

**DESAIN FRONT-END ANALOG SIGNAL CONDITIONING VLC
RECEIVER UNTUK MEREDUKSI GANGGUAN NOISE DARI CAHAYA
AMBIENT
SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Oleh:

MIFTAHUDDIN IRFANI
NIM. I0716020

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2020**

**DESAIN FRONT-END ANALOG SIGNAL CONDITIONING
VLC RECEIVER UNTUK MEREDUKSI GANGGUAN NOISE
DARI CAHAYA AMBIENT**

Disusun oleh

MIFTAHUDDIN IRFANI

NIM. I0716020

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Muhammad Hamka I, S.T., M.Eng,

NIP. 198812292019031011

Feri Adriyanto, Ph.D.

NIP. 196801161999031001

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Senin tanggal

27 Juli 2020

1. **Muhammad Hamka I, S.T., M.Eng,**

NIP. 198812292019031011

.....

2. **Feri Adriyanto, Ph.D.**

NIP. 196801161999031001

.....

3. **Hari Maghfiroh M.Eng**

NIP. 199104132018031001

.....

4. **Agus Ramelan, S.Pd., M.T.**

NIP. 199203152019031017

.....

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro

Koordinator Tugas Akhir

Feri Adriyanto, Ph.D.

NIP. 196801161999031001

Muhammad Hamka I, S.T., M.Eng,

NIP. 198812292019031011

DESAIN FRONT-END ANALOG SIGNAL CONDITIONING VLC RECEIVER UNTUK MEREDUKSI GANGGUAN NOISE DARI CAHAYA AMBIENT

Miftahuddin Irfani¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Email : miftahuddinirfani@student.uns.ac.id

Abstrak

Analog front-end *Visible Light Communication* (VLC) memiliki banyak kesamaan dengan sistem komunikasi front-end analog konvensional lainnya. Ada modifikasi pada bagian filter, pengontrol penguatan analog dan pengontrol offset DC untuk mengkondisikan sinyal sebelum memasukkan komponen digital sehingga dapat dibaca dengan baik setelah melalui saluran komunikasi dengan banyak gangguan atau noise. Sinyal cahaya tampak memiliki panjang gelombang 380-700nm, dan frekuensi cahaya tampak 430-770THz. Frekuensi komunikasi VLC yang sangat tinggi menyebabkan mudah mengalami gangguan. Sinyal masukan fotodioda pada sistem VLC mengalami atenuasi dan offset DC yang sangat besar. pada uji implementasi, keluaran sinyal dari fotodioda dengan kondisi gelap hanya berada pada kisaran 300mV untuk logika 1 dan 200mV untuk logika 0. Oleh sebab itu tanpa adanya analog front end, sinyal fotodioda tidak dapat terbaca oleh rangkaian digital. Perlakuan khusus untuk mengkondisikan sinyal yang sesuai dengan kebutuhan. Front-end analog terdiri dari offset DC cancelation, instrumentation amplifier, dan automatic gain control. Rangkaian filter terdiri dari active high pass filter. Sinyal masukan dari fotodioda akan difilter dan dikuatkan oleh rangkaian dengan nilai penguatan sebesar 11.76dB. Hasil penguatan dari rangkaian DC *offset cancelation* sinyal dikuatkan sebesar 15.314dB dan memfilter sinyal dengan frekuensi diatas. Keuntungan dari penelitian ini terletak pada penggunaan alat LM741 yang banyak ditemukan dipasaran dan implementasi yang mudah.

Kata Kunci : Front End Analog, Visible Light Communication, Operational Amplifier.

DESIGN FRONT-END ANALOGUE SIGNAL CONDITIONING VLC RECEIVER TO REDUCE NOISE DISTORTION FROM AMBIENT LIGHT

Miftahuddin Irfani¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Email : miftahuddinirfani@student.uns.ac.id

Abstract

Visible Light Communication (VLC) analogue front-end has many similarities with other conventional analogue front-end communication systems. There are modifications to the filter section, analogue gain controller and DC offset controller to condition the signal before inserting digital components so that it can be read properly after going through a communication channel with a lot of interference or noise. The light signal without wavelength has a 380-700nm wavelength, and the visible light frequency is 430-770THz. VLC communication frequency is very high, causing easy interference. The photodiode masukan signal in the VLC system experiences a very large attenuation and DC offset. in the implementation test, the signal output from photodiodes in dark conditions is only in the range of 300mV for logic 1 and 200mV for logic 0. Therefore, without an analogue front end, the photodiode signal cannot be read by a digital circuit. The special treatment to condition the signal as needed. Analogue front end consists of offset DC cancelation, instrumentation amplifier, and automatic gain control. The filter circuit consists of an active high pass filter. The masukan signal from the photodiode will be filtered and amplified by the circuit with a gain value of 11.76dB. The gain from the DC offset cancelation circuit is amplified by 15.314 dB and filters the signal with the frequency above. The advantage of this research lies in the use of LM741 tools which are commonly found in the market and in easy implementation.

Keywords: *Analog Front End, Visible Light Communication, Operational Amplifier.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan limpahan karunia-Nya sehingga pelaksanaan tugas akhir berjudul "*Desain Front-End Analog Signal Conditioning VLC Receiver Untuk Mereduksi Gangguan Noise Dari Cahaya Ambient*" dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini memberikan banyak pembelajaran moral untuk penulis. Tugas akhir ini tidak hanya sekadar hasil yang ditulis diatas kertas putih sebagai syarat untuk memenuhi gelar sarjana teknik, tetapi juga hikmah dari proses seperti kerja keras, keikhlasan, dan pantang menyerah yang dapat penulis ambil. Tidak lupa juga berkat penerapan ilmu studi selama perkuliahan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak, laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penyelesaian tugas akhir ini tidaklah mudah; terdapat banyak pihak yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini. Melalui kata pengantar ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Hamka Ibrahim, S.T., M.Eng. selaku Pembimbing I, dan koordinator tugas akhir yang telah memberikan ide, saran, arahan, bimbingan, dan motivasi selama mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai.
2. Feri Adriyanto, Ph.D. selaku kepala Program Studi Teknik Elektro UNS sekaligus Pembimbing II, yang telah memberikan ide, saran, arahan, bimbingan, dan motivasi selama mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai.
3. Bapak Hari Maghfiroh, M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan dukungan, ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Agus Ramelan, S.Pd., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan dukungan, ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Segenap dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, motivasi, dan inspirasi yang luar biasa selama menjalani masa perkuliahan selama kurang lebih empat tahun ini.

6. Segenap keluarga yang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan materi dan nonmateri kepada penulis
7. Annisa Hanifa, sebagai partner dalam peminatan Sistem Isyarat Elektronika selama dua tahun ini dan partner dalam mengerjakan tugas akhir yang telah saling membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret Surakarta dan teman-teman lainnya yang telah memberikan bantuan dan forum diskusi.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis baik langsung maupun tidak langsung yang tidak atau belum disebutkan satu persatu.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberi manfaat, wawasan, dan inspirasi bagi siapa saja yang membacanya. Namun, penulis juga menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan di dalam skripsi ini, sehingga penulis juga mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar karya tulis berikutnya dapat lebih baik lagi.

Surakarta, 10 Juni 2020

Miftahuddin Irfani

I0716020

DAFTAR ISI

Abstrak	iii
Abstract	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Sebelumnya	6
2.2 <i>Visible Light Communication</i> (VLC)	7
2.3 <i>Light Emitting Diode</i> (LED).....	9
2.4.1 SiC LED.....	10
2.4.2 GaAs dan AlGaAs Infrared dan red LED	10
2.4.3 GaAsP LED.....	11
2.4.4 GaP dan GaAsP LED dengan Doping Pengotor Aktif Optik	11
2.4.5 GaN <i>metal–semiconductor emitters</i>	12
2.4.6 LED Biru, Hijau, dan Putih dengan GaInN <i>p-n junctions</i>	13
2.4.7 AlGaInP <i>visible-spectrum</i> LED	14
2.4 <i>Photodiode</i>	15
2.4.1 <i>Photodetector</i>	18
2.4.2 <i>PIN Photodiode</i>	18
2.4.3 <i>Avalanche Photodiode</i>	19
2.4.4 <i>Phototransistor</i>	19
2.5 <i>Modulator dan Demodulator</i>	20
2.6 <i>Variable Pulse Position Modulation</i> (VPPM).....	22

2.7	Rangkaian Analog	23
2.7.1	<i>Filter</i>	23
2.7.2	<i>High Pass Filter</i>	25
2.7.3	<i>Low Pass Filter</i>	27
2.7.4	<i>DC Offset Cancellation</i>	28
2.7.5	<i>Operational Amplifier</i>	29
2.7.6	<i>Inverting Amplifier</i>	31
2.7.7	<i>Non-Inverting Amplifier</i>	32
2.7.8	<i>Comparator Amplifier</i>	33
2.8	Rangkaian Digital.....	34
2.8.1	Rangkaian Kombinasional	34
2.8.2	Rangkaian Sekuensial	35
2.8	<i>Ambient Noise</i>	35
2.9	<i>Field Programmable Gate Array (FPGA)</i>	35
2.10.1	Altera DE2-115	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		41
3.1	Jenis dan Lokasi Penelitian	41
3.2	Pendekatan Penelitian.....	41
3.3	Sumber Data	41
3.4	Langkah Penelitian	41
3.5	Menentukan Karakteristik Analog VLC	44
3.6	Menentukan Jenis Komponen dan Tipe Amplifier yang digunakan	44
3.7	Test Simulasi dengan Multisim 8.1	45
3.8	Implementasi Hardware	47
3.9	Melakukan Pengujian Bit Error Rate	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Hasil Simulasi <i>Passive PassBandFilter</i>	49
4.2	Hasil Simulasi <i>Instrumentation Amplifier</i>	51
4.3	Hasil Simulasi <i>Automatic Gain Controller</i>	52
4.4	Hasil Simulasi Keseluruhan Sistem menggunakan Multisim	52
4.5	Hasil Uji Jarak Terhadap <i>Bit Error Rate (BER)</i>	54

4.6	Hasil Uji Variasi Nilai Dimming Terhadap Bit Error Rate (BER)	61
4.7	Hasil Uji Variasi Sudut Cahaya Terhadap Bit Error Rate (BER)	67
4.8	Hasil Uji Frekuensi <i>Clock</i> Terhadap Bit Error Rate (BER)	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		73
5.1	Kempulan	73
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema VLC [16]	9
Gambar 2.2 Laporan Publikasi judul “First Observation of electroluminescence from a SiC light-emitting diode [18].”	10
Gambar 2.3 AlGaInP Structure [19]	14
Gambar 2.4 Cara kerja LED [19]	15
Gambar 2.5 Struktur Dasar <i>Photodiode</i> [21]	16
Gambar 2.6 Respon Photodiode (a) freq = 360Hz (b) freq = 1.5kHz (c) freq = 5.4kHz (d) freq = 11.4kHz [21]	16
Gambar 2.7 Frekuensi Terpotong dalam kHz [21]	17
Gambar 2.8 <i>photodiode</i> dengan jendela iluminasi [21]	18
Gambar 2.9 <i>Photo (a) diode (b) transistor</i> [21]	20
Gambar 2. 10 Sistem Modulasi Digital m Modulasi Digital [22]	20
Gambar 2.11 VPPM dengan Dimming level [25]	22
Gambar 2.12 Karakteristik Filter Ideal [28]	25
Gambar 2.13 Karakteristik Filter Rill [29]	25
Gambar 2.14 Rangkaian High Pass Filter (a) passive (b) active [30]	26
Gambar 2. 15 HPF Orde - (a) 1 (b) 2 [28]	26
Gambar 2.16 HPF (a) Respon Frekuensi (b) Bode Plot [30]	27
Gambar 2.17 Rangkaian Low Pass Filter (a) passive (b) active [30]	28
Gambar 2.18 Simbol Op-Amp [30]	29
Gambar 2.19 IC, SPin-in, dan Pin-Out pada LM741 [32]	30
Gambar 2.20 Penguat Inverting [31]	31
Gambar 2.21 Penguat Tegangan <i>Non-Inverting</i> [31]	33
Gambar 2.22 Rangkaian <i>Comparator</i> [32]	34
Gambar 2.23 sistem kombinasional (a) dan (b) hanya mampu menampilkan keluaran dari masukan pada waktu tertentu [17]	34
Gambar 2.24 Rangkaian Sekuensial memiliki memori saat tidak terdapat masukan [17]	35
Gambar 2. 25 FPGA [34]	36
Gambar 2.26 Board Image DE2-115 FPGA <i>System on Chip</i> [34]	38

Gambar 2.27 Board Diagram DE2-115 FPGA <i>System on Chip</i> [34].....	38
Gambar 3. 1 Diagram Keseluruhan sistem VLC	42
Gambar 3. 2 Diagram Keseluruhan sistem AFE.....	42
Gambar 3.3 Diagram Perancangan Hardware.....	43
Gambar 3.4 <i>Passband Analog Filter</i>	46
Gambar 3.5 Instrumentation Amplifier.....	46
Gambar 3.6 Automatic Gain Controller.....	47
Gambar 3.7 <i>Pseudorandom binary sequences</i> (PRBS) blok diagram [37].....	48
Gambar 4.1 Function Generator.....	49
Gambar 4.2 Hasil Output BandPassFilter	50
Gambar 4.3 <i>Bode Plot</i> Sistem	50
Gambar 4.4 Bode Plot Sistem	51
Gambar 4.5 <i>Bode Plot</i> Sistem	52
Gambar 4.6 Gelombang Masukan	52
Gambar 4.7 Gelombang Keluaran.....	53
Gambar 4. 8 Grafik Jarak Terhadap BER	54
Gambar 4.9 Prototype Pengujian Jarak.....	55
Gambar 4.10 <i>Oscilloscope</i> jarak 5 cm	56
Gambar 4.11 <i>Oscilloscope</i> jarak 10 cm	57
Gambar 4.12 <i>Oscilloscope</i> jarak 15 cm	57
Gambar 4.13 <i>Oscilloscope</i> jarak 20 cm	57
Gambar 4.14 <i>Oscilloscope</i> jarak 25 cm	58
Gambar 4.15 <i>Oscilloscope</i> jarak 30 cm	58
Gambar 4.16 <i>Oscilloscope</i> jarak 35 cm	59
Gambar 4.17 <i>Oscilloscope</i> jarak 40 cm	59
Gambar 4.18 <i>Oscilloscope</i> jarak 45 cm	60
Gambar 4.19 <i>Oscilloscope</i> jarak 50 cm	60
Gambar 4.20 <i>Oscilloscope</i> jarak 55 cm	61
Gambar 4.21 <i>Oscilloscope</i> jarak 60 cm	61
Gambar 4. 22 Grafik Nilai <i>Dimming</i> terhadap BER	62
Gambar 4.23 <i>Oscilloscope</i> Nilai <i>Dimming</i> 0.....	63
Gambar 4.24 <i>Oscilloscope</i> Nilai <i>Dimming</i> 1	63

Gambar 4.25 <i>Oscilloscope</i> Nilai Dimming 2	64
Gambar 4.26 <i>Oscilloscope</i> Nilai Dimming 3	64
Gambar 4.27 <i>Oscilloscope</i> Nilai Dimming 4	65
Gambar 4.28 <i>Oscilloscope</i> Nilai Dimming 5	65
Gambar 4.29 <i>Oscilloscope</i> Nilai Dimming 6	66
Gambar 4.30 <i>Oscilloscope</i> Nilai Dimming 7	66
Gambar 4. 31 <i>Wide Lens Optic Comparison</i> [38].....	67
Gambar 4. 32 Grafik Pengujian Sudut terhadap Error Data	68
Gambar 4.33 <i>Oscilloscope Clock</i> Q2 (12500000Hz).....	70
Gambar 4.34 <i>Oscilloscope Clock</i> Q4 (3125000Hz).....	70
Gambar 4.35 <i>Oscilloscope Clock</i> Q6 (781250Hz).....	71
Gambar 4.36 <i>Oscilloscope Clock</i> Q8 (195313Hz).....	71
Gambar 4.37 <i>Oscilloscope Clock</i> Q10 (48829Hz).....	72
Gambar 4.38 <i>Oscilloscope Clock</i> Q12 (12207Hz).....	72

DAFTAR TABEL

No table of figures entries found.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait Front End VLC	6
Tabel 2. 2 Perbandingan Op-Amp ideal dengan LM-741	29
Tabel 2. 3 Fitur FPGA DE2-115 <i>System on Chip</i>	39
Tabel 3.1 Parameter <i>Analog Front-end</i> VLC yang Diinginkan	44
Tabel 3.2 Spesifikasi Komponen yang Digunakan	45
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Jarak Terhadap BER.....	55
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran <i>Dimming</i> Terhadap BER	62
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sudut terhadap BER	67
Tabel 4. 4 Tabel Variasi <i>Clock</i>	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, terjadi hal yang luar biasa dimana pertumbuhan permintaan data pada jaringan nirkabel didorong oleh pengembangan layanan baru menggunakan persyaratan *Quality of Experience* (QoE) yang tinggi. Menurut perkiraan *Cisco Visual Index*, lalu lintas data internet global pada tahun 2021 akan mencapai 30GB per kapita, dengan 63 persen berada pada fraksi perangkat nirkabel dan seluler. Perkembangan pesat tersebut disebabkan oleh meningkatnya *trend cloud computing* dan *internet of things* secara global dan mmbesar-besaran, yang menyebabkan peralihan besar menjadi dunia digital. Perubahan *virtual* dan robot diharapkan dapat memperluas kehadiran dari kedua hal tersebut dalam kehidupan sehari-hari, dimana hal tersebut membutuhkan pemeliharaan QoE yang cerdas dan imersif. Terdapat banyak aplikasi *augmented reality*, *self driving cars*, *e-health*, *e-government*, *industry 4.0*, dan banyak hal lain memerlukan kemampuan *throughput* yang tinggi, dan latensi yang rendah serta keandalan yang baik. Selain itu masuknya era *big data*, *machine learning*, dan kecerdasan buatan (AI) dibutuhkan transfer data dan teknik manajemen yang dapat diukur yang mampu menangani milyaran objek data dalam waktu beberapa mili detik untuk ditawarkan [1].

Teknologi *Visible Light Communication* (VLC) menawarkan banyak kelebihan daripada teknologi komunikasi yang lain, seperti *Radio Frequency* (RF) atau *Infra-Red* (IR). Mempertimbangkan faktor keamanan, RF menyediakan koneksi yang dapat menembus penghalang fisik (mis. Dinding). Sementara VLC dan IR tidak dapat menembus penghalang fisik. Dengan demikian, melalui sudut pandang tersebut, VLC dan IR dapat dikatakan lebih aman daripada RF. Mempertimbangkan risiko kesehatan yang diakibatkan, IR berbahaya bagi kulit dan mata manusia karena spektrum IR dapat diserap dengan mudah [2]. RF rentan terhadap gangguan elektromagnetik dan berpotensi menyebabkan kanker jika manusia terlalu sering terpapar oleh sinyal gelombang mikro RF. Sementara, teknologi VLC dianggap aman bagi manusia.

Mempertimbangkan kedua *factor* tersebut, dapat disimpulkan bahwa VLC menyediakan informasi yang dibagikan secara aman dan cepat, keamanan dan ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik [3].

Kebisingan pencahayaan dan cahaya sekitar dapat secara signifikan mempengaruhi saluran optik VLC dan merusak data yang ditransmisikan, baik dengan paparan langsung atau refleksi. Dari keunggulan itu, disimpulkan bahwa teknologi VLC layak untuk dijelajahi dan dikembangkan lebih lanjut. Namun, sayangnya, kelemahan utama VLC adalah cahaya sekitar atau gangguan dari sumber cahaya lain [4].

Komunikasi cahaya tampak dilakukan menggunakan LED sebagai *transmitter* dan *photo-detector* (PD) berupa sel surya, *photodiode*, atau *phototransistor* sebagai *receiver*. *Transmitter* mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik, sementara *receiver* atau *detector* berfungsi untuk mengubah daya optik (*optical power*) menjadi arus listrik. Transmisi data dapat dilakukan dengan mengubah level iluminasi LED pada sisi *transmitter* untuk menentukan logika *high* atau *low*. Kemudian *photodiode* pada sisi *receiver* membangkitkan pulsa yang *linier* terhadap level iluminasi yang diterima [5]. Pengaturan level iluminasi LED dan pengolahan sinyal output dari rangkaian photodiode beserta WAFE tersebut dilakukan oleh perangkat mikrokontroller.

FE tersebut dilakukan oleh perangkat mikrokontroller. Teknologi VLC bertajuk Light Fidelity (Li-Fi) pernah didemonstrasikan kepada khalayak umum oleh Prof. Harald Haas di forum TEDx [6]. Sistem komunikasi tersebut mampu melakukan streaming video dengan kualitas HD. VLC menjadi teknologi alternatif yang potensial untuk menyediakan akses kecepatan tinggi untuk perangkat seperti tablet, laptop, smartphone, dan perangkat-perangkat lain dalam ruang (lingkungan dalam ruangan). Sebuah penelitian berhasil mencapai kecepatan transmisi data hingga 1 Gbps menggunakan LED warna merah, hijau, dan biru, serta lensa optik dengan jarak antara pemancar dan penerima beberapa sentimeter [7]. Eksperimen lain mampu mentransmisikan hingga 500 Mb / s dengan bagian penerima dilengkapi RC-post equalizer satu tingkat [8]. Sementara dengan RC-post equalizer, tiga tingkat mampu mentransfer data hingga 340Mb / s [9]. Pada awal penelitian tersebut, data-data yang dikirim

merupakan sinyal yang dibangkitkan oleh generator sinyal sebagai verifikasi rancangan. Selanjutnya, percobaan tentang pengiriman sinyal audio melalui LED dengan jarak beberapa sentimeter dengan keluaran berupa pengeras suara juga telah dilakukan [10].

Gangguan noise yang dialami oleh cahaya tampak perlu dikondisikan agar dapat terbaca oleh perangkat digital yang sudah deprogram didalam FPGA. Nilai keluaran photodiode yang telah mengalami *DC Offset* dan *Noise* sehingga nilai 0 dan 1 tidak bernilai 0V dan 3.3V. *Analog Front End* akan menyesuaikan nilai tegangan masukan dari keluaran fotodioda agar memenuhi nilai 0V dan 3.3V sehingga dapat terbaca oleh FPGA. Pembuatan *Analog Front End* sangat penting karena *Visible Light Communication* tidak akan dapat berjalan tanpa adanya alat ini.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan rangkaian analog front-end pada sistem *receiver Visible Light Communication* untuk mengatasi *ambient light* yang terjadi pada proses pengiriman data VLC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka penulis merumuskan permasalahan yang ada dalam penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* yang menggunakan FPGA?
2. Bagaimana implementasi *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* yang menggunakan FPGA?
3. Bagaimana evaluasi kinerja *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* yang menggunakan FPGA?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Memahami proses perancangan *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* menggunakan FPGA.
2. Memahami implementasi *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* menggunakan FPGA.

3. Memahami potensi *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* menggunakan FPGA.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu menjadi salah satu inovasi baru didunia komunikasi khususnya pada *Visible Light Communication* dalam proses pengiriman data dengan penggunaan IC LM741 yang mudah ditemukan di pasaran.

Penelitian ini diharapkan mampu menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya mengenai Desain *Front-End Analog Signal Conditioning VLC Receiver* untuk Mereduksi Gangguan *Noise* Dari Cahaya *Ambient*.

1.5 Sistematika Penulisan

Susunan dan pembahasan yang direncanakan pada penulisan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi hasil studi penulis dari beberapa literatur tentang teori-teori yang berkaitan dengan topik pembahasan. Pada penelitian ini, fokus utama pembahasan adalah perancangan Sistem *Analog Front End* untuk sistem komunikasi pada *Visible Light Communication*.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menguraikan tahap-tahap dan prosedur penelitian yang dilakukan. Tahapan yang dilakukan mulai persiapan, pembuatan desain simulasi, perancangan *hardware*, dan pengujian sistem *front end*.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan uraian data, serta analisis pembahasan mengenai pembuatan *Front end analog signal conditioning* yang terdiri dari pengujian Bit Error Rate, Signal to Noise, serta kecepatan maksimum dari sistem.

BAB V Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran, sebagai hasil dan analisis pembuatan desain *front-end analog signal conditioning VLC receiver* untuk mereduksi gangguan *noise* dari cahaya *ambient*

Daftar Pustaka

Berisikan tentang sumber-sumber pada referensi yang digunakan dalam menyusun skripsi ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai VLC penerlitan sebelumnya yang telah dilakukan, Metoda yang akan digunakan. Sistem *Front End Analog* yang akan diimplementasikan yang bersumber dari metode yang telah digunakan oleh penelitian serupa sebelumnya dan membandingkan hasil dengan penelitian yang dibuat.

2.1 Penelitian Sebelumnya

desain yang diusulkan dapat mengurangi sinyal *noise* dalam sistem VLC. Selain itu, kinerja yang dilakukan lebih cepat, *bandwidth* yang lebih luas atau akurasi yang lebih baik. VLC

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait Front End VLC

No.	Judul	Penulis	Metoda	Hasil
1	Analog Filters Design in VLC Analog Front-End Receiver for Reducing Indoor Ambient Light Noise	Adiono, T.	Perancangan Analog front end untuk menghilangkan DC Offset pada masukan.	solusi untuk mengurangi ambient kebisingan cahaya di lingkungan dalam ruangan yang menyebabkan offset DC dan frekuensi yang tidak diinginkan.
2	Noise Analysis of Trans-impedance Amplifier	Fuada, S.	Membandingkan berbagai macam amplifler dari berbagai	dapat ditunjukkan bahwa kontributor

	(TIA) in Variety Op Amp for use in Visible Light Communication (VLC) System		produsen sebanyak 12 step.	utama untuk kebisingan keluaran adalah "Kepadatan kebisingan tegangan."
3	Application of Li-Fi Technology in the Transmission of the Sound at the Base of the PWM	Assabir, A., J.	Menggunakakn PWM untuk melakukan modulasi Suara.	Pengiriman data menggunakan Li-Fi dengan PWM.
4	Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi,	Ramadhan, A.	Komunikasi Radio dengan VLC.	Sistem komunikasi VLC untuk implementasi radio pada café.

2.2 Visible Light Communication (VLC)

Ide dasar dari VLC yaitu mengirimkan data melalui sistem modulasi cahaya tampak dengan alat penerangan komersil dalam ruangan yang telah tersedia pada instalasi ruangan berupa *Light Emitting Diode* (LED) [11].

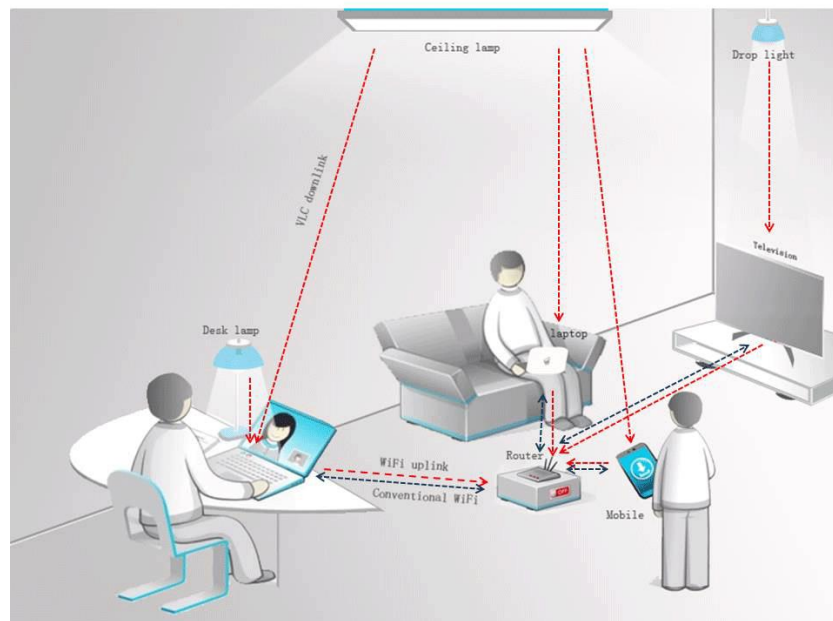
VLC menggunakan cahaya LED sebagai pemancar yang mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik. LED digunakan sebagai sumber cahaya yang mampu di sisi pemancar, jika dibandingkan dengan sumber cahaya lainnya seperti lampu pijar dan lampu neon. LED tidak digerakkan oleh pemberat dan tidak mengandung merkuri beracun, sehingga bahaya lingkungan dan kesehatan berkurang. LED putih diharapkan dapat berfungsi sebagai lampu generasi

berikutnya karena sifat-sifatnya seperti kecerahan tinggi, konsumsi daya rendah, dan masa pakai lebih lama [12].

Perkembangan teknologi VLC dalam beberapa tahun terakhir meningkat secara signifikan seperti ditandai dengan dibentuknya *visible light communication consortium* (VLCC) di Jepang pada tahun 2003 agar standar teknologi VLC dapat segera terbentuk. Terdapat tiga standar yang diajukan yaitu *Japan Electronics and Information Technology Industries Association* (JEITA) yaitu CP-1221, CP-1222, dan CP-1223. CP-1221 memaparkan standar untuk sistem VLC itu sendiri, kemudian CP-1222 mendeskripsikan standar sistem ID berbasis VLC, dan CP-1223 untuk standar sistem suar berbasis VLC [13].

Pembentukan standar VLC baru dirancang sejak tahun 2009 dimana IEEE 802.15.17 membentuk *task group* yang bekerja untuk membuat standar VLC yang meliputi *physical layer* dan *medium access control* (MAC) berdasarkan pendekatan *clean state*. Draft standar IEEE 802.15.7 kemudian dipublikasikan pada tahun 2010. Draft ini mengajukan penggunaan beberapa Teknik modulasi antara lain *On-Off Keying* (OOK), *Variable Pulse-Position Modulation* (VPPM), dan *Color-Shift Keying* (CSK). Kemudian. Standar hasil IEEE 802.15.7 menghasilkan komunikasi VLC dengan skenario point to point [14].

Penerima VLC yang mengubahnya menjadi sinyal listrik. Penerima VLC menggunakan dua jenis fotodioda yang berbeda, fotodioda Avalanche (APD) dan fotodioda positif-intrinsik-negatif (PIN). Fotodioda PIN digunakan dalam sebagian besar aplikasi karena biaya rendah, karakteristik *respons linier* pada rentang yang luas, operasi daya rendah dan toleransi terhadap fluktuasi suhu tinggi untuk meningkatkan kinerja penerima [15].



Gambar 2.1 Skema VLC [16]

Sistem komunikasi VLC yang terdiri dari dua bagian yaitu bagian digital dan analog. Bagian digital meliputi rangkaian kombinasional dan sekuensial sedangkan bagian analog meliputi rangkaian penguat dan *filter*. Rangkaian kombinasional dibuat menggunakan. Rangkaian kombinasional nilai outputnya hanya bergantung pada kombinasi masukan sirkuit yang ada.. Rangkaian sekuensial adalah rangkaian yang keluarannya tidak hanya bergantung pada masukan rangkaian pada saat itu tetapi juga pada keadaan rangkaian yang bergantung pada state mana terdapat bit yang tersimpan dari proses sebelumnya. Keadaan rangkaian pada waktu tertentu akan bergantung pada urutan nilai masukan rangkaian sebelumnya [17]. Sedangkan bagian analog pada VLC terdiri dari bagian penguat dan *filter*. Rangkaian penguat dibuat menggunakan Transistor baik FET, BJT, ataupun MOSFET, atau menggunakan IC *Operational Amplifier* seperti LM741, dan LM324.

2.3 Light Emitting Diode (LED)

Mulai awal abad ke-20, emisi cahaya dari bahan padat, yang disebabkan oleh sumber daya listrik, dilaporkan, sebuah fenomena yang disebut *electroluminescence*. Menjadi dasar kemunculan pertamakali LED [18].

Perkembangan LED:

2.4.1 SiC LED

Pada tahun 1907 Henry Joseph Round menemukan LED.

A Note on Carborundum.

To the Editors of Electrical World:

SIR:—During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage, but with 110 volts a large number could be found to glow. In some crystals only edges gave the light and others gave instead of a yellow light green, orange or blue. In all cases tested the glow appears to come from the negative pole, a bright blue-green spark appearing at the positive pole. In a single crystal, if contact is made near the center with the negative pole, and the positive pole is put in contact at any other place, only one section of the crystal will glow and that the same section wherever the positive pole is placed.

There seems to be some connection between the above effect and the e.m.f. produced by a junction of carborundum and another conductor when heated by a direct or alternating current; but the connection may be only secondary as an obvious explanation of the e.m.f. effect is the thermoelectric one. The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

NEW YORK, N. Y.

H. J. ROUND.

Gambar 2.2 Laporan Publikasi judul “First Observation of electroluminescence from a SiC light-emitting diode [18].”

Cahaya dihasilkan dengan cara menyentuh kristal SiC dengan elektroda sehingga terjadi kontak Schottky searah. Diode shottky biasanya merupakan perangkat major carrier. Tetapi, minority carrier dapat dihasilkan dengan kondisi bias maju yang kuat dan dengan multiplikasi *avalanche* dalam kondisi bias balik [18].

2.4.2 GaAs dan AlGaAs Infrared dan red LED

Era semikonduktor majemuk III-V dimulai pada awal 1950-an ketika kelas material ini dipostulatkan dan diperagakan oleh Welker (1952, 1953). Kelas senyawa III-V telah menjadi zat yang tidak diketahui sebelum tahun 1950-an yang tidak terjadi secara alami. Senyawa III-V buatan manusia terbukti sangat aktif secara optik dan dengan demikian berperan penting bagi teknologi LED modern [18].

Pertumbuhan massal senyawa III-V GaAs dimulai pada tahun 1954. Pada pertengahan 1950-an, kristal tunggal besar boules GaAs ditarik dari lelehan. Irisan dan wafer yang dipoles digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan epitaxial struktur dioda p-n junction, baik dengan epitaxy fase

uap (VPE) atau epitaxy fase cair (LPE). LED dan laser inframerah (870 - 980 nm) berdasarkan GaA pertama kali dilaporkan pada tahun 1962 oleh kelompok yang bekerja di RCA, GE, IBM, dan MIT [18].

Pada saat ini, LED inframerah GaA / AlGaAs banyak digunakan dalam kendali jarak jauh video dan audio dan sebagai sumber untuk jaringan komunikasi *Local Area Network* (LAN). Selain itu, LED merah AlGaAs / AlGaAs digunakan sebagai LED dengan kecerahan tinggi yang memiliki efisiensi lebih tinggi daripada LED merah GaAsP / GaAs tetapi lebih rendah dari LED merah AlGaInP / GaAs [18].

2.4.3 GaAsP LED

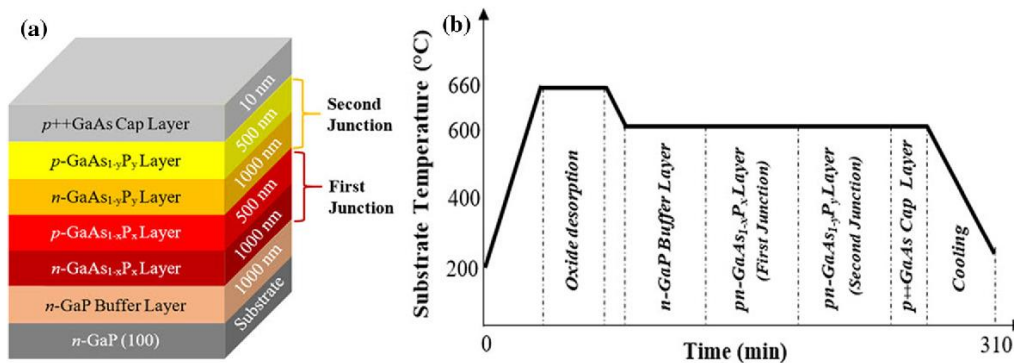
Permulaan LED terlihat tanggal kembali ke tahun 1962 ketika Holonyak dan Bevacqua (1962) melaporkan emisi-emisi cahaya tampak yang koheren dari persimpangan GaAsP dalam volume pertama Tulisan mengenai Fisika Terapan. Meskipun emisi cahaya yang koheren hanya diamati pada suhu rendah, perangkat bekerja sebagai LED dan memancarkan cahaya tampak bahkan pada suhu kamar. Publikasi ini menandai awal dari LED junction p-n yang memancarkan dalam rentang panjang gelombang cahaya tampak [18].

Direct dan *indirect* transisi serta kepadatan dislokasi tinggi membatasi kecerahan yang dapat diperoleh dengan LED GaAsP. Saat ini sistem material ini terutama digunakan untuk LED merah standar (lowbrightness) untuk aplikasi lampu indikator [18].

2.4.4 GaP dan GaAsP LED dengan Doping Pengotor Aktif Secara Optik

Pekerjaan Ralph Logan dan rekan-rekan kerjanya tentang GaP LED dilakukan saat bekerja di Bell Laboratories di Murray Hill, New Jersey, pada awal 1960-an, di mana mereka mengembangkan proses pembuatan untuk LED merah dan hijau yang berbasis di GaP. Pada saat itu, semikonduktor telah digunakan untuk menunjukkan transistor bipolar dan efek medan untuk beralih dan memperkuat arus listrik. Insinyur dan ilmuwan saat itu juga mulai

menyadari bahwa semikonduktor akan sangat cocok untuk perangkat pemancar cahaya [18].



Gambar 2.(a) GaAsP LED Structure (b) grafik T/s [18]

Pertumbuhan GaP dicapai dengan menggunakan trombosit yang tumbuh dari larutan yang mengandung Ga dan P. Trombosit memiliki dimensi lateral 0,5 cm x 1 cm dan ditanam hingga ketebalan sekitar 1 mm. Ini adalah metode awal standar untuk menumbuhkan GaP dan mengatasi masalah berhubungan dengan tekanan berlebih P yang diperlukan saat menumbuhkan GaP pada suhu tinggi [18].

Aplikasi awal LED lainnya adalah tampilan numerik dalam kalkulator saku dan jam tangan digital. SR-56 Instruments Corporation dan HP-67 Hewlett-Packard Corporation. Keduanya menggunakan LED GaAsP merah di layar numerik tujuh segmen. Semua kalkulator yang menggunakan tampilan LED memiliki masalah yang signifikan: tampilan tidak dapat dibaca dalam kondisi luar ruangan yang terang karena cahaya yang dipancarkan oleh LED terlalu redup; Selain itu, konsumsi daya layar LED tinggi. Jam tangan digital menggunakan LED memiliki masalah yang sama. Liquid crystal display (LCDs), diperkenalkan pada akhir tahun 1970-an, memiliki kebutuhan daya yang jauh lebih rendah. Akibatnya, LCD benar-benar menggantikan tampilan LED di kalkulator dan jam tangan pada awal 1980-an [18].

2.4.5 GaN metal–semiconductor emitters

Pada akhir 1960-an, Radio Corporation of America (RCA) merupakan salah satu produsen utama televisi berwarna, menggunakan tabung sinar katoda (CRT) dengan tiga senjata elektron, untuk menampilkan gambar. Di laboratorium penelitian pusat RCA di Princeton, New Jersey, James Tietjen telah menjadi direktur Divisi Penelitian Material, dan dia ingin mengembangkan tampilan televisi flatpanel yang dapat digantung di dinding seperti lukisan. Untuk membuat gambar penuh warna, tampilan harus mengandung piksel merah, hijau, dan biru. Tietjen menyadari bahwa LED merah menggunakan GaAsP dan LED hijau menggunakan teknologi GaP: N sudah tersedia. Semua yang diperlukan untuk TV datar berbasis LED adalah LED biru cerah [18].

Tim RCA berspekulasi bahwa magnesium mungkin merupakan pilihan *dopant* tipe-p yang lebih baik daripada seng. Mereka mulai menumbuhkan film GaN yang didoping Mg menggunakan teknik MHVPE, dan pada Juli 1972, diperoleh emisi biru dan violet yang berpusat pada 430 nm. Salah satu dari pemancar MIS cahaya biru Mg-doped ini terus memancarkan cahaya.. Pankove dan tim RCA menawarkan model untuk pengoperasian perangkat ini berdasarkan dampak ionisasi dan terowongan Fowler – Nordheim, karena karakteristiknya hampir tidak tergantung pada suhu. Tentu saja, perangkat ini tidak efisien, dan sebagai akibatnya, Tietjen, yang telah mendukung pekerjaan, sekarang menghentikannya dengan pesan "hentikan sampah ini [18]."

2.4.6 LED Biru, Hijau, dan Putih dengan GaInN *p-n junctions*

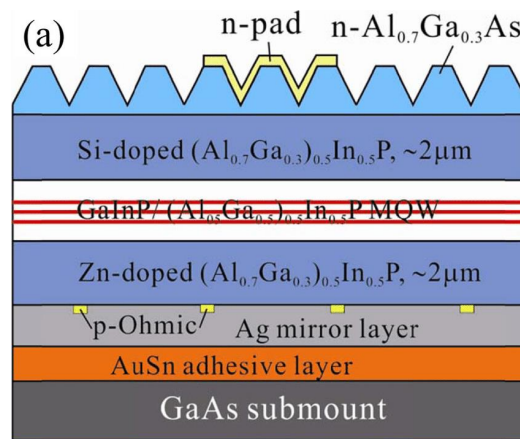
Setelah upaya penelitian Pankove dan rekan kerja berakhir, kerja pada GaN hampir berhenti. Pada tahun 1982 hanya satu makalah yang diterbitkan di GaN. Namun, Isamu Akasaki dan rekan kerja di Nagoya, Jepang menolak untuk menyerah, dan pada tahun 1989 mereka menunjukkan doping tipe-p dan konduktivitas tipe-p pertama di GaN. Akseptor Mg yang keras kepala diaktifkan oleh iradiasi berkas elektron. Kemudian ditunjukkan bahwa anil suhu pasca-pertumbuhan GaN yang didoping Mg juga mengaktifkan dopan Mg dalam GaN. Superlattice doping lebih lanjut meningkatkan efisiensi

aktivasi akseptor dalam. Terobosan doping tipe-p ini membuka pintu bagi LED persimpangan p-n dan dioda laser yang efisien. Saat ini, Mg-doping GaN adalah dasar untuk semua LED berbasis nitrida dan dioda laser [18].

Sistem material GaInN juga cocok untuk LED putih. Ada beberapa pendekatan berbeda untuk LED putih, termasuk LED putih berdasarkan konverter panjang gelombang fosfor dan pada konverter panjang gelombang semikonduktor. Banyak kemajuan yang diharapkan dalam bidang LED putih, karena mereka memiliki potensi untuk memberikan efisiensi bercahaya yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sumber cahaya pijar dan lampu neon konvensional. Sementara sumber cahaya konvensional memiliki efisiensi bercahaya khas (ditunjukkan) 15 - 100 lm / W, LED putih memiliki potensi untuk efisiensi bercahaya melebihi 300 lm / W [18].

2.4.7 AlGaInP visible-spectrum LED

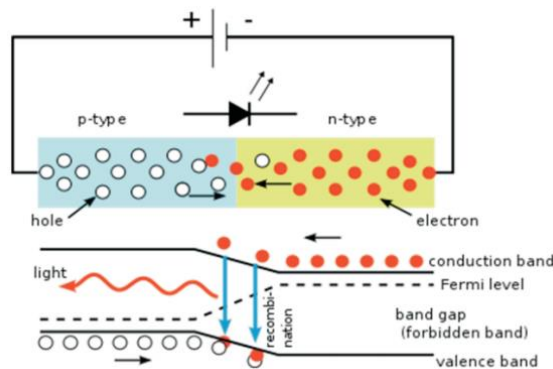
Sistem material AlGaInP cocok untuk emisi kecerahan tinggi dalam rentang spektral merah (625 nm), oranye (610 nm) dan kuning (590 nm) dan saat ini adalah sistem material yang dominan untuk penghasil kecerahan tinggi dalam rentang panjang gelombang tersebut [18].



Gambar 2.3 AlGaInP Structure [19]

Secara garis besar cara kerja LED agar dapat menyala adalah ketika arus listrik DC mengalir melalui P/N junction pada material semikonduktor, aliran elektron bertemu hole dan terjadilah rekombinasi seperti diode antara muatan

positif (hole) dan negatif (elektron), dan pada level energi foton yang ditentukan dari energi gap dari material akan memberikan warna yang berbeda.



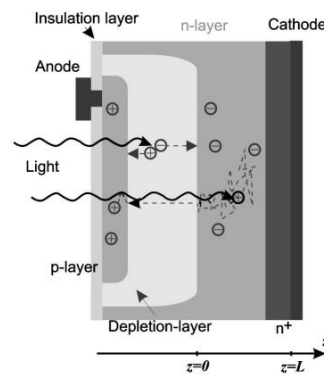
Gambar 2.4 Cara kerja LED [19]

Kelebihan dari LED adalah memiliki umur yang lebih Panjang dari jenis lampu lain. LED mampu menyala hingga 30 ribu jam, dengan efisiensi energi 80-90% [19].

2.4 Photodiode

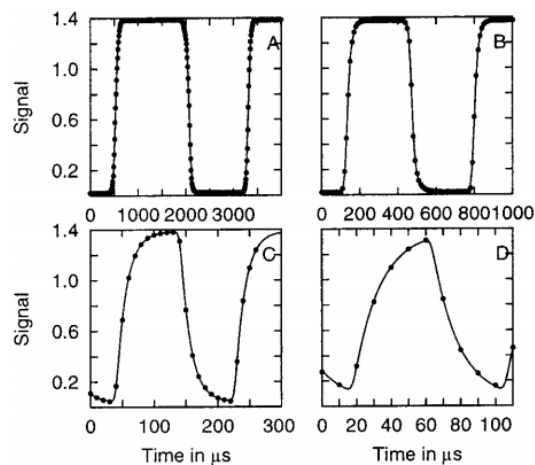
photodiode pada sistem deteksi digunakan dalam sejumlah teknik komunikasi modern, mulai dari deteksi posisi sinar laser dalam *atomic force microscope* di atas skema deteksi *optical tweezers*, hingga peralatan yang digunakan dalam detektor partikel fisika daya tinggi [20]. *photodiode* digunakan terutama sebagai penerima optik untuk mengubah cahaya menjadi listrik. Prinsip yang berlaku *photodiode* adalah efek fotolistrik, yang merupakan efek pada rangkaian akibat cahaya. Max Planck Pada tahun 1900 ditemukan bahwa energi dipancarkan dalam unit diskrit kecil yang disebut quanta; ia juga menemukan konstanta universal yang dikenal sebagai konstanta Planck. Penemuan Planck mengarah pada bentuk fisika baru yang dikenal sebagai mekanika kuantum dan efek fotolistrik $E = h\nu$ yang merupakan konstanta Planck dikalikan dengan frekuensi radiasi. efek Fotolistrik adalah efek cahaya pada permukaan logam

dalam ruang hampa, hasilnya adalah elektron yang dikeluarkan dari permukaan ini menjelaskan teori prinsip energi cahaya yang memungkinkan *photodiode* untuk beroperasi. *photodiode* biasanya digunakan sebagai perangkat keamanan di rumah dalam bentuk detektor asap, juga dalam hubungannya dengan perangkat optik lainnya untuk membentuk sistem keamanan [21].



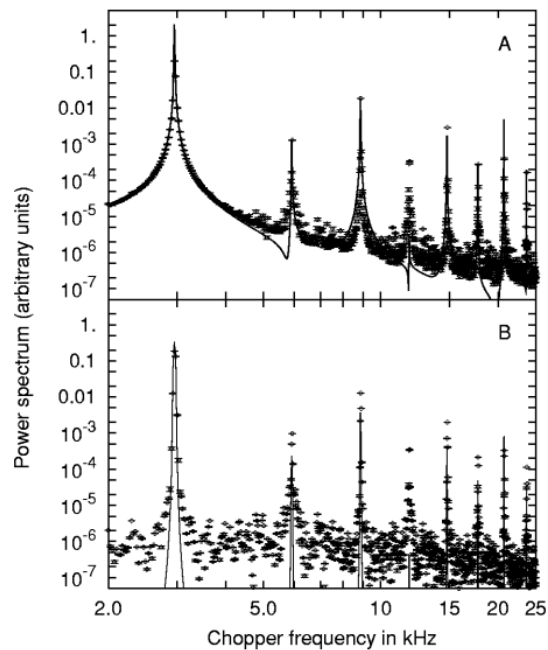
Gambar 2.5 Struktur Dasar *Photodiode* [21]

Dalam praktiknya *photodiode* memiliki Batasan frekuensi deteksi dimana kecepatan switching *photodiode* saat mendapatkan masukan berupa intensitas cahaya. Percobaan sederhana pada sistem *photodiode* diberikan masukan frekuensi yang diketahui lalu membaca keluaran hasil *photodiode* apakah memiliki frekuensi yang serupa dengan sinyal masukan dari intensitas cahaya [20].



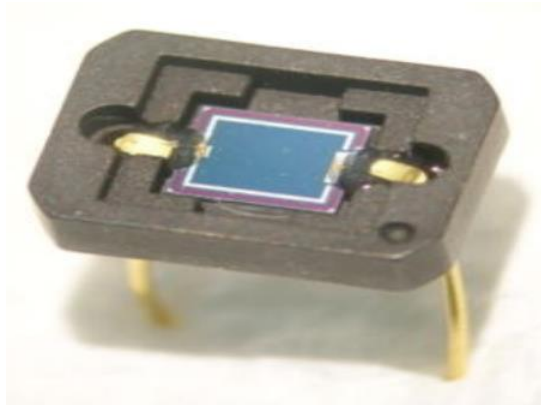
Gambar 2.6 Respon Photodiode (a) freq = 360Hz (b) freq = 1.5kHz (c) freq = 5.4kHz (d) freq = 11.4kHz [21]

Fase drift yang terjadi pada pembacaan *photodiode* menyebabkan: sedikit perubahan penambahan frekuensi hingga perubahan signifikan dalam fase setelah melalui banyak siklus. Jika saat dilakukan transformasi *Fourier* merubah sinyal dengan fase *drifting*, fase yang berbeda akan saling meniadakan satu sama lain, dan salah satu mendapatkan energi spektrum yang salah [20].



Gambar 2.7 Frekuensi Terpotong dalam kHz [21]

photodiode beroperasi dengan mengubah sinyal cahaya yang mengenai *junction* ke tegangan atau arus. Persimpangan menggunakan jendela iluminasi dengan lapisan anti-pantulan untuk menyerap cahaya foton. Hasil dari penyerapan foton adalah penciptaan pasangan lubang elektron di daerah penipisan. Contoh *photodiode* adalah *photodetector* dan *phototransistor*. Perangkat optik lain yang mirip dengan detektor foto adalah sel surya yang juga menyerap cahaya dan mengubahnya menjadi energi. Perangkat optik yang serupa tetapi berbeda adalah LED yang pada dasarnya kebalikan dari fotodiode, alih-alih mengubah cahaya menjadi tegangan atau arus, itu mengubah tegangan atau arus menjadi cahaya [21].



Gambar 2.8 *photodiode* dengan jendela iluminasi [21]

2.4.1 *Photodetector*

photodetector yang biasa digunakan adalah *photodiode*. Sebuah *photodiode* didasarkan pada persimpangan daerah yang didoping secara berlawanan (persimpangan pn) dalam sampel semikonduktor. Ini menciptakan daerah yang kehabisan operator muatan yang menghasilkan impedansi tinggi. Impedansi tinggi memungkinkan konstruksi detektor menggunakan silikon dan germanium untuk beroperasi dengan sensitivitas tinggi pada suhu rendah. Fungsi fotodioda menggunakan jendela iluminasi (Gambar 2.8), yang memungkinkan penggunaan cahaya sebagai masukan eksternal. Karena cahaya digunakan sebagai masukan, dioda dioperasikan dalam kondisi bias terbalik. Di bawah kondisi bias terbalik arus melalui persimpangan adalah nol ketika tidak ada cahaya hadir, ini memungkinkan dioda untuk digunakan sebagai saklar atau relay ketika ada cukup cahaya [21].

2.4.2 *PIN Photodiode*

Jenis lain dari *Photodiode* adalah fotodioda PIN; *Photodiode* ini termasuk lapisan intrinsik di antara bahan tipe P dan N. PIN harus bias terbalik karena tingginya resistivitas lapisan intrinsik; PIN memiliki daerah penipisan yang lebih besar yang memungkinkan lebih banyak pasangan lubang elektron untuk berkembang pada kapasitansi yang lebih rendah. Jendela penerangan untuk PIN berada di sisi-P dioda karena mobilitas elektron lebih besar daripada lubang yang menghasilkan respons frekuensi yang lebih baik. Tegangan breakdown yang lebih besar dibandingkan dengan *Photodiode* PN

memungkinkan untuk digunakan dengan tegangan bias sekitar 100 yang menghasilkan waktu respon cepat dengan persamaan di bawah ini [20].

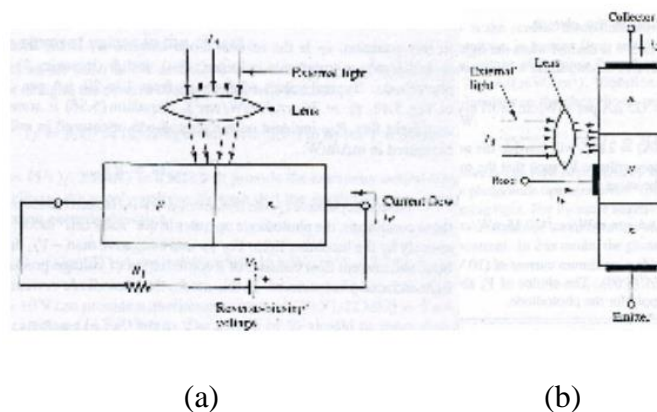
$$\tau_{PIN} = \frac{\ell^2}{\mu(V_0 + V_b)} \quad (1)$$

2.4.3 Avalanche Photodiode

Sebuah *Avalanche photodiode* dioperasikan pada bias balik dekat dengan kerusakan, yang menyebabkan pengangkut muatan tereksitasi foto berakselerasi di wilayah penipisan dan menghasilkan pembawa tambahan dengan *Avalanche*. *Avalanche photodiode* baik untuk sistem serat optik yang membutuhkan tingkat cahaya rendah dengan efisiensi kuantum lebih besar dari 100% [20].

