

## PENGARUH MODULASI OOK DAN QAM PADA KOMUNIKASI CAHAYA TAMPAK DENGAN PENAMBAHAN REFLEKTOR

### IMPACT OF OOK AND QAM MODULATION FOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION WITH ADDITION OF REFLECTORS

Alfin Satya Maulana<sup>1</sup>, Kris Sujatmoko S.T. M.T<sup>2</sup>, Brian Pamukti S.T M.T,<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom <sup>1</sup>  
<sup>1</sup>[alfinsmaulana@telkomuniversity.ac.id](mailto:alfinsmaulana@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[krisujatmoko@telkomuniversity.co.id](mailto:krisujatmoko@telkomuniversity.co.id), <sup>3</sup>  
[brianpam@telkomuniversity.ac.id](mailto:brianpam@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Tugas Akhir ini melakukan studi mengenai Visible Light Communication (VLC) menggunakan komunikasi cahaya tampak dan udara sebagai media rambatnya. VLC menawarkan berbagai macam kelebihan, salah satunya dari kecepatan transfer data, dan keamanan yang sangat baik karena menggunakan cahaya sebagai media rambatnya. VLC juga tidak menimbulkan radiasi yang mengganggu kesehatan manusia.

Tugas Akhir ini melakukan analisis VLC untuk mencari cakupan jarak komunikasi cahaya tampak. Teknik modulasi yang digunakan On-Off Keying Null Return to Zero (OOK-NRZ), On-Off Keying Return to Zero (OOK-RZ) dan Quardature Aplitude Modulation (4-QAM), dengan penambahan reflektor berupa cermin pada ruangan tertutup berukuran 5 m x 5 m x 4 m. Pada sistem VLC berpengaruh pada skema modulasi untuk menentukan cakupan komunikasi cahaya tampak dengan menggunakan daya LED sebesar 2 Watt dengan ketinggian 4 meter tepat di tengah ruangan.

Modulasi OOK-NRZ mendapatkan jarak antara reflektor dengan receiver sejauh 4.77424 meter, OOK-RZ sejauh 3.81927 meter dan 4-QAM sejauh 5.00069 meter dengan batas Bit Error Rate (BER) sebesar  $10^{-3}$ . Luas daerah cakupan yang dihasilkan dari komunikasi cahaya tampak dengan menggunakan modulasi OOK-NRZ sebesar 18.84 m<sup>2</sup>, OOK-RZ mendapatkan luas daerah cakupan sebesar 16 m<sup>2</sup> dan 4-QAM mendapatkan sebesar 23 m<sup>2</sup>.

**Kata kunci : Visible Ligth Communication, OOK-NRZ, OOK-RZ, 4-QAM, BER**

#### Abstract

This final task conducts a study of visible Light Communication (VLC) using the communication of visible and aerial light as the media of the vine. VLC offers a wide range of advantages, one of them from data transfer speeds, and excellent security because it uses light as its media of interest. VLC also does not cause radiation that interferes with human health.

This final task performs the VLC analysis to look for the distance coverage of visible light communication. The modulation techniques used are On-Off Keying Null Return to Zero (OOK-NRZ), On-Off Keying Return to Zero (OOK-RZ) and Quardature Aplitude Modulation (4-QAM), with the addition of a mirror in a closed room measuring 5 m x 5 m x 4 m. In the VLC system it is influential in the modulation scheme to determine the communication coverage of visible light by using the LED power of 2 watts with a height of 4 meters right in the middle of the room.

Modulation OOK-NRZ gets the distance between the reflector with the receiver as far as 4.77424 meters, OOK-RZ as far as 3.81927 meters and 4-QAM as far as 5.00069 meters with a limit of Error Rate (BER) of  $10^{-3}$ . The area of coverage resulting from light communication was seen by using OOK-NRZ modulation of 18.84 m<sup>2</sup>, OOK-RZ getting the area coverage of 16 m<sup>2</sup> and 4-QAM getting at 23 m<sup>2</sup>.

