

Prototipe Alat Transmisi Data menggunakan Gelombang Cahaya berbasis Arduino

Endah Kurniawati^{1*}, Agung Yoke Basuki²

¹PT. Pertamina, Jakarta

²Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*endahkurniawati2@gmail.com

Abstrak— Pada era pandemi saat ini perkembangan teknologi sangat dibutuhkan pada bidang telekomunikasi. Hal ini terjadi karena adanya *social distancing*, adanya kondisi yang diharuskan untuk tidak menyentuh barang – barang yang ada disekitar untuk kesehatan kita sehingga kemudahan untuk berkomunikasi secara *wireless* dimanapun dan kapanpun sudah menjadi faktor utama bagi konsumen pengguna jasa telekomunikasi, begitu juga dengan kualitas dalam penggunaannya Hampir semua hal dilakukan atau dikerjakan melalui internet bahkan sistem pembelajaran Sekolah Dasar hingga Perguruan Tinggi dilakukan dengan sistem pembelajaran online atau daring, sehingga komunikasi data dilakukan hampir setiap saat dan setiap tempat. Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) hampir digunakan disetiap gedung, pertokoan, hunian dan sebagainya.. *Light Fidelity* atau Li-Fi merupakan teknologi terbaru yang akan menggantikan Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). Teknologi ini disebut VLC (*Visible Light Communication*) yaitu sistem komunikasi nirkabel yang menyampaikan informasi dengan memodulasi cahaya yang terlihat oleh mata manusia. Secara teoritis cahaya lampu dari jenis LED (*Light Emitting Diode*) bisa digunakan sebagai media transmisi untuk kecepatan tinggi. Sementara itu penggunaan LED saat ini hanya diaplikasikan sebagai lampu penerangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Sistem kendali alat transmisi pada penelitian ini dirancang menggunakan Arduino sebagai pusat kendali dari sistem. Dari Hasil pengujian LED RGB yang digunakan pada sistem ini dengan jarak 60 cm sebanyak 20 buah dapat bekerja sesuai yang dibutuhkan. Pada pengujian komunikasi membutuhkan waktu kurang dari 1 detik. Dalam pengiriman sinyal pada prototipe ini terdapat bit error rate sistem sebesar 25% hingga 75%, namun tidak mempengaruhi proses lainnya.

Kata Kunci— *Arduino, LED, Li-Fi, VLC, Wi-Fi,*

DOI: 10.22441/jte.2021.v12i2.007

I. PENDAHULUAN

Pada era pandemi saat ini perkembangan teknologi sangat dibutuhkan pada bidang telekomunikasi. Hal ini terjadi karena adanya *social distancing*, adanya kondisi yang diharuskan untuk tidak menyentuh barang – barang yang ada disekitar untuk kesehatan kita sehingga kemudahan untuk berkomunikasi secara

wireless dimanapun dan kapanpun sudah menjadi faktor utama bagi konsumen pengguna jasa telekomunikasi, begitu juga dengan kualitas dalam penggunaannya juga menjadi faktor penting. Adanya perkembangan *Internet of Thing* inipun tidak luput dengan penyebaran virus pada broadcast yang meningkatkan problem IoT security, hingga saat ini sudah terdapat 50 Miliar perangkat terhubung atau terkoneksi internet sehingga sangat memberi kesempatan pada hacker dan criminal ciber.

Dengan salah satu manfaat Wi-Fi yaitu kepraktisannya dapat mengakses internet dengan kecepatan data tinggi dan dapat diakses di berbagai tempat karena sudah bisa ditemukan dimanapun. Kelemahan jaringan *wireless* dapat dibagi menjadi 2 jenis, yakni kelemahan pada konfigurasi dan kelemahan pada jenis enkripsi yang digunakan [1]. Selain itu kekurangan dari Wi-Fi yaitu memiliki ketersediaan bandwidth yang tetap dan terbatasnya area jangkauan. WiMAX menyerupai Wifi. Dengan kelebihan WIMAX dapat mengakses secepat broadband, Area jangkauannya lebih luas daripada WiFi dan akses broadband namun memiliki kekurangan dari penggunaan teknologi WiMAX diperlukan penentuan range frekuensi yang tepat, harga peralatan infrastruktur yang masih sangat mahal.

