setiap *pin* diberi nomor identifikasi yang spesifik (contohnya *const int SPEAKER = 4;*) yang mengindikasikan bahwa *speaker* tersambung ke *pin* digital 4. Pemanfaatan kata kunci *const* menunjukkan bahwa nilai variabel tersebut bersifat tetap dan tidak dapat mengalami perubahan selama program berjalan.

Fungsi *setup()* berperan dalam mengatur konfigurasi awal untuk menentukan apakah masing-masing *pin* akan berfungsi sebagai *input* atau *output* sesuai dengan kebutuhan sistem. Sebagai ilustrasi, perintah *pinMode(RELAY, OUTPUT);* digunakan untuk mengonfigurasi *pin* yang terhubung ke *relay* pada *kit amplifier* agar berfungsi sebagai *output* sehingga arus listrik dapat dikontrol sesuai kebutuhan. Bagian inti dari program terletak pada fungsi *loop()* yang memungkinkan eksekusi instruksi secara berulang. Perintah *digitalWrite()* digunakan untuk mengaktifkan *relay* yang pada akhirnya sirine dapat mengeluarkan suara. Selain itu, perintah *tone()* dimanfaatkan untuk menghasilkan frekuensi suara tertentu sesuai dengan parameter sistem yang telah ditentukan. Implementasi kode yang tersusun secara sistematis memastikan perangkat dapat berfungsi secara optimal dan sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah dirancang.

2.4 Perancangan dan Pengembangan Perangkat

Untuk memastikan proses perancangan alat berlangsung secara terstruktur, tahap persiapan memainkan peran yang sangat krusial yang meliputi perencanaan desain serta penyusunan diagram rangkaian yang detail. *Wiring diagram* digunakan sebagai representasi visual yang memberikan pemahaman menyeluruh mengenai keterkaitan antar komponen dalam sistem. Diagram ini berfungsi sebagai alat bantu dalam menganalisis konektivitas dan integrasi komponen sehingga setiap bagian perangkat dapat beroperasi dengan optimal sesuai rancangan awal. Dalam proses pembuatan *wiring diagram*, diperlukan ketelitian dalam menentukan posisi serta koneksi antar komponen untuk meminimalkan potensi kesalahan saat implementasi fisik. Pemilihan *software* yang sesuai menjadi faktor penting agar diagram yang dihasilkan tidak hanya akurat tetapi juga mudah dipahami oleh perancang dan teknisi yang akan melakukan perakitan.

Untuk meningkatkan keterbacaan serta kejelasan visual, *software canva* digunakan dalam penyusunan *wiring diagram* dengan tampilan yang lebih estetik dan informatif. *Canva* menawarkan berbagai fitur yang memungkinkan pengguna menyusun diagram secara fleksibel seperti pemilihan ikon, bentuk, dan pengaturan warna yang mendukung visualisasi yang lebih jelas dan sistematis (Rambe et al., 2023).



Gambar 2. Desain *wiring diagram*
Sumber: (Dokumentasi penulis, 2023)

Tahap perancangan dimulai dengan memasukkan komponen utama (*arduino uno*), kemudian secara bertahap menambahkan elemen lain yang berperan dalam sistem (sensor, aktuator, dan modul komunikasi). Diagram rangkaian yang dihasilkan tidak hanya membantu dalam memahami fungsi dan peran masing-masing komponen dalam keseluruhan sistem tetapi juga menjadi referensi utama dalam proses implementasi. Selain itu, tahap ini mencakup penentuan posisi serta konektivitas antar komponen untuk memastikan aliran sinyal dan interaksi antar bagian dapat dianalisis dengan lebih efektif. *Wiring diagram* yang tersusun secara sistematis akan mempermudah proses *debugging* dan *troubleshooting* apabila terjadi kendala selama perakitan atau pengoperasian perangkat. Penggunaan *canva* dalam pembuatan *wiring diagram* memberikan fleksibilitas dalam pengaturan tata letak dan penyajian informasi yang lebih sistematis sehingga diagram yang dihasilkan tidak hanya mendukung proses perakitan tetapi juga dapat digunakan sebagai dokumentasi teknis yang berharga dalam pengembangan sistem lebih lanjut. *Wiring diagram* yang tersusun dengan baik akan meningkatkan efisiensi implementasi perangkat sekaligus mempermudah pemeliharaan dan peningkatan sistem di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Intensitas Suara Kebisingan

