

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA PERANGKAT
TRANSCIVER SISTEM *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION***



*Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Untuk Menyelesaikan Program Sarjana
Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar*

OLEH:

JORDY APRILLIANZA BUDIANG

D41114308

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA PERANGKAT
*TRANSCIVER SISTEM VISIBLE LIGHT COMMUNICATION***



*Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Untuk Menyelesaikan Program Sarjana
Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar*

OLEH:

JORDY APRILLIANZA BUDIANG

D41114308

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA PERANGKAT
TRANSCEIVER SISTEM *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION***

Disusun dan diajukan oleh:

JORDY APRILLIANZA BUDIANG

D41114308

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 15 Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


Menyetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Eng. Intan Sari Areni, S.T., M.T

NIP. 19750203 200012 2 002


Dr. Eng. Wardi, ST, M.Eng

NIP. 19720828 199903 1 003

**Ketua Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**



Dr. Eng. L. Dewiani, MT.

NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : JORDY APRILLIANZA BUDIANG
NIM : D41114308
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
JENJANG : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA PERANGKAT *TRANSCEIVER SISTEM VISIBLE LIGHT COMMUNICATION*

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Juli 2021

Yang menyatakan,



JORDY APRILLIANZA BUDIANG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun sampaikan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Perangkat *Transceiver* Sistem *Visible Light Communication*”.

Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Kendala keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki mengakibatkan penyusunan laporan tugas akhir ini masih sangat jauh dari predikat sempurna. Namun disertai dengan ketekunan, usaha yang disertai doa, bimbingan, dorongan dan motivasi dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini secara khusus penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya dengan segala ketulusan dan kerendahan hati kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan doa, kasih sayang, limpahan semangat, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Ibu **Dr. Eng. Intan Sari Areni, S.T., M.T**, selaku dosen pembimbing I dan Bapak **Dr. Eng. Wardi, ST, M.Eng**, selaku dosen pembimbing II atas semua waktu, tenaga, pikiran, semangat dan motivasi yang telah diberikan dalam membimbing penulis mulai dari penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian sampai dengan penyusunan tugas akhir ini.

3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Syafruddin Syarief, MT.**, selaku dosen penguji I dan Ibu **Andini Dani Achmad, ST.,MT**, selaku dosen penguji II yang telah memberikan masukan dan perbaikan terhadap tugas akhir ini.
4. Ibu **Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Dosen-dosen Teknik Elektro yang memberikan ilmu, nilai yang obyektif serta memberikan motivasi dan semangat selama proses perkuliahan.
6. Para staf Departemen Teknik Elektro, atas segala kesabaran, pengertian dan perjuangannya dalam memberikan bantuan, arahan serta fasilitas demi kelancaran penyelesaian penelitian dan tugas akhir ini.
7. Kepada teman-teman dan adik-adik Laboratorium Telekomunikasi, Radio, dan Microwave atas dukungan serta semangat yang diberikan.
8. Kepada teman-teman seperjuangan KKN TEMATIK TAKALAR DESA BODDIA Gelombang 103 atas doa dan motivasinya.
9. Teman-teman dan keluarga besar RECTIFIER14 yang tak dapat disebutkan satu persatu atas segala kebersamaan, kerjasama dan motivasinya selama penulis menapak masa-masa perkuliahan hingga pada penyelesaian studi ini.
10. Teman – teman di Xi'An khususnya di Xidian University atas doa serta motivasi yang diberikan kepada penulis.
11. Seluruh pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas segala bimbingan, bantuan, kritik, dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun siapa saja yang membutuhkannya. Penulis menyadari bahwa laporan tugas

akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati dan terbuka sangat mengharapkan berbagai saran, masukan maupun kritikan dari pembaca guna menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.

Makassar, 12 Juli 2021

JORDY APRILLIANZA BUDIANG
D41114308

ABSTRAK

Visible Light Communication (VLC) adalah teknologi komunikasi yang menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasinya. Teknologi VLC berkembang didasarkan terbatasnya jumlah frekuensi radio yang bisa digunakan serta meningkatnya penggunaan LED dalam sistem pencahayaan. Prinsip kerja VLC pada dasarnya adalah memanfaatkan cahaya LED sebagai *carrier* untuk membawa sinyal informasi lalu ditransmisikan. Cahaya LED yang berisi sinyal informasi kemudian diterima oleh diodafoto pada sisi penerima untuk dikembalikan ke bentuk sinyal aslinya. Pada penelitian ini dirancang prototipe *Transceiver* VLC menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dan sensor fotodioda. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data digital berupa teks menggunakan lampu LED dengan daya 5 W, 10 W, dan 15 W. Pengujian terbagi menjadi 3 skenario, yaitu Skenario 1 untuk mengetahui jarak jangkauan *transceiver*, Skenario 2 untuk mengetahui pengaruh daya LED terhadap kinerja *transceiver*, dan Skenario 3 untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kinerja *transceiver*. Kinerja prototipe *transceiver* dinilai berdasarkan parameter *Throughput*, *Packet Loss*, *Delay*, dan *Jitter*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe *transceiver* VLC dapat mengirim dan menerima data hingga jarak 63 cm dengan lampu LED 15 W. Semakin besar daya lampu LED, maka kinerja *transceiver* akan semakin bagus dengan nilai *Throughput* 21,469 bps, *Delay* 75,766 ms, *Jitter* 0,0132 ms, dan *Packet Loss* 0 % pada jarak kurang dari 63 cm dengan lampu LED 15 W. Semakin jauh jarak antar *transceiver*, maka kinerjanya akan semakin menurun dengan nilai *Throughput* 18,469 bps, *Delay* 157,274 ms, *Jitter* 0,021 ms, dan *Packet Loss* 43,27 - 100% pada jarak lebih dari 63 cm.

Kata Kunci: *Visible Light Communication* (VLC), LED, *Transceiver*, *Throughput*, *Packet Loss*, *Delay*, *Jitter*

ABSTRACT

Visible Light Communication (VLC) is a communication technology that uses visible light as its information carrier. VLC technology developed based on the limited range of radio frequencies that can be used as well as the increasing use of LEDs in lighting systems. The working principle of VLC is basically to use LED light as a carrier to carry the information signal and then transmit it. The LED light containing the information signal then received by the photodiode on the receiving side to be returned to its original signal form. In this study, prototypes of VLC *transceiver* was designed using Arduino UNO microcontrollers and *photodiode* sensors. Testing was conducted by sending digital data in the form of text using LED lights with power 5 W, 10 W, and 15 W. The test is divided into 3 scenarios, namely Scenario 1 to determine the range of the *transceiver*, Scenario 2 to determine the effect of LED power on the *transceiver* performances, and Scenario 3 to determine the effect of distance on the *transceiver* performances. *Transceiver* prototype performance is assessed based on *Throughput*, *Packet Loss*, *Delay*, and *Jitter* parameters. Test results showed that the VLC *transceiver* prototype could send and receive data up to a distance of 63 cm with 15 W LED light. The greater the power of the LED light, the better the performance of the transceiver with a *Throughput* value of 21.469 bps, *Delay* 75.766 ms, *Jitter* 0.0132 ms, and *Packet Loss* 0% at a distance less than 63 cm with 15 W LED light. The farther the distance between the transceivers, the lower the performance with *Throughput* value of 18.469 bps, *Delay* 157.274 ms, *Jitter* 0.021 ms, and *Packet Loss* 43.27 - 100% at distance more than 63 cm.

Keywords: *Visible Light Communication* (VLC), LED, *Transceiver*, *Throughput*, *Packet Loss*, *Delay*, *Jitter*.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian	4
I.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
II.1 Pengertian <i>Visible Light Communication</i> (VLC)	6
II.1.1 Prinsip Kerja VLC	8
II.1.2 Standarisasi VLC	9

II.2 <i>Light Emitting Diode (LED)</i>	11
II.2.1 PC-LED	13
II.2.2 <i>Multi-Chip LED</i>	13
II.2.3 OLED	13
II.2.4 <i>Micro-LED</i>	13
II.3 Dioda Foto (<i>Photodiode</i>).....	15
II.4 Teknik Modulasi untuk VLC.....	17
II.4.1 <i>On-Off Keying (OOK)</i>	17
II.4.2 Teknik Modulasi Pulsa (<i>Pulse Modulation</i>).....	18
II.4.3 <i>Color Shift Keying (CSK)</i>	18
II.5 Transistor IRF520N.....	20
II.6 Resistor	20
II.7 Konektor USB	21
II.8 Arduino UNO	22
II.9 Arduino IDE	23
II.10 <i>Quality of Service (QoS)</i>	24
II.10.1 Parameter-parameter QoS.....	25
II.11 Tinjauan Pustaka	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
III.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	32
III.2 Diagram Alir	33
III.3 Blok Diagram <i>Transceiver VLC</i>	34
III.4 Rangkaian <i>Transceiver VLC</i>	36

III.4.1 Rangkaian <i>Transmitter</i> VLC.....	36
III.4.2 Rangkaian <i>Receiver</i> VLC.....	37
III.4.3 Rangkaian <i>Transceiver</i> VLC	37
III.5 Prinsip Kerja <i>Transceiver</i> VLC	38
III.6 Perancangan Perangkat Keras	40
III.7 Aplikasi Antarmuka (<i>Interface</i>).....	41
III.8 Diagram Alir Kerja Sistem <i>Transceiver</i> VLC	42
III.9 Skenario Pengujian <i>Transceiver</i> VLC	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
IV.1 Pengujian jarak maksimal antara <i>Transceiver</i> pengirim dan <i>Transceiver</i> penerima (Skenario 1).....	47
IV.2 Pengujian pengaruh daya lampu LED terhadap kinerja <i>Transceiver</i> VLC (Skenario 2)	51
IV.2.1 Hasil Pengukurun <i>Throughput</i> dengan Daya LED Berbeda.....	52
IV.2.2 Hasil Pengukurun <i>Packet Loss</i> dengan Daya LED Berbeda	53
IV.2.3 Hasil Pengukurun <i>Delay</i> dengan Daya LED Berbeda.....	54
IV.2.4 Hasil Pengukurun <i>Jitter</i> dengan Daya LED Berbeda	55
IV.3 Pengujian pengaruh jarak terhadap kinerja <i>Transceiver</i> VLC (Skenario 3)..	56
IV.3.1 Hasil Pengukurun <i>Throughput</i> pada Jarak Berbeda	58
IV.3.2 Hasil Pengukurun <i>Packet Loss</i> pada Jarak Berbeda	59
IV.3.3 Hasil Pengukurun <i>Delay</i> pada Jarak Berbeda.....	60
IV.3.4 Hasil Pengukurun <i>Jitter</i> pada Jarak Berbeda.....	61
IV.4 Pembahasan.....	62

IV.5 Implementasi Teknologi <i>Visible Light Communication</i> (VLC).....	64
BAB V PENUTUP	66
V.1 Kesimpulan.....	66
V.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi perangkat menurut IEEE 802.15.7	11
Tabel.2.2 Perbandingan beberapa jenis LED	12
Tabel 2.3 Pusat, Kode, dan koordinat Kromatisitas tujuh pita dalam CSK	19
Tabel 2.4 Kategori <i>Throughput</i>	25
Tabel 2.5 Kategori <i>Packet Loss</i>	26
Tabel 2.6 Kategori <i>Delay (Latency)</i>	27
Tabel 2.7 Kategori <i>Jitter</i>	27
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Jarak Horizontal Maksimal <i>Transceiver</i> VLC	48
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Jarak Vertikal Maksimal <i>Transceiver</i> VLC	49
Tabel 4.3 Hasil Pengukurun <i>Throughput</i> dengan Daya LED Berbeda	52
Tabel 4.4 Hasil Pengukurun <i>Packet Loss</i> dengan Daya LED Berbeda.....	53
Tabel 4.5 Hasil Pengukurun <i>Delay</i> dengan Daya LED Berbeda	54
Tabel 4.6 Hasil Pengukurun <i>Jitter</i> dengan Daya LED Berbeda.....	55
Tabel 4.7 Hasil Pengukurun <i>Throughput</i> pada Jarak yang Berbeda	58
Tabel 4.8 Hasil Pengukurun <i>Packet Loss</i> pada Jarak yang Berbeda.....	59
Tabel 4.9 Hasil Pengukurun <i>Delay</i> pada Jarak yang Berbeda.....	60
Tabel 4.10 Hasil Pengukurun <i>Jitter</i> pada Jarak yang Berbeda.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik	6
Gambar 2.2 Gambaran prinsip kerja VLC.....	9
Gambar 2.3 Bentuk dan simbol LED	14
Gambar 2.4 Prinsip kerja LED	15
Gambar 2.5 Simbol, struktur, dan bentuk diode foto	17
Gambar 2.6 Diagram Kromatisitas	19
Gambar 2.7 Transistor IRF520N	20
Gambar 2.8 Simbol dan bentuk Resistor	21
Gambar 2.9 Konektor USB	21
Gambar 2.10 Arduino UNO	22
Gambar 2.11 Arduino IDE	23
Gambar 3.1 Diagram Alir <i>Transceiver</i> VLC.....	33
Gambar 3.2 Blok diagram <i>Transceiver</i> VLC	35
Gambar 3.3 Rangkaian <i>Transmitter</i> VLC	36
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Receiver</i> VLC	37
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Transceiver</i> VLC	37
Gambar 3.6 Antarmuka Arduino IDE	38
Gambar 3.7 Ilustrasi Prinsip Kerja <i>Transceiver</i> VLC	39
Gambar 3.8 <i>Serial Monitor</i> Arduino IDE.....	42
Gambar 3.9 Diagram Alir Kerja Sistem <i>Transceiver</i> VLC	42
Gambar 3.10 <i>Capture</i> data menggunakan <i>Wireshark</i>	44

Gambar 3.11	Diagram Alir Pengujian <i>Transceiver</i> VLC.....	45
Gambar 3.12	Skenario Pengujian <i>Transceiver</i> VLC Posisi Horizontal	46
Gambar 3.13	Skenario Pengujian <i>Transceiver</i> VLC Posisi Vertikal	46
Gambar 4.1	Hasil pengiriman teks pada jarak 63 cm.....	50
Gambar 4.2	Hasil penerimaan teks pada jarak 63 cm	50
Gambar 4.3	Hasil pengiriman teks dan <i>capture</i> data lampu LED 10 W	51
Gambar 4.4	Hasil penerimaan teks dan <i>capture</i> data lampu LED 10 W.....	52
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Daya LED terhadap <i>Throughput</i>	53
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Daya LED terhadap <i>Delay</i>	55
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Daya LED terhadap <i>Jitter</i>	56
Gambar 4.8	Hasil pengiriman teks dan <i>capture</i> data pada jarak 40 cm.....	57
Gambar 4.9	Hasil penerimaan teks dan <i>capture</i> data pada jarak 40 cm.....	57
Gambar 4.10	Grafik Pengaruh Jarak terhadap <i>Throughput</i>	58
Gambar 4.11	Grafik Pengaruh Jarak terhadap <i>Delay</i>	60
Gambar 4.12	Grafik Pengaruh Jarak terhadap <i>Jitter</i>	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Datasheet Photodiode</i>	72
Lampiran 2 <i>Datasheet</i> Transistor MOSFET IRF520N	78
Lampiran 3 <i>Source Code Transceiver VLC</i>	86
Lampiran 4 Jurnal Penelitian Terkait	89
Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian <i>Transceiver VLC</i>	109
Lampiran 6 Hasil Pengambilan Data <i>Transceiver VLC</i>	115

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada saat ini, teknologi telah mengalami perkembangan yang sangat pesat, khususnya teknologi dalam bidang elektronika dan bidang telekomunikasi. Contoh yang bisa terlihat adalah kebanyakan orang saat ini telah memiliki *smartphone*. Dengan *smartphone*, orang-orang sudah bisa dengan mudah untuk melakukan akses ke internet dan lama kelamaan hal ini telah menjadi suatu kebiasaan sehingga kini internet telah menjadi kebutuhan yang tidak bisa dihilangkan di masyarakat. Namun, peningkatan jumlah orang yang mengakses internet tidak dapat diikuti oleh peningkatan sarana dan infrastruktur untuk mengakses internet. Orang-orang menginginkan akses internet yang handal, cepat, dan dapat dilakukan di mana saja.

Internet merupakan salah satu jenis jaringan yang berkembang dengan menggunakan tipe jaringan nirkabel atau wireless. Sarana yang paling umum digunakan untuk mengakses internet adalah Wi-Fi. Namun, beberapa tahun belakangan ini telah berkembang sebuah teknologi wireless yang disebut *Visible Light Communication* (VLC). Berbeda dengan Wi-Fi yang menggunakan gelombang mikro, VLC menggunakan cahaya sebagai media untuk mentransmisikan informasi, sehingga teknologi ini dapat diintegrasikan dengan sistem pencahayaan khususnya sistem pencahayaan yang menggunakan lampu LED. Dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan, VLC telah menunjukkan

hasil yang cukup memuaskan, di mana kecepatan transfer datanya bisa mencapai beberapa Gbps. Namun, kecepatan transfer yang tinggi ini hanya bisa dicapai dalam jarak yang cukup pendek. Oleh karena itu, hingga saat ini penelitian-penelitian tentang VLC masih terus dilakukan untuk meningkatkan kemampuannya.

Di Indonesia sendiri teknologi VLC ini masih terdengar sangat asing dan penelitian yang dilakukan masih sangat sedikit. Padahal jumlah pengguna internet di Indonesia termasuk salah satu yang terbesar di dunia. Pada tahun 2018 saja, jumlah pengguna internet di Indonesia diperkirakan mencapai 112,5 juta orang dan diprediksi pada tahun 2022 jumlah ini akan bertambah menjadi 139 juta orang [1]. Dengan kondisi seperti ini, VLC dinilai memiliki potensi untuk berkembang di Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis mengusulkan untuk merancang prototipe *Transceiver* yang berbasis teknologi VLC dengan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, lampu LED, dan sensor fotodioda untuk kemudian diuji guna mengetahui kinerjanya dalam mengirim dan menerima data. Dari penelitian ini, kedepannya diharapkan bisa berkontribusi dalam perkembangan teknologi VLC sebagai salah satu alternatif komunikasi *wireless* selain Wi-Fi.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang di kemukakan di atas, maka rumusan masalah yang dihadapi dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang perangkat *Transceiver* untuk sistem VLC ?
2. Berapa jarak jangkauan *Transeiver* VLC yang telah dibuat?

3. Bagaimana pengaruh daya lampu LED terhadap kinerja *Transceiver* VLC?
4. Bagaimana pengaruh jarak terhadap kinerja *Transceiver* VLC ?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui mengenai teknologi VLC dan merancang sebuah perangkat *Transceiver* untuk sistem VLC.
2. Mengetahui jarak jangkauan *Transeiver* VLC yang telah dibuat.
3. Mengetahui pengaruh daya lampu LED terhadap kinerja *Transceiver* VLC.
4. Mengetahui pengaruh jarak terhadap kinerja *Transceiver* VLC.

I.4 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan penelitian ini, sistem yang akan di buat di batasi pada hal-hal berikut:

1. Perancangan dan pembuatan *Transceiver* VLC menggunakan mikrokontroler Arduino UNO.
2. Jenis modulasi yang digunakan dalam percobaan ini adalah modulasi *On-Off Keying* (OOK).
3. Dalam penelitian ini, data yang dikirimkan berupa teks.
4. Kinerja *Transceiver* VLC dinilai berdasarkan Parameter QoS yang terbatas pada *Throughput, Packet Loss, Delay, dan Jitter*.
5. Dalam percobaan ini daya lampu LED yang digunakan sebesar 5 W, 10 W, dan 15 W.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat seperti yang di uraikan berikut ini:

1. Bagi penulis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu tolak ukur kemampuan dan potensi pada diri sendiri dan sebagai disiplin ilmu yang telah didapatkan dibangku perkuliahan.
2. Bagi Institusi Pendidikan Departemen Teknik Elektro & pada bidang Teknologi Telekomunikasi dan Informasi, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi ilmiah dalam mengembangkan suatu penelitian yang berhubungan dengan topik *Visible Light Communication (VLC)*, serta mempersiapkan Departemen Teknik Elektro dalam menghadapi perkembangan teknologi di masa yang akan datang.
3. Bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian ini diharapkan menjadi pemicu kreativitas untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang teknologi informasi dan telekomunikasi.

I.6 Sistematika Penulisan

Agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka Tugas Akhir ini akan dibagi ke dalam lima bab. Isi masing-masing dari bab diuraikan secara singkat dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, tahapan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan definisi yang diambil dari kutipan referensi yang berkaitan dengan penyusunan laporan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi lokasi dan waktu penelitian, perancangan dan pembuatan skema rangkaian alat, penjelasan skema rangkaian alat, dan skenario pengujian alat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil pengujian alat yang meliputi parameter-parameter yang telah dijelaskan di batasan masalah dan pembahasan analisis hasil pengujian alat secara keseluruhan.

BAB V PENUTUP

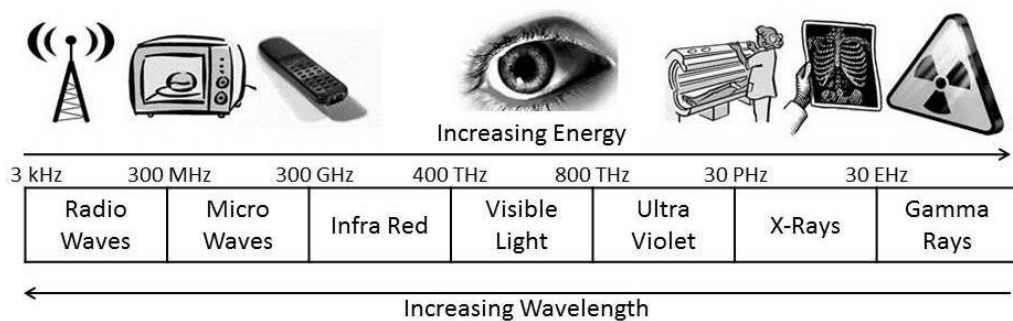
Bab ini berisi tentang beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan analisis hasil pengujian alat dan saran-saran dari penulis yang perlu di tingkatkan dalam penelitian di kemudian hari.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Pengertian *Visible Light Communication* (VLC)

Komunikasi nirkabel telah melalui beberapa pergeseran paradigma mulai dari penemuan gelombang elektromagnetik (EM), telegraf nirkabel, dan penemuan radio. **Gambar 2.1** menggambarkan spektrum EM bersama dengan pita panjang gelombang berbagai gelombang yang meliputi gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, *ultraviolet*, sinar X dan sinar gamma. Sepanjang spektrum EM, seiring berkurangnya panjang gelombang, frekuensi serta energi gelombang meningkat. *Radio Frequency* (RF) adalah bagian yang paling banyak digunakan dari spektrum EM untuk tujuan komunikasi, terutama karena sedikit gangguan pada pita frekuensi dan cakupan area yang luas. Namun, beberapa faktor termasuk spektrum RF yang cepat berkurang mendorong kebutuhan untuk teknologi alternatif [2].



Gambar 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik [2]

Visible Light Communication (VLC) adalah istilah yang diberikan pada sistem komunikasi nirkabel optik yang menyampaikan informasi dengan memodulasi informasi pada cahaya yang terlihat oleh mata manusia. Komunikasi

dicapai dengan menyalakan dan mematikan lampu LED pada kecepatan yang lebih tinggi dari apa yang dapat dilihat oleh mata manusia [3]. VLC muncul sebagai solusi untuk mengatasi spektrum radio yang padat untuk sistem komunikasi nirkabel [2].

Prinsip sederhana ini memungkinkan teknologi VLC mendukung baik sistem pencahayaan dan komunikasi nirkabel dengan menggunakan LED. Spektrum terlihat adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang dari sekitar 380 nm hingga 780 nm dan dalam hal frekuensi; ini sesuai dengan pita 385 - 789 THz [3].

VLC merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang sedang populer selama beberapa tahun ini dan diasumsikan akan terus berlanjut beberapa dekade ke depan. Hal ini karena teknologi VLC menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan komunikasi nirkabel sebelumnya yakni *Radio Frequency* (RF) dan *infrared* (IR) , seperti diantaranya mampu mentransfer dengan kecepatan mencapai GHz, tidak memiliki interferensi elektromagnetik, bebas lisensi karena independen, lebih aman (*secure*) karena sifat cahaya tidak dapat menembus penghalang, dan infrastruktur telah tersedia pada rumah hunian manusia saat ini yakni berupa lampu penerangan sehingga bersifat *low cost* [2].

Teknologi VLC bertajuk *Light Fidelity* (Li-Fi) pernah didemonstrasikan kepada khalayak umum oleh Prof. Harald Haas di forum TEDx. Sistem komunikasi tersebut mampu melakukan *streaming* video dengan kualitas HD. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi VLC menjadi teknologi alternatif yang potensial

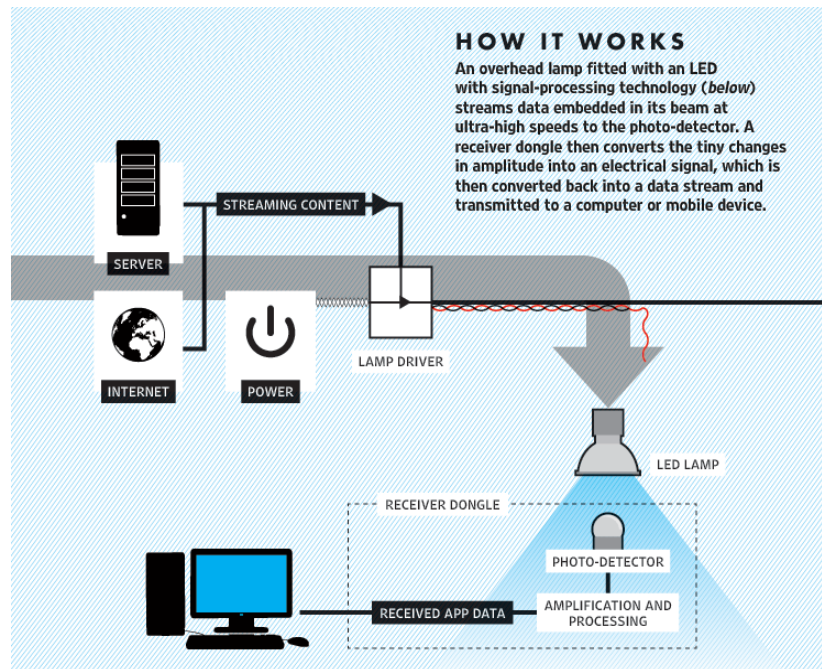
untuk menyediakan akses kecepatan tinggi bagi perangkat seperti tablet, laptop, *smartphone*, dan perangkat-perangkat lain dalam ruang (*indoor environment*). Sebuah penelitian berhasil mencapai kecepatan transmisi data hingga 1 Gbps menggunakan LED warna merah, hijau, dan biru, serta lensa optik dengan jarak kanal antara *Transceiver* beberapa sentimeter. Eksperimen lain mampu mentransmisikan hingga 500 Mb/s dengan bagian *receiver* dilengkapi *RC-post equalizer* satu tingkat. Sedangkan dengan *RC-post equalizer* tiga tingkat mampu dikirimkan data hingga 340Mb/s. Pada ketiga penelitian tersebut, data-data yang dikirimkan adalah berupa sinyal yang dibangkitkan oleh *signal generator* sebagai verifikasi rancangan. Selanjutnya, eksperimen tentang pengiriman sinyal audio melalui LED dengan jarak beberapa sentimeter dengan *output* berupa *loudspeaker* juga telah dilakukan [2].

II.1.1 Prinsip Kerja VLC

Transmitter radio VLC dan modul *receiver* bekerja berdasarkan modulasi intensitas/deteksi langsung yang ditunjukkan, yang terdiri dari *Digital to Analog Converter* (DAC), penguat transkonduktansi, *Low Pass Filter* (LPF) dan LED berkecepatan tinggi di bagian *transmitter* dan dioda foto, penguat transimpedansi, *Analog to Digital Converter* (ADC) di bagian *receiver* [3].

LED mengubah sinyal listrik menjadi energi optik yang menyediakan pencahayaan serta komunikasi. Informasi di *line-encoded* dan dimodulasi oleh DAC, dan kemudian disampaikan pada sinyal optik dengan memodulasi amplitudo atau beberapa fitur lain dari lampu LED. Pada penerima, dioda foto mengubah daya

optik yang diterima menjadi sinyal listrik, yang kemudian diperkuat, didemodulasi dan diterjemahkan oleh penguat TIA, LPF dan ADC untuk memulihkan bit-bit pesan pengguna [3].



Gambar 2.2 Gambaran prinsip kerja VLC [3]

Platform VLC terdiri atas tiga bagian utama, yakni *transmitter*, *receiver*, dan kanal. Sedangkan menurut *layer*, dibagi menjadi lima bagian utama yakni, *Physical*, *MAC*, *Internet*, *Transport*, dan *Application*. Kelima hal tersebut merupakan pembangun sistem VLC yang masing-masing memiliki tantangan tersendiri dalam mendesain dan saat interkoneksi dengan *layer* lainnya [4].

II.1.2 Standarisasi VLC

VLC adalah salah satu kandidat yang menjanjikan untuk komunikasi karena perkembangan pesat pencahayaan *solid state*. Namun, tantangan tertentu yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

- a. Integrasi VLC dengan standar komunikasi yang sudah ada seperti Wi-Fi, dll.

- b. Masalah interferensi dengan sumber-sumber cahaya *ambient*.
- c. Masalah mobilitas seperti *handover* harus benar-benar dipertimbangkan di VLC.
- d. Untuk meningkatkan performa sistem komunikasi dengan menentukan skema *Forward Error Correction*.
- e. Interferensi antara perangkat-perangkat berbeda yang menggunakan VLC telah diperkirakan di masa depan karena meningkatnya jumlah perangkat VLC.

Untuk mengatasi masalah di atas, standarisasi VLC sangat penting. Standarisasi VLC telah dilakukan oleh *Visible Light Communication Consortium* (VLCC) di Jepang dan IEEE. *The Japan Electronics and Information Technology Industries Association* (JEITA) CP-1221, JEITA Cp-1222 dan JEITA Cp-1223 diterbitkan oleh VLCC. 802.15.7 adalah standar yang diselesaikan oleh IEEE untuk lapisan fisik dan MAC. Standar ini ditujukan untuk:

- a. Menyediakan akses ke beberapa ratus pita THz.
- b. Memberikan ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik.
- c. Komunikasi yang melengkapi layanan ekstra untuk infrastruktur pencahayaan yang telah ada.
- d. Menentukan skema FEC, teknik modulasi, dan kecepatan data untuk komunikasi VLC.
- e. Mekanisme akses kanal seperti *Contention Access Period* (CAP), *Contention Free Period* (CFP), dan dukungan visibilitas selama akses kanal juga dijelaskan.
- f. Spesifikasi *layer* PHY seperti pemetaan optik, TX-RX *turn around time*, RX-TX *turn around time* dan *flicker* dan *dimming mitigation* juga dijelaskan.

IEEE 802.15.7 menyediakan patokan minimum untuk pengembangan produk baru. Tiga kelas perangkat berbeda yang dipertimbangkan untuk VLC adalah kendaraan, seluler dan infrastruktur seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**. Standar JEITA CP-1221 bertujuan untuk menyajikan persyaratan yang diperlukan dan tingkat indikasi yang diperlukan untuk menghindari interferensi antara perangkat VLC yang berbeda. Rentang panjang gelombang untuk VLC yang diasumsikan oleh JEITA CP-1221 adalah 380nm-750nm [5].

Tabel 2.1 Klasifikasi perangkat menurut IEEE 802.15.7 [5]

	<i>Infrastructure</i>	<i>Mobile</i>	<i>Vehicle</i>
<i>Fixed Coordinator</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
<i>Power Supply</i>	<i>Ample</i>	<i>Limited</i>	<i>Moderated</i>
<i>Form Factor</i>	<i>Unconstrained</i>	<i>Constrained</i>	<i>Unconstrained</i>
<i>Light Source</i>	<i>Intense</i>	<i>Weak</i>	<i>Intense</i>
<i>Physical Mobility</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>
<i>Range</i>	<i>Short/Long</i>	<i>Short</i>	<i>Long</i>
<i>Data Rates</i>	<i>High/Low</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>

II.2 Light Emitting Diode (LED)

LED adalah semikonduktor yang menghasilkan cahaya. Ketika elektron memasuki semikonduktor, elektron berikatan dengan lubang di substrat dan energi dilepaskan dalam bentuk foton-foton. Ada beberapa variabel yang perlu dipertimbangkan ketika memilih LED dan variabel-variabel ini harus ditimbang terhadap satu sama lain. Intensitas maksimum LED memengaruhi waktu naik (*Rise*

time). Intensitas rendah memungkinkan untuk memiliki waktu naik yang singkat dan meningkatkan intensitas menambah waktu naik. Semakin banyak intensitas yang dihasilkan LED, semakin banyak daya yang dibutuhkan, dan semakin banyak panas yang dihasilkan [3].