2.4.4 Phototransistor

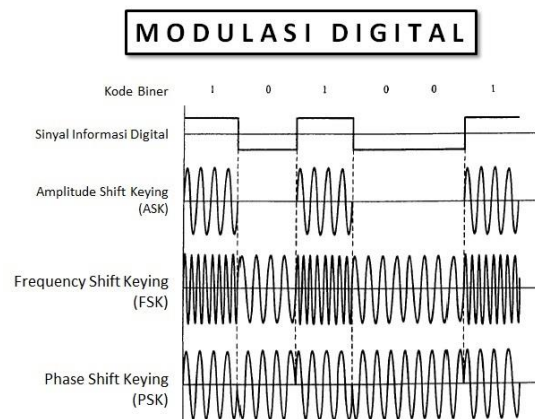
Phototransistor mirip dengan *photodiode* kecuali wilayah tipe n tambahan ditambahkan ke konfigurasi *photodiode*. *Phototransistor* termasuk dioda dengan keuntungan internal. *Phototransistor* dapat direpresentasikan sebagai transistor bipolar yang tertutup dalam wadah transparan sehingga foton dapat mencapai persimpangan kolektor dasar. Elektron yang dihasilkan oleh foton di persimpangan basis-kolektor diinjeksikan ke dalam basis, dan arus kemudian diperkuat. Karena deteksi *Phototransistor* berada pada urutan *photodiode*, mereka tidak dapat mendeteksi cahaya lebih baik daripada *photodiode*. Kelemahan dari fototransi *Phototransistor* stor adalah waktu respons yang lebih lambat dibandingkan dengan *photodiode*. Gambar di bawah ini menunjukkan hubungan antara *photodiode* dan *Phototransistor* [20].



Gambar 2.9 Photo (a) diode (b) transistor[

2.5 Modulator dan Demodulator

Modulasi merupakan proses memvariasikan parameter suatu gelombang secara proporsional terhadap gelombang lain. Perubahan parameter bergantung pada besar modulasi. Dalam proses modulasi dibutuhkan dua buah sinyal yaitu sinyal pembawa (*carrier*) dan sinyal informasi yang akan ditumpangkan pada sinyal *carrier*. Demodulasi merupakan proses konversi sinyal modulasi ke sinyal asal. Dalam proses telekomunikasi perangkat untuk melakukan proses modulasi disebut modulator sedangkan perangkat untuk melakukan proses demodulasi disebut demodulator.



Gambar 2. 10 Sistem Modulasi Digital m Modulasi Digital [22]

Sinyal informasi biasanya memiliki spektrum yang rendah dan rentan untuk terganggu oleh noise. Sedangkan pada transmisi dibutuhkan sinyal yang memiliki spektrum tinggi dan dibutuhkan modulasi untuk memindahkan posisi spektrum dari sinyal data, dari pita spektrum yang rendah ke spektrum yang jauh lebih tinggi. Hal ini dilakukan pada transmisi data tanpa kabel (dengan antenna), dengan membesarnya data frekuensi yang dikirim maka dimensi antenna yang digunakan akan mengecil. Bisa disimpulkan modulasi memiliki 2 fungsi utama yaitu untuk menitipkan pesan (kedalam sinyal pembawa) dan fungsi kedua adalah untuk menggeser sinyal baseband dari frekuensi rendah ke frekuensi yang lebih tinggi agar mudah dipancarkan melalui antenna yang panjangnya secara praktis mudah direalisasikan.dengan adanya modulasi maka transmisi menjadi

efisien atau memudahkan pemancaran dan memudahkan pengaturan alokasi frekuensi radio [23].

Modulasi untuk memudahkan radiasi. Pada sistem wireless, radiasi yang efisien dilakukan memakai antena, yang panjangnya paling sedikit sepersepuluh panjang gelombang. Jadi agar antenanya cukup praktis, tidak terlalu panjang, diperlukan frekuensi yang cukup tinggi.

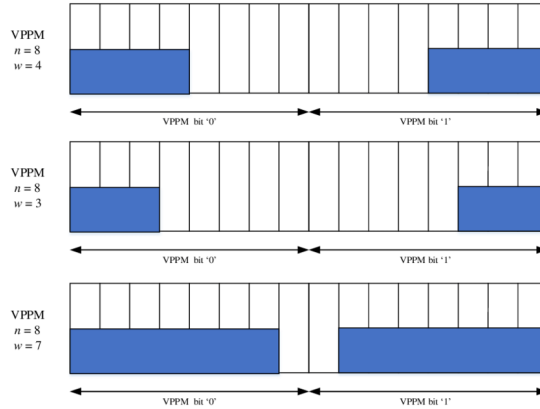
Modulasi untuk mengurangi derau dan interferensi. Beberapa jenis modulasi tertentu mempunyai sifat yang sangat berguna, yaitu dapat menekan derau dan interferensi, walaupun keuntungan ini harus ditebus dengan kebutuhan akan lebar ban frekuensi yang jauh lebih besar dari spektrum sinyalnya yang asli.

Modulasi untuk pemilihan frekuensi. Pemilik radio atau televisi dapat menentukan stasiun yang dikehendaknya, karena setiap stasiun menggunakan frekuensi untuk gelombang pembawa yang berbeda.

Modulasi untuk multiplexing. Sering diperlukan untuk mengirim banyak sinyal bersamaan dari satu tempat ke tempat tujuan yang sama. Teknik multiplexing, yang merupakan bentuk modulasi juga, memungkinkan pengiriman banyak sinyal melewati kanal yang sama, demikian rupa sehingga pada ujung penerimaan setiap sinyal dapat dipungut kembali dengan baik.

Modulasi untuk mengatasi pembatasan peralatan termasuk dari aspek Bandwidth. Performa dari peralatan banyak ditentukan oleh frekuensi yang dipergunakan. Penempatan sinyal pada daerah frekuensi yang memberikan pembatasan peralatan yang minimum atau yang memberikan kemungkinan lebih baik untuk mencapai persyaratan rancangan, dapat dilakukan dengan modulasi [24]

2.6 Variable Pulse Position Modulation (VPPM)



Gambar 2.11 VPPM dengan Dimming level [25]

Gambar 2.5 menunjukkan struktur yang diusulkan pada sistem VLC menggunakan modulasi VPPM [26]. Ketika data biner $b \in \{0,1\}$ dikirimkan, sinyal yang termodulasi VPPM $s(t)$ dihasilkan dengan mempertimbangkan tingkat peredupan (*dimming*) sebagai berikut:

$$s(t) = \begin{cases} \sqrt{E_s \cdot \frac{d}{50}} \cdot \varphi_0(t), & \text{for } b = 0 \\ \sqrt{E_s \cdot \frac{d}{50}} \cdot \varphi_1(t), & \text{for } b = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Dalam persamaan E_s adalah energi symbol, d adalah tingkat peredupan ($0 \leq d \leq 100$). $\varphi_i(t)$ ($i = 0,1$) merupakan fungsi dasar yang berubah sesuai dengan tingkat peredupan [26]. Setelah sinyal melewati *filter* pembentuk pulsa VPPM, sinyal yang akan dikirimkan memiliki bentuk sebagai berikut:

$$x(t) = \sum_{i=-100}^{\infty} s(t - iT_d) \quad (3)$$

Dalam hal ini T_d merupakan total durasi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengiriman setiap blok data, $T_d = T_s + T_g$, dimana T_s merupakan durasi simbol dan T_g merupakan durasi pengaman untuk menghindari gangguan antar simbol yang disebabkan oleh disperse kanal [26]. LED digerakkan oleh sinyal yang dikendalikan oleh $x(t)$. LED memancarkan sinyal cahaya $X(t)$, yang

memiliki daya optik rata-rata, $P_t = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt$ setelah melewati saluran optik $h_o(t)$, sinyal optik y_t yang diterima diberikan sebagai berikut:

$$y(t) = h_o(t) * n_o(t) \quad (4)$$

Dimana (*) menunjukkan konvolusi dan $n_o(t)$ adalah sumber derau optik yang terjadi.

2.7 Rangkaian Analog

Sinyal Analog merupakan sinyal dengan gelombang kontinyu, sinyal analog membawa informasi dengan mengubah nilai karakteristik dari gelombang. Sinyal analog biasa dinyatakan dengan gelombang sinusoidal. Apabila sinyal analog diproses menggunakan Analisa fourier, dapat dilihat dalam sebuah sinyal analog terdapat sejumlah gelombang sinus. Keuntungan sinyal analog transmisi data dapat mencapai jangkauan yang jauh. Variable dasar yang digunakan dalam sinyal analog ada tiga yaitu, amplitude, frekuensi, dan fasa.

Rangkaian elektronik analog berkaitan dengan sinyal yang berubah secara kontinu (halus atau sedikit demi sedikit) sesuai dengan informasi yang dikandungnya. Beberapa peralatan elektronik seperti penguat (amplifier), tuner, radio, dan televisi menggunakan sinyal analog terutama di bagian depan dan bagian akhirnya. Komponen utama dalam rangkaian elektronik analog adalah komponen pasif (seperti resistor, kapasitor, induktor, dan transformator), dan komponen aktif (seperti transistor, diode, FET, CMOS, dll). Di beberapa negara maju, penggunaan rangkaian analog telah banyak digantikan oleh rangkaian digital karena akibat dari adanya derau (noise) akan menyebabkan kesalahan pemrosesan yang cukup besar [27]

2.7.1 Filter

Sesuai Namanya filter merupakan sistem yang dapat memisahkan sinyal berdasarkan pada frekuensi, dalam proses penyaringan (filtrasi) frekuensi terdapat frekuensi yang diterima atau diteruskan, dan terdapat frekuensi yang diredam atau difilter [28].

Hubungan nilai respon masukan dan keluaran dinyatakan dalam Volt ataupun desibel (dB) dengan bentuk respon yang berbeda pada tiap jenis penyaring. Besar nilai respon dapat diperoleh menggunakan persamaan fungsi alih (*transfer function*) T:

$$H_s = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = T \quad (5)$$

Keterangan :

Hs = Fungsi Alih

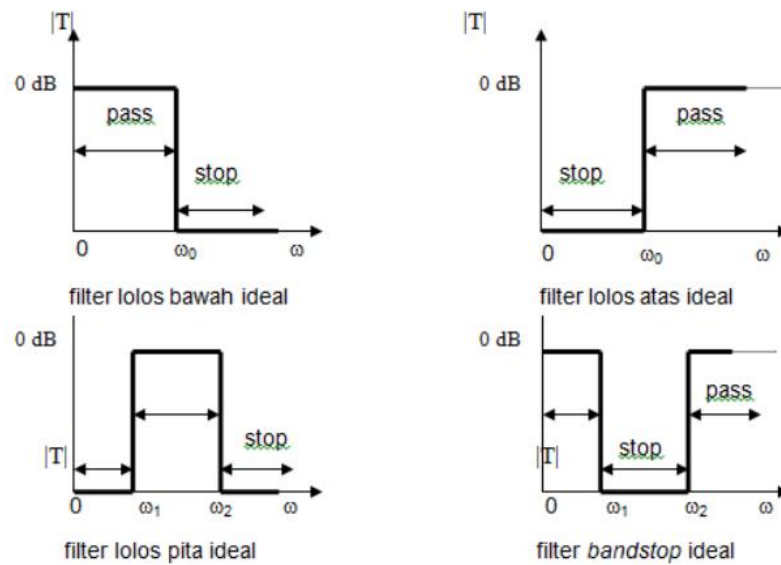
Vout = Tegangan Keluaran

Vin = Tegangan Masukan

Magnitude (nilai besar) dari fungsi alih dinyatakan dengan $|T|$, dengan satuan dalam desibel (dB).

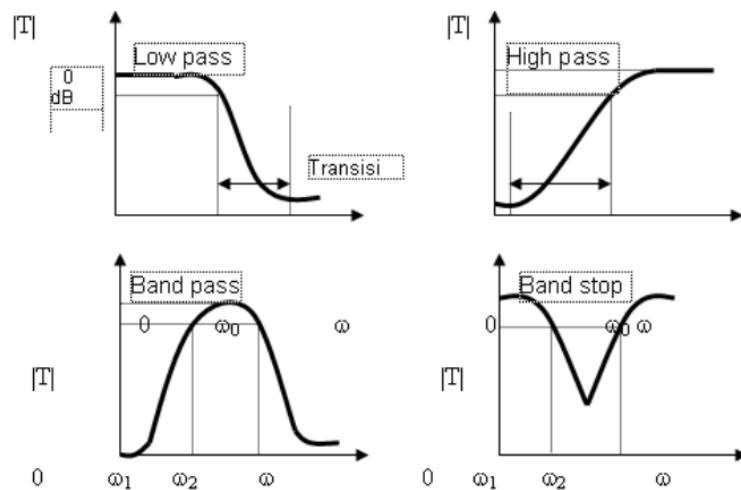
Filter dibagi menjadi 4 [28]:

1. Filter lolos bawah (*Low Pass Filter*), berawal dari $\omega = 2\pi f = 0$ radian/detik. Sampai dengan $\omega = \omega_0$ radian/detik, dimana ω_0 adalah frekuensi *cut-off*.
2. Filter lolos atas (*high pass filter*), berkebalikan dengan filter lolos bawah, berawal dari $\omega = 0$ radian/detik sampai dengan $\omega = \omega_0$ radian/detik, dimana ω_0 adalah frekuensi *cutoff*.
3. Filter lolos pita (*band pass filter*), frekuensi dari ω_1 radian/detik sampai ω_2 radian/detik akan dilewatkan sedangkan frekuensi lain akan di saring atau diperlemah.
4. Filter stop band, berkebalikan dengan filter lolos pita, frekuensi dari ω_1 radian/detik sampai ω_2 radian/detik adalah ditolak, sementara frekuensi lain diteruskan.



Gambar 2.12 Karakteristik Filter Ideal [28]

Karakter filter riil tidaklah sama dengan karakter filter ideal. Dalam filter riil, frekuensi cut-off mempunyai magnitude -3 dB, bukan 0 dB. Pada filter riil juga terdapat apa yang disebut pita transisi (transititon band), yang kemiringannya dinyatakan dalam dB/oktav atau dB/dekade [28].



Gambar 2.13 Karakteristik Filter Rill [29]

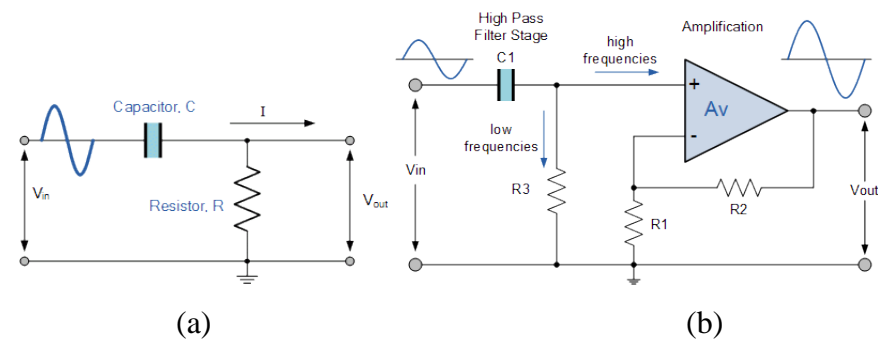
2.7.2 High Pass Filter

High-Pass Filter (HPF) merupakan tipe/fungsi dalam equalizer yang meloloskan nilai frekuensi diatas nilai frekuensi yang kita kehendaki (*CutOff*

frequency), sehingga frekuensi yang berada dibawah frekuensi yang kita kehendaki akan disaring atau dihilangkan [28].

Sebagai contoh apabila kita merancang HPF dengan kehendak frekuensi 10kHz maka frekuensi diatas 10kHz akan diteruskan dan frekuensi dibawah 10kHz akan disaring atau dihilangkan [28].

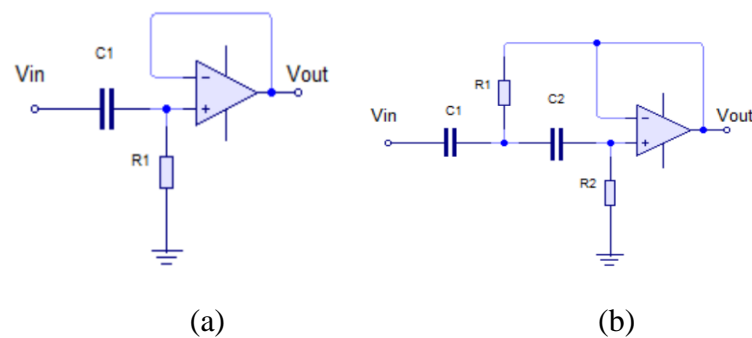
Suatu HPF dapat dibuat menggunakan sebuah resistor dan kapasitor seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.14 Rangkaian High Pass Filter (a) passive (b) active [30]

Terdapat perbedaan HPF orde satu dan dua pada penempatan capacitor. Filter orde satu mempunyai pita trannsisi dengan kemiringan 20dB/decade atau 6dB/oktav [28], dengan besar frekuensi *cutoff* :

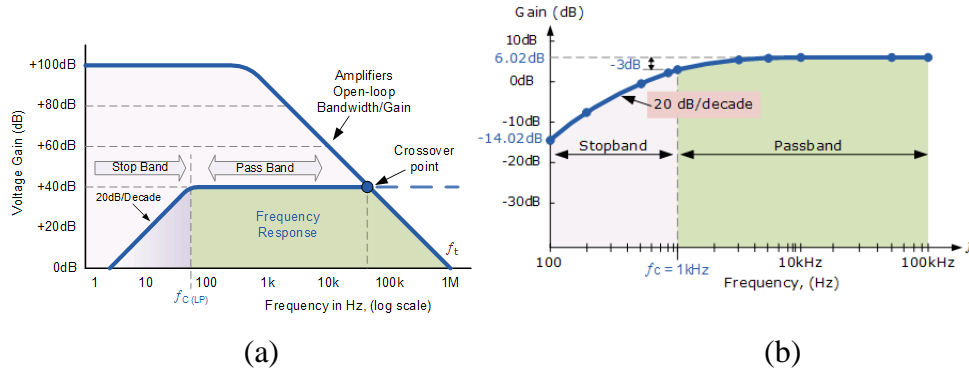
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (6)$$



Gambar 2. 15 HPF Orde - (a) 1 (b) 2 [28]

Besar frekuensi *cutoff* orde-2:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (7)$$



Gambar 2.16 HPF (a) Respon Frekuensi (b) Bode Plot [30]

Penguat tegangan masukan yang diberikan pada rangkaian HPF memiliki perbedaan respon frekuensi rangkaian aktif HPF sebagai berikut:

- Pada saat sinyal masukan dengan frekuensi (f) lebih tinggi dari frekuensi *cutoff* (f_c):

$$\frac{V_o}{V_i} = A_v \quad (8)$$

- Pada saat sinyal masukan dengan frekuensi (f) sama dengan dari frekuensi cut-off (f_c):

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot A_v \quad (9)$$

- Pada saat sinyal masukan dengan frekuensi (f) lebih rendah dari frekuensi cutoff (f_c):

$$\frac{V_o}{V_i} < A_v \quad (10)$$

2.7.3 Low Pass Filter

Merupakan filter yang melewatkan frekuensi dibawah *cutoff* dan meredam frekuensi diatas *cutoff*. Sama dengan HPF, *low pass filter* (LPF) orde-1 juga dapat dibuat dengan 1 buah kapasitor dan resistor seperti pada . Filter orde satu ini mempunyai pita transisi dengan kemiringan -20 dB/dekade atau -6 dB/oktav

[29]. Penguatan tegangan untuk frekuensi lebih rendah dari frekuensi cut off adalah:

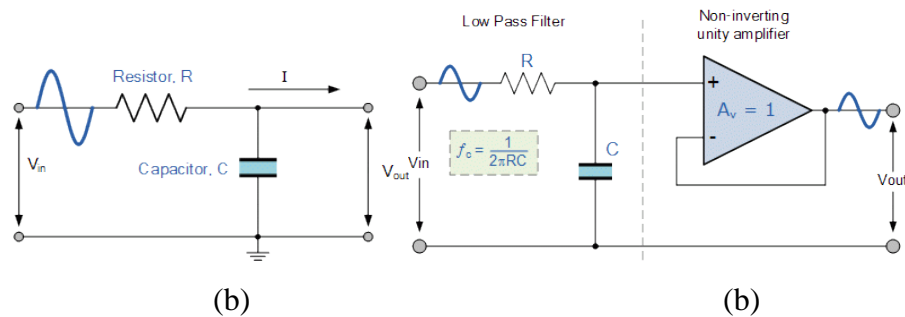
$$\text{Penguat DC } A_v = \frac{-R_2}{R_1} \quad (11)$$

$$\text{Penguat AC } R_2 = R_p \frac{X_C R_2}{X_C + R_1} \quad (12)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi\omega C}$$

$$A_v = \frac{-R_p}{R_1}$$

sementara besarnya frekuensi cut off didapat dari persamaan (6).



Gambar 2.17 Rangkaian Low Pass Filter (a) passive (b) active [30]

Besar frekuensi *cutoff* orde-2 persamaan (7).

2.7.4 DC Offset Cancellation

Offset DC = (Arus Searah) mengacu pada situasi di mana seluruh sinyal digeser ke atas atau ke bawah sedikit dari garis tengah, dan penghapusan offset DC menempatkan sinyal dengan memusatkan sinyal di sekitar nilai 0 pada sumbu y atau beda potensial.

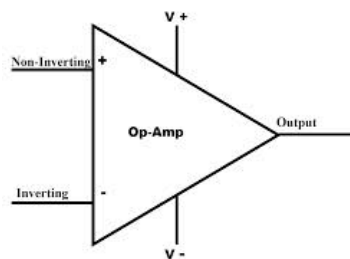
Dengan pengembangan sistem komunikasi nirkabel, konversi arsitektur secara langsung telah menarik banyak perhatian selama beberapa tahun ini, tetapi beberapa masalah masih ada dalam konversi arsitektur langsung seperti *offset* DC, diurutkan kedua intermodulasi (IM2), kebocoran LO, self -mencampur, flicker noise dan amplitudo dan fase tidak cocok.

DC *offset* dapat dibuat menggunakan beragam cara. Offset DC akan menurunkan *dynamic range receiver*. Kopling AC dari setiap *stage* adalah cara yang lebih mudah untuk menghapus *offset*.

2.7.5 Operational Amplifier

Penguat Operasional atau *Operational Amplifier* (biasa dikenal dengan Op-Amp) merupakan sebuah komponen elektronika yang tersusun dari resistor, *diode*, dan transistor. Op-Amp tersusun dalam sebuah rangkaian yang terintegrasi atau yang biasa dikenal dengan *Integrated Circuit* (IC). Op-Amp dalam aplikasinya biasa digunakan sebagai penguat [31].

Rangkaian Op-Amp biasa dilambangkan seperti pada Gambar 2.17. Pada Gambar 2.17 dapat dilihat bahwa terdapat dua buah masukan, yaitu masukan inverting dan noninverting. Pada Gambar 2.17, terdapat pula dua sumber masukan sebagai sumber daya dari Op-Amp tersebut, yaitu tegangan positif (+Vcc) dan tegangan negative (-Vee) [31].



Gambar 2.18 Simbol Op-Amp [30]

Adapun sifat Op-Amp ideal yaitu:

- Perbedaan tegangan masukan (V_{dm}) = 0.
- Arus masukan Op-Amp (i_a) = 0.
- Penguat lingkaran terbuka ($AVOL$) tak berhingga.
- Hambatan keluaran lingkaran terbuka ($R_{o,ol}$) nol.
- Hambatan masukan lingkaran terbuka ($R_{i,ol}$) tak berhingga.
- Lebar pita (bandwidth) tak berhingga atau Δf tak berhingga
- Common Mode Rejection Ratio (CMRR) tak berhingga.

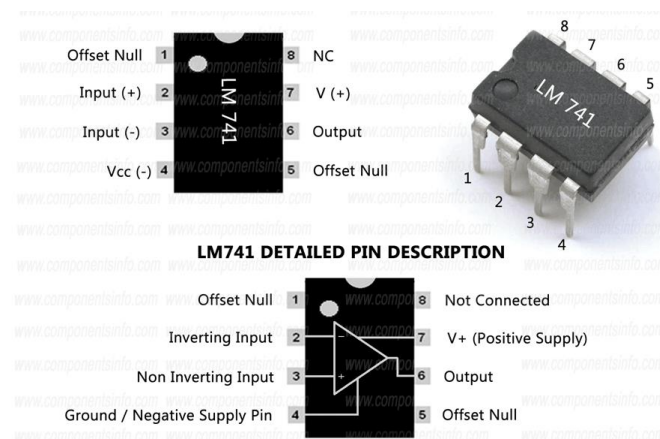
Op-Amp yang digunakan pada makalah ini, yaitu Op-Amp dengan tipe LM-741. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan antara Op-Amp ideal dengan LM-741.

Tabel 2. 2 Perbandingan Op-Amp ideal dengan LM-741

Jenis Substrat	MIN	TYP
----------------	-----	-----

<i>Voltage Gain, A</i>	∞	200.000
<i>Masukan Resistance</i>	$\infty \Omega$	2M Ω
<i>Output Resistance</i>	0 Ω	75 Ω

Op-Amp LM-741 mempunyai 8 kaki yang mana masing-masing kaki mempunyai fungsi berbeda.



Gambar 2.19 IC, SPin-in, dan Pin-Out pada LM741 [32]

Penjelasan kaki Op-Amp LM-741, yaitu:

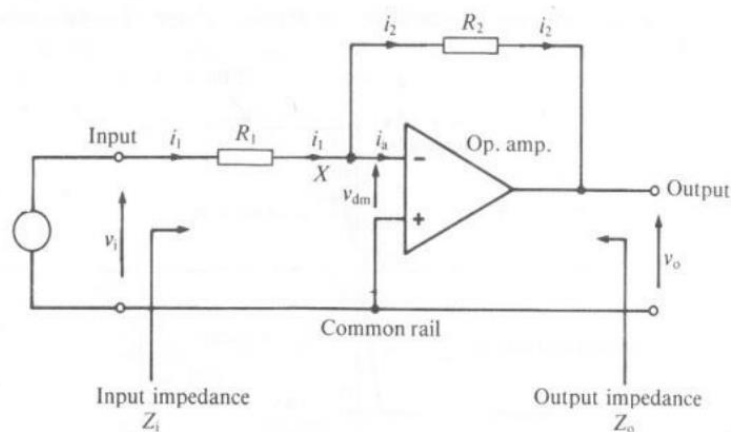
- a. Kaki 1 : Offset Null. Kaki ini berfungsi untuk mengontrol offset tegangan untuk meminimalkan kebocoran, karena OpAmp berjenis differensial.
- b. Kaki 2 : Inverting Masukan.Kaki ini berfungsi sebagai masukan pada OpAmp. Sifat keluaran dari masukan melalui kaki ini, yaitu fasa sinyal keluaran akan berlawanan dengan sinyal masukan.
- c. Kaki 3 : Non-Inverting Masukan. Kaki ini berfungsi sebagai masukan pada OpAmp. Sifat keluaran dari masukan melalui kaki ini, yaitu fasa sinyala keluaran akan berfasa sama dengan sinyal masukan.
- d. Kaki 4 : V negatif. Kaki ini berfungsi sebagai sumber daya tegangan negative pada Op-Amp agar dapat bekerja.
- e. Kaki 5 : Offset Null. Fungsi kaki ini sama dengan kaki 1.
- f. Kaki 6 : Output. Kaki ini berfungsi sebagai keluaran dari Op-Amp.
- g. Kaki 7 : V positif. Kaki ini berfungsi sebagai sumber daya tegangan positif.

- h. Kaki 8 : Not Connected. Kaki ini berfungsi pelengkap kemasan standar komponen 8-pin. Kaki ini tidak terhubung ke manapun pada rangkaian.

Dalam penggunaannya Op-Amp dibagi menjadi dua jenis yaitu penguat linier dan penguat tidak linier. Penguat linier merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan, yang termasuk dalam penguat ini antara lain penguat non inverting, penguat inverting, penjumlah diferensial dan penguat instrumentasi. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, integrator, diferensiator, pengubah bentuk gelombang dan pembangkit gelombang [31].

2.7.6 Inverting Amplifier

Rangkain Op-Amp dasar yang menyediakan penguatan tegangan membalik ini ditunjukkan pada Gambar . Ini adalah rangkaian yang sangat berguna yang juga menyediakan landasan untuk rangkaian-rangkaian Op-Amp lainnya. Dari gambar rangkaian tersebut menunjukkan bahwa rangkaiannya adalah suatu rangkaian umpan balik karena resistor R_2 menyediakan jalur umpan balik dari output ke masukan Op-Amp. Umpan balik tersebut adalah jenis umpan balik negatif karena sinyal umpan baliknya dihubungkan ke terminal pembalik (diberi label '-') [31].



Gambar 2.20 Penguat Inverting [31]

Sebuah penguat pembalik menggunakan umpan balik negatif untuk membalik dan menguatkan sebuah tegangan. Resistor R2 melewati sebagian sinyal keluaran kembali ke masukan. Karena keluaran taksefase sebesar 180° , maka nilai keluaran tersebut secara efektif mengurangi besar masukan. Ini mengurangi penguatan keseluruhan dari penguat dan disebut dengan umpan balik negatif [31].

Nilai tegangan keluaran adalah :

$$V_o = \frac{-R_2}{R_1} V_i \quad (13)$$

dimana R1= resistansi masukan, dan R2 = resistansi umpan balik (*feedback resistor*). Penguatan tegangan dari penguat ditentukan dari rasio antara R2 dan R1, yaitu:

$$A_v = \frac{-V_o}{V_i} = \frac{-R_2}{R_1} \quad (14)$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa keluaran adalah pembalikan dari masukan. Sebagai contoh apabila R2 bernilai 100K Ω dan R1 bernilai 1K Ω , maka nilai penguatan akan bernilai -100K Ω / 1K Ω , yaitu - 100.

Impedansi masukan dan output dari rangkaian penguat pembalik pada Gambar 2.19 juga sangat menarik. Impedansi output pada OpAmp ideal adalah nol dan oleh karena itu impedansi output pada rangkaian penuhnya adalah nol.

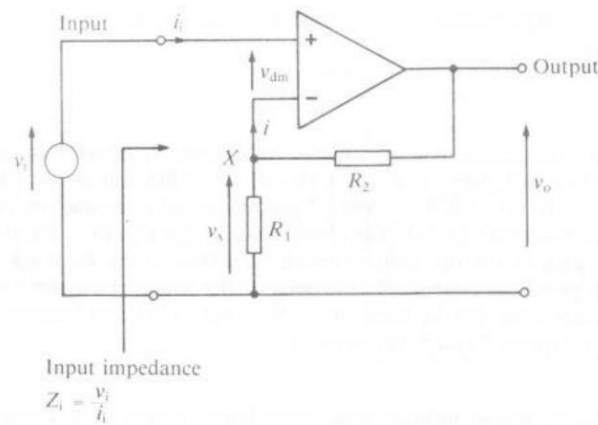
Impedansi output, $Z_o = 0 \Omega$

Impedansi masukan pada rangkaian tersebut ditentukan dengan rasio $Z_i = V_i / i_1$, sedangkan $i_1 = V_i / R_i$,

sehingga Impedansi masukan, $Z_i = R_i$

2.7.7 Non-Inverting Amplifier

Penguat *Non-Inverting Voltage Amplifier* merupakan kebalikan dari penguat *inverting*, dimana masukan-nya dimasukkan pada masukan non-inverting sehingga polaritas output akan sama dengan polaritas masukan tetapi memiliki penguatan yang tergantung dari besarnya Resistor *feedback* (R2) dan Resistor masukan (R1) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20 [31].



Gambar 2.21 Penguat Tegangan *Non-Inverting* [31]

persamaan penguatan penguat *non-inverting* adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \quad (15)$$

$$\text{Atau} \quad V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Sehingga penguatan tegangan untuk penguat *non-inverting* ini adalah :

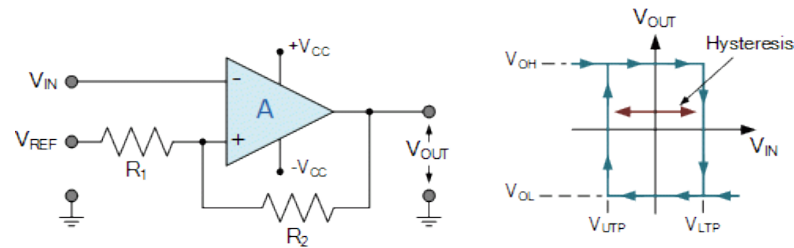
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (16)$$

Dengan demikian, penguat *non-pembalik* memiliki penguatan minimum bernilai 1. Karena tegangan sinyal masukan terhubung langsung dengan masukan pada penguat operasional maka impedansi masukan bernilai $Z_{in} = \infty$, dan impedansi output, $Z_o = 0 \, \Omega$ [31].

2.7.8 Comparator Amplifier

Komparator atau penguat diferensial membandingkan dua tegangan listrik dan mengubah keluarannya untuk menunjukkan tegangan mana yang lebih tinggi. Rangkaian komparator merupakan aplikasi Op-Amp yang mana rangkaian tersebut berada dalam keadaan loop terbuka dan tidak linear. Keluaran dari rangkaian ini tidak berbanding lurus dengan masukan. Keluaran berupa $+V_{cc}/-V_{cc}$ atau High/Low.

Prinsip dasar rangkaian ini, yaitu membandingkan nilai masukan pada *inverting* dan *non-inverting*. Jika kaki *noninverting* dianggap sebagai referensi, maka nilai keluaran bergantung pada masukan kaki *inverting*.

Gambar 2.22 Rangkaian *Comparator* [32]

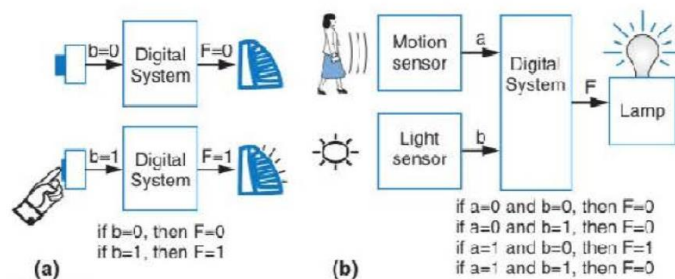
2.8 Rangkaian Digital

Sinyal digital merupakan hasil teknologi yang mengubah sinyal menjadi kombinasi urutan nilai bilangan 0 dan 1, sinyal digital tidak mudah terpengaruh oleh derau, proses informasi yang udah, cepat, dan akurat, tetapi memiliki jarak transmisi yang terbatas. Sinyal digital juga disebut sebagai sinyal diskret.

2.8.1 Rangkaian Kombinasional

Sirkuit digital yang nilai outputnya hanya bergantung pada kombinasi masukan sirkuit pada waktu itu.

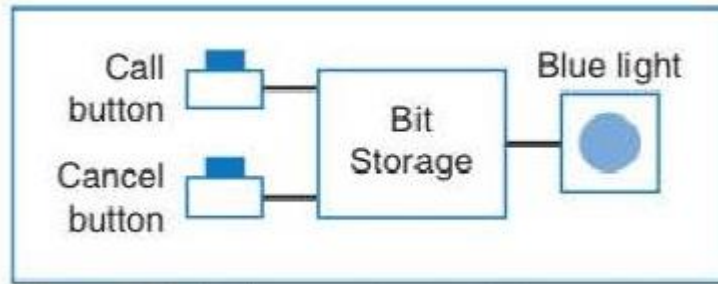
Sirkuit kombinasional adalah kelas dasar dari sirkuit digital yang mampu mengimplementasikan beberapa sistem, tetapi yang perlu penambahan untuk membentuk bagian dari sirkuit yang lebih kompleks. Blok dasar dari sirkuit kombinasional, yang dikenal sebagai gerbang logika, dan juga memperkenalkan bentuk fungsi matematika yang dikenal sebagai aljabar boolean yang berguna untuk dapat menggunakan sirkuit kombinasional



Gambar 2.23 sistem kombinasional (a) dan (b) hanya mampu menampilkan keluaran dari masukan pada waktu tertentu [17]

2.8.2 Rangkaian Sekuensial

sirkuit sekuensial adalah sirkuit yang outputnya tidak hanya bergantung pada masukan sirkuit saat ini, tetapi juga pada keadaan sirkuit saat ini, yang merupakan semua bit yang saat ini disimpan dalam sirkuit. keadaan sirkuit pada gilirannya tergantung pada urutan sebelumnya dari nilai masukan sirkuit.



Gambar 2.24 Rangkaian Sekuensial memiliki memori saat tidak terdapat masukan [17]

2.8 Ambient Noise

Sumber cahaya yang berbeda seperti cahaya latar belakang alami dan buatan berkontribusi terhadap kebisingan cahaya sekitar. Sumber kebisingan cahaya sekitar adalah sinar matahari. Cahaya *ambient* buatan berasal dari banyak sumber cahaya seperti lampu pijar, dan lampu fluoresent yang digerakkan oleh ballast konvensional dan elektronik. Gambar 3 menunjukkan spektrum optik dari berbagai sumber kebisingan cahaya sekitar [33].

2.9 Field Programmable Gate Array (FPGA)

Field-Programmable Gate Array (FPGA) merupakan sebuah IC digital yang sering digunakan untuk mengimplementasikan rangkaian digital. FPGA berbentuk komponen elektronika dan semikonduktor yang terdiri dari komponen gerbang terprogram (programmable logic) dan sambungan terprogram (interkoneksi). Komponen gerbang terprogram yang dimiliki meliputi jenis gerbang logika biasa (AND, OR, NOT) maupun jenis fungsi matematis dan kombinatorik yang lebih kompleks, seperti decoder, adder, subtractor, multiplier, dll. Blok-blok komponen di dalam FPGA bisa juga mengandung elemen memori (register) mulai dari flip-flop sampai pada RAM (Random

Access Memory). FPGA sangat sesuai untuk pemrosesan komputasi dari algoritme integrasi numerik. Keuntungan implementasi FPGA digunakan untuk meningkatkan efisiensi rancangan dengan cara mengurangi pemakaian pemrograman perangkat lunak (software). FPGA mempunyai koreksi error yang kecil dan merupakan teknologi yang bebas (technology-independent) untuk diimplementasikan dalam berbagai algoritme. Kinerja aplikasi FPGA lebih cepat dibandingkan dengan aplikasi mikrokontroler.



Gambar 2. 25 FPGA [34]

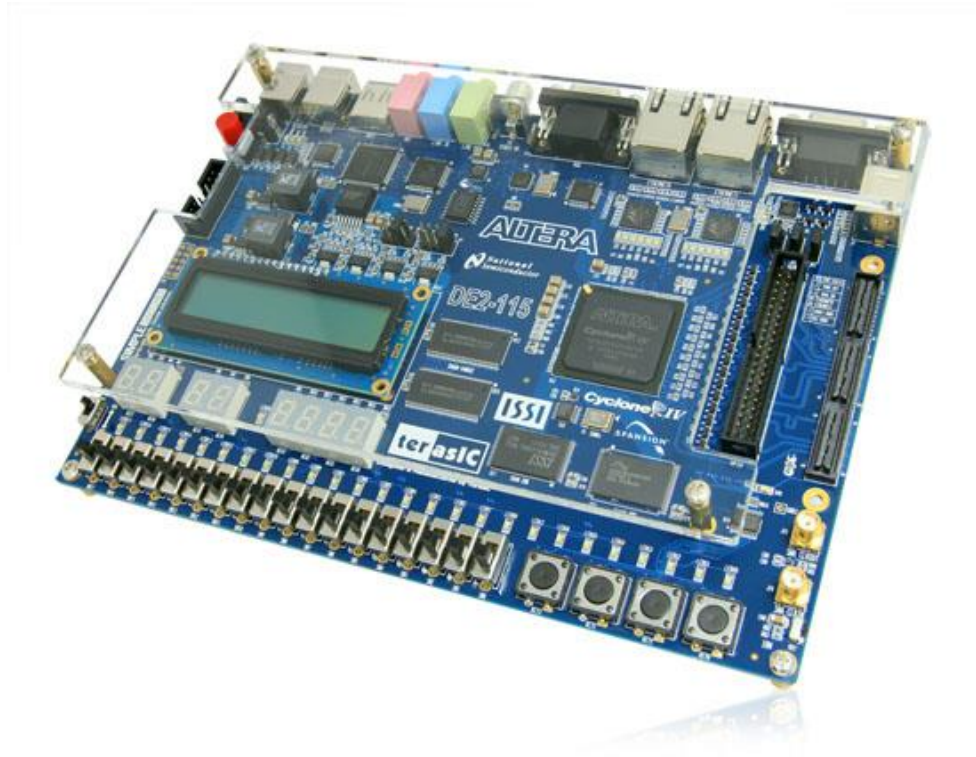
FPGA dapat diimplementasikan untuk proses komputasional yang menggunakan unsur aritmatika, yang terdiri dari perkalian dan penjumlahan dengan mengurangi aspek pemrograman perangkat lunak dan mempunyai faktor error yang kecil. FPGA merupakan piranti yang terdiri dari jutaan gerbang dan dapat dikonfigurasi dengan memasukkan berbagai algoritma dan fungsi tertentu untuk mendapatkan suatu modul perangkat keras yang mengacu pada sistem digital. FPGA dikonfigurasi dengan 3 cara, yaitu skematik, state-diagram, dan Bahasa deskripsi. Perancangan menggunakan skematik hanya memilih dan meletakkan komponen atau modul yang telah tersedia atau disediakan perangkat lunak. Modul tersebut dapat dirangkai lebih besar menggunakan modul lain sehingga didapatkan modul yang komprehensif. Perancangan skematik menggunakan dasar gambar untuk membuat rancangannya. Perancangan state-diagram menggunakan dasar gambar juga, namun rancangan ini didasarkan pada alur yang memiliki prinsip *finite state machine* (FSM). Perancangan perangkat keras yang memahami spek sekuensial suatu rancangan dapat menerapkan Teknik ini, karena hanya menggunakan

gambar *symbol* proses dan panah saja. Tetapi untuk membuat suatu rancangan yang tidak memiliki dasar pada suatu proses, akan sangat sulit untuk dapat melakukan aplikasi. Perancangan menggunakan Bahasa deskripsi lebih fleksibel.

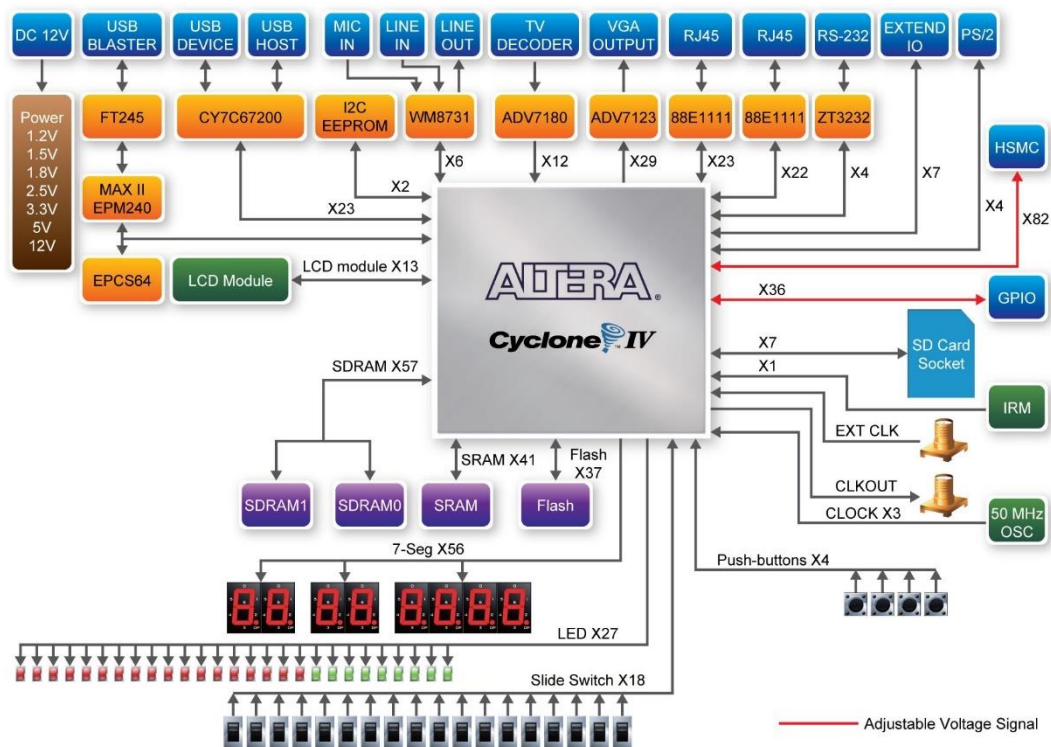
Keuntungan implementasi FPGA digunakan untuk meningkatkan efisiensi rancangan dengan cara mengurangi pemakaian pemrograman perangkat lunak (*software*). FPGA mempunyai koreksi error yang kecil dan merupakan teknologi yang bebas (*technology-independent*) untuk diimplementasikan dalam berbagai algoritma. Kinerja aplikasi FPGA lebih cepat dibandingkan dengan aplikasi mikrokontroler, karena FPGA hanya mensintesis perangkat keras (*hardware*) saja, sementara mikrokontroler mengeksekusi instruksi perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk mengendalikan perangkat keras (*hardware*), sehingga waktu tunda yang diimplementasikan hanya memakan waktu tunda perambatan (*propagation delay*) saja. Pemodelan FPGA membutuhkan informasi terkait dengan tingkat perbedaan abstraksi dan jenis model yang digunakan. Seorang perancang FPGA harus mampu mengambil beberapa tahapan pemodelan untuk memastikan hasil model rancangannya melalui model simulasi yang telah disediakan oleh vendor FPGA masing-masing.

2.10.1 Altera DE2-115

Pengaplikasian teknologi FPGA ini sangatlah luas, baik di bidang elektronika, instrumentasi, navigasi, kesehatan, industri dan lain sebagainya. Contoh pengaplikasian teknologi FPGA antara lain:



Gambar 2.26 Board Image DE2-115 FPGA *System on Chip* [34]



Gambar 2.27 Board Diagram DE2-115 FPGA *System on Chip* [34]

Seri DE2 secara konsisten berada di garis depan *board* pengembangan pendidikan dengan membedakan dirinya dengan banyak antarmuka untuk mengakomodasi berbagai kebutuhan aplikasi. Memperluas fitur terdepan dan kesuksesan, Terasic membuat DE2-115 terbaru yang dilengkapi perangkat Cyclone® IV E. Menanggapi peningkatan kebutuhan spektrum berbiaya rendah serba guna yang didorong oleh permintaan untuk video seluler, suara, akses data, dan haus akan gambar berkualitas tinggi, DE2-115 baru menawarkan keseimbangan optimal antara biaya rendah, daya rendah, dan pasokan kaya logika, memori, dan kemampuan DSP. DE2-115 mengadopsi fitur serupa dari seri DE2 sebelumnya terutama DE2-70, serta antarmuka tambahan untuk mendukung protokol utama termasuk Gigabit Ethernet (GbE). Konektor Kartu Mezanin Berkecepatan Tinggi (HSMC) disediakan untuk mendukung fungsionalitas dan konektivitas tambahan melalui kartu dan kabel anak HSMC. Untuk pengembangan prototipe ASIC skala besar, sambungan dapat dibuat dengan dua atau lebih papan berbasis FPGA dengan menggunakan kabel HSMC melalui konektor HSMC. Perangkat Cyclone EP4CE115 yang dilengkapi dengan DE2-115 memiliki 114.480 elemen logika (LEs), yang terbesar yang ditawarkan dalam seri Cyclone IV E, RAM hingga 3,9 Mbits, dan pengganda 266. Selain itu, ini memberikan kombinasi biaya rendah dan fungsionalitas yang belum pernah ada sebelumnya, dan daya yang lebih rendah dibandingkan dengan perangkat Cyclone generasi sebelumnya [34].

Tabel 2. 3 Fitur FPGA DE2-115 *System on Chip*

<i>Feature</i>	
<i>Board Category</i>	<i>Development Kit</i>
<i>Components & Interface</i>	
<i>Audio</i>	<i>Iomic</i>
<i>Expansion</i>	<i>Generic, HSMC</i>
<i>Industry Standard</i>	<i>Ethernet, PS2, RS232, USB Device</i>
<i>Video</i>	<i>Composite Masukan, VGA Output</i>
<i>End Market</i>	<i>Broadcast, Computer & Storage, Consumer, Industrial, Medical,</i>

	<i>Military, Test & Measurement,</i>
	<i>Wireline</i>
<i>Technology</i>	<i>General Purpose</i>
<i>Cyclone Series</i>	<i>Cyclone® IV E</i>
<i>Board Feature: General User IO</i>	<i>7 Segment Display, LED, Push</i>
	<i>Button, Slider Switch</i>

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif adalah penelitian tentang riset yang bersifat deskriptif dan cenderung menggunakan analisis. Proses dan makna (perspektif subjek) lebih ditonjolkan dalam penelitian kualitatif [35]. Tinjauan pustaka digunakan sebagai pemandu agar fokus penelitian sesuai dengan fakta di lapangan. Selain itu untuk memberikan gambaran umum tentang latar penelitian dan sebagai bahan dalam pembahasan hasil penelitian. Tujuan menggunakan metode eksperimental dikarenakan akan dilakukan eksperimen terhadap variable-variabel masukan untuk menganalisa *output* yang dihasilkan [36]. Lokasi penelitian ini dilakukan di Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret.

3.2 Pendekatan Penelitian

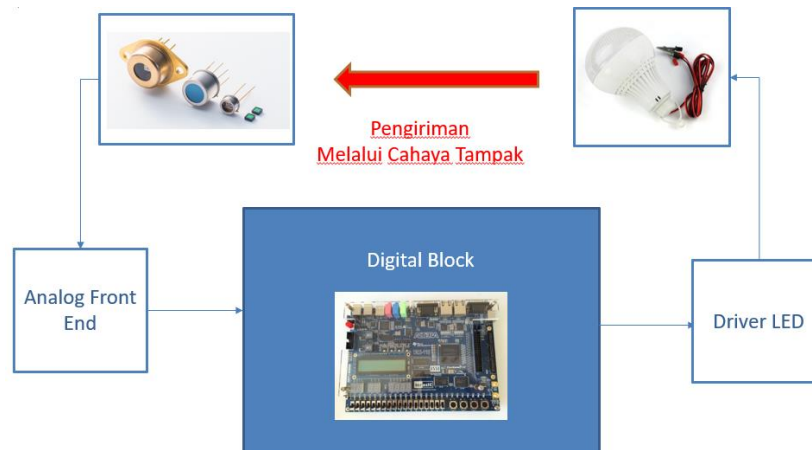
Penelitian ini menggunakan pendekatan saintifik yaitu pendekatan berdasarkan ilmu pengetahuan dan teknologi [35].

3.3 Sumber Data

Sumber data diperoleh dari Jurnal, Buku, dan Publikasi. Selain itu diperoleh juga dari penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan pada penelitian ini.

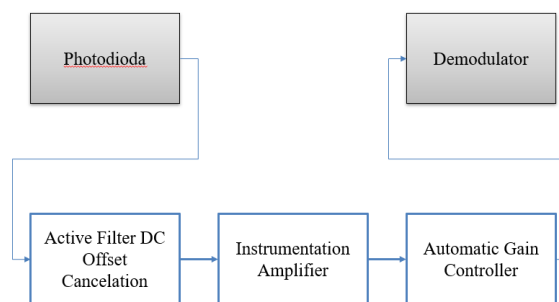
3.4 Langkah Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi pustaka untuk memahami prinsip kerja cara pembuatan analog *front end* VLC. Referensi yang digunakan berupa, paper, *datasheet*, laporan penelitian dengan topik sejenis dan buku. Mempelajari membuat program juga termasuk pada bagian ini.



Gambar 3. 1 Diagram Keseluruhan sistem VLC

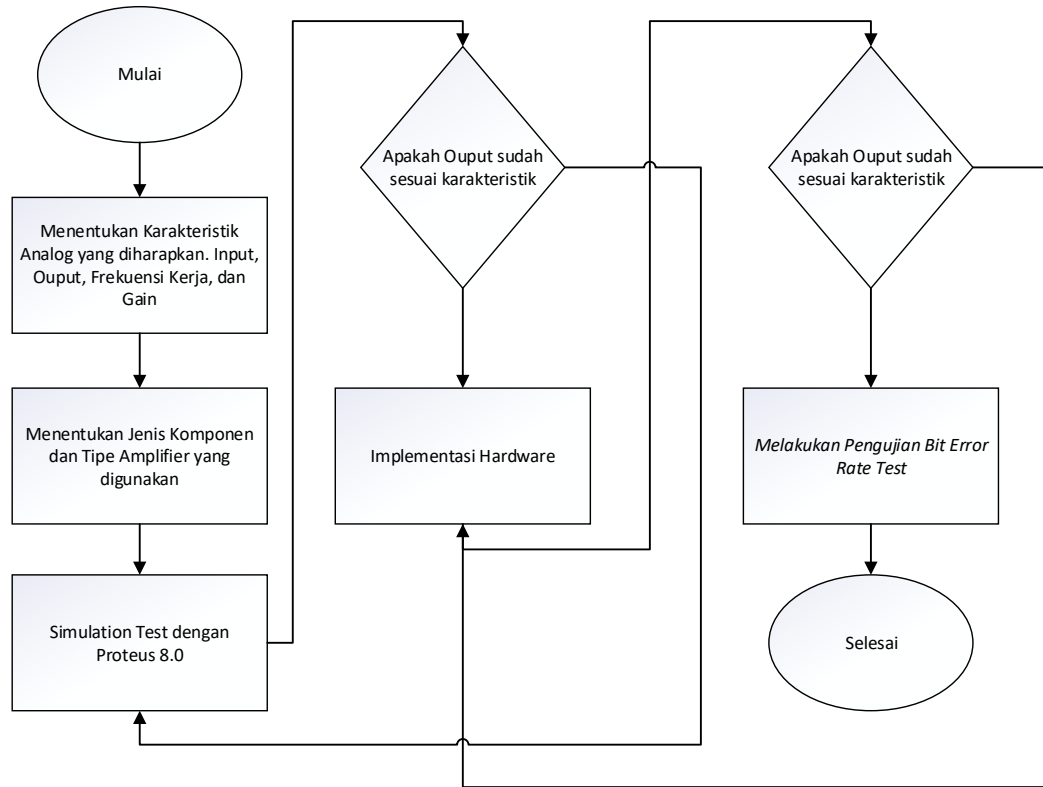
Seperti *Visible Light Communication* (VLC) terdiri dari digital blok yang terdapat di FPGA, driver LED dan AFE berfungsi sebagai blok analog.



Gambar 3. 2 Diagram Keseluruhan sistem AFE

Pada sistem AFE terdapat tiga komponen utama yaitu *DC Offset Cancellation*, *Instrumentation Amplifier*, dan *Automatic Gain Controller*.