Uji intensitas suara dilakukan untuk menilai kinerja masing-masing model sirine dalam berbagai kondisi frekuensi tertentu. Pengujian ini mencakup pengukuran intensitas suara dalam satuan *desibel* (dB) pada rentang frekuensi yang telah ditetapkan. Pemilihan rentang frekuensi dilakukan secara cermat agar mencakup spektrum suara yang sering digunakan dalam sistem peringatan. Selain itu, pemilihan frekuensi mempertimbangkan efektivitas sirine dalam berbagai kondisi di lingkungan terbuka maupun tertutup. Hasil uji ini dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kemampuan sirine dalam menghasilkan suara yang optimal sesuai dengan kebutuhan di lapangan.



Gambar 3. Penilaian level kebisingan pada sistem *speaker*
Sumber: (Dokumentasi penulis, 2023)

Selain menentukan rentang frekuensi, pengujian ini juga memperhitungkan interval antar frekuensi untuk memperoleh gambaran menyeluruh tentang respons akustik dari masing-masing model sirine. Pemilihan interval bertujuan untuk mengidentifikasi pola perubahan intensitas suara sehingga karakteristik akustik setiap sirine dapat dianalisis secara lebih mendalam. Pengukuran dilakukan dalam kondisi yang terkontrol untuk memastikan keakuratan dan validitas data yang diperoleh. Hasil pengujian ini akan menjadi acuan dalam memilih model sirine yang paling sesuai untuk diterapkan dalam sistem peringatan yang dirancang. Berikut merupakan data hasil pengujian perangkat keras yang telah dikumpulkan.

Tabel 2. Pengukuran kinerja *speaker* TOA dan Narae pada amplifier 32 Watt

No	Frekuensi (Hz)		Jarak (cm)	dB (TOA)		
	Low	High		10 Watt	12 Watt	15 Watt
1	400	600	100	108,6	108,1	108,2
2	600	800	100	108,5	108,5	107,8
3	800	1000	100	108,7	108,8	107,9
4	1000	1200	100	108,9	108,8	108,7
5	1200	1400	100	108,9	108,7	108,9
6	1400	1600	100	108,3	108,8	108,85
7	1600	1800	100	108,3	108,8	108,8
8	1800	2000	100	108,9	109	108,65
9	2000	2200	100	108,9	109	108,6
10	2200	2400	100	108,9	108,9	108,6

Sumber: (Hasil penelitian penulis, 2023)

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam tabel 2 dan 3, dapat disimpulkan bahwa perbandingan tingkat kebisingan antar *speaker* diuji pada jarak yang sama untuk memastikan keakuratan hasil. Pada frekuensi rendah (400-1000 Hz), ketiga jenis *speaker* (TOA 10 Watt, Narae 12 Watt, dan TOA 15 Watt) menunjukkan tingkat kebisingan yang hampir setara. Hal ini mengindikasikan bahwa pada rentang frekuensi tersebut, perbedaan daya *speaker* belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap intensitas suara. Namun, pada frekuensi tertentu, khususnya dalam rentang 1200-1400 Hz, *speaker* Narae 12 Watt cenderung menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah dibandingkan TOA 10 Watt dan TOA 15 Watt. Perbedaan ini menunjukkan bahwa selain daya, faktor desain dan komponen akustik juga berperan dalam menentukan intensitas suara pada frekuensi tertentu.

Tabel 3. Pengukuran kinerja *speaker* TOA dan Narae pada amplifier 12 Watt

No	Frekuensi (Hz)		Jarak (cm)	dB (TOA) 10 Watt	dB (Narae) 12 Watt	dB (TOA) 15 Watt
	Low	High				
1	400	600	100	108,6	107,65	107,6
2	600	800	100	108,55	108,15	107,5
3	800	1000	100	108,7	108,25	108,1
4	1000	1200	100	108,85	108,65	108,75
5	1200	1400	100	108,8	108,8	108,65
6	1400	1600	100	108,9	108,6	108,4
7	1600	1800	100	108,95	108,65	108,4
8	1800	2000	100	109	108,9	108,5
9	2000	2200	100	109	108,9	108,5
10	2200	2400	100	108,95	108,9	107,55

Sumber: (Hasil penelitian penulis, 2023)

Pada frekuensi yang lebih tinggi (1600-2400 Hz), pola perbedaan tingkat kebisingan antar ketiga *speaker* menjadi lebih konsisten. *Speaker* TOA 10 Watt dan Narae 12 Watt cenderung memiliki tingkat kebisingan yang lebih rendah dibandingkan dengan TOA 15 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang frekuensi tinggi, daya *speaker* yang lebih besar berpotensi menghasilkan suara dengan tingkat kebisingan yang lebih tinggi. Namun, dalam beberapa pengukuran, khususnya pada rentang frekuensi 1600-1800 Hz, hasil yang diperoleh dari *speaker* Narae 12 Watt menunjukkan sedikit variasi. Faktor lingkungan seperti pantulan suara dari sekitar, atau keterbatasan akurasi alat pengukuran kemungkinan menjadi penyebab perbedaan ini. Pengujian lanjutan dengan pengendalian kondisi lingkungan yang lebih baik diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih presisi.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan jenis dan daya *speaker* berpengaruh terhadap tingkat kebisingan yang dihasilkan pada berbagai frekuensi. Faktor seperti desain akustik, material konstruksi, dan konfigurasi internal *speaker* juga turut menentukan karakteristik kebisingan yang dihasilkan. Oleh karena itu, dalam merancang sistem peringatan suara, tidak hanya daya *speaker* yang perlu diperhatikan tetapi juga respons akustiknya pada frekuensi yang berbeda. Selain itu, pemilihan *speaker* harus mempertimbangkan kondisi lingkungan penggunaannya terutama dalam situasi di mana tingkat kebisingan dapat memengaruhi efektivitas sistem peringatan. Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai karakteristik kebisingan masing-masing *speaker*, dapat dilakukan optimasi dalam pemilihan dan penempatan perangkat untuk meningkatkan efisiensi sistem peringatan suara.

3.2 Analisis Perbandingan Frekuensi *Input* dan *Output*

Pada tahap ini, dilakukan serangkaian pengujian untuk membandingkan frekuensi input yang diatur dalam sistem dengan frekuensi *output* yang dihasilkan oleh *speaker*. Pengujian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem mampu mereproduksi frekuensi suara dengan akurasi tinggi sesuai dengan nilai *input* yang telah ditetapkan. Ketepatan frekuensi ini sangat krusial terutama dalam aplikasi seperti sistem peringatan suara di mana penyimpangan dalam frekuensi dapat memengaruhi efektivitas sinyal yang dikirimkan. Metode pengujian harus dirancang sedemikian rupa agar setiap variabel yang berpotensi mempengaruhi hasil dapat dikendalikan dengan baik.

Pada tahap awal, sistem dikonfigurasi untuk menghasilkan suara dengan frekuensi tertentu yang sesuai dengan nilai *input* yang telah ditentukan. Frekuensi input dipilih berdasarkan rentang yang umum digunakan dalam sistem peringatan suara sehingga hasil yang diperoleh dapat mencerminkan kinerja sistem dalam kondisi nyata. Setelah *input* diatur, sistem akan menghasilkan suara melalui *speaker*, dan frekuensi *output* yang dihasilkan direkam serta dianalisis untuk menilai tingkat kecocokannya dengan frekuensi *input*. Pengujian ini dilakukan

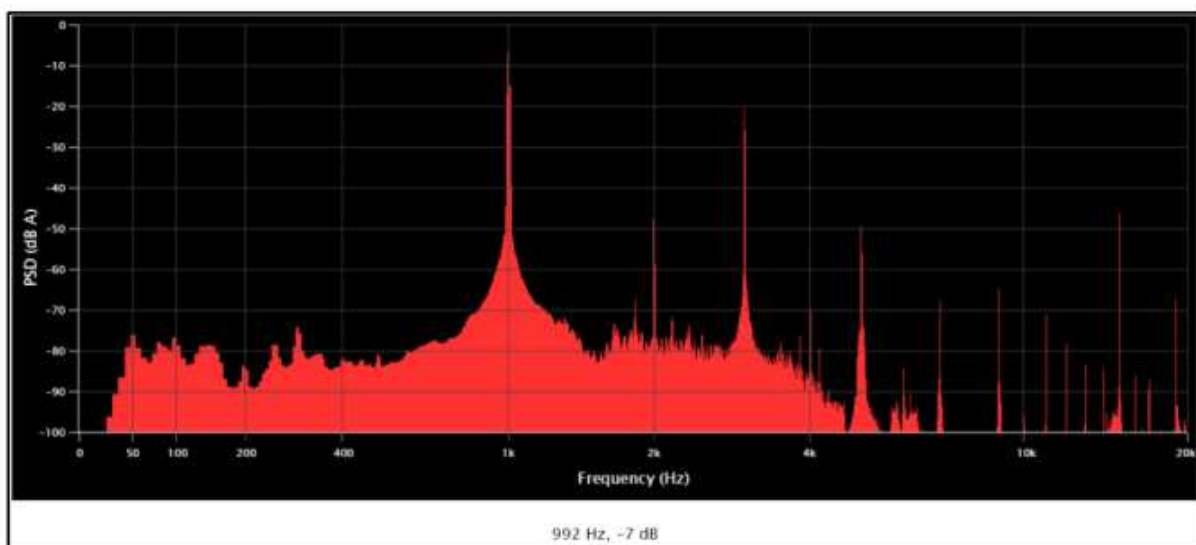
secara berulang pada berbagai frekuensi untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa sistem.

Selain mengevaluasi ketepatan frekuensi *output*, pengujian ini juga mempertimbangkan berbagai faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil, seperti karakteristik akustik lingkungan dan respons frekuensi *speaker*. Faktor lingkungan, seperti pantulan suara dari permukaan sekitar atau interferensi dari sumber suara lain, dapat menyebabkan distorsi dalam pengukuran. Pengujian dilakukan dalam kondisi yang terkendali untuk meminimalkan gangguan eksternal. Selain itu, karakteristik masing-masing *speaker*, termasuk desain membran dan daya keluaran juga dapat memengaruhi sejauh mana frekuensi *output* sesuai dengan *input* yang diberikan.



Gambar 4. Pengambilan data audio
Sumber: (Dokumentasi penulis, 2023)

Hasil pengujian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kemampuan sistem dalam menghasilkan frekuensi suara yang akurat. Dengan mengetahui sejauh mana sistem mampu mempertahankan kesesuaian antara *input* dan *output* frekuensi, pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan baik dari segi *hardware* maupun *software*. Penelitian ini juga dapat dijadikan acuan dalam merancang sistem peringatan suara yang lebih efektif dan dapat diandalkan sehingga dapat berfungsi secara optimal dalam berbagai kondisi operasional.



Gambar 5. Visualisasi frekuensi dengan metode FFT
Sumber: (Hasil penelitian penulis, 2023)

Dalam tahap analisis spektrum audio sirine, data diproses menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mentransformasikan sinyal audio dari domain waktu ke domain frekuensi sehingga diperoleh grafik frekuensi yang merepresentasikan distribusi energi dari setiap komponen frekuensi dalam sinyal suara sirine. Grafik ini menampilkan sumbu *X* (horizontal) yang menunjukkan nilai frekuensi yang diukur dan sumbu *Y* (vertikal) yang menggambarkan tingkat energi atau amplitudo dari masing-masing frekuensi. Representasi ini memungkinkan identifikasi perubahan spektrum audio seperti pergeseran frekuensi atau variasi amplitudo pada titik tertentu yang dapat menunjukkan adanya perubahan dalam karakteristik suara sirine.

Sebagai ilustrasi, peningkatan amplitudo pada frekuensi tertentu dalam grafik dapat mengindikasikan penguatan sinyal pada frekuensi tersebut, sementara penurunan amplitudo menunjukkan pelemahan sinyal. Analisis ini berperan penting dalam mengevaluasi performa sirine untuk memastikan bahwa suara yang dihasilkan tetap sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Proses pengukuran dilakukan secara konsisten pada berbagai nilai frekuensi untuk memperoleh hasil yang akurat sebagaimana disajikan dalam tabel 4 yang menampilkan hasil pengujian perangkat berdasarkan analisis yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 4. Hasil pengujian frekuensi *input* dan *output*

No	Frekuensi <i>Input</i> (Hz)	Frekuensi <i>Ouput</i> (Hz)					
		TOA 10 Watt		Narae 12 Watt		TOA 15 Watt	
		Ampli 12 Watt	Ampli 32 Watt	Ampli 12 Watt	Ampli 32 Watt	Ampli 12 Watt	Ampli 32 Watt
1	400	399	397	399	401	397	401
2	600	601	603	604	603	598	602
3	800	799	798	798	799	799	799
4	1000	992	992	997	997	997	992
5	1200	1200	1192	1200	1200	1200	1200
6	1400	1399	1399	1399	1399	1399	1399
7	1600	1596	1589	1596	1596	1596	1596
8	1800	1802	1802	1801	1802	1802	1802
9	2000	1996	1996	1996	2005	1996	2005
10	2200	2199	2201	2199	2199	2199	2199
11	2400	2399	2396	2399	2399	2399	2399

Sumber: (Hasil penelitian penulis, 2023)

Tabel 5. Perhitungan *error input* dan *output*

No	Frekuensi <i>Input</i> (Hz)	Perhitungan <i>Error (%)</i>					
		Frekuensi <i>Ouput</i> (Hz)					
		TOA 10 Watt		Narae 12 Watt		TOA 15 Watt	
Ampli 12 Watt	Ampli 32 Watt	Ampli 12 Watt	Ampli 32 Watt	Ampli 12 Watt	Ampli 32 Watt		
1	400	0,0025	0,0075	0,0025	0,0025	0,0075	0,0025
2	600	0,0017	0,0050	0,0067	0,0050	0,0033	0,0033
3	800	0,0013	0,0025	0,0025	0,0013	0,0013	0,0013
4	1000	0,0080	0,0080	0,0030	0,0030	0,0030	0,0080
5	1200	0,0000	0,0067	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	1400	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
7	1600	0,0025	0,0069	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
8	1800	0,0011	0,0011	0,0006	0,0011	0,0011	0,0011
9	2000	0,0020	0,0020	0,0020	0,0025	0,0020	0,0025
10	2200	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
11	2400	0,0004	0,0017	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004

Sumber: (Hasil penelitian penulis, 2023)

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan dalam tabel 4 dan 5, ditemukan adanya perbedaan antara frekuensi *output* dan *input* yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal yang dihasilkan oleh sistem tidak selalu sesuai dengan frekuensi yang dirancang. Beberapa faktor dapat memengaruhi perbedaan ini yaitu spesifikasi teknis *speaker* yang digunakan. Karakteristik akustik dan respons frekuensi dari *speaker* dapat mempengaruhi cara suara direproduksi sehingga terjadi perbedaan antara sinyal yang masuk dan keluar. Selain itu, performa amplifier yang berfungsi sebagai penguat sinyal juga berkontribusi terhadap akurasi frekuensi *output* yang dihasilkan.

Selain faktor *hardware*, kondisi lingkungan selama pengujian juga dapat berdampak pada hasil pengukuran frekuensi. Faktor seperti posisi mikrofon, pantulan suara dari permukaan di sekitar, dan gangguan atau interferensi dari sumber suara lain berpotensi menyebabkan distorsi dalam rekaman. Penggunaan mikrofon pada perangkat ponsel seluler dalam perekaman suara sirine juga dapat memengaruhi hasil pengujian. Ponsel umumnya dilengkapi dengan fitur pemrosesan suara otomatis yang dapat mengubah karakteristik frekuensi audio yang direkam dengan mereduksi *noise* maupun menyesuaikan amplitudo tertentu. Akibatnya, hasil rekaman tidak selalu merepresentasikan sinyal asli yang dihasilkan oleh sistem.

