

Implementasi Sistem Komunikasi Video menggunakan *Visible Light Communication (VLC)*

ARSYAD R. DARLIS, LITA LIDYAWATI, LUCIA JAMBOLA, NURUL N. WULANDARI
Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung

Email: arsyad@itenas.ac.id

ABSTRAK

Visible Light Communication (VLC) adalah sebuah sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media dalam komunikasi antar perangkat. Pada penelitian ini, teknologi Visible Light Communication (VLC) dalam sistem komunikasi yang akan diimplementasikan ini informasi yang akan dikirim berupa video. Metodologi penelitian yang digunakan dengan cara mentransformasikan Informasi digital menjadi sinyal analog oleh modulator, kemudian diubah menjadi cahaya oleh lampu sehingga cahaya lampu mengandung informasi. Selanjutnya cahaya tersebut diterima oleh photodiode yang akan mengubah menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik yang berupa sinyal analog tersebut diubah kembali menjadi informasi digital kembali oleh demodulator setelah sebelumnya dikuatkan terlebih dahulu. Dengan adanya penelitian ini, manusia dapat berkomunikasi atau bertukar informasi hanya dengan cahaya lampu. LED dapat mengirimkan sebuah informasi berupa video (gambar bergerak) yang akan diterjemahkan kembali oleh photodiode. Pada penelitian ini hasil gambar video yang tampak pada monitor yang dikirim melalui transmitter dengan menggunakan LED belum sempurna, hal ini disebabkan oleh faktor pemilihan LED dan photodiode yang belum sesuai untuk mengirimkan data sepenuhnya. Gain pada sistem transceiver memiliki rata-rata sebesar 7,78 dB. Dengan rata-rata faktor delay pembacaan frekuensi sebesar 17,49 μ s.

Kata Kunci : LED, Transceiver, Video, Cahaya Tampak

ABSTRACT

Visible Light Communication (VLC) is a communication system that utilizes visible light as a medium of communication between devices. In this study, technological Visible Light Communication (VLC) in a communication system that will be implemented this information to be sent in the form of video. The research methodology used to transforming the way digital information into an analog signal by the modulator, then converted into light by the light bulbs so that the information it contains. Furthermore, the light received by the photodiode which will convert it into electrical signals. Electrical signal in the form of analog signals are converted back into digital information returned by the demodulator after previously strengthened first. Given this research, humans can communicate or exchange information only with light. LEDs can transmit information in the form of a video (moving pictures) that will be translated back by a photodiode. In this study the results of video images that appear on the monitor that is sent through the transmitter by using LED is not perfect, this is caused by a factor in choosing the LED and photodiode are not suitable to transmit the data completely. Gain on transceiver system has an average of 7.78 dB. With an average delay factor frequency of 17.49 μ s.

Keywords: LED, Transceiver, Video, Visible Light

1. PENDAHULUAN

Cahaya tampak (*visible light*) dapat mengefisienkan dalam pengiriman dan penerimaan sebuah data. Sebagaimana telah diketahui, bahwa cahaya lampu (tampak) bukan lagi hanya dapat digunakan sebagai media penerangan tetapi dapat juga digunakan sebagai media transmisi atau sebagai media penyampaian suatu informasi. Dengan hanya menghidupkan lampu, maka komunikasi pun bisa dilakukan. Teknologi seperti ini dapat menciptakan suatu komunikasi dengan cara mengirimkan suatu *video* dari satu tempat ke tempat lain dalam sebuah ruangan.

Pada awalnya pembahasan komunikasi cahaya tampak mengenai *Line-of-sight Visible Light Communication System Design and Demonstration* yang membuktikan bahwa cahaya tampak dapat mengirimkan suatu data **(Cui, 2009)**.

Dengan memprediksikan tentang penerangan umum masa depan yang akan menggunakan LED putih Demi mengefisienkan penerangan dan mereka dapat membuktikan bahwa lampu LED memiliki peluang untuk menghasilkan iluminasi yang simultan dan dapat dipakai dalam komunikasi data **(Brien, 2011)**.