LED, karena karakteristik unik mereka dari kecepatan *switching* yang tinggi telah menjadi sumber cahaya yang paling cocok untuk VLC. Dengan perkembangan baru-baru ini untuk sumber cahaya yang efisien energi untuk perumahan, ritel, dan unit komersial, LED dengan cepat menggantikan pencahayaan tradisional, yang membuat kasus penggunaannya untuk VLC jauh lebih besar [2].

Perbandingan antara berbagai jenis LED ini disajikan pada **Tabel 2.2**. Seperti yang dapat dilihat, masing-masing jenis memiliki karakteristik khusus sendiri yang memungkinkan mereka untuk secara khusus dipilih untuk berbagai jenis aplikasi dengan persyaratan spesifik.

Tabel.2.2 Perbandingan beberapa jenis LED [2]

Parameter	PC-LED	RGB LED	μ-LED	OLED
<i>Bandwidth</i>	3-5 MHz	10-20 MHz	≥300MHz	≤100MHz
<i>Efficacy</i>	130 lm/W	65 lm/W	N/A	45 lm/W
<i>Cost</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Lowest</i>
<i>Complexity</i>	<i>Low</i>	<i>Moderate</i>	<i>Highest</i>	<i>High</i>
<i>Application</i>	<i>Illumination</i>		<i>Bio-sensors</i>	<i>Display</i>

II.2.1 PC-LED

Cahaya putih oleh LED diproduksi terutama menggunakan dua metode. Metode pertama, menggunakan *Phosphor Converted LED* (PC-LED) menggunakan *chip Indium Gallium Nitrida* (InGaN) LED biru untuk memompa lapisan fosfor *Yttrium Aluminium Garnet* (YAG). Fosfor mengubah bagian dari cahaya biru menjadi hijau, kuning dan merah dari spektrum sementara bagian lain dari cahaya biru bocor keluar, campuran inilah yang menghasilkan cahaya putih [2].

II.2.2 Multi-Chip LED

Pendekatan '*multi-chip*' menggunakan 3 atau lebih *chip* LED yang memancarkan warna berbeda, biasanya Merah, Hijau dan Biru (RGB), untuk menghasilkan cahaya putih. Tergantung pada intensitas cahaya dari *chip* yang berbeda, kontrol warna dapat dicapai [2].

II.2.3 OLED

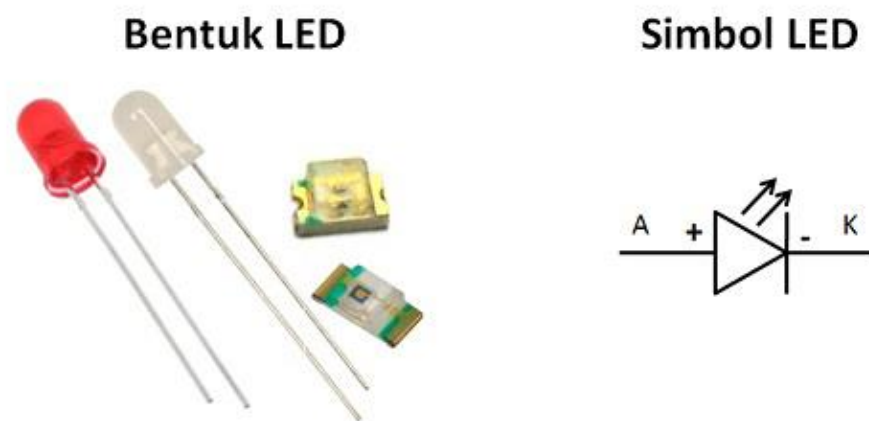
Organic Light Emitting Diode (OLED) menghasilkan cahaya menggunakan lapisan organik yang diapit di antara *carrier* positif dan negatif, dan digunakan terutama di panel *display*. Respons frekuensi khas untuk OLED adalah dalam urutan 100-an kHz, jauh lebih rendah daripada LED anorganik yang membuat OLED kurang cocok untuk aplikasi kecepatan tinggi [2].

II.2.4 Micro-LED

AlGaIn yang berbasis susunan *Micro - Light Emitting Diode* telah dikembangkan untuk VLC dan *Polymer Optical Fiber* (POF) baru-baru ini. *Micro*

LED memiliki potensi untuk digunakan sebagai panel *display* yang menggabungkan komunikasi paralel kepadatan tinggi. Susunan ini biasanya memancarkan cahaya dalam rentang panjang gelombang 370-520 nm, dengan kemungkinan menggunakan konversi panjang gelombang untuk menghasilkan cahaya putih [2].

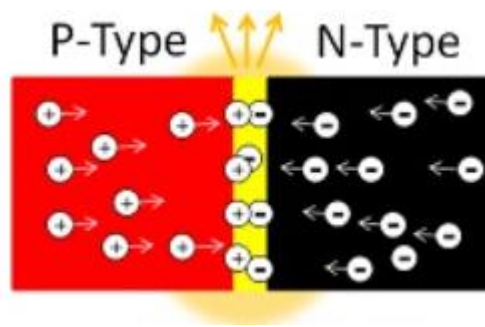
LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna Cahaya yang dipancarkan oleh LED tergantung pada jenis bahan semikonduktor yang dipergunakannya. LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata seperti yang sering kita jumpai pada *Remote Control* TV ataupun *Remote Control* perangkat elektronik lainnya [6]. **Gambar 2.3** menunjukkan bentuk LED yang paling umum dan simbol LED yang digunakan dalam dunia elektronika.



Gambar 2.3 Bentuk dan simbol LED [6]

LED terdiri dari sebuah *chip* semikonduktor yang di *doping* sehingga menciptakan *junction* P dan N. Yang dimaksud dengan proses *doping* dalam

semikonduktor adalah proses untuk menambahkan ketidakmurnian (*impurity*) pada semikonduktor yang murni sehingga menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Ketika LED dialiri tegangan maju atau *bias forward* yaitu dari Anoda (P) menuju ke Katoda (K), Kelebihan elektron pada *N-Type material* akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *Hole* (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (*P-Type material*). Saat elektron berjumpa dengan *Hole* akan melepaskan *photon* dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna) seperti yang terlihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Prinsip kerja LED [6]

II.3 Dioda Foto (*Photodiode*)

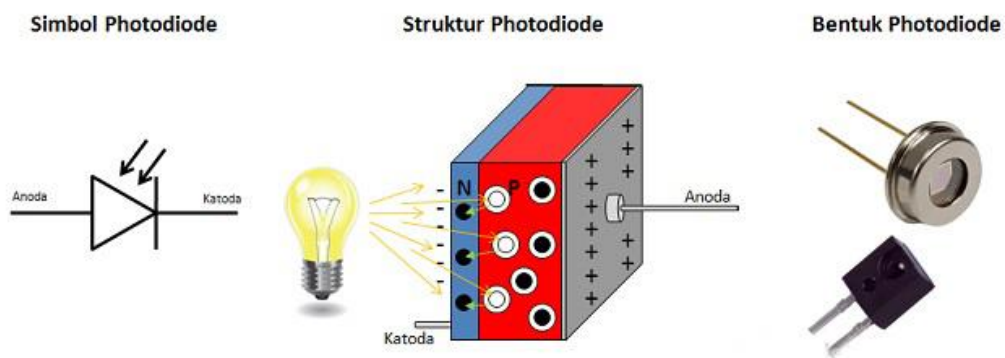
Dioda foto adalah semikonduktor mengkonversi cahaya menjadi arus listrik. Sebagian besar dioda foto di pasar produksinya diperuntukkan untuk serat optik. Dalam aplikasi serat optik, area sensitif pancaran dari dioda foto kecil dan waktu naik / turun pendek. Dengan area sensitif pancaran yang meningkat, waktu respons akan lebih lambat. Tanpa serat optik, area sensitif pancaran yang lebih luas memungkinkan penerima menangkap lebih banyak cahaya. Oleh karena itu, pilihan dioda foto terbatas. Persyaratan dioda foto adalah waktu respon cepat, sensitivitas spektral dalam spektrum tampak dan area pancaran sensitif yang luas [3].

Photodiode atau yang disebut juga dengan dioda foto adalah komponen elektronika yang dapat mengubah cahaya menjadi arus listrik. Dioda Foto merupakan komponen aktif yang terbuat dari bahan semikonduktor dan tergolong dalam keluarga dioda. Seperti dioda pada umumnya, *Photodiode* atau dioda foto ini memiliki dua kaki terminal yaitu kaki terminal Katoda dan kaki terminal Anoda, namun dioda foto memiliki lensa dan filter optik yang terpasang dipermukaannya sebagai pendeteksi cahaya. Cahaya yang dapat dideteksi oleh dioda foto diantaranya seperti cahaya matahari, cahaya tampak, sinar inframerah, sinar *ultraviolet* hingga sinar X [7].

Photodiode terdiri dari satu lapisan tipis semikonduktor tipe-N yang memiliki kebanyakan elektron dan satu lapisan tebal semikonduktor tipe-P yang memiliki kebanyakan *hole*. Lapisan semikonduktor tipe-N adalah Katoda sedangkan lapisan semikonduktor tipe-P adalah Anoda [7].

Saat *Photodiode* terkena cahaya, Foton yang merupakan partikel terkecil cahaya akan menembus lapisan semikonduktor tipe-N dan memasuki lapisan semikonduktor tipe-P. Foton-foton tersebut kemudian akan bertabrakan dengan elektron-elektron yang terikat sehingga elektron tersebut terpisah dari intinya dan menyebabkan terjadinya *hole*. Elektron terpisah akibat tabrakan dan berada dekat persimpangan PN (PN junction) akan menyeberangi persimpangan tersebut ke wilayah semikonduktor tipe-N. Hasilnya, Elektron akan bertambah di sisi semikonduktor N sedangkan sisi semikonduktor P akan kelebihan *hole*. Pemisahan muatan positif dan negatif ini menyebabkan perbedaan potensial pada persimpangan PN. Ketika kita hubungkan sebuah beban ataupun kabel ke Katoda

(sisi semikonduktor N) dan Anoda (sisi semikonduktor P), elektron akan mengalir melalui beban atau kabel tersebut dari Katoda ke Anoda atau biasanya disebut sebagai aliran arus listrik [7]. Struktur, bentuk, dan simbol dioda foto ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Simbol, struktur, dan bentuk dioda foto [7]

II.4 Teknik Modulasi untuk VLC

Modulasi dalam VLC berbeda dari komunikasi RF karena fitur *non-encoding* informasi dalam fase dan amplitudo dari sinyal cahaya . Oleh karena itu, jelas bahwa kita tidak dapat menggunakan modulasi amplitudo dan fase dalam kasus VLC. Modulasi dalam VLC dicapai dengan menggunakan variasi intensitas cahaya yang sesuai dengan informasi dalam sinyal pesan [5].

II.4.1 *On-Off Keying (OOK)*

Di OOK, LED dimatikan dan menyala sesuai dengan aliran bit (*bit stream*). Sebagai contoh, bit 1 mewakili keadaan menyala dan bit 0 mewakili keadaan mati. Dalam OOK, LED tidak benar-benar dimatikan, tetapi dengan mengurangi tingkat intensitas cahaya yang dihasilkan. Keuntungan utama menggunakan OOK adalah

penerapannya yang mudah. Dalam uji coba sebelumnya, VLC menggunakan OOK pada LED putih (kombinasi emitor biru dan fosfor kuning); Namun, ini mengalami keterbatasan *bandwidth* yang rendah karena waktu respon yang lambat dari fosfor kuning [5].

II.4.2 Teknik Modulasi Pulsa (*Pulse Modulation*)

Keterbatasan OOK adalah *data rate* yang rendah, yang memotivasi para peneliti untuk mengembangkan teknik modulasi baru dengan *data rate* yang lebih tinggi. Lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*, PWM) bervariasi menurut tingkat peredupan. Dengan menggunakan frekuensi PWM yang tinggi, tingkat peredupan yang berbeda dapat dicapai antara 0% dan 100%. Keterbatasan PWM adalah *data rate* rendah hingga 4,8 Kbps. PWM dikombinasikan dengan *Discrete Multitone* (DMT) untuk komunikasi bersama dan kontrol peredupan untuk mencapai *data rate* yang lebih besar [5].

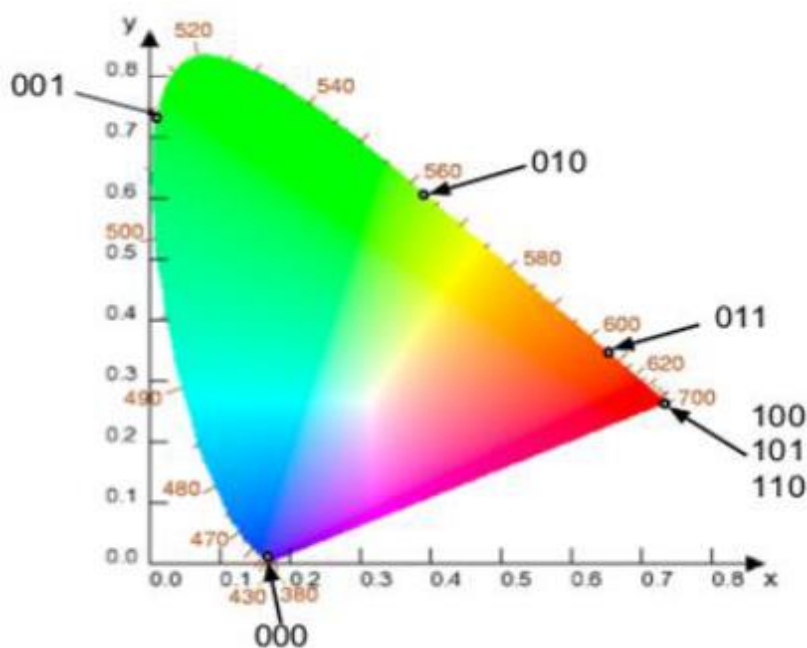
II.4.3 *Color Shift Keying (CSK)*

CSK diusulkan dalam IEEE 802.15.7 untuk meningkatkan *data rate* yang rendah dalam skema modulasi lainnya. Kemampuan *switching* menjadi lambat dengan menghasilkan cahaya putih menggunakan fosfor kuning dan LED biru. Oleh karena itu, cara alternatif untuk menghasilkan cahaya putih adalah pemanfaatan tiga LED yang terpisah seperti LED Hijau, Biru, dan Merah. Modulasi dalam CSK dilakukan dengan memvariasikan intensitas dari tiga warna dalam sumber LED RGB. CSK tergantung pada diagram *Color Space Chromaticity*. Diagram ini memetakan semua warna yang dapat dilihat oleh mata ke dalam dua

parameter kromatisitas seperti x dan y. **Tabel 2.3**, menggambarkan panjang gelombang tujuh pita yang terlihat manusia dengan pusatnya ditandai pada **Gambar 2.6** [5].

Tabel 2.3 Pusat, Kode, dan koordinat Kromatisitas tujuh pita dalam CSK [5]

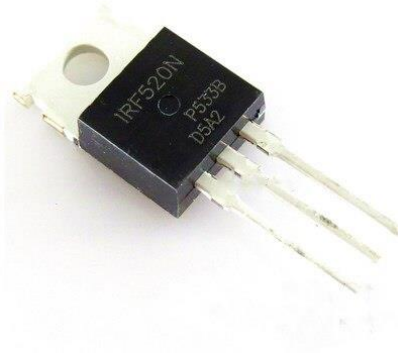
<i>Band (nm)</i>	<i>Code</i>	<i>Center (nm)</i>	<i>(x,y)</i>
380 – 478	000	429	(0.169, 0.007)
478 – 540	001	509	(0.011, 0.733)
540 – 588	010	564	(0.402, 0.597)
588 – 633	011	611	(0.669, 0.331)
633 – 679	100	656	(0.729, 0.271)
679 – 726	101	703	(0.734, 0.265)
726 – 780	110	753	(0.734, 0.265)



Gambar 2.6 Diagram Kromatisitas [5]

II.5 Transistor IRF520N

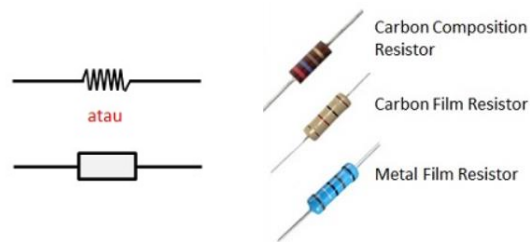
IRF520N adalah *transistor* jenis MOSFET kanal N, memerlukan tegangan gate (V_{gs}) sekitar 2 sampai 4 Volt agar transistor ini aktif sebagai sakelar (ON). Transistor IRF520N mempunyai kemampuan arus *drain* (D) maksimal sebesar 9.2 A pada temperatur 25 °C, dan 6.5 A pada temperatur 100 °C [8]. Transistor IRF520N diperlihatkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.7 Transistor IRF520N [9]

II.6 Resistor

Resistor merupakan salah satu komponen yang paling sering ditemukan dalam rangkaian elektronika. hampir setiap peralatan elektronika menggunakannya. Pada dasarnya *Resistor* adalah komponen elektronika pasif yang memiliki nilai resistansi atau hambatan tertentu yang berfungsi untuk membatasi dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian elektronika. *Resistor* atau sering disebut dengan Hambatan atau Tahanan dan biasanya disingkat dengan Huruf “R”. Satuan hambatan atau resistansi *Resistor* adalah OHM (Ω). Sebutan “OHM” ini diambil dari nama penemunya yaitu Georg Simon Ohm yang juga merupakan seorang Fisikawan Jerman [10]. Simbol dan bentuk *resistor* ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Simbol dan bentuk Resistor [10]

II.7 Konektor USB

Konektor (*Connector*) adalah suatu komponen elektro-ekanikal yang berfungsi untuk menghubungkan satu rangkaian elektronika ke rangkaian elektronika lainnya ataupun untuk menghubungkan suatu perangkat dengan perangkat lainnya. Pada umumnya, Konektor terdiri Konektor *Plug (male)* dan Konektor *Socket (female)* [11].

USB adalah singkatan dari *Universal Serial Bus* dan merupakan media penghubung antara komputer dengan perangkat-perangkat elektronik lainnya seperti *Mouse, Keyboard, Printer, Scanner, Ponsel, Flash Drive, DVD writer, Konsol Permainan, Kamera, Modem* dan bahkan digunakan sebagai media penghubung untuk mengendalikan alat-alat uji dan mesin-mesin produksi. Bentuk konektor USB *male* dan *female* dapat dilihat pada **Gambar 2.9** [12].



Gambar 2.9 Konektor USB [11]

II.8 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328P. Arduino UNO memiliki 14 pin *digital* (6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input analog*, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah *header* ICSP, dan sebuah tombol *reset* [13]. *Board* Arduino UNO dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Arduino UNO [13]

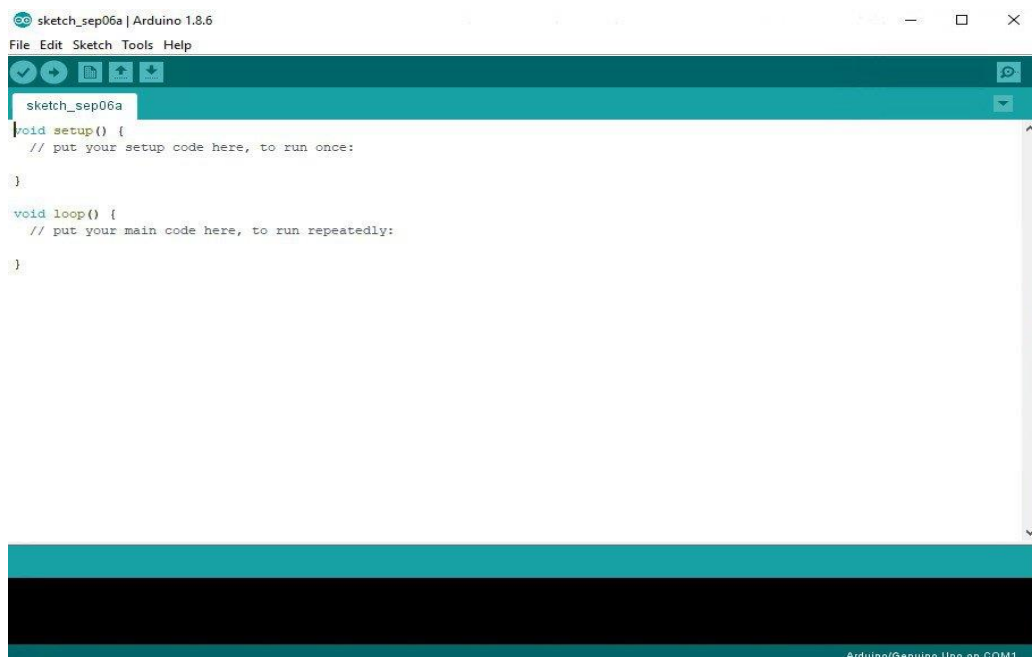
Adapun data teknis *board* Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

- Mikrokontroler : ATmega328P
- Tegangan Operasi : 5V
- Tegangan *Input (recommended)* : 7 - 12 V
- Tegangan *Input (limit)* : 6-20 V
- Pin *digital* I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- Pin *Analog input* : 6
- Arus DC per pin I/O : 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA

- *Flash Memory* : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan untuk *bootloader*
- EEPROM : 1 KB
- Kecepatan *Clock* : 16 Mhz

II.9 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment* yang merupakan *software* untuk melakukan penulisan program, *compile* serta *upload* program ke *board* Arduino [14]. *Arduino Software (IDE)* berisi editor teks untuk menulis kode, area pesan, konsol teks, toolbar dengan tombol untuk fungsi umum dan serangkaian menu. Program yang ditulis menggunakan *Arduino Software (IDE)* disebut *sketch*. Sketsa ini ditulis dalam editor teks dan disimpan dengan ekstensi *file .ino* [15]. Tampilan antarmuka Arduino IDE diperlihatkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Antarmuka Arduino IDE [15]

II.10 *Quality of Service (QoS)*

Quality of Service (QoS) merupakan metode pengukuran tentang seberapa baik jaringan dan merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari satu servis. QoS digunakan untuk mengukur sekumpulan atribut kinerja yang telah dispesifikasikan dan diasosiasikan dengan suatu servis [16].

Model Monitoring QoS terdiri dari komponen *monitoring application*, QoS *monitoring*, *monitor*, dan *monitored objects*.

a. *Monitoring Application*

Merupakan sebuah antarmuka bagi *administrator* jaringan. Komponen ini berfungsi mengambil informasi lalu lintas paket data dari *monitor*, menganalisisnya dan mengirimkan hasil analisis kepada pengguna. Berdasarkan hasil analisis tersebut, seorang administrator jaringan dapat melakukan operasi-operasi yang lain [16].

b. *QoS Monitoring*

Menyediakan mekanisme *monitoring* QoS dengan mengambil informasi nilai-nilai parameter QoS dari lalu lintas paket data [16].

c. *Monitor*

Mengumpulkan dan merekam informasi lalu lintas paket data yang selanjutnya akan dikirimkan kepada *monitoring application*. *Monitor* melakukan pengukuran aliran paket data secara waktu nyata dan melaporkan hasilnya kepada *monitoring application* [16].

d. *Monitored Objects*

Merupakan informasi seperti atribut dan aktifitas yang dimonitor di dalam jaringan. Di dalam konteks *QoS monitoring*, informasi-informasi tersebut merupakan aliran-aliran paket data yang dimonitor secara waktu nyata. Tipe aliran paket data tersebut dapat diketahui dari alamat sumber (*source*) dan tujuan (*destination*) di *layer-layer* IP, *port* yang dipergunakan misalnya UDP atau TCP, dan parameter di dalam paket RTP [16].

II.10.1 Parameter-parameter QoS

Parameter *Quality of Service* terdiri dari:

a. *Throughput*

Throughput yaitu kecepatan (*rate*) transfer data efektif, yang diukur dalam bps (*bit per second*). *Throughput* adalah jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada tujuan selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut. Kategori *Throughput* diperlihatkan di **Tabel 2.4** [16].

Tabel 2.4 Kategori *Throughput* [16]

Kategori <i>Throughput</i>	<i>Throughput</i> (bps)	Indeks
Sangat Bagus	100	4
Bagus	75	3
Sedang	50	2
Jelek	< 25	1

Persamaan 2.1 digunakan untuk menghitung *Throughput*:

$$Throughput = \frac{\text{Paket data diterima}}{\text{Lama Pengamatan}} \quad (2.1)$$

b. *Packet Loss*

Packet Loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang dapat terjadi karena *collision* dan *congestion* pada jaringan. Indeks dan kategori *packet loss* ditunjukkan pada **Tabel 2.5** [16].

