

RANCANG BANGUN SISTEM PENGIRIMAN TEKS MENGGUNAKAN LED BERBASIS ARDUINO UNO

Dwiky Kurniawan¹, Ahmad Taqwa², Sholihin³

^{1,2,3}Teknik Telekomunikasi DIV, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Bukit Lama, Ilir Barat 1 Palembang
e-mail: dwikykurniawan.dk@gmail.com¹

Abstrak – Saat ini banyak perangkat yang dapat digunakan untuk berkomunikasi, dimana komunikasi merupakan sebuah informasi yang dapat disampaikan berupa data, berita atau pesan yang di lambang dalam bentuk simbol/ tanda, tulisan, gambar, atau suara.

Komunikasi yang di bangun menggunakan cahaya LED dapat meminimalkan penggunaan gelombang elektromagnetik saat ini. Di harapkan kedepan teknologi yang menggunakan elektromagnetik dapat dikembangkan dengan maksimal. Perancangan komunikasi dengan media lampu LED memiliki 2 perangkat yang dimana terdapat *transmitter* sebagai sumber informasi dan *receiver* sebagai penerima informasi. Pengujian yang dilakukan dengan 3 kondisi yaitu cahaya lampu, gelap, dan cahaya lingkungan. Berdasarkan pengiriman dengan 3 kondisi pada kondisi cahaya lampu nilai yang di dapat hanya sekitar 997 sedangkan pada kondisi gelap bernilai 1000 dan untuk kondisi cahaya lingkungan di dapat nilai 916. Pengiriman kondisi gelap sangat sempurna di bandingkan pada kondisi terang cahaya lampu dan cahaya lingkungan.

Kata kunci – Pengiriman Teks, LED, Photodioda, Arduino

I. PENDAHULUAN

Komunikasi merupakan hal yang dibutuhkan dalam memperoleh informasi saat ini. Dengan berkomunikasi kita dapat menyampaikan hal yang ingin di katakan namun tidak secara langsung. Banyaknya pengguna perangkat saat ini maka semakin banyak pula gelombang elektromagnetik yang berada di udara namun tidak bisa di lihat oleh kasat mata. Padahal dengan banyaknya pengguna gelombang elektromagnetik maka semakin sulit user dalam melakukan pengiriman pesan. Komunikasi cahaya saat ini sedang dalam proses pengembangan di Indonesia, namun lambat laun komunikasi menggunakan cahaya akan mengganyikan teknologi yang masih menggunakan teknologi *wireless*. LED sendiri memiliki ukuran kapasitas yang kecil sehingga tidak menggunakan daya yang terlalu besar. Sistem komunikasi ini memiliki *transmitter* yang berfungsi sebagai informasi dengan media lampu LED. *Receiver* berfungsi sebagai tempat tujuan dari informasi yang di kirimkan oleh *transmitter* dengan media penangkapnya yaitu photodioda. Ketika lampu LED ON (nyala) maka transmisi data berarti mengirimkan digital 1 dan jika LED OFF(mati) maka mengirimkan digital 0. Ketika data dikirim lampu LED akan berkedip secara teratur mengiringi data yang dikirim. Semakin banyak pesan yang dikirim maka akan semakin lama kedipan lampu LED.

II. STUDI PUSTAKA

A. Sistem Komunikasi Cahaya

Komunikasi cahaya mengacu pada teknologi komunikasi yang memanfaatkan sumber cahaya sebagai pemancar sinyal, udara sebagai media transmis, dan potodioda yang tepat sebagai komponen sinyal penerima. Terlihat teknologi komunikasi memiliki sejarah singkat dibandingkan teknologi komunikasi lainnya. Misalnya layanan telepon tua publik, Ethernet, komunikasi optik kecepatan tinggi, komunikasi seluler nirkabel, IrDa, dll. Hal ini disebabkan bahwa pengembangan dan komersialisasi dioda pemancar cahaya LED yang memancarkan cahaya dalam rentang panjang gelombang terlihat berhasil untuk penerangan dalam satu dekade terakhir. Dikatakan bahwa LED pencahayaan akan menggantikan penerangan pencahayaan konvensional seperti lampu pijar dan lampu neon karena memiliki karakteristik seumur hidup panjang, bebas merkuri, pencampuran warna, switching cepat, dll.

