

PERANCANGAN & IMPLEMENTASI *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION* UNTUK KOMUNIKASI RADIO FM

DESIGN & IMPLEMENTATION VISIBLE LIGHT COMMUNICATION FOR RADIO FM COMMUNICATIONS

Achmad Rifiandi¹, Akhmad Hambali², Afief Dias Pambudi³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University
¹achmadrifiandi@student.telkomuniversity.ac.id, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id,
³afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Visible Light Communication (VLC) adalah sistem komunikasi yang menggunakan cahaya tampak sebagai bentuk sinyal informasi. Jaringan *wireless* pada umumnya menggunakan sinyal elektromagnetik yang memiliki kekurangan diantaranya adalah interferensi gelombang, kapasitas pengiriman data masih rendah, dan penggunaan energi kurang efisien seperti komunikasi radio FM yang masih digunakan oleh masyarakat pada umumnya. Dengan teknologi VLC kekurangan yang dimiliki jaringan *wireless* dapat menjadi lebih baik lagi. Karena sifat cahaya yang digunakan oleh VLC mempunyai kecepatan yang tinggi, bisa tahan terhadap interferensi radiasi gelombang elektromagnetik, energi yang digunakan lebih efisien, dan lain-lain. Pada tugas akhir ini perancangan sistem VLC terdiri dari blok *transmitter* dan *receiver*. Di bagian *transmitter* terdapat *Light Emitting Diode (LED)* sebagai sumber cahaya yang memancarkan sinyal, yang digabungkan dengan sistem penerima sinyal radio FM menggunakan modul kit Hex3653 AV2B. Sedangkan pada bagian *receiver* terdiri dari *photodetector* untuk mengubah sinyal cahaya ke sinyal listrik dan *headphone* sebagai alat untuk menghasilkan suara dari sinyal yang telah didapat. Pada bagian *transmitter* maupun *receiver* dilengkapi rangkaian penguat didalamnya. Dari hasil pengujian, sistem VLC dapat mengirim sinyal audio dari siaran radio FM dengan jarak maksimum 450 cm dengan nilai tegangan sinyal output yang diterima sebesar 0.011 Volt serta atenuasi sebesar -12.49 dB. Pada jarak 5 meter suara tidak terdengar pada output tegangan sinyal 79,9 mV dengan nilai atenuasi -16,13 dB.

Kata kunci : *VLC, LED, transmitter, receiver, radio FM, headphone.*

Abstract

Visible Light Communication (VLC) is a communication system using visible light as a transmission medium. *Wireless networks* typically use the electromagnetic signal that has disadvantages which is wave interferences, low capacity of sending an information, the use of energy is less efficient as FM radio communication which is still used in the general public. With VLC technology the disadvantages of wireless networks can be better. Because the nature of light used by VLC has a high speed, can be resistant to interference radiation of electromagnetic waves, the energy that used more efficient, and etc. In this final task the design of VLC system consists of a transmitter and receiver blocks. In the transmitter there is a *Light Emitting Diode (LED)* as a light source that emits a signal, which is coupled with FM radio signal receiver system using Hex3653 AV2B kit module. Then in the receiver part consists of *photodetector* to convert light signals into electrical signals and the *headphone* as a tool to generate sound from the signal that has been obtained. Inside the transmitter and receiver is equipped with amplifier circuit. From the test results, VLC system can send audio signal from broadcast FM radio with a maximum distance of 450 cm with an output signal output voltage of 0.011 Volt and attenuation of -12.49 dB. At a distance of 5 meters the sound is not heard at the output signal voltage of 79.9 mV with an attenuation value of -16.13 dB.

Keywords : *VLC, LED, transmitter, receiver, FM radio, headphone.*

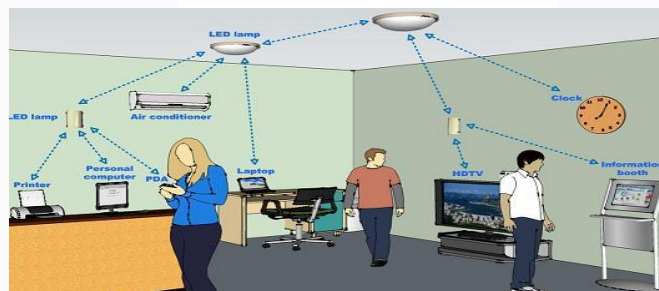
1. Pendahuluan

Penggunaan serat optik sebagai media transmisi yang memanfaatkan cahaya sebagai sinyal pembawa, merupakan teknologi yang terbaik saat ini karena mempunyai banyak kelebihan contohnya mampu memberikan kecepatan dan kapasitas pengiriman yang lebih baik dibanding kawat tembaga [1]. Namun teknologi serat optik kurang baik dalam hal mobilitas dibandingkan dengan jaringan yang menggunakan teknologi nirkabel. Teknologi jaringan nirkabel pada umumnya masih menggunakan sinyal elektromagnetik sebagai sinyal pembawa. Walaupun masyarakat menilai sistem jaringan yang menggunakan sinyal elektromagnetik adalah yang paling baik, tetapi sinyal elektromagnetik mempunyai beberapa kekurangan diantaranya adalah adanya interferensi gelombang, kapasitas masih terbatas, keamanan data kurang terjamin, kecepatan pengiriman informasi masih rendah, penggunaan energi kurang efisien, dan lain-lain [2]. Untuk mengatasi hal tersebut, telah dikembangkan teknologi untuk mengirimkan media informasi yaitu teknologi Light Fidelity (Lifi) yang menggunakan sistem *Visible Light Communication (VLC)*. Sistem VLC yang menggunakan cahaya ini dapat menggantikan pemancar wireless yang

menggunakan sinyal elektromagnetik. Untuk mengembangkan hal tersebut pada tugas akhir ini dilakukan penelitian mengenai “Perancangan & Implementasi *Visible Light Communication* Untuk Komunikasi Radio FM.” Penggabungan sistem penerima radio FM bertujuan untuk mengembangkan teknologi VLC itu sendiri, disertai dengan penggunaan radio FM yang masih sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Ditugas akhir ini sistem *Visible Light Communication* yang dibuat dapat mengirim sinyal audio dari siaran radio FM dengan jarak maksimum 450 cm dengan nilai tegangan sinyal output yang diterima sebesar 0.011 Volt serta atenuasi sebesar -12,49 dB. Pada jarak 5 meter suara tidak terdengar pada output tegangan sinyal 79,9 mV dengan nilai atenuasi -16,13 dB. Kemungkinan masalah terjadi ketika perancangan dan pembuatan rangkaian sistem dibagian *transmitter* dan *receiver* yang disebabkan kesalahan pada pemasangan komponen karena spesifikasi atau pemasangan yang tidak sesuai dengan sistem bahkan akibat kesalahan pada rancangan awal sistem. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari suara yang keluar pada bagian *receiver VLC* seperti jarak antara *transmitter* dengan *receiver* atau pengaruh sudut dari sumber cahaya dan kondisi cahaya dilingkungan sekitar yang diterapkan sistem VLC [3][4]. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental dimana akan dilakukan percobaan dan pembenahan pada rangkaian berdasarkan referensi yang ada sampai alat dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Kemudian alat dirancang dari bagian *transmitter* yang didalamnya terdiri dari *receiver* radio FM, *amplifier*, *LED Driver*, dan lampu LED. Dan juga bagian *receiver* yang didalamnya terdiri dari *solar cell*, *amplifier*, *headphone*.

2. Sistem Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) adalah sistem komunikasi cahaya *unguided* dimana jenis cahaya yang digunakan adalah yang memiliki rentang panjang gelombang cahaya tampak antara 380 nm sampai 750nm yang sudah distandarisi oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* [4]. Teknologi komunikasi ini memanfaatkan sumber cahaya yaitu LED sebagai *transmitter*, cahaya sebagai bentuk dari sinyal pembawa (*carrier*), dan *photodetector* sebagai *receiver* [5]. Sistem VLC membantu untuk melengkapi komunikasi *Radio Frequency (RF)* yang sudah tersedia. Karena sistem VLC menggunakan LED sebagai pemancar sinyal dan juga digunakan untuk penerangan yang mempunyai beberapa kelebihan contohnya energi yang efisien, harga yang terjangkau, tahan lama dan lain-lain [2]. Perkembangan VLC bisa dibilang cukup cepat dibandingkan dengan teknologi yang lain, Karena didukung oleh masyarakat yang sudah banyak menggunakan lampu LED sebagai penerang ruangan yang sebelumnya menggunakan lampu neon atau lampu pijar.



Gambar 1 Visible Light Communication [5]

A. Cahaya Tampak

Cahaya merupakan bentuk dari radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat kita lihat. Pada spektrum radiasi gelombang elektromagnetik terbagi 2 jenis cahaya yaitu cahaya terlihat / tampak (*visible light*) dan cahaya tidak tampak (*invisible light*). Penglihatan manusia hanya bisa melihat cahaya tampak yang mempunyai panjang gelombang kurang lebih 380 s/d 750nm (nano meter) [5]. Dalam Perkembangannya, cahaya saat ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam hal, contohnya cahaya dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan *solar cell*. Serta pemanfaatan cahaya digunakan pada sistem komunikasi sebagai sinyal pembawa (*carrier*) yang dikenal sebagai sistem komunikasi optik. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan saat ini adalah *Visible Light Communication* yang menggunakan cahaya tampak sebagai bentuk dari sinyal informasi yang dikirim maupun diterima [6].

B. Blok Transmitter dan Receiver VLC

Sistem *Visible Light Communication* pada umumnya memiliki 2 bagian utama yaitu *transmitter* dan *receiver* yang berfungsi untuk mengirim dan menerima informasi [4]. Bagian *transmitter* pada *Visible Light Communication* berguna untuk mengubah sinyal input berbentuk elektrik kemudian sinyal informasi tersebut dikirim melalui cahaya tampak Sedangkan Pada bagian *receiver* pada *Visible Light Communication* berguna untuk mengubah sinyal informasi berupa cahaya yang diterima oleh bagian penerima lalu akan dirubah kembali menjadi bentuk semula seperti suara, teks, gambar, dan video tergantung dari informasi data yang dikirim dari *transmitter*.

C. LED (Light Emitting Diode)

Light Emitting Diode merupakan komponen elektronika yang didalamnya terdapat diode yang dapat memancarkan cahaya apabila mendapatkan arus listrik. Seperti sebuah diode normal, LED terdiri dari sebuah chip bahan semikonduktor yang diisi penuh, atau didoping dengan ketidakmurnian untuk menciptakan sebuah struktur positif dan negative yang disebut *p-n junction*. Saat LED diberi pra-tegangan maju (forward bias), terjadi rekombinasi antara elektron dan hole di dalam LED sehingga terjadi pelepasan energi dalam bentuk foton-foton cahaya. Efek ini disebut juga *electroluminescence* dan warna yang dihasilkan bergantung pada material LED dan juga ditentukan dari besarnya energi gap dari semi konduktor LED tersebut [4][7][8].

D. Solar Cell

Solar cell atau juga dikenal sel surya merupakan sebuah alat atau komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor yang terdiri dari dua bagian tipe P material dan tipe N material yang juga disebut dengan *type P-N junction* bila kedua bagian digabung. *Solar cell* berfungsi untuk mengkonversi energi cahaya (foton) menjadi energi listrik atau energi *thermal* yang terbagi menjadi dua tipe konversi yaitu *thermal conversion* dan *quantum conversion*. Dalam *thermal conversion*, energi cahaya yang datang menuju bahan *solarcell* akan diubah menjadi panas yang memberikan temperatur pada suhu tertentu, contohnya adalah penggunaan *solar cell* untuk pemanas air yang tidak mengubah ke energi listrik terlebih dahulu. Sedangkan *quantum conversion*, jumlah foton yang masuk melalui dan diserap *solar cell* akan menghasilkan elektron, dalam hal ini adalah energy listrik dimana proses ini disebut juga dengan efek *photovoltaic* [9].

E. Konfigurasi Transistor

Secara umum terdapat tiga macam variasi rangkaian transistor yang dikenal dengan istilah konfigurasi, yaitu konfigurasi basis bersama (*common-base configuration*), konfigurasi emitor bersama (*common-emitter configuration*), dan konfigurasi kolektor bersama (*common-collector configuration*). Istilah bersama dalam masing-masing konfigurasi menunjuk pada terminal yang dipakai bersama untuk input (masukan) dan output (keluaran) . Faktor penguatan arus pada emitor bersama disebut dengan BETA (β). Berikut ini merupakan hubungan antara β dengan arus di kolektor dan basis. Istilah β sering dikenal juga dengan *hfe* yang berasal dari parameter hibrid untuk faktor penguatan arus pada emitor bersama [10].

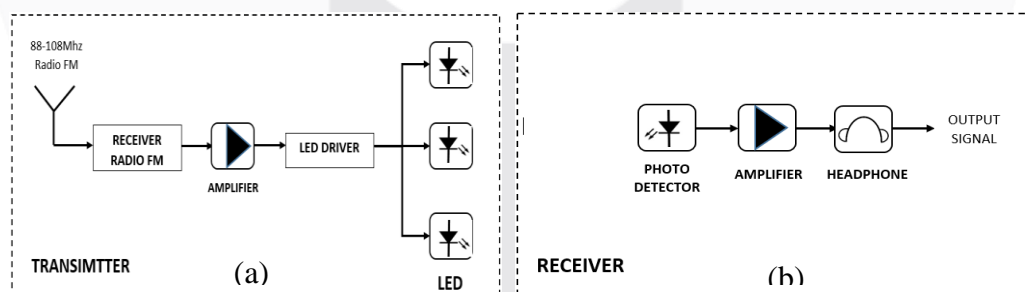
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1)$$

F. Bias Pembagi Tegangan

Rangkaian bias pembagi tegangan sering juga disebut dengan bias sendiri (*self-bias*). Penguat transistor pada umumnya lebih banyak menggunakan rangkaian bias jenis ini, karena stabilitasnya sangat baik. Stabilitasnya lebih baik dari pada rangkaian bias yang sudah dibahas sebelumnya. Rangkaian bias pembagi tegangan terdiri atas empat buah resistor, yaitu: R1, R2, RC, dan RE. Resistor R1 (yang berada di atas) akan menjamin bahwa persambungan kolektor - basis mendapatkan bias mundur, sedangkan resistor R2 (yang berada di bawah) akan menjamin bahwa persambungan basis - emitor mendapatkan bias maju. Oleh karena itu dengan adanya pembagi tegangan R1 dan R2 akan menjamin bahwa transistor dapat bekerja pada daerah aktif. RC sebagai resistansi beban kolektor, dan RE sebagai stabilisasi dc [10].

3. Perancangan Rangkaian Sistem VLC Untuk Komunikasi Radio FM

Secara garis besar, *hardware* dari sistem ini terbagi menjadi 2 bagian utama, yaitu bagian *transmitter* dan bagian *receiver* dari sistem VLC dimana pada setiap bagian terdapat komponen-komponen.



Gambar 2 Blok diagram sistem Visible Light Communication (VLC) untuk komunikasi radio FM; (a) Blok Transmitter; (b) Blok Receiver

Pada sistem VLC yang dirancang bagian *transmitter* berfungsi sebagai sumber informasi yang akan dikirim berupa sinyal dalam bentuk cahaya yang merambat melalui udara. Terdapat beberapa bagian utama yang digunakan pada *transmitter* yaitu *power supply*, modul kit *receiver* radio FM, rangkaian penurun tegangan, rangkaian transistor penguat, dan lampu LED. Sedangkan pada bagian *receiver* terdapat beberapa bagian, yaitu

Photodetector berupa *solar cell* untuk menerima sinyal berupa cahaya yang akan dirubah menjadi sinyal elektrik serta bagian *amplifier* untuk menguatkan sinyal yang melemah akibat redaman yang terjadi saat perjalanan cahaya dari *transmitter* menuju *receiver*. proses terakhir dari sistem VLC ini menggunakan *headphone* untuk mengeluarkan sinyal informasi berupa gelombang suara dari frekuensi radio FM.

G. Receiver Radio FM

Pada sistem *visible light communication* yang dibuat pada tugas akhir ini, Input sinyal *transmitter* yang digunakan berasal dari pancaran gelombang elektromagnetik yang berasal dari frekuensi radio FM akan ditangkap dan diproses oleh *receiver* radio FM menjadi sinyal audio berdasarkan frekuensi siaran yang diinginkan. Sistem VLC ini menggunakan *receiver* radio FM yang digabungkan kedalam bagian *transmitter* sistem VLC. *Receiver* radio FM yang digunakan adalah modul kit *Hex3653 AV2B Radio FM Receiver* yang sudah tersedia.

H. Penurun Tegangan

Untuk mengaktifkan *receiver* radio FM dibutuhkan sumber tegangan 3V sesuai dengan spesifikasi modul kit yang sudah ada. Akan tetapi sumber tegangan yang masuk ke rangkaian *transmitter* adalah 24V, sehingga perlu diturunkan menjadi 3V menggunakan rangkaian penurun tegangan untuk memberi sumber tegangan kepada modul kit *receiver* radio FM saja. Pada rangkaian ini digunakan transistor LM350 untuk memudahkan menurunkan tegangan. Pada rangkaian diatas, nilai V_{out} bergantung kepada nilai R1 dan R2. Untuk nilai dari komponen R2 dapat diasumsikan tetap dan R1 perlu diubah untuk mendapatkan nilai V_{out} yang diinginkan. Maka nilai R1 dapat ditemukan sesuai dengan nilai V_{out} yang sebelumnya telah ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$V_{out} = 1,25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJUST} \cdot R2 \quad (2)$$

I. Rangkaian Penguat Transmitter

Sinyal keluaran dari *receiver* radio FM perlu diberikan penguatan apabila jarak pengiriman yang diinginkan jauh. Maka diperlukan rangkaian penguat untuk menguatkan amplitudo sinyal informasi yang akan dikirim. Apabila sinyal informasi telah dikuatkan, kemudian sinyal tersebut dialirkan ke rangkaian LED *driver* yang nantinya berfungsi untuk memberi arus dan tegangan kepada lampu LED. Rangkaian penguat yang digunakan adalah bias pembagi tegangan, karena stabilitasnya sangat baik serta menggunakan transistor tipe BC547. Transistor jenis ini merupakan tipe transistor yang memiliki arus kolektor yang kecil dan dapat melakukan penguatan yang cukup tinggi.

J. LED Driver

Sinyal telah dikuatkan sebelumnya kemudian masuk ke rangkaian LED *driver* yang berfungsi sebagai analog modulator yaitu untuk mengontrol perubahan arus menuju LED yang nanti akan mempengaruhi dari intensitas cahaya agar sinyal informasi dapat dikirim serta untuk menyalakan lampu LED. Perancangan rangkaian LED *driver* bergantung dengan spesifikasi dari lampu LED yang digunakan, apabila spesifikasi dari lampu LED berbeda maka rangkaian LED *driver* juga akan berbeda. Untuk menentukan nilai dari masing-masing komponen caranya sama seperti menentukan komponen pada rangkaian penguat. Yang berbeda pada rangkaian ini adalah adanya pemasangan lampu LED di kaki kolektor transistor yang menyebabkan arus kolektor yang mengalir dirangkaian dibutuhkan arus yang besar. Diakhir blok *transmitter* terdapat lampu LED yang berfungsi sebagai sumber cahaya yang mengubah sinyal listrik menjadi cahaya. Cahaya yang dipancarkan oleh lampu LED merupakan sinyal informasi yang dimodulasi pada sistem VLC ini. Dalam sistem VLC, sinyal informasi merupakan sinyal audio dari *receiver* radio FM yang ditumpangkan melalui pancaran cahaya menggunakan lampu LED.

K. Rangkaian Penguat Receiver

Pada blok *transmitter* dan *receiver* sistem VLC rangkaian *Amplifier* yang digunakan untuk menguatkan daya atau tegangan dari sinyal yang melemah. Dalam hal ini *amplifier* dibagian *transmitter* akan menguatkan level daya dari sinyal listrik yang telah melewati *receiver* radio FM yang kemudian diteruskan ke komponen lampu LED agar sinyal yang dikirim dapat optimal agar dapat mengenai permukaan *photodetektor*. Kemudian dibagian *receiver* VLC rangkaian *amplifier* diletakan setelah *photodetektor* yang mengubah sinyal cahaya masukan menjadi sinyal listrik. Sinyal yang dikeluarkan oleh *photodetektor* akan mengalami penurunan level daya akibat beberapa hal salah satunya jarak tempuh yang dilalui cahaya

4. Hasil Pengukuran Rangkaian VLC

A. Pengukuran rangkaian Transmitter

Pengujian rangkaian *transmitter* yang pertama dilakukan yaitu menguji rangkaian *transmitter* dari *receiver* radio FM terlebih dahulu, ketika *receiver* radio FM aktif kemudian *output* sinyal audio disambung ke osiloskop. kemudian sinyal keluaran tersebut diukur menggunakan osiloskop untuk mengetahui nilai tegangan

sinyal yang keluar dari *receiver* radio FM yang nantinya sinyal tersebut akan masuk ke rangkaian penguat. Dalam pengukuran rangkaian didapat nilai rata-rata V_{rms} dari 10 kali percobaan, yaitu $V_{rms} = 49,64$ mV. Dapat diketahui nilai amplitude sinyal pada radio fm cukup kecil maka sinyal tersebut perlu dikuatkan agar dapat menempuh jarak yang lebih jauh antara *transmitter* dan *receiver* VLC.

