

Implementasi Komunikasi Cahaya Tampak Melalui Lampu LED pada Sistem Komunikasi Suara Menggunakan Modulasi Frekuensi

Yuli Santoso¹, Eril Moze²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : santosoyuli44@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : erilmozef@yahoo.com

ABSTRAK

Lampu LED sebagai lampu penerangan telah menjadi tren saat ini dikarenakan konsumsi dayanya yang rendah dan tahan lama. LED juga mampu di-*switching* pada kecepatan tinggi sehingga banyak digunakan pada VLC (*Visible Light Communication*). Dalam komunikasi suara, banyak metoda yang telah digunakan seperti teknik modulasi PWM, AM dan lain-lain. Sayangnya, pada metoda-metoda tersebut terdapat kelemahan berupa *noise* yang besar pada keluaran penerima. Untuk itu maka penelitian ini mengusulkan penggunaan modulasi FM. Aplikasi yang dibuat menggunakan DF *Player* sebagai sumber suara untuk ditumpangkan pada cahaya lampu LED melalui rangkaian penguat, *filter*, modulator dan *switching* untuk kemudian ditransmisikan. Pada penerima, cahaya diterima oleh fototransistor 3DU5C lalu sinyal di-*filter*, dikuatkan dan didemodulasi menggunakan IC PLL 4046 dan dikuatkan kembali, sehingga diperoleh sinyal audio yang dapat didengar melalui *headset*. Sistem berhasil dibuat dan berfungsi dengan baik pada jarak maksimal sesuai ketinggian plafon dan lantai sekitar 3 meter dalam kondisi *line of sight* (LOS). Jarak ini bisa ditingkatkan bila diinginkan. Informasi suara yang dihasilkan dapat didengar dengan jelas dan *noise* berhasil diredam dengan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) sebesar 38,5 dB. Sistem dapat dimanfaatkan pada aplikasi yang memberikan informasi suara ke *user* pada suatu ruangan melalui cahaya lampu LED misalnya sistem pemandu pengunjung museum, galeri atau tempat-tempat sejenisnya.

Kata Kunci

Pengiriman Suara, Lampu LED, Modulasi Frekuensi, PLL, VLC

1. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi semakin berkembang dan menunjukkan kemajuan yang signifikan, baik dalam hal perangkat penyusun maupun sistem komunikasinya. Salah satu teknologi telekomunikasi yang berkembang saat ini adalah *Visible Light Communication* (VLC) yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai medium perambatan komunikasi. *Visible Light Communication* merupakan salah satu sistem komunikasi nirkabel yang memungkinkan pengiriman informasi dari pengirim ke penerima melalui cahaya tampak yang dihasilkan oleh lampu penerangan *Light Emitting Diode* (LED). Cahaya tampak memiliki panjang gelombang antara 380 nm hingga 780 nm. Informasi dikirimkan oleh lampu LED ke penerima melalui kedipan dengan periode yang singkat sehingga tidak dapat terlihat oleh mata manusia yang hanya bisa mengenali kedipan dengan frekuensi di bawah 50 Hz. Sistem komunikasi menggunakan lampu penerangan LED ini dapat digunakan untuk pengiriman informasi berupa suara maupun data dengan memanfaatkan perubahan tegangan yang dihasilkan dari amplituda suara [1].

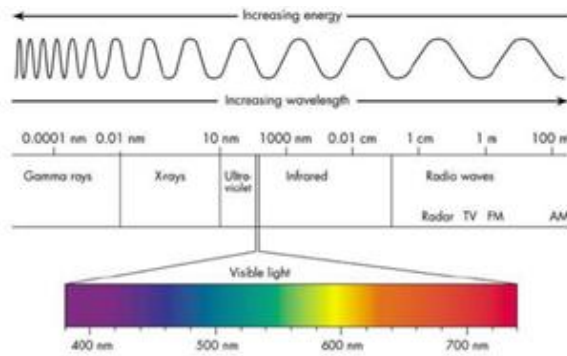
Telah terdapat beberapa sistem yang menggunakan VLC, seperti pengiriman suara melalui LED dengan modulasi PWM [2] atau dengan modulasi AM [3]. Sayangnya pada kedua karya tersebut, masih terdapat *noise* yang cukup besar pada keluaran penerima. Berdasarkan permasalahan tersebut, diusulkan suatu sistem komunikasi suara melalui cahaya tampak yang dipancarkan oleh lampu LED menggunakan modulasi frekuensi. Diharapkan penggunaan teknik modulasi frekuensi ini dapat meminimalisir *noise* pada keluaran penerima sehingga keutuhan informasi suara dapat terjaga dengan baik.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) atau dalam Bahasa Indonesia disebut juga komunikasi cahaya tampak merupakan salah satu metode dalam komunikasi nirkabel yang memanfaatkan cahaya tampak dari komponen seperti lampu LED atau laser sebagai media komunikasi [4]. Pengiriman data atau

informasi pada VLC menggunakan gelombang elektromagnetik dengan spectrum cahaya tampak antara 780nm atau 400 THz dan 375nm atau 800 THz seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Komponen utama dalam penggunaan komunikasi cahaya tampak adalah LED atau laser dan *foto transistor* atau *photodiode*, kedua komponen tersebut berfungsi untuk memancarkan dan menangkap cahaya.



Gambar 1. Spektrum Cahaya Tampak [4]

2.2 Dasar Sinyal Audio

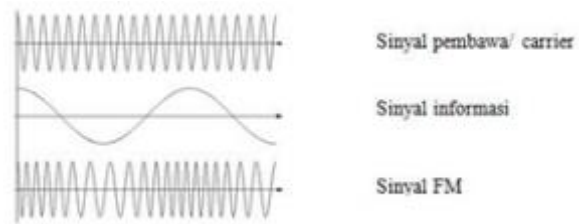
Sinyal audio atau gelombang suara adalah gelombang yang dihasilkan dari sebuah benda yang bergetar pada range frekuensi audio (dapat didengar manusia). Getaran tersebut dihasilkan dari sejumlah variasi tekanan udara yang dihasilkan oleh sumber bunyi dan dirambatkan ke medium sekitarnya, yang dikenal sebagai medan akustik. Telinga manusia mampu mendengar suara dengan frekuensi dari 20 Hz sampai 20.000 Hz. Namun yang paling sensitif adalah antara 1000 – 4.000 Hz [5].

Gelombang memiliki tiga sifat penting, yaitu amplituda, frekuensi, dan panjang gelombang atau perioda gelombang. Amplituda adalah daya atau kekuatan dari sebuah sinyal, tinggi rendahnya suatu sinyal dapat diinterpretasikan sebagai volume dari sinyal tersebut. Frekuensi yaitu jumlah getaran yang terjadi dalam waktu satu detik dengan satuan Hertz (Hz), semakin besar getaran sebuah gelombang maka semakin besar frekuensi gelombang tersebut. Sedangkan perioda (T) merupakan jarak antar titik gelombang dan titik ekuivalen pada fasa berikutnya.

2.3 Modulasi Frekuensi

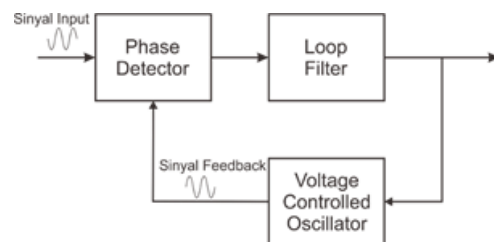
Modulasi dapat diartikan sebagai menumpangkan sinyal informasi yang memiliki frekuensi rendah kepada frekuensi yang lebih tinggi (*carrier*), sehingga lebih mudah untuk suatu pemancar dalam memancarkan sinyal informasi yang termodulasi. Modulasi Frekuensi adalah suatu bentuk modulasi dimana frekuensi sinyal pembawa divariasikan secara proposional berdasarkan amplituda sinyal input dengan amplituda sinyal pembawa tetap

konstan. Sinyal pemodulasi digunakan untuk merubah frekuensi pembawa [6]. Berikut adalah bentuk gelombang hasil modulasi frekuensi dengan sinyal informasi dan sinyal pembawanya.



Gambar 2. Gelombang Modulasi Frekuensi [6]

Modulator FM pada dasarnya merupakan rangkaian *Phase Locked Loop* (PLL) yaitu suatu sistem kendali umpan balik negatif (*negative feedback*) yang secara otomatis akan menyesuaikan fasa dari suatu sinyal yang dibangkitkan di sisi keluaran dengan suatu sinyal dari sisi masukan, dengan kata lain, PLL akan menghasilkan sinyal keluaran dengan frekuensi yang sama dengan sinyal masukan. Pada gambar 3 ditunjukkan blok diagram dari PLL.



Gambar 3. Blok Diagram PLL

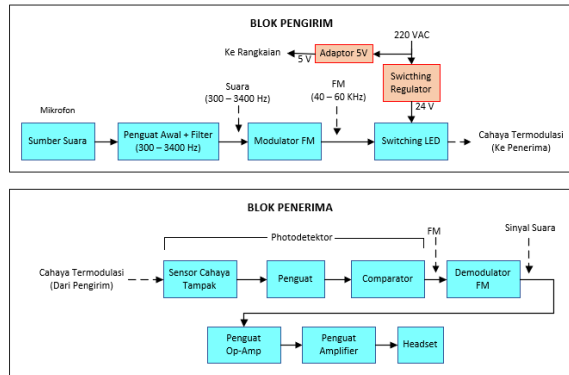
Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing blok pada gambar 3.

1. *Phase Detector* (PD), berfungsi membandingkan fasa keluaran PLL dengan fasa sinyal referensi. Keluaran PD adalah perbandingan fasa antara sinyal masukan (*reference signal*) dan keluaran.
2. *Loop Filter* (LF), suatu *filter* (umumnya LPF) yang berfungsi untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi rendah dari keluaran PD. Dengan digunakannya LF akan menghasilkan tegangan masukan yang bagus bagi tahapan berikutnya.
3. *Voltage Controlled Oscillator* (VCO), berfungsi untuk membangkitkan suatu sinyal dimana frekuensinya ditentukan oleh besarnya tegangan kontrol dimasukan VCO.

3. METODE

3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem

Untuk mempermudah pemahaman dan realisasi sistem, dirancang sebuah blok diagram sistem seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Adapun fungsi dari masing-masing rangkaian pada gambar 7 adalah sebagai berikut:

1. Sumber Suara, rangkaian ini merupakan rangkaian *input* informasi suara dari DF Player Mini dengan rentang frekuensi suara adalah dari 300 hingga 3400 Hz.
2. Penguat Awal+Filter, rangkaian ini digunakan sebagai penguat sinyal kecil sekaligus *Low Pass Filter* (LPF) dengan frekuensi *cut-off* 4000 Hz.
3. Modulator FM, rangkaian ini digunakan sebagai pemodulasi sinyal informasi dengan metode modulasi frekuensi supaya sinyal lebih kebal terhadap gangguan saat dikirimkan ke penerima.
4. *Switching* LED, rangkaian ini digunakan untuk mengirim sinyal termodulasi dalam bentuk cahaya tampak yang dihasilkan oleh lampu LED.
5. *Photodetektor*, rangkaian ini terdiri dari fototransistor sebagai sensor cahaya yang dapat mengubah cahaya tampak menjadi sinyal elektrik, penguat untuk menguatkan dan *comparator* untuk memperbaiki kondisi sinyal.
6. Demodulator FM, rangkaian ini digunakan untuk melakukan demodulasi sinyal yang diterima supaya hanya dihasilkan sinyal informasi audio saja.
7. Penguat Op-Amp, rangkaian ini digunakan untuk melakukan penguatan amplituda sinyal sekaligus LPF dengan frekuensi *cut-off* 3400 Hz.
8. Penguat *Amplifier*, rangkaian ini digunakan untuk menguatkan arus dan menyesuaikan impedansi antara rangkaian dengan *speaker headset* supaya tidak terjadi *drop* tegangan.

3.2 Perancangan dan Realisasi Pengirim

Diasumsikan *input* rangkaian penguat suara ini adalah sinyal sinus dengan amplituda sebesar 50 mVpp dengan rentang frekuensi dari 300 Hz hingga 3400 Hz masuk ke dalam sebuah rangkaian penguat

inverting dengan penguatan sebesar 100 kali dengan perhitungan sebagai berikut.

$$A_v = -\frac{R_f}{R_g}$$

$$A_v = -\frac{100K}{1K} = -100 \text{ (Inverting)}$$

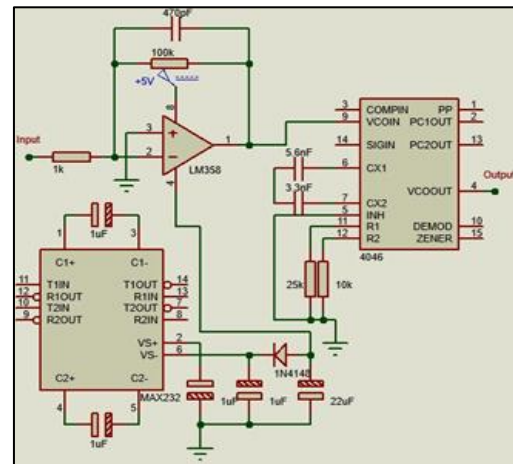
Rangkaian penguat suara ini juga berperan sebagai LPF dengan menambahkan kapasitor pada *feedback* yang nilainya berdasarkan perhitungan berikut.

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f}$$

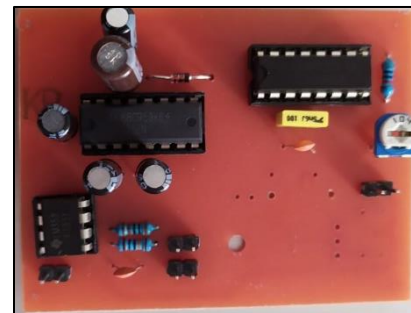
$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \times 10^5 \cdot 3400}$$

$$C = 468.34 \text{ pf} \approx 470 \text{ pF}$$

Sedangkan pada rangkaian modulator FM, nilai komponen diatur sesuai *datasheet* untuk frekuensi 40 KHz dan 60 KHz. Skema dan realisasi rangkaian pengirim ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Skema Rangkaian Pengirim

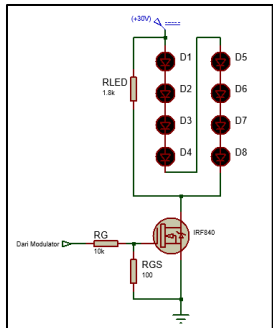


Gambar 6. Realisasi Rangkaian Pengirim

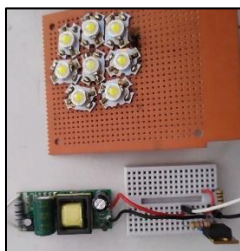
3.3 Perancangan dan Realisasi *Switching* LED

Pada rangkaian *switching* LED ini digunakan transistor jenis MOSFET N-channel tipe IRF840, karena transistor tersebut berbasis tegangan yang cocok digunakan untuk *switching* frekuensi tinggi. Skema dan

realisasi rangkaian *Switching* LED ditunjukkan pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Skema Rangkaian *Switching* LED

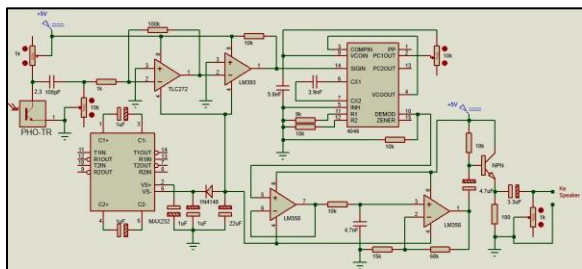


Gambar 8. Realisasi Rangkaian *Switching* LED

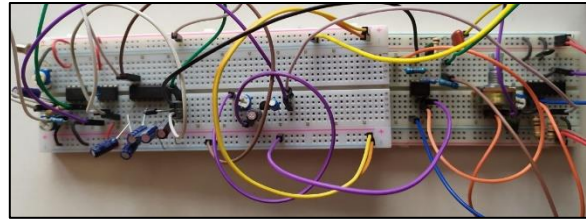
3.4 Perancangan dan Realisasi Penerima

Perancangan pada rangkaian penerima ini terdiri dari *fototransistor* dengan *High Pass Filter* (HPF), kemudian terhubung ke penguat dan komparator untuk dikuatkan dan diperbaiki. Rangkaian demodulator diatur supaya memiliki frekuensi minimum 30 KHz dan maksimum 70 KHz.

Sinyal suara yang dihasilkan oleh demodulator memiliki amplituda yang kecil dan *noise* yang cukup besar sehingga digunakan penguat op-amp sekaligus LPF untuk menguatkan dan meredam sinyal. Kemudian sinyal dihubungkan ke penguat arus supaya terjadi *matching impedance* antara rangkaian dengan *speaker headset*. Pada gambar 9 dan 10 ditunjukkan skema serta realisasi rangkaian penerima.