B. Blok Transmitter dan Receiver Komunikasi Cahaya

Sistem Komunikasi memiliki 2 blok terpenting yaitu *transmitter* dan *receiver* agar bisa saling mengirim informasi data atau berkomunikasi antar *user* satu dengan *user* lainnya

1. Blok Transmitter pada Komunikasi Cahaya

Blok *transmitter* pada komunikasi berguna untuk mengirim informasi dari user satu ke user lainnya Proses yang terjadi di bagian transmitter ini untuk mengubah informasi yang dikirim berasal dari suara, teks, gambar, dan video yang kemudian dirubah menjadi sandi-sandi yang akan dikirim melalui LED menggunakan media cahaya.

2. Blok Receiver pada Komunikasi Cahaya

Blok *Receiver* pada komunikasi berguna untuk menerima informasi dari user yang mengirim informasi. Proses yang terjadi di bagian *receiver* ini untuk mengubah informasi yang diterima oleh bagian penerima lalu akan dirubah menjadi suara, teks, gambar, dan video tergantung dari informasi data yang dikirim dari transmitter [1].

C. Module Bluetooth

Bluetooth Module HC-05 merupakan *module* komunikasi nirkabel pada frekuensi 2.4GHz dengan pilihan koneksi bisa sebagai *slave*, ataupun sebagai master. Mudah digunakan dengan mikrokontroler untuk membuat aplikasi *wireless*. Interface yang digunakan adalah serial RXD, TXD, VCC dan GND. Built in LED sebagai indikator koneksi *bluetooth*. Tegangan input antara 3.6 ~ 6V, jangan menghubungkan dengan sumber daya lebih dari 7V. Arus saat unpaired sekitar 30mA, dan saat *paired* (terhubung) sebesar

10 mA. 4 pin interface 3.3V dapat langsung dihubungkan ke berbagai macam mikrokontroler (khusus Arduino, 8051, 8535, AVR, PIC, ARM, MSP430, etc.). Jarak efektif jangkauan sebesar 10 meter, meskipun dapat mencapai lebih dari 10 meter, namun kualitas koneksi makin berkurang.

D. LED (Light Emitting Diode)

LED atau singkatan dari *Light Emitting Diode* adalah salah satu komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor jenis dioda yang mampu mengeluarkan cahaya. Mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, bahan yang dipakai adalah *galium*, *arsenic* dan *phosphorus*. Jenis bahan yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula. Keuntungan dari *Light Emitting Diode* (LED) antara lain, *Light Emitting Diode* (LED) memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan lampu lain, dimana *Light Emitting Diode* (LED) lebih hemat energi 80 % sampai 90% dibandingkan lampu lain. *Light Emitting Diode* (LED) memiliki tegangan operasi DC yang rendah [2].

E. Arduino

Arduino adalah jenis suatu papan (board) yang berisi mikrokontroler. Dengan kata lain, arduino dapat disebut sebagai sebuah papan mikrokontroler. Salah satu papan arduino yang terkenal adalah arduino uno. Arduino sesungguhnya adalah hanya platform serbaguna yang memungkinkan untuk deprogram. Program di Ardiano biasa dinamakan dengan sketch. Menuliskan sketch, anda bisa memberikan berbagai instruksi yang akan membuat Arduino dapat melaksanakan tugas sesuai dengan instruksi-instruksi yang diberikan. Selain itu, sketch dapat diubah sewaktu – waktu. Mikrokontroler atau kadang dinamakan pengontrol tertanam (embedded controller) adalah suatu system yang mengandung masukan/keluaran, memori yang digunakan pada produk. Prinsipnya, mikrokontroler adalah sebuah komputer berukuran kecil yang dapat digunakan untuk mengambil keputusan, melakukan hal-hal yang bersifat berulang, dan dapat berinteraksi dengan peranti-peranti eksternal seperti sensor ultrasonic untuk mengukur jarak suatu objek penerima GPS untuk memproleh data posisi kebumian dari satelit.