Setelah pengetahuan dasar dipahami, penelitian dilanjutkan dengan pembuatan simulasi. *Software* yang digunakan untuk merancang simulasi ini adalah Multisim 8.1. Setelah simulasi berjalan dengan baik sesuai yang diinginkan tahap selanjutnya adalah pembuatan perangkat *front end* VLC. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.3 Diagram Perancangan Hardware

Pembuatan perangkat keras meliputi perancangan analog *front end*, seperti *BandPassFilter*, *Instrumentation Amplifier*, dan *Automatic Gain Controller*. Serangkaian pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian secara keseluruhan, mulai dari pengujian simulasi, pengujian *monitoring*, pengujian BER dan *Signal to Distance*. Evaluasi pun dilakukan hingga rangkaian dapat beroperasi dengan optimal. Setelah itu penelitian diakhiri dengan penulisan laporan penelitian sesuai data yang didapat.

3.5 Menentukan Karakteristik Analog VLC

Tabel 3.1 Parameter *Analog Front-end* VLC yang Diinginkan

Parameter	Karakterisasi Analog Front-end VLC
<i>Application/Coverage Range</i>	Indoor/max ~1.5m
<i>Communication Models</i>	Point to point
<i>Transmitter</i>	LED Specifications: <ul style="list-style-type: none"> • Voltage rating: 10-14V • Power: 9W(max) • View Angle: 120° • Luminous intensity: 400-500lux • Wavelength: 380-760nm (white)
<i>Receiver</i>	Photodiode specifications: <ul style="list-style-type: none"> • Spectral response: 400-1000nm • Rise/fall time: 50μs • Cutoff frequency: 5MHz • Effective area size: 3cm²
OP-AMP	General OP-AMP (LM741) with dual supply $\pm V_{DC}$ and 2MHz Bandwidth
<i>Channel Mode</i>	Direct LOS link
<i>Microcontroller</i>	Altera Cyclone V SoC ARM 5CSEMA4U1749A
<i>Bitrate max</i>	100 Kbps
<i>Modulation</i>	VPPM
<i>Interference lamp addressing</i>	LED Lamp

3.6 Menentukan Jenis Komponen dan Tipe Amplifier yang digunakan

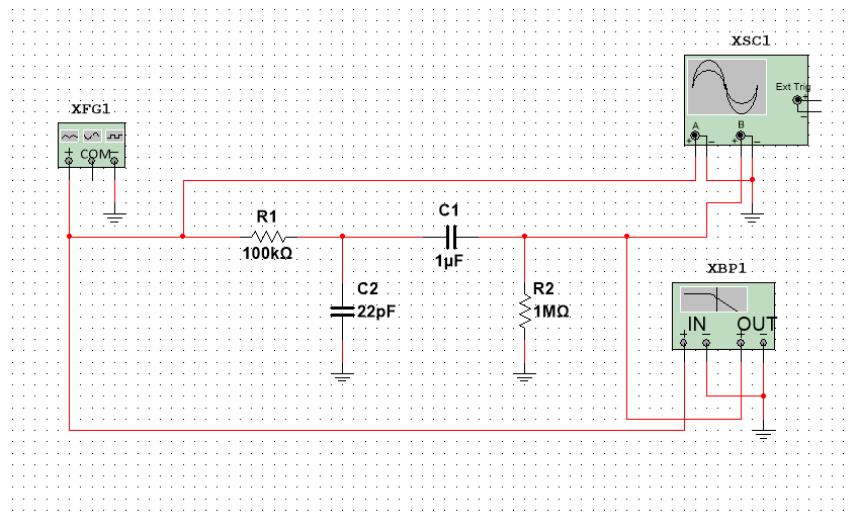
Adapun jenis Komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah IC OP-AMP LM741 yang mudah ditemukan dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Komponen yang Digunakan

Jenis	Test Condition	MIN	TYP	MAX	UNIT
Substrat					
Masukan	$R_S \leq 10k\Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
<i>offset</i>	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			6	mV
<i>voltage</i>					
Masukan	$T_A = 25^\circ\text{C}$		20	200	nA
<i>offset</i>	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		85	500	nA
<i>current</i>					
Masukan	$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	500	nA
<i>bias</i>	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			1.5	μA
<i>current</i>					
Masukan	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	0.3	2		$\text{M}\Omega$
<i>resistance</i>					
Masukan	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	± 12	± 13		V
<i>voltage</i>					
<i>range</i>					

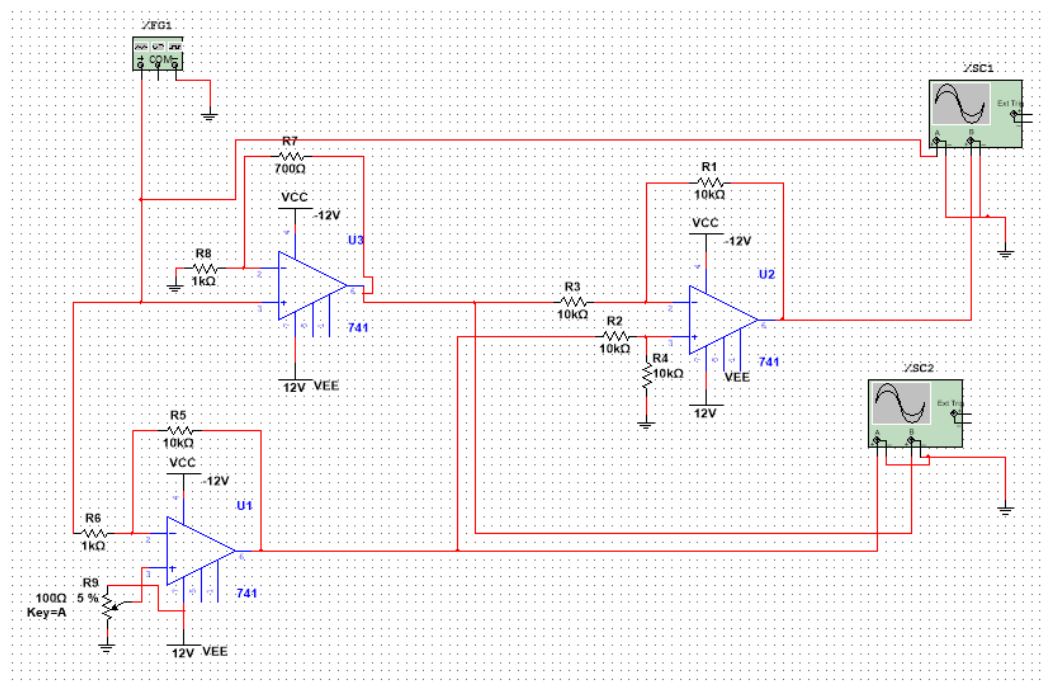
3.7 Test Simulasi dengan Multisim 8.1

Passband berfungsi untuk menghapus nilai frekuensi yang tidak dibutuhkan (*noise*) dan membuat nilai output menjadi bernilai positif dan 0 (menghapus DC *offset*). Sistem kerja dari rangkaian ini adalah arus akan bergerak seperti pada gambar 3.4.

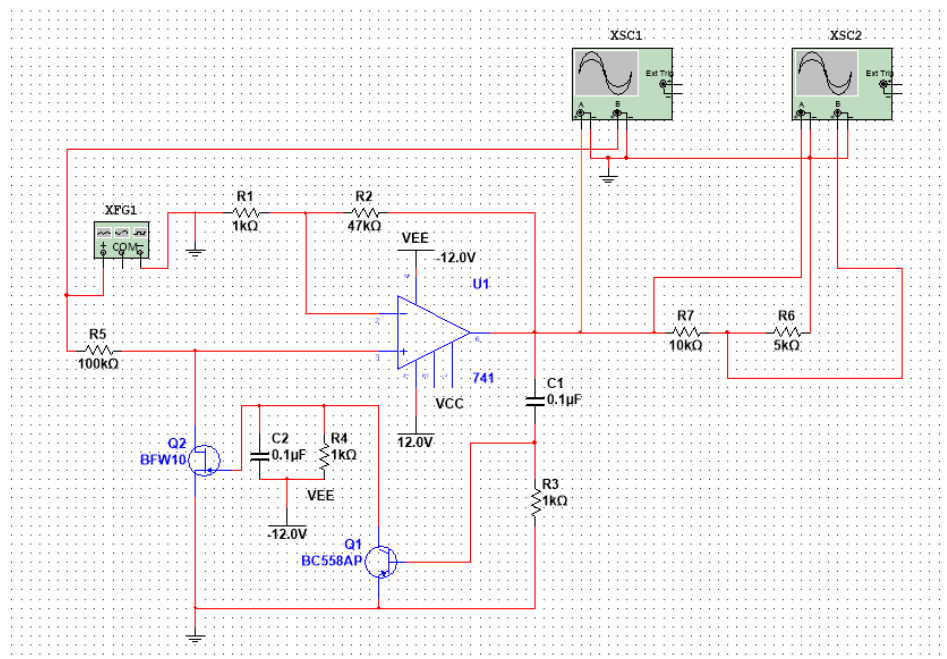


Gambar 3.4 *Passband Analog Filter*

Pengujian yang dilakukan terhadap rancangan pada *analog front end* adalah dengan memberikan variasi masukan pada frekuensi generator. Hasil yang didapatkan adalah data keluaran sistem yang dibaca menggunakan *oscilloscope* secara virtual pada aplikasi multisim. Selanjutnya data hasil keluaran akan dijadikan pembanding data pengujian pada implementasi perangkat keras menggunakan FPGA.



Gambar 3.5 *Instrumentation Amplifier*



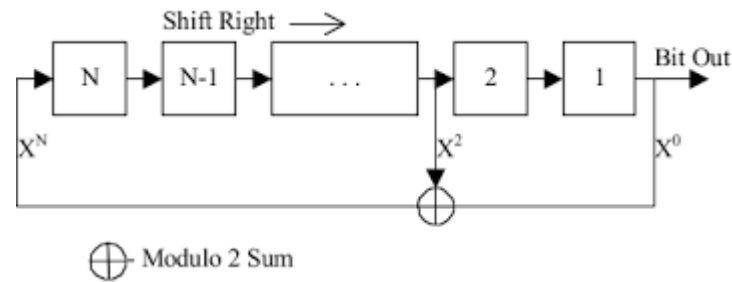
Gambar 3.6 Automatic Gain Controller

3.8 Implementasi Hardware

Modul perangkat keras dari VLC yang diusulkan ditunjukkan pada terdiri dari fotodiode, rangkaian *analog receiver*, dan soket mikrokontroler. Setelah rangkaian VLC dibuat dalam satu lapisan *Printed Circuit Board* (PCB), langkah selanjutnya yang dilakukan adalah percobaan *real-time experiments*.

Pada proses identifikasi sistem langkah yang pertamakali dilakukan adalah pengambilan data masukan dan keluaran pada sistem. Pengujian menggunakan sinyal uji tertentu yang diberikan pada sistem fisik yang teridentifikasi. Untuk mendapatkan keluaran yang tepat dalam pemilihan sinyal uji memiliki spesifikasi tertentu. Standar yang digunakan dalam sinyal *pseudorandom binary sequences* (PRBS).

Pseudorandom binary sequence (PRBS) merupakan sinyal kotak yang dimodulasi pada lebar sinyal dan dikirimkan secara sekuensial. Sinyal dibangkitkan menggunakan *Linear Feedback Shift Register* (LFSR). LFSR memiliki dua buah parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan yaitu : Panjang *shift* dan susunan dari umpan balik. Panjang variasi sekuensial tergantung dari panjang *shift register*.



Gambar 3.7 *Pseudorandom binary sequences* (PRBS) blok diagram [37]

Sinyal PRBS akan dihubungkan secara paralel melalui komunikasi VLC dan delay. keluaran VLC dan delay. Pada VLC sinyal PRBS akan melalui *analog front end*. Pengukuran dilakukan melalui keluaran yang dihasilkan yang dibaca menggunakan *oscilloscope*. Sistem komunikasi VLC yang dibuat memiliki variasi nilai *dimming* 3bit sehingga terdapat 8 variasi *dimming*.

3.9 Melakukan Pengujian Bit Error Rate

Pada pengujian BER sumbu *horizontal* adalah jarak antara fotodioda dengan lampu LED. Grafik menunjukkan bahwa BER akan lebih tinggi jika jarak antara lampu LED dengan fotodioda lebih dekat. Hal tersebut disebabkan cahaya sekitar dari sumber cahaya akan lebih terang dan dapat mengganggu sinyal informasi. Percobaan awal menggunakan rangkaian *bandpass filter* namun pada proses implementasi rangkaian tidak dapat bekerja. Modifikasi dilakukan dengan menggunakan sirkuit *Active High Pass Filter* agar rangkaian dapat terbaca oleh instrumentation amplifier, nilai BER dapat diturunkan. Delay digital modulator dan

diatasi dengan menambahkan fifodelay pada masukan data pengirim ke *comparator* bit pada BER.

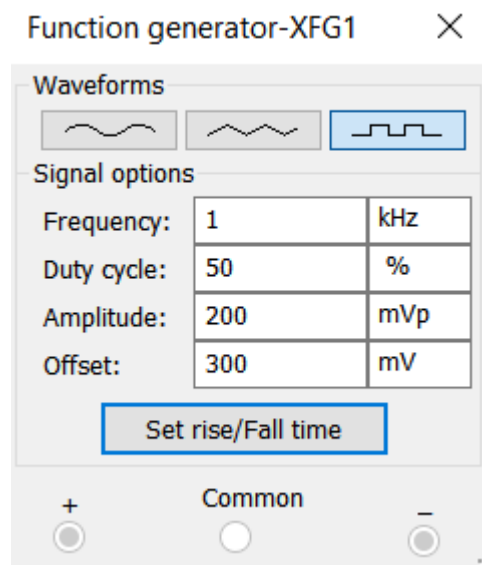
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perancangan, uji coba, dan eksperimen kemudian didapatkan beberapa hasil. Hasil yang didapat berupa keluaran sinyal yang telah diproses dan data yang didapat dari keluaran sistem. Data yang dihasilkan dari sistem ini terdiri dari hasil pembacaan sensor fotodioda, akurasi deteksi fotodioda dan kemampuan kecepatan maksimal yang didapat melalui uji bit error rate sinyal terhadap jarak, sudut, *clock*, dan *dimming* pada sistem.

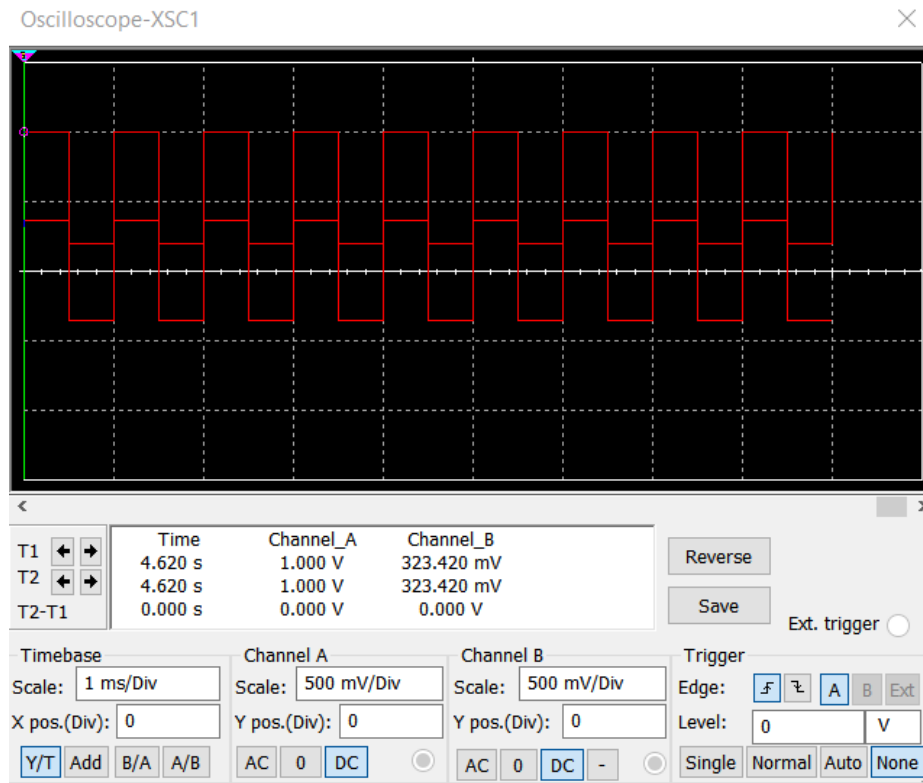
4.1 Hasil Simulasi *Passive PassBandFilter*

Hasil simulasi yang didapatkan saat fotodioda menerima pembacaan sensor diberikan menggunakan frekuensi generator dengan referensi hasil pengujian keluaran dari fotodioda dimana sinyal memiliki *amplitude* 200mV dan *offset* sebesar 300mV.



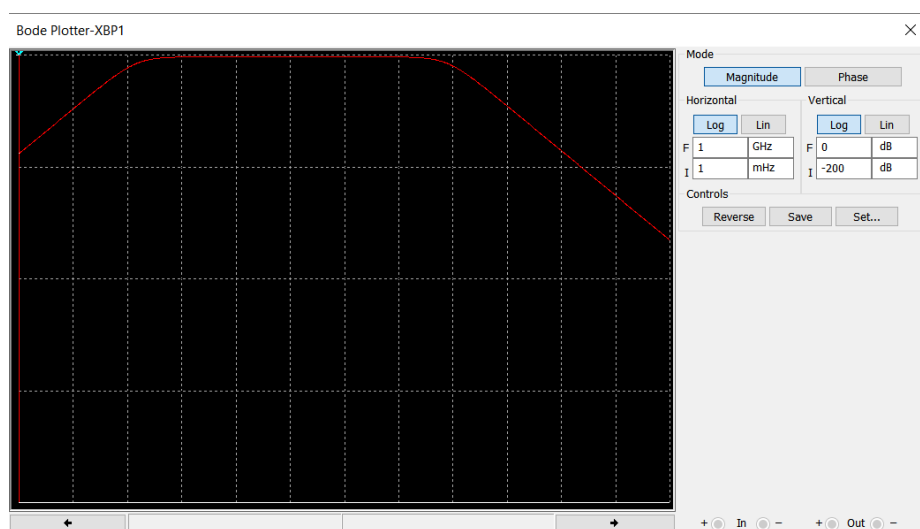
Gambar 4.1 Function Generator

Function Generator diatur dengan spesifikasi *amplitude* masukan sebesar 200mVp dan *offset* DC sebesar 300mV



Gambar 4.2 Hasil Output BandPassFilter

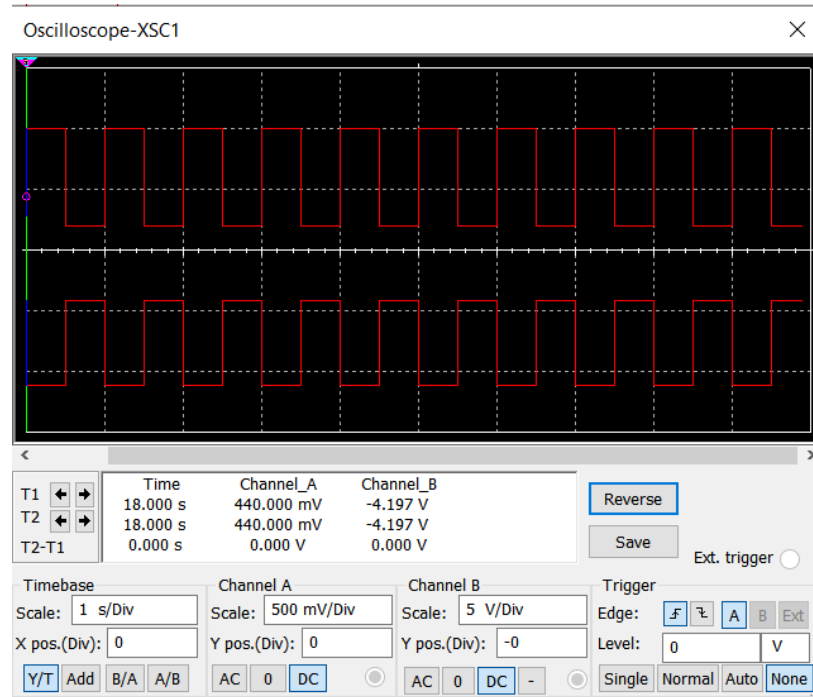
kemudian hasil keluaran dihubungkan ke masukan *Active Filter DC Offset Cancellation* untuk menghapus nilai *offset* yang dilakukan oleh kapasitor dan menghapus frekuensi dari *noise* yang tidak diinginkan pada masukan sehingga keluaran menjadi lebih bersih dari gangguan frekuensi dan *offset*.



Gambar 4.3 Bode Plot Sistem

Pada hasil Simulasi *Bode Plot* didapatkan kesimpulan bahwa sistem dapat memreduksi sinyal dengan nilai dibawah 100mHz dan diatas 100kHz. Hasil keluaran dari sistem menunjukkan *passband* mampu melewati keluaran sebesar 100mHz hingga 100kHz.

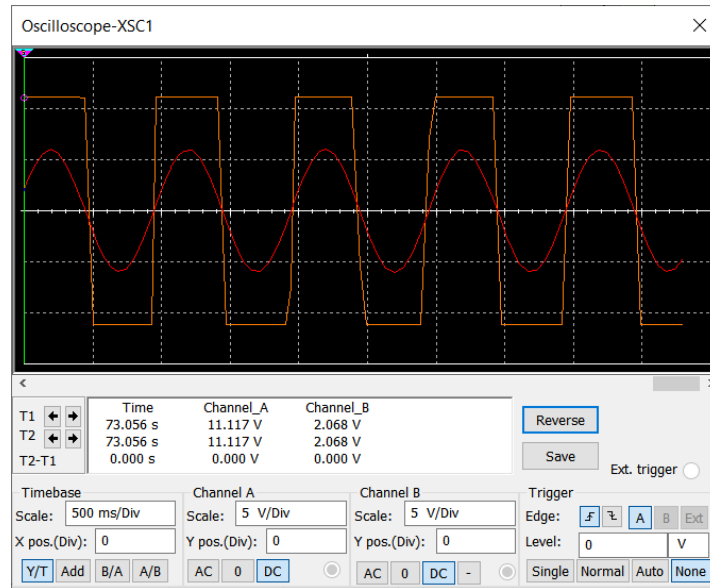
4.2 Hasil Simulasi *Instrumentation Amplifier*



Gambar 4.4 Bode Plot Sistem

Hasil simulasi pada *Instrumentation Amplifier* diberikan dengan masukan sebesar 440mV dan keluaran sebesar 4.197V yang dihubungkan dengan keluaran dari *BandPassFilter*.

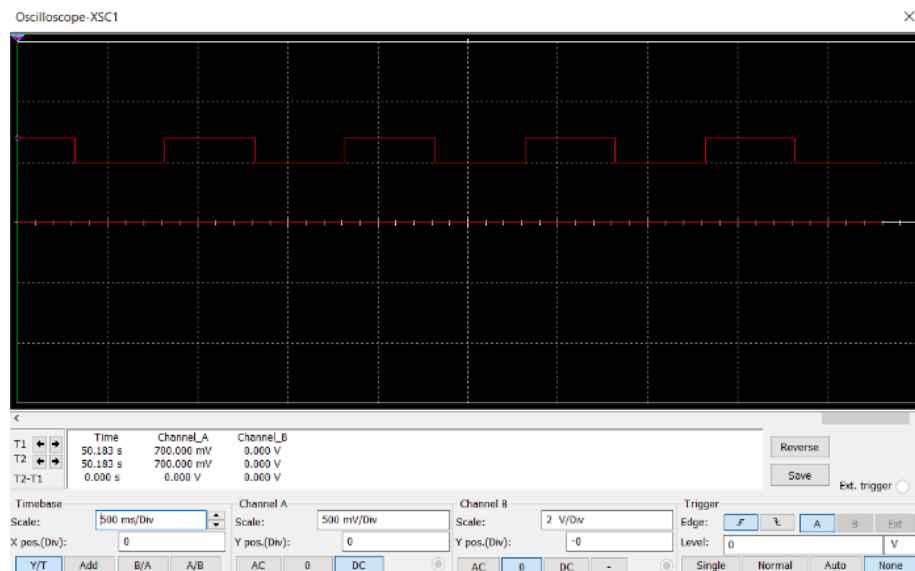
4.3 Hasil Simulasi *Automatic Gain Controller*



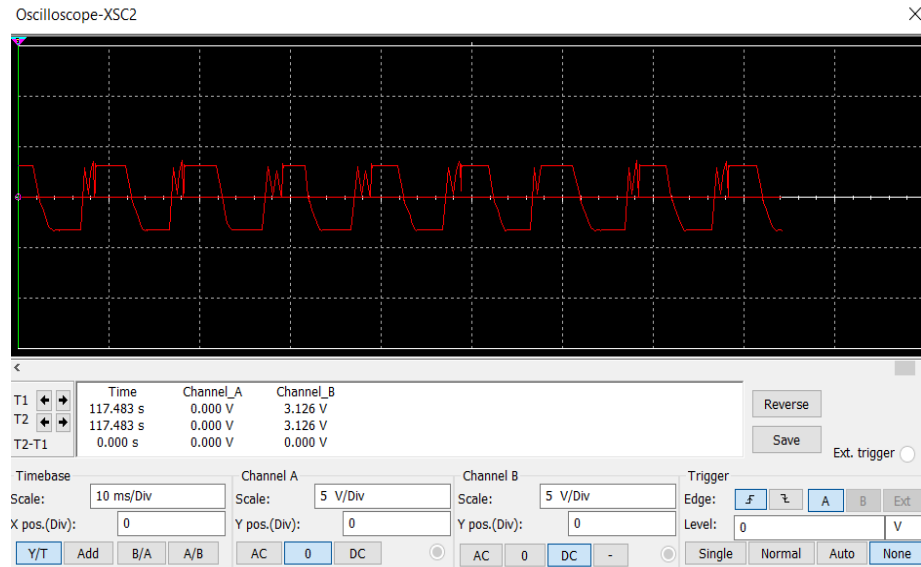
Gambar 4.5 *Bode Plot Sistem*

Hasil simulasi pada *Automatic Gain Controller* diberikan dengan masukan sebesar 2.068V dan keluaran sebesar 11.117V yang dihubungkan dengan keluaran dari *BandPassFilter*.

4.4 Hasil Simulasi Keseluruhan Sistem menggunakan Multisim



Gambar 4.6 Gelombang Masukan



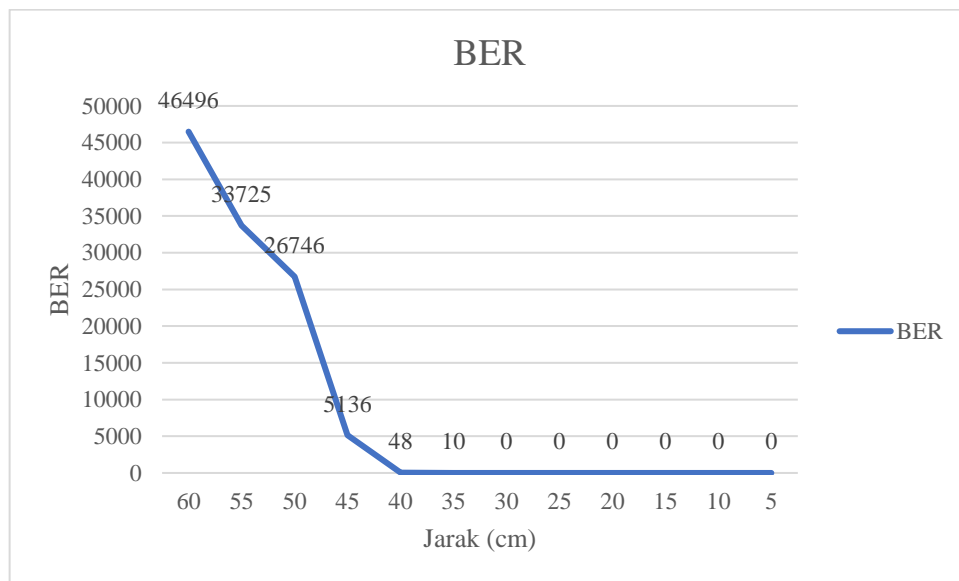
Gambar 4.7 Gelombang Keluaran

Data yang masukan dari fotodiode akan mengalami atenuasi *noise* dan penghapusan DC *Offset* pada *Active Filter DC Offset Cancelation*, selanjutnya sinyal akan memasuki *instrumentation amplifier* dan akan mengalami penguatan. Setelah dilakukan penguatan data akan memasuki *Automatic Gain Controller* agar nilai keluaran sama dengan spesifikasi masukan yaitu bernilai 3.3V dari FPGA.

Hasil simulasi pada Gabungan Sistem diberikan berupa masukan sinyal kotak dengan *amplitude* 200mV, *offset* 300mV menghasilkan keluaran sebesar 3.167mV yang dihubungkan dengan keluaran dari *BandPassFilter*.

4.5 Hasil Uji Jarak Terhadap *Bit Error Rate* (BER)

Uji Jarak terhadap BER bertujuan untuk mengetahui kemampuan jarak transmisi pengiriman data dari sistem VLC yang telah diberi *Analog front-end* (AFE) pada jarak berbeda dan melihat pada jarak berapa mulai terjadi kerusakan pada data dalam proses pengiriman data. Pada pengujian ini transmisi data dilakukan dengan jarak Lampu dan *photodiode* sejauh 20cm. dengan variable bebas berupa nilai jarak dan variable terikat berupa nilai error data.



Gambar 4. 8 Grafik Jarak Terhadap BER

Hasil pembacaan BER pada proses pengiriman data menggunakan *Visible Light Communication* (VLC) tidak terdapat *error* dari jarak 5cm hingga jarak 30cm. Tetapi pada jarak diatas 30cm mulai terjadi error yang terus meningkat hingga pada jarak 60cm.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Jarak Terhadap BER

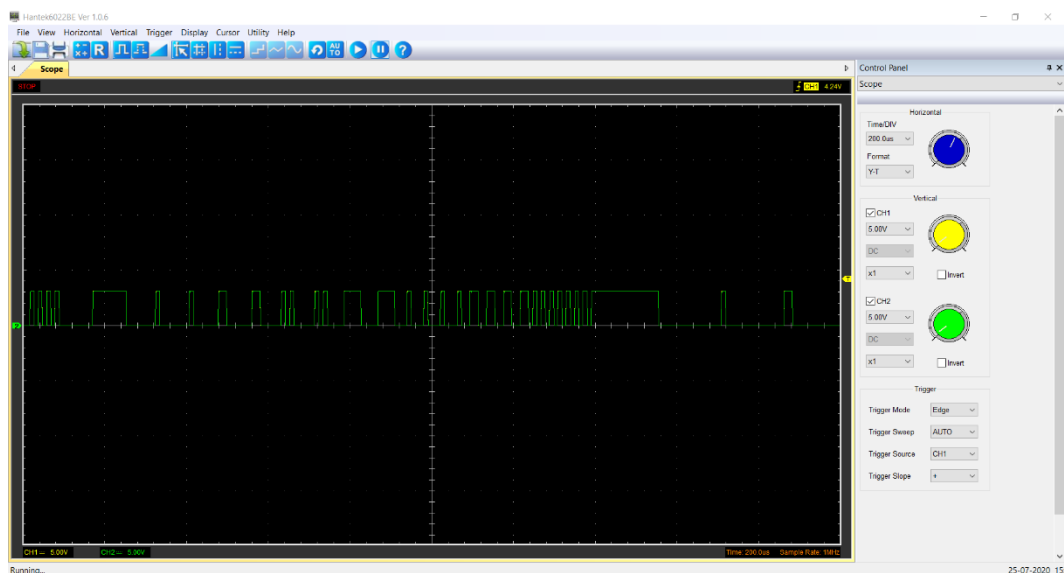
Jarak Terhadap BER	
Jarak	BER
60	46496
55	33725
50	26746
45	5136
40	48
35	10
30	0
25	0
20	0
15	0
10	0
5	0



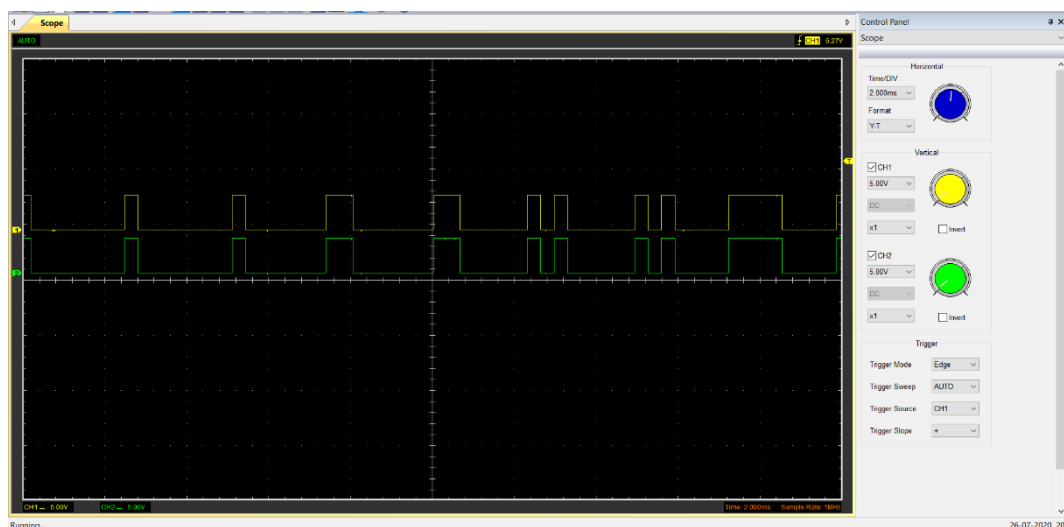
Gambar 4.9 Prototype Pengujian Jarak

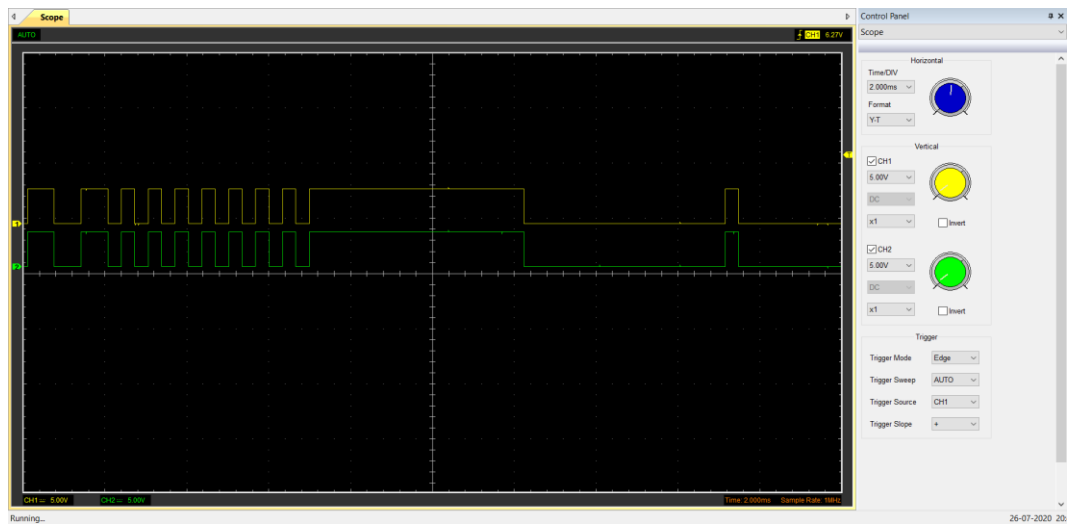
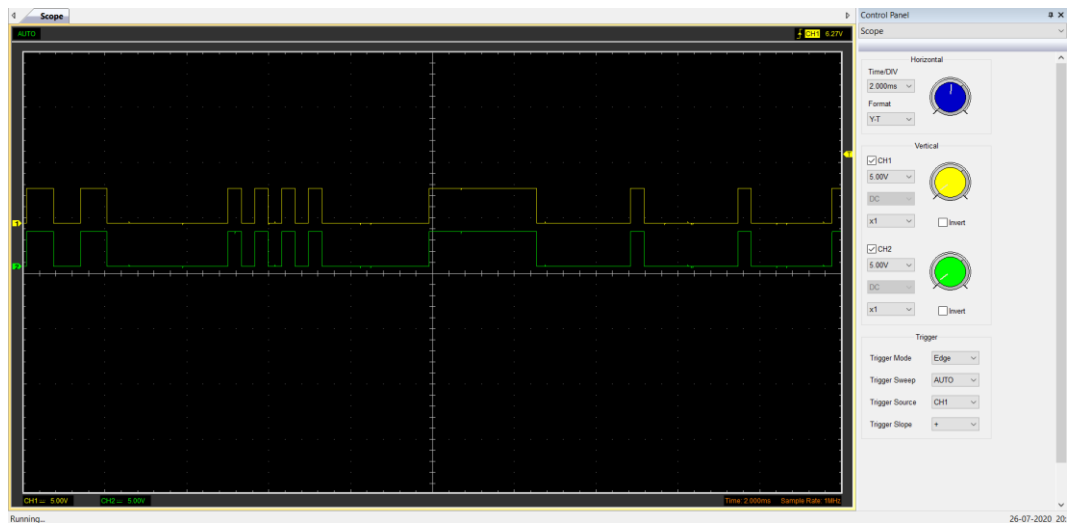
Pengukuran dilakukan pada malam hari dengan kondisi ruangan mendapat penerangan dari lampu ruang tamu dengan luas 4 x 4 Meter. Penerangan ruangan, cahaya lampu LED dan layar laptop, dianggap sebagai cahaya *ambient* dari lingkungan.

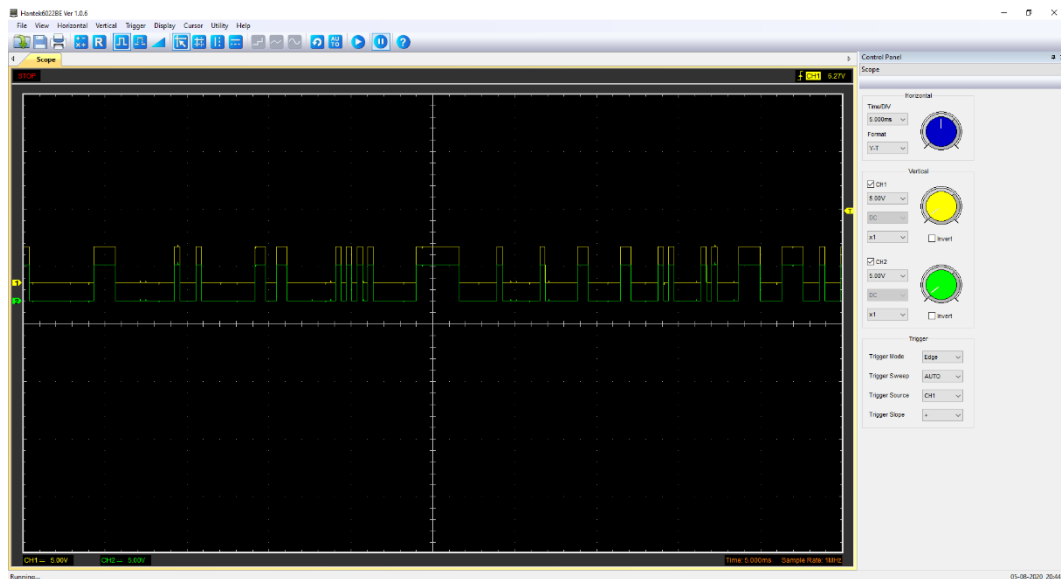
Analisa yang dapat disimpulkan melalui uji ini adalah data dapat dikirimkan melalui *Visible Light Communication* (VLC) hingga mencapai jarak 30cm tanpa terjadi error sama sekali yang berarti data dapat dikirimkan dengan sempurna. Pada jarak diatas 30cm mulai terjadi error minor hingga jarak 40cm lalu error mayor mulai terjadi pada jarak diatas 40cm



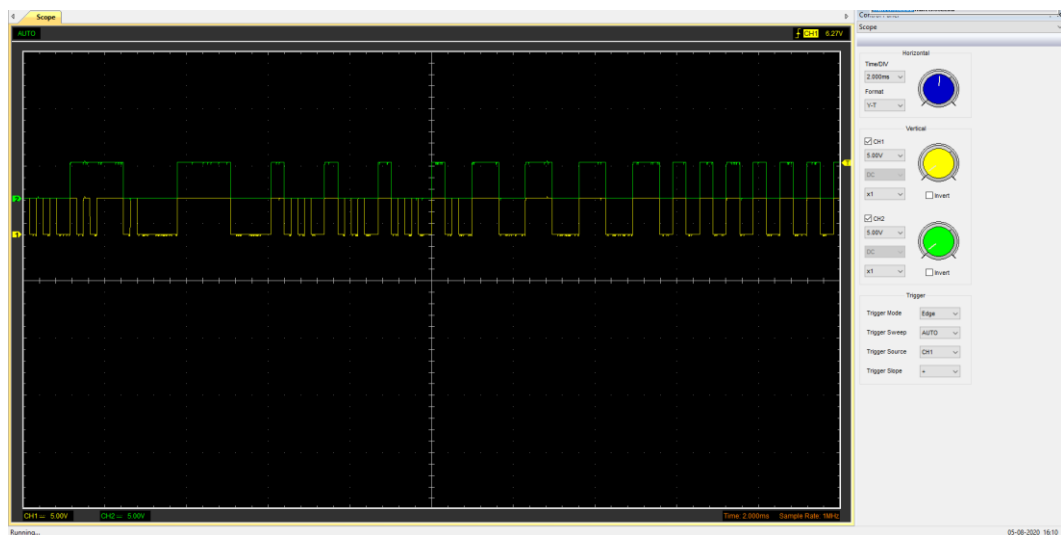
Gambar 4.10 *Oscilloscope* jarak 5 cm



Gambar 4.11 *Oscilloscope* jarak 10 cmGambar 4.12 *Oscilloscope* jarak 15 cmGambar 4.13 *Oscilloscope* jarak 20 cm

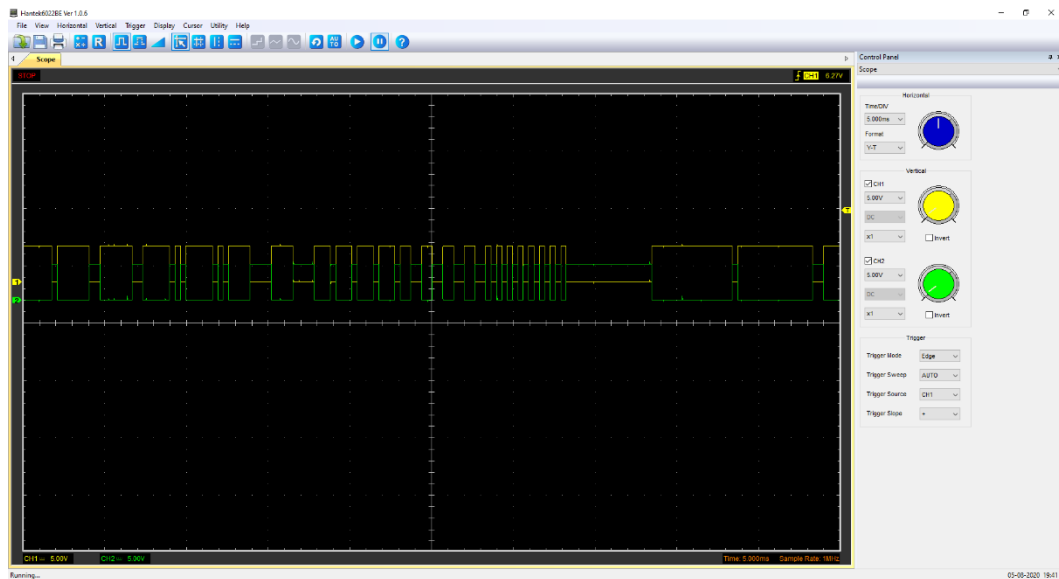


Gambar 4.14 *Oscilloscope* jarak 25 cm



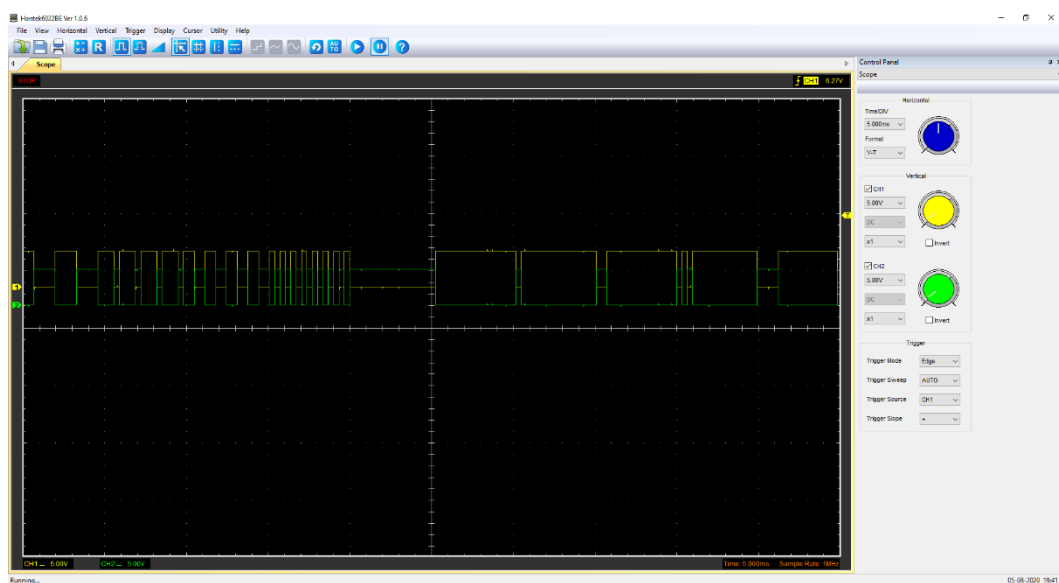
Gambar 4.15 *Oscilloscope* jarak 30 cm

Pada jarak 30cm belum terdapat error namun mulai terjadi beda nilai antara data terkirim dan data diterima saat dibaca menggunakan *oscilloscope*.

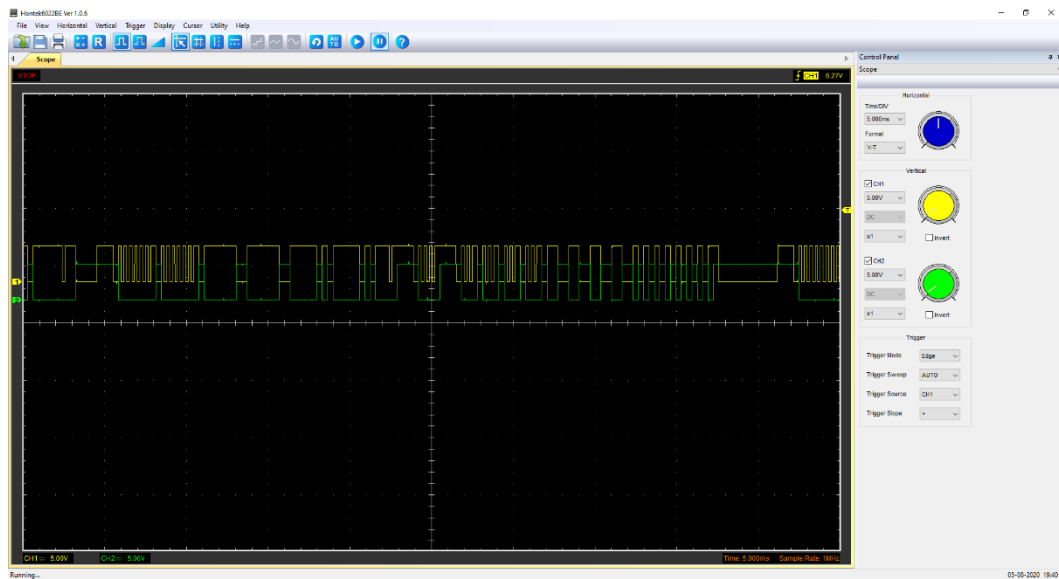


Gambar 4.16 *Oscilloscope* jarak 35 cm

Pada jarak 30cm terjadi error dan data terinvert saat dibaca menggunakan *oscilloscope*. Sehingga pembacaan menjadi rusak

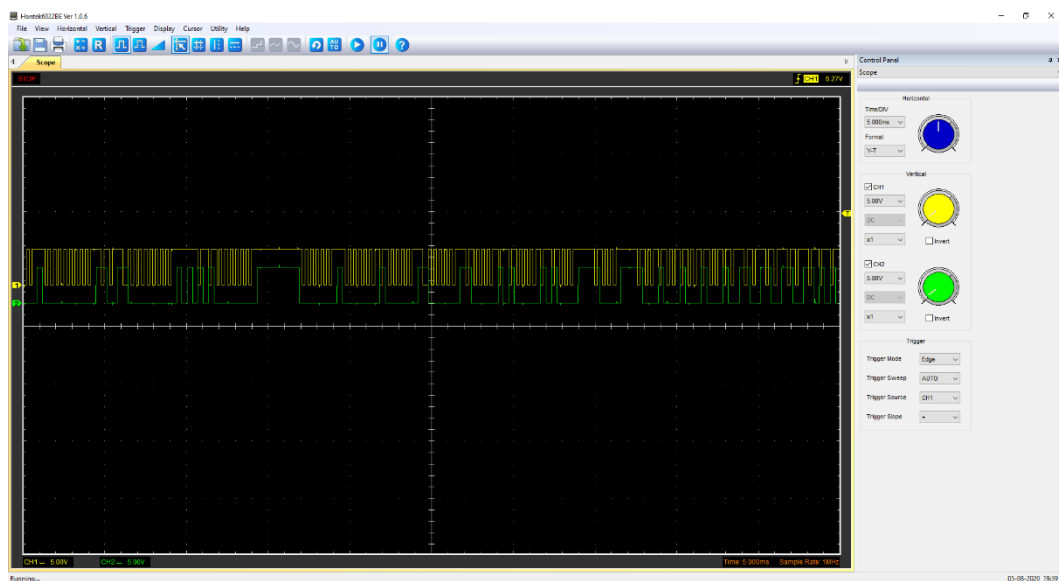


Gambar 4.17 *Oscilloscope* jarak 40 cm

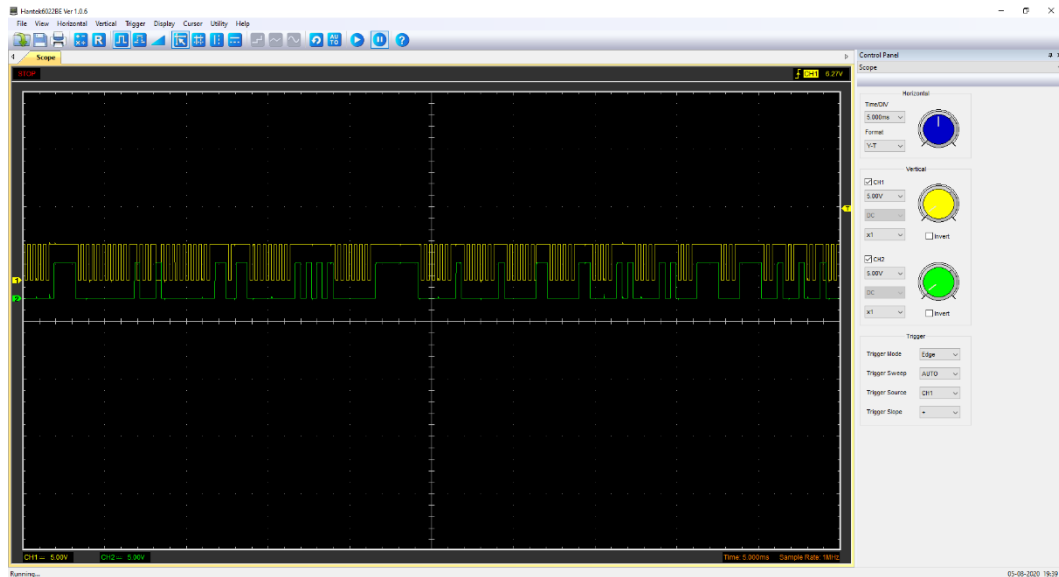
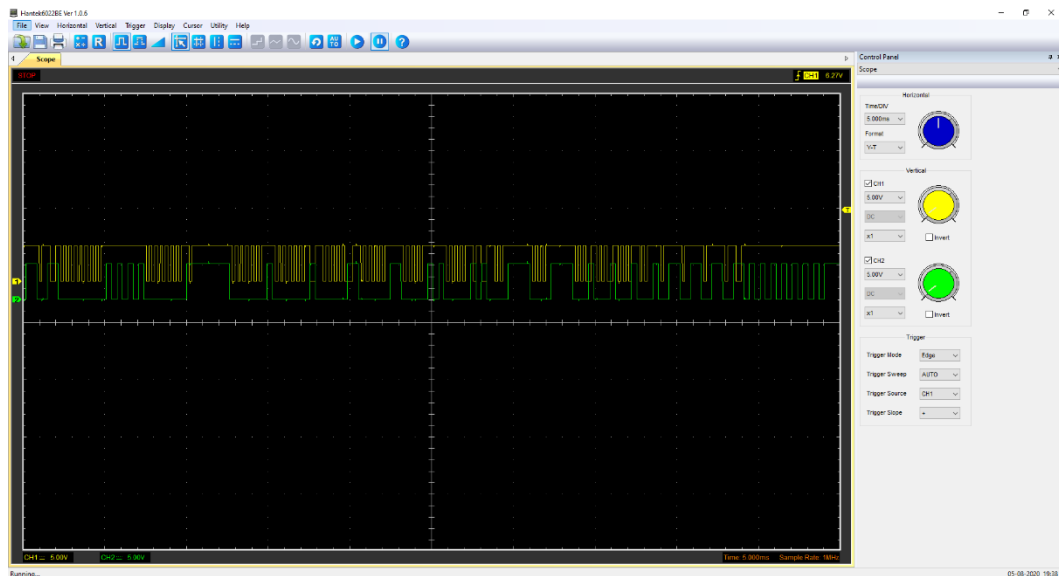


Gambar 4.18 *Oscilloscope* jarak 45 cm

Pada jarak 45cm terjadi kerusakan pembacaan data, dan data terinvert saat dibaca menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 4.19 *Oscilloscope* jarak 50 cm

Gambar 4.20 *Oscilloscope* jarak 55 cmGambar 4.21 *Oscilloscope* jarak 60 cm

Pada jarak 50cm hingga 60cm *receiver* hampir tidak bisa membaca nilai data yang dikirimkan oleh *transmitter*. Namun masih terdapat sedikit pembacaan data yang mampu terbaca