Gambar 9. Skema Rangkaian Penerima



Gambar 10. Rangkaian Penerima pada PCB

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

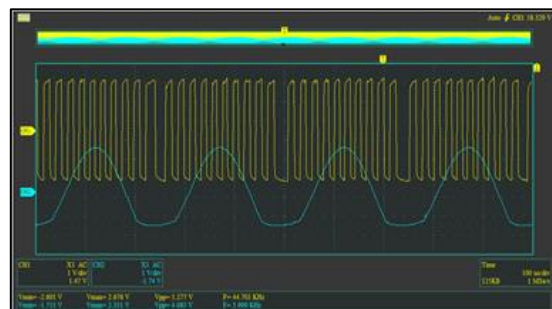
4.1 Pengujian Rangkaian Pengirim

Pada gambar 11 ditunjukkan *output* rangkaian DF *Player* (gelombang kuning) berupa sinyal audio dengan frekuensi 900 Hz dan tegangan 75 mVpp. Sinyal tersebut dikuatkan oleh pre-amplifier sehingga menghasilkan *output* (gelombang biru) dengan amplituda sebesar 2,31 Vpp. Berarti penguatan berhasil dilakukan sebesar 30 kali.



Gambar 11. Hasil Pengukuran Rangkaian Suara

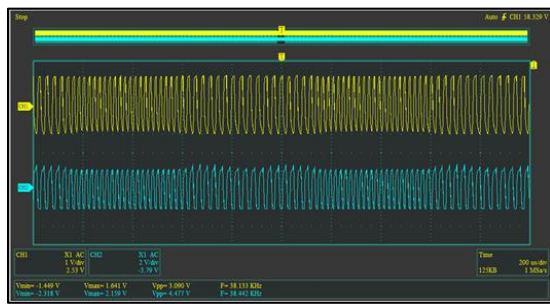
Sinyal kemudian dimodulasi secara FM oleh rangkaian modulator. Pada gambar 12 ditunjukkan hasil pengujian rangkaian modulator FM dimana sinyal informasi audio (gelombang biru) berhasil dimodulasi menjadi seperti pada gelombang kuning dimana saat amplituda sinyal informasi menurun, frekuensi sinyal termodulasi juga menurun, begitupun sebaliknya.



Gambar 12. Hasil Pengujian Modulator FM

4.2 Pengujian Rangkaian Switching LED dan Fototransistor

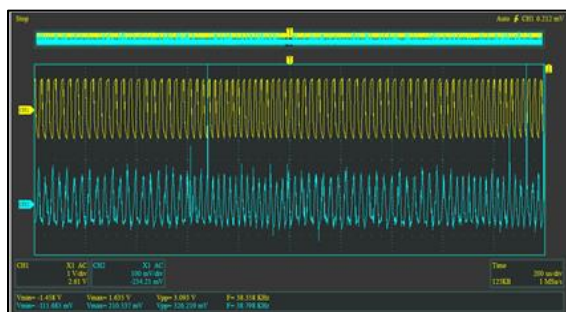
Berikut adalah hasil pengujian rangkaian switching LED.



Gambar 13. Hasil Pengujian Rangkaian Switching LED

Pada gambar 13, pengukuran *output* rangkaian *switching* LED (gelombang kuning) menunjukkan amplituda gelombang sebesar 3 Vpp (skala pembacaan 10 kali) sesuai dengan catu daya yang digunakan untuk lampu LED yaitu 30 Volt. Kondisi sinyal termodulasi frekuensi juga masih terjaga pada lampu LED. Antara *output switching* LED dengan *output* modulator (gelombang biru) memiliki frekuensi dan bentuk gelombang yang sama.

Selanjutnya dilakukan pengujian respon pada fototransistor 3DU5C. Berikut adalah hasil yang didapatkan pada jarak 300 cm dengan amplituda yang kecil sehingga perlu dikuatkan dan diperbaiki.



Gambar 14. Hasil Pengujian Respon Fototransistor

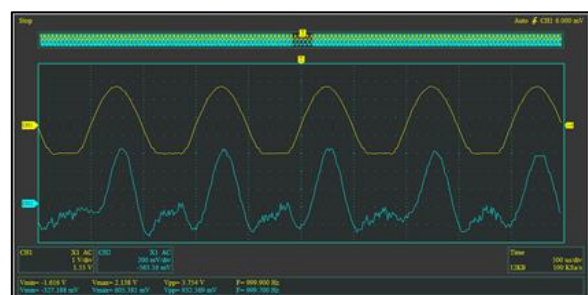
4.3 Pengujian Rangkaian Penerima

Setelah diterima oleh *fototransistor*, sinyal dikuatkan dan diperbaiki sehingga didapatkan hasil seperti pada gambar 15.