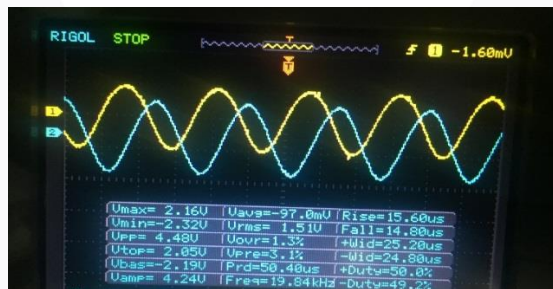
Berikutnya dilakukan pengukuran rangkaian penguat *transmitter* setelah pengukuran pada *receiver* radio FM beserta rangkaian penurun tegangannya. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur multimeter untuk mengetahui nilai arus dan tegangan yang diharapkan mengalir pada rangkaian sesuai dengan perhitungan yang sudah dibahas pada bab sebelumnya. Nilai yang diukur pada rangkaian penguat ini adalah arus yang mengalir pada kolektor, serta arus yang mengalir pada basis. Serta mengukur nilai tegangan VCE pada transistor. nilai $I_C = 0,056$ A dan nilai $I_B = 0,27$ mA dimana nilai tersebut mendekati nilai pada perhitungan yaitu $I_C = 0,057$ A; $I_B = 0,271$ mA. Sehingga rangkaian penguat *transmitter* sesuai dengan perhitungan yang diharapkan.

Bagian terakhir pada *transmitter* yang diukur adalah rangkaian LED *driver*. Pengukuran sama seperti rangkaian penguat yaitu mengukur arus serta tegangan pada rangkaian untuk memastikan hasil pengukuran sesuai dengan perhitungannya nilai $I_C = 0,38$ A dan nilai $I_B = 4,84$ mA dimana nilai tersebut mendekati nilai pada perhitungan yaitu $I_C = 0,39$ A $I_B = 4,87$ mA. Sehingga rangkaian LED *driver* sesuai dengan perhitungan yang diharapkan

B. Pengukuran rangkaian receiver

Setelah pengukuran rangkaian *transmitter* berikutnya dilanjutkan pengukuran rangkaian *receiver* pada sistem VLC ini. Sama seperti pengukuran pada rangkaian menggunakan multimeter untuk mengetahui nilai arus dan tegangan yang diharapkan mengalir pada rangkaian. Terukur nilai $I_C = 0,054$ A; $I_B = 0,16$ mA dimana nilai tersebut mendekati nilai pada perhitungan yaitu $I_C = 0,046$ A; $I_B = 0,16$ mA. Sehingga rangkaian *receiver* sesuai dengan perhitungan yang diharapkan.

Berikutnya pengukuran pada rangkaian *receiver* menggunakan input dari sinyal informasi berbentuk cahaya yang diterima oleh photodetektor. Kemudian sinyal tersebut dirubah ke listrik oleh photodetektor lalu diukur menggunakan osiloskop setelah dikuatkan menggunakan rangkaian penguat transistor BC547 dua tingkat dan transistor TDA2003 pada *receiver* VLC sebelum disalurkan melalui *headphone*. Dapat dilihat bentuk sinyal output pada *channel 2* menyerupai dengan sinyal input *channel 1* sehingga dapat diketahui bahwa perangkat *transmitter* dan *receiver* telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan berdasarkan pengukuran tersebut.



Gambar 3 Hasil Pengukuran Rangkaian Receiver Menggunakan Osiloskop

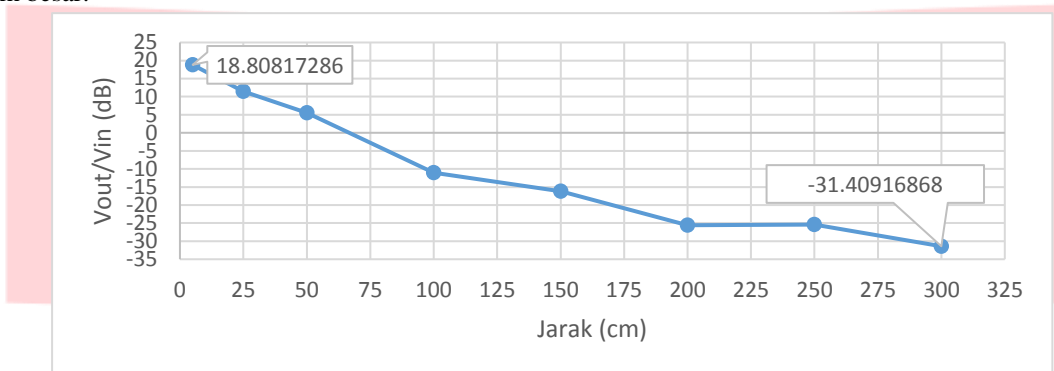
C. Pengukuran Gain dan Atenuasi Sinyal Pada Rangkaian VLC

Rangkaian VLC yang sudah dibuat kemudian diukur tegangan sinyal output untuk mengetahui gain dan atenuasi sebagai parameter performansi dari rangkaian tersebut. Berikut ini merupakan hasil pengukuran tegangan sinyal yang diukur pada jarak yang berbeda antara *transmitter* dan *receiver*. Dilakukan 10 kali pengukuran pada setiap jarak kemudian diambil nilai rata-rata tegangan sinyal output dari pengukuran tersebut pada kondisi lingkungan gelap dan dengan sudut pancar 0° antara *transmitter* dan *receiver* tanpa menggugurkan rangkaian penguat TDA2003. Dapat dilihat dari hasil pengukuran bahwa apabila jarak antara *transmitter* dengan *receiver* semakin jauh maka nilai intensitas cahaya yang diterima *receiver* akan semakin kecil. Sehingga dalam hal ini intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu LED pada *transmitter* VLC berpengaruh pada performansi sistem. Semakin terang intensitas cahaya yang dihasilkan maka semakin jauh sinyal dapat dikirim.