Gelombang elektromagnetik adalah suatu gelombang yang dapat merambat tanpa membutuhkan media atau perantara, gelombang elektromagnetik memiliki sifat dapat merambat dalam ruang hampa. Sampai saat ini gelombang elektromagnetik hanya dimanfaatkan pada gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, sinar ultraviolet, sinar X, sinar gamma [2]. Teknologi dengan memanfaatkan LED juga dikenal dengan sistem *Visible Light Communication* (VLC) yaitu komunikasi data menggunakan cahaya tampak untuk pengiriman dan penerimaan informasi atau data dengan menggunakan gelombang elektromagnetik pada spektrum cahaya tampak antara 375 nm - 780 nm [3] dengan memanfaatkan LED sebagai diode untuk mentransferkan sinyal informasi pada gadget komputer dan lain – lain. Saat ini VLC dikembangkan pada Li-Fi (*Light Fidelity*). Dengan menggunakan LED bisa mendapatkan bandwidth modulasi tinggi, penerangan hemat energi dan kecepatan yang berbeda. LED ini memiliki kecepatan switching yang tinggi yang memungkinkan untuk memodulasi sesuai dengan aliran bit yang dikirim. Transmisi ini berlangsung dalam aliran paralel sehingga lebih banyak data sedang dikirim secara bersamaan. Dalam Li-Fi, data ditransmisikan dalam beberapa aliran bit melalui kipas kecepatan tinggi dari bohlam LED dan diterjemahkan di sisi penerima yang terdiri dari sebuah photodetector. Teknologi Li-Fi sangat dibutuhkan untuk

mengatasi dan mempermudah komunikasi secara wireless pada era pandemi ini. Oleh sebab itu penelitian untuk mengetahui sistem kerja pada alat transmisi data komunikasi satu arah dengan memanfaatkan gelombang cahaya tampak pada LED yang digunakan sebagai pengirim sinyal informasi sehingga kedipan cahaya dapat mengirimkan data dengan memetakannya ke kode ASCII yang sesuai.

II. PENELITIAN TERKAIT

Pada penelitian [4] yang dilakukan menjelaskan mengenai apa itu Li-Fi, perbedaan antara komunikasi cahaya tampak (VLC) dengan dan *light fidelity* (Li-Fi). Pada penelitian ini menunjukkan bagaimana Li-Fi membawa VLC lebih jauh dengan menggunakan dioda pemancar cahaya (LED) untuk mewujudkan sistem nirkabel jaringan penuh dengan mencakup semua area penelitian utama dari komponen Li-Fi hingga jaringan hybrid Li-Fi atau wireless fidelity (WiFi) hingga Li-Fi untuk meningkatkan komunikasi nirkabel.

Pada penelitian [5] yang berjudul “Li-Fi Technology Transmission of data through light” menjelaskan mengenai sistem Li-Fi terhubung pada perangkat dalam suatu ruangan dengan cara kerja Li-Fi yang sederhana dengan membandingkan teknologi Wi-Fi dan Li-Fi.

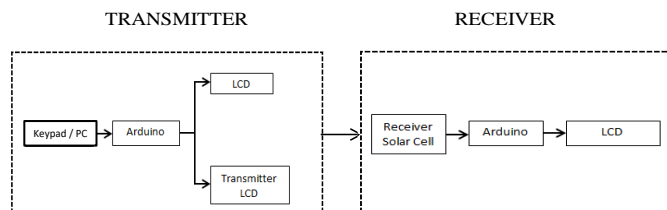
Berdasarkan hasil dari simulasi penelitian [6], dapat disimpulkan bahwa Li-Fi memberikan solusi yang cukup signifikan dalam memanfaatkan adanya cahaya tampak pada LED yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga LED dapat dimanfaatkan sebagai media untuk komunikasi data dengan menggunakan cahaya tampak dengan pola modulasi 16 QAM.

Pada penelitian [7] dengan judul “A Review on Li-Fi : Data Transmission Through Illumination” menjelaskan bahwa data atau informasi dikirimkan melalui media nirkabel menggunakan sinyal frekuensi radio (RF). Dengan memodulasi intensitas sumber cahaya seperti LED digunakan sebagai pemancar dan detektor fotosensitif seperti *Photodiodes* (PD) digunakan untuk demodulasi sinyal cahaya untuk diubah kembali menjadi bentuk listrik sebagai penerima. Teknologi Li-Fi sangat dibutuhkan untuk mengatasi masalah yang dihadapi oleh sistem komunikasi nirkabel konvensional.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Blok Diagram

Untuk mempermudah perencanaan dan pembuatan alat, digunakan diagram blok sistem dengan rancangan secara garis besar sebagai berikut.