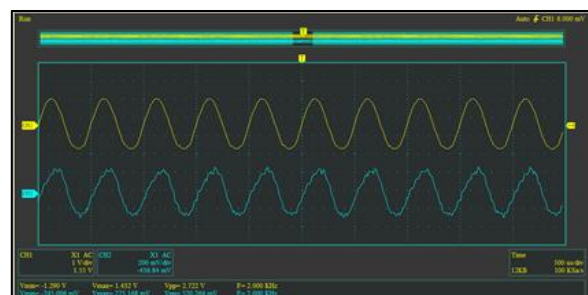


Gambar 15. Hasil Pengujian Keluaran Komparator

Keluaran komparator (gelombang biru) pada gambar 20 ini kemudian didemodulasi. Pada gambar 16 dan 17 ditunjukkan hasil demodulasi untuk frekuensi informasi 1 KHz dan 2 KHz.

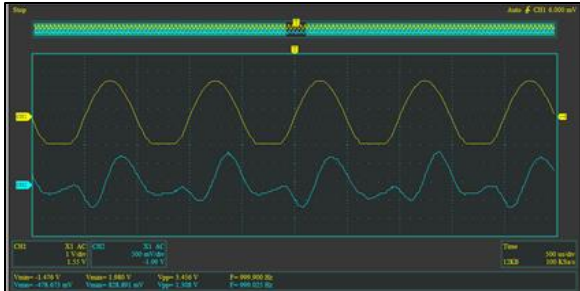


Gambar 16. Hasil Keluaran Demodulasi Untuk Frekuensi 1 KHz

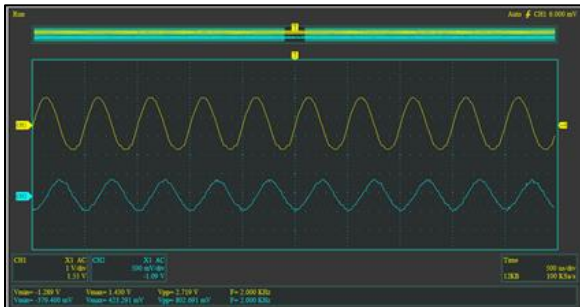


Gambar 17. Hasil Keluaran Demodulasi Untuk Frekuensi 2 KHz

Setelah didapatkan sinyal informasi hasil demodulasi (gelombang biru), sinyal dikuatkan dan di-*filter* menggunakan penguat op-amp dengan penguatan sebesar 2 kali dan *Low Pass Filter* (LPF) untuk frekuensi di bawah 3400 Hz. Sehingga didapatkan hasil seperti pada gambar 18 untuk frekuensi 1 KHz dan pada gambar 19 untuk frekuensi 2 KHz.

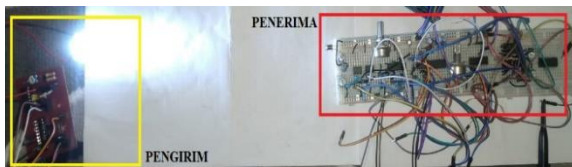


Gambar 18. Hasil Keluaran Penguat Untuk Frekuensi 1 KHz



Gambar 19. Hasil Keluaran Penguat Untuk Frekuensi 2 KHz

Pada gambar 18 dan 19, keluaran penguat op-amp (gelombang biru) menunjukkan penguatan dua kali terhadap sinyal masukannya (gelombang kuning). *Noise* pada gelombang juga telah diminimalisir dibandingkan dengan sebelumnya pada gambar 16 dan 17. Hasil ini kemudian dikuatkan arusnya oleh penguat *amplifier* lalu dikeluarkan oleh *speaker headset*. Gambar 20 menunjukkan situasi pengujian sistem dari pengirim hingga ke penerima.



Gambar 20. Situasi Pengujian Pengirim dan Penerima

Setelah sistem berhasil dibuat, dilakukan pengukuran amplituda sinyal informasi dan *noise* untuk mengetahui nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Didapati nilai amplituda sinyal informasi adalah -51 dBV sedangkan amplituda *noise* adalah -89,5 dBV. Sehingga didapatkan nilai SNR sebagai berikut.

$$\begin{aligned} SNR &= S - N \text{ (dalam logaritmik)} \\ &= -51dBV - (-89,5 dBV) \\ &= 38,5 dB \end{aligned}$$

5. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, informasi berupa sinyal audio dalam SD Card yang dapat diakses oleh DF Player diputar secara berulang karena dikontrol oleh Arduino Nano. Pada tahap ini diambil *sample* informasi audio dari DF Player dengan tegangan 75 mV dan frekuensi 900 Hz. Setelah itu, sinyal dikuatkan oleh *pre-amplifier* dengan hasil penguatan sebesar 30 kali.