Tabel 1 Pengukuran Tegangan Sinyal Rangkaian VLC Tanpa Menggunakan Rangkaian Penguat TDA2003

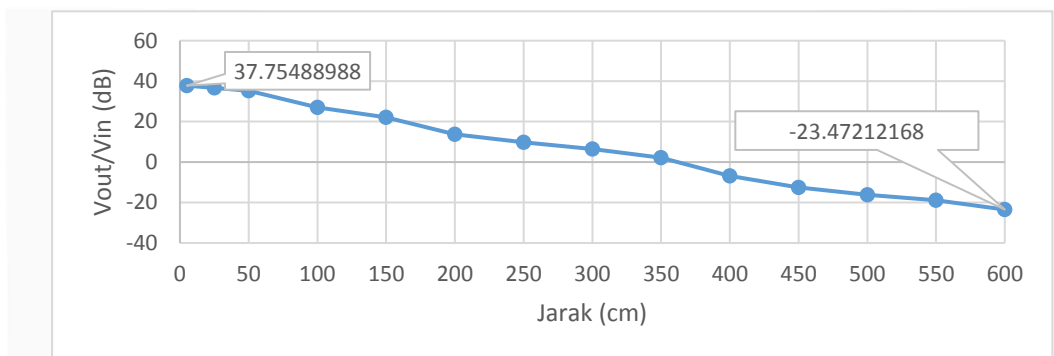
Jarak(cm)	Intensitas(Lux)	Vin(Volt)	Vout(Volt)	Vout/Vin(dB)
5	12530	0.04508	0.393	18.80817286
25	869	0.05257	0.1959	11.42592918
50	280	0.03976	0.07539	5.557347352
100	91	0.04435	0.012363	-11.0953951
150	39	0.03349	0.005168	-16.23185285
200	31	0.0399	0.002107	-25.5461672
250	29	0.03435	0.0018358	-25.44202752
300	23	0.03556	0.0009561	-31.40916868

Dari Grafik dibawah dapat dilihat bahwa apabila apabila jarak antara *transmitter* dengan *receiver* semakin jauh maka nilai perbandingan *output* dengan *input* sinyal akan semakin kecil, hal ini menunjukkan bahwa sinyal yang diterima sebelumnya terjadi penguatan lalu menjadi redaman atau atenuasi. Pada pengukuran jarak terdekat yaitu 5cm didapat penguatan tegangan sebesar 18,8 dB. Sedangkan pada jarak terjauh yaitu 300cm terjadi atenuasi sebesar -31,4 dB. Pada pengukuran atenuasi sudah terjadi pada jarak 100cm, apabila semakin jauh atenuasi semakin besar.



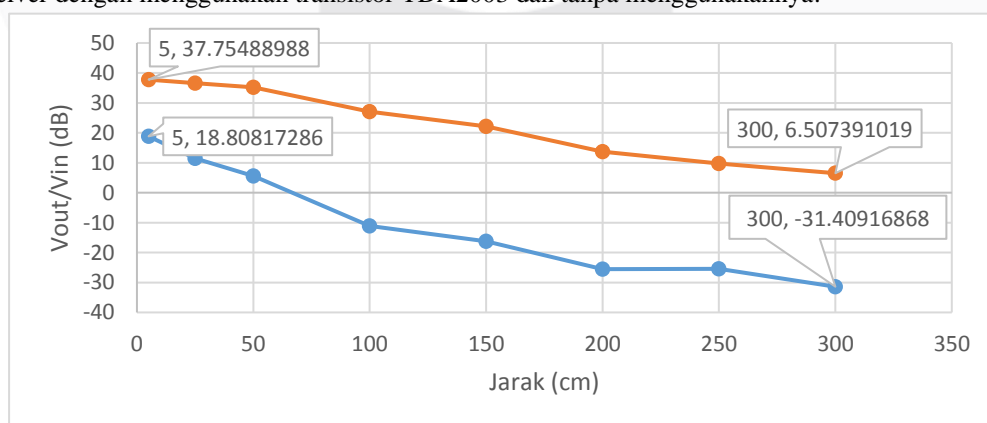
Gambar 4 Grafik Pengukuran Tegangan Sinyal Rangkaian VLC Tanpa Menggunakan Rangkaian Penguat TDA2003

Untuk menambah performansi pada sistem VLC ditambahkan rangkaian penguat TDA2003. Oleh karena itu untuk mengetahui performansi yang lebih baik berikutnya dilakukan pengukuran *gain* dan *atenuasi* sinyal, dimana rangkaian *receiver* VLC menggunakan penambahan rangkaian penguat TDA2003. Sama seperti sebelumnya dilakukan 10 kali pengambilan data pada setiap jarak kemudian diambil nilai rata-rata tegangan sinyal output dari pengukuran tersebut.



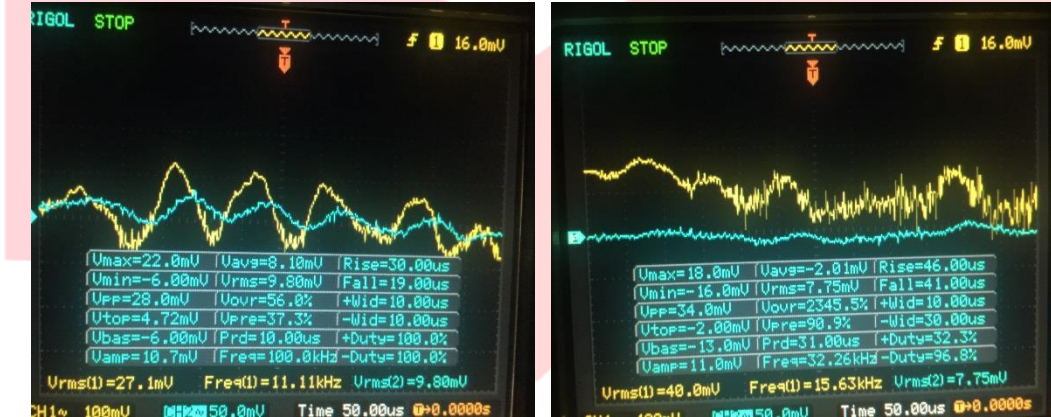
Gambar 5 Pengukuran Tegangan Sinyal Rangkaian VLC Menggunakan Rangkaian Penguat TDA2003