4.6 Hasil Uji Variasi Nilai Dimming Terhadap Bit Error Rate (BER)

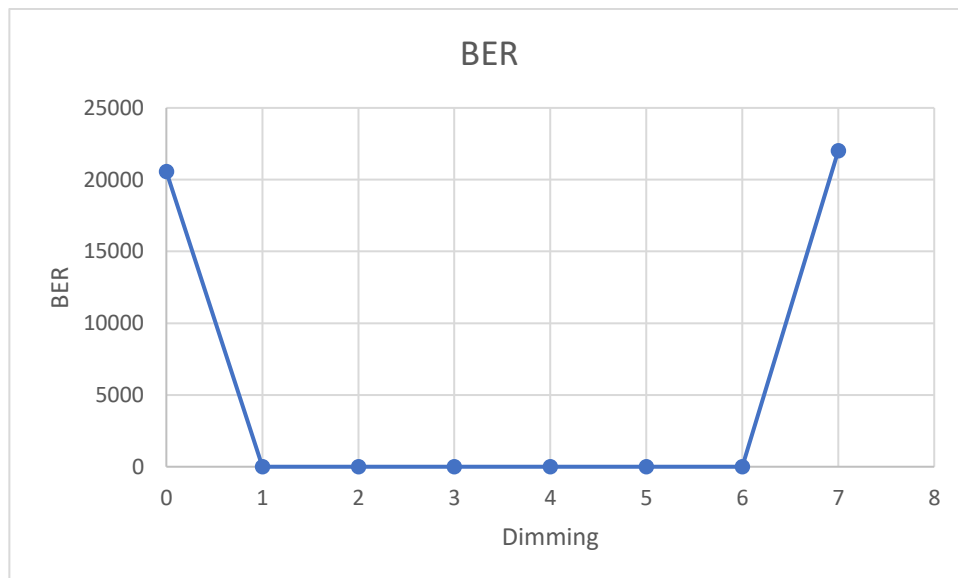
Pengujian Variasi nilai dimming bertujuan untuk mengetahui kemampuan pembacaan dari AFE dengan nilai dimming yang berbeda. Pada pengujian ini transmisi data dilakukan dengan jarak Lampu dan Fotodiode sejauh 20cm.

dengan variable bebas berupa nilai dimming dan variable terikat berupa nilai error data.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran *Dimming* Terhadap BER

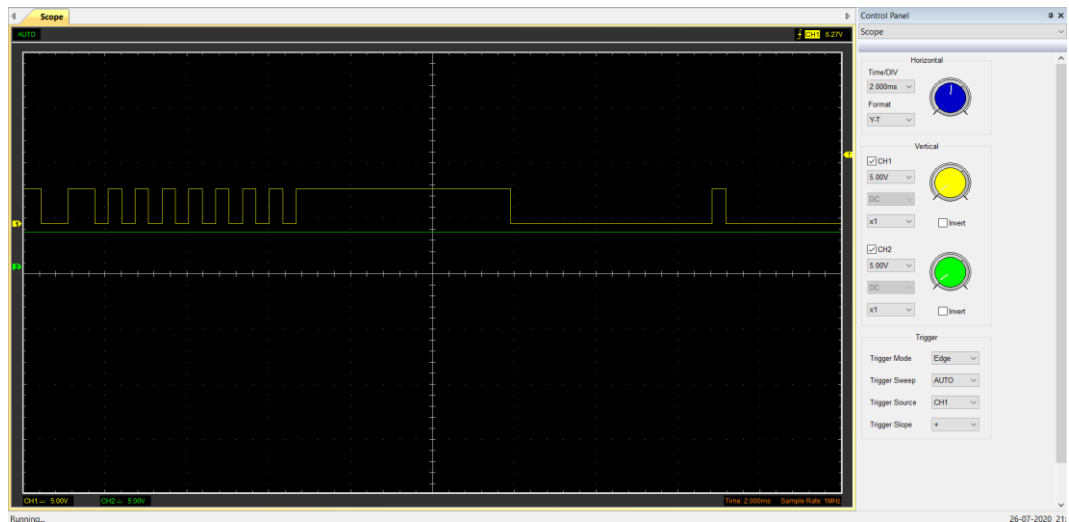
<i>Dimming</i> 20cm 1-7	
<i>Dimming</i>	BER
0	20560
1	10
2	5
3	3
4	0
5	0
6	0
7	22010

Berdasarkan Tabel 4.2 error yang terbaik berada pada dimming 4/8 hingga 6/8 atau nilai dimming 50% - 75%. Hasil ini sesuai dengan teori dimana nilai dimming 50% merupakan nilai *dimming* dengan kemampuan terbaik.



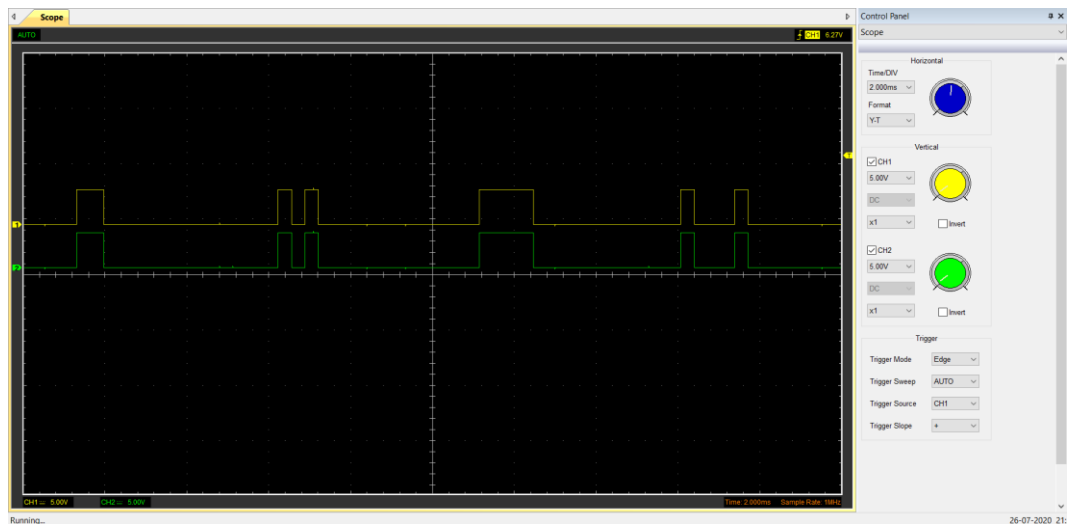
Gambar 4. 22 Grafik Nilai *Dimming* terhadap BER

Hasil pembacaan *oscilloscope* terdapat Analisa sebagai berikut

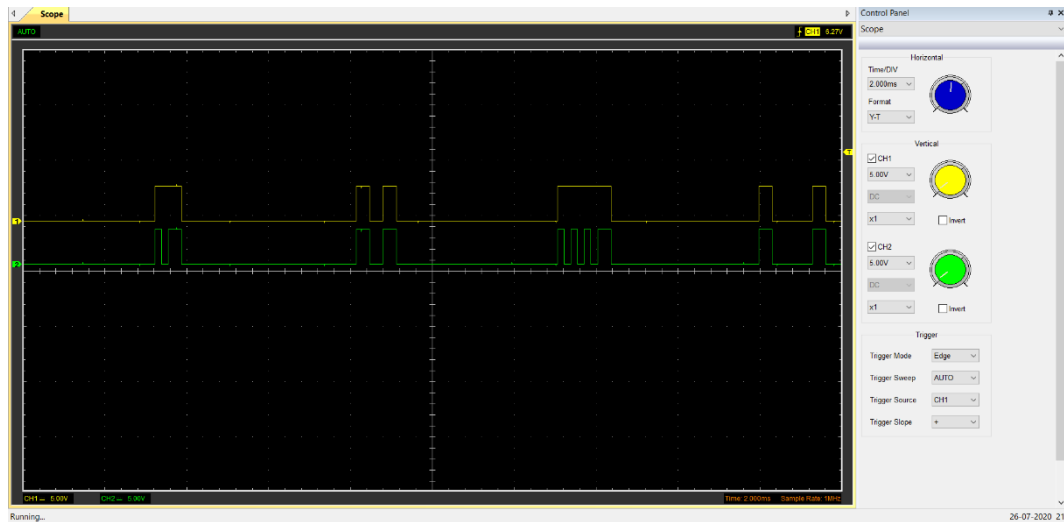


Gambar 4.23 *Oscilloscope* Nilai Dimming 0

Pada sistem ini sinyal *transmitter* berwarna kuning, dan sinyal *receiver* berwarna hijau. nilai dimming 0 demodulator tidak mampu membaca nilai data yang dikirimkan oleh modulator. Dikarenakan saat dimming bernilai 0 maka output akan menjadi high karena semua data vppm bernilai 0 dan nd bernilai 0 akan dibaca sebagai 1.

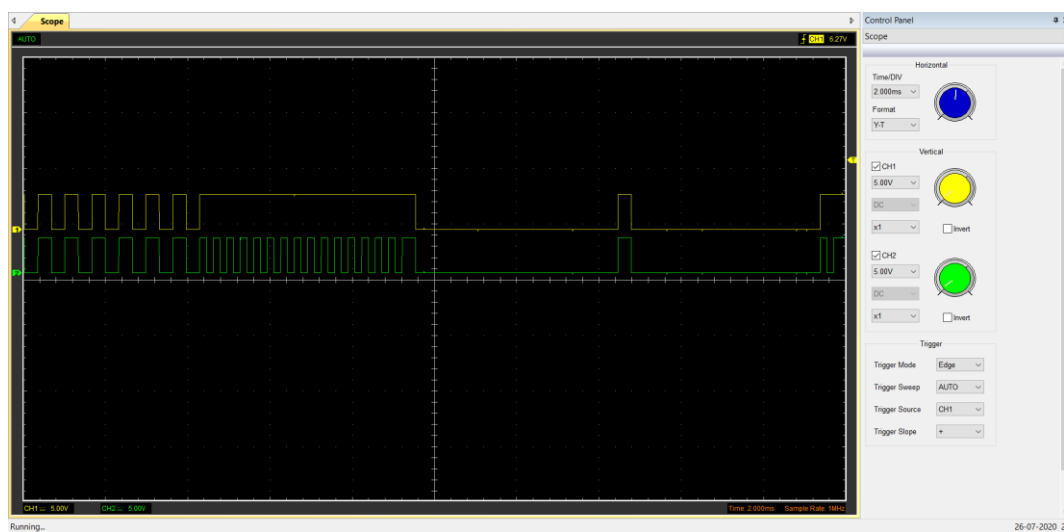


Gambar 4.24 *Oscilloscope* Nilai Dimming 1



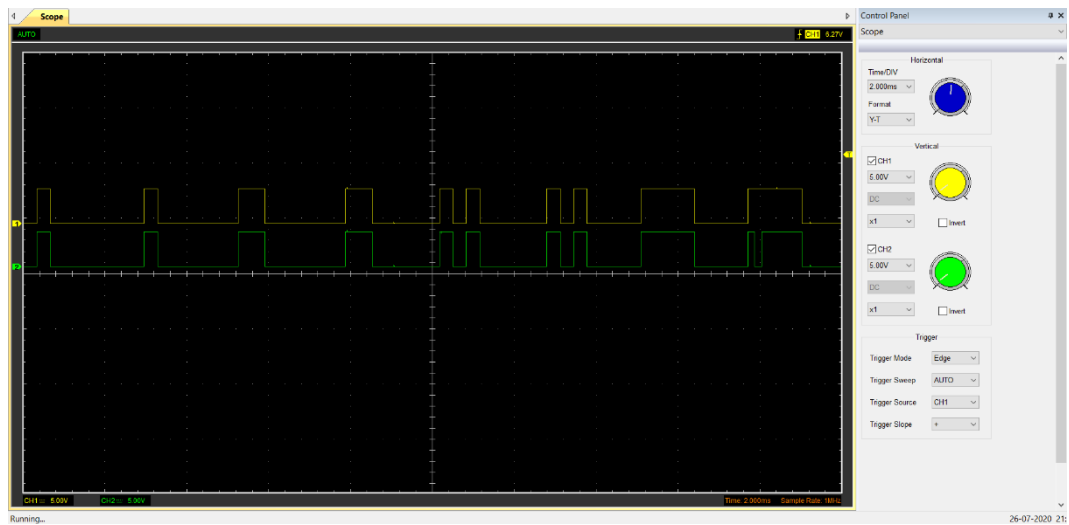
Gambar 4.25 *Oscilloscope* Nilai Dimming 2

Pada nilai dimming 2 terdapat sedikit perbedaan sinyal transmitter dan receiver.



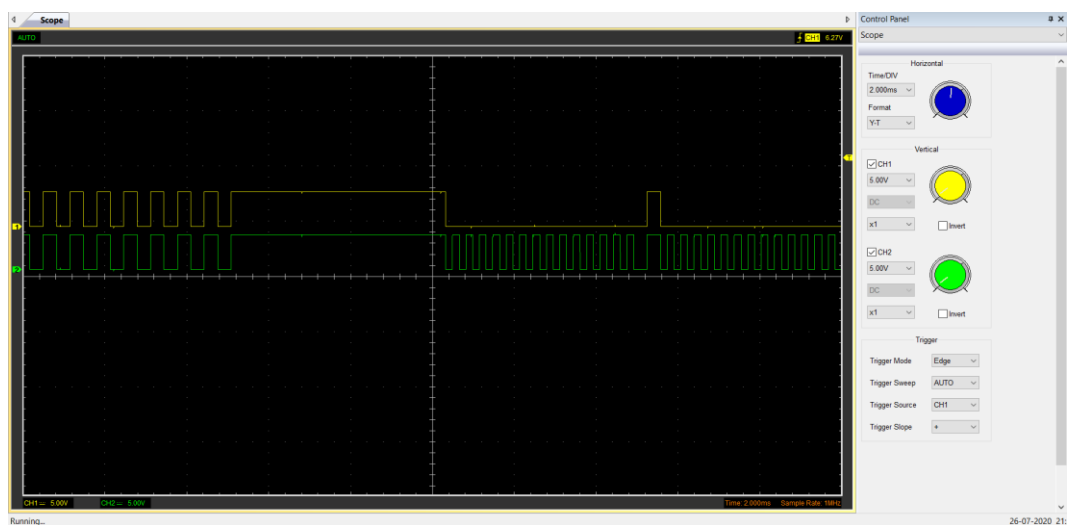
Gambar 4.26 *Oscilloscope* Nilai Dimming 3

Pada nilai dimming 3 terdapat perbedaan sinyal transmitter dan receiver.



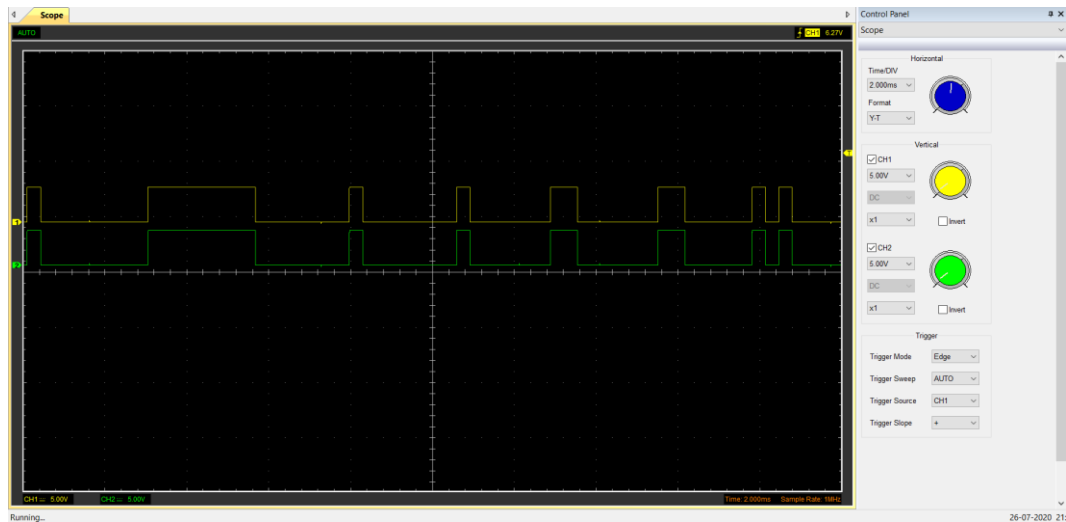
Gambar 4.27 *Oscilloscope* Nilai Dimming 4

Pada nilai dimming 4 sinyal transmitter dan receiver Kembali terkirimkan dengan sempurna, tidak terdapat perbedaan antara sinyal pengirim dan penerima.



Gambar 4.28 *Oscilloscope* Nilai Dimming 5

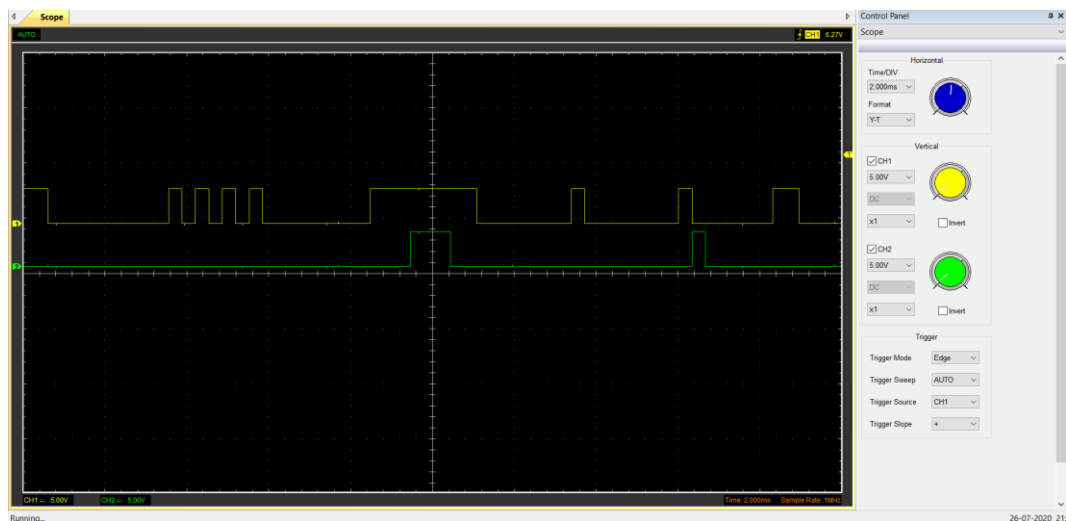
Pada nilai dimming 5 kembali terdapat perbedaan sinyal transmitter dan receiver.



Gambar 4.29 *Oscilloscope* Nilai Dimming 6

Tetapi, pada nilai dimming 4 sinyal transmitter dan receiver Kembali terkirimkan dengan sempurna, tidak terdapat perbedaan antara sinyal pengirim dan penerima.

Pada nilai dimming 1-6 demodulator mampu membaca nilai data yang dikirimkan oleh modulator. Dikarenakan saat dimming bernilai 1-6 maka data 1 dan 0 akan menjadi memiliki nilai yang berbeda.



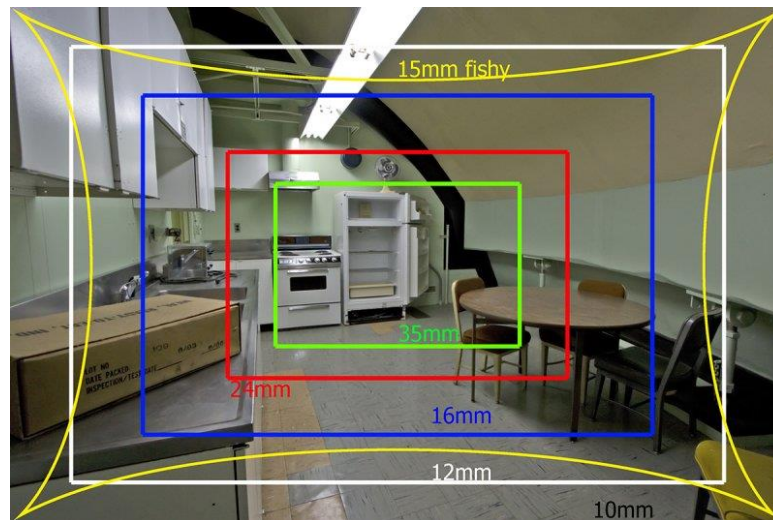
Gambar 4.30 *Oscilloscope* Nilai Dimming 7

Pada nilai dimming 7 demodulator mampu membaca nilai data yang dikirimkan oleh modulator. Tetapi terdapat banyak error dikarenakan saat

dimming bernilai 7 maka data 1 dan 0 akan menjadi memiliki nilai yang berbeda tetapi karena perpindahan 0 dan 1 dalam coding yang sangat kecil menyebabkan slack yang menghasilkan pembacaan yang salah.

4.7 Hasil Uji Variasi Sudut Cahaya Terhadap Bit Error Rate (BER)

Pengujian Variasi nilai sudut bertujuan untuk mengetahui kemampuan pembacaan dari AFE dengan nilai sudut yang berbeda. Pada pengujian ini transmisi data dilakukan dengan jarak Lampu dan Fotodioda sejauh 20cm. dengan variable bebas berupa nilai sudut dan variable terikat berupa nilai error data.



Gambar 4. 31 *Wide Lens Optic Comparison* [38]

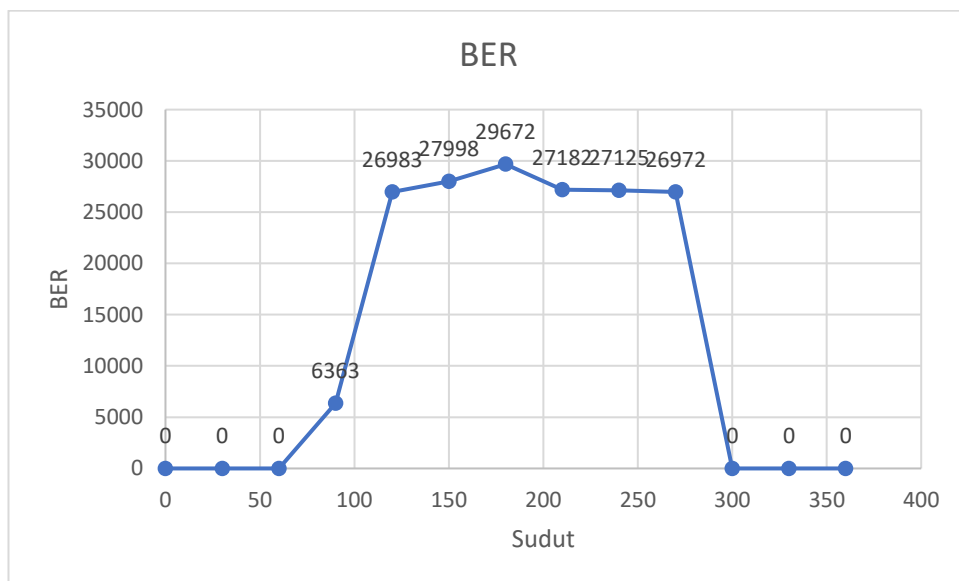
Wide lens akan mempengaruhi cakupan cahaya yang dikirimkan, dan diukur dalam satuan sudut. Serupa dengan kamera *wide lens* merupakan kemampuan cakupan sudut maksimum kamera untuk menerima gambar.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sudut terhadap BER

Sudut Terhadap BER	
Sudut	BER
0	0
30	0
60	0

90	6363
120	26983
150	27998
180	29672
210	27182
240	27125
270	26972
300	0
330	0
360	0

Pada variasi sudut hampir sesuai dengan litteratur dimana area *view angel* cahaya dari lampu hanya berkisar $\pm 120^\circ$ sehingga saat bernilai 180° data menjadi rusak.



Gambar 4. 32 Grafik Pengujian Sudut terhadap Error Data

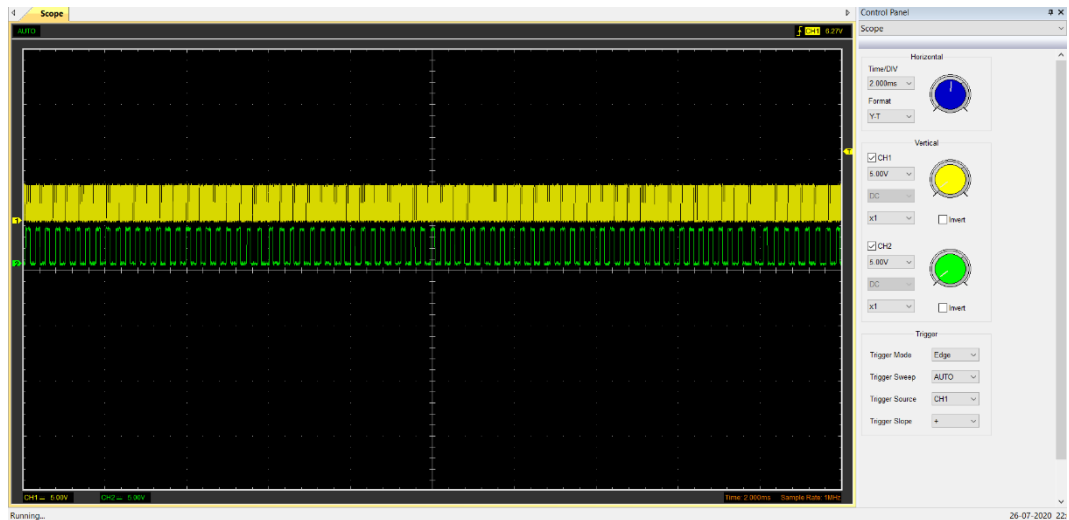
Pada variasi sudut hampir sesuai dengan teori dimana area persebaran cahaya dari lampu hanya berkisar $\pm 120^\circ$ sehingga saat bernilai 180° data menjadi rusak.

4.8 Hasil Uji Frekuensi *Clock* Terhadap Bit Error Rate (BER)

Tabel 4. 4 Tabel Variasi *Clock*

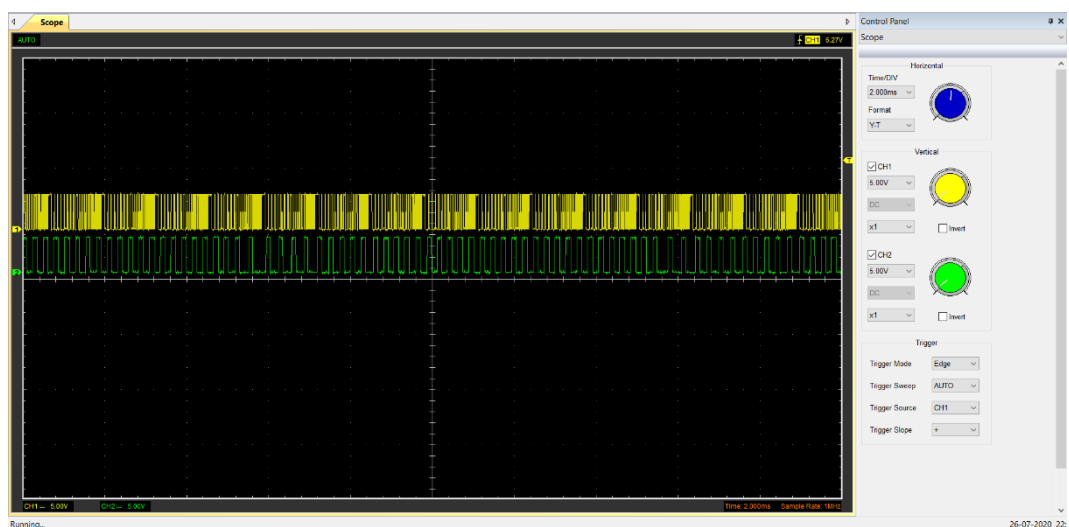
<i>Clock</i> Terhadap BER		
Nilai Q Counter	<i>Clock</i>	BER
Q2	1250000000	42188
Q4	3125000	31808
Q6	781250	31183
Q8	195313	23644
Q10	48829	0
Q12	12207	0

Hasil Pembacaan *Oscilloscope* terhadap variasi *clock*.