F. Photodiode

Photodiode adalah suatu jenis dioda yang resistansinya berubah-ubah kalau cahaya yang jatuh pada dioda berubah ubah intensitasnya. Kondisi gelap nilai tahanannya sangat besar hingga praktis tidak ada arus yang mengalir. Semakin kuat cahaya yang jatuh pada dioda maka makin kecil nilai tahanannya, sehingga arus yang mengalir semakin besar. Jika photodiode persambungan positif-negatif (p-n) bertegangan balik disinari, maka arus akan berubah secara linier dengan kenaikan fluks cahaya yang dikenakan pada persambungan tersebut. Photodiode terbuat dari bahan semikonduktor. Photodiode digunakan sebagai komponen pendeteksi ada tidaknya cahaya maupun dapat digunakan untuk membentuk sebuah alat ukur akurat yang dapat mendeteksi intensitas cahaya dibawah 1 pW/cm² sampai intensitas diatas 10mW/cm². Photodiode mempunyai resistansi yang rendah pada kondisi forward bias, kita dapat memanfaatkan photodiode ini pada kondisi reverse bias dimana resistansi

dari photodiode akan turun seiring dengan intensitas cahaya yang masuk [2].

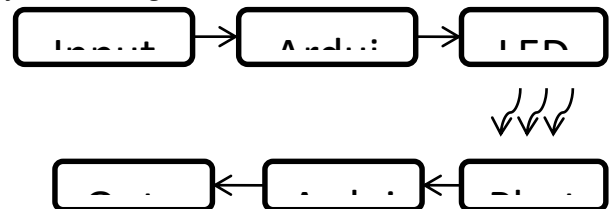
G. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD merupakan singkatan dari *Liquid Crystal Display* yang dapat digunakan untuk menampilkan berbagai hal berkaitan dengan aktivitas mikrokontroller, salah satunya adalah menampilkan teks yang terdiri dari berbagai karakter. LCD banyak digunakan karena fungsinya yang bervariasi, dan juga pemrogramannya yang mudah [3].

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Sistem kerja komunikasi cahaya memerlukan tahapan – tahapan pekerjaan yang urut dan sistematis, serta dilakukan beberapa kali pengambilan data agar didapatkan hasil data pengiriman. Sistem komunikasi menggunakan arduino yang di jelaskan sebagai berikut.

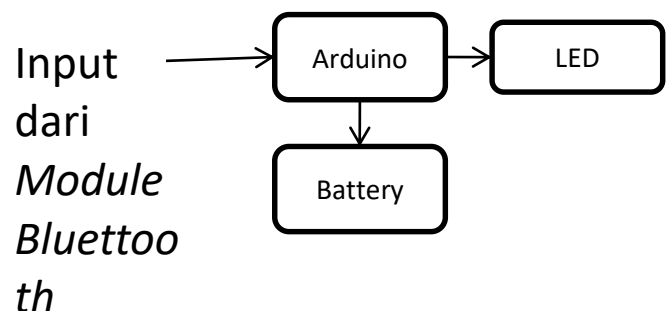


Gambar 1 Blok Diagram Perancangan Sistem Komunikasi

Gambar 1 menunjukkan terdapat 2 perangkat dimana menggunakan *transmitter* sebagai pengirim dan *receiver* sebagai penerima. Masing-masing perancangan dilakukan uji coba terlebih dahulu dalam sistem. Setelah telah di uji coba, di lakukan menggabungkan kedua sistem dengan perantara LED sebagai pengirim dan photodiode sebagai penerima. Lakukan pengujian jarak maksimal dalam pengiriman.

B. Transmitter

Bagian *transmitter* ini akan terjadi proses data yang berasal dari *bluetooth* kedalam bentuk cahaya, yang akan di transmisikan melalui LED. Saat mengirimkan data berupa gelombang cahaya, *Light Emitting Diode* (LED) akan memancarkan gelombang cahaya sesuai dengan data yang dikirim. Bagian transmitter ini terdiri dari module bluetooth, arduino, dan *Light Emitting Diode* (LED). Dimana pada bagian arduino berfungsi sebagai modulasi sinyal digital yang akan di transmisikan,

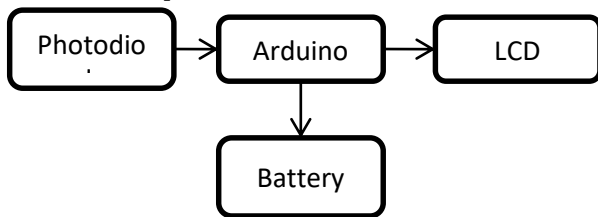


Gambar 2. Blok Diagram Transmitter

Gambar 2 di jelaskan hubungan beberapa komponen tersusun pada sistem pengiriman data. *Positif* dari *Light Emitting Diode* (LED) dihubungkan pada modul arduino *transmitter*. Input karakter yang akan dikirim berasal dari *module bluetooth* yang tersambung pada modul arduino. Data karakter yang dikirimkan akan menjadi sinyal digital melalui media pancaran cahaya.