Gambar 1. Blok Diagram

Pada rancangan sistem yang diajukan terdapat inputan yang terhubung pada kendali transmitter sebagai masukan data yang akan dikirimkan. Pada inputan PC menggunakan software

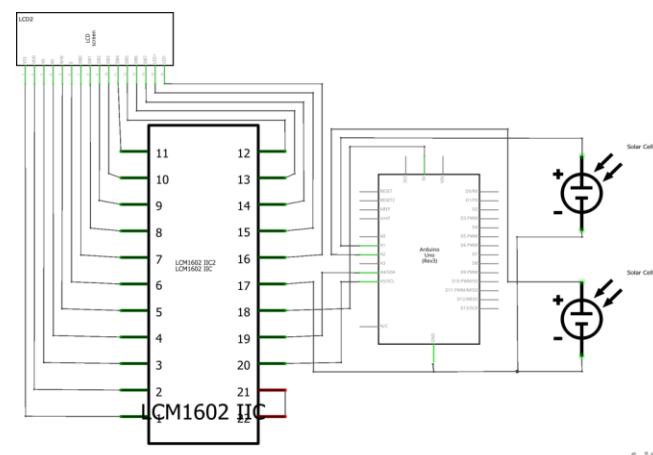
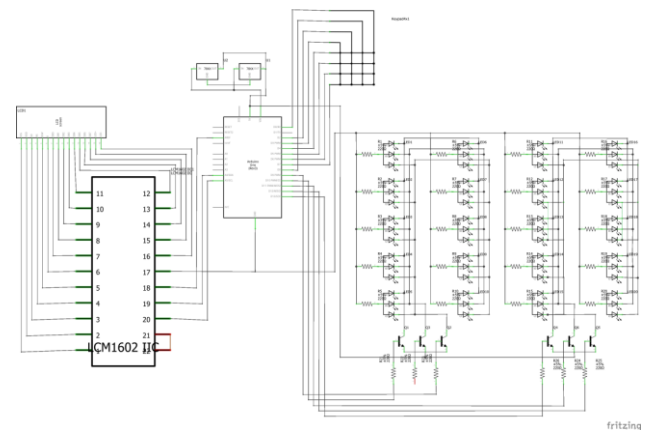
Matrix Laboratory & Arduino IDE untuk menjalankan operasi pada kendali Transmitter dan memasukan data yang akan dikirimkan. Selain itu terdapat pilihan lain untuk inputan dengan menggunakan Keypad Matrix 3 x 4. Kemudian pada bagian proses terdapat Arduino Uno sebagai kendali Transmitter.

Terdapat 2 output pada rancangan transmitter sistem ini sebagai keluaran data yang diterima. Pada LCD merupakan output nilai data yang akan dikirimkan. Pada Transmitter LCD merupakan output yang menjadi sinyal informasi dan akan diterima oleh rancangan receiver.

Pada Kendali receiver nilai tegangan yang didapatkan oleh sensor atau Solar Cell akan dikonversikan kembali ke data huruf atau angka. Untuk mendapatkan data yang sesuai setelah dikonversikan maka dibuatlah rentang nilai toleransi sebagai acuan pada Arduino IDE. Data konversi yang didapat akan ditampilkan pada LCD sebagai output data huruf dan angka yang diterima sama seperti output yang ditampilkan pada LCD rancangan transmitter