**Keywords: Visible Ligth Communication, OOK-NRZ, OOK-RZ, 4-QAM, BER**

#### 1. Pendahuluan

Dewasa ini teknologi informasi dan komunikasi telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Masyarakat modern kini lebih memilih teknologi telekomunikasi yang efisien dan cepat, sehingga sarana teknologi telekomunikasi yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Kebutuhan tersebut memaksa teknologi telekomunikasi memiliki performansi yang lebih baik dengan kapasitas bandwidth yang besar, memiliki kecepatan pengiriman data yang lebih cepat, memiliki energi yang efisiensi, dan memiliki kemampuan mobilitas yang baik. Salah satu jaringan yang dipercaya dapat memenuhi kebutuhan ini adalah jaringan dengan teknologi optik.

Teknologi optik menggunakan cahaya atau foton dengan kemampuan mengirim data informasi dengan kapasitas yang besar, contohnya pengiriman data informasi menggunakan kabel serat optik. Saat ini kabel serat optik digunakan sebagai media transmisi untuk menggantikan kabel tembaga. Penggunaan serat optik sebagai media transmisi memiliki keunggulan dan kelebihan dari pada kabel tembaga, karena kabel serat optik terbuat dari bahan kaca (glass) yang berkualitas tinggi dibandingkan dengan kabel tembaga yang terbuat dari bahan logam [1]. Teknologi serat optik memiliki kekurangan dalam hal mobilitas, yaitu belum adanya standarisasi yang resmi untuk jarak komunikasi cahaya tampak, sedangkan untuk teknologi nirkabel umumnya menggunakan sinyal elektromagnetik yang telah memiliki standarisasi untuk jangkauan jarak komunikasi. Sinyal elektromagnetik mempunyai beberapa kekurangan, di antaranya kapasitas yang terbatas, interferensi gelombang, keamanan data yang kurang terjamin, kecepatan pengiriman data yang masih rendah, dan adanya radiasi sinyal elektromagnetik yang berbahaya bagi tubuh [2]. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, maka digunakan teknologi untuk pengiriman media informasi yang tepat yaitu teknologi Optical Wireless Communication (OWC).

Dalam perkembangannya OWC digunakan pada ruang bebas dan menggunakan radiasi cahaya sebagai media transmisinya. Salah satu perkembangan OWC ialah Visible Light Communication (VLC). Teknologi VLC menggunakan cahaya yang berasal dari Light Emitting Diode (LED) untuk mengirimkan sinyal informasinya. VLC yang menggunakan cahaya sebagai media transmisinya dapat menggantikan sinyal elektromagnetik. Penelitian sebelumnya menyampaikan bahwa tembok sebagai reflektor, menyebabkan cakupan komunikasi cahaya 0.4616 m dengan menggunakan satu LED [3]. Untuk mengembangkan hal tersebut Tugas Akhir “Pengaruh Modulasi OOK dan QAM pada Komunikasi Cahaya Tampak dengan penambahan Reflektor” diharapkan dapat mendapatkan cakupan jarak maksimal komunikasi cahaya tampak.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Visible Light Communication (VLC)

*Visible Light Communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisinya, rentang cahaya tampak yang digunakan antara 380 nm – 780 nm yang di mana sudah di standarisasi oleh *Institut of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) [5]. Teknologi komunikasi ini menggunakan Light Emitting Diode sebagai sumber cahaya (transmitter), cahaya dari LED sebagai sinyal pembawa (carrier) dan photodetector sebagai penerima (receiver) [4]. Sistem VLC mudah di kembangkan karena menggunakan LED sebagai sumber transmisinya dimana cahaya sebagai media transmisinya dan digunakan sebagai penerangan, dibandingkan dengan teknologi Radio Frequency (RF) yang menggunakan gelombang elektromagnetiknya sebagai media transmisinya, dimana RF memiliki kekurangan dari segi keamanan, VLC yