

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM

¹Rivaldus Longges, ²Basitha Febrinda Hidayatulail, ³Andrijani Sumarahinsih
Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang
Jalan Terusan Dieng. 62-64 Klojen, Pisang Candi, Kec.Sukun,
Kota Malang, Jawa Timur 65146
¹longgesrivaldus@gmail.com,
²Basitha@unmer.ac.id, ³andrijnisumarhinsih@unmer.ac

ABSTRAK

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi informasi. Penelitian ini mengembangkan sistem komunikasi audio berbasis VLC dengan menggunakan laser diode (LD) sebagai pemancar dan solar panel sebagai penerima sinyal audio. Sistem ini dirancang untuk mengevaluasi performa transmisi suara dalam berbagai kondisi pencahayaan (terang dan gelap), jarak (1–48 meter), serta variasi sudut pancar dan pantulan cahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan audio secara stabil hingga jarak 48 meter, baik dalam kondisi terang maupun gelap. Namun, kualitas suara yang diterima cenderung lebih tinggi dan stabil dalam kondisi gelap, dengan nilai dB rata-rata di atas 90 dB, serta minim gangguan cahaya lingkungan. Selain itu, nada tinggi seperti la, sol, dan si menunjukkan kualitas paling baik dalam kedua kondisi. Pengujian sudut pancar dan pantulan melalui cermin juga membuktikan bahwa sistem tetap efektif meskipun sudut dan jarak bertambah, terutama dalam lingkungan dengan intensitas cahaya rendah. Dari keseluruhan hasil, sistem *VLC* berbasis laser ini terbukti sebagai alternatif komunikasi audio nirkabel yang efisien, hemat daya, dan tahan interferensi elektromagnetik, serta sangat cocok untuk digunakan di lingkungan indoor gelap atau area yang sensitif terhadap gelombang radio.

Kata kunci: Visible Light Communication, laser diode, solar panel, komunikasi audio, intensitas cahaya, kualitas suara.

ABSTRACT

Visible Light Communication (VLC) is a wireless communication technology that utilizes visible light as a medium for transmitting information. This study develops a VLC-based audio communication system using a laser diode (LD) as a transmitter and a solar panel as an audio signal receiver. This system is designed to evaluate the performance of voice transmission in various lighting conditions (bright and dark), distances (1–48 meters), and variations in the angle of light transmission and reflection. The test results show that the system is able to transmit audio stably up to a distance of 48 meters, both in bright and dark conditions. However, the sound quality received tends to be higher and more stable in dark conditions, with an average dB value above 90 dB, and minimal interference from environmental light. In addition, high tones such as la, sol, and si show the best quality in both conditions. The test of the beam angle and reflection through the mirror also proved that the system remains effective even though the angle and distance increase, especially in low light intensity environments. From the overall results, this laser-based VLC system is proven to be an efficient, power-saving, and electromagnetic interference-resistant wireless audio communication alternative, and is very suitable for use in dark indoor environments or areas sensitive to radio waves.

Keywords: Visible Light Communication, laser diode, solar panel, audio communication, light intensity, sound quality management

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang komunikasi mengalami peningkatan yang sangat pesat, seiring dengan semakin tingginya kebutuhan masyarakat terhadap sistem pertukaran informasi yang cepat, efektif, dan dapat diandalkan [1]. Di era digital modern, berbagai teknologi *nirkabel* seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, dan *infraRed* telah menjadi bagian penting dalam kehidupan sehari-hari. Teknologi-teknologi tersebut digunakan secara luas dalam berbagai sektor, mulai dari rumah tangga, industri, pendidikan, hingga layanan kesehatan, karena kemampuannya dalam memfasilitasi komunikasi data maupun suara secara real-time [2]. Teknologi yang berbasis gelombang radio (*RF*) memiliki beberapa kendala yang tidak bisa diabaikan. Salah satu permasalahan utama adalah semakin padatnya penggunaan spektrum frekuensi, yang dapat memicu terjadinya gangguan sinyal dan penurunan level komunikasi. Selain itu, sinyal *RF* mampu menembus penghalang seperti dinding atau benda padat lainnya, yang membuatnya rentan terhadap penyadapan dan kebocoran data oleh pihak yang tidak berwenang. Hal ini menjadi tantangan besar bagi sektor-sektor yang menuntut tingkat keamanan data yang tinggi. Lebih jauh lagi, penggunaan teknologi *RF* juga dibatasi di lokasi-lokasi tertentu, seperti fasilitas medis, laboratorium riset, atau dalam kabin pesawat, karena dikhawatirkan dapat mengganggu peralatan sensitif yang bekerja dengan prinsip elektromagnetik [3].

Sebagai solusi terhadap kendala tersebut, dikembangkanlah alternatif teknologi komunikasi *nirkabel* yang menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisi, yang dikenal dengan sebutan *Visible Light Communication (VLC)*. Teknologi ini memanfaatkan spektrum cahaya tampak untuk mengirimkan data, dan memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan sistem komunikasi berbasis *RF*. Salah satu keunggulannya adalah tidak adanya interferensi elektromagnetik, serta tingkat keamanan yang lebih baik karena cahaya tidak dapat menembus dinding. Selain itu, *VLC* tidak tunduk pada regulasi spektrum yang ketat, sehingga lebih fleksibel untuk digunakan di berbagai lingkungan [4]. Keunggulan lain yang ditawarkan oleh *VLC* adalah kapasitas *bandwidth* yang sangat jauh lebih besar dibandingkan frekuensi radio sehingga memungkinkan pengiriman data dalam jumlah besar dengan kecepatan tinggi. Teknologi ini juga dapat dimanfaatkan secara efisien karena dapat dikombinasikan dengan sistem pencahayaan yang sudah ada, seperti lampu *LED* di ruang bangunan, kendaraan, maupun fasilitas publik lainnya [5].

Dalam pengembangan *VLC*, sumber cahaya yang digunakan bisa berasal dari *LED* maupun laser diode (*LD*). Pada penelitian ini, laser diode dipilih sebagai sumber utama karena memiliki karakteristik cahaya yang fokus, monokromatik, dan terarah, sehingga mampu mengirimkan sinyal dalam jarak yang lebih jauh dengan kestabilan yang lebih baik dibandingkan *LED*. Laser diode juga memiliki waktu respons yang sangat cepat, sehingga cocok untuk proses modulasi sinyal audio yang membutuhkan ketepatan dan kecepatan tinggi. Salah satu bentuk penerapan teknologi *VLC* yang menarik untuk dikaji adalah sistem komunikasi suara. Dalam sistem ini, sinyal suara diubah menjadi sinyal listrik, kemudian dimodulasi ke dalam bentuk cahaya dan dikirimkan melalui udara. Pada sisi penerima, cahaya tersebut dikonversi kembali menjadi sinyal listrik dengan menggunakan perangkat seperti *Solar panel* atau *photodiode*, kemudian diperkuat dan diubah menjadi sinyal audio yang dapat didengar kembali. Sistem ini bersifat satu arah dan relatif sederhana, namun sangat bermanfaat terutama di lingkungan dalam ruangan yang memerlukan komunikasi bebas dari gangguan frekuensi radio.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan mengembangkan sistem komunikasi audio berbasis *Visible Light Communication* menggunakan laser diode sebagai sumber cahaya. Fokus penelitian ini adalah mengevaluasi performa transmisi suara dalam berbagai kondisi, seperti variasi jarak, sudut pemancaran, serta tingkat pencahayaan lingkungan. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem komunikasi alternatif yang lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan di masa mendatang.

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

METODE PENELITIAN

Visible Light Communication (VLC) adalah sebuah teknologi komunikasi yang menggunakan cahaya tampak untuk mentransmisikan data. *VLC* merupakan cabang dari komunikasi optik yang memanfaatkan sumber cahaya seperti LED (*Light Emitting Diode*) dan laser untuk mengirimkan informasi dalam bentuk modulasikan sinyal. Berbeda dengan radio frekuensi, *VLC* tidak terpengaruh oleh interferensi elektromagnetik dan memiliki bandwidth yang jauh lebih besar, sehingga memungkinkan transmisi data dengan kecepatan yang sangat tinggi. *Visible Light Communication* (VLC) merupakan salah satu bentuk dari *Optical Wireless Communication* yang memanfaatkan spektrum cahaya tampak. Teknologi ini berkembang pesat karena: Spektrum cahaya tampak tidak memerlukan lisensi, Aman untuk Kesehatan, Dapat digunakan bersamaan sebagai sumber penerangan dan media komunikasi.

A. Red Laser Diode

Red Laser Diode 5mW 650nm yang merupakan komponen pemancar cahaya berdaya rendah yang sering digunakan dalam sistem komunikasi berbasis cahaya tampak (VLC) [9]. Setelah diperkuat, sinyal suara dialirkan ke dioda laser sehingga intensitas cahayanya berubah mengikuti gelombang suara tersebut. Cahaya ini kemudian diarahkan ke penerima optik, seperti panel surya mini [4], yang akan mengubah kembali sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Dengan menggunakan laser 650 nm [9], sistem dapat memanfaatkan cahaya yang stabil dan fokus untuk menjaga level transmisi suara tetap baik.



. Gambar 2.1. Red Laser Diode 5mW 650nm

Gambar 1 menunjukkan Red Laser Diode 5mW 650nm merupakan komponen pemancar cahaya berdaya rendah yang sering digunakan dalam sistem komunikasi berbasis cahaya tampak (*Visible Light Communication/VLC*). Laser ini memancarkan cahaya merah dengan panjang gelombang sekitar 650 nanometer, yang termasuk dalam spektrum cahaya tampak dan mudah ditangkap oleh sensor cahaya. Dalam implementasi sistem VLC untuk transmisi audio, Red Laser Diode ini berfungsi untuk mengirimkan sinyal cahaya yang telah dimodulasi oleh sinyal audio.

B. PAM8403

PAM8403 adalah modul amplifier audio berbasis chip Class-D yang mampu memperkuat sinyal audio dengan efisiensi tinggi. Modul ini dirancang untuk bekerja pada tegangan rendah, biasanya antara 2,5V hingga 5,5V, dan mampu menghasilkan daya output hingga 3W per kanal pada beban 4Ω (ohm) dengan distorsi rendah. listrik. Dalam sistem komunikasi audio berbasis *Visible Light Communication* (VLC), PAM8403 digunakan untuk memperkuat sinyal audio yang berasal dari input jack (misalnya kabel AUX) sebelum digunakan untuk memodulasi intensitas cahaya pada sumber pemancar, seperti laser diode.

C. Kabel AUX (Audio Jack 3.5mm)

Kabel *AUX* (*Audio Jack*) adalah media koneksi standar yang digunakan untuk mengirim sinyal audio analog dari perangkat pemutar suara seperti smartphone, laptop, atau pemutar musik ke perangkat penerima

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

audio lainnya. Kabel ini memiliki konektor berukuran 3.5mm, dengan tiga jalur utama yaitu left (kiri), right (kanan), dan ground, yang memungkinkan transmisi sinyal stereo. Dalam sistem komunikasi audio berbasis Visible Light Communication (VLC), kabel AUX berfungsi sebagai penghubung antara sumber audio dengan rangkaian penguat (amplifier). Sinyal yang masuk melalui kabel ini kemudian diperkuat dan digunakan untuk memodulasi intensitas cahaya pada laser diode. Dengan cara ini, sinyal audio dapat dikonversi menjadi variasi cahaya yang dapat ditransmisikan ke penerima berbasis cahaya, seperti panel surya mini. Penggunaan kabel AUX sangat praktis karena kompatibel dengan berbagai perangkat audio, serta mampu mentransmisikan sinyal suara tanpa keterlambatan (latency) berarti, sehingga ideal untuk aplikasi komunikasi berbasis cahaya secara real-time.

D. Solar Panel Mini

Dalam aplikasi *Visible Light Communication* (VLC), solar panel mini berperan sebagai penerima sinyal cahaya yang telah dimodulasi dengan informasi audio dari pemancar (seperti laser diode). Ketika cahaya dengan intensitas bervariasi mengenai permukaan panel, solar panel menghasilkan sinyal listrik yang juga bervariasi sesuai dengan modulasi cahaya tersebut. Sinyal listrik ini kemudian dapat diperkuat dan diproses untuk dikembalikan menjadi sinyal audio asli melalui rangkaian amplifier dan speaker.

E. LM358

LM358 adalah komponen op-amp (operational amplifier) yang terdiri dari dua penguat operasional independen dalam satu chip. Komponen ini dirancang untuk bekerja dengan satu catu daya (single supply) maupun catu daya ganda (dual supply), dengan rentang tegangan yang fleksibel, mulai dari 3V hingga 32V. LM358 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik seperti penguat sinyal, filter aktif, pengkondisi sinyal sensor, dan pemrosesan sinyal analog lainnya. Dalam sistem Visible Light Communication (VLC), LM358 digunakan untuk memperkuat sinyal listrik lemah yang dihasilkan oleh solar panel mini. Ketika cahaya yang termodulasi mengenai solar panel, panel menghasilkan sinyal tegangan rendah sesuai dengan variasi intensitas cahaya tersebut. Karena sinyal ini cenderung sangat kecil, diperlukan penguat sinyal agar bisa diproses lebih lanjut. LM358 menjalankan fungsi ini dengan menguatkan sinyal sebelum diteruskan ke modul amplifier audio seperti PAM8610.

F. PAM8610

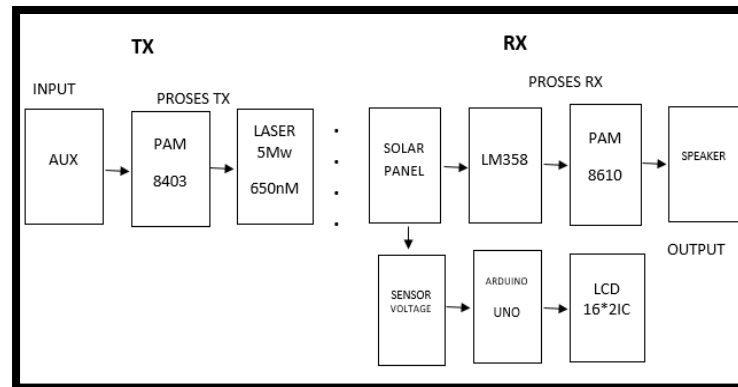
PAM8610 adalah modul amplifier audio stereo berbasis teknologi Class-D yang dirancang untuk memberikan daya output tinggi dengan efisiensi yang sangat baik. Modul ini dapat menghasilkan daya hingga 10 watt per kanal ($2 \times 10W$) pada beban 8 ohm dengan catu daya 12V, menjadikannya cocok untuk aplikasi audio berkualitas tinggi dengan konsumsi daya yang rendah.

Dalam sistem Visible Light Communication (VLC), PAM8610 digunakan pada sisi penerima sebagai penguat akhir. Setelah sinyal cahaya ditangkap oleh solar panel dan diperkuat terlebih dahulu oleh op-amp seperti LM358, sinyal audio tersebut kemudian masuk ke PAM8610 untuk diperbesar sehingga dapat didengar melalui speaker dengan volume dan kejernihan yang cukup.

G. Speaker

Dalam sistem Visible Light Communication (VLC), speaker digunakan di sisi penerima sebagai output akhir dari sinyal audio yang ditransmisikan melalui cahaya. Setelah sinyal cahaya ditangkap oleh solar panel mini, diperkuat oleh LM358, dan di-boost oleh PAM8610, sinyal audio yang sudah cukup kuat tersebut kemudian dikirim ke speaker. Di sini, sinyal listrik diubah kembali menjadi suara asli sesuai dengan sinyal audio yang dikirimkan dari pemancar.

H. Blok Diagram Sistem

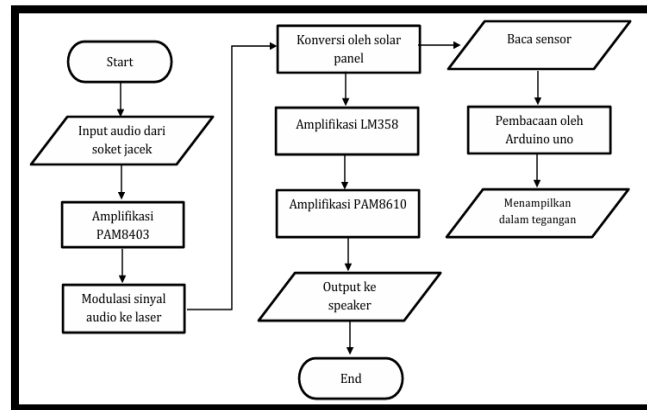


Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian

Pada gambar 3.1 Sinyal audio dari jack AUX diperkuat oleh PAM8403, lalu digunakan untuk memodulasi cahaya pada laser diode. Cahaya yang membawa informasi suara diarahkan ke solar panel mini, yang mengubahnya kembali menjadi sinyal listrik lemah. Sinyal ini diperkuat oleh LM358, lalu diperbesar lagi oleh PAM8610 dan akhirnya dikirim ke speaker untuk menghasilkan suara.

1. Arduino Uno R3 Mini ; Arduino Uno R3 sebagai pusat kendali sistem. Menerima Input dari sensor (seperti sensor tegangan), memproses data, dan mengendalikan output pada LCD, PAM8610, atau komponen lainnya.
2. Sensor Voltage ; Sensor tegangan mengukur tegangan Input dari sumber daya (dari panel surya atau baterai), dan sebagai data masukan Arduino.
3. LCD Display ; LCD Display menampilkan informasi tegangan sistem.
4. Solar panel Mini ; Sebagai panel sebagai penangkap cahaya tampak dari laser dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.
5. Battery 5V ; Baterai 5V sebagai sumber tegangan pada sisi pemancar.
6. Adaptor 12V ; Adaptor 12V pada bagian penerima digunakan untuk menyuplai daya ke rangkaian audio pada modul PAM8610.
7. LM358 (Op-Amp) ; LM358 sebagai penguat sinyal listrik yang diterima solarpanel.
8. PAM8403 (Mini Amplifier Audio) ; PAM8403 sebagai penguat audio pada sisi pengirim.
9. Red Laser Diode ; Laser sebagai sumber cahaya dalam sistem pemancar VLC.
10. AUX Jack ; Penghubung sinyal audio analog antara perangkat sumber suara, seperti smartphone, laptop, atau pemutar musik, dengan rangkaian pemancar (transmitter/TX)
11. PAM8610 (Amplifier Stereo) ; PAM8610 berfungsi sebagai penguat akhir (final amplifier stage) di sisi penerima (receiver).
12. Speaker ; Speaker berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara (frekuensi audio) yang dapat didengar oleh manusia.

I. Flowchart



Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem

Dengan melihat Gambar 3.3 Proses dimulai pada tahap Start, yang menandai awal sistem tanpa adanya pemrosesan data. Selanjutnya, sistem menerima sinyal audio analog melalui AUX jack 3.5mm, yang umumnya berasal dari perangkat seperti handphone. Jack ini berfungsi sebagai antarmuka input utama. Sinyal audio kemudian diperkuat oleh IC amplifier PAM8403, sebuah penguat kelas D yang hemat daya. Amplifikasi ini penting untuk memastikan sinyal memiliki kekuatan yang cukup untuk memodulasi laser diode. Setelah diperkuat, sinyal audio dimodulasikan ke dalam intensitas cahaya laser, di mana amplitudo sinyal audio menentukan kekuatan cahaya yang dipancarkan oleh laser diode. Proses ini mengubah informasi audio menjadi bentuk optik. Solar panel kemudian menangkap cahaya termodulasi tersebut dan mengonversinya kembali menjadi sinyal listrik yang sangat lemah. Untuk mengetahui kekuatan sinyal ini, sistem membaca nilai tegangan menggunakan sensor. Sinyal yang dihasilkan oleh solar panel kemudian dibaca oleh mikrokontroler Arduino, yang mengubah sinyal analog menjadi data digital melalui pin ADC-nya. Data ini dikonversi ke dalam skala tertentu dan ditampilkan di layar LCD sebagai nilai tegangan atau persentase. Karena sinyal dari solar panel masih relatif lemah, penguatan tambahan dilakukan oleh op-amp LM358 agar dapat dibaca dengan akurat oleh Arduino. Penguatan ini juga membantu membersihkan sinyal dari noise. Setelah sinyal cukup kuat dan stabil, penguat PAM8610 digunakan untuk memperbesar kembali sinyal audio sebelum dikirimkan ke speaker. Amplifier ini berperan untuk menghasilkan suara dengan daya tinggi dan kualitas yang baik. Akhirnya, speaker mengubah sinyal listrik menjadi suara, sehingga pengguna dapat mendengarkan kembali audio yang ditransmisikan melalui media cahaya tampak. Proses ini kemudian diakhiri di tahap End, menandai selesainya alur sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Lingkungan Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua kondisi cahaya yang berbeda untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya sekitar terhadap performa sistem:

1. Kondisi Gelap Tanpa pencahayaan tambahan, hanya sinar laser yang mengenai *Solar panel*.
2. Kondisi Terang: Terdapat pencahayaan alami dari lingkungan sekitar (misalnya sinar matahari atau lampu ruangan).
3. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem ini mampu mengirimkan sinyal audio secara efektif hingga jarak 48 meter, baik dalam kondisi pencahayaan terang maupun gelap. Meskipun daya laser yang digunakan tergolong kecil (5 mW), hasil menunjukkan bahwa sinyal tetap dapat diterima dan direkonstruksi dengan baik oleh rangkaian penerima.

Pada pengujian di lingkungan terang, diperoleh hasil sebagai berikut:

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

1. Luminansi cahaya laser: antara 104,6 lux hingga 146,5 lux
2. Luminansi cahaya lingkungan: antara 97 lux hingga 132 lux
3. Level suara pada *speaker*: berkisar antara 85,2 dB hingga 99,1 dB

Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun terdapat cahaya dari lingkungan sekitar, laser merah 650 nm masih mampu mendominasi dan mentransmisikan sinyal audio secara konsisten. Hal ini menunjukkan kinerja sistem yang cukup tangguh terhadap interferensi cahaya luar.

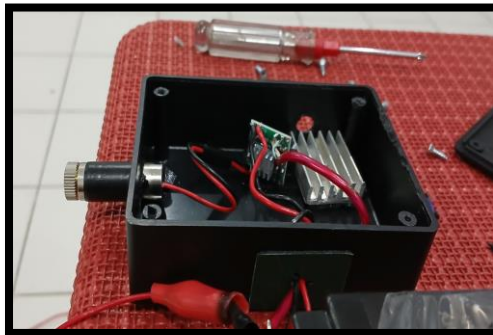
B. Proses Kerja Sistem

Berikut alur kerja sistem secara singkat:

1. Sumber Audio: Nada do hingga do tinggi dari video YouTube.
2. Masukan Audio: Melalui kabel AUX ke rangkaian pengirim.
3. Penguat Sinyal: PAM8403 memperkuat sinyal audio analog.
4. Modulasi Cahaya: Intensitas laser merah diatur mengikuti bentuk gelombang suara.
5. Penerimaan Cahaya: *Solar panel* mendeteksi variasi cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.
6. Penguatan Sinyal: LM358 dan PAM8610 memperkuat sinyal untuk dikirim ke *speaker*.

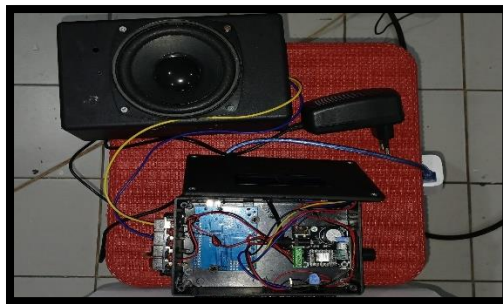
C. Implementasi Rangkaian

Implementasi Rangkaian merupakan Penyusunan serta bagaimana nanti alat ini dapat di implementasikan serta di susun dan rangkai secara sesuai dan benar.



Gambar 4.1 Hasil Implementasi Rangkaian *Transmitter*

Gambar 4.1 menunjukkan rangkaian *transmitter* yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu PAM8403, Red Laser Diode, AUX Jack (Kabel Input), dan Battery 5v.



Gambar 4. 2 Hasil Implementasi Rangkaian *Reicever*

Gambar 4.2 menunjukkan rangkaian *transmitter* yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

Solar panel mini, LM358, PAM6810, Sensor voltage, Arduino uno R3 mini, LCD 16×2Ic, Speaker.

D. Proses Percobaan Pengukuran

Proses percobaan dilakukan dalam ruangan tertutup (*indoor*) untuk meminimalkan gangguan dari faktor eksternal. Pengujian difokuskan pada dua kondisi pencahayaan, yaitu terang dan gelap, guna menganalisis pengaruh intensitas cahaya lingkungan terhadap kualitas transmisi sinyal pada sistem komunikasi berbasis laser. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. Meteran manual, untuk mengukur jarak antara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*).
2. Sound Level Meter (dB meter), digunakan untuk mengukur tingkat kekuatan suara yang diterima dalam satuan desibel (dB).
3. Luxmeter, digunakan untuk mengukur intensitas pencahayaan lingkungan maupun intensitas cahaya dari laser, dalam satuan lux.



Gambar 3.1 Alat ukur yang digunakan

Gambar 3.1 menunjukkan tiga jenis alat ukur utama yang digunakan dalam percobaan, yaitu sound level meter (dB meter) untuk mengukur kualitas suara dalam satuan desibel (dB), luxmeter untuk mengukur intensitas pencahayaan dalam satuan lux, dan meteran manual yang digunakan untuk mengukur jarak antara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Ketiga alat ini berperan penting dalam memastikan akurasi pengambilan data selama proses pengujian transmisi audio melalui media cahaya

E. Percobaan Pengiriman data

Tabel 4. 1 Jarak Pengiriman Data Dari *TX* ke *RX*

Jarak(m)	Terang	Gelap
1	Bisa	Bisa
5	Bisa	Bisa
10	Bisa	Bisa
15	Bisa	Bisa
20	Bisa	Bisa
25	Bisa	Bisa
30	Bisa	Bisa
48	Bisa	Bisa

Tabel 4.1 Pengujian dilakukan mulai dari jarak 1 meter hingga 48 meter. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data secara stabil pada seluruh jarak yang diuji, tanpa terpengaruh oleh kondisi pencahayaan. Baik dalam kondisi terang maupun gelap, sinyal tetap dapat diterima dengan baik hingga jarak maksimum 48 m.

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

F. Pengukuran Level Suara, Jarak, Intensitas, dan Kondisi

Tabel 4.2 Pengukuran Level Suara Dalam Kondisi Terang

Jarak (m)	Level Suara (dB)	Intensitas Cahaya Laser (Lux)	Intensitas Cahaya Lingkungan (Lux)	Kondisi
1	94,6	119	132	Terang
5	93,4	120,1	110,1	Terang
10	92,7	112,9	120,8	Terang
15	85,2	141,1	118,1	Terang
20	88,7	110,3	112,5	Terang
25	92,7	146,5	97	Terang
30	93,9	104,6	94,2	Terang
48	99,1	116,7	115,6	Terang

Berdasarkan Tabel 4.1, level suara cenderung menurun seiring bertambahnya jarak, meskipun terdapat fluktuasi akibat pengaruh intensitas laser dan cahaya lingkungan. Contohnya, pada jarak 15 meter, level suara turun drastis menjadi 85,2 dB meskipun intensitas laser tinggi (141,1 lux), karena cahaya lingkungan juga tinggi (118,1 lux). Sebaliknya, pada jarak 48 meter, level suara meningkat hingga 99,1 dB meski intensitas laser tidak maksimal, menunjukkan bahwa sudut penerimaan dan pantulan cahaya juga berperan.

Pengujian ini membuktikan bahwa komunikasi berbasis cahaya tetap bekerja di kondisi terang, meskipun dipengaruhi oleh jarak dan gangguan cahaya sekitar. Selanjutnya, pengukuran dilakukan dalam kondisi gelap total (0 lux) untuk melihat performa sistem tanpa gangguan cahaya eksternal. Hasil ini bertujuan menilai efektivitas sistem dalam kondisi ideal bagi transmisi optik.

Diketahui :

$$S_x = 85,2\text{dB}$$

$$S_{maks} = 91,1\text{dB}$$

Ditanya :

Berapa efisiensi transmisi suara pada jarak 15 meter?

Penyelesaian:

$$\eta = \left(\frac{S_x}{S_{maks}} \right) \times 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{85,2}{91,1} \right) \times 100 = 85,97\%$$

Artinya, pada jarak 15 meter, efisiensi transmisi audio adalah sekitar 85,97% dibandingkan nilai maksimal.

Tabel 4.3 Pengukuran Level Suara Dalam Kondisi Gelap

Jarak (m)	Level Suara (dB)	Intensitas Cahaya Laser (Lux)	Intensitas Cahaya Lingkungan (Lux)	Kondisi
1	93,3	59,0	0	Gelap

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulai²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
 TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
 Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

5	96,4	36	0	Gelap
10	95,1	38,1	0	Gelap
15	94,3	50,4	0	Gelap
20	92,8	46,1	0	Gelap
25	96	21,4	0	Gelap
30	96,7	27,1	0	Gelap
48	89,1	16	0	Gelap

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dalam kondisi gelap, level suara relatif tinggi dan stabil pada berbagai jarak, karena tidak adanya gangguan cahaya lingkungan. Pada jarak 5 hingga 30 meter, level suara berkisar antara 92,8 - 96,7 dB meskipun intensitas laser di bawah 60 lux, menunjukkan efisiensi sistem dalam kondisi minim cahaya. Pada jarak 48 meter, level suara menurun menjadi 89,1 dB seiring turunnya intensitas laser menjadi 16 lux. Meski menurun, sistem tetap berfungsi pada jarak tersebut.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kondisi gelap mendukung performa sistem komunikasi cahaya secara lebih optimal dibanding kondisi terang, karena minimnya interferensi dari sumber cahaya eksternal.

Diketahui :

$$S_x = 89,1 \text{ dB}$$

$$S_{maks} = 96,7 \text{ dB}$$

Ditanya :

Berapa efisiensi transmisi suara pada jarak 15 meter?

Penyelesaian:

$$\eta = \left(\frac{S_x}{S_{maks}} \right) \times 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{89,1}{96,7} \right) \times 100 = 92,14\%$$

Artinya, pada jarak 15 meter, efisiensi transmisi audio adalah sekitar 92,14% dibandingkan nilai maksimal.

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

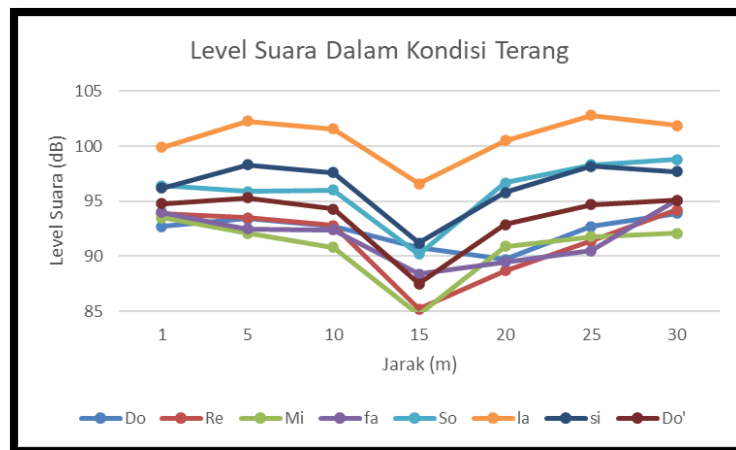
G. Grafik Perbandingan Level Suara Terhadap Jarak

1. Kondisi Terang

Grafik berikut ini disusun berdasarkan hasil pengukuran level suara (dalam satuan desibel atau dB) dari masing-masing nada audio yang ditransmisikan menggunakan sistem komunikasi berbasis cahaya. Pengukuran dilakukan dalam kondisi pencahayaan terang, di mana cahaya lingkungan cukup tinggi dan dapat memengaruhi penerimaan sinyal oleh *Solar panel* sebagai sensor penerima.

Setiap nada (do, re, mi, fa, sol, la, si, dan do) dikirimkan pada tujuh jarak berbeda, 1 meter, 5 meter, 10 meter, 15 meter, 20 meter, 25 meter, dan 30 meter. Nilai level suara kemudian dicatat menggunakan alat pengukur suara. Grafik ini bertujuan untuk memperlihatkan pengaruh jarak terhadap kejelasan atau kekuatan sinyal audio yang berhasil ditransmisikan oleh sistem.

Warna pada garis grafik mewakili masing-masing nada, sehingga memungkinkan perbandingan visual yang jelas antar-nada dalam merespons perubahan jarak. Grafik ini juga memberi gambaran umum tentang stabilitas sinyal dan kerentanan masing-masing nada terhadap gangguan pencahayaan lingkungan.



Gambar 4.3 Hubungan Jarak & level Suara untuk Setiap Nada Kondisi Terang

Berdasarkan gambar 4.6 grafik di atas, dapat disimpulkan beberapa hal penting terkait performa sistem transmisi cahaya terhadap level suara dari masing-masing nada. Sebagian besar nada menunjukkan penurunan level suara saat jarak bertambah, yang sesuai dengan teori dasar komunikasi optik di mana semakin jauh jarak transmisi, semakin besar kemungkinan sinyal mengalami penurunan intensitas atau interferensi.

1. Nada dengan Performa Stabil

Nada “la” menunjukkan performa paling konsisten dengan nilai dB tertinggi di hampir semua jarak, bahkan meningkat pada beberapa titik (misalnya 25 m: 102,8 dB). Nada “sol” juga tergolong stabil, dan cenderung mengalami peningkatan level suara pada jarak jauh seperti 30 m (98,8 dB), menunjukkan bahwa sistem mampu menangani frekuensi tinggi dengan baik dalam kondisi terang.

2. Nada dengan Penurunan Signifikan

Nada “re” dan “mi” memperlihatkan penurunan drastis pada jarak 15 hingga 20 meter. Sebagai contoh, re pada 15 m hanya menghasilkan 85,2 dB, yang merupakan salah satu nilai terendah dalam pengukuran.

Nada “do”, yang merupakan frekuensi tertinggi, menunjukkan sensitivitas yang lebih besar terhadap jarak. Nilainya turun menjadi 87,5 dB pada 15 m, lalu kembali meningkat di jarak berikutnya.

3. Faktor Pencahayaan Lingkungan

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

Intensitas cahaya lingkungan yang tinggi (diatas 110 lux) berpotensi mengganggu deteksi sinyal laser oleh *Solar panel*, terutama jika sinyal audio memiliki frekuensi lemah atau tidak stabil. Hal ini terlihat dari beberapa titik di mana intensitas laser tinggi tidak selalu menjamin level suara yang tinggi, jika cahaya lingkungan juga tinggi.

4. Implikasi Pengukuran

Hasil ini penting dalam pengembangan sistem komunikasi optik, di mana jenis nada (frekuensi suara) dan jarak harus diperhitungkan secara cermat.

Nada dengan frekuensi tinggi seperti la dan sol lebih cocok digunakan jika tujuan sistem adalah mempertahankan kejelasan suara dalam kondisi terang dan jarak menengah-jauh.

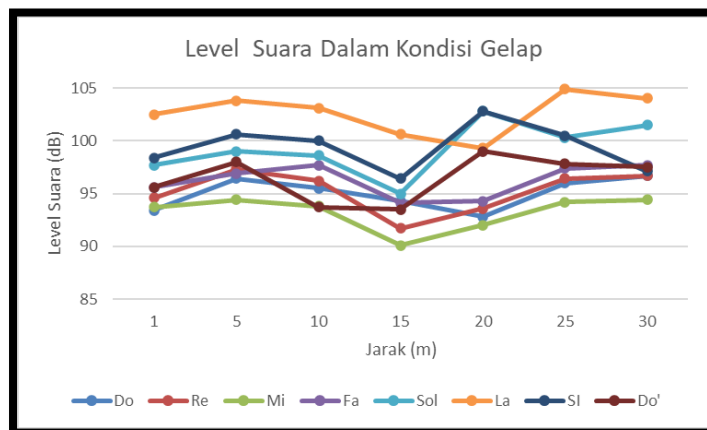
Nada seperti “mi” dan “do” mungkin memerlukan penyesuaian daya laser atau penguatan sinyal tambahan untuk mempertahankan performa optimal.

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sistem transmisi cahaya mampu mentransmisikan audio dengan baik dalam kondisi terang, namun stabilitas level suara sangat dipengaruhi oleh jarak dan jenis nada, serta interferensi cahaya sekitar.

H. Kondisi Gelap

Grafik berikut ini merupakan representasi visual dari hasil pengukuran level suara (dalam desibel / dB) terhadap jarak transmisi (meter) pada sistem komunikasi audio berbasis cahaya. Dalam Pengukuran ini, delapan nada (do, re, mi, fa, sol, la, si, dan do’) diuji dengan jarak mulai dari 1 meter hingga 30 meter, dengan pengukuran dilakukan dalam kondisi optimal (kemungkinan gelap atau minim interferensi cahaya lingkungan).

Tujuan dari grafik ini adalah untuk: menilai stabilitas transmisi audio melalui cahaya tampak dari setiap nada, mengetahui pengaruh jarak terhadap level suara pada berbagai frekuensi nada, mengidentifikasi nada-nada yang paling optimal untuk ditransmisikan dengan metode ini. Setiap kurva dalam grafik mewakili nada yang diuji, dengan titik-titik pengukuran pada jarak tertentu dan level suara hasil penerimaan yang diukur dalam dB.



Gambar 4.4 Hubungan Jarak & Level Suara untuk Setiap Nada Kondisi Gelap

Pada tampilan Gambar 4.7 diperoleh beberapa temuan yaitu:

1. Nada La
Menunjukkan level suara tertinggi dan paling stabil. Berada di atas 100 dB di semua jarak, dan mencapai puncak 104,9 dB di jarak 25 meter.
2. Nada Sol

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
 TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
 Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

Nada “sol” sebagai nada paling optimal. Stabil dengan peningkatan mencolok pada jarak 20 m (102,8 dB) dan tetap tinggi di 30 m.

3. Nada Fa dan Re
 Konsisten dan tinggi, hanya sedikit fluktuatif di jarak tengah. Tergolong nada yang dapat diandalkan untuk transmisi audio jarak menengah–jauh.
4. Nada Mi dan Do
 Sedikit lebih fluktuatif, khususnya do’ yang turun di jarak 10–15 meter, lalu kembali naik. Hal ini menunjukkan bahwa nada-nada dengan frekuensi lebih tinggi atau rendah bisa lebih sensitif terhadap penyimpangan jalur cahaya.
5. Nada Si
 Performa sangat baik dan stabil. Tidak menunjukkan penurunan tajam, bahkan meningkat di beberapa titik.
6. Nada Do:
 Meskipun bukan yang tertinggi, tetap menunjukkan kestabilan suara dengan peningkatan di jarak jauh (30 m = 96,7 dB).

Tabel 4.3 Pengukuran level suara terhadap pantulan cermin kondisi terang

Sudut	Jarak (m)	Intensitas Cahaya Laser (Lux)	Intensitas Cahaya Lingkungan (Lux)	Level Suara (dB)
35°	1	110	132	93,4
25°	2	107	132	92,3
20°	3	102	132	90,1

Tabel 4.3 Hasil pengukuran level suara yang dipantulkan melalui cermin dalam kondisi pencahayaan terang terlihat dalam Tabel 4.9. Variabel yang diuji meliputi sudut pantulan, jarak antar perangkat (m), intensitas cahaya laser, intensitas cahaya lingkungan, dan level suara yang diterima dalam satuan desibel (dB). Tujuan dari Pengukuran ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas pantulan sinyal laser dalam mentransmisikan suara melalui media reflektif seperti cermin.

- a) Sudut sinar laser mengecil (dari 35° menjadi 20°).
- b) Jarak juga bertambah dari 1 m ke 3 m.
- c) Intensitas cahaya laser berkurang, dari 110 lux ke 102 lux.
- d) level suara juga menurun, dari 93,4 dB menjadi 90,1 dB.

Tabel 4.4 Pengukuran level suara terhadap pantulan cermin kondisi gelap

Sudut	Jarak (m)	Intensitas Cahaya Laser (Lux)	Intensitas Cahaya Lingkungan (Lux)	Lvel Suara (dB)
35°	1	59,0	0	94,7
25°	2	59,0	0	93,1
20°	3	59,0	0	91,7

Tabel 4.10 menunjukkan hasil pengukuran sistem komunikasi berbasis laser ketika sinyal dipantulkan melalui cermin dalam kondisi gelap total, yaitu tanpa pencahayaan lingkungan sama sekali. Parameter yang diamati meliputi sudut pantulan, jarak antara pemancar dan penerima (dalam meter), intensitas cahaya laser (lux), intensitas cahaya lingkungan (lux), dan level suara yang diterima (dB).

Rivaldus Longges¹⁾, Basitha Febrinda Hidayatulail²⁾, Andrijani Sumarahinsih³⁾,
TEKNOLOGI MENGIRIMKAN DATA AUDIO MENGGUNAKAN CAHAYA LASER 5MW 650NM
Jurnal *Qua Teknika*, (2025), 15 (2): 51-65

- a) Cahaya laser dipantulkan oleh cermin (bukan transmisi langsung).
- b) Intensitas laser tetap stabil di 59,0 lux di semua jarak dan sudut, artinya pantulan cukup konsisten.
- c) Cahaya lingkungan = 0 lux, menunjukkan kondisi gelap total.
- d) Level suara menurun perlahan saat sudut mengecil dan jarak bertambah.

SIMPULAN

Kesimpulan diperoleh berdasarkan rumusan masalah dan hasil analisis sistem *VLC* menggunakan laser diode merah untuk komunikasi audio, sebagai berikut:

1. Cara Kerja *Transmitter* dan *Receiver VLC* dengan Laser
Transmitter menggunakan laser diode (*LD*) yang dimodulasi oleh sinyal audio, sehingga intensitas cahayanya berubah sesuai suara. Cahaya ini ditangkap oleh *Solar panel* di sisi *receiver*, lalu dikonversi menjadi sinyal listrik, diperkuat, dan dikeluarkan melalui *speaker* sebagai audio.
2. Pengaruh Jarak terhadap Level Suara
Sistem tetap stabil hingga jarak 48 meter, dengan level suara lebih baik dalam kondisi gelap. Semakin jauh jaraknya, level suara cenderung menurun karena sinyal makin lemah dan lebih mudah terganggu. Dalam kondisi gelap, level suara mencapai 92–104 dB, sedangkan dalam kondisi terang tetap stabil di atas 90 dB hingga 30 meter, meski ada penurunan di jarak 15–20 meter. Nada tinggi seperti “la” dan “sol” mencapai >100 dB, sementara nada rendah seperti “do”, “re”, dan “mi” cenderung turun pada jarak tertentu. Transmisi melalui media penghalang (teko air) dan pantulan cermin tetap efektif, dengan penurunan level suara dari 93 dB menjadi 90 dB. Sistem bekerja optimal dalam cahaya rendah dan jalur lurus. Tiga faktor utama yang saling memengaruhi level sinyal audio dalam sistem komunikasi cahaya yaitu nada, jarak, serta kondisi media/ruang.
3. Pengaruh Sudut Pancar Laser
Sudut pancar yang meningkat dapat menurunkan stabilitas sinyal, tapi refleksi cermin membantu menjaga level suara. Selama sudut dan jarak masih dalam batas wajar, transmisi tetap efektif, terutama di cahaya rendah.

REFERENSI

- [1] Istiqomah, A. R. Razak, and W. Wardah, “Peran Teknologi Informasi Dan Komunikasi Dalam Pemberdayaan Masyarakat,” *Kaji. Ilm. Mhs. Adm. Publik*, vol. 5, no. 3, pp. 650–663, 2024, doi: <https://doi.org/10.26618/kimap.v5i3.14716>.
- [2] M. A. Rizkiawan, E. Kurniawan, and H. Ramza, “Analisis Quality of Service Jaringan Nirkabel Menggunakan Wireshark Dengan Metode Action Research,” *Jati (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 5, pp. 9876–9882, 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v8i5.10757>.
- [3] I. Razak, “Pendeteksian Gangguan Radio pada Band UHF yang Terpantau di Kota Makassar,” *J. INTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 44–47, 2018.
- [4] A. Charisma, R. Nur Akbar Setiawan, E. Taryana, H. Yuliana, and A. Rike Indriani, “Sistem Komunikasi Audio dengan Teknologi Visible Light Communication (VLC) Menggunakan Laser Led,” *Digit. Zo. J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 12, no. 2, pp. 113–122, 2021, doi: [10.31849/digitalzone.v12i2.7519](https://doi.org/10.31849/digitalzone.v12i2.7519).
- [5] N. A. I. Sakdiyah, B. Septian, and A. Z. Abidin, “Sistem visible light communication (VLC) menggunakan teknik asynchronous pulse position modulation (APPM) untuk komunikasi nirkabel,” *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 5, no. 1, pp. 11–18, 2025, doi: <https://doi.org/10.35313/jitel.v5.i1.2025.11-18>.
- [6] M. Fauzan, K. Sujatmoko, and R. Satria, “Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Cahaya Tampak Dibawah Air Dengan Optical Concentrator,” *eProceedings Eng.*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [7] N. D. G. Drantantiyas, O. F. T. Maryana, I. Herlina, and P. Santoso, “Potensi Cahaya Laser sebagai Sensor Kadar Asam Lemak Jenuh pada Minyak Jelantah,” *J. Fis. Indones.*, vol. 24, no. 3, pp. 156–

- 159, 2020, doi: <https://doi.org/10.22146/jfi.v24i3.57418>.
- [8] C. He and C. Chen, "A review of advanced transceiver technologies in visible light communications, Photonics. 10 (2023) 648." p. 648, 2023. doi: <https://doi.org/10.3390/photronics10060648>.
- [9] Y. Santoso and E. Mozef, "Implementasi Komunikasi Cahaya Tampak Melalui Lampu LED pada Sistem Komunikasi Suara Menggunakan Modulasi Frekuensi," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 11, no. 1, pp. 649–655, 2020.
- [10] P. B. Laksono, "A Study of The Influence of 650 nm Laser Interference on Visible Laser Light Communication System," *Teknikom*, vol. 4, no. 2, pp. 60–65, 2021, doi: [10.31943/teknikom.v4i2.66](https://doi.org/10.31943/teknikom.v4i2.66).
- [11] B. F. Hidayatulail and I. Mujahidin, "Potential Of 77, 78 Mw Red Diode Laser For Photodynamic," *J. Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 45–48, 2019.
- [12] A. Halomoan, Y. S. Rohmah, and S. Aulia, "Perancangan Simulator Modulasi dan Demodulasi AM Pada Kanal AWGN Dan Rayleigh," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 4, no. 3, p. 2753, 2018.
- [13] U. Sari, N. A. Siddiq, M. Khoiro, A. S. Hidayat, and D. Julianitasari, "Analisis Jumlah Laser Dioda Terhadap Amplifikasi Daya Intensity Tunable Laser Pada Aplikasi Sumber Cahaya Pandu Gelombang Optik Berbasis Material Nonlinear," in *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*, 2017, pp. 250–256.
- [14] D. Rudolph, "Modulation Methods," in *Fundamentals of RF and Microwave Techniques and Technologies*, Springer, 2023, pp. 1297–1508.
- [15] H. Setiawan *et al.*, "Analisis Intensitas Cahaya Pada Area Produksi Terhadap Kenyamanan dan Efektivitas Kerja Sesuai Dengan Standar Pencahayaan," *Phys. Sci. Life Sci. Eng.*, vol. 2, no. 3, p. 12, 2025, doi: <https://doi.org/10.47134/pslse.v2i3.428>.