B. Rancangan Skematik

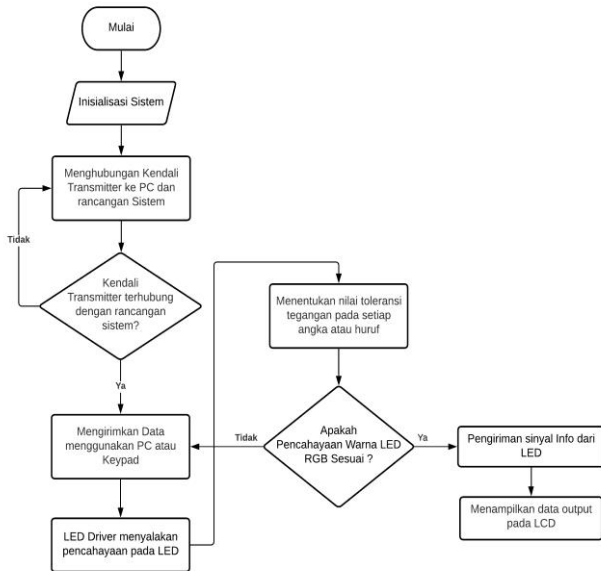
Pada penelitian ini penulis menggunakan software Fritzing untuk mensimulasikan rancangan yang akan dibuat yang terdiri dari 2 rancangan skematik.



Gambar 2. Rancangan Skematik

C. Flowchart Sistem

Pada sistem yang dirancang terdapat dua buah proses kendali dimana kendali Transmitter dan Receiver menggunakan Arduino Uno



Gambar 3. Flowchart Sistem

IV. HASIL DAN ANALISA

Pada rancangan Prototipe yang dibangun terdapat 2 set sistem beserta kendalinya dengan menggunakan 20 buah LED RGB sebagai pengirim data, Keypad sebagai input dan LCD IIC untuk menampilkan data yang dikirim. Sementara pada set berikutnya sebagai penerima sinyal terdapat 2 buah Solar Cell dan 1 buah LCD IIC untuk menampilkan data yang diterima.



Gambar 4. Hasil Perancangan Alat

A. Pengujian Sistem

Pada pengujian sistem dilakukan pengujian masing – masing fungsi alat pada sistem transmitter dan receiver sebagai berikut :

No	Pengujian	Keterangan	Hasil
1.	LED	20 LED dapat mengirimkan data dengan pola pengiriman 10 LED bagian atas dan 10 LED bagian bawah.	✓
2.	Keypad	Keypad dapat berfungsi untuk mengirimkan karakter	✓
3.	LCD	LCD dapat menampilkan nilai output pada sistem transmitter atau data yang dikirimkan	✓

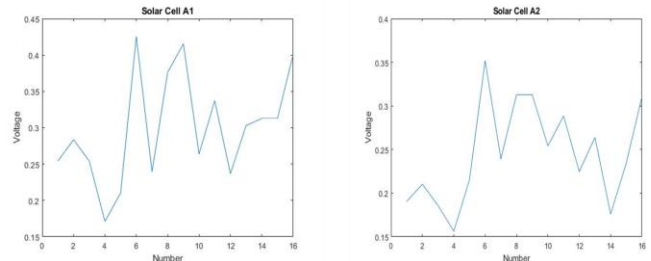
Gambar 5. Pengujian transmitter

No	Pengujian	Keterangan	Hasil
1.	Solar Cell	Solar Cell dapat menerima tegangan yang dikirimkan sebagai sinyal informasi dan dikonversi dari tegangan menjadi data	✓
3.	LCD	LCD dapat menampilkan nilai output pada sistem receiver atau data yang diterima	✓

Gambar 6. Pengujian receiver

B. Pengujian Pembacaan Tegangan

Pada pengujian pembacaan tegangan LED yang dilakukan sesuai dengan pola LED yang akan di uji sehingga mendapatkan hasil tegangan paling tinggi pada tegangan 0,3519 dan 0,4252 dengan warna merah posisi atas dan bawah yang menyala pada tombol 6 untuk tegangan paling rendah terjadi pada tegangan 0,1564 dan 0,1711 dengan warna hijau posisi atas yang menyala pada tombol 4.



Gambar 7. Grafik Pengujian LED

C. Pengujian Kondisi Tunggal

Pengujian pembacaan tegangan LED pada kondisi tunggal tidak dapat dilakukan dengan pembacaan tegangan 1 LED karena menggunakan jarak 60 cm sehingga tegangan tidak terbaca namun dengan menggunakan 10 LED dengan kondisi tunggal berdasarkan variasi warna maka dapat menghasilkan nilai tegangan sebagai berikut :

Tabel 1. Pengujian Tegangan Kondisi Tunggal

No.	Warna	Tegangan	
		A1	A2
1	Merah	0,2102	0,2835
2	Hijau	0,2151	0,2102
3	Biru	0,1857	0,2542