Kombinasi berbagai faktor tersebut menyebabkan adanya variasi antara frekuensi *input* dan *output* dalam pengujian ini. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan yang terjadi secara umum masih dalam batas toleransi yang wajar. Variasi kecil dalam frekuensi *output* tidak menyebabkan perubahan drastis pada karakteristik suara sirine yang diuji. Oleh karena itu, meskipun terdapat perbedaan frekuensi, hasil pengukuran tetap dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan terutama dalam memastikan bahwa sirine tetap berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Sebagai kesimpulan, faktor utama yang paling mempengaruhi perbedaan frekuensi *input* dan *output* adalah keterbatasan peralatan yang digunakan dalam proses perekaman audio. Keakuratan alat ukur, metode pengambilan data, dan kondisi lingkungan selama pengujian perlu dipertimbangkan agar hasil yang diperoleh lebih valid. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan alat ukur dengan spesifikasi yang lebih baik serta metode rekaman yang lebih akurat untuk meningkatkan keandalan data yang diperoleh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengujian dan analisis menunjukkan adanya perbedaan antara frekuensi yang diatur dalam sistem dengan frekuensi yang dihasilkan oleh *speaker*. Rata-rata frekuensi output mengalami deviasi sekitar 5% dari frekuensi *input* yang ditetapkan. Misalnya, pada input 1000 Hz, frekuensi *output* yang terdeteksi berkisar antara 950 Hz hingga 1050 Hz. Perbedaan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk spesifikasi teknis speaker, performa amplifier, dan kondisi akustik lingkungan saat pengujian. Selain itu, penggunaan perangkat perekaman dengan fitur pemrosesan suara otomatis turut menyebabkan distorsi pada hasil rekaman, sehingga memengaruhi variasi frekuensi yang diukur. Meskipun terdapat variasi antara frekuensi *input* dan *output*, analisis menunjukkan bahwa perbedaan tersebut masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk sistem peringatan suara. Pengujian pada berbagai frekuensi mengungkapkan bahwa deviasi rata-rata mencapai 7% untuk frekuensi di bawah 500 Hz, sementara pada frekuensi di atas 1000 Hz, deviasi lebih kecil, sekitar 3%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem lebih akurat dalam mereproduksi frekuensi tinggi dibandingkan frekuensi rendah. Oleh karena itu, sistem tetap dapat digunakan secara efektif dalam aplikasi peringatan suara, meskipun peningkatan pada perangkat keras dan metode pengolahan sinyal diperlukan untuk mengoptimalkan performanya.

Saran

Untuk meningkatkan akurasi frekuensi suara, disarankan menggunakan perangkat audio dengan spesifikasi lebih tinggi, seperti speaker dan amplifier dengan respons frekuensi yang lebih baik. Selain itu, pengujian sebaiknya dilakukan di lingkungan dengan akustik terkendali untuk mengurangi distorsi. Penggunaan perangkat perekaman serta analisis spektrum yang lebih presisi juga direkomendasikan agar hasil pengukuran lebih akurat.

REFERENSI

- Antono, L. (2023). Program Penanggulangan Kecelakaan Lalulintas di Perlintasan Kereta Api Sebidang di Wilayah Jawa Tengah. *Jurnal Academia Praja : Jurnal Magister Ilmu Pemerintahan*, 6(2), 287-298. <https://doi.org/10.36859/jap.v6i2.1736>
- Aptana, A., Arsyad, M. F., & Prasetyo, P. H. (2023). Analisis Perbandingan Sistem Persinyalan Konvensional Dengan CBTC Terhadap Headway Kereta Api. *Jurnal Teknik Transportasi*, 2(1), 68-85. <https://doi.org/10.54324/jtt.v2i1.7>
- Ayuba, A. A., Retnoningsih, E., & Kurniawan, A. . (2025). Perancangan Tempat Sampah Otomatis Menggunakan Penginderaan Objek Berbasis Arduino Uno R3. *JUPITER : Journal of Computer & Information Technology*, 6(1), 26-40. <https://doi.org/10.53990/jupiter.v6i1.420>
- Dahlan, D., Wibowo, H., Arsyad, M. F., Abdurachman, A. A., & Puspita, S. M. R. (2021). Transformasi Digital Perkeretaapian di Eropa dan Indonesia. *Jurnal Sistem Transportasi & Logistik*, 1(1), 19-26. <https://journal.itltrisakti.ac.id/index.php/jstl/article/view/630>
- Hamid, I., Said, L. B., & Syafey, I. (2024). Kajian Prilaku Masyarakat Dalam Menggunakan Moda Transportasi Umum Pasca Pengoperasian Kereta Api Rute Maros-Barru. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 5618-5628. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/17144>
- Handoko, H., Imron, N. A., & Leliana, A. (2024). Studi Keamanan dan Keselamatan Pengguna Jalan Raya Pada Perlintasan Sebidang Resmi Tidak Dijaga (Studi Kasus: Desa Klegen Serut Kabupaten Madiun). *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 8(2), 327-335. <https://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt/article/view/10384>
- Insiyah, H. & Pura, M. H. (2022). Aspek Hukum Perlintasan Kereta Api Ilegal di Wilayah Warung Bambu Karawang. *Jurnal Meta-Yuridis*, 5(1), 20-35. <https://doi.org/10.26877/m-y.v5i1.8714>
- Iswanto, A. P., Puspitasari, M. D., & Wirawan, W. A. (2024). Bimbingan Teknis Penyegaran Penjaga Pintu Perlintasan Kereta Api Dinas Perhubungan Garut. *Madiun Spoor : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 74-81. <https://doi.org/10.37367/jpm.v4i1.355>
- Iswanto, A. P., Puspitasari, M. D., Imron, N. A., & Mayangsari, A. V. D. (2022). Analisis Peningkatan Keselamatan Pada Perlintasan Sebidang Kereta Api Tanggulangin-Porong (Studi Kasus : JPL 75 KM 31+368). *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 9(2), 92-102. <https://doi.org/10.46447/ktj.v9i2.433>
- Kamila, F. I., Christianto, D., & Angkat, H. R. S. (2023). Analisis Keselamatan Pada Perlintasan Sebidang No. 46 Jl. KH. Ahmad Dahlan Jakarta Timur. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 731-744. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.24909>
- Kelo, G. M. D., Jehudu, G. F. N., Ruktiningsih, R. (2020). Evaluasi Perlintasan Sebidang Jalan Rel Dengan Jalan Raya Di Kota Semarang (Studi Kasus Perlintasan Sebidang Di Jalan Sadewa, Jembawan Raya Dan Stasiun Jrahah). *Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata : G-SMART*, 4(2), 69-81. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v4i2.1876>