C. Receiver

Bagian *receiver* yang berfungsi sebagai sensor cahaya *Light Emitting Diode* (LED). Cara kerja sistem ini sebagai penerima informasi yang dipancarkan oleh LED yang akan di terima oleh photodiode.



Gambar 3. Blok Diagram Receiver

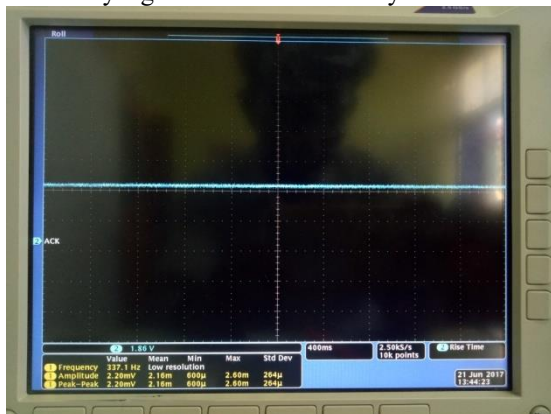
Gambar 3. Menjelaskan tentang sistem *receiver*, cahaya yang di peroleh photodiode dimana data berupa sinyal di kembalikan dalam bentuk karakter kembali. Saat sinyal digital telah di tangkap oleh photodiode maka karakter yang dikirim akan tampil pada layar LCD bagian *receiver*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian dan Analisis Transmitter dan Receiver

Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop dengan jarak 35 cm antara *transmitter* dan *receiver*. Pada pengujian yang dikirim dari *transmitter* dan *receiver* adalah karakter kalimat “dwiky kurniawan” yang memiliki 112 bit digital. Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, antara lain

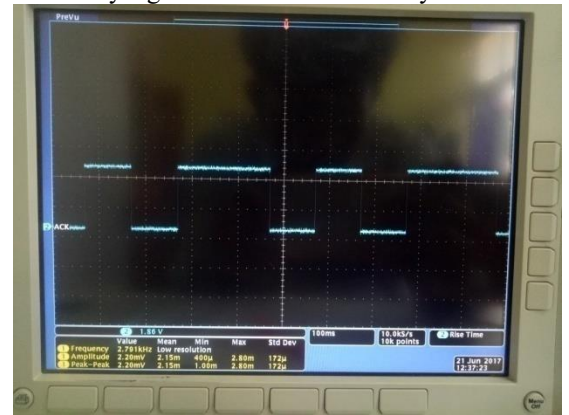
1. Pengukuran sinyal *Input* pada kaki Tx
Pengujian dan pengukuran dilakukan pada kaki Tx (*module bluetooth*) sebelum masuk ke LED dan mengalami pengiriman informasi. Kaki Tx (*module bluetooth*) di hubungkan ke kabel merah osiloskop dan *Ground* pada kabel hitam osiloskop. Karakter yang dikirim adalah “dwiky kurniawan”



Gambar 4. Sinyal *Input* sebelum melakukan pengiriman

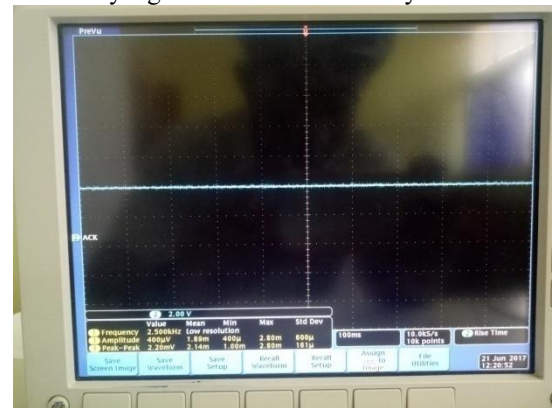
2. Pengukuran sinyal *Input* setelah mendapatkan informasi

Pengujian dan pengukuran dilakukan dengan LED yang mengalami pengiriman informasi. *Positif* LED di hubungkan pada kabel merah osiloskop dan *Ground* dihubungkan ke kabel hitam osiloskop. Karakter yang dikuatkan adalah “dwiky kurniawan”



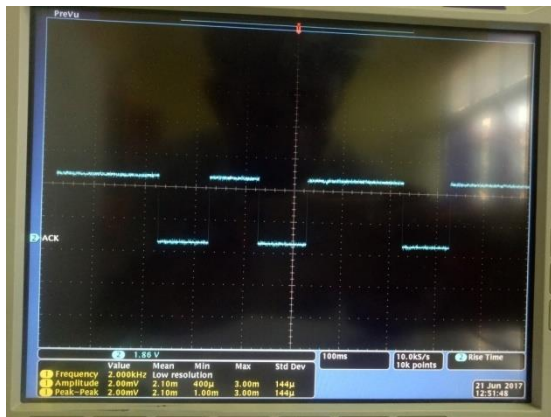
Gambar 5. Sinyal *Input* setelah melakukan pengiriman

3. Pengukuran sinyal *Output* pada Photodiode Driver
Pengujian dan pengukuran dilakukan dimana photo driver belum mengalami pengiriman sinyal dari transmitter. Kaki positif photodiode yang dihubungkan dengan kabel merah osiloskop dan kaki *Ground* dihubungkan ke kabel hitam osiloskop. Karakter yang diterima adalah “dwiky kurniawan”.



Gambar 6. Sinyal *Output* belum mendapatkan informasi

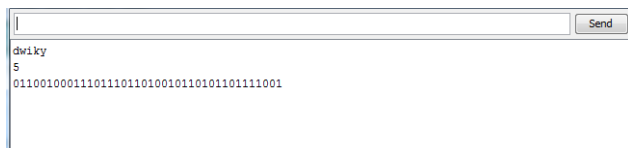
4. Pengukuran Sinyal *Output* setelah mendapatkan informasi
Pengujian dan pengukuran dilakukan pada kaki A0 (photodiode driver) setelah masuk ke photodiode akan mengalami penguatan sinyal informasi. Kaki A0 dihubungkan ke positif osiloskop dan negatif osiloskop di hubungkan ke *Ground*. Karakter yang di terima adalah “dwiky kurniawan”.



Gambar 7. Sinyal Output mendapatkan informasi

B. Pengukuran Transmitter dan Receiver keseluruhan

Mengetahui proses pengiriman melalui *bluetooth* yang dimana dengan mencoba 5 karakter yaitu “dwiky”. Melihat bit data yang dikirim dengan cara membuka software arduino pada bagian transitter. Maka akan tampil sebagai berikut.



Gambar 8. Hasil pengiriman karakter

Selanjutnya jika ingin melihat bit digital terkirim atau tidaknya dengan melihat serial monitor pada bagian *receiver*. Hasil dari pengiriman dari *transmitter* adalah sebagai berikut.

1. Pengujian menggunakan 5 karakter dengan jarak 15 cm.

Tabel 1. Hasil Pengiriman 5 Karakter (15 cm)

No	Rang e	Delay	Intensitas Cahaya	Obstacle	Data Bit
1.	15 cm	0.1 sec	Terang Cahaya	Kertas Mika	Waiting Char D:991,29,29,992,99 5,29,997,999 W:998,29,29,993 ,29,29,29 I:998,29,29,996,29,9 94,994,29 K:996,29,29,999,29, 995,29,29 Y:994,29,29,29,29,9 98,996,29
				Non Obstacle	Waiting Char D:991,28,28,990,99 3,28,994,996 W:997,28,28,28,991 ,28,28,28 I:995,28,28,997,28,9 93,992,28 K:992,28,28,996,28, 997,28,28