D. Pengujian Kondisi Jamak

Pengujian pembacaan tegangan LED pada kondisi jamak dilakukan dengan pembacaan tegangan 2 atau 3 variasi warna

LED dengan menggunakan jarak 60 cm maka dapat menghasilkan nilai tegangan sebagai berikut :

Tabel 2. Pengujian Tegangan Kondisi Jamak

No.	Warna	Pencampuran Warna	Tegangan	
			A1	A2
1	Merah + Hijau	Merah kecoklatan	0,2395	0,2395
2	Merah + Biru	Ungu	0,2639	0,303
3	Hijau + Biru	Biru Kehijauan	0,176	0,3128
4	Merah + Hijau + Biru	Putih	0,3109	0,4008

Pada hasil pengujian tegangan ini dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik pada LED RGB yang digunakan untuk mengetahui perbedaan antara kondisi Ideal dan Non Ideal yang dilakukan pada saat pengiriman data dengan berdasarkan rangkaian LED.

E. Pengujian Kondisi Ideal

Pengujian pada kondisi Ideal dilakukan pengiriman data tanpa adanya pencahayaan atau penerangan dari luar (tidak terjadi interferensi), sehingga nilai referensi pada saat tidak adanya pengiriman 0 volt. Berdasarkan pada pengiriman informasi data pada kondisi ideal mendapatkan hasil tegangan sebagai berikut :

Tabel 3. Tegangan Kondisi Ideal

NO	Data Input	Kode ASCII	Biner	Tegangan	
				A1	A2
1	0	48	0011 0000	20	24
2	1	49	0011 0001	20	27
3	2	50	0011 0010	16	25
4	3	51	0011 0011	15	16
5	4	52	0011 0100	18	23
6	5	53	0011 0101	33	42
7	6	54	0011 0110	16	20
8	7	55	0011 0111	31	37
9	8	56	0011 1000	28	35
10	9	57	0011 1001	25	28
11	a	97	0110 0001	26	32
12	b	98	0110 0010	20	23
13	c	99	0110 0011	20	28

14	d	100	0110 0100	19	25
15	*	42	0010 1010	21	29
16	#	35	0100 0011	27	34

F. Pengujian Kondisi Non Ideal

Pengujian pada kondisi Non Ideal dilakukan pengiriman dengan adanya pencahayaan atau penerangan dari luar hal ini menyebabkan terjadinya interferensi, sehingga nilai referensi pada saat tidak adanya pengiriman 5 volt pada kedua Solar Cell. Berdasarkan pada pengiriman informasi data pada kondisi Non Ideal mendapatkan hasil tegangan sebagai berikut :

Tabel 4. Tegangan Kondisi Non Ideal

NO	Data Input	Kode ASCII	Biner	Tegangan	
				A1	A2
1	0	48	0011 0000	51	62
2	1	49	0011 0001	49	64
3	2	50	0011 0010	44	62
4	3	51	0011 0011	32	33
5	4	52	0011 0100	43	53
6	5	53	0011 0101	64	80
7	6	54	0011 0110	38	46
8	7	55	0011 0111	63	76
9	8	56	0011 1000	55	67
10	9	57	0011 1001	52	61
11	a	97	0110 0001	54	67
12	b	98	0110 0010	38	44
13	c	99	0110 0011	47	61
14	d	100	0110 0100	39	49
15	*	42	0010 1010	49	64
16	#	35	0100 0011	58	71

G. Pengujian Bit Rate

Pada pengujian Bit rate dilakukan pengujian terhadap pengiriman dan penerimaan data berdasarkan jumlah bit yang dikirimkan dengan waktu tertentu dalam bps atau bit per sekon. Bit pada tabel 5 merupakan kuantisasi paling sederhana dengan

menghitung bit sesuai dengan jumlah variasi warna yang digunakan. Berikut ini tabel bit pada setiap karakter yang digunakan :