Sinyal audio kemudian dimodulasi frekuensi oleh rangkaian modulator menggunakan IC PLL 4046 yang saat diuji memiliki frekuensi minimum 43 KHz dan frekuensi maksimum 52 KHz. Keluaran dari modulator yang sudah berbentuk sinyal FM diumpungkan ke rangkaian *Switching LED* untuk ditransmisikan melalui cahaya tampak ke penerima dengan catu daya 30 Volt untuk menyalakan LED.

Pada bagian fotodetektor yang terdiri dari fototransistor, penguat dan komparator, sinyal dapat diterima dengan baik hingga maksimal jarak 3 meter dalam kondisi *line of sight* dari lampu LED pengirim dan di dalam ruangan. SNR pada *output* penerima didapatkan sebesar 38,5 dB. Nilai tersebut telah memenuhi standar minimal SNR untuk komunikasi suara yaitu 25 dB [7], sehingga suara yang dihasilkan pada *output* penerima pun dapat didengar dan dipahami dengan jelas oleh *user*.

6. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem komunikasi suara melalui cahaya tampak lampu penerangan LED dengan pemodulasian FM ke penerima telah berhasil berfungsi dengan baik. Informasi audio yang dikirim dapat didengar dengan jelas dan *noise* sudah berhasil diredam dengan nilai SNR 38,5 dB, dimana nilai tersebut telah memenuhi standar minimal untuk komunikasi suara sebesar 25 dB.
2. Jarak jangkauan antara lampu LED dengan penerima dapat mencapai lebih dari 3 meter dalam kondisi *line of sight* (LOS). Jarak ini sudah memenuhi spesifikasi jarak yang dibutuhkan yaitu antara plafon dan lantai sebuah gedung atau perumahan.
3. Sistem ini dapat diterapkan untuk aplikasi pengiriman informasi dari lampu penerangan ke pengunjung yang berada di suatu ruangan pameran, museum, galeri dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rifiandi, A. Hambali dan A. D. Pambudi, "PERANCANGAN & IMPLEMENTASI VISIBLE LIGHT COMMUNICATION UNTUK KOMUNIKASI RADIO FM," e-Proceeding of Engineering, vol. 4, pp. 3557-3564, 2017.
- [2] M. Agustini, S. Oktaviani, F. M. Fasha dan E. Mozef, "Perancangan dan Realisasi Sistem Komunikasi Suara dengan Penjelasan Suara yang Ditransmisikan dari Cahaya Lampu Penerangan LED," IRWNS, pp. 387-395, 2019.
- [3] R. D. Pargiono, "Perancangan dan Realisasi Sistem Komunikasi Suara Menggunakan Media Transmisi Laser secara Dua Arah Full Duplex dengan Modulasi AM," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2017.
- [4] Hendana, Ghiffari, "PERANCANGAN DAN REALISASI KOMUNIKASI SUARA DUA ARAH MELALUI MEDIA SINAR LASER MENGGUNAKAN MODULASI FM DAN PLL," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2018.
- [5] L. Irawati, "Fisika Medik Proses Pendengaran," Majalah Kedokteran Andalas, vol. 36, pp. 155-1632, 2012.
- [6] Y. Christyono dan Y. P. Nugroho, "PENGEMBANGAN PERANGKAT KERAS SISTEM MODULASI DIGITAL 8-QAM MENGGUNAKAN MODULASI FM," TRANSMISI, vol. 17, pp. 177-185, 2015.
- [7] A. R. D., L. Lidyawati dan D. Nataliana, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi," Elkomika, vol. 1, pp. 1-13, 2013.
- [8] Cisco Systems, "Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Wireless Signal Strength," Meraki Documentation, [Online]. Available: [https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Signal-to-Noise_Ratio_\(SNR\)_and_Wireless_Signal_Strength#](https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Signal-to-Noise_Ratio_(SNR)_and_Wireless_Signal_Strength#). [Diakses 19 Agustus 2020].