

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 14 NOMOR 1

APRIL 2018

Penerapan Modul Surya sebagai Receiver Sistem Visible Light Communication (VLC) untuk Pengiriman Sinyal Audio Akustik 68-74

Budiyawan Naztin, Tri Nopiani Damayanti, dan Sugondo Hadiyoso

JRE	Vol. 14	No. 1	Hal 1-82	Banda Aceh, April 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Penerapan Modul Surya sebagai Receiver Sistem Visible Light Communication (VLC) untuk Pengiriman Sinyal Audio Akustik

Budiyawan Naztin, Tri Nopiani Damayanti, dan Sugondo Hadiyoso
Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu, Bandung 40257
e-mail: damayanti@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Modul surya sebagai pengumpul sinar matahari yang akan dikonversi menjadi energi listrik, selama ini hanya digunakan untuk berbagai macam aplikasi teknologi energi terbarukan. Penelitian ini mengusulkan dan mendemonstrasikan penerapan modul surya sebagai receiver sistem *Visible Light Communication* (VLC) sekaligus sebagai pengumpul energi secara waktu bersamaan. Penggunaan modul surya sebagai receiver menyebabkan receiver tidak memerlukan sumber tegangan dari luar. Penelitian ini menguji sinyal audio akustik yang ditransmisikan melalui sistem VLC akan diterima oleh modul surya sebagai receiver. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa sinyal audio yang ditransmisikan mengalami perubahan sinyal akibat dari magnitudo/amplitudo yang nilainya berubah terhadap waktu. Perubahan level tegangan terhadap waktu menyebabkan pancaran LED memiliki intensitas cahaya berbeda. Jarak maksimal sinyal dapat ditransmisikan dengan baik di jarak 120 cm pada tegangan 656 mV dengan intensitas cahaya penerangan lingkungan pengujian sebesar 265 Lx. Sudut maksimal sinyal dapat ditransmisikan dengan baik pada sudut 20o di tegangan 190 mV dengan intensitas cahaya penerangan lingkungan pengujian sebesar 265 Lx. Perubahan nilai tegangan tersebut dipengaruhi oleh pancaran LED dan intensitas cahaya penerangan lingkungan pengujian yang diterima modul surya sebagai receiver. Pengujian menunjukkan bahwa sinyal audio tetap terkirim dengan baik walaupun energi cahaya yang diterima modul surya dalam kondisi maksimum.

Kata kunci: *Visible Light Communication (VLC), modul surya, receiver*

Abstract—A solar module as a collector of sunlight that will be converted into electrical energy, so far only used for various applications of renewable energy technology. This research proposes and demonstrates the application of solar module as receiver of Visible Light Communication System (VLC) as well as collecting energy at the same time. Using a solar module as a receiver causes the receiver does not require an external voltage source. This study tested the acoustic audio signal transmitted through the VLC system to be received by the solar module as a receiver. The results show that the transmitted audio signal has a signal change as a result of the magnitude/amplitude whose value changes with time. The change of voltage level over time causes the LED emission to have different light intensity. Maximum distance of the signal can be transmitted well at a distance of 120 cm at 656 mV voltage with a light intensity of environmental lighting test of 265 Lx. The maximum angle of the signal can be transmitted well at an angle of 20o at a voltage of 190 mV with a light intensity of the test environment light of 265 Lx. The change in voltage values is affected by the LED emission and the light intensity of the test environment light received by the solar module as a receiver. Testing indicates that the audio signal remains well transmitted even though the light energy received by the solar module is in maximum condition.

Keywords: *Visible Light Communication (VLC), solar module ,receiver, audio, transmitter*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi semakin berkembang pesat seiring dengan kebutuhan user akan layanan komunikasi dan data. Salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang saat ini berkembang adalah Teknologi *Visual Light Communication* (VLC). Teknologi ini memanfaatkan cahaya tampak dalam mentransmisikan datanya. Teknologi VLC memiliki banyak keunggulan

dibandingkan komunikasi *Radio Frequency* (RF) diantaranya adalah aman dari interferensi gelombang elektromagnetika, lebih aman (*secure*) karena cahaya tidak dapat menembus penghalang, memiliki efisiensi energi yang tinggi dan biaya implementasi yang murah [1]-[5].

Blok sistem utama VLC terdiri dari 3 bagian yaitu blok pengirim (*transmitter*), kanal transmisi, dan blok penerima (*receiver*). Pada umumnya sistem VLC menggunakan photodiode sebagai photodetektor cahaya pada bagian

receiver, hal ini karena photodiode memiliki banyak keunggulan antara lain respon yang cepat, high speed dan presisi [6]-[9]. Solar cell merupakan salah satu jenis photodetektor [10]-[11], dimana penggunaan solar cell pada umumnya digunakan sebagai pengumpul energi yang telah lebih banyak dikembangkan khususnya pada industri energi terbarukan [12]. Pada teknologi VLC, penggunaan modul surya sebagai receiver yang memiliki fungsi sebagai pengumpul energi dan sekaligus dalam waktu bersamaan sebagai pendeteksi sinyal merupakan suatu gagasan yang baru [13].

Pada penelitian [6], penggunaan solar cell sebagai receiver pada sistem VLC menghasilkan sistem bekerja dengan baik dengan kecepatan data sebesar 3 kb/s namun jarak jangkauan maksimal perangkat hanya sebesar 40 cm. Penelitian solar panel sebagai receiver juga telah dilakukan [13], penelitian yang dilakukannya berdasarkan eksperimen dimana solar panel tidak hanya berfungsi sebagai pendeteksi energi saja tetapi juga sebagai penghasil energi namun hasil pengujian yang didapatkan jarak jangkauan transmisinya maksimal hanya sebesar 39 cm. Penelitian [14], solar panel digunakan sebagai receiver pada sistem VLC dengan penggunaan signal condition unit di solar panel namun kecepatan data yang dihasilkan masih sebesar 8 kb/s dengan jarak maksimal transmisi sebesar 50 cm.

Penggunaan photocell silikon sebagai receiver dan pengumpul energi juga telah dilakukan dengan bantuan simulasi menggunakan matlab pada penelitian [15]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saat photocell silikon berfungsi sebagai pengumpul energi dan pendeteksi sinyal secara bersamaan, kecepatan data yang dihasilkan maksimal sebesar 19,2 kb/s dengan tegangan photocell sebesar 2,77 Volt.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya, maka pada penelitian ini akan diimplementasikan sebuah sistem VLC menggunakan modul surya sebagai receiver untuk mendeteksi sinyal VLC sekaligus sebagai pengumpul energi secara waktu bersamaan sehingga receiver tidak memerlukan sumber tegangan dari luar yang diimplementasikan untuk mentransmisikan sinyal akustik gitar listrik. Makalah penelitian ini terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama adalah pendahuluan, bagian kedua metode perancangan sistem VLC menggunakan receiver berupa modul surya, bagian ketiga menjelaskan tentang analisis pengujian sistem, dan bagian keempat menjelaskan kesimpulan.

II. METODE PERANCANGAN

Pada Gambar 1, Blok eksperimen teknologi VLC pengiriman sinyal audio gitar listrik terbagi menjadi 3



Gambar 1. Blok sistem VLC Experiment Set-Up

bagian yaitu sistem transmitter, kanal VLC dan sistem receiver. Blok transmitter terdiri dari amplifier dan rangkaian driver LED, dan LED. Blok receiver terdiri dari modul surya berfungsi sebagai photodetektor, amplifier, dan filter.

Pada sistem alat VLC yang dirancang, sinyal informasi berupa sinyal audio yang dihasilkan dari gitar akustik elektrik akan masuk ke dalam sistem transmitter yang akan diubah menjadi energi listrik oleh rangkaian converter. Sinyal listrik yang dihasilkan akan diteruskan ke LED luxeon white super bright dimana pada LED luxeon white super bright saat diberikan bias maju mengakibatkan elektron dan hole pada LED luxeon white super bright akan mengalir dari junction menuju elektroda. Pemberian tegangan akan mengakibatkan foton akan terbentuk dan terpancar menjadi cahaya tampak.

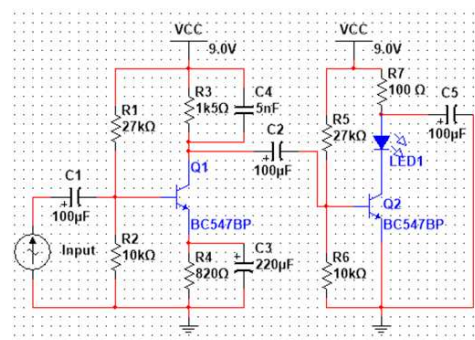
Cahaya yang mengandung informasi tersebut akan ditransmisikan melalui media cahaya (nirkabel) dan diterima oleh perangkat receiver. Sinyal yang diterima modul surya sebagai photodetektor berasal dari sumber cahaya dan juga dari induksi sinyal multipath dan ambient light noise dari lingkungan pengujian. Cahaya yang diterima akan diubah menjadi sinyal listrik oleh modul surya. Modul surya memiliki fungsi sebagai penyimpan energi cahaya serta mengubah energi cahaya tersebut menjadi energi listrik. Modul surya juga berfungsi sebagai low pass filter untuk memfilter cahaya dari ambient light noise. Sinyal listrik yang diterima oleh modul surya mengalami penurunan tegangan sehingga diperlukan rangkaian penguat tegangan (amplifier). Sinyal listrik setelah dikuatkan oleh amplifier akan diubah menjadi sinyal audio yang ditampilkan oleh speaker amplifier.

A. Rangkaian Transmitter VLC

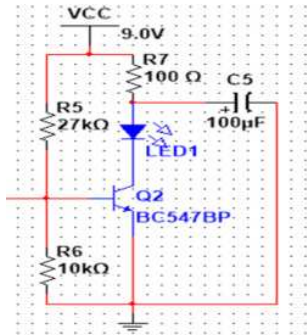
Blok rangkaian transmitter ditunjukkan pada Gambar 2. Blok transmitter terdiri dari driver LED, Modul LED, dan amplifier.

Gambar 3 menunjukkan rangkaian driver LED yang digunakan. Pada eksperimen, jenis driver LED yang digunakan adalah driver LED linier dengan konfigurasi ground emitter dengan satu LED.

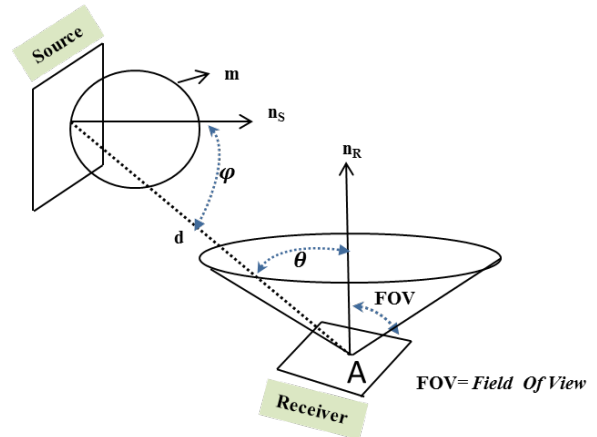
LED sebagai komponen semikonduktor memiliki sifat electroluminescence [16] yang dapat mengubah energi listrik menjadi cahaya, sehingga dengan memanfaatkan



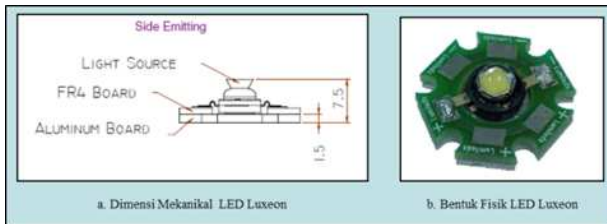
Gambar 2. Blok transmitter VLC



Gambar 3. Blok driver LED



Gambar 5. Geometris VLC [19]



Gambar 4. Modul LED

sifat tersebut LED dapat digunakan sebagai *transmitter* pada teknologi VLC. Jenis modul LED yang digunakan pada eksperimen adalah jenis LED putih *luxeon* yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Alasan pemilihan LED *luxeon* karena LED *luxeon* memiliki efisiensi energi yang tinggi, memiliki lumens cahaya yang terang dan ringan. Tabel 1 merupakan data spesifikasi LED *luxeon* berdasarkan *datasheet*, satu modul LED *luxeon* memiliki arus maju (I_f) sebesar 700 mA dengan tegangan maju (V_f) sebesar 9 Volt DC.

Pada LED, pola intensitas radiasi dapat dimodelkan dengan persamaan intensitas cahaya *Lambert* [18]-[19] berdasarkan Gambar 5.

Persamaan matematis *Lambert* untuk daya terima $P_r (w/m^2)$ ditunjukkan pada persamaan [19], dimana:

$$P_r = H(\theta) P_t \tag{1}$$

Nilai P_r dipengaruhi oleh besarnya nilai DC *gain* dari *receiver* [19] yang diilustrasikan sebagai berikut:

$$H(\theta) = \begin{cases} P_t \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\theta) & 0 \leq \theta \leq \psi_c \\ g(\theta) \cos(\theta) & 0 \leq \theta \leq \psi_c \\ 0 & \theta > \psi_c \end{cases} \tag{2}$$

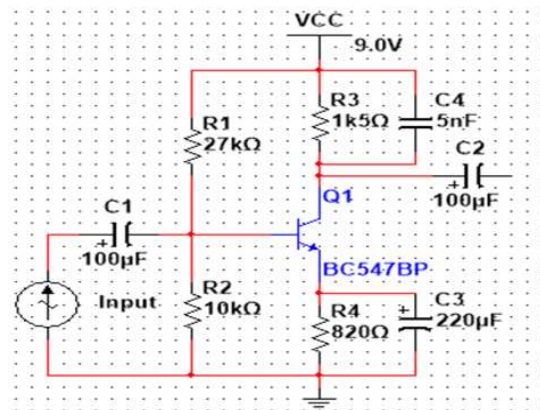
Tabel 1. Spesifikasi LED Luxeon [17]

No	Model	LED- DS30
1	Color	White
2	Power	5 Watt
3	Module Voltage	9 VDC
4	Module Current	700 mA
5	Viewing Angle	1200
6	Luminance	120 lm

Dimana A adalah physical area photodetektor, d adalah jarak antara *transmitter* dan *receiver*, ϕ adalah sudut antara arah emisi cahaya dan arah normal sumber cahaya, θ adalah sudut datang cahaya, $T_s(\theta)$ adalah penguatan filter optik, $g(\theta)$ adalah penguatan *concentrator* optik, ψ_c adalah *field of View (FOV) receiver*, dan m adalah indeks order *Lambert* sebagai sudut pengarah sumber cahaya.

Sinyal input yang berasal dari gitar akustik elektrik akan mengalami penguatan sebelum ditransmisikan melalui modul LED. Jenis rangkaian penguat yang digunakan adalah penguat *Common-Emitter divider voltage bias* dengan jenis transistor NPN BC547BP. Pada sistem *amplifier* yang ditunjukkan pada Gambar 6, arus yang melalui basis transistor akan mengalami penguatan, dan hasil dari penguatan akan dikeluarkan pada kaki kolektor.

Transistor BC547BP memiliki gain arus β (H_{fe} atau beta) sebesar 100. Besarnya nilai tegangan kaki *Base-Emitter (VBE)* adalah sebesar 0,6 Volt. Berdasarkan *datasheet* BC547BP, nilai $R_1, R_2, R_C, R_E, C_{in}, C_{out}, C_E$. Nilai C_{in} dan C_{out} digunakan untuk pasangan dalam sinyal AC. Nilai 100 μF adalah nilai yang cukup baik untuk kapasitor tersebut. Kapasitor CE menghubungkan sinyal ac menuju ground. Transistor BC547BP mampu mengendalikan arus kolektor maksimal sebesar 100 mA. Berdasarkan *datasheet* untuk BC547BP bahwa pada arus kolektor 2 mA bekerja cukup baik.



Gambar 6. Rangkaian amplifier transmitter

B. Kanal VLC

Pada eksperimen, kanal informasi yang digunakan untuk mengirimkan data informasi sinyal gitar audio akustik adalah kanal *free space Line of Sight (LOS)*. Perangkat penerima akan menerima data dari *transmitter* dengan cara dihadapkan langsung dengan sumber informasinya. Sifat kanal *Line of Sight (LOS)* pada teknologi VLC memiliki sifat *shadowing* yang diakibatkan dari adanya penghalang atau *obstacle* sehingga sinyal informasi yang diterima oleh rangkaian *receiver* modul surya merupakan hasil dari sinyal informasi langsung dari sumber cahaya dan juga dari pantulan [20]. Selain memiliki sifat *shadowing*, kanal LOS pada sistem VLC ini memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap distorsi yang diakibatkan dari pengaruh *ambient light noise* dan *sinyal multipath*. Kanal VLC dapat dimodelkan menggunakan kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* [21], yang dapat dinyatakan dalam persamaan (3).

