

RANCANG BANGUN MEJA PINTAR MENGGUNAKAN SISTEM KOMUNIKASI CAHAYA

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SMART TABLE USING VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

Arsyad Ramadhan Darlis¹, Zulqifli Maulana²

^{1,2}Institut Teknologi Nasional Bandung

¹arsyad@itenas.ac.id, ²zulqiflimaulana86@gmail.com

Abstrak

Sistem komunikasi cahaya (*Visible Light Communication*) merupakan sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak untuk mengirimkan sinyal informasi dari satu tempat ke tempat yang lain. Sistem ini dapat diterapkan untuk mendukung implementasi perlengkapan di dalam sebuah ruangan yang berbasis teknologi. Penelitian ini mengimplementasikan sebuah meja yang dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal audio dengan sistem penerima yang terletak di atas meja dengan memanfaatkan cahaya tampak. Meja yang memiliki kesan pintar (*Smart Table*) ini dapat digunakan sebagai pelengkap dekorasi perlengkapan yang berbasis teknologi, dimana seseorang dapat mendengarkan suara orang lain ataupun musik. Sistem ini terdiri atas dua bagian, yaitu *VLC Transmitter* yang ditempatkan di dalam meja dan *VLC Receiver* yang diletakan di atas meja. Pengujian sistem mempertimbangkan penggunaan bahan yang secara umum digunakan oleh meja yaitu kaca bening, kaca gelap, akrilik bening, akrilik merah, akrilik hijau, dan akrilik biru sebagai pemisah antara *VLC Transmitter* dan *Receiver*. Hasil pengujian yang paling optimal ditunjukkan oleh pengujian sistem dengan menggunakan kaca, dimana tegangan penerimaan maksimum adalah 5 V, dibandingkan akrilik. Dalam aplikasinya, kaca gelap lebih baik digunakan dengan mempertimbangkan tingkat kenyamanan pengguna terhadap tingkat penerimaan mata terhadap cahaya.

Kata kunci : Visible Light Communication (VLC), Audio, Smart Table, Kaca, Akrilik.

Abstract

Visible Light Communication is a communication system that utilizes visible light to transmit information signals from one place to another. This system can be applied to support the implementation of equipment in a room based on technology. This research implements a table that can be used to transmit audio signals with a receiver system located on the table by utilizing visible light. Tables that have a smart impression (*Smart Table*) can be used as a complement to the decoration of equipment based on technology, where someone can listen to other people's voices or a music. This system consists of two parts, i.e. the *VLC Transmitter* placed on the table and the *VLC Receiver* placed on the table. The Measurements consider the use of materials commonly used by tables, i.e. clear glass, dark glass, clear acrylic, red acrylic, green acrylic, and blue acrylic as a separator between *VLC Transmitter* and *Receiver*. The most optimal measurement results are shown by measurement the system using glass, where the maximum reception voltage is 5 V, compared to acrylic. In its application, dark glass is better used by considering the user's comfort level of the eye's level of acceptance of light.

Keywords: Visible Light Communication (VLC), Audio, Smart Table, Glass, Acrylic.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang telekomunikasi telah mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya media transmisi yang digunakan saat ini. Dari yang awalnya hanya menggunakan media kabel sekarang berkembang menjadi berbagai macam media salah satunya adalah media transmisi menggunakan cahaya tampak (*Visible Light Communication*).

Visible Light Communication (VLC) adalah sebuah teknologi komunikasi yang memanfaatkan pancaran cahaya tampak yang berasal dari lampu *Light Emitting Diode* (LED) [1]. Tujuan digunakannya pancaran cahaya dari sebuah penerangan untuk membangun sebuah komunikasi adalah untuk menghemat energi dengan cara memanfaatkannya untuk membawa sebuah informasi, dan saat yang bersamaan dapat menjadi media komunikasi yang lebih ramah lingkungan dibanding teknologi frekuensi radio (RF).

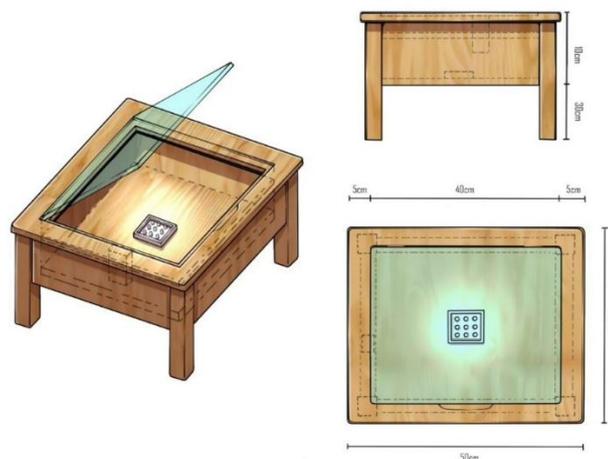
Teknologi ini telah dimanfaatkan dan berkembang untuk beberapa aplikasi diantaranya pengiriman suara baik di dalam ruangan [2] maupun yang diimplementasikan di ruangan khusus seperti kafe [3-5]. Disamping itu, teknologi ini digunakan pula untuk lokalisasi dan positioning untuk menentukan posisi seseorang sebagai pengganti teknologi GPS [6], serta dalam transmisi video [7].

Berdasarkan hal tersebut, sistem ini dapat juga diterapkan untuk mendukung implementasi perlengkapan di dalam sebuah ruangan yang berbasis teknologi. Penelitian ini mengimplementasikan sebuah meja yang dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal audio dengan sistem penerima yang terletak di atas meja dengan memanfaatkan cahaya tampak.

Sebuah meja yang memiliki kesan pintar ini dapat digunakan sebagai penerangan dan untuk mengirimkan sinyal berupa suara dengan menggunakan cahaya tampak. Selain itu, *Smart Table* ini dapat digunakan sebagai pelengkap dekorasi perlengkapan yang berbasis teknologi. Dengan menggunakan meja ini, seseorang dapat mendengarkan suara orang lain ataupun music yang disampaikan dari ruangan yang berbeda, dengan tentunya telah terintegrasi. Suara tersebut dapat diterima melalui perangkat penerima yang ditempatkan di atas meja, misalkan dalam speaker di dalam vas bunga, ataupun perangkat lain. Sistem ini terdiri atas dua bagian, yaitu *VLC Transmitter* yang ditempatkan di dalam meja dan *VLC Receiver* yang diletakkan di atas meja. Pengujian sistem mempertimbangkan penggunaan bahan yang secara umum digunakan oleh meja yaitu kaca bening, kaca gelap, akrilik bening, akrilik merah, akrilik hijau, dan akrilik biru sebagai pemisah antara *VLC Transmitter* dan *Receiver*.

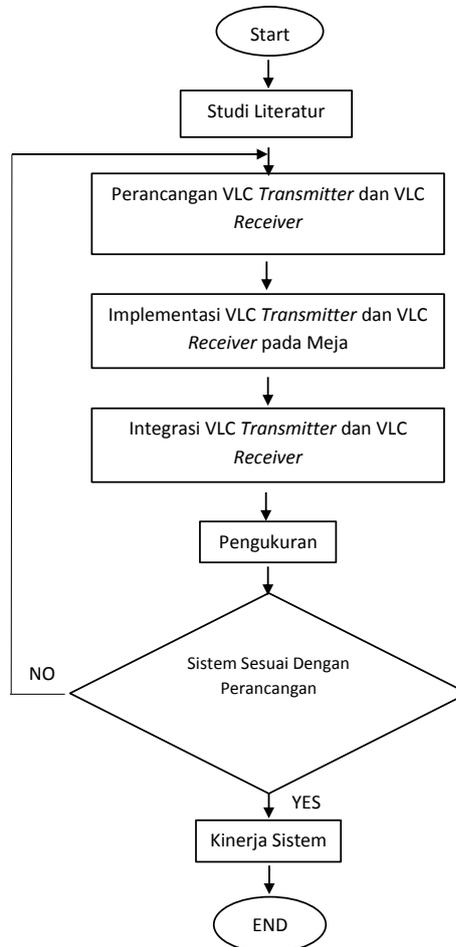
2. METODOLOGI

Bagian ini menjelaskan beberapa langkah – langkah yang dilakukan untuk penelitian tentang *Smart Table* using *Visible Light Communication* diantaranya yaitu ilustrasi sistem, diagram alir (*flowchart*) sistem, perancangan sistem mulai dari *transmitter* (Tx) hingga *Receiver* (Rx). Gambar 1 menunjukkan ilustrasi dari sistem yang diimplementasikan.



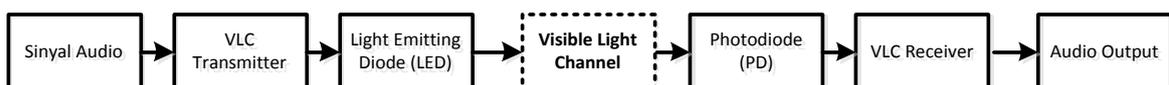
Gambar 1. Ilustrasi *Smart Table*

Untuk melihat kinerja sistem, dilakukan pengamatan dengan membandingkan kinerja sistem berdasarkan bahan yang dipakai pada bagian atas meja. Bahan yang dipakai terdiri dari beberapa jenis yaitu kaca bening, kaca gelap, akrilik bening, akrilik merah, akrilik hijau, dan akrilik biru. Gambar 2 menunjukkan diagram alir (*flowchart*) komunikasi cahaya tampak yang terdiri dari perancangan sistem, implementasi sistem, integrasi sistem dan juga perbandingan bahan yang digunakan pada kinerja system



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem, dibuat dua bagian utama, yaitu bagian Tx (*Transmitter*) dan Rx (*Receiver*).



Gambar 3. Blok Diagram Perancangan Sistem VLC

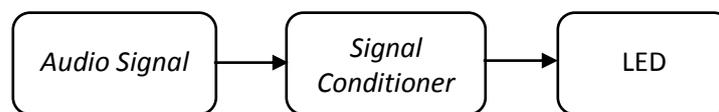
Gambar 3 menunjukkan tahapan dalam perancangan sistem komunikasi sistem cahaya tampak (VLC). Pada bagian Tx (*Transmitter*) menerangkan bahwa *input* yang berisi sinyal informasi berupa sinyal *audio* pada frekuensi 300Hz – 3400Hz yang dibangkitkan oleh *audio generator* kemudian di proses pada rangkaian *transmitter* dimana sinyal informasi akan dikondisikan untuk

dikonversi dari sinyal listrik menjadi sinyal cahaya untuk dikirimkan oleh LED. Pada rangkaian pengirim telah terdapat rangkaian filter yang akan meloloskan frekuensi suara yang digunakan.

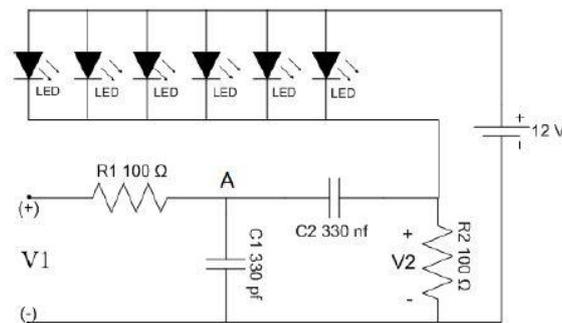
Sinyal akan ditransmisikan melalui kanal berupa udara. Kemudian sinyal informasi berupa cahaya tampak yang dikirimkan oleh *transmitter* akan masuk ke rangkaian *receiver* melalui *photodiode* dan dirubah kembali menjadi sinyal suara.

2.1 Perancangan Sistem VLC Transmitter

Pada bagian *transmitter* terjadi perubahan sinyal informasi yang diolah oleh rangkaian menjadi bentuk cahaya kemudian ditransmisikan oleh LED. Saat mengirimkan informasi, sinyal akan berupa cahaya tampak yang dipancarkan oleh LED sesuai dengan sinyal informasi *input*.



Gambar 4. Blok Diagram Transmitter



Gambar 5. Rangkaian Transmitter

Gambar 5 menunjukkan hubungan hubungan antar komponen penyusun rangkaian sinyal pengirim sistem komunikasi cahaya tampak ini. *Input* akan berupa sinyal suara dengan frekuensi antara 300 Hz – 3400 Hz yang dibangkitkan dengan menggunakan *audio generator*. Tegangan yang diberikan untuk mengirimkan sinyal informasi adalah sebesar 12 V. Selanjutnya sinyal akan ditansmisikan setelah diproses mealui *signa conditioner*. *Signal Conditioner* berfungsi untuk mengkondisikan sinyal masukan untuk dapat diproses dengan baik oleh LED tanpa adanya pembebanan yang berlebihan pada komponen tersebut. Pada bagian ini juga digunakan sebagai filter yang berfungsi untuk meloloskan frekuensi tertentu dari sinyal. Filter pada rangkaian pengirim merupakan rangkaian *Band Pass Filter* yang akan meloloskan frekuensi suara yang digunakan didapatkan:

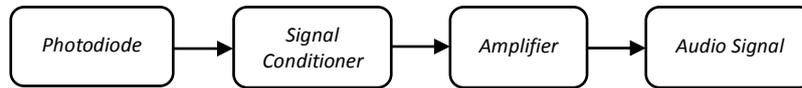
$$f_{c1} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{15.13 \times 10^3}{2\pi} = 2.4 \text{ kHz} \quad f_{c2} = \frac{\omega_2}{2\pi} = \frac{60.6 \times 10^6}{2\pi} = 9.6 \text{ MHz}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $f_{c1} = 2.4 \text{ kHz}$ dan $f_{c2} = 9.6 \text{ MHz}$. sedangkan dengan simulasi didapatkan hasil berupa grafik yang menunjukkan bahwa rangkaian ini menggunakan *band pass filter* dengan nilai $f_{c01} = 2.5 \text{ kHz}$ dan $f_{c02} = 1.2 \text{ MHz}$. Hal ini membuktikan bahwa

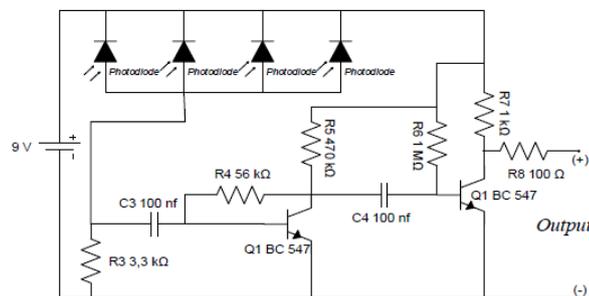
sinyal suara yang berada pada frekuensi 300 Hz sampai 3400 Hz masih dapat dilewati oleh bagian Low Pass dari rangkaian pengirim.

2.2 Perancangan Sistem VLC Receiver

Pada bagian *receiver* akan terjadi proses penerimaan sinyal cahaya tampak yang dikirimkan dari *transmitter* oleh *photodiode* dan dirubah kembali menjadi sinyal informasi.



Gambar 6. Blok Diagram Receiver



Gambar 7 Rangkaian Receiver

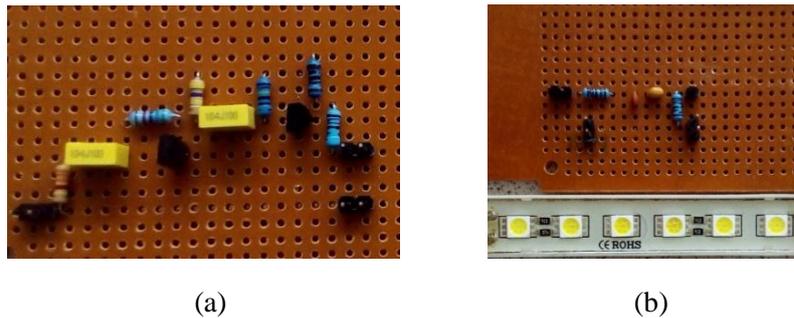
Adapun spesifikasi sistem transmitter pada rangkaian, sebagai berikut:

1. Sumber daya : 9 V (power supply)
2. Photodiode : 5 mm
3. Transistor : BC547
4. Resistor : 3,3K ohm, 56K ohm, 470K ohm, 1M ohm, 1K ohm dan 100 ohm
5. Kapasitor : 100 nF

Rangkaian *receiver* yang ditunjukkan pada Gambar 7 berfungsi untuk menerima sinyal yang dikirimkan oleh *transmitter* dalam bentuk cahaya tampak dan merubahnya kembali menjadi sinyal suara. Rangkaian ini terdiri dari susunan komponen elektronika berupa *photodiode*, *signal conditioner* dan rangkaian penguat. Sinyal yang dikirimkan *transmitter* berupa cahaya tampak akan ditangkap oleh *photodiode* dan dirubah menjadi sinyal listrik yang selanjutnya diproses oleh *signal conditioner*. Sama halnya seperti bagian pengirim, *signal conditioner* berfungsi untuk mengkondisikan sinyal masukan yang dihasilkan oleh *photodiode* untuk dapat diproses dengan baik oleh rangkaian penguat. Setelah melalui tahap ini, maka sinyal sudah dapat diperkuat oleh rangkaian penguat. Rangkaian ini dihubungkan dengan sumber tegangan sebesar 9V. Sinyal informasi *output* dari rangkaian *receiver* ini dapat dilihat menggunakan *oscilloscope*.

2.3 Implementasi Sistem VLC Transmitter dan Receiver

Dari skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 7 yang merupakan rangkaian *transmitter* dan *receiver*, diimplementasikan menjadi sistem yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8. Implementasi Sistem VLC (a) *Transmitter* (b) *Receiver*

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1. Metoda Pengukuran

Setelah dilakukan perancangan, implementasi sistem, dan integrasi sistem VLC pada meja, tahap selanjutnya adalah dilakukan pengukuran. Sinyal audio direpresentasikan dengan sinyal yang dikeluarkan oleh audio generator pada frekuensi minimal 300 Hz sampai 3400 Hz. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem yang telah dibuat dengan menguji sistem menggunakan bahan – bahan penutup meja yang umum digunakan. Penggunaan akreliek berwarna ingin membuktikan kinerja sistem dengan bahan berdasarkan warna. Pada pengujian ini, hasil pengukuran akan menunjukkan bahan penutup meja yang memiliki kinerja paling optimal untuk dapat diimplementasikan. Pada penelitian ini, terdapat beberapa pengukuran yaitu diantaranya:

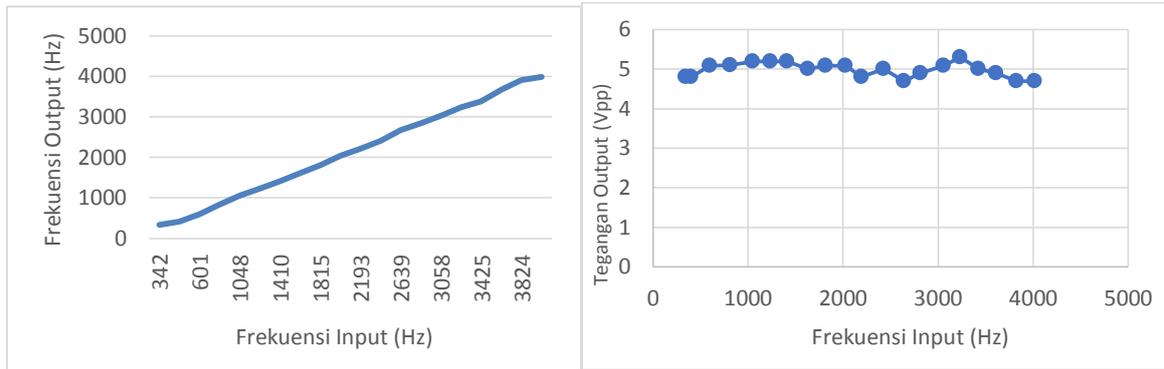
1. Pengukuran dengan media penutup meja berupa kaca bening.
2. Pengukuran dengan media penutup meja berupa kaca gelap.
3. Pengukuran dengan media penutup meja berupa akrilik bening.
4. Pengukuran dengan media penutup meja berupa akrilik merah, hijau dan biru.

3.2. Pengukuran Pada *Smart Table* dengan Media Penutup Meja Berupa Kaca Bening.

Pengukuran ini bertujuan untuk melihat kinerja sistem berdasarkan bahan penutup yang digunakan pada meja dengan mengubah frekuensi sinyal *input* yang dibangkitkan dengan *audio generator*, lalu memperhatikan dampak perubahan frekuensi yang diberikan terhadap frekuensi *output* dan juga tegangan *output* yang dihasilkan. Frekuensi yang diberikan adalah mulai dari 300 Hz - 4000 Hz dengan tegangan referensi 5 Vpp. Pada proses pengukuran ini sistem diintegrasikan dengan sebuah meja dimana *Transmitter* diletakkan didalam meja dan *Receiver* diatas meja, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Implementasi Pengukuran Pada *Smart Table* dengan Penutup Berupa Kaca Bening

Hasil yang didapat dari pengukuran adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Hasil Pengukuran Pada Sistem dengan Penutup Meja Berupa Kaca Bening

Hasil pengukuran pada Gambar 10 (kiri) menunjukkan selisih antara frekuensi *input* dan frekuensi *output* berada pada *range* 2 Hz sampai 75 Hz. Hal ini menunjukkan kinerja yang sangat baik dimana penutup meja berupa kaca bening memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap kualitas penerimaan sinyal frekuensi audio. Kemudian dari Gambar 10 (kanan) dapat dilihat pengaruh frekuensi *input* yang diberikan terhadap tegangan *output* yang dihasilkan. Pada pengukuran ini, nilai tegangan *output* yang dihasilkan tetap mendekati nilai tegangan *input*, dengan selisih terkecil adalah 0 Vp-p dan selisih terbesar adalah 0.34 Vp-p. Hal ini menunjukkan penggunaan bahan ini dengan variasi tidak mempengaruhi tegangan output.

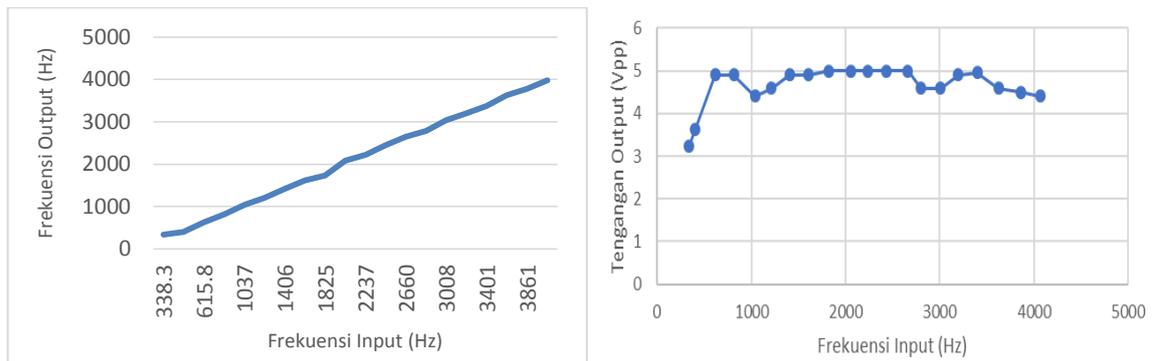
3.3. Pengukuran Pada *Smart Table* dengan Media Penutup Meja Berupa Kaca Gelap.

Pengukuran kali dilakukan untuk melihat kinerja sistem saat mengirimkan sinyal audio yang dibangkitkan oleh audio generator dimana sinyal masukan dengan tegangan *input* tetap yaitu 5 Vp-p dan frekuensi *input* diatur mulai dari 300 Hz sampai dengan 4000 Hz dan kemudian diamati tegangan *output* dan frekuensi *output* yang dihasilkan. Penutup meja yang digunakan pada pengukuran kali ini adalah berupa kaca gelap, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengukuran Pada *Smart Table* dengan Penutup Berupa Kaca Gelap

Hasil yang didapat dari pengukuran adalah sebagai berikut:

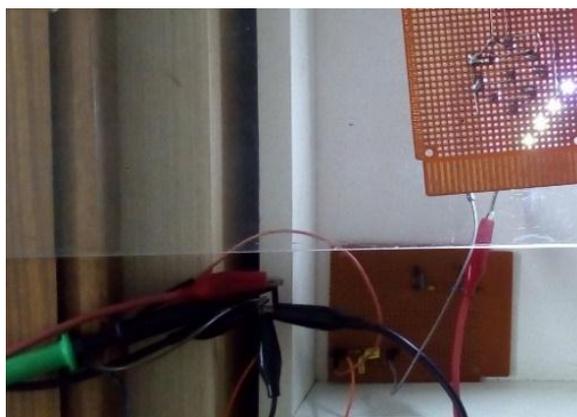


Gambar 12. Hasil Pengukuran Pada Sistem dengan Penutup Meja Berupa Kaca Gelap

Gambar 12 menunjukkan hasil pengukuran menggunakan kaca gelap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar 12 (kiri) menunjukkan perbandingan antara frekuensi *input* dan frekuensi *output*nya, dimana selisih terkecil 0 Hz dan selisih terbesar 92 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja dari sistem sudah baik dengan range yang tidak besar, sehingga tidak terdapat *delay* frekuensi yang besar. Dari Gambar 12 (kanan) dapat dilihat bahwa tegangan *output* yang dihasilkan cukup stabil dan mendekati tegangan *input* yang diberikan, dimana selisih terkecil adalah 0.03 Vp-p dan selisih terbesar 1.79 Vp-p. Hal ini menunjukkan pada frekuensi rendah tegangan memiliki penurunan yang mengakibatkan kualitas suara tidak baik.

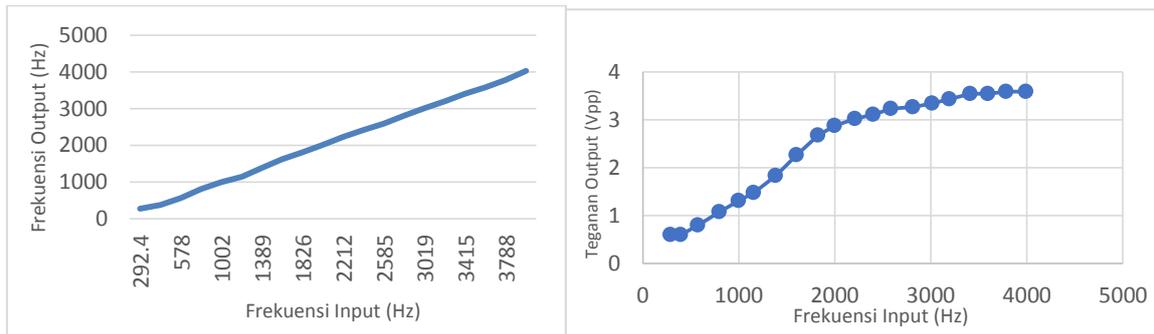
3.4. Pengukuran Pada *Smart Table* dengan Media Penutup Meja Berupa Akrilik Bening.

Pengukuran kali ini dilakukan dengan bahan penutup meja berupa akrilik bening. Pengukuran dilakukan untuk melihat kinerja sistem saat mengirimkan sinyal berupa audio. Sama dengan pengukuran sebelumnya, sinyal dibangkitkan menggunakan audio generator dengan frekuensi mulai dari 300 Hz sampai dengan 4000 Hz, dimana tegangan *input* adalah sebesar 5 Vp-p. Gambar 13 menunjukkan pengukuran sistem menggunakan akrilik bening.



Gambar 13. Pengukuran Pada *Smart Table* dengan Penutup Berupa Akrilik Bening

Hasil yang didapat dari pengukuran adalah sebagai berikut.

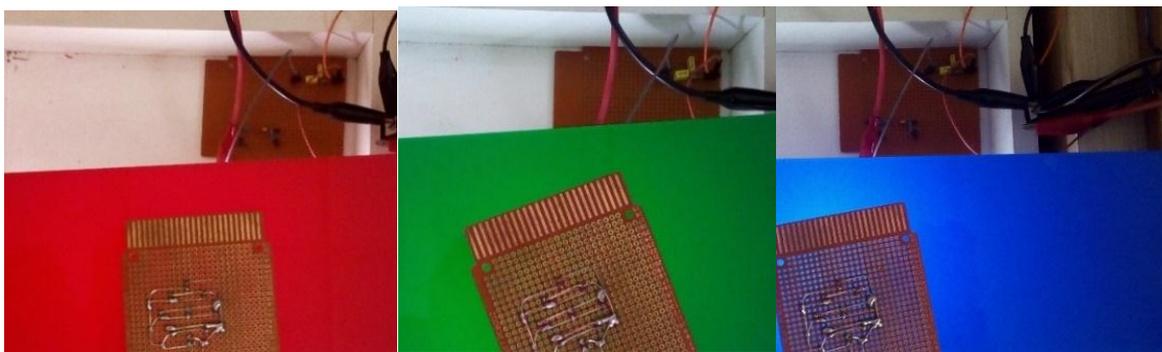


Gambar 14. Hasil Pengukuran Pada Sistem dengan Penutup Meja Berupa Akrilik Bening