- Kristo, T., Rubianto, L., & Kristianti, P. L. A. (2021). Observasi Perilaku Tidak Patuh di Lintas Sebidang oleh Pengendara Motor dan Angkutan Kota saat Peak Hour dan Non-Peak Hour. *Jurnal Ilmiah Psikologi Manasa*, 10(2), 121-132. <https://doi.org/10.25170/manasa.v10i2.2867>.
- Leliana, A., Imandita, V., Puspitasari, A., & Apriliani, N. F. (2023). Pemetaan Pola Persebaran Kecelakaan Pada Perlintasan Sebidang di Jawa Timur. *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun*, 9(1), 56-62. <https://ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/rancangbangun/article/view/2275>
- Leliana, A., Soimun, A., Puspitasari, A., & Apriliani, N. (2024). Studi Biaya Kecelakaan Di Perlintasan Sebidang Berpalang Pintu dan Tanpa Palang Pintu di Jawa Timur. *Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE)*, 6(2), 95-101. <https://www.lppm-unbaja.ac.id/ejournal/index.php/josce/article/view/3336>
- Mahmud, M. (2020). Pelanggaran Hukum Kelalaian Petugas Penjaga Palang Pintu Perlintasan Kereta Api (Studi Kasus di Daop 8 Surabaya). *Dinamika, Jurnal Ilmiah Ilmu Hukum*, 26(9), 1156-1166. <https://jim.unisma.ac.id/index.php/jdh/article/view/7156>
- Oktaria, D. S., Desei, F. L., & Darmawan, A. (2021). Kajian Lalu-Lintas di Perlintasan Sebidang Resmi Tidak Dijaga Jalan Raya Beji dan Jalan Yonkav Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(2), 296-308. <http://dx.doi.org/10.31602/jk.v4i2.6436>
- Peker, R. & Yildiz, K. (2022). Railway Noise Pollution: An Investigation of Rail Systems in Terms of Noise Pollution Regulations and Land Usage. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 983-992. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1129676>
- Pujindasiwi, N., Leliana, A. & Muhardono, M. (2023). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Masyarakat Terhadap Early Warning System Saat Melintas di Perlintasan Sebidang Tanpa Palang Pintu. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 28(2), 47-53. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v28i2.2593>
- Puteri, T. D. (2021). Kualitas Pelayanan PT. Kereta Api Logistik. *Jurnal Inovasi Sektor Publik*, 1(1), 228-247. <https://doi.org/10.38156/jisp.v1i1.259>
- Rambe, R. N., Lubis, A. A., Suaimah, N., & Siregar, P. S. (2023). Aplikasi Canva Sebagai Media Ajar Poster Pada Siswa Smp, Menggunakan Metode Systematic Literature Review. *Jurnal Dunia Pendidikan*, 3(3), 197-211. <https://jurnal.stokbinaguna.ac.id/index.php/JURDIP/article/view/1255>
- Riyanta, W., Wiarco, Y. & Handoko, H. (2022). Sosialisasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Kepada Penjaga Jalan Lintasan Persimpangan Sebidang Jawa Timur Dengan Metode Praktik. *Jurnal Abdimas Patikala*, 2(2), 591-598. <https://doi.org/10.51574/patikala.v2i2.595>
- Rozaq, F., Wirawan, W. A., Rachman, N. F., Handoko, H., & Zulkarnaen, A. (2021). Sosialisasi Keselamatan Perkeretaapian untuk Meningkatkan Peran Masyarakat Tertib Berlalu Lintas di Perlintasan Sebidang. *Madiun Spoor : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(1), 13-22. <https://doi.org/10.37367/jpm.v1i1.139>
- Satria, G., Oktaria, D. S., Prodjodjowati, I. S., & Prasetyo, A. Y. (2024). Perancangan Prototipe Early Warning System Berbiaya Murah Untuk Perlintasan Sebidang Tanpa Penjagaan. *Variable Research Journal*, 1(3), 918-927. <https://variablejournal.my.id/index.php/VRJ/article/view/129>
- Septiani, A. T. & Suhermin, S. (2022). Pengaruh Harga, Keamanan, dan Kemudahan Terhadap Keputusan Pembelian Tiket Kereta. *Jurnal Ilmu dan Riset Manajemen*, 11(11). <https://jurnalmahasiswa.stiesia.ac.id/index.php/jirm/article/view/5013>
- Shafly, M. A., Khairunnisa, R., Al Fauzan, N. N., & Rizkyanfi, M. W. (2023). Pengembangan Sistem Logistik Dalam Meningkatkan Daya Saing Nasional. *Jurnal Bisnis, Logistik Dan Supply Chain (BLOGCHAIN)*, 3(2), 62-67. <https://doi.org/10.55122/blogchain.v3i2.726>