Tabel 5. Bit

NO	Data Input	LED		Bit
		Warna	Jumlah LED	
1	0	Merah Atas	10 LED	1 Bit
2	1	Merah Bawah	10 LED	1 Bit
3	2	Biru Bawah	10 LED	1 Bit
4	3	Hijau Atas	10 LED	1 Bit
5	4	Hijau Bawah	10 LED	1 Bit
6	5	Merah Atas dan Bawah	20 LED	1 Bit
7	6	Merah Atas dan Hijau Atas	10 LED	2 Bit
8	7	Merah Atas dan Hijau Bawah	20 LED	2 Bit
9	8	Merah Atas dan Biru Bawah	20 LED	2 Bit
10	9	Hijau Atas dan Bawah	20 LED	1 Bit
11	a	Hijau Atas dan Merah Bawah	20 LED	2 Bit
12	b	Hijau Atas dan Biru Bawah	20 LED	2 Bit
13	c	Biru Bawah dan Merah Bawah	10 LED	2 Bit
14	d	Biru Bawah dan Hijau Bawah	10 LED	2 Bit
15	*	Merah Bawah dan Hijau Bawah	10 LED	2 Bit
16	#	Hijau Atas, Biru Bawah, Merah Bawah, Hijau Bawah	20 LED	3 Bit

H. Pengujian Bit Error Rate

Pada pengujian Bit Error Rate ini dilakukan pengujian terhadap pengiriman dan penerimaan data untuk mengetahui banyaknya Bit yang Error saat dilakukan pengiriman data.

Dengan menggunakan perhitungan BER didapatkan hasil untuk pengujian sebagai berikut :

1. Data input yang ditransmisikan : 6 dengan Biner 00110110
Data output yang diterima : 0 dengan biner 00110000
Maka BER pada kasus ini terdapat 2 kesalahan penafsiran bit 0011 0110, Sehingga nilai BER yang dihasilkan menggunakan rumus (1) pada halaman 20, yaitu :

$$BER = \frac{\text{Jumlah Bit Error}}{\text{Jumlah total Bit Kirim}} \times 100\% \quad (1)$$

$$= \frac{2}{8} \times 100\% = 25\%$$

2. Data input yang ditransmisikan : * dengan Biner 0010 1010

Data output yang diterima : 1 dengan biner 00110000
Maka BER pada kasus ini terdapat 4 kesalahan penafsiran bit 0010 1010, Sehingga nilai BER yang dihasilkan menggunakan rumus (1) pada halaman 20, yaitu :

$$BER = \frac{\text{Jumlah Bit Error}}{\text{Jumlah total Bit Kirim}} \times 100\% \quad (2)$$

$$= \frac{4}{8} \times 100\% = 50\%$$

3. Data input yang ditransmisikan : # dengan Biner 0100 0011
Data output yang diterima : 8 dengan biner 0011 1000
Maka BER pada kasus ini terdapat 6 kesalahan penafsiran bit 0100 0011, Sehingga nilai BER yang dihasilkan menggunakan rumus (1) pada halaman 20, yaitu :

$$BER = \frac{\text{Jumlah Bit Error}}{\text{Jumlah total Bit Kirim}} \times 100\% \quad (3)$$

$$= \frac{6}{8} \times 100\% = 75\%$$

Tabel 6. Tabel Bit Error Rate

Data Input	Biner	Time	Data Ouput	Biner	BER
6	00110110	1s	0	00110000	25%
*	00101010	1s	1	00110001	50%
#	01000011	1s	8	00111000	75%

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian sistem yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut LED RGB yang digunakan pada sistem ini dengan jarak 60 cm sebanyak 20 buah dapat bekerja sesuai yang dibutuhkan. Namun LED hanya dapat digunakan sebesar 90% karena terbatasnya pinout yang digunakan pada sistem kendali transmitter. Sensor dapat mendeteksi sinyal informasi yang dikirimkan berupa tegangan dan sistem penerima dapat mengkonversikan tegangan menjadi data dengan akurasi 100%.

Pada pengujian komunikasi yang dilakukan dari pengiriman data menggunakan keypad dan pengolahan data dari sistem transmitter diproses hingga ke sistem receiver dan menampilkan data yang diterima membutuhkan waktu kurang dari 1 detik. Dalam pengiriman sinyal pada prototipe ini tentu terdapat bit error rate yang terjadi pada sistem sebesar 25% hingga 75%, namun tidak mempengaruhi proses lainnya. Hal ini terjadi dikarenakan tidak stabilnya nilai referensi yang didapatkan pada saat sinyal informasi diterima. Karakteristik pada kondisi Ideal dilakukan tanpa adanya penerangan dari luar sehingga tidak terjadi interferensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Alulu, "Teknologi Wi-Fi Ditinjau Dari Tingkat Keamanan Wireless Lan (Wi-Fi) Dan Solusinya,". *Jurnal Teknik*, Vol. 5, No. 2, 2007.
- [2] J. Sape, "Gelombang Elektromagnetik", 2014. Retrieved Sept 21, 2020 from <http://nary-junary.blogspot.com/2014/11/gelombang-elektromagnetik.html>