Dapat dilihat dari hasil pengukuran diatas sinyal dapat diterima lebih jauh dibandingkan dengan tanpa menggunakan rangkaian penguat transistor TDA2003. Dari Grafik diatas dapat dilihat pengukuran jarak terdekat yaitu 5cm didapat penguatan tegangan sebesar 37,7 dB. Sedangkan pada jarak terjauh yaitu 600cm terjadi atenuasi sebesar -23,4 dB. Serta pada pengukuran atenuasi sudah terjadi pada jarak 400cm. Untuk mengetahui pengaruh besarnya penguatan pada rangkaian *receiver* VLC maka berikut ini dilakukan perbandingan hasil pengukuran output receiver dengan menggunakan transistor TDA2003 dan tanpa menggunakannya.



Gambar 6 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran Output Receiver

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa rangkaian *receiver* VLC dengan menggunakan penambahan rangkaian penguat TDA2003 membuat performansi sistem VLC lebih baik. Karena tegangan output mengalami penguatan yang lebih besar sehingga jarak antara *transmitter* dan *receiver* bisa semakin jauh. Pada sistem VLC yang telah dibuat suara dapat terdengar hingga jarak 4,5 meter, serta dapat dilihat pada gambar 7 bahwa sinyal output masih menyerupai sinyal input *transmitter* namun nilai tegangan sinyal sudah sangat kecil. Sedangkan suara sudah tidak terdengar jelas pada jarak diatas 4,5 meter. Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran output rangkaian receiver pada jarak 4 dan 6 meter.

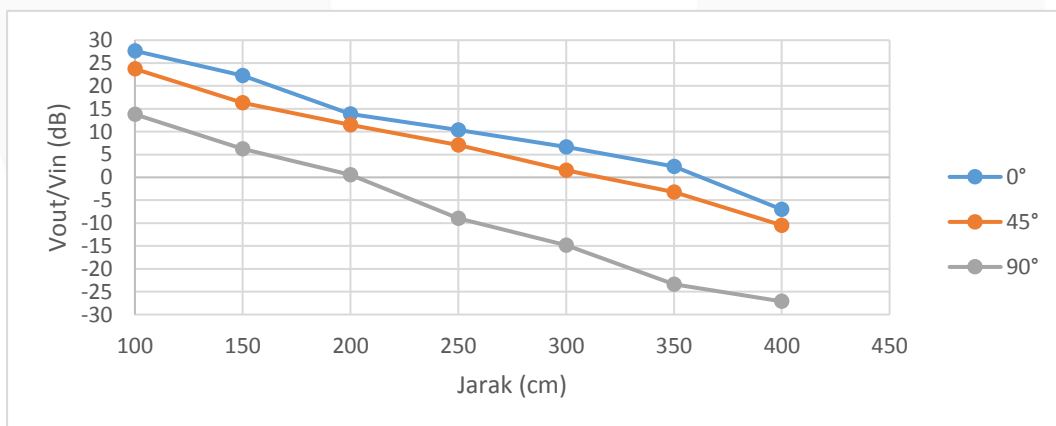


Gambar 7. Hasil Pengukuran Output Rangkaian Receiver VLC;
 (a) Jarak 4,5 meter; (b) Jarak 5 meter

Dapat dilihat bahwa bentuk gelombang sinyal yang diterima pada jarak 5 meter yaitu pada *channel 2* sudah tidak serupa dengan gelombang sinyal input *transmitter* yaitu *channel 1*, dan juga suara sudah tidak terdengar pada jarak tersebut ketika diuji coba secara langsung. Berdasarkan hasil pengukuran suara tidak terdengar jelas pada output tegangan sinyal dibawah 79,9mV dengan nilai atenuasi -16,13 dB. Akan tetapi performansi dari alat yang telah dibuat sudah sesuai harapan yaitu dapat bekerja sampai jarak 4,5 meter antara *transmitter* dan *receiver*.