- Sianipar, A. (2020). Kajian Penerapan Teknologi Pintu dengan Pagar Otomatis dan Yellow Box di Perlintasan Sebidang. *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 22(1), 91-102. <http://dx.doi.org/10.25104/jptd.v22i1.1463>
- Sukmarini, H. & Ridho, M. (2022). Identifikasi Titik Kemacetan Lalulintas Pada Koridor Jalan Lenteng Agung Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan Dan Penanganannya. *Jurnal Ilmiah Plano Krisna*, 18(2), 1-15. <https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/plano/article/view/48>
- Susanto, P. C., Suryawan, R. F., Hartono, H., & Arief, M. I. (2020). Optimalisasi Kereta Api Airport Railink Services Kualanamu Mendukung Kegiatan Operasional Bandara. *Aviasi : Jurnal Ilmiah Kedirgantaraan*, 17(2), 54-65. <https://doi.org/10.52186/aviasi.v17i2.60>
- Suyetno, A. (2022). Pengembangan Palang Pintu Perlintasan Kereta Api dengan Kendali Remot dan Sensor Getar dengan LDmicro. *TEKNO : Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan*, 32(2), 275-285. <https://journal2.um.ac.id/index.php/tekno/article/view/30219>
- Waruwu, D., Al Hafiz, A., & Pane, D. H. (2024). Implementasi Teknik Counter Buka Tutup Jalan Raya Pada Perlintasan Kereta Api Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Sistem Komputer TGD*, 3(2), 54-63. <https://doi.org/10.53513/jursik.v3i2.7079>
- Wirawan, W. A., Rachman, N. F., Atmaja, D. S., Rozaq, F., & Arifianto, T. (2021). Pelatihan Simulasi Kondisi Darurat pada Pintu Perlintasan Sebidang Kereta Api di JPL 01 Madiun. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Semangat Nyata Untuk Mengabdi (JKPM Senyum)*, 1(2), 73-78. <https://doi.org/10.52920/jkpmsenyum.v1i2.45>
- Zuhair, A., Enggar Alfaizi, G., Widoretno, S., & Yusofa, D. (2024). Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Otomatis Dengan Fitur Pengangkatan Permukaan Jalan Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Rekayasa Energi*, 3(2), 79-86. <https://doi.org/10.31884/jre.v3i2.65>