Pengembangan selanjutnya mengenai *Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications* **(Kwonhyung, 2011)**.

Pengembangan VLC (*Visible Light Communication*) selanjutnya untuk mengirimkan data dengan kecepatan tinggi menggunakan LED tersebut **(Cossu, 2012)**.

Implementasi teknologi *Visible Light Communication* (VLC) untuk transmisi data juga. Akan tetapi, data yang dikirimkan memiliki jumlah yang banyak oleh karena itu digunakan metoda *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) **(Khan, 2012)**.

Visible Light Communication (VLC) adalah sebuah teknologi komunikasi yang memanfaatkan pancaran cahaya tampak dari lampu pada sistem komunikasi. Sistem komunikasi *visible light* ini terdiri dari pemancar dan penerima. Sesuai dengan perkembangannya, maka dibuatlah penelitian lebih lanjut mengenai *Visible Light Communication* (VLC) dengan judul **"Implementasi Sistem Video Transceiver menggunakan teknologi Light Emitting Diode (LED)"** yang akan menghasilkan sebuah perangkat yang berperan sebagai *Transmitter* dan *Receiver* dari sistem ini.

Dalam penelitian ini akan menjelaskan tentang *prototype* sistem komunikasi *video* menggunakan LED, cara memproses sinyal informasi yang ditransmisikan, dan kinerja sistem komunikasi cahaya tampak. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi nirkabel sebagai sistem komunikasi *video* dengan memanfaatkan sistem komunikasi cahaya tampak (*visible light*) untuk menggantikan media *wireless* sebagai media pengiriman *video*, dan menghasilkan *prototype* dari sistem komunikasi cahaya tampak (*visible light*).

2. METODOLOGI

2.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian ini sistem yang akan dikembangkan adalah melakukan sistem komunikasi menggunakan cahaya tampak (*Visible Light Communication*). Dalam penelitian ini dijelaskan bagaimana sistem *Visible Light Communication* ini bekerja, khususnya pada sistem komunikasi *video* :

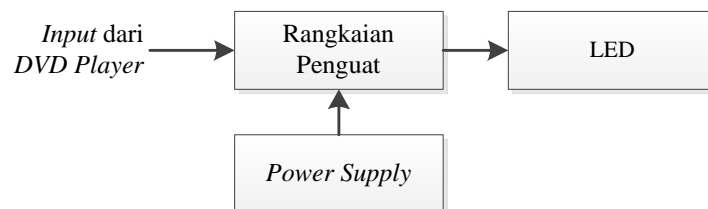


Gambar 1. Blok Diagram perancangan sistem komunikasi

Gambar 1 menunjukkan tahapan dalam perancangan dan sistem kerja komunikasi video menggunakan cahaya tampak (*Visible Light*). Dimulai dengan perancangan sistem pengiriman data atau pada bagian *transmitter*, lalu dilanjutkan dengan perancangan sistem penerima data pada bagian *receiver*. Masing-masing perancangan dilakukan uji coba terlebih dahulu pada setiap sistem. Setelah kedua sistem diuji, pengujian kedua dilakukan dengan cara menggabungkan kedua sistem dengan perantara LED sebagai pengirim dan *photodiode* sebagai penerima. Setelah berhasil dilakukan pengujian tahap terakhir berdasarkan jarak atau rentang frekuensi tertentu.

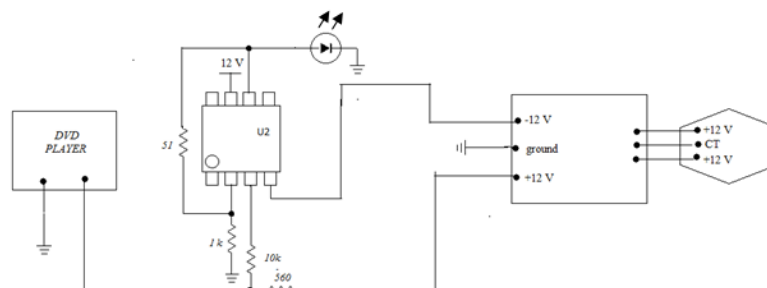
2.2 Transmitter

Pada bagian *transmitter* ini terjadi proses perubahan sinyal informasi atau data yang berasal dari *DVD Player* kedalam bentuk cahaya, yang akan ditransmisikan melalui LED. Pada saat mengirimkan data berupa gelombang cahaya tampak, *Light Emitting Diode* (LED) akan memancarkan gelombang cahaya tampak sesuai data pengirimnya. Pada rangkaian *transmitter* ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu *DVD Player*, *Light Emitting Diode* (LED), rangkaian *transmitter* dengan menggunakan IC LM7171 yang berfungsi sebagai penguat sinyal *video* yang akan ditransmisikan.



Gambar 2. Blok Diagram Transmitter

Pada Gambar 2 dijelaskan hubungan beberapa komponen tersusun pada sistem pengiriman data yakni, kutub *positif* dari *Light Emitting Diode* (LED) dihubungkan pada rangkaian *transmitter* yang telah dirangkai. Penggunaan *DVD Player* terdapat kabel yang akan tersambung, kabel tersebut akan terhubung dengan rangkaian *transmitter* yang akan mengirim sinyal informasi berupa *video*.

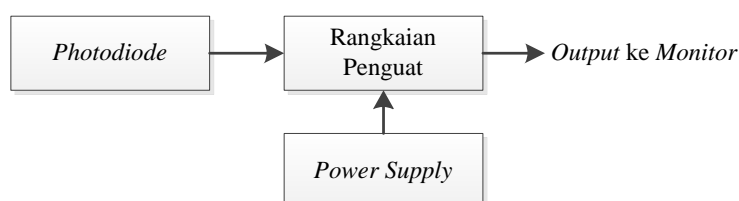


Gambar 3. Perancangan Rangkaian Transmitter

Gambar 3 merupakan perancangan rangkaian *transmitter* yang akan dijadikan acuan *prototype* pada system komunikasi video ini.

2.3 Receiver

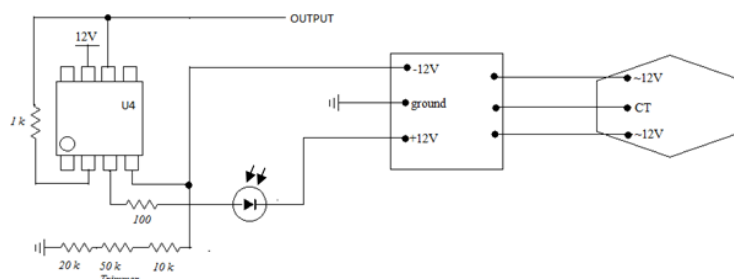
Pada bagian *receiver* menggunakan *photodiode*, yang berfungsi sebagai sensor cahaya LED (*Light Emitting Diode*). Cara kerja dari sistem *receiver* ini adalah proses penerimaan sinyal informasi yang dikirimkan dipancarkan oleh LED yang akan diterima oleh *photodiode*.



Gambar 4. Blok Diagram Receiver

Gambar 4 menjelaskan tentang sistem *receiver*, cahaya yang diperoleh *photodiode* masuk ke rangkaian receiver dengan IC LM7171 yang berfungsi sebagai *amplifier video* yang telah dihubungkan terlebih dahulu dengan rangkaian *rectifier* yang berfungsi sebagai *negative voltage converter*.

Hubungan beberapa komponen tersusun pada sistem rangkaian *receiver* ini adalah *photodiode* yang akan dihubungkan ke input rangkaian *receiver*. Lalu pada *output* rangkaian *receiver* dapat terlihat keluaran dari sinyal input.



Gambar 5. Perancangan Rangkaian Receiver

Gambar 5 merupakan perancangan rangkaian *receiver* yang akan dijadikan acuan *prototype* pada system komunikasi video ini.

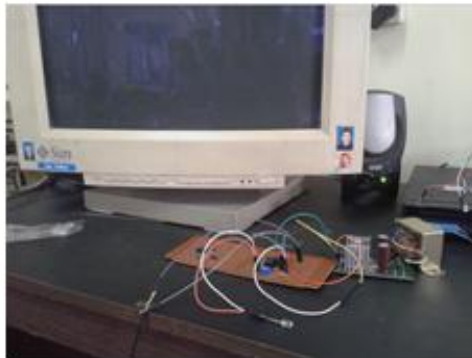
2.4 Realisasi Perancangan

Pada perancangan sistem ini terdapat 2 buah *hardware* yakni *transmitter* (Tx), dan *receiver* (Rx).



Gambar 6. Realisasi *Transmitter* secara keseluruhan

Gambar 6 merupakan bagian *transmitter* (Tx) dimana sinyal informasi yang berupa sinyal analog yang diperoleh dari *DVD Player*, yang akan ditransmisikan melalui media cahaya yaitu yang dihasilkan oleh LED (*Light Emitting Diode*). Pada saat pengiriman sinyal yang berupa cahaya, *Light Emitting Diode* (LED) memancarkan cahaya sesuai sinyal input yang diterimanya. Oleh karena itu, data yang dikirim oleh *transmitter* yang berupa cahaya akan diterima oleh *receiver* dengan *photodiode* sebagai media penerima cahaya.



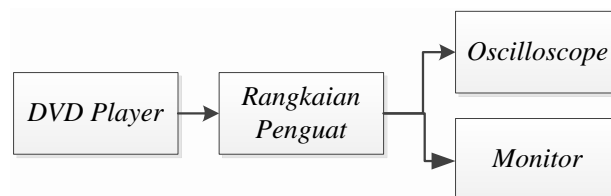
Gambar 7. Realisasi *Receiver* secara keseluruhan

Gambar 7 merupakan *receiver* (Rx) yang menjelaskan bagaimana informasi yang diterima oleh *photodiode* akan dirubah kembali menjadi listrik, yang dimana energi listrik tersebut akan ditransmisikan kembali ke sinyal *input* yang diterima oleh rangkaian *transmitter*. Realisasi perangkat keras yang akan digunakan sebagai *transmitter* dan *receiver*. Untuk realisasi perangkat keras yang dirancang terdiri dari trafo 1 A, rangkaian penyearah (*rectifier*), rangkaian *transmitter*, dan rangkaian *receiver*. Trafo 1 A ini berfungsi sebagai catu daya rangkaian penyearah yang digunakan rangkaian pada rangkaian *transmitter* maupun *receiver*.

3. PENGUKURAN DAN ANALISIS

3.1 Pengukuran Rangkaian *Transmitter*




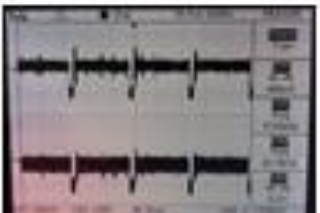
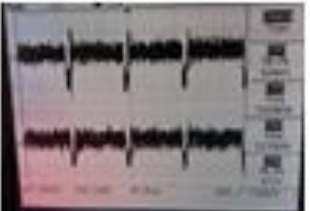
Pengukuran pertama adalah pengukuran rangkaian *transmitter* pada perangkat yang telah dirancang.



Gambar 8. Blok Pengukuran Rangkaian *Transmitter*

Gambar 8 merupakan blok pengukuran rangkaian *transmitter* yang dilakukan dengan cara melihat hasil keluaran rangkaian pada monitor, atau disambungkan dengan kabel *video* yang disambungkan kedalam monitor atau layar televisi. Disini dapat terlihat perbedaan sinyal *input transmitter* dan *output transmitter* itu sendiri.

Tabel 1. Pengukuran Rangkaian *Transmitter*

No	Bentuk Sinyal	Vp-p Input	Frekuensi Input	Vp-p Output	Frekuensi Output
1		504 mV	20,37 kHz	4,00 V	37,59 kHz
2		576 mV	18,18 kHz	4,72 V	62,86 kHz
3		488 mV	16,40 kHz	4,48 V	78,30 kHz
4		480 mV	17,85 kHz	4,32 V	42,10 kHz
5		624 mV	19,09 kHz	4,72 V	23,15 kHz

Terlihat pada Tabel 1 setiap gambar bentuk sinyal terdapat perubahan tegangan, sedangkan frekuensi tidak mengalami perubahan yang tidak terlalu besar yang tidak akan mempengaruhi kualitas gambar. Perbedaan pembacaan frekuensi ini disebabkan karena perbedaan penangkapan pada layar *oscilloscope*, sekilas terlihat serupa dan tidak ada perbedaan. Akan tetapi jika diperhatikan secara seksama, penangkapan titik frekuensi pada *oscilloscope* tersebut berbeda. Hal ini disebabkan oleh faktor *delay* sinyal informasi yang

dikirimkan oleh input terjadi pada rangkaian *transmitter*. Semakin terang cahaya gambar yang terbaca maka akan semakin besar pula frekuensi yang diterima.

Dilihat dari kedua gambar yang terlihat pada layar *oscilloscope*, tidak ada perubahan pada bentuk sinyal informasi maupun sinyal output. Hal ini menyatakan bahwa gambar bergerak (*video*) sudah tersalurkan dengan baik. Perubahan tegangan terjadi karena penggunaan *Op-Amp* pada rangkaian *transmitter*, perubahan tegangan ini yang akan mencatudayakan LED sebagai pengirim sinyal informasi. Penggunaan *Op-Amp* sangatlah diperlukan, karena *output* dari *video* tidak memiliki tegangan yang cukup besar untuk mengirimkan informasi dengan menggunakan LED.

Tabel 2. Perhitungan *Gain* Rangkaian *Transmitter*

No	Vp-p Sinyal Input	Vp-p Sinyal Output	Perhitungan	Hasil Perhitungan Gain
1	504 mV	4 V	$10\log \frac{4}{504 \times 10^{-3}}$	9 dB
2	576 mV	4,72 V	$10\log \frac{4.72}{576 \times 10^{-3}}$	9,135 dB
3	488 mV	4,48 V	$10\log \frac{4.48}{488 \times 10^{-3}}$	9,625 dB
4	480 mV	4,32 V	$10\log \frac{4.32}{480 \times 10^{-3}}$	9,54 dB
5	800 mV	7,20 V	$10\log \frac{7.20}{800 \times 10^{-3}}$	9,54 dB

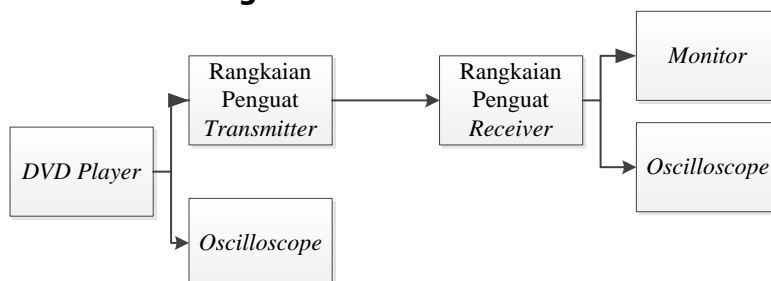
Pada bagian *transmitter* ini, kenaikan tegangan disebabkan oleh penggunaan *Op-Amp* pada bagian *transmitter*-nya. Karena perubahan tegangan tidak ada hubungannya dengan perubahan frekuensi. Pada Tabel 2 dapat terlihat penguatan pada rangkaian *transmitter*. Hasil *gain* rata-rata yang di peroleh adalah 18,736 dB.

Tabel 3. Perhitungan *Delay* Pada Rangkaian *Transmitter*

No	Frekuensi Input	Frekuensi Output	$F_{output} - F_{input}$
1	20,37 kHz	37,59 kHz	17,22 kHz
2	18,18 kHz	62,86 kHz	44,68 kHz
3	16,40 kHz	78,30 kHz	61,9 kHz
4	17,85 kHz	42,10 kHz	24,25 kHz
5	19,09 kHz	23,15 kHz	4,06 kHz
Jumlah			152,11 kHz

Pada Tabel 3 menjelaskan tentang faktor *delay* pada rangkaian *transmitter*, dan didapatkan rata-rata sebesar 32.87 μ s. Faktor *delay* pembacaan sinyal informasi yang terjadi pada rangkaian *transmitter* mempengaruhi pembacaan frekuensi pada *oscilloscope*.




3.2 Pengukuran Sistem Penguat



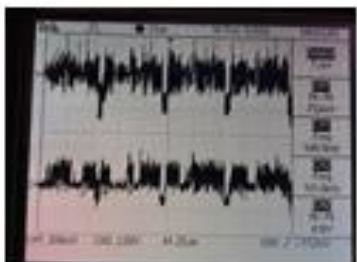

Gambar 9. Blok Pengukuran Sistem Penguat

Gambar 9 merupakan pengukuran sistem penguat pada rangkaian *transmitter* maupun *receiver*. Pengukuran pun dilakukan cara memberikan input dari *DVD Player* dan keluarannya pada monitor. Jika keluaran dari rangkaian penerima sudah mengeluarkan hasil yang diinginkan, dapat disimpulkan bahwa secara tidak langsung sistem yang diinginkan telah berhasil.

Tabel 4. Pengujian Sistem Penguat

No	Gambar Sinyal	Vp-p Input	Frekuensi Input	Vp-p Output	Frekuensi Output
1		520 mV	42,49 kHz	4,56 V	47,85 kHz
2		504 mV	20,37 kHz	4.0 V	37,59 kHz
3		680 mV	19,35 kHz	4.24 V	73,33 kHz

Tabel 4. Pengujian Sistem Penguat (lanjutan)

4		752 mV	149,7 kHz	4,96 V	181,8 kHz
5		808 mV	42,03 kHz	4,64 V	96,11 kHz

Pada Tabel 4 pengukuran *transceiver*, terlihat kenaikan pada tegangan maupun frekuensinya. Hal ini karena penggunaan 2 buah *Op-Amp* pada rangkaian *transmitter* maupun *receiver*-nya, yang menyebabkan frekuensi yang meningkat.

Tabel 5. Perhitungan *Gain* Pada Sistem Penguat

No	Vp-p Sinyal Input	Vp-p Sinyal Output	Perhitungan	Hasil Perhitungan Gain
1	1,04 V	6,08 V	$10\log \frac{6,08}{1,04}$	7,668 dB
2	1,04 V	6,00 V	$10\log \frac{6,00}{1,04}$	7,61 dB
3	680 mV	4,24 V	$10\log \frac{4,24}{680 \times 10^{-3}}$	7,945 dB
4	752 mV	4,96 V	$10\log \frac{4,96}{752 \times 10^{-3}}$	8,19 dB
5	808 mV	4,64 V	$10\log \frac{4,64}{808 \times 10^{-3}}$	7,59 dB

Pada Tabel 5 dapat terlihat sistem penguatan keseluruhan lebih kecil dibandingkan penguatan rangkaian *transmitter*, hal ini disebabkan oleh penggunaan resistor yang berbeda dengan rangkaian *transmitter*. Hasil *gain* rata-rata sistem penguat yang diperoleh adalah sebesar 7,78 dB.