					Y:991,28,28,28,28,9 96,997,28
				Akrilik Bening	Waiting Char D:991,29,29,996,99 8,29,993,992 W:993,29,29,29,997 ,29,29,29 I:994,29,29,993,29,9 95,997,29 K:998,29,29,993,29, 993,29,29 Y:997,29,29,29,29,9 94,993,29
			Gelap	Kertas Mika	Waiting Char D:1000,29,29,1001, 1004,29,1003,1004 W:1004,29,29,29,10 03,29,29,29 I:1004,29,29,1004,2 9,1004,1004,29 K:1004,29,29,1004, 29,1004,29,29 Y:1004,29,29,29,28, 1004,1004,29
				Non Obstacle	Waiting Char D:1000,28,28,1001, 1004,28,1002,1004 W:1004,28,28,28,10 03,28,28,28 I:1003,28,28,1004,2 8,1003,1004,28 K:1004,28,28,1003, 28,1004,28,28 Y:1004,28,28,28,28, 1004,1004,28
				Akrilik Bening	Waiting Char D:999,29,29,1001,1 004,29,1002,1004 W:1004,29,29,29,10 03,29,29,29 I:1003,29,29,1004,2 9,1004,1004,29 K:1004,29,29,1004, 29,1004,29,29 Y:1004,29,29,29,29, 1004,1004,29
			Cahaya Lingkung an	Kertas Mika	Waiting Char D:916,28,29,917,91 9,28,920,922 W:923,28,29,29,926 ,29,29,29 I:926,29,29,925,28,9 27,929,29 K:930,28,29,932,29, 928,28,29 Y:925,28,29,29,29,9 29,930,28
				Non Obstacle	Waiting Char D:904,28,28,903,90 4,27,902,903 W:904,28,27,28,909 ,28,28,28

					I:908,28,27,906,28,904,905,27 K:909,28,28,911,27,912,27,28 Y:908,27,28,28,28,906,906,27
				Akrilik Bening	Waiting Char D:926,28,29,925,926,29,926,928 W:930,28,28,29,932,29,29,28 I:929,29,29,929,29,929,930,28 K:932,28,29,933,29,932,28,29 Y:928,29,29,29,29,929,930,28

2. Pengujian menggunakan 5 Karakter dengan jarak 25 cm

Tabel 2. Hasil Pengiriman 5 Karakter (25 cm)

No.	Range	Delay	Intensitas Cahaya	Obstacle	Data Bit
2.	25 cm	0.1	Cahaya Lampu	Kertas Mika	Waiting Char D:989,33,33,990,992,34,991,992 W:993,33,34,33,993,34,33,33 I:995,32,32,995,32,997,996,32 K:995,32,32,994,32,995,32,32 Y:995,32,32,32,32,996,996,32
				Non Obstacle	Waiting Char D:986,32,32,987,990,32,989,990 W:991,32,32,32,991,31,32,32 I:993,32,32,993,32,994,994,32 K:995,32,32,995,32,996,32,31 Y:996,32,32,32,32,996,996,32
				Akrilik Bening	Waiting Char D:995,34,35,996,998,35,997,999 W:998,34,35,34,998,34,34,34 I:999,34,34,999,34,999,999,34 K:999,34,34,999,34,999,34,34 Y:1000,34,34,34,35,998,998,35
			Gelap	Kertas Mika	Waiting Char D:1000,33,34,1002,1004,34,1003,1004

					W:1004,34,34,33,1003,34,34,34 I:1004,34,34,1004,33,1004,1004,33 K:1004,34,33,1004,33,1004,34,33 Y:1004,33,34,34,33,1004,1004,34
			Non Obstacle		Waiting Char D:999,32,32,1001,1004,32,1002,1004 W:1004,32,32,32,1003,32,32,32 I:1004,32,32,1004,32,1004,1004,32 K:1004,32,32,1004,32,1003,32,32 Y:1004,32,32,32,32,1004,1004,32
			Akrilik Bening		Waiting Char D:1000,34,34,1001,1004,34,1002,1004 W:1004,34,35,34,1003,34,34,34 I:1003,34,34,1004,34,1004,1004,34 K:1004,34,34,1004,34,1004,35,34 Y:1004,34,34,34,34,1004,1004,34
		Cahaya Lingkungan	Kertas Mika		Waiting Char D:935,32,33,934,935,33,933,934 W:934,33,33,935,33,33,33 I:938,33,33,939,33,940,940,33 K:937,33,33,935,33,935,33,33 Y:936,33,33,33,33,938,939,33
			Non Obstacle		Waiting Char D:947,31,32,945,945,32,940,940 W:939,31,32,32,939,32,31,32 I:942,32,32,942,32,939,938,32 K:935,32,32,936,32,937,31,32 Y:940,32,32,32,31,939,938,32
			Akrilik Bening		Waiting Char D:958,33,33,963,967,33,967,969 W:971,33,34,34,976,34,33,33 I:973,33,34,974,33,974,975,33 K:975,33,34,978,33,981,33,34 Y:985,33,34,33,33,985,986,34