$$I(t) = \eta p_r(t) \otimes h(t) + N(t) \tag{3}$$

Dimana $I(t)$ adalah arus photodetektor, η adalah *photosensitivity* dari photodetektor, \otimes adalah simbol konvolusi, $h(t)$ adalah respon impuls, $N(t)$ adalah noise AWGN. Kanal VLC yang digunakan pada eksperimen adalah LOS [9], sehingga besarnya daya terima $P_{r^{LOS}}$ dapat dinyatakan dengan persamaan (4):

$$P_{r^{LOS}} = H_{LOS}(0) P_t \tag{4}$$

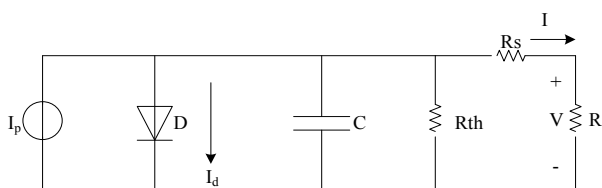
C. Rangkaian Receiver VLC

Sinyal audio gitar yang dikirimkan oleh rangkaian *transmitter* akan ditransmisikan melalui kanal informasi dan akan diterima oleh rangkaian *receiver*. Pada penelitian ini rangkaian *receiver* yang digunakan adalah modul surya sebagai photodetektor yang akan mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik, sirkuit diagram modul surya ditunjukkan pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7, persamaan modul surya yang digunakan ditunjukkan oleh persamaan (5) [15] sebagai berikut :

$$I = N_1 I_p - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{N_2 AKT} \right] - 1 \right\} - C \frac{dV}{dt} - \frac{V + IR_s}{R_{th}} \tag{5}$$

Dimana N_1 adalah jumlah modul surya secara paralel, N_2 adalah jumlah modul surya secara seri, I_p adalah arus cahaya, I_0 adalah arus saturasi dioda, I adalah arus output, dan A adalah nilai konstan bernilai 1 sampai 3. Jika $R_{th} \gg R_s$, maka:



Gambar 7. Sirkuit diagram modul surya

$$k_o = \frac{AKT}{q} \tag{6}$$

Persamaan untuk arus cahaya ditunjukkan oleh persamaan (7).

$$I = N_1 I_p - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{(V + IR_s)}{N_2 k_o} \right] - 1 \right\} - C \frac{dV}{dt} \tag{7}$$

$$I_p = \frac{S}{1000} I_{sc} \tag{8}$$

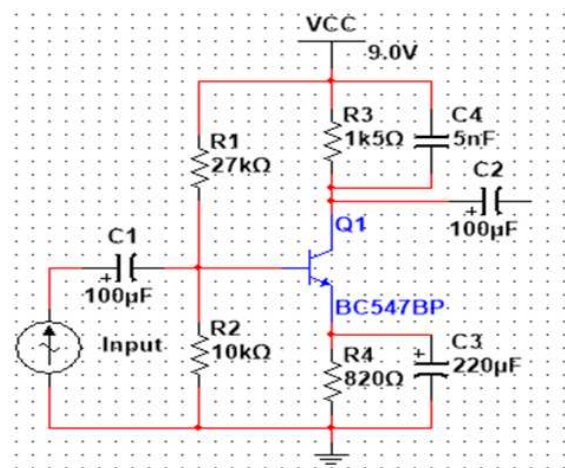
S adalah daya iluminasi modul surya. Standar daya iluminasi modul surya pada suhu normal adalah sebesar 1000 w/mm². I_{sc} adalah arus *short circuit*. Jika $I=0$, maka modul surya akan bekerja secara *open circuit* dan dapat dinyatakan dalam persamaan (9):

$$N_1 I_p = I_0 \left[\exp \left(\frac{(V + IR_s)}{k_o N_2} \right) - 1 \right] \tag{9}$$

Modul surya yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Polycrystalline Silicon* dengan ukuran 100x60 mm. Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh modul surya sebesar 1 Watt. Tegangan maksimum modul surya yang dihasilkan sebesar 6 V. Modul surya yang digunakan sebagai *receiver* pada eksperimen ini dapat dianggap sebagai *low pass filter*.

Sinyal informasi yang ditransmisikan akan ditangkap oleh modul surya, dimana sinyal cahaya yang mencapai modul surya akan menyebabkan muatan elektron terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga sinyal listrik dapat dibangkitkan menjadi sinyal listrik analog. Besarnya sinyal listrik ini sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima sebagai representasi dari sinyal audio yang dikirimkan.

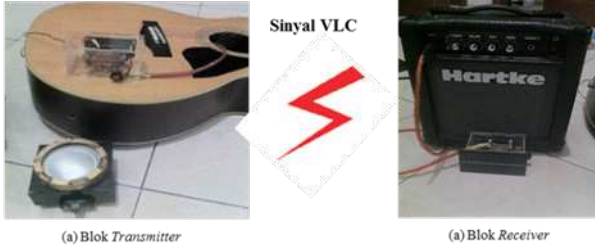
Sinyal listrik yang dihasilkan oleh modul surya mengalami pelemahan akibat adanya distorsi dari intensitas cahaya lingkungan. Sinyal listrik tersebut akan dikuatkan oleh rangkaian penguat *transistor BC547* yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sinyal listrik yang telah dikuatkan akan diteruskan ke speaker aktif yang



Gambar 8. Rangkaian penguat receiver



Gambar 9. Speaker aktif



Gambar 10. Model eksperimen sistem VLC dengan modul surya

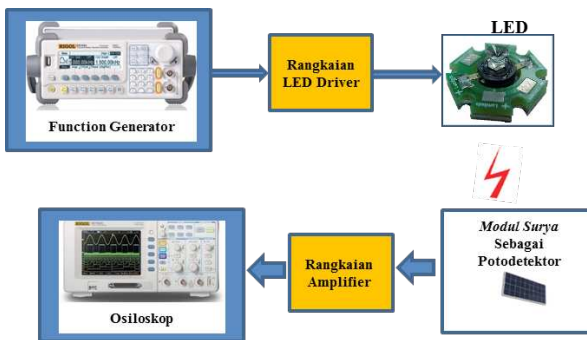
ditunjukkan pada Gambar 9 untuk diubah menjadi sinyal audio.

Speaker aktif digunakan sebagai penguat suara dan display untuk menampilkan spektrum sinyal audio yang dikirimkan dari gitar akustik elektrik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model eksperimen pengujian sistem VLC ditunjukkan pada Gambar 10. Pengujian pada blok sistem keseluruhan akan dilakukan menggunakan osiloscope. Blok pengujian ditunjukkan pada Gambar 11. Tujuan dilakukan pengujian adalah untuk mengetahui kualitas audio(suara) dengan pengujian variasi jarak dari sudut LED yang dipancarkan terhadap modul surya. Peralatan yang digunakan dalam pengukuran dan pengujian adalah osiloscope, function generator, multimeter, dan lux meter.

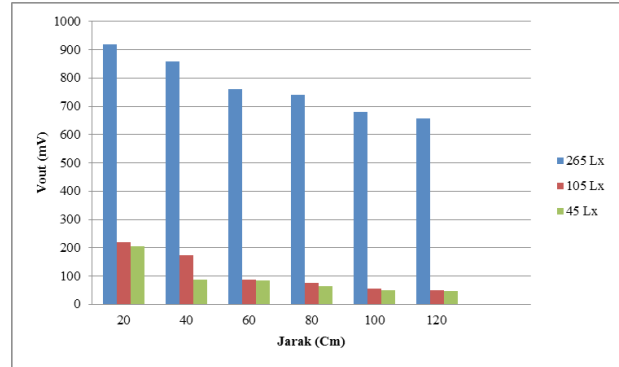
Gambar 12 menunjukkan hasil pengujian sistem VLC saat sinyal input berupa sinyal audio akustik ditransmisikan dan diterima oleh modul surya sebagai photodetektor. Pada Gambar 12, saat tegangan input diberikan sebesar 66 mV dengan nilai frekuensi input yang terukur sebesar 84,03 Hz maka hasil tegangan output yang terukur pada rangkaian blok receiver sebesar 1,02 V dengan nilai frekuensi output sebesar 240,04 Hz.