Gambar 14 (kiri) menunjukkan kinerja dengan selisih paling kecil bernilai 0 Hz dan selisih terbesar 25 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja sistem menggunakan akrilik bening sangat baik dengan tanpa perubahan frekuensi. Dari Gambar 14 (kanan) terlihat bahwa tegangan *output* yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh frekuensi *input* yang diberikan. Tegangan *output*nya berbanding lurus dengan frekuensi *input*, semakin besar frekuensi *input* maka semakin besar pula tegangan *output*nya. Pada frekuensi 300 Hz tegangan *output*nya adalah 0.6 Vp-p hingga pada frekuensi 4000 Hz tegangan *output*nya 3.59 Vp-p. Dengan penggunaan akrilik bening menunjukkan bahwa sinyal akan baik pada frekuensi tinggi.

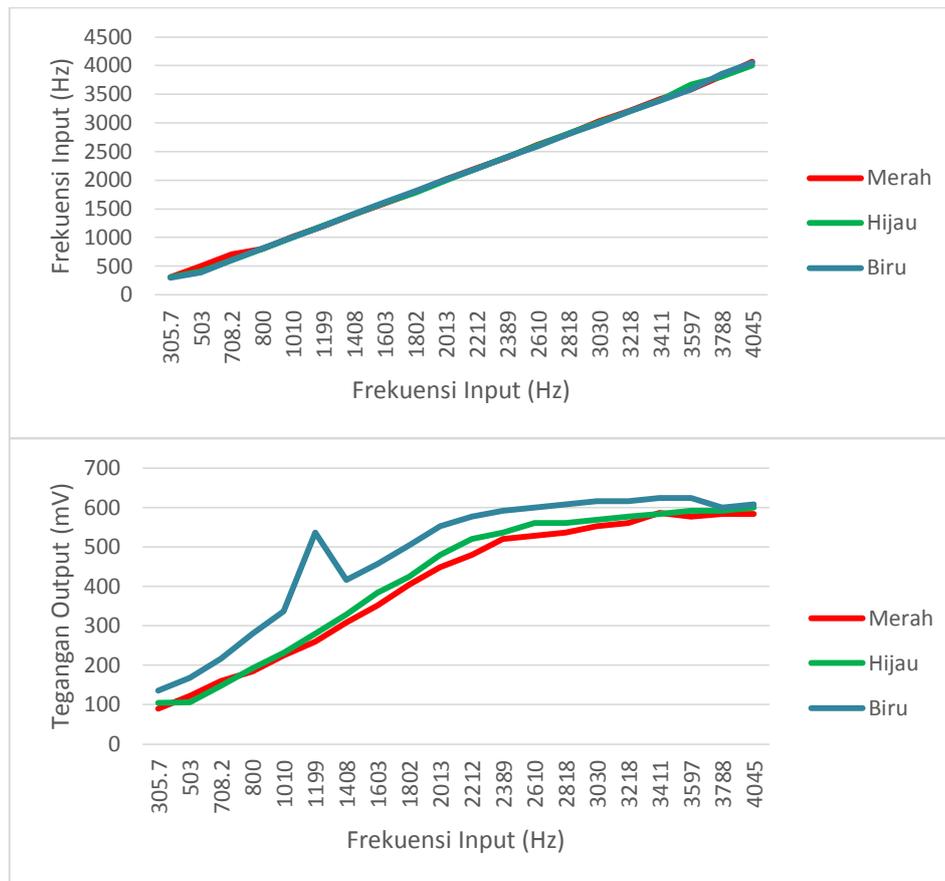
3.5. Pengukuran Sistem dengan Media Penutup Meja Berupa Akrilik Merah, Hijau, dan Biru

Pengukuran ini bertujuan untuk melihat kinerja sistem berdasarkan bahan penutup yang digunakan pada meja dengan mengubah frekuensi sinyal *input* yang dibangkitkan dengan *audio generator* lalu memperhatikan dampak perubahan frekuensi yang diberikan terhadap frekuensi *output* dan juga tegangan *output* yang dihasilkan. Frekuensi yang diberikan adalah mulai dari 300 Hz - 4000 Hz dengan tegangan referensi 5 Vpp. Gambar 15 menunjukkan pengukuran sistem dengan menggunakan 3 buah akrilik berwarna, yaitu merah, hijau dan biru.



Gambar 15. Pengukuran Sistem dengan Penutup Berupa Kaca Akrilik Merah, Hijau, dan Biru

Hasil pengukuran yang didapatkan adalah sebagai berikut.