Dalam simulasi di atas dilakukan uji coba pengiriman dengan menyatakan biner 0,1 dimana ketika bernilai 1 LED akan menyala dan ketika bernilai 0 LED akan mati/null. Setiap karakter memiliki biner tersendiri yang mana pada bagian receiver akan memecah biner tersebut menjadi bit digital seperti yang kita lihat pada tabel 1 dan tabel 2. Pengukuran ketika mendapatkan cahaya lingkungan dan cahaya lampu bit 0 bernilai < 1000 , sedangkan pada kondisi gelap bernilai > 1000 . Ini dimana ketika melakukan pengiriman LED yang mengandung informasi tidak bisa secara jelas membawa informasi tersebut. Namun informasi tetap terkirim tanpa adanya bit error. Sedangkan untuk bit 1 nilai yang dihasilkan sama/ tidak berbeda jauh yaitu > 20 .

Hasil dari percobaan simulasi ini semakin jauh jarak pengiriman informasi maka semakin kecil peluang receiver untuk mendapatkan informasi tersebut. Obstacle yang tidak dapat menembus cahaya tidak dapat mengirim informasi dan ketika saat melakukan pengiriman terjadi penghalang di depan LED dalam waktu yang lama maka akan terjadi *bit error*.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian alat ini adalah:

1. Alat ini hanya dapat melakukan komunikasi pada jarak max 50 cm antara *transmitter* dan *receiver*.
2. Kecepatan dalam proses komunikasi dapat di atur untuk mendapatkan pengiriman maksimal agar data yang dikirim dapat sampai sesuai dengan waktu tertentu.
3. Obstacle yang masih dapat menembus cahaya tidak mempengaruhi nilai proses pengiriman.
4. Nilai yang di dapat selalu berubah karena dalam pengiriman hanya membaca bit 0, 1.

VI. SARAN

Adapun saran pada perancangan selanjutnya :

1. Dapat memperbanyak LED untuk mendapatkan pengiriman dengan jarak yang jauh.
2. Pastikan obstacle yang menghalangi LED masih dapat menembus pancaran cahaya agar terbaca pada photodiode.
3. Ketika pancaran cahaya tidak dapat menembus penghalang maka bit yang dikirim akan random/loss.
4. Dapat mencoba melakukan pengiriman data tidak hanya dalam bentuk karakter.

REFERENSI

- [1.] Didin Yulian and others, "*Perancangan dan Implementasi Perangkat Visible Light Communication Sebagai Transceiver Video Design and Implementation Visible Light*", 2015, 196–206.
- [2.] Ieee Lapisan and Fisik Ii, "Pengiriman Citra Pada Komunikasi Cahaya Tampak", 5.4 (2016).
- [3.] Trio Adiono and others, "*Desain Awal Analog Front-End Optical Transceiver Untuk Aplikasi Visible Light Communication*", 5.4 (2016).
- [4.] Tugas Makalah and Manajemen Bisnis Ict, "Implementasi Sistem Komunikasi Video Menggunakan *Visible Light Communication* (VLC) Program Pasca Sarjana", 2015.
- [5.] Trihantoro, Des Hariangga Darlis, Denny Si, Putri, Hasanah. "Implementasi Visible Light Communication (VLC) untuk Pengiriman Teks (*Implementation Of Visible Light Communication* (VLC) for Sending Text)
- [6.] O'Brien, Dominic C. 2008. *Visible Light Communications: challenges and possibilities*. IEEE : 978-1-4244-2644-7.
- [7.] Jyoti Rani, Prerna Chauhan and Ritika Tripathi, 'Li-Fi (Light Fidelity) -The Future Technology In Wireless Communication Abstract ', *International Journal of Applied Engineering Research*, 7.11 (2012), 2–5 <<https://doi.org/N/A>>.
- [8.] Kaiser, Gerd. 1991. *Optical Fiber Communication*. Mc. Graw Hill