Tabel 2.5 Kategori *Packet Loss* [16]

Kategori Degredasi	<i>Packet Loss</i> (%)	Indeks
Sangat Bagus	0	4
Bagus	3	3
Sedang	15	2
Jelek	25	1

Perhitungan *Packet Loss* ditunjukkan oleh Persamaan 2.2.

$$Packet Loss = \frac{(\text{Paket data terkirim} - \text{Paket data diterima}) \times 100\%}{\text{Paket data dikirim}} \quad (2.2)$$

c. *Delay (Latency)*

Delay (Latency) merupakan waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, *congesti* atau juga waktu proses yang lama. Pada **Tabel 2.6** diperlihatkan kategori dari *delay* dan besar *delay* [16].

Tabel 2.6 Kategori *Delay (Latency)* [6]

Kategori <i>Latency</i>	Besar <i>Delay</i> (ms)	Indeks
Sangat Bagus	< 150 ms	4
Bagus	150 ms s/d 300 ms	3
Sedang	300 ms s/d 450 ms	2
Jelek	450 ms	1

Persamaan 2.3 menunjukkan perhitungan *Delay (Latency)*:

$$Delay = \frac{Packet\ Length}{Link\ Bandwidth} \quad (2.3)$$

d. Jitter

Jitter diakibatkan oleh variasi-variasi dalam panjang antrian, dalam waktu pengolahan data, dan juga dalam waktu penghimpunan ulang paket-paket di akhir perjalanan *jitter*. *Jitter* lazimnya disebut variasi *delay*, berhubungan erat dengan *latency*, yang menunjukkan banyaknya variasi *delay* pada transmisi data di jaringan yang diperlihatkan pada **Tabel 2.7** [16].

Tabel 2.7 Kategori *Jitter* [16]

Kategori <i>Jitter</i>	<i>Jitter</i> (ms)	Indeks
Sangat Bagus	0 ms	4
Bagus	0 ms s/d 75 ms	3
Sedang	75 ms s/d 125 ms	2
Jelek	125 ms s/d 225 ms	1

Persamaan perhitungan *Jitter* dapat dilihat pada Persamaan 2.4 dan 2.5.

$$Jitter = \frac{\text{Total variasi Delay}}{\text{Total paket yang diterima}} \quad (2.4)$$

$$\text{Total variasi Delay} = \text{Delay} - (\text{Rata - rata Delay}) \quad (2.5)$$

e. *Out of Order Delivery*

Ketika sekumpulan paket-paket terkait disalurkan melalui jaringan, paket yang berbeda dapat mengambil rute yang berbeda, masing-masing akan menghasilkan penundaan yang berbeda. Hasilnya, paket akan tiba dalam urutan yang berbeda dari saat dikirim. Masalah memerlukan protokol tambahan khusus yang bertanggung jawab untuk menata ulang paket-paket yang *out of order* ke kondisi *isochronous* setelah paket mencapai tujuan. Hal ini penting untuk *streaming* video dan VoIP di mana kualitas dipengaruhi oleh *latency* dan perubahan urutan [16].

f. *Errors*

Paket terkadang rusak karena sedikit kesalahan yang disebabkan oleh *noise* dan interferensi, terutama dalam komunikasi nirkabel dan penggunaan kabel tembaga yang panjang. *Receiver* harus bisa mendeteksi ini dan meminta agar informasi dikirimkan kembali [16].

g. *MOS (Mean Opinion Score)*

Kualitas sinyal yang diterima biasanya diukur secara subjektif dan objektif. Metode pengukuran subjektif yang umum dipergunakan dalam pengukuran kualitas *speech coder* adalah ACR (*Absolute Category Rating*) yang akan menghasilkan

nilai MOS (*Mean Opinion Score*). Tes subjektif ACR meminta pengamat untuk menentukan kualitas suatu *speech coder* tanpa membandingkannya dengan sebuah referensi. Skala *rating* umumnya menggunakan penilaian, yaitu berturut-turut: *Excellent, Good, Fair, Poor*, dan *Bad* dengan nilai MOS berturut-turut: 5, 4, 3, 2, dan 1. Kualitas suara minimum mempunyai nilai setara MOS 4.0 [16].

h. Echo Cancellation

Untuk menjamin kualitas layanan paket *voice over* terutama yang disebabkan oleh *echo* karena *delay* yang terjadi pada jaringan paket, maka perangkat harus menggunakan teknik *echo cancellation*. Persyaratan performansi yang diperlukan untuk *echo canceller* harus mengacu pada standar internasional ITU G.165 atau G.168 [16].

i. Post Dial Delay

Post Dial Delay (PDD) yang diijinkan kurang dari 10 detik dari saat digit terakhir yang dimasukkan sampai mendapatkan *ringing back* [16].

II.11 Penelitian Terkait

Berikut adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai perancangan *transceiver* VLC yang berhasil dirangkum oleh penulis:

1. Penelitian oleh Retno Renggani Nugroho, Inung Wijayanto, Sugondo Hadiyoso (2018) yang berjudul "*Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis VLC dengan LED dan Phototransistor Array*" Program Studi Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom, menjelaskan bahwa

Visible Light Communication (VLC) adalah sistem komunikasi yang menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasinya. Perkembangan VLC didasarkan atas pelarangan penggunaan frekuensi radio di beberapa tempat serta meningkatnya penggunaan LED. Kelebihan LED yaitu mengkonsumsisi daya rendah serta memiliki kecepatan *switching* yang tinggi sehingga cocok untuk mentransmisikan data. Pada penelitian ini dirancang prototipe VLC dengan LED *array* dan *phototransistor array*. Prototipe ini mengirimkan data *digital* berupa teks dalam berbagai ukuran. Pengujian dilakukan dengan kombinasi jarak dan *bitrate* yang berbeda-beda. Prototipe dapat mengirim dan menerima data pada jarak 1-100 cm kecepatan 2400, 4800, dan 9600 bps [17].

2. Penelitian oleh Ganang Saputro, Eny Sukani Rahayu, Dyonisius Dony Ariananda (2019) yang berjudul "*Prototipe Li-Fi dengan Arduino Mega 2560*" Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada, menjelaskan bahwa bentuk implementasi VLC yang dipakai untuk memfasilitasi layanan internet atau pengiriman data adalah teknologi *light fidelity* atau Li-Fi. Pada teknologi Li-Fi, data ditransmisikan dengan menggunakan modulasi pada intensitas cahaya. Isyarat cahaya yang dikirimkan ini akan diterima oleh *photo-sensitive detector*. Isyarat cahaya yang diterima kemudian akan didemodulasikan menjadi isyarat elektrik yang mengandung informasi data. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan prototipe sederhana Li-Fi dengan menggunakan dua buah Arduino Mega 2560. Parameter yang diuji pada prototipe Li-Fi adalah jarak antara pengirim

dan penerima, sudut transmisi dan intensitas LED yang digunakan. Berdasarkan parameter uji tersebut akan diamati kesesuaian isi pesan, tunda waktu dan daya terima pada bagian penerima Li-Fi [18].

3. Penelitian oleh Nenggala Yudhabrama, Inung Wijayanto, Sugondo Hadiyoso (2017) yang berjudul "*Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis Visible Light Communication*" Program Studi Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah prototipe berupa *transceiver* dimana perangkat dapat berperan baik sebagai pengirim maupun penerima. Kemudian akan dilakukan analisis hasil dari perancangan prototipe VLC *transceiver* untuk mengirim data *digital* berupa teks yang berbasis komunikasi cahaya tampak. Pengujian akan dilakukan dengan mengirimkan informasi teks dengan ukuran tertentu yang ditentukan pada sisi pengirim ke sisi penerima. Kemudian, akan dilihat dan dianalisis pengaruh parameter jarak, sudut terima, dan kecepatan terhadap *Character Error Rate* (CER). Pada penelitian ini, desain prototipe yang telah dibuat dapat mengirimkan informasi *digital* berupa teks dengan dengan baik pada rentang jarak 1-12 cm. Rentang sudut terima dimana sistem dapat bekerja dengan baik adalah 0° - 75° . Sistem yang dirancang dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan pengiriman data (*baud rate*) 4800, 9600, dan 19200 bps [19].