Tabel 6. Perhitungan *Delay* Pada Sistem Penguat

No	Frekuensi <i>Input</i>	Frekuensi <i>Output</i>	$F_{output}-F_{input}$
1	466,9 kHz	589,1 kHz	122,2 kHz
2	53,10 kHz	76,58 kHz	23,48 kHz
3	19,35 kHz	73,33 kHz	53,98 kHz
4	149,7 kHz	181,8 kHz	32,1 kHz
5	42,03 kHz	96,11 kHz	54,08 kHz
Jumlah			285,84 kHz

Pada Tabel 6 terlihat factor delay pada system penguat. Faktor *delay* tersebut dikarenakan penggunaan rangkaian *transmitter* dan *receiver* yang membutuhkan waktu untuk mengirim informasi yang dikirimkan oleh *input* tersebut.



Gambar 10. Keluaran *DVD Player*

Gambar 10 merupakan hasil keluaran *DVD Player* murni, yang akan menjadi sinyal informasi yang akan dikirimkan pada sistem penguat.

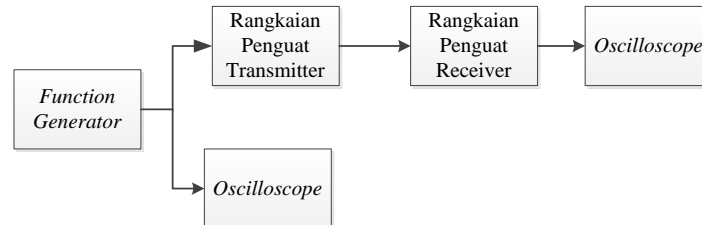


Gambar 11. Keluaran menggunakan Penguat

Pada Gambar 11 adalah keluaran setelah sinyal informasi masuk kedalam sistem penguat. Terlihat dari kedua gambar diatas, dapat terlihat perbedaan kualitas gambar antara keluaran *DVD Player* yang murni dan yang sudah masuk kedalam sistem *transceiver*. Pada Gambar 10 warna terlihat lebih jelas, sedangkan pada Gambar 11 warna yang terlihat lebih pucat dan tidak begitu cerah. Hal ini disebabkan oleh pengaruh penggunaan *Op-Amp* pada *transmitter* maupun *receiver*.

3.3 Pengukuran *range* frekuensi yang dimiliki sistem




Langkah yang dilakukan agar memperoleh data untuk pengukuran frekuensi minimum dan maksimum dapat dilakukan dengan menggunakan *function generator* sebagai *input* dan pada bagian *output* menggunakan *oscilloscope*. *Input* data yang berasal dari *function generator*, diatur frekuensinya mulai dari minimum sampai dengan frekuensi maksimum. Sesuai dengan kapasitas rangkaian *transmitter* maupun *receiver*.







Gambar 12. Blok Pengukuran *range* Frekuensi

Gambar 12 merupakan blok untuk mendapatkan frekuensi minimum dan frekuensi maksimum yaitu memutar *tuning* frekuensi pada *function generator* mulai dari frekuensi 0 Hz sampai dengan frekuensi tertinggi dengan catatan gambar sinyal di penerima tidak rusak. Untuk menentukan sinyal penerima rusak atau tidak adalah dengan membandingkan frekuensi *input* pada *transmitter* dengan frekuensi *output* pada *receiver*.

Tabel 7. Pengukuran *range* frekuensi

Frekuensi <i>Input</i>	Frekuensi <i>Output</i>	Gambar Sinyal
2,38 kHz	2,41 kHz	
25,474 kHz	25,61 kHz	
52,31 kHz	52,40 kHz	

Tabel 7. Pengukuran *range* frekuensi (lanjutan)

100,36 kHz	98,8 kHz	
1,543 MHz	1,544 MHz	
2,5752 MHz	2,591 MHz	
5,0003 MHz	4,918 MHz	

Pada Tabel 7 bentuk sinyal yang didapat dari pengukuran frekuensi minimum dan maksimum suatu *video* (gambar bergerak) dapat dilihat. Dari bentuk sinyal tersebut dapat dibandingkan antara sinyal *input* dan sinyal *output*. Dari pengukuran frekuensi minimum dan maksimum kita dapat mencari *bandwidth* saluran. Pada penggunaan IC memiliki kapasitas *bandwidth* hingga 220 MHz, sedangkan besar *bandwidth* maksimal sebuah *video* sebesar 4,2 MHz. Dengan kata lain pengukuran *range* frekuensi sistem yang digunakan hanya berkisar dari 2,38 kHz hingga 5,0003 MHz saja, karena hal ini sudah dapat menunjukkan bahwa sistem tersebut bisa dilewati oleh sinyal *video*.

3.4 Pengujian menggunakan LED



Gambar 13. Blok Pengujian menggunakan LED

Pada Gambar 13 pengujian pun dilakukan dengan memberikan *input DVD Player* pada rangkaian penguat *transmitter* dimana informasi akan dikirimkan melalui LED dan ditangkap oleh *photodiode* yang nantinya akan disalurkan kembali ke rangkaian penguat *receiver* dan keluarannya akan ditampilkan pada layar monitor.



Gambar 14. Hasil keluaran pada monitor

Gambar 14 merupakan hasil keluaran pada *monitor* dengan menggunakan LED sebagai pengirim informasi dan *photodiode* sebagai penerimanya. Gambar yang didapat belum begitu jelas, hal ini disebabkan oleh faktor pemilihan lampu LED sebagai pengirim dan *photodiode* sebagai penerima yang nantinya akan menerjemahkan sinyal yang diterima.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Hasil gambar *video* yang tampak pada *monitor* yang dikirim melalui *transmitter* dengan menggunakan LED belum sempurna, hal ini disebabkan oleh faktor pemilihan LED dan *photodiode* yang belum sesuai untuk mengirimkan data sepenuhnya.
2. LED dapat mengirimkan sebuah informasi berupa *video* (gambar bergerak) yang akan diterjemahkan kembali oleh *photodiode*.
3. Frekuensi yang terbaca mengalami perubahan, perbedaan pembacaan frekuensi ini disebabkan karena perbedaan penangkapan pada layar *oscilloscope*. Faktor *delay* pembacaan frekuensi rangkaian *transmitter* memiliki rata-rata *delay* sebesar 32,87 μ s.
4. Tegangan *input* mengalami kenaikan setelah informasi masuk kedalam rangkaian *transmitter*, rata-rata penguatan yang dilakukan oleh rangkaian *transmitter* sebesar 9,835 dB.
5. *Gain* pada sistem *transceiver* memiliki rata-rata sebesar 7,78 dB. Dengan rata-rata faktor *delay* pembacaan frekuensi sebesar 17,49 μ s.
6. Sesuai dengan karakteristik *video* yang memiliki *bandwidth* sebesar 4,2 MHz, sistem ini memiliki frekuensi minimum yang dimiliki sistem ini sebesar 2.38 kHz dan frekuensi maksimum 5.069 MHz. Dengan demikian frekuensi maksimum yang dapat melewati sistem ini sudah melewati batas *range* frekuensi video.

DAFTAR RUJUKAN

- O'Brien, Dominic C. 2008. *Visible Light Communications: challenges and possibilities*. IEEE : 978-1-4244-2644-7.
- Cossu, G. 2012. Long Distance Indoor High Speed Visible Light Communication System Based on RGB LEDs. ACP Technical Digest © 2012 OSA.
- Khan, Talha A. 2012. Visible Light Communication using Wavelength Division Multiplexing for Smart Spaces. *Communications Letters, IEEE*, vol. 15, no. 2, pp. 217–219.
- Cui, Kaiyun. 2009. *Line-of-sight Visible Light Communication System Design and Demonstration*. California : Department of Electrical Engineering, University of California.
- Lee, Kwonghyung. 2011. Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications. IEEE : 1089-7798/11