Gambar 16. Hasil Pengukuran Pada Sistem Dengan Penutup Meja Berupa Akrilik Merah, Hijau dan Biru

Gambar 16 menunjukkan hasil pengukuran dengan penutup meja menggunakan akrilik merah, hijau dan biru dengan membandingkan antara frekuensi *input* dan frekuensi *output*. Penggunaan bahan akrilik, baik itu akrilik bening, akrilik merah, akrilik hijau, dan juga akrilik biru menunjukkan hasil dimana nilai tegangan *output* yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan frekuensi *input* sinyal yang diberikan. Semakin besar frekuensi sinyal *input* maka semakin besar pula tegangan *output* yang dihasilkan. Begitupun sebaliknya, semakin kecil frekuensi sinyal *input* maka semakin kecil pula tegangan *output*-nya. Dari semua pengukuran yang dilakukan frekuensi sinyal yang dihasilkan secara umum memiliki *output* sama dengan frekuensi sinyal *input* yang diberikan dimana pada pengukuran dengan akrilik merah saat frekuensi *input* 3411 Hz menghasilkan frekuensi *output* 3415 Hz, kemudian pengukuran menggunakan akrilik hijau saat frekuensi *input* 3401 Hz menghasilkan frekuensi *output* 3397 HZ, dan pada pengukuran dengan akrilik biru dimana saat frekuensi *input* 3396 Hz biru menghasilkan frekuensi *output* 3390 Hz. Pada bahan akrilik berwarna, tegangan *output* yang dihasilkan kecil, dengan tegangan *output* 586 mV untuk akrilik merah, tegangan *output* 584 mV untuk akrilik hijau, dan tegangan *output* 624 mV dengan akrilik biru pada frekuensi 3.4kHz. Hal ini disebabkan oleh bahan akrilik yang digunakan memiliki warna yang terlalu pekat sehingga cahaya yang dapat melewati akrilik dan diterima oleh *photodiode* sedikit. Gambar 16 juga menunjukkan kinerja yang paling baik saat menggunakan akrilik biru.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pengujian dan pengukuran kinerja sistem VLC yang dibangun dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Diantara kaca dan akrilik, bahan yang memiliki kinerja lebih baik adalah kaca, karena tegangan output yang dihasilkan pada saat menggunakan penutup meja berbahan kaca lebih stabil dibanding dengan saat penggunaan akrilik dimana tegangan output 4.69 V – 5.19 V pada kaca bening dan 3.24 V – 5 V pada kaca gelap.
2. Saat menggunakan akrilik, nilai tegangan output yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan frekuensi input sinyal yang diberikan. Semakin besar frekuensi sinyal input maka semakin besar pula tegangan output yang dihasilkan.
3. Saat menggunakan akrilik berwarna nilai tegangan yang dihasilkan adalah 90 mV – 586 mV pada akrilik merah, 104 mV – 600 mV pada akrilik hijau dan 136 mV – 624 mV pada akrilik biru karena warna dari bahan yang digunakan terlalu pekat sehingga cahaya lewat sedikit. Pada kondisi ini, penggunaan akrilik warna biru memiliki kinerja yang paling baik dibandingkan dengan warna akrilik lain.
4. Dari keseluruhan pengukuran dengan berbagai bahan dan warna, penggunaan kaca bening menunjukkan hasil yang paling baik dengan tegangan output maksimal. Akan tetapi, pada saat aplikasi, kaca gelap lebih baik digunakan dengan mempertimbangkan tingkat kenyamanan penglihatan pengguna.
5. Secara umum, sistem telah dapat diimplementasikan dan bekerja sesuai dengan yang diharapkan dimana sinyal audio yang dikirimkan oleh VLC transmitter telah dapat diterima dengan baik oleh VLC receiver.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghashemlooy, Z., Alves, L. N., dkk. 2017. *Visible Light Communication : Theory and Application*. CRC Press: London
- [2] Darlis, A. R., Lidyawati, L., & Nataliana, D. 2016. Implementasi *Visible Light Communication* (VLC) pada Sistem Komunikasi. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika.*, **1:1** 13-25.
- [3] Asri, A. H., 2019. *Implementasi Optical Repeater untuk Indoor Visible Light Communication menggunakan metoda Amplify-Forward (AF)*. Bandung: Teknik Elektro. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [4] Duan, J., Shi, A., & Liu, Y. 2014. A Practical Indoor *Visible Light Communication* System. *IEEE Journals*. 1170-1175. 10.1109/CSNDSP.2014.6924007.
- [5] Darlis, D., Darlis, A. R., & Abibi, M. H. 2017. Implementasi Sistem Penyiaran Musik Digital di Kafe menggunakan *Visible Light Communication*. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika.* **5:1** 60-72.
- [6] Yan, Jun & Zhu, Bincheng. 2016. A *Visible Light Communication* indoor localization algorithm in rotated environments. *2016 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, 1-4. 10.1109/CITS.2016.7546430.
- [7] Yulian, D., Darlis, D., & Aulia, S. 2015. *Perancangan dan Implementasi Perangkat Visible Light Communication sebagai Transceiver Video*. Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan. **2:2** 196-206.