Gambar 11. Skenario pengujian alat VLC



Gambar 12. Sinyal input dan sinyal output sistem VLC



Gambar 13. Perbandingan jarak terhadap Vout dengan variasi nilai intensitas cahaya

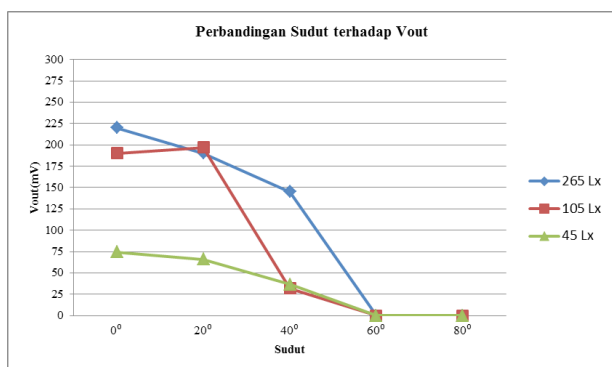
Pada Gambar 12, sinyal input yang ditransmisikan mengalami perubahan saat diterima oleh rangkaian receiver, hal ini terjadi akibat sinyal input audio berupa sinyal analog yang memiliki magnitudo/amplitudo yang nilainya berubah terhadap waktu. Sinyal audio selanjutnya diteruskan ke rangkaian LED, perubahan level tegangan ini yang kemudian menyebabkan pancaran LED memiliki intensitas cahaya berbeda.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran rangkaian sistem VLC saat mentransmisikan sinyal audio akustik dari gitar dengan variasi jarak transmitter terhadap receiver. Nilai Vout pada Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran tegangan output yang diterima pada receiver yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya penerangan lingkungan.

Pada Gambar 13, menunjukkan besarnya perbandingan jarak dan tegangan output yang dihasilkan receiver pada Tabel 2. Pada Gambar 13, intensitas cahaya penerangan dari lingkungan pengujian mempengaruhi besarnya nilai

Tabel 2. Perbandingan jarak terhadap Vout

Jarak (Cm)	Intensitas Cahaya		
	265 Lx Vout (mV)	105 Lx Vout (mV)	45 Lx Vout (mV)
20	920	220	204
40	860	172	88
60	760	87	84
80	740	74	63
100	680	54	50,4
120	656	50,4	48



Gambar 14. Perbandingan sudut terhadap Vout dengan variasi nilai intensitas cahaya penerangan lingkungan

tegangan output yang dihasilkan *receiver*. Semakin tinggi intensitas cahaya penerangan yang mempengaruhi sumber cahaya LED pada sisi *transmitter* sistem VLC maka nilai tegangan output yang dihasilkan oleh *receiver* semakin besar. Besarnya nilai tegangan output yang dihasilkan di sisi *receiver* dipengaruhi oleh pemakaian modul surya sebagai photodetektor rangkaian VLC. Hal ini akibat modul surya sebagai *receiver* memiliki kemampuan mengumpulkan energi dari cahaya penerangan lingkungan untuk rangkaian daya rendah dan secara waktu bersamaan dapat mendeteksi sinyal VLC yang ditransmisikan. Intensitas cahaya yang dapat menghasilkan nilai tegangan tinggi pada saat pengujian sebesar 656 mV dengan intensitas cahaya penerangan lingkungan sebesar 265 Lx. Semakin dekat jarak antara *transmitter* dengan *receiver* maka nilai tegangan akan semakin besar. Jarak maksimal yang didapatkan perangkat VLC dapat mentransmisikan sinyal audio akustik dengan baik pada jarak 120 cm.

Gambar 14 menunjukkan bahwa besarnya tegangan output yang diterima oleh *receiver* sangat dipengaruhi oleh posisi θ sebagai sudut pengarah sumber cahaya terhadap penerimaan dari *receiver* terhadap transmitter. Semakin besar sudut pengarah sumber cahaya terhadap penerimaan dari *receiver* terhadap transmitter maka sinyal yang dikirimkan oleh LED akan mengalami *loss* sehingga sangat mempengaruhi nilai tegangan output yang dihasilkan semakin kecil.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa *modul surya* dapat diterapkan sebagai *receiver* pada sistem VLC untuk pengiriman sinyal audio akustik. Pengujian menunjukkan bahwa sistem VLC dapat mengirimkan sinyal audio akustik dengan baik walaupun energi cahaya dari modul surya dalam keadaan maksimum. Nilai tegangan maksimal yang terukur pada modul surya sebesar 656 mV dipengaruhi oleh besarnya energi yang terkumpul dari intensitas cahaya penerangan lingkungan pengujian sebesar 265 Lx dengan jarak transmisi maksimal sebesar 120 cm.

REFERENSI

- [1] D. Karunatilaka, F. Zafar, V. Kalavally and R. Parthiban, "LED based indoor Visible Light Communications: State of the Art," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.17, no. 3, pp. 1649-1678, March 2015.
- [2] Chi-Wai Chow, Yang Liu, Chien-Hung Yeh, Chung-Yen Chen, Chao-Nan Lin, Dar-Zu Hsu, "Secure communication zone for white-light LED Visible Light Communication," *Optics Communications*, vol. 344, pp. 81-85, January 2015.
- [3] A.Z. Suriza, S. Akter, and M. Shahnan, "Preliminary analysis of dimming property for Visible Light Communication," in *Proc.4th IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*, Malaysia, Nov.2017, pp. 1-5.
- [4] Vishnu.S, and Deepa.T, "Gigabits transmission over a RGB LED by using WDM," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol.4, no.2, February 2015.
- [5] Ergul, E. Dinc, O.B. Akan, "Communicate to illuminate: State-of-the-art and research challenges for visible light communications," *Physical Communication*, vol. 17, pp. 72 – 85, December 2015.
- [6] Sung-Man Kim and Ji-San Won, "Simultaneous reception of visible light communication and optical energy using a solar cell receiver," in *International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, Jeju, Oct. 2013, pp.896-897.
- [7] A. H.Azhur, T.-A.Tran, and D.O'Brien, "A Gigabit/s Indoor wireless transmission using MIMO-OFDM Visible Light Communications," *IEEE Photonics Tech. Letters*, vol. 25, no. 2, pp. 171–74, January 2013.
- [8] H. Guo *et al.*, "FPGA implementation of VLC communication technology," in *31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, Taipei, May.2017, pp. 586-590.
- [9] M. M. Céspedes and A. G. Armada, "On the optimality of multiple photodiode receivers using precoding schemes for visible light communications," in *Proc.Global LIFI Congress (GLC)*, Paris, Feb.2018, pp. 1-4.
- [10] J. L. Hou, S. J. Chang, C. H. Wu and T. J. Hsueh, "Self-Powered ZnO nanowire uv photodetector integrated with GaInP/GaAs/Ge solar cell," *IEEE Electron Device Letters*, vol. 34, no. 8, pp. 1023-1025, August 2013.
- [11] U.I. Oduah and Y. Wu, "Advanced photodetector chip," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 14, pp. 5610-5617, July 2016.
- [12] I. Rachmad, D.S. Ira, dan S.L. Rakhmad, "Studi Kasus Kelayakan Penerapan Sistem Hybrid Building Applied Photovoltaics (BAPV)-PLN pada Atap Gedung Politeknik Aceh," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol.13, no.1, pp.48-56, April 2017.
- [13] Z. Wang, D. Tsonev, S. Videv and H. Haas, "Towards self-powered solar panel receiver for optical wireless communication," in *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Sydney, NSW, June.2014, pp.3348-3353.
- [14] B. Malik and X. Zhang, "Solar panel receiver system implementation for visible light communication," in *Proc. IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS)*, Cairo, Dec. 2015, pp.502-503.
- [15] Xiongbin Chen, Chengyu Min, and Junqing Guo, "Visible light communication system using silicon photocell for energy gathering and data receiving," *International Journal of Optics*, vol. 2017, 5 pages, January 2017.
- [16] Kim, S. Kim, H. Kim, S. B. Kang, H. Jeong and H. Jung, "Photoluminescence and electroluminescence properties of GaN-based LED chips with defective regions at low excitation levels," in *Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim*

- (*CLEO-PR*), Singapore, Aug.2017, pp. 1-2.
- [17] Datasheet (view March.2018) [Online] Available: <http://instrumentacion.qi.fcen.uba.ar/datasheet/LuxeonV.pdf>
- [18] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, February 2004.
- [19] Qiu,Y., Chen,H-H., and Meng,W.-X, "Channel modeling for visible light communications - a survey," *Wirel.Commun.Mob. Comput.*, vol.16, pp. 2016–2034, February 2016.
- [20] M.Noshad and M. Brandt-Pearce, "Can Visible Light Communications Provide Gb/s Service?," arXiv: 1308.3217, August 2013.
- [21] K. Sindhubala and B. Vijayalakshmi, "Design and performance analysis of visible light communication system through simulation," in *Proc. International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*, Chennai, Feb.2015, pp. 215-220.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