- [3] S. Aron, J. Barry, G. Karagiannidis, R. Schober M. Uysal, "Advanced Optical Wireless Communication Systems." *USA: Cambridge University Press.*, 2012
- [4] H. Haas, L. Yin, Y. Wang and C. Chen, "What is LiFi?," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, no. 6, pp. 1533-1544, 15 March 15, 2016, doi: 10.1109/JLT.2015.2510021.
- [5] R. R. Sharma, & A. Sanganal, "Li-Fi Technology Transmission Of Data Through Light," Sharma, Rahul R., and Akshay Sanganal. "Li-Fi Technology: Transmission of data through light." *International Journal of Computer Technology and Applications*, 5 (1),150-154.
- [6] E. Kurniawati, "Prototipe Komunikasi Data Menggunakan Cahaya Berbasis Arduino," Jakarta: Akademi Telkom Jakarta, 2018.
- [7] R. Kalakoti and P. Nehete, "A Review On Li-Fi: Data Transmission Through Illumination," *IJTRE*, Vol. 3, Issue 7, 2016.
- [8] D. Aryani, M. N. Ihsan, and P. Septiyani, "Prototipe Sistem Absensi Dengan Metode Face Recognition Berbasis Arduino Pada SMK Negeri 5 Kabupaten Tangerang," *Semnasteknomedia Online*, vol. 5, no. 1, pp. 1–337, 2017.
- [9] "Arduino - Environment," Arduino.cc, 2015. Retrieved Sept 15, 2020, from <https://www.arduino.cc/en/guide/environment>
- [10] B. Cahyono, "Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier," *Phenomenon : Jurnal Pendidikan MIPA*, vol. 3, no. 1, pp. 45–62, Feb. 2016, doi: 10.21580/phen.2013.3.1.174.
- [11] CaraTekno. Pengertian Arduino UNO Mikrokontroler ATmega328. Retrieved Sept 17, 2020, from <https://www.caratekno.com/pengertian-arduino-uno-mikrokontroler/>
- [12] F. Djuandi, "Pengenalan Arduino," Retrieved Sept 19, 2020 from <http://www.tobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan.pdf>
- [13] Elektronika Dasar, "LCD (Liquid Cristal Display)," Retrieved Sept 19, 2020 from <https://elektronika-dasar.web.id/lcd-liquid-cristal-display/>
- [14] R. T. Fonash, S. J. Fonash, and S. Ashok, "Solar cell," *Encyclopedia Britannica*, 3 Jun. 2020, <https://www.britannica.com/technology/solar-cell>.
- [15] Gaptex, "Pengertian Bitrate," Retrieved Jan 27, 2020 from <https://gaptex.id/glossary/pengertian-bitrate/>
- [16] D. Kho, "Pengertian LED (Light Emitting Diode) dan Cara Kerja LED," 2017. Retrieved Sept 21, 2020 from <http://teknikelektronika.com/pengertian-led-light-emitting-diode-cara-kerja/>
- [17] M. Nasir, "Perbandingan Teknologi Wimax Dengan Wi-Fi," *Jurnal Matrik*, vol. 15, no. 1, pp. 43–52, 2013. Available: <http://jurnal.binadarma.ac.id/index.php/jurnalmatrik/article/view/269>.
- [18] Rekha R, Priyadarshini C, Pooja R, R Prashanth, and S. V. Shetty, "Li-Fi based Data and Audio Communication," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 8, no. 5, 2019.
- [19] Reynn31, "BER (Bit Error Rate)," 2018. Retrieved Jan 27, 2021 from <https://beginnerswelecom.wordpress.com/2018/04/01/ber-bit-error-rate/>
- [20] A. Vinnarasi and S. T. Aarthi, "Transmission Of Data, Audio Signal And Text Using Li-Fi," *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, Vol. 117, No. 17, pp. 179-186, 2017.