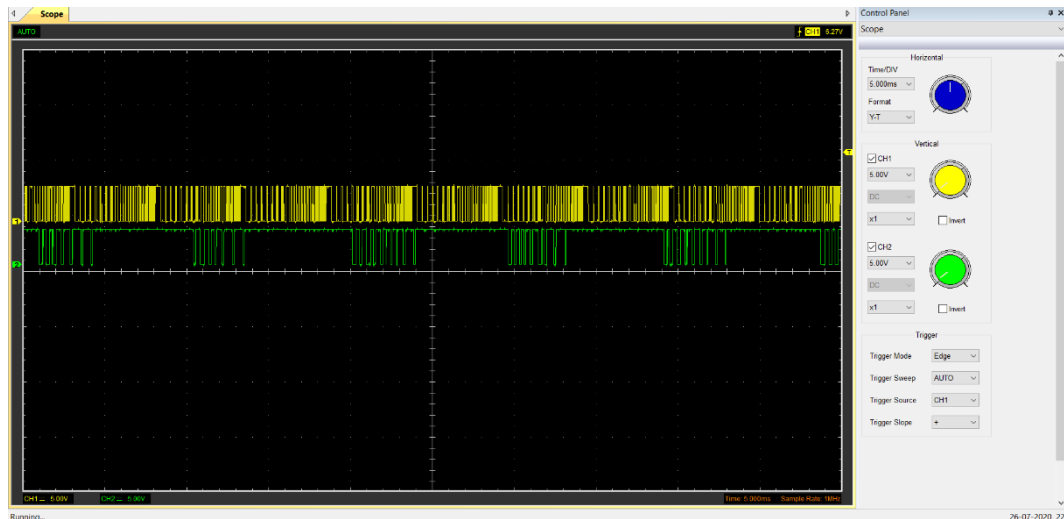
Gambar 4.33 *Oscilloscope Clock Q2* (12500000Hz)

Pada frekuensi 12500000Hz terlihat bahwa receiver berusaha menyamai kecepatan *clock* dari transmitter namun tidak mampu sehingga hanya berosilasi.



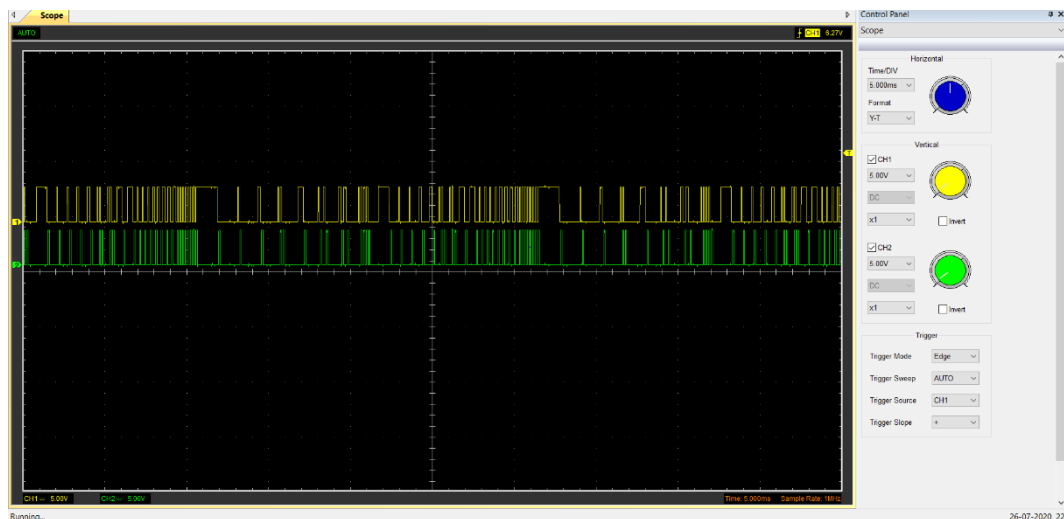
Gambar 4.34 *Oscilloscope Clock Q4* (3125000Hz)

Pada frekuensi 3125000Hz masih terlihat bahwa receiver berusaha menyamai kecepatan *clock* dari transmitter namun tidak mampu sehingga hanya berosilasi.



Gambar 4.35 *Oscilloscope Clock Q6 (781250Hz)*

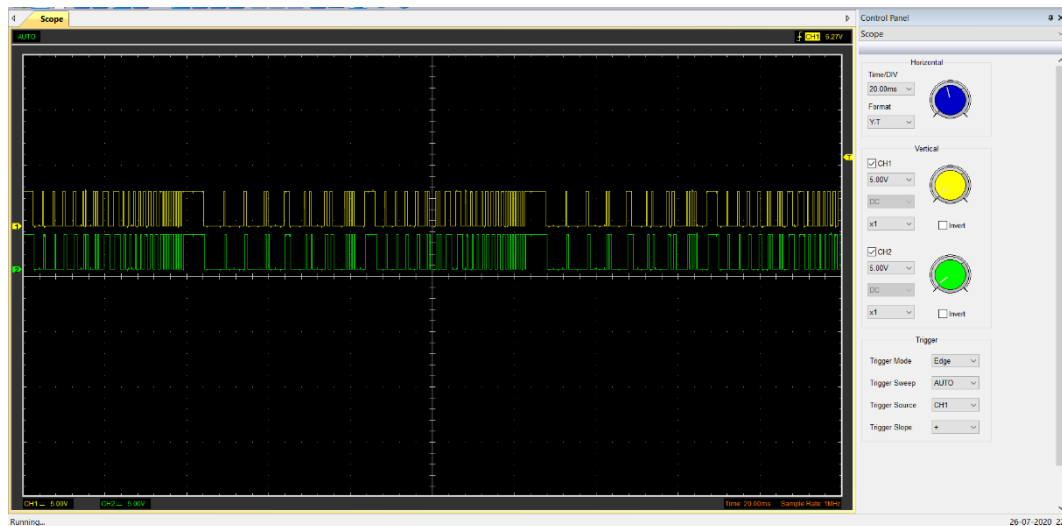
Pada frekuensi 781250Hz receiver mulai mampu menyamai kecepatan *clock* dari transmitter tetapi error yang terjadi masih sangat besar.



Gambar 4.36 *Oscilloscope Clock Q8 (195313Hz)*

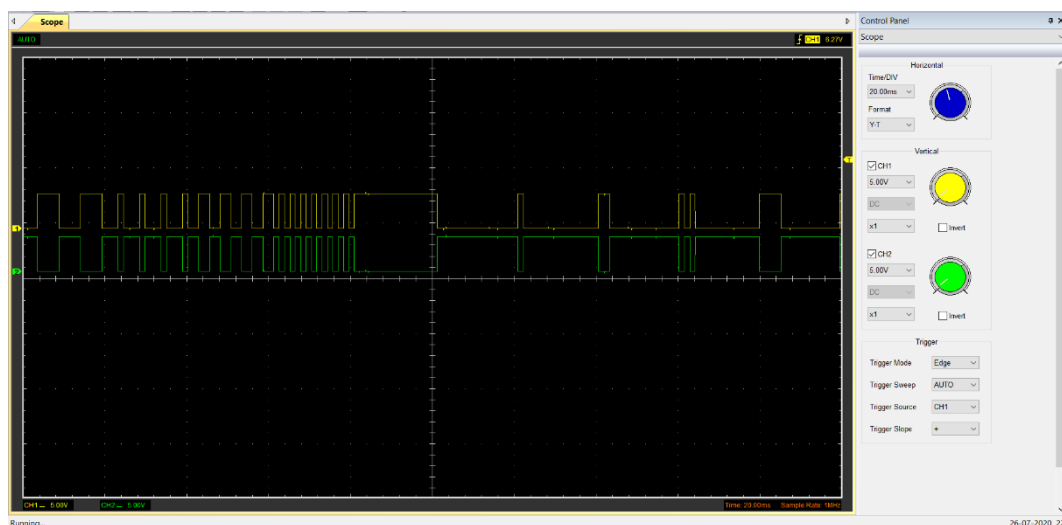
Pada frekuensi 195313Hz receiver mulai mampu menyamai kecepatan *clock* dari transmitter tetapi masih terjadi error pada proses pengiriman data.

Pada variasi *clock* 12500000Hz, 3125000Hz, 781250Hz, 195313Hz. terdapat error yang disebabkan kemampuan switching dari komponen analog terutama pada amplifier LM741, yang mana LM741 tidak mampu melakukan *switching* diatas frekuensi 100kHz



Gambar 4.37 *Oscilloscope Clock Q10 (48829Hz)*

Pada variasi *clock* 48829Hz, terlihat pada grafik nilai error sudah bernilai 0 dikarenakan sudah memasuki *range* kemampuan *switching* dari IC LM741.



Gambar 4.38 *Oscilloscope Clock Q12 (12207Hz)*

Pada variasi *clock* 12207Hz, terlihat pada grafik nilai error terjadi pada semua data hal ini disebabkan oleh delay pada komponen analog yang menyebabkan error pembacaan pada masukan demodulator. Tetapi, secara garis besar sebenarnya tidak terjadi error dikarenakan sudah memasuki *range* kemampuan *switching* dari IC LM741. Kemampuan *switching* terbaik terdapat pada nilai Q10 dengan frekuensi 48829Hz dimana error yang terjadi adalah 0 dengan jarak pengiriman data sejauh 20cm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan perancangan, uji coba, dan eksperimen kemudian didapatkan beberapa hasil. Hasil yang didapat berupa keluaran simulasi yang telah diproses dan data yang didapat dari keluaran sistem. Data yang dihasilkan dari sistem ini terdiri dari hasil hasil pembacaan masukan dan output dari masing-masing sistem. Pada bab ini dibahas kesimpulan dan saran.

5.1 Kesimpulan

Pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* dapat dibuat menggunakan LM741. Tetapi, hasil *clock* yang dihasilkan hanya memiliki frekuensi *clock* 48829Hz disebabkan kemampuan IC yang terbatas.
2. Implementasi *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* ditambahkan pada bagian sebelum masukan FPGA atau diantara masukan FPGA dan output fotodioda rangkaian analog front end dapat berjalan dengan baik. Dengan nilai dimming terbaik berada pada variasi 4/8, nilai *clock* terbaik pada Q10 atau 48829Hz, nilai jarak maksimum 30cm dan nilai sudut terbesar 60 derajat dari titik 0 derajat LED.
3. Hasil Uji yang dilakukan kemarin kemampuan *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* sangat luas. Dengan IC yang memiliki kemampuan *switching* lebih tinggi maka *Analog Front-End* pada *Visible Light Communication* akan dapat bekerja dengan frekuensi diatas 48829kHz. Selain itu delay analog mungkin akan berubah. Dalam sistem juga terdapat delay analog yang membuat nilai masukan vppm pengirim dan penerima tidak sinkron.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk pelaksanaan penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik, yaitu:

1. Mengganti LED 7W dengan spesifikasi daya yang lebih tinggi.
2. Menambah *Wide Angle* dari LED dan *photodiode*.
3. Mengganti IC LM741 dengan IC lain yang memiliki kemampuan *clock* lebih tinggi.
4. Menambahkan sistem untuk mengatasi delay sistem analog.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Taras Maksymyuk, Juraj Gazda, Oleh Yaremko, Denys Nevinskiy, "Deep Learning Based Massive MIMO Beamforming for 5G Mobile Network," in *IEEE*, Lviv, 2018.
- [2] Martin Grabner, Vaclav Kvicera, "Case study of fog attenuation on 830 and 1550 nm free-space optical links," in *Proceeding of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation*, Barcelona, 2010.
- [3] T. Engineer, "theengineeri.co.uk," 2015. [Online]. Available: <http://www.theengineer.co.uk/light-reading-visible-lightcommunications..> [Accessed 3 Agustus 2020].
- [4] AVLCC, "vlcc.net," 2008. [Online]. Available: <http://www.vlcc.net>. [Accessed 3 Agustus 2020].
- [5] Arsyad. Ramadhan Darlis, Lita Lidyawati, Decy Natalina, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi," *Jurnal Elkomika*, vol. 1, no. 1, pp. 13-25, 2013.
- [6] H. Hass, "Wireless Data From Every Light Bulb," 15 Juli 2011. [Online]. Available: http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb. [Diakses 3 Agustus 2020].
- [7] Dobroslov Tsonev, Stefan Videv, Harald Hass, "Towards a 100Gb/s Visible Light Wireless Access Network," *Optics Express*, vol. 23, no. 2, pp. 1627-1637, 2015.
- [8] Shien-Kuei Liaw, H-H Chou, Chun-Jul Wu, Ming-Jen Chien, Chiang Teng, "500 Mb/s OOK Visible Light Communications using RGB-based LEDs,," in *IEEE*, Taipei, 2015.
- [9] Honglei Li, Xiongbai Chen, Beiju Huang, Danying Tang, Hongda Chen, "High Bandwidth Visible Light Communication Based on a Post-Equalization Circuit," in *Photonics Technology Letter*, IEEE, 2014.
- [10] Abdelmoujoud Assabir, Jamal Elmhamdi, Ahmed Hammouch, Abdellatif Akherraz, "Application of Li-Fi Technology in the Transmission of the sound at the base of the PWM,," in *Proceeding of 2nd International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)*, 2016.
- [11] T. Adiono, Syifaul Fuada and S. Harimurti, "Desain dan Implementasi Sistem Visible Light Communication berbasis Pulse Width Modulation," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 237, 2018.
- [12] Muahmmad Saadi, L. Wattisuttikulki, Yan Zhao, and Paramin Sangwongngam, "Visible Light Communication: Opportunities, Challenges And Channel Models," *International Journal of Electrical and Informatics*, vol. 2, no. 1, pp. 1-11, 2018.
- [13] C. Pohlmann, "Visible Light Communication," in *Seminar Kommunikationsstandards in der Medizintechnik*, 2010.

- [14] S. Fuada, "Studi Awal Rancangan Bidirectional-Multiuser pada Visible Light Communication untuk Aplikasi dalam Ruangan (Indoor)," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 27-36, 2017.
- [15] Chaturi Singh. Joseph John, FIETE, MIETE and K. K. Tripathi, "A Review on Indoor Optical Wireless System," *IETE Technical Review*, vol. 19, pp. 3-17, 2002.
- [16] A. Khreishah, S. Shao, M. B. Rahaim, H. Elgala, M. Ayyash, T. D. C. Little, A. Paraskevopoulos and V. Jungnickel, "<https://web.njit.edu/>," New Jersey Institute of Technology, 2014. [Online]. Available: <https://web.njit.edu/~abdallah/VLC/>. [Accessed 10 Juni 2020].
- [17] F. Vahid, Digital Design With RTL Design, VHDL, and Verilog, California: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [18] E. F. Schubert, Light Emitting Diodes, New York: United States of America by Cambridge University Press, 2003.
- [19] S. Palalol, "Pengujian dan Analisis Umur Pakai Lampu Light Emitting Diode (LED) Swabalast Untuk Pencahayaan Umum," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 17-22, 2015.
- [20] K. B.-. Sørensen, L. Oddershede, E.-. L. Florin and H. Flyvbjerg, "Unintended filtering in a typical photodiode detection system," *Journal of Applied Physics*, vol. 93, no. 6, pp. 3167-3176, 2003.
- [21] J. S. Braley, "<https://www.ele.uri.edu/>," 2008. [Online]. Available: https://www.ele.uri.edu/courses/ele432/spring08/photo_detectors.pdf. [Accessed 6 Agustus 2020].
- [22] D. Kho, "<https://teknikelektronika.com/>," Teknik Elektronika, 1 Mei 2020. [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-modulasi-jenis-modulasi-analog-digital/>. [Accessed 10 Juni 2020].
- [23] B. Axelius, "Manfaat Modulasi," 23 Oktober 2018. [Online]. Available: <https://elearning.unud.ac.id/mod/forum/discuss.php?d=1069>. [Accessed 6 Agustus 2020].
- [24] O. A. Tasman, "Manfaat Modulasi," 23 Oktober 2018. [Online]. Available: <https://elearning.unud.ac.id/mod/forum/discuss.php?d=1069>. [Accessed 6 Agustus 2020].
- [25] M. Hamka, M. Irfani, A. Hanifa and S. Pramono, "Performance comparison of VPPM visible light communication demodulator using analog to digital converter and analog comparator sampling," in *ICIMECE 2018*, Surakarta, 2018.
- [26] J.-H. Yoo and S.-Y. Jung, "Modeling and analysis of variable PPM for visible," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-6, 2013.
- [27] H. Gunarto, "Simulasi Rangkaian Analog," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1992.
- [28] Anonim, "<http://elektro.um.ac.id/>," 2016. [Online]. Available: <http://elektro.um.ac.id/wp-content/uploads/2016/04/LAB-STL-02-Jobsheet-8-High-Pass-Filter.pdf>. [Accessed 6 Agustus 2020].

- [29] Anonim, "http://elektro.um.ac.id/," 2016. [Online]. Available: <http://elektro.um.ac.id/wp-content/uploads/2016/04/LAB-STL-02-Jobsheet-7-Low-Pass-Filter.pdf>. [Accessed 6 Agustus 2020].
- [30] Anonim, "https://www.electronics-tutorials.ws/," [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_6.html. [Accessed 5 Agustus 2020].
- [31] L. E. Nuryanto, "Penerapan dari Op-Amp (Operational Amplifier)," *ORBITTH*, vol. 13, no. 1, pp. 43-50, 2017.
- [32] Admin, "https://www.componentsinfo.com/," 14 Juli 2019. [Online]. Available: <https://www.componentsinfo.com/lm741/>. [Accessed 5 Agustus 2020].
- [33] Sindbhubala Kadirvelu, and Vijayalakshmi B., "Review On Impact Of Ambient Light Noise Sources And Applications In Optical Wireless Communication Using LED," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 12, pp. 31115-31130, 2015.
- [34] Anonim, "intel.com," Inter, 2016. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/solutions/partners/partner-profile/terasic-inc-/board/altera-de2-115-development-and-education-board.html>. [Accessed 6 Agustus 2020].
- [35] V. Muntihana, "Analisis dan Perancangan Sistem Informasi Berbasis Web dan Android pada Klinik Gigi Lisda Medica di Kabupaten Bulukumba Sulawesi Selatan," Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Makassar, 2017.
- [36] L. J. Moleong, "Metodologi Penelitian Kualitatif," PT. Remaja Rosdakarya, Bandung, 2018.
- [37] U. K. Mishra, T. Verma and R. Jain, "Bit Error Rate Testing using Pseudo-Random Bit," *International Journal of Innovation in Science and Mathematics*, vol. 4, no. 1, pp. 5-8, 2016.
- [38] UPRIGHT, "http://thefuturephotographer.com/," The Future Photographer, 2019. [Online]. Available: <http://thefuturephotographer.com/wide-angle-vs-fisheye-lens-guide/>. [Accessed 3 September 2020].
- [39] Trish Luedtke and Susan Pingree, "Dangers of Overexposure to Ultraviolet, Infrared, and High Energy Visible Light," 3 Januari 2013. [Online]. Available: [https://www.ishn.com/articles/94815-dangers-of-overexposure-to-ultraviolet-infrared-and-high-energy-visible-light#:~:text=High%20energy%20visible%20light%20\(HEV\)&text=HEV%20is%20longer%20than%20UV,person%20loses%20their%20central%20vision..](https://www.ishn.com/articles/94815-dangers-of-overexposure-to-ultraviolet-infrared-and-high-energy-visible-light#:~:text=High%20energy%20visible%20light%20(HEV)&text=HEV%20is%20longer%20than%20UV,person%20loses%20their%20central%20vision..) [Accessed 3 Agustus 2020].
- [40] Trio Adiono, Angga P, Rachmad V W P, Syifaul Fuada, "Analog Filters Design in VLC Analog Front-End Receiver for Reducing Indoor Ambient Light Noise," in *IEEE Asia Pacific Conference on Circuit and Systems*, Bangkok, 2016.

Lampiran 1

Dokumentasi Pengujian Jarak terhadap BER



Pengujian Jarak Terhadap BER

Lampiran 2

Dokumentasi Pengujian *Dimming* terhadap BER



Pengujian Sudut Terhadap BER

Lampiran 3

Dokumentasi Pengukuran Sudut terhadap BER



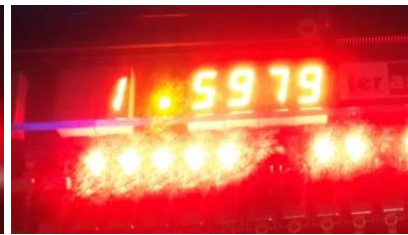
(a)



(b)



(c)



(d)

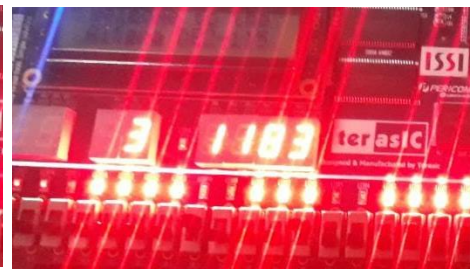
Sudut Lampu (a) 22.7 (b) 45 (c) 67.5 (d) 90

Lampiran 4

Dokumentasi Pengukuran *Clock* terhadap BER



(a)



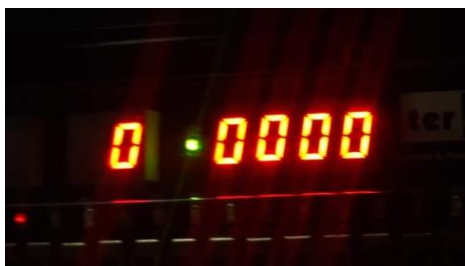
(b)



(c)



(d)



(e)

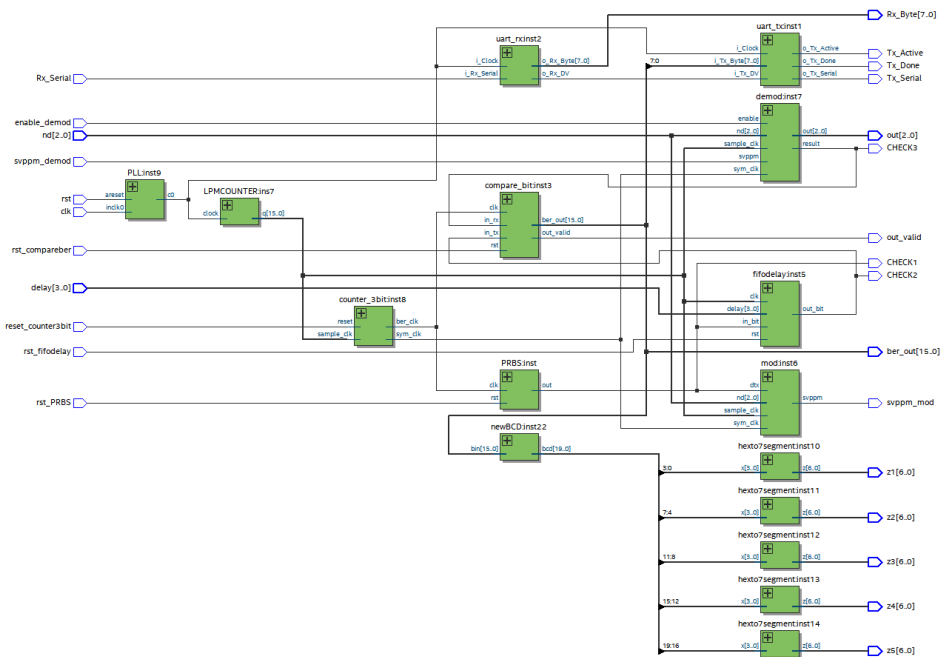


(f)

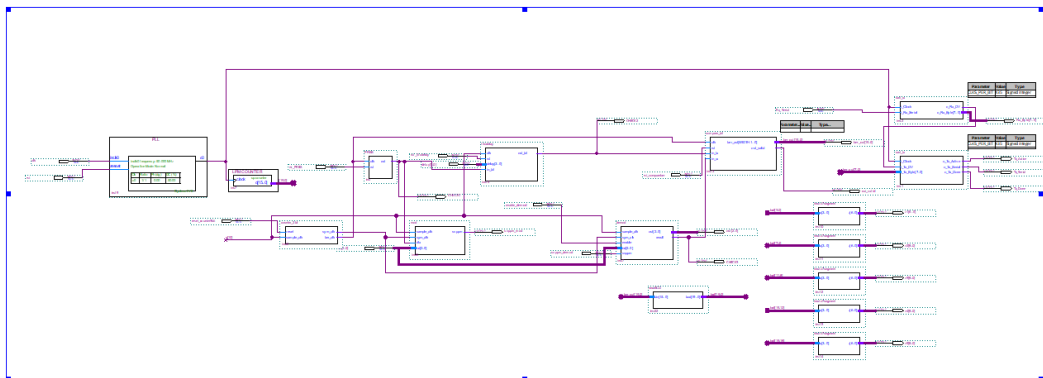
BER (a) Q2 (b) Q4 (c) Q6 (d) Q8 (e) Q10 (f) Q12

Lampiran 5

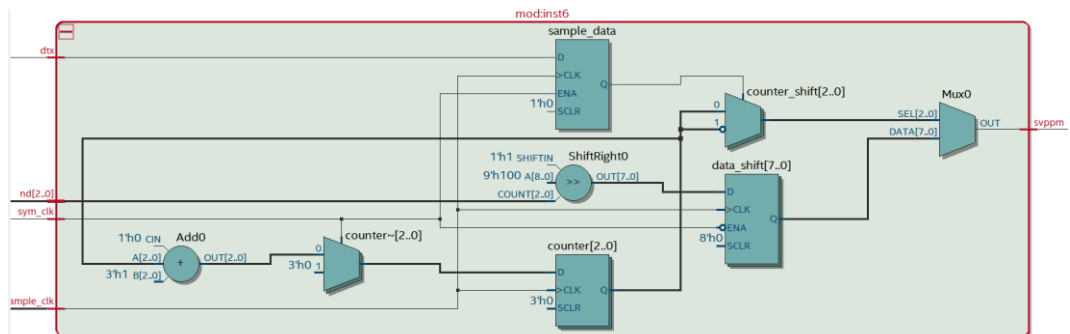
Quartus



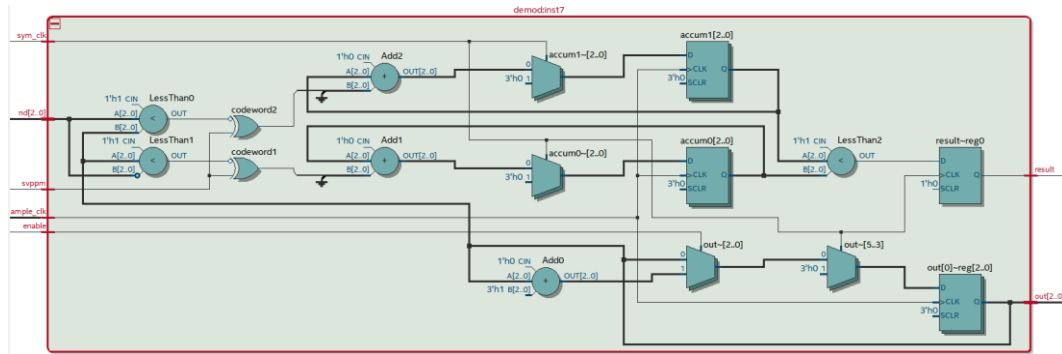
RTL Viewers pada Quartus



Board Viewers pada Quartus



Modulator



Demodulator



Prototype