

ID: 27

Desain dan Realisasi Sistem Komunikasi Data Melalui Cahaya Lampu LED Berbasis Modulasi Frekuensi dan PLL

Design and Realization of Data Communication Sistem Through LED Lamp Light Based On Frequency Modulation and PLL

Eril Mozes¹, Davin Zimar Iswadi²,

^{1,2}Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung, Telp. : (022)2013789, Fax : (022)2013889

erilmozef@gmail.com¹, davin.zimar.tcom416@polban.ac.id²,

Abstrak – Teknologi komunikasi telah berkembang demikian pesat, salah satunya adalah bidang Visible Light Communication (VLC). Telah banyak karya yang dibuat di bidang VLC dengan berbagai variasi baik dari jenis informasi yang dikirim, teknik modulasi yang digunakan, sinyal masukan yang ditransmisikan hingga jenis cahaya yang digunakan. Dengan berkembangnya teknologi LED sebagai lampu penerangan gedung dan rumah maka banyak karya-karya yang memanfaatkan lampu LED tidak saja sebagai sarana penerangan tetapi juga sebagai sarana mengirimkan informasi. Permasalahan yang ada pada komunikasi dengan cahaya tampak adalah sensor di bagian penerima tidak saja menerima cahaya dari pengirim tapi juga dari cahaya lain disekitarnya. Untuk itu maka diterapkanlah teknik modulasi agar hanya informasi dari cahaya pengirim sajalah yang diterima. Prototipe terdahulu yang telah dikembangkan menggunakan modulasi PWM, namun hasil yang dicapai belum cukup memuaskan karena masih terganggu oleh derau cahaya sekitar. Untuk itu maka pada penelitian ini digunakan modulasi FM dimana modulasi ini lebih tahan terhadap derau. Proses modulasi dan demodulasi menggunakan Phase Locked Loop (PLL). Sistem telah berhasil mengirim dan menerima data teks dengan baik pada jarak mencapai 4m sehingga cocok untuk diterapkan di dalam suatu gedung untuk aplikasi pelayanan informasi pada publik melalui cahaya lampu penerangan LED.

Kata Kunci: Komunikasi Data, Komunikasi Cahaya Tampak, Lampu LED, Modulasi FM, PLL.

Abstract – Communication technology has developed rapidly, one of them is the Visible Light Communication (VLC). There have been many works made in the field of VLC with various variations both from the type of information sent, the modulation technique used, the input signal transmitted to the type of light used. With the development of LED technology as lighting for buildings and homes, many works have made use of LED lights not only for lighting but also for sending information. The problem with communication with visible light is that the sensor at the receiver not only receives light from the transmitter but also from other light around it. For this reason, modulation techniques are applied so that only information from the sending light is received. Previous prototypes that have been developed using PWM modulation, but the results are not enough satisfied because they are still disturbed by the noise of the surrounding light. Therefore, this research uses FM modulation because this modulation is more resistant to noise. The modulation and demodulation processes use Phase Locked Loop (PLL). The system has succeeded in sending and receiving text data well at a distance of up to 4m making it suitable to be applied in a building for information service applications to the public through LED lighting.

Keywords: Data Communication, Visible Light Communication, LED Lamp, FM Modulation, PLL.

1. Pendahuluan

Sistem komunikasi nirkabel saat ini masih menjadi pilihan untuk berkomunikasi karena memiliki kelebihan yaitu fleksibilitas yang belum tentu dimiliki oleh media komunikasi menggunakan kabel. Selain itu komponen yang diperlukan untuk membangun sebuah komunikasi nirkabel terbilang mudah didapatkan. Salah satu basis media komunikasi nirkabel

adalah *Visible Light Communication* (VLC). Pada masa kini, cahaya yang kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari tidak hanya digunakan untuk penerangan, tapi juga untuk berkomunikasi. VLC adalah teknologi komunikasi di mana spektrum terlihat dimodulasi untuk mengirimkan data [1]. Penggunaan cahaya tampak untuk transmisi data memberikan banyak keuntungan dan menghilangkan sebagian besar kelemahan transmisi lewat gelombang elektromagnetik di luar spektrum yang terlihat [2]. Sistem VLC dapat menggunakan Laser atau LED sebagai media komunikasi di mana sinyal informasi ditumpangkan pada sinar Laser atau LED secara langsung atau dapat juga dimodulasi terlebih dahulu. Salah satu modulasi yang dapat dilakukan pada media komunikasi LED atau Laser adalah Modulasi FM (*Frequency Modulation*). Demodulator 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 [3]. Bagian-bagian dari PLL meliputi: 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.

Teknologi pada komunikasi data melalui cahaya tampak memiliki beberapa tantangan, salah satunya adalah bahwa bandwidth modulasi rendah dari LED daya tinggi komersial membatasi kecepatan data yang dapat dicapai. Untuk mengatasi masalah tersebut, upaya besar telah dilakukan untuk meningkatkan modulasi bandwidth dan juga kecepatan data [4]. Pada sistem [5], data yang berasal dari komputer diubah menjadi data serial RS232 dan dipancarkan langsung menggunakan LED dan diterima oleh *phototransistor* tanpa dimodulasi terlebih dahulu, sehingga rentan terhadap *noise* dari luar maupun dalam rangkaian. Salah satu aplikasi komunikasi cahaya tampak telah diterapkan di bidang medis misalnya untuk pengiriman nilai sensor yang berada di tubuh pasien melalui cahaya LED dengan modulasi PWM [6].

Pada penelitian kami terdahulu telah direalisasikan sistem komunikasi data [7] dan suara [8] menggunakan modulasi PWM, namun hasilnya belum cukup memuaskan karena lebar pulsa mudah menjadi jenuh akibat amplitudo yang berlebih. Perbaikan telah dilakukan untuk komunikasi suara menggunakan modulasi FM dengan hasil yang cukup memuaskan [3]. Oleh karena itu, pada makalah ini diusulkan perbaikan sistem [7] yang sebelumnya menggunakan modulasi PWM menjadi modulasi FM.

Secara singkat dapat dijelaskan disini, sistem yang direalisasikan merupakan sistem komunikasi data serial melalui cahaya lampu LED sebagai media komunikasi sekaligus sebagai sarana penerangan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai penghasil data serial berupa teks karakter untuk selanjutnya dimodulasi secara FM menggunakan IC PLL 4046 (*Phase Locked Loop*) dan diumpankan ke lampu LED. Di sisi penerima, cahaya dari LED pengirim, diterima oleh *Photodetector* lalu dikuatkan kembali dan didemodulasi oleh IC PLL 4046. *Output* yang dihasilkan dari demodulator tersebut ditampilkan kembali di LCD oleh Arduino berupa teks karakter yang sama seperti yang dikirimkan oleh pengirim.

Tujuan dari penelitian ini adalah: 1) Membuat prototipe alat berupa sistem komunikasi data serial jarak pendek menggunakan cahaya tampak lampu LED sebagai media komunikasi dengan modulasi-demodulasi FM menggunakan PLL; 2) Menguji kehandalan penerima dari gangguan cahaya sekitar agar tercapai jarak 4 meter (jarak lantai dan plafon sebuah bangunan) sehingga dapat diterapkan untuk aplikasi-aplikasi pelayanan informasi melalui cahaya lampu penerangan LED dalam sebuah gedung (perkantoran, galeri, museum, stasiun dan lai-lain).

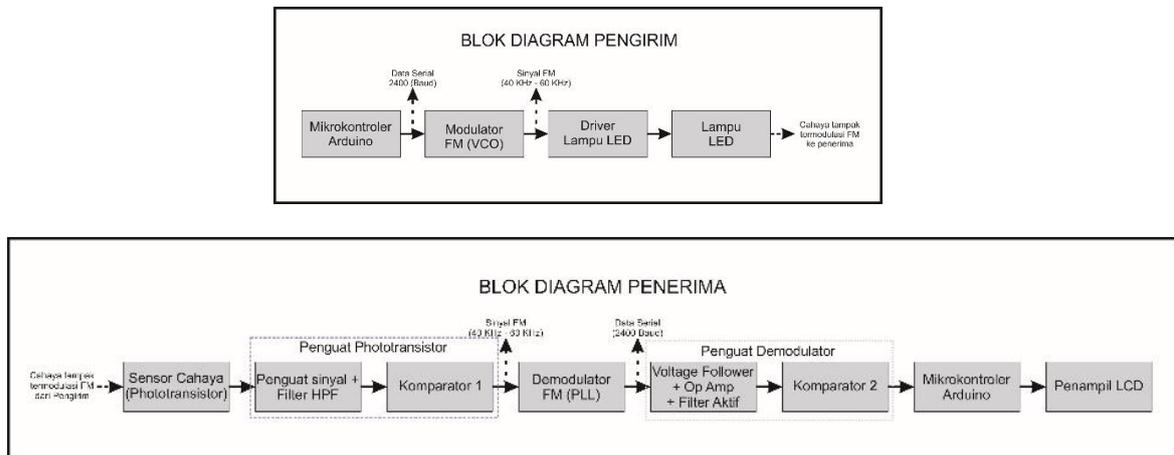
2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan perangkat keras mulai dari perancangan blok diagram, skema elektronik, sampai pada realisasi sistem.

2.1.1. Blok Diagram Sistem.

Berikut adalah blok diagram sistem keseluruhan yang akan dibuat.



Gambar 21. Blok diagram sistem.

Blok diagram terbagi ke dalam dua subsistem Gambar 1 yaitu bagian pengirim (atas) dan penerima (bawah).

Pada blok diagram pengirim, program dari Arduino yang berupa teks diubah menjadi kode ASCII dan dikirimkan secara serial dengan baud rate sebesar 2400 baud. Data serial inilah yang akan dimodulasi menjadi sinyal FM di bagian Modulator. Sinyal yang keluar dari bagian pin TX Arduino ini akan mengontrol frekuensi dari VCO (*Voltage Controlled Oscillator*). Karena sinyal dari Arduino tersebut berupa sinyal digital (1/0 atau HIGH/LOW), maka sinyal FM yang dihasilkan yaitu F_{max} pada saat sinyal HIGH dan F_{min} pada saat sinyal LOW. Sinyal keluaran dari VCO inilah yang digunakan untuk mengendalikan lampu LED menggunakan rangkaian Driver LED. Rangkaian ini akan mengendalikan lampu LED agar berkedip sebesar frekuensi yang dihasilkan oleh VCO. Kedipan ini dipilih jauh di atas respon mata manusia (di atas 50 Hz) agar walaupun cahayanya tampak namun kedipannya tidak terlihat. Cahaya lampu LED yang sudah termodulasi FM inilah yang akan digunakan untuk mengirimkan data teks yang diinginkan ke bagian penerima.

Pada blok diagram penerima, cahaya lampu LED yang dipancarkan oleh pengirim diterima oleh rangkaian *phototransistor*. Sinyal yang diterima oleh *phototransistor* memiliki tegangan yang kecil dan derau dari cahaya sekitarnya, sehingga dibutuhkan rangkaian filter dan penguat agar dihasilkan kembali sinyal FM yang lebih besar amplitudonya. Kemudian sinyal ini dimasukkan ke rangkaian komparator agar sinyal yang semula berbentuk sinus dengan amplitudo yang belum konstan berubah menjadi sinyal kotak dengan amplitudo konstan. Selanjutnya sinyal keluaran dari komparator yang masih berbentuk FM ini diumpungkan ke bagian demodulator FM menggunakan PLL untuk memunculkan kembali sinyal informasi (data) yang di kirim oleh pengirim. Sinyal data ini kemudian disempurnakan oleh bagian komparator 2 agar level tegangannya merupakan logik murni (1/0). Sinyal keluaran dari komparator 2 sudah merupakan data serial untuk kemudian diumpungkan ke Arduino. Arduino akan menampilkan teks melalui LCD.

2.1.2. Perancangan Skema Elektronik Sistem

Perancangan skema dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan skema pengirim (transmitter) dan skema penerima (receiver). Bagian pengirim terdiri dari beberapa bagian yaitu rangkaian pengolah data (mikrokontroler), rangkaian modulator FM, dan rangkaian driver LED. Sedangkan bagian penerima terdiri dari rangkaian sensor phototransistor, rangkaian penguat, rangkaian demodulator FM, rangkaian penguat, rangkaian pengolah data (mikrokontroler) dan rangkaian penampil LCD. Berikut ini akan dibahas perancangan bagian Modulator dan Demodulator FM menggunakan IC PLL 4046. Selanjutnya diberikan skema Pengirim dan Penerima.

1) Perancangan Modulator

Modulator menggunakan bagian VCO dari IC PLL CD4046. Pertama-tama, frekuensi minimum dan maksimum yang akan digunakan ditentukkan terlebih dahulu. Pada perancangan ini digunakan frekuensi minimum (F_{min}) = 40 KHz dan frekuensi maksimum (F_{max}) = 60 KHz.

Selanjutnya adalah menentukan komponen-komponen yang akan digunakan pada IC CD4046 tersebut, yaitu R1, R2, dan C1. Untuk menentukan nilai dari komponen tersebut dapat melihat grafik dari *datasheet* IC tersebut.

Menentukan R2 dan C1:

Untuk menentukan R2 dan C1 kita dapat melihat kurva pada *datasheet* IC CD4046, data yang diperlukan yaitu nilai VDD (Supply) dan R2.

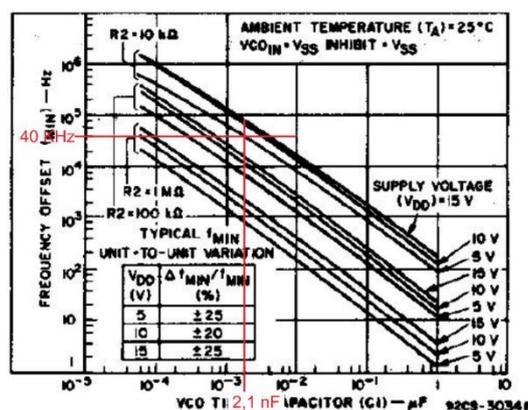


Fig. 6 – Typical frequency offset as a function of C1 and R2 for V_{DD} = 5 V, 10 V, and 15 V.

Gambar 22 Kurva Fmin terhadap besaran kapasitor C1

Berdasarkan pada gambar 2 jika menggunakan R2 sebesar 10K Ω dan VDD sebesar 5 Volt, kita dapat membuat garis horizontal dari Fmin 40 KHz, selanjutnya membuat garis vertikal dari perpotongan antara garis horizontal dan kurva pada R2 10K Ω dan VDD 5 Volt, sehingga didapatkan nilai C1 pada sumbu X, yaitu 2,1 nF. Hasil yang didapatkan yaitu **R2 = 10 K Ω dan C1 = 2,1 nF**. Karena nilai kapasitor dari C1 tidak terdapat di pasaran, maka kapasitor tersebut dapat diganti dengan dua kapasitor yang dihubungkan secara seri dengan masing-masing nilai kapasitornya adalah 5,6 nF dan 3,3 nF dengan perhitungan sebagai berikut.

$$C1 = \frac{5,6 \times 3,3}{5,6+3,3} = 2,07 \text{ nF} \tag{1}$$

Menentukan R1:

Sebelum mencari nilai dari R1, kita harus mencari nilai dari Fmax/Fmin agar dapat membuat garis pada kurva *datasheet*.

$$\frac{F_{max}}{F_{min}} \tag{2}$$

$$\frac{60 \text{ KHz}}{40 \text{ KHz}} = 1,5$$

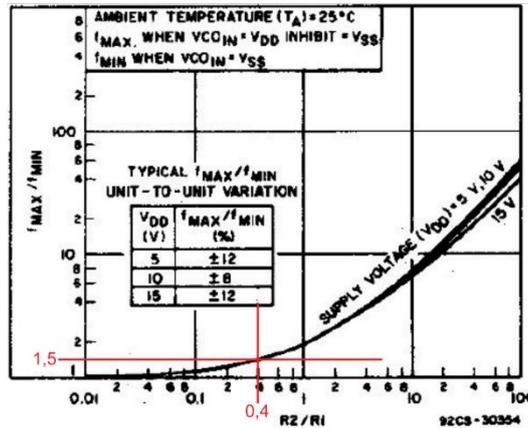


Fig. 8 - Typical fMAX/fMIN as a function of R2/R1.

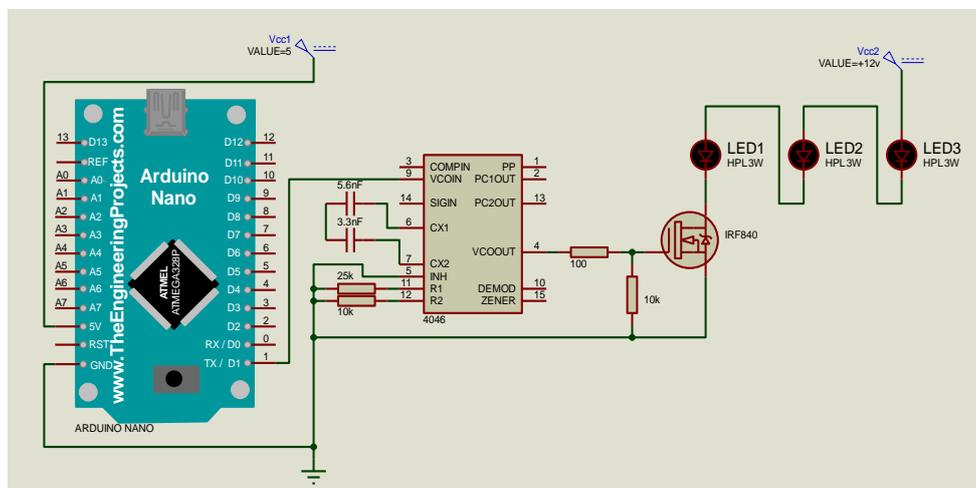
Gambar 23 Kurva Fmax/Fmin modulator

Berdasarkan pada gambar 3 jika Fmax/Fmin memiliki nilai sebesar 2, maka dapat dibuat garis horizontal sampai memotong kurva VDD, selanjutnya membuat garis vertikal dari perpotongan tersebut hingga memotong sumbu X, didapatkan hasil dari garis tersebut adalah 1,1 untuk nilai antara R2/R1.

Dari hasil tersebut dapat mencari nilai dari R1 dengan proses matematika sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{R2}{R1} &= 0,4 & (3) \\ \frac{R2}{R1} &= 0,4 \\ R1 &= \frac{R2}{0,4} \\ R1 &= \frac{10K}{0,4} \\ R1 &= 25 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan semua nilai komponen yang dibutuhkan untuk Modulator FM, selanjutnya dapat dibuat skema lengkap bagian pengirim sebagai berikut.



Gambar 24 Skema rangkaian pengirim

2) Perancangan Demodulator

Perancangan Demodulator FM sama halnya dengan Modulator FM yaitu menentukan rentang frekuensi yang akan digunakan, namun pada Demodulator rentang yang akan digunakan harus lebih besar daripada Modulator, hal ini dilakukan agar mempermudah Demodulator pada saat penguncian frekuensi (*Locked Frequency* atau F_L) dan saat pemindaian frekuensi (*Captured Frequency* atau F_c). Sehingga pada perancangan Demodulator ini menggunakan $F_{min} = 30$ KHz dan $F_{max} = 70$ KHz, atau memiliki jarak sebesar 10 KHz dengan rentang frekuensi pada Modulator.

Menentukan R2 dan C1:

Sama seperti menentukan R2 dan C1 pada Modulator, yaitu dengan menggunakan kurva pada *datasheet*, namun kali ini untuk Demodulator menggunakan $F_{min} = 30$ KHz.

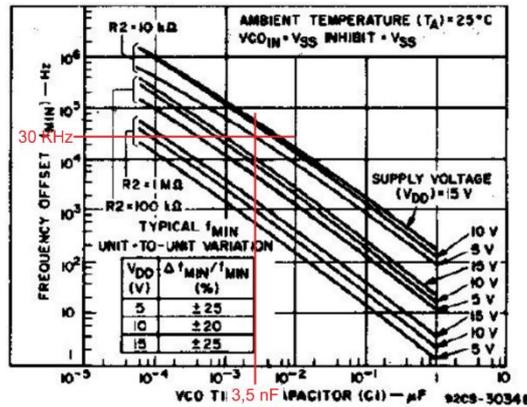


Fig. 6 – Typical frequency offset as a function of C1 and R2 for V_{DD} = 5 V, 10 V, and 15 V.

Gambar 25 Kurva Fmin terhadap besaran kapasitor C1 demodulator

Dilihat dari kurva tersebut maka didapatkan hasilnya yaitu **R2 = 10K Ω dan C1 = 3,5 nF**.

Menentukan R1:

Menentukan R1 pada Demodulator juga sama halnya dengan menentukan R1 pada Modulator, yaitu menggunakan kurva *datasheet* dan menghitung F_{max}/F_{min} .

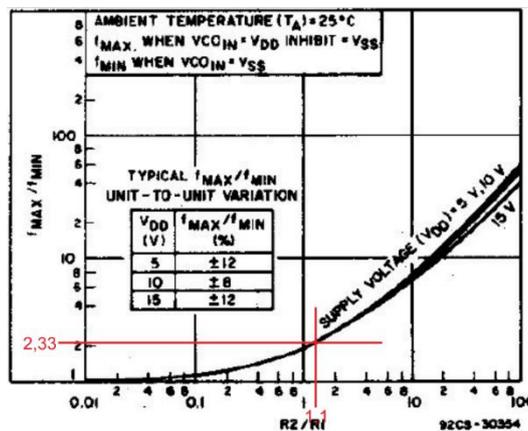


Fig. 8 – Typical f_{MAX}/f_{MIN} as a function of R2/R1.

Gambar 26 Kurva Fmax/Fmin demodulator

Dilihat dari hasil kurva, maka nilai dari R2/R1 adalah 1,1, selanjutnya yaitu mencari R1 dengan proses matematika seperti pada Modulator.

$$\begin{aligned} \frac{R2}{R1} &= 1,1 & (4) \\ R1 &= \frac{R2}{1,1} \\ R1 &= \frac{10K}{1,1} \\ \mathbf{R1} &= \mathbf{9,1\ K\Omega} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan semua nilai komponen yang dibutuhkan oleh Demodulator FM, selanjutnya dapat dibuat rancangan rangkaian sebagai berikut.

Menentukan R3 dan C2 *Low-Pass Filter*:

Tidak seperti pada Modulator, bagian Demodulator memiliki rangkaian *Low-Pass Filter*. Untuk membuatnya kita harus terlebih dahulu mengetahui Fc dan Fl. Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung R3 dan C2 yang terdapat dari *datasheet* IC CD4046.

$$2fc = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau_1}} \tag{4}$$

Dimana :

Fc = *Capture Range Frequency*

Fl = *Lock Range Frequency*

$$\tau_1 = R_3 \cdot C_2 \tag{5}$$

$$\pi = 3,14 \tag{6}$$

Dengan mengetahui bahwa:

Rentang Frekuensi *Capture*

$$2fc = fcmax - fcmin \tag{7}$$

Fcmin = **40 KHz**

Fcmax = **60 KHz**

$$\begin{aligned} fc &= \frac{fcmax - fcmin}{2} \\ fc &= \frac{(60 - 40)KHz}{2} \\ \mathbf{fc} &= \mathbf{10KHz} \end{aligned}$$

Rentang Frekuensi *Lock*

$$2f_L = f_Lmax - f_Lmin \tag{8}$$

F_Lmin = 30 KHz

F_Lmax = 70 KHz

$$\begin{aligned} f_L &= \frac{f_Lmax - f_Lmin}{2} \\ f_L &= \frac{(70 - 30)KHz}{2} \\ \mathbf{f_L} &= \mathbf{20KHz} \end{aligned}$$

Maka didapat:

$$2fc = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau_1}} \tag{9}$$

$$2fc = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau_1}}$$

$$2\pi fc = \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau_1}}$$

$$(2\pi fc)^2 = \frac{2\pi f_L}{\tau_1}$$

$$\tau_1 = \frac{2\pi f_L}{(2\pi fc)^2}$$

$$\tau_1 = \frac{f_L}{2\pi(fc)^2}$$

$$\tau_1 = \frac{20 \cdot 10^3}{2\pi(10 \cdot 10^3)^2}$$

$$\tau_1 = \frac{3,185 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^6}$$

$$\tau_1 = 31,85 \cdot 10^{-6}; \quad \tau_1 = R_3 \cdot C_2$$

Dengan menggunakan kapasitor **C2 = 5,6 nF**

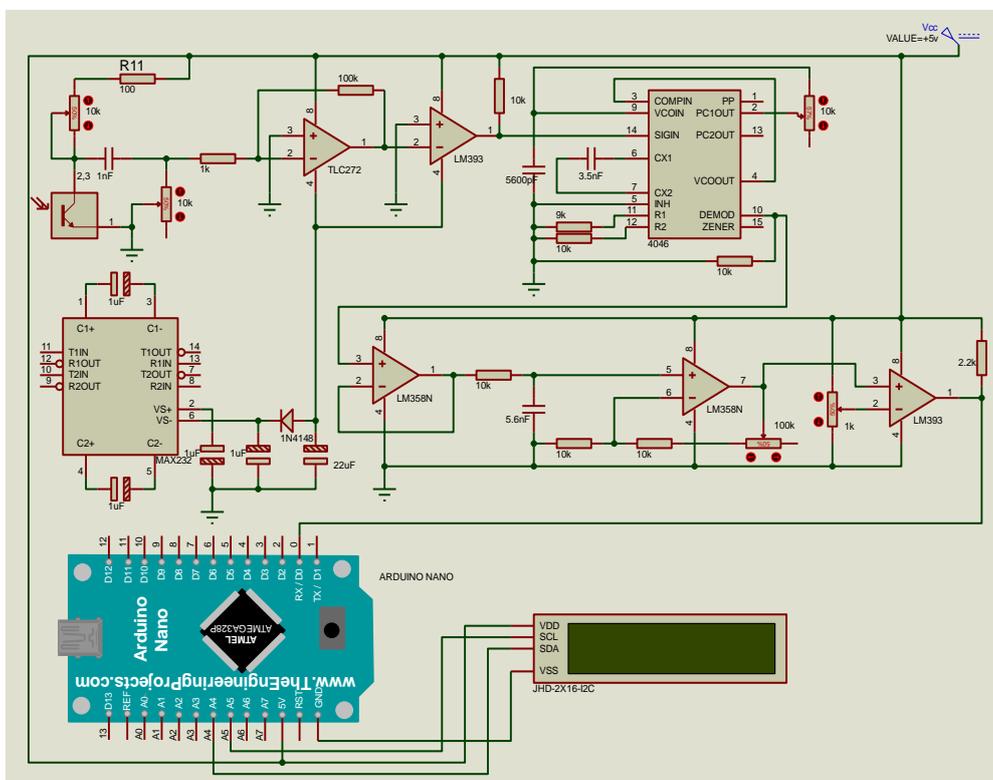
$$R_3 \cdot C_2 = 31,85 \cdot 10^{-6} \tag{10}$$

$$R_3 = \frac{31,85 \cdot 10^{-6}}{C_2}$$

$$R_3 = \frac{31,85 \cdot 10^{-6}}{5,6 \cdot 10^{-9}}$$

$$R_3 = 5687,5 \Omega$$

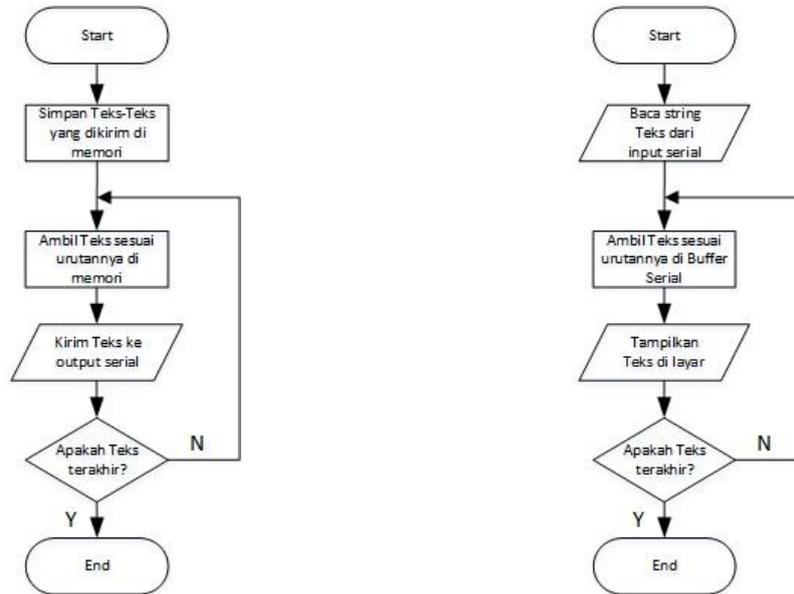
Setelah mendapatkan semua nilai komponen yang dibutuhkan untuk Demodulator FM, selanjutnya dapat dibuat skema lengkap bagian penerima sebagai berikut.



Gambar 27 Skema rangkaian penerima

2.2. Diagram Alir Software

Pada bab ini akan dibahas diagram alir software di bagian Pengirim dan di bagian Penerima, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 28 Diagram alir software pengirim (kiri) dan penerima (kanan)

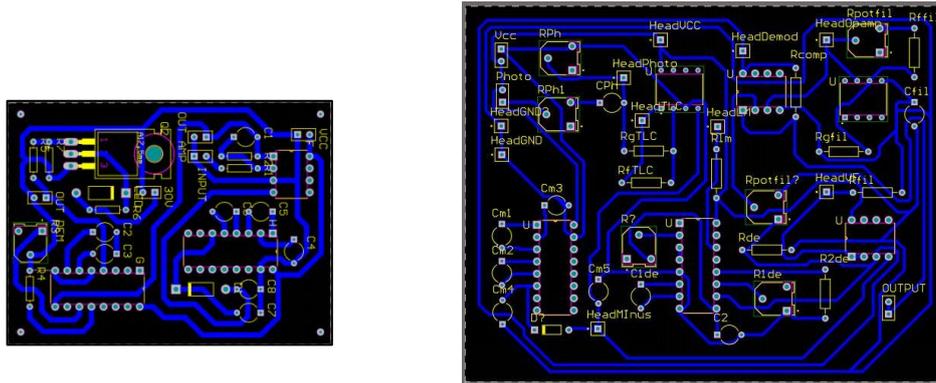
Pada diagram alir bagian Pengirim, teks-teks yang akan digunakan (teks_1, teks_2, ... , teks_n) disimpan dulu di dalam memori. Teks akan diambil sesuai urutannya dan dikirimkan ke output serial. Bila teks yang dikirim masih tersisa di memori maka teks tersebut akan diambil dan dikirim. Bila teks terakhir telah dikirim maka program selesai. Untuk dapat mengirim teks secara terus-menerus maka program diulang kembali dari awal.

Pada diagram alir bagian Penerima, string-string dari teks yang masuk ke input serial akan disimpan di Buffer. Secara independen, program akan membaca teks yang tersimpan di Buffer dan menampilkan teks ke layar. Selesai dibaca maka Buffer akan dikosongkan dan siap menerima string teks berikutnya dan begitu seterusnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Realisasi PCB

Sistem yang sudah melalui proses perancangan dan simulasi dengan benar, maka selanjutnya dilakukan proses realisasi perangkat keras yang pertama adalah realisasi PCB dengan cara mencetak *layout* PCB yang telah dibuat pada aplikasi Altium.



Gambar 29 Layout PCB rangkaian pengirim dan penerima

Terdapat dua PCB pada sistem ini, yaitu satu PCB pada pengirim dan satu lagi pada penerima.

3.2. Perakitan

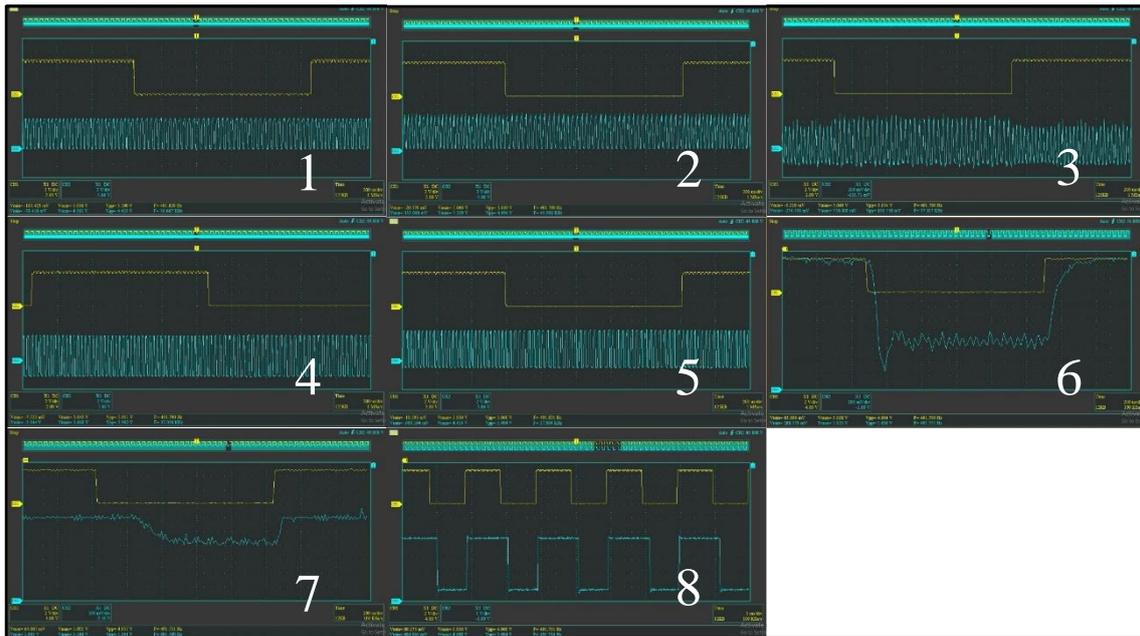
Perakitan bagian pengirim (Gambar 10) terdiri dari Arduino, PCB Modulator yang terdapat rangkaian modulator, rangkaian driver LED, dan LED yang dilengkapi dengan lensa. Sumber tegangan dapat berasal dari baterai 9 Volt atau adaptor 12 Volt, karena masih dalam batas tegangan *input* Arduino, dan rangkaian pada PCB diberi tegangan 5 Volt yang berasal dari Arduino. Selanjutnya adalah perakitan rangkaian penerima yang ditunjukkan pada Gambar 10, perakitan ini terdiri dari *phototransistor*, rangkaian penguat *phototransistor* beserta pembangkit tegangan minusnya, demodulator FM, dan penguat demodulator, dan terakhir adalah Arduino beserta LCD untuk menampilkan karakter teks.



Gambar 30 Perakitan sistem pengirim dan penerima

3.3. Hasil Pengujian

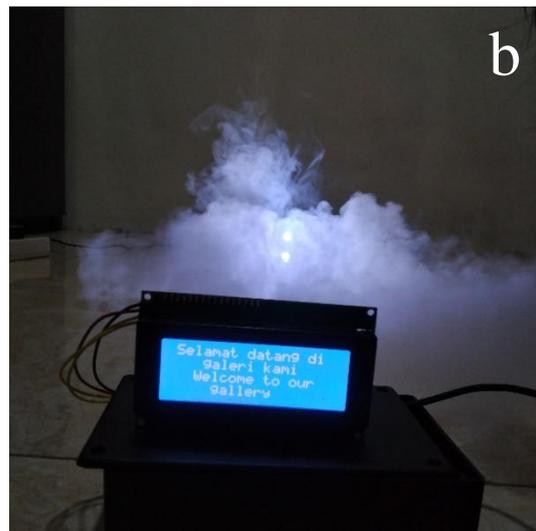
Berikut ini adalah pengujian rangkaian secara keseluruhan dengan *Channel 1* (Kuning) sebagai *input* yang berasal dari Arduino pada pengirim dan *Channel 2* (Biru) yang dipasang pada setiap bagian rangkaian secara bergantian. Selain itu pengujian ini dilakukan dengan mengirimkan teks karakter dengan jarak antar pengirim dan penerima sejauh 2 meter, dengan *noise* asap, halangan tangan, dan LED dari sumber lain.



Gambar 31 Hasil pengujian rangkaian keseluruhan (input sinyal kotak)

Tabel 11 Keterangan pada bagian yang diuji

No	Channel 1 (Kuning)	Channel 2 (Biru)
1	Input sinyal kotak	Output Modulator
2	Input sinyal kotak	Output switching LED
3	Input sinyal kotak	Output phototransistor
4	Input sinyal kotak	Output penguat phototransistor
5	Input sinyal kotak	Output komparator
6	Input sinyal kotak	Output demodulator
7	Input sinyal kotak	Output penguat demodulator
8	Input sinyal kotak	Output Komparator

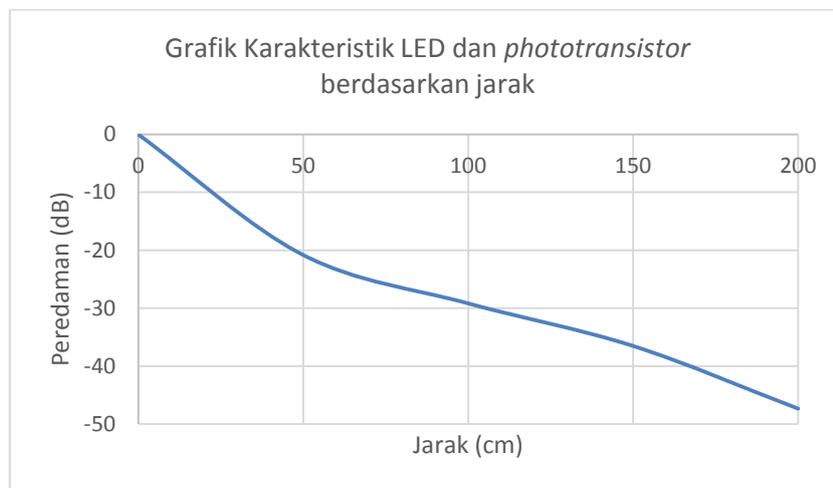




Gambar 32

- (a) Pengujian tanpa halangan, teks dari cahaya lampu LED dapat terbaca di LCD;
- (b) Pengujian dengan gangguan asap, teks dari cahaya lampu LED masih dapat terbaca di LCD;
- (c) Pengujian dengan gangguan cahaya, teks dari cahaya lampu LED masih dapat terbaca di LCD.

Berikut ini adalah grafik pengujian karakteristik LED dan *phototransistor* berdasarkan pada jarak yang diuji.



Gambar 13 Grafik Karakteristik LED dan *phototransistor* berdasarkan jarak

Gambar 13 merupakan gambar grafik hasil pengujian karakteristik LED dan *phototransistor* berdasarkan jarak. Grafik ini menunjukkan peredaman daya pada sinyal yang diterima di *phototransistor*, peredaman ini disebabkan oleh pengaruh jarak yang semakin jauh.

3.4. Analisa

Pada pengujian rangkaian modulator FM menunjukkan hasil yang kurang sesuai dengan perancangan, di mana frekuensi bawah (F1) dan frekuensi atas (F2) pada perancangan rangkaian modulator FM telah diatur sebesar 40 KHz dan 60 KHz. Namun pada pengujianya rangkaian modulator FM ini hanya dapat menghasilkan F1 sebesar 38 KHz di input modulator 0 Volt, dan F2 sebesar 46 KHz di input modulator 5 Volt. Penyebab dari penyimpangan nilai ini adalah ketepatan dalam menentukan garis pada kurva di datasheet IC CD4046 yang kurang tepat, selain

itu nilai toleransi pada komponen R1, R2, dan C1 yang menyebabkan komponen tersebut tidak selalu tepat pada nilainya.

Dari hasil pengujian karakteristik LED dan phototransistor, sinyal yang diterima oleh phototransistor masih dapat dikuatkan oleh rangkaian penguat phototransistor, HPF yang berada pada output phototransistor berfungsi meredam noise jala-jala dengan baik. Pada pengujian rangkaian penguat phototransistor sinyal keluaran pada phototransistor dapat dikuatkan dengan baik oleh IC TLC272 dan IC LM393, namun apabila input pada IC LM393 kurang dari 1,4 V_{pp}, maka komparator tersebut tidak akan berfungsi dengan baik.

Selanjutnya pada pengujian demodulator menunjukkan hasil yang cukup baik di mana bentuk dan frekuensi dari sinyal input pada pengirim hampir sama dengan output pada demodulator FM. Namun masih terdapat derau yang cukup besar, ini dikarenakan konfigurasi LPF pada demodulator FM kurang tepat nilainya, sehingga harus sering di tuning agar mendapatkan hasil yang lebih baik, selain itu faktor jarak antar pengirim dan penerima serta amplitudo sinyal juga memengaruhi kualitas dari output demodulator FM. Kemudian pada pengujian sistem secara keseluruhan, bagian bagian dari sistem seperti pada blok diagram telah bekerja dengan baik, ini ditunjukkan pada proses pengiriman sinyal dari Arduino pengirim ke Arduino penerima baik menggunakan sinyal kotak maupun yang sudah menggunakan sinyal data serial bahwa sinyal pada pengirim dan sinyal pada penerima memiliki bentuk yang hampir sama baik dari frekuensi, amplitudo, maupun fasanya. Selain itu, pada data serial telah dapat memunculkan karakter teks pada LCD, dan pada saat cahaya LED terhalang oleh objek, LCD tidak memunculkan karakter apapun. Sinyal pada data serial tidak akan terproses dengan baik apabila bentuk sinyalnya terbalik. Maka dari itu, penentuan tipe pada penguat menjadi hal yang harus diperhatikan baik inverting atau non-inverting karena akan memengaruhi sinyal pada saat akan diproses oleh Arduino di penerima.

4. Kesimpulan

Sistem komunikasi data menggunakan media transmisi cahaya tampak dari lampu penerangan LED telah berhasil direalisasikan. Penerima dapat menampilkan teks yang dikirim dari pengirim hingga jarak 4 meter. Jangkauan jarak ini sudah sesuai dengan target aplikasi yang akan dikembangkan selanjutnya yaitu sebuah sistem pelayanan informasi berupa teks melalui cahaya lampu penerangan LED kepada pengguna yang berada dibawahnya di dalam suatu ruangan pada suatu perkantoran, galeri, museum, stasiun, dan sejenisnya.

Referensi

- [1] A. R. Ndjiongue, H. C. Ferreira dan T. M. N. Ngatched, "Visible Light Communications (VLC) Technology," Juni 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/279321580>. [Diakses 4 November 2019].
- [2] M. L. Rabeh, M. I. Gabr dan T. Hosny, "Data Transmission via Visible Light Communication (VLC) Technique," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 9, pp. 16473-16481, 2016.
- [3] Y. Santoso dan E. Mozef, "Implementasi Komunikasi Cahaya Tampak Melalui Lampu LED Pada Sistem Komunikasi Suara Menggunakan Modulasi Frekuensi," *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 649-655, 2020.
- [4] Xiaoyan Liu, "An InGaN micro-LED based photodetector array for high-speed parallel visible light communication," *2018 Asia Communications and Photonics Conference (ACP)*, 2018.
- [5] A. Chakraborty, D. Chakraborty dan S. Moshat, "PC to PC Data Transmission using Visible Light Communication," *2017 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2017)*, 2017.
- [6] Y. F. Luckyarno, P. Cherntanomwong dan R. Wijaya, "Posturometry Data Transmission

- Using Visible Light Communication,” *IEEE*, 2016.
- [7] R. D. Subiyantari, R. Ainurahimah, N. A. Fauzi dan E. Mozef, “Perancangan Dan Realisasi Sistem Komunikasi Data Serial Menggunakan Media Cahaya Tampak Lampu Penerangan LED,” *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 10, no. 1, pp. 340-348, 2019.
- [8] M. Agustini, S. Oktaviani, F. M. Fasha dan E. Mozef, “Perancangan dan Realisasi Sistem Komunikasi Suara Menggunakan Media Transmisi Cahaya Tampak Lampu Penerangan LED Termodulasi,” *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 10, no. 1, pp. 387-395, 2019.