D. Pengukuran Terhadap Sudut Pancar dan Pencahayaan Lingkungan

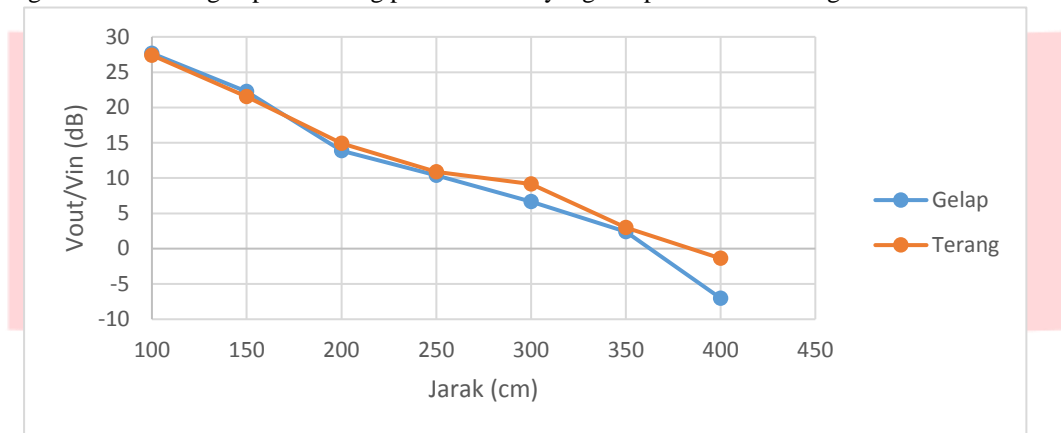
Setelah alat diketahui dapat bekerja dengan baik kemudian dilakukan pengujian terhadap sudut pancar 0°, 45°, 90° antara *transmitter* dengan *receiver*, serta kondisi pencahayaan lingkungan gelap dan terang pada jarak yang berbeda. Pengukuran dilakukan dari jarak 100 cm sampai 400 cm. Ketika pencahayaan lingkungan terang dengan menggunakan luxmeter terukur 38 lux, nilai tersebut merupakan intensitas cahaya dari lampu lain. Dilakukan 10 kali pengambilan data pada setiap jarak, sudut pancar, dan kondisi pencahayaan lingkungan yang berbeda kemudian diambil nilai rata-rata tegangan sinyal output dari pengukuran tersebut.



Gambar 8 Perbandingan tegangan sinyal pada kondisi gelap dengan sudut yang berbeda

Pada gambar 9 merupakan grafik dari perbandingan tegangan sinyal pada kondisi gelap dengan sudut pancar yang berbeda dari hasil pengukuran. Dapat dilihat dari grafik tersebut bahwa sudut pancar antara *transmitter* dan *receiver* cukup mempengaruhi pada pengiriman sinyal. Semakin besar sudutnya maka redaman sinyal semakin besar. Pada sudut 90° terjadi redaman paling besar karena pola pancar dari LED terpusat ditengahnya. Terlihat dari tabel hasil pengukuran diatas bahwa kondisi pencahayaan disekitar mengakibatkan

perubahan amplitudo sinyal informasi yang diterima. Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh kondisi pencahayaan terang yang mengakibatkan interferensi pada sinyal yang dikirim oleh *transmitter*. Nilai tegangan sinyal yang terukur berbeda dengan kondisi gelap karena photodetektor di *receiver* juga mengubah pancaran cahaya selain dari perangkat VLC. Agar lebih jelasnya, pada gambar 4.16 dibawah ini merupakan perbandingan hasil pengukuran kondisi gelap dan terang pada sudut 0° yang direpresentasikan ke grafik.



Gambar 9 Grafik Perbandingan Kondisi Pencahayaan Gelap dan Terang Pada Sudut 0°

5. Penutup

Jarak antara *transmitter* dan *receiver* mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima. Dalam kondisi lingkungan gelap pada jarak minimum yaitu 5 cm menghasilkan penguatan sebesar 37,7 dB. Sedangkan pada jarak terjauh yaitu 600cm terjadi atenuasi sebesar -23,4 dB. Sistem VLC dapat mengirim sinyal audio dari siaran radio FM dengan jarak maksimum 450 cm dengan nilai tegangan sinyal output yang diterima sebesar 0.011 V serta atenuasi sebesar -12.49 dB. Pada jarak 5 m suara tidak terdengar pada output sinyal 79,9 mV dengan nilai atenuasi -16,13 dB. Sudut pancar antara *transmitter* dan *receiver* mempengaruhi gain dan atenuasi pada sinyal yang diterima. Perbedaan terlihat pada kondisi gelap nilai gain di jarak 100 cm ($0^\circ = 27.66$ dB; $45^\circ = 23.714$ dB; $90^\circ = 13.786$ dB) kemudian nilai atenuasi di jarak 400 cm ($0^\circ = -7.019$ dB; $45^\circ = -10.477$ dB), $90^\circ = -27.121$ dB). Kondisi pencahayaan disekitar mengakibatkan interferensi sehingga nilai tegangan sinyal yang diterima berbeda. Nilai V_{out}/V_{in} (dB) pada kondisi gelap dengan sudut pancar 0° di jarak 400 cm terukur -7.019 dB, sedangkan pada kondisi terang terukur -1.381dB.

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Mudrik, Saluran Transmisi Telekomunikasi. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [2] K. Shindubala, B. Vijayalakshmi, "Ecofriendly Data Transmission in Visible Light Communication," dalam *IEEE Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT)*, India, 2015.
- [3] G. I. Renaldi, D. Darlis, H. Putri, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Untuk Komunikasi Suara," Telkom University, Bandung, 2014.
- [4] M. Hidayat, "Implementasi Sistem Musik Kafe Menggunakan Visible Light Communication (VLC)," Telkom University, Bandung, 2014.
- [5] K. Kadam, M. R. Dhage, "Visible Light Communication for IoT," dalam *IEEE Second International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, India, 2016.
- [6] Arnon, *Visible Light Communication*, First Edition. United Kingdom: Cambridge University Press, 2015.
- [7] G. Keiser, *Optical Fiber Communication*, Fifth Edition. Singapore: McGraw-Hill, 2015.
- [8] G. Held, E. F. Schubert, *Introducing to Light Emitting Diode Technology and Application*, United States of America: Taylor & Francis Group, 2009.
- [9] G. P. Smestad, "Introduction to Solar Cell," *Optoelectronics of Solar Cell*, First Edition. United States of America: The Society of Photo-Optical Instrument Engineers (SPIE), 2002.
- [10] H. D. Surjono, *Elektronika Teori dan Penerapan*. Jember: Cerdas Ulet Kreatif, 2011.