



Department of Digital Business

**Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)**

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 11974-11984

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

## Rancang Bangun Sistem Silent Communication Menggunakan Cahaya Laser Berbasis Arduino Nano sebagai Solusi Anti-Jamming RF pada Lingkungan Militer

Danang Cahyo Legowo<sup>1</sup>, Bagus Hendra Saputra<sup>2</sup>, Hery Sudaryanto<sup>3</sup>

Universitas Pertahanan Republik Indonesia

<sup>1</sup>[twentyoneezra@gmail.com](mailto:twentyoneezra@gmail.com), <sup>2</sup>[bagus.saputra@idu.ac.id](mailto:bagus.saputra@idu.ac.id), <sup>3</sup>[sudaryanto\\_h.casanova@yahoo.com](mailto:sudaryanto_h.casanova@yahoo.com)

### Abstrak

Perkembangan teknologi komunikasi militer membutuhkan sistem komunikasi yang aman, sulit dideteksi, dan tahan terhadap gangguan Radio Frequency (RF) jamming. Komunikasi berbasis frekuensi radio konvensional masih memiliki kerentanan terhadap interferensi dan penyadapan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem Silent Communication menggunakan cahaya laser berbasis Arduino Nano sebagai alternatif komunikasi pada lingkungan militer. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental melalui perancangan dan pengujian prototipe. Sistem terdiri atas Arduino Nano sebagai pengendali, modul laser sebagai media transmisi, dan sensor cahaya sebagai penerima. Data berupa pesan teks dikirim menggunakan metode modulasi On-Off Keying (OOK) melalui jalur Line of Sight (LOS). Pengujian dilakukan terhadap kemampuan pengiriman data, pengaruh jarak komunikasi, gangguan RF, dan cahaya lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan menerima pesan teks dengan baik selama jalur LOS terjaga. Peningkatan jarak komunikasi menyebabkan penurunan kualitas sinyal, sedangkan intensitas cahaya lingkungan yang tinggi dapat mempengaruhi kinerja sensor penerima. Pengujian juga membuktikan bahwa gangguan RF tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap komunikasi karena sistem bekerja menggunakan spektrum optik yang berbeda dengan spektrum radio. Berdasarkan hasil penelitian, sistem Silent Communication berbasis cahaya laser menggunakan Arduino Nano berhasil direalisasikan dan menunjukkan ketahanan terhadap RF jamming. Dengan karakteristik tersebut, sistem ini berpotensi menjadi alternatif komunikasi taktis yang aman dan mendukung kebutuhan operasi militer modern.

**Kata Kunci:** Silent Communication, Cahaya Laser, Arduino Nano, Free Space Optical Communication (FSO), Radio Frequency Jamming, Komunikasi Militer, Optical Wireless Communication (OWC).

### 1. Latar Belakang

Tuntutan Kesiapan Taktis dan Ancaman Peperangan Elektronik Lingkungan operasi militer modern menuntut jalur komunikasi yang tidak hanya andal, tetapi juga aman, senyap, dan tahan terhadap gangguan elektronik (anti-jamming). Komunikasi berbasis gelombang radio (RF), yang menjadi tulang punggung sistem komando dan kendali, memiliki kerentanan inheren terhadap penyadapan, intersepsi, dan terutama serangan jamming yang dapat memutus alur informasi taktis pada momen kritis. Ancaman ini semakin relevan karena peperangan modern telah bergeser menuju electromagnetic spectrum warfare, di mana penguasaan spektrum RF menjadi target utama lawan (Zhao et al., 2025). Ketergantungan penuh pada spektrum RF tanpa jalur komunikasi alternatif yang tahan gangguan dapat melemahkan ketahanan operasional pasukan. Kondisi ini menguatkan pentingnya adopsi teknologi komunikasi non-RF sebagai elemen vital dalam sistem pertahanan taktis.

Untuk mengatasi kerentanan spektrum radio, Optical Wireless Communication (OWC) menjadi alternatif yang strategis karena memanfaatkan cahaya tampak atau inframerah sebagai media transmisi sehingga bebas dari interferensi RF, termasuk electromagnetic interference (EMI) dan jamming elektromagnetik (Wu et al., 2021). Salah satu bentuk OWC yang paling menjanjikan adalah komunikasi berbasis laser dengan karakteristik pancaran sempit (narrow beam divergence) yang memungkinkan koneksi point-to-point berkerahasaan tinggi, memenuhi prinsip Low Probability of Intercept (LPI) dan Low Probability of Detection (LPD). Konsep silent communication ini sangat penting dalam operasi taktis karena sulit dideteksi maupun dijamming oleh perangkat Electronic Warfare (EW) musuh (Qi & Wu, 2021). Namun, implementasinya memerlukan perangkat yang portabel, hemat daya, dan berbiaya efektif. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan Arduino Nano sebagai platform yang stabil, kompatibel dengan sensor optik, dan mendukung pendekatan Research and Development

(R&D) berbiaya rendah untuk merancang prototipe komunikasi laser yang dapat menjadi dasar sistem komunikasi senyap bagi operasi taktis (Zhao et al., 2025).

Setelah perangkat fisik dirancang, tantangan berikutnya adalah memastikan integritas transmisi data melalui pemilihan skema modulasi dan implementasi algoritma decoding yang efisien. Metode seperti Pulse Width Modulation (PWM) memerlukan optimasi agar pulsa laser dapat diterima sensor optik dengan kesalahan minimal (Nalakurthi et al., 2024). Meskipun Optical Wireless Communication (OWC) diketahui tahan terhadap jamming RF, ketahanan prototipe low-cost berbasis Arduino Nano pada lingkungan dengan interferensi RF tinggi masih belum tervalidasi. Padahal, keterbatasan sensitivitas optik dan stabilitas rangkaian dapat memengaruhi kinerja sistem. Oleh karena itu, pengujian ketahanan anti-jamming perlu dilakukan untuk memastikan sistem tetap beroperasi secara andal di tengah gangguan RF yang intensif (Wu et al., 2021).

Selain ketahanan sistem, penelitian ini juga menyoroti minimnya evaluasi kuantitatif terhadap parameter penting seperti jarak jangkauan, kecepatan transmisi (throughput), dan tingkat keberhasilan penerimaan data yang diukur melalui Bit Error Rate (BER) atau success rate pada sistem Optical Wireless Communication (OWC) berbasis mikrokontroler (Chen et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini melakukan pengujian terstruktur untuk menentukan batas operasional sistem secara realistis. Pengembangan prototipe silent communication berbasis laser berbiaya rendah ini tidak hanya berfungsi sebagai tahap proof of concept, tetapi juga memberikan kontribusi praktis sebagai alternatif komunikasi taktis di luar spektrum radio serta kontribusi akademis melalui validasi empiris terhadap performa dan ketahanan sistem OWC low-cost dalam konteks pertahanan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan model pengembangan sistem yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, integrasi, pengujian, penerapan, dan pemeliharaan. Sistem yang dikembangkan berupa komunikasi optik berbasis sinar laser menggunakan Arduino Nano sebagai pengendali utama. Sistem dirancang untuk mengirim dan menerima pesan teks melalui media cahaya secara senyap (*silent communication*) dan tahan terhadap interferensi frekuensi radio.

Tahap perancangan mencakup penyusunan arsitektur sistem, perancangan perangkat keras, serta pengembangan perangkat lunak. Sistem terdiri atas bagian *transmitter* yang menggunakan modul laser sebagai pemancar dan bagian *receiver* yang memanfaatkan sensor cahaya untuk mendeteksi sinyal optik. Program pada Arduino Nano digunakan untuk melakukan proses *encoding*, transmisi, dan *decoding* data.

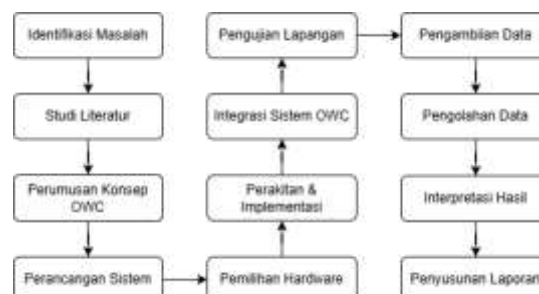
Implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen sesuai skema yang telah dirancang dan mengembangkan program menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++. Setelah itu, dilakukan pengujian unit dan pengujian integrasi untuk memastikan setiap komponen dan keseluruhan sistem dapat berfungsi dengan baik dalam mengirim serta menerima data teks secara akurat.

Pengujian kinerja dilakukan melalui variasi jarak dan pengujian ketahanan terhadap *jamming* berbasis frekuensi radio maupun optik untuk mengevaluasi integritas data dan keandalan sistem. Penelitian dilaksanakan di BRIN Kawasan Sains dan Teknologi Samaun Samadikun, Kota Bandung, pada periode Januari hingga April 2025.

### Alat dan Bahan

Pada pembuatan alat *Laser Silent Communication* berbasis Arduino Nano untuk mendukung komunikasi senyap militer, digunakan beberapa alat dan bahan, yaitu dua unit Lenovo ThinkPad dengan prosesor Intel Core i7 generasi ke-11 dan RAM 8 GB, dua instalasi Arduino IDE, dua Arduino Nano, satu modul laser, satu *photodiode*, dua PCB atau *breadboard*, dua transistor NPN beserta resistor basis, dua resistor, dua sumber daya 5 V, serta 20 kabel jumper sebagai media penghubung antar komponen.

### Prosedur Penelitian



Gambar 1. Gambar Prosedur penelitian  
Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Prosedur penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur untuk memperoleh dasar teoritis dalam pengembangan sistem *Optical Wireless Communication (OWC)*. Berdasarkan hasil kajian tersebut, dilakukan perancangan sistem yang meliputi desain perangkat keras dan perangkat lunak, dilanjutkan dengan pemilihan komponen, perakitan rangkaian, serta pemrograman sistem agar seluruh komponen dapat bekerja secara terpadu. Setelah sistem terintegrasi, dilakukan pengujian lapangan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi nyata. Data hasil pengujian kemudian dikumpulkan dan diolah untuk menganalisis performa sistem, selanjutnya diinterpretasikan sebagai dasar penyusunan laporan penelitian sebagai tahap akhir.

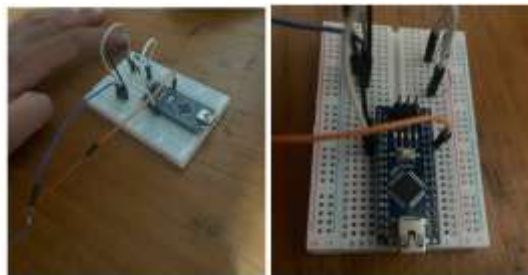
### 3. Hasil dan Diskusi

#### Pengujian Kemampuan Laser Dalam Mengirimkan Data

Serangkaian pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem komunikasi berbasis cahaya laser dalam melakukan transmisi dan penerimaan data teks pada berbagai kondisi operasional. Parameter yang diuji meliputi jarak komunikasi, tingkat keberhasilan pengiriman data, pengaruh kondisi pencahayaan lingkungan, serta ketahanan sistem terhadap gangguan *Radio Frequency (RF)*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak dan intensitas cahaya untuk mengetahui batas kemampuan sistem dalam mempertahankan kualitas komunikasi.

Selain itu, dilakukan pengujian terhadap interferensi RF untuk membuktikan bahwa sistem komunikasi berbasis cahaya laser tidak terpengaruh oleh gangguan yang umum terjadi pada komunikasi radio konvensional. Pengujian ini didasarkan pada konsep *Optical Wireless Communication (OWC)*, di mana faktor seperti jarak transmisi, kondisi *Line of Sight (LOS)*, karakteristik sensor penerima, dan lingkungan optik sangat memengaruhi kualitas komunikasi. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk *success rate*, waktu transmisi, *error rate*, dan stabilitas komunikasi pada setiap skenario pengujian.

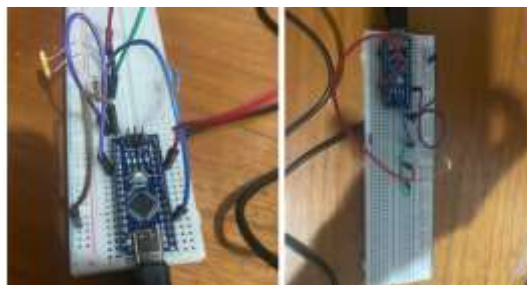
Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem berhasil direalisasikan menggunakan Arduino Nano, modul laser, sensor cahaya, resistor, transistor, kabel jumper, dan catu daya 5 V. Pada sisi *transmitter*, data teks diubah menjadi bit biner yang mengendalikan pola nyala dan mati laser, sedangkan pada sisi *receiver*, sensor cahaya mendeteksi perubahan intensitas cahaya untuk direkonstruksi kembali menjadi karakter teks. Dengan demikian, sistem telah sesuai dengan konsep *Optical Wireless Communication (OWC)* sebagai alternatif komunikasi yang tidak bergantung pada spektrum RF.



**Gambar 2. Perancangan Komponen Rangkaian Pada Transmitter**

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

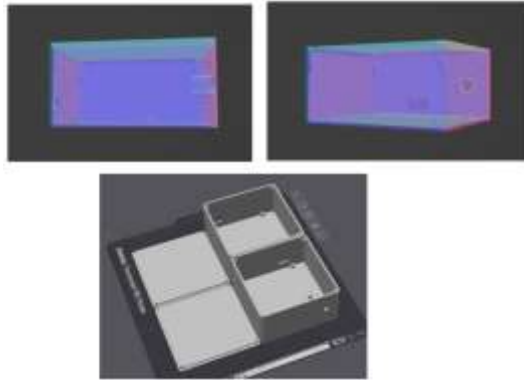
Pada bagian *transmitter*, Arduino Nano berfungsi sebagai pengendali utama yang mengubah pesan teks menjadi data biner untuk mengendalikan modul laser melalui transistor NPN. Transistor berfungsi sebagai sakelar elektronik sehingga modul laser dapat menyala saat bit bernilai 1 dan mati saat bit bernilai 0. Pola nyala dan mati tersebut menjadi media pembawa informasi digital dari pengirim ke penerima.



**Gambar 3. Perancangan Komponen Rangkaian Pada Receiver**

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Pada bagian *receiver*, sensor cahaya berupa LDR atau *photodiode* mendeteksi perubahan intensitas cahaya laser dan mengubahnya menjadi perubahan tegangan yang dibaca oleh Arduino Nano melalui pin analog. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan ambang batas tertentu untuk menentukan logika 1 atau 0, sehingga bit-bit yang diterima dapat direkonstruksi kembali menjadi karakter teks.



Gambar 4. Perancangan Desain Box Cover Komponen

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Pada tahap ini dilakukan perancangan *box cover* sebagai pelindung dan penataan komponen menggunakan aplikasi 3D. Desain disesuaikan dengan ukuran komponen serta dilengkapi lubang untuk jalur kabel dan baut pemasangan *cover* yang dapat dibuka agar memudahkan proses pemeriksaan. Dengan adanya *box cover* ini, komponen menjadi lebih aman, rapi, dan mudah dipasang.



Gambar 5. Pemasangan Komponen Kedalam Box Cover

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

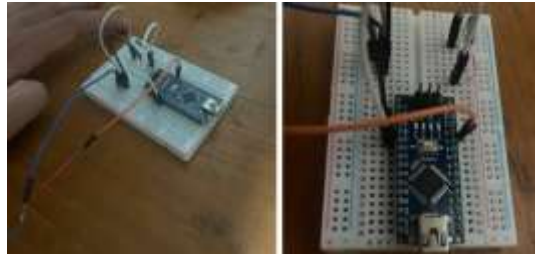
Pada tahap implementasi, seluruh komponen dipasang ke dalam *box cover* sesuai posisinya agar rapi dan tidak mudah bergeser, dengan modul laser dan sensor LDR ditempatkan pada lubang yang telah ditentukan untuk mendukung proses *transmit* dan *receive* secara optimal. Hasil implementasi menunjukkan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik, ditandai dengan kemampuan modul laser mengikuti sinyal digital dari Arduino Nano serta sensor cahaya mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan menghasilkan perubahan tegangan yang dapat dibaca oleh Arduino Nano pada sisi *receiver*.

Tabel 1. Hasil Implementasi Perangkat Keras

| No. | Bagian Sistem      | Komponen       | Hasil Implementasi                                       |
|-----|--------------------|----------------|----------------------------------------------------------|
| 1.  | <i>Transmitter</i> | Arduino Nano   | Berhasil mengolah input teks dan menghasilkan            |
| 2.  | <i>Transmitter</i> | Modul laser    | Berhasil menyala dan mati sesuai pola data               |
| 3.  | <i>Transmitter</i> | Transistor NPN | berhasil berfungsi sebagai sakelar/penguat kendali laser |
| 4.  | <i>Receiver</i>    | Sensor cahaya  | Berhasil mendeteksi pancaran laser                       |
| 5.  | <i>Receiver</i>    | Arduino Nano   | Berhasil membaca perubahan sinyal analog dari sensor     |

|    |                 |              |                                                                   |
|----|-----------------|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| 6. | Media transmisi | Cahaya laser | Berhasil digunakan sebagai kanal pengiriman data pada kondisi LOS |
|----|-----------------|--------------|-------------------------------------------------------------------|

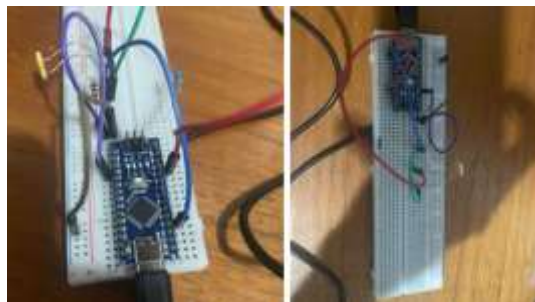
Pada sisi *transmitter*, Arduino Nano dihubungkan dengan modul laser melalui rangkaian transistor NPN yang berfungsi sebagai sakelar elektronik sekaligus menjaga kestabilan kerja laser. Penggunaan transistor juga bertujuan untuk mencegah pin keluaran Arduino terbebani secara langsung oleh arus yang dibutuhkan modul laser.



**Gambar 6. Perancangan Komponen Rangkaian Pada Transmitter**

**Sumber : Diolah Oleh Peneliti**

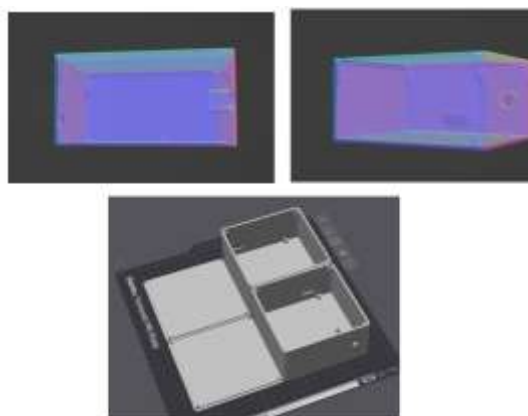
Pada bagian *transmitter*, Arduino Nano berfungsi sebagai pengendali utama yang mengubah data teks menjadi data biner untuk mengendalikan modul laser melalui transistor NPN. Transistor berperan sebagai sakelar elektronik sekaligus melindungi pin Arduino dari beban arus laser. Sinyal logika 1 menyebabkan laser menyala, sedangkan logika 0 menyebabkan laser mati, sehingga pola nyala dan mati laser dapat digunakan untuk membawa informasi digital dari pengirim ke penerima.



**Gambar 7. Perancangan Komponen Rangkaian Pada Receiver**

**Sumber : Diolah Oleh Peneliti**

Pada bagian *receiver*, sensor cahaya berupa LDR atau *photodiode* yang disusun dalam rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya laser. Perubahan tegangan yang dihasilkan dibaca oleh Arduino Nano melalui pin analog, kemudian dibandingkan dengan nilai *threshold* untuk menentukan logika 1 atau 0. Bit-bit yang diperoleh selanjutnya direkonstruksi kembali menjadi karakter teks sesuai dengan pesan yang dikirim.



**Gambar 8. Perancangan Desain Box Cover Komponen**

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Pada tahap ini dilakukan perancangan *box cover* untuk melindungi dan merapikan komponen menggunakan aplikasi 3D. Desain dibuat sesuai ukuran komponen serta dilengkapi lubang untuk jalur kabel dan baut pemasangan *cover* yang dapat dibuka saat pemeriksaan. Dengan demikian, komponen menjadi lebih aman, tertata rapi, dan mudah dipasang.



**Gambar 9. Pemasangan Komponen Kedalam Box Cover**

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Seluruh komponen dipasang ke dalam *box cover* agar lebih rapi dan aman. Hasil implementasi menunjukkan bahwa modul laser dan sensor cahaya dapat bekerja dengan baik sesuai fungsi masing-masing, sehingga proses *transmit* dan *receive* data dapat berlangsung dengan baik.

**Tabel 2. Hasil Implementasi Perangkat Keras**

| No. | Bagian Sistem      | Komponen       | Hasil Implementasi                                                |
|-----|--------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1.  | <i>Transmitter</i> | Arduino Nano   | Berhasil mengolah input teks dan menghasilkan                     |
| 2.  | <i>Transmitter</i> | Modul laser    | Berhasil menyala dan mati sesuai pola data                        |
| 3.  | <i>Transmitter</i> | Transistor NPN | berhasil berfungsi sebagai sakelar/penguat kendali laser          |
| 4.  | <i>Receiver</i>    | Sensor cahaya  | Berhasil mendeteksi pancaran laser                                |
| 5.  | <i>Receiver</i>    | Arduino Nano   | Berhasil membaca perubahan sinyal analog dari sensor              |
| 6.  | Media transmisi    | Cahaya laser   | Berhasil digunakan sebagai kanal pengiriman data pada kondisi LOS |

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman *C/C++*. Program pada sisi *transmitter* berfungsi mengubah pesan teks menjadi data biner dan mengirimkannya melalui modulasi nyala-mati laser, sedangkan program pada sisi *receiver* membaca sinyal dari sensor cahaya dan merekonstruksi data biner tersebut menjadi karakter teks.



**Gambar 10. Coding Transmitter**

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti



Gambar 11. Coding Receiver

#### Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Secara umum, perangkat lunak bekerja dengan mengubah pesan teks yang dimasukkan melalui *Serial Monitor* menjadi data biner, mengirimkannya melalui laser menggunakan teknik *On-Off Keying (OOK)*, kemudian mendeteksi sinyal tersebut pada sisi *receiver* untuk direkonstruksi kembali menjadi karakter teks dan ditampilkan pada *Serial Monitor*. Hasil implementasi menunjukkan bahwa proses *encoding*, modulasi, pembacaan sensor, *decoding*, serta penampilan pesan dapat berjalan dengan baik, sehingga sistem mampu mendukung fungsi pengiriman dan penerimaan pesan teks menggunakan cahaya laser.

Tabel 3. Hasil Pengujian Fungsi Pengiriman Pesan

| No. | Pesan Dikirim               | Pesan Diterima              | Keterangan |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| 1.  | A                           | A                           | Berhasil   |
| 2.  | UNHAN                       | UNHAN                       | Berhasil   |
| 3.  | LASER                       | LASER                       | Berhasil   |
| 4.  | KOMUNIKASI                  | KOMUNIKASI                  | Berhasil   |
| 5.  | <i>SILENT COMMUNICATION</i> | <i>SILENT COMMUNICATION</i> | Berhasil   |
| 6.  | UNHAN RI 123!               | UNHAN RI 123!               | Berhasil   |

Berdasarkan pengujian fungsi, sistem dinyatakan berhasil apabila pesan yang dikirim oleh *transmitter* dapat diterima kembali oleh *receiver* dengan karakter yang sama. Kesalahan berupa perubahan atau hilangnya karakter dicatat sebagai *error* transmisi. Keberhasilan sistem dipengaruhi oleh ketepatan arah laser, kestabilan jarak, dan nilai *threshold* pada program *receiver*.

Pengujian jarak transmisi dilakukan pada kondisi *Line of Sight (LOS)* dengan memvariasikan jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Parameter yang diamati meliputi keberhasilan penerimaan pesan dan tingkat kesalahan karakter. Semakin jauh jarak transmisi, semakin besar kemungkinan terjadinya ketidaktepatan pancaran laser terhadap sensor penerima sehingga kualitas komunikasi dapat menurun.

Tabel 4. Hasil Pengujian Jarak Transmisi

| No. | Jarak Pengujian | Pesan Dikirim     | Pesan Diterima    | Keterangan                       |
|-----|-----------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| 1.  | 5m              | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Pesan diterima lengkap dan jelas |
| 2.  | 50m             | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Pesan diterima lengkap dan jelas |
| 3.  | 100m            | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Pesan diterima lengkap dan jelas |
| 4.  | 200m            | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Sinyal masih stabil              |
| 5.  | 500m            | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JYA 123!"  | Ada Huruf yang tidak terbaca     |

|    |      |                   |                 |                              |
|----|------|-------------------|-----------------|------------------------------|
| 6. | 850m | “UNHAN JAYA 123!” | “UHAN JAYA 123” | Ada Huruf yang tidak terbaca |
|----|------|-------------------|-----------------|------------------------------|

Berdasarkan hasil pengujian jarak, sistem komunikasi laser dapat bekerja dengan baik selama pancaran laser mengenai sensor penerima secara stabil. Namun, pada jarak yang lebih jauh, ketelitian arah pancaran menjadi semakin penting karena karakteristik berkas laser yang sempit menyebabkan sedikit pergeseran posisi dapat menurunkan kualitas penerimaan sinyal.

Pengujian kecepatan pengiriman pesan dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sistem dalam mentransmisikan data dari *transmitter* ke *receiver*. Kecepatan transmisi dipengaruhi oleh durasi pengiriman setiap bit, jumlah karakter pesan, dan kemampuan *receiver* dalam membaca perubahan intensitas cahaya. Parameter yang diamati meliputi waktu pengiriman dan jumlah karakter yang berhasil diterima, dengan jumlah bit dihitung berdasarkan banyaknya karakter ASCII yang dikirim.

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kecepatan Pengiriman Pesan**

| No. | Pesan Dikirim                                        | Jumlah Karakter | Jumlah Bit | Waktu Pengiriman | Kecepatan |
|-----|------------------------------------------------------|-----------------|------------|------------------|-----------|
| 1.  | “UNHAN JAYA 123!”                                    | 15              | 120 Bit    | 8 detik          | 15 bps    |
| 2.  | “TEKNIK ELEKTRO JAYA”                                | 19              | 152 Bit    | 10 detik         | 15 bps    |
| 3.  | “NARA NATYASAKA JAYA ABADI”                          | 25              | 200 Bit    | 13 detik         | 15 bps    |
| 4.  | “UNIVERSITAS PERTAHANAN RI SENTUL BOGOR”             | 38              | 304 Bit    | 20 detik         | 15 bps    |
| 5.  | “RANCANG BANGUN SISTEM <i>SILENT COMMUNICATION</i> ” | 42              | 336 Bit    | 22 detik         | 15 bps    |
| 6.  | “CANKA PRADITYA WIRATAMA”                            | 23              | 184 Bit    | 12 detik         | 15 bps    |

Berdasarkan hasil pengujian, waktu pengiriman pesan meningkat seiring bertambahnya jumlah karakter dan bit yang dikirim. Meskipun demikian, kecepatan transmisi relatif stabil, yaitu sekitar 15 bps, sehingga menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan pesan teks secara konsisten meskipun panjang pesan yang dikirim berbeda-beda.

Tingkat keberhasilan penerimaan pesan digunakan untuk mengevaluasi akurasi sistem dalam menerima data yang dikirim dengan membandingkan jumlah karakter atau bit yang diterima dengan benar terhadap jumlah data yang dikirim. Selain itu, kualitas transmisi juga dapat dianalisis menggunakan parameter *Bit Error Rate (BER)* untuk mengetahui tingkat kesalahan yang terjadi selama proses komunikasi.

**Tabel 6. Hasil Pengujian Success Rate**

| No. | Jarak | Jumlah Karakter Dikirim | Jumlah Karakter Benar | Jumlah Error | BER  |
|-----|-------|-------------------------|-----------------------|--------------|------|
| 1.  | 5m    | 15                      | 15                    | -            | 100% |
| 2.  | 50m   | 15                      | 15                    | -            | 100% |
| 3.  | 100m  | 15                      | 15                    | -            | 100% |
| 4.  | 200m  | 15                      | 15                    | -            | 100% |
| 5.  | 500m  | 15                      | 14                    | 1            | 93%  |
| 6.  | 850m  | 15                      | 13                    | 2            | 86%  |

Berdasarkan hasil pengujian, tingkat keberhasilan penerimaan pesan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu intensitas cahaya laser, sensitivitas sensor, kestabilan posisi transmitter dan receiver, serta gangguan cahaya lingkungan. Apabila sensor menerima cahaya laser secara stabil, maka data dapat diterima dengan tingkat kesalahan yang rendah.

**Tabel 7. Hasil Pengujian BER (Bit error rate)**

| No. | Jarak | Jumlah Bit Dikirim | Jumlah Bit Error | BER(%) |
|-----|-------|--------------------|------------------|--------|
| 1.  | 5m    | 120 Bit            | -                | -      |
| 2.  | 50m   | 120 Bit            | -                | -      |
| 3.  | 100m  | 120 Bit            | -                | -      |
| 4.  | 200m  | 120 Bit            | -                | -      |
| 5.  | 500m  | 120 Bit            | 8                | 6,67 % |
| 6.  | 850m  | 120 Bit            | 16               | 13,33% |

Berdasarkan hasil pengujian, sistem komunikasi laser mampu mentransmisikan data tanpa kesalahan (*Bit Error Rate/BER* = 0) pada jarak hingga 200 m. Namun, pada jarak 500 m dan 850 m terjadi peningkatan nilai *BER* akibat pelemahan intensitas sinyal dan penyebaran berkas laser, sehingga kualitas komunikasi mengalami penurunan. Dengan demikian, jarak efektif sistem berada pada rentang hingga 200 m, sedangkan komunikasi pada jarak yang lebih jauh memerlukan peningkatan daya pancar atau penerapan teknik *error correction* untuk menjaga keandalan sistem.

Pengujian ketahanan terhadap *jamming Radio Frequency* (RF) menunjukkan bahwa sistem tetap dapat beroperasi dengan baik meskipun terdapat gangguan frekuensi radio di sekitarnya. Hal ini disebabkan media transmisi yang digunakan berupa cahaya laser, sehingga perambatan sinyal tidak dipengaruhi oleh interferensi pada spektrum RF seperti yang terjadi pada sistem komunikasi radio konvensional.

**Tabel 8. Hasil Pengujian Ketahanan terhadap Jamming RF**

| No. | Kondisi Pengujian                  | Sumber Gangguan RF | Pesan Dikirim     | Pesan Diterima    | Status   |
|-----|------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 1.  | Tanpa jamming RF                   | Tidak ada          | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Berhasil |
| 2.  | Dengan WiFi aktif                  | Router/Hotspot     | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Berhasil |
| 3.  | Dengan perangkat RF dekat receiver | Remote Mobil       | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Berhasil |
| 4.  | Dengan beberapa sumber RF          | Radio HT           | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Berhasil |

Berdasarkan hasil pengujian, sistem memiliki potensi sebagai media komunikasi alternatif yang tahan terhadap gangguan *Radio Frequency* (RF), sesuai dengan tujuan penelitian untuk mengurangi ketergantungan pada spektrum radio. Meskipun demikian, sistem masih rentan terhadap faktor lain, terutama gangguan cahaya dan perubahan posisi antara laser dan sensor yang dapat memengaruhi kualitas komunikasi.

Untuk mengevaluasi pengaruh tersebut, dilakukan pengujian terhadap gangguan optik (*optical interference*) dengan menghadirkan berbagai sumber cahaya eksternal di sekitar receiver. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis sensitivitas sensor serta efektivitas nilai *threshold* dalam membedakan sinyal laser dengan cahaya lingkungan. Hasilnya menjadi indikator penting dalam menilai keandalan sistem komunikasi laser, khususnya pada lingkungan dengan intensitas cahaya yang tinggi.

**Tabel 9. Hasil Pengujian Ketahanan terhadap Gangguan Optik**

| No. | Jenis Gangguan Optik | Posisi Gangguan | Pesan Dikirim     | Pesan Diterima    | Keterangan |
|-----|----------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------|
| 1.  | Tanpa Gangguan Optik | -               | "UNHAN JAYA 123!" | "UNHAN JAYA 123!" | Berhasil   |

|    |                               |                                                 |                   |                   |                                                                               |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | Cahaya Ruangan                | Sekitar <i>receiver</i>                         | “UNHAN JAYA 123!” | “UNHAN JAYA 123!” | Berhasil                                                                      |
| 3. | Cahaya Senter                 | Sekitar <i>receiver</i>                         | “UNHAN JAYA 123!” | “UNHAN JAYA 123!” | Sensor kesulitan mendeteksi cahaya laser yang dikirimkan <i>Transmitter</i>   |
| 4. | Cahaya Laser Lain             | Sekitar <i>receiver</i>                         | “UNHAN JAYA 123!” | “UNHAN JAYA 123!” | Sensor tidak dapat mendeteksi cahaya laser yang dikirimkan <i>Trasnmitter</i> |
| 5. | Cahaya Matahari               | Sekitar <i>receiver</i>                         | “UNHAN JAYA 123!” | “UNHAN JAYA 123!” | Berhasil                                                                      |
| 6. | Dibelokkan Menggunakan Cermin | Diantara <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i> | “UNHAN JAYA 123!” | “UNHAN JAYA 123!” |                                                                               |

### Analisis Hasil Pengujian Sistem Komunikasi Laser

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem *silent communication* berbasis cahaya laser berdasarkan parameter keberhasilan transmisi data, jarak komunikasi, pengaruh lingkungan, dan ketahanan terhadap gangguan *Radio Frequency* (RF). Selain itu, sistem dirancang untuk mendukung konsep komunikasi dengan probabilitas deteksi dan intersepsi yang rendah sehingga dapat menjadi alternatif komunikasi yang lebih aman dibandingkan sistem berbasis gelombang radio.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem berbasis Arduino Nano berhasil diimplementasikan menggunakan konsep *Optical Wireless Communication* (OWC) dengan metode modulasi *On-Off Keying* (OOK). Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendukung proses *encoding*, transmisi, dan *decoding* data secara *real-time*, sehingga pesan teks dapat diterima kembali dengan baik pada kondisi *Line of Sight* (LOS) yang optimal.

Pengujian pengiriman dan penerimaan data menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan integritas data dengan baik. Sinkronisasi waktu melalui pengaturan *bit delay* serta ketepatan penyalarsan arah laser terhadap sensor menjadi faktor penting dalam menjaga kestabilan komunikasi. Selain itu, pengaruh jarak juga cukup signifikan, di mana peningkatan jarak menyebabkan pelemahan sinyal dan menuntut tingkat presisi penyalarsan yang lebih tinggi agar komunikasi tetap berlangsung secara optimal.

Hasil pengujian ketahanan terhadap *jamming* RF menunjukkan bahwa sistem tetap mampu beroperasi secara stabil meskipun terdapat sumber interferensi radio di sekitar area pengujian. Hal ini disebabkan media transmisi yang digunakan berupa cahaya laser, sehingga tidak terpengaruh oleh gangguan pada spektrum RF. Karakteristik pancaran laser yang sangat terarah juga mendukung konsep *Low Probability of Intercept* (LPI) dan *Low Probability of Detection* (LPD), sehingga komunikasi menjadi lebih sulit dideteksi maupun disadap.

Pengujian terhadap pengaruh cahaya lingkungan menunjukkan bahwa intensitas cahaya eksternal berpengaruh terhadap kualitas penerimaan sinyal pada sensor. Sistem memberikan performa terbaik pada kondisi pencahayaan rendah, sedangkan intensitas cahaya yang tinggi dapat meningkatkan *noise* optik dan menurunkan kualitas komunikasi. Meskipun demikian, melalui kalibrasi nilai *threshold* yang tepat, sistem masih mampu mempertahankan komunikasi dengan baik serta memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai alternatif komunikasi taktis yang aman dan tahan terhadap gangguan RF.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem *silent communication* berbasis cahaya laser menggunakan Arduino Nano berhasil direalisasikan dengan baik. Sistem terdiri atas perangkat transmitter dan receiver yang mampu melakukan proses *encoding*, modulasi, transmisi optik, deteksi sinyal, hingga *decoding* data secara efektif. Hasil implementasi menunjukkan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak dapat bekerja sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengiriman dan penerimaan pesan teks dengan baik selama kondisi *Line of Sight* (LOS) terjaga. Kinerja sistem dipengaruhi oleh jarak komunikasi, sinkronisasi waktu, dan pengaturan nilai *threshold* pada sensor penerima. Selain itu, peningkatan jarak dan intensitas cahaya lingkungan yang tinggi dapat menurunkan kualitas penerimaan sinyal akibat pelemahan daya optik dan meningkatnya *noise* cahaya, meskipun

sistem masih mampu mempertahankan komunikasi dengan tingkat keberhasilan yang baik. Pengujian terhadap gangguan Radio Frequency (RF) membuktikan bahwa sistem memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap interferensi dan RF jamming karena menggunakan media transmisi berupa cahaya laser. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi komunikasi berbasis cahaya laser memiliki potensi sebagai media silent communication yang aman, minim jejak elektromagnetik, sulit dideteksi, serta dapat mendukung kebutuhan komunikasi taktis pada lingkungan militer yang menghadapi ancaman peperangan elektronik.

## Referensi

1. Alifia Putri, A., Subagja, B., Iqbal Fauzan, M., Nurul Putri, N., Citra Dewi, T., Fuada, S., Paris Hasugian, L., & Telekomunikasi, S. (2025). Survey of Optical wireless communication Technology for Communication System Applications in Transportation. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Informasi*, 22(3), 117–128. <https://doi.org/10.31515/telematika.v22i3.13678>
2. Alimi, I. A., & Monteiro, P. P. (2024). Revolutionizing Free-Space Optics: A Survey of Enabling Technologies, Challenges, Trends, and Prospects of Beyond 5G Free-space optical (FSO) Communication Systems. In *Sensors* (Vol. 24, Issue 24). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24248036>
3. Chen, S., Li, W., Zheng, W., Liu, F., Zhou, S., Wang, S., Yuan, Y., & Zhang, T. (2025). Application of Optical Communication Technology for UAV Swarm. In *Electronics* (Switzerland) (Vol. 14, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/electronics14050994>
4. Dang, T. S., Nguyen, V. T., Cao Van Toan, & Dang, T. N. (2024a). Exploring physical layer security in underwater optical wireless communication: A concise overview. *Journal of Military Science and Technology*, 98, 3–14. <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.98.2024.3-14>
5. Dang, T. S., Nguyen, V. T., Cao Van Toan, & Dang, T. N. (2024b). Exploring physical layer security in underwater optical wireless communication: A concise overview. *Journal of Military Science and Technology*, 98, 3–14. <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.98.2024.3-14>
6. Eldallal, T. A., Fayed, H. A., & Aly, H. (n.d.). Data transmission prototypes through wireless optical communication link using Arduino microcontroller. In *JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS* (Vol. 21, Issue 8).
7. Fazio, P., Tropea, M., Mehic, M., De Rango, F., & Voznak, M. (2023). Performance evaluation of free space optics laser communications for 5g and beyond secure network connections. *Proceedings of the International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, 1, 251–258. <https://doi.org/10.5220/0012079700003546>
8. Lema, G. G. (2023). Free space optics communication system design using iterative optimization. *Journal of Optical Communications*, 44(s1), S1205–S1216. <https://doi.org/10.1515/joc-2020-0007>
9. Machine learning for Free space optical communication: A Systematic Review with Emphasis on NOMA and Massive MIMO Integration. (2025). *Fusion: Practice and Applications*, 20(2). <https://doi.org/10.54216/fpa.200206>
10. Nalakurthi, N. V. S. R., Abimbola, I., Ahmed, T., Anton, I., Riaz, K., Ibrahim, Q., Banerjee, A., Tiwari, A., & Gharbia, S. (2024). Challenges and Opportunities in Calibrating Low-Cost Environmental Sensors. In *Sensors* (Vol. 24, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24113650>
11. Prabu, R. T., Lingaraj, V., Kailairajan Jeyaprakash, J. K., Jebanazer, J., Govindaswamy, N., Natarajan, S. K., & Orabi, O. S. (2025). Light emitting diode and laser diode system behaviour description and their performance signature measurements. *Journal of Optical Communications*, 46(2), 323–334. <https://doi.org/10.1515/joc-2024-0043>
12. Qi, Y., & Wu, B. (2021). Wideband photonic interference cancellation based on free space optical communication.
13. Rajput, A. S., Lázaro, J. A., Lerín, A., Sevilla, D., & Barcelona, D. (2019). Towards an Optical wireless communication based Vehicle to Vehicle Communication System.
14. So In, C., Londhe, N. D., Bhatt, N., & Kitsing, M. (Eds.). (2024). *Information Systems for Intelligent Systems* (Vol. 379). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-8612-5>
15. Wu, B., Qi, Y., Qiu, C., & Tang, Y. (2021). Wideband anti-jamming based on free space optical communication and photonic signal processing. *Sensors* (Switzerland), 21(4), 1–12. <https://doi.org/10.3390/s21041136>
16. Ye, J., Gao, X., Li, X., Yang, H., An, Y., Xu, P., Wang, A., Dong, X., Wang, Y., Qin, Y., & Gao, Z. (2024). Physical layer security-enhanced optical communication based on chaos masking and chaotic hardware encryption. *Optics Express*, 32(16), 27734. <https://doi.org/10.1364/oe.529540>
17. Zhao, H., Zhao, G., Wang, X., Zhang, Z., & Xun, X. (2025). Intelligent anti-jamming communication technology with electromagnetic spectrum feature cognition. *PLoS ONE*, 20(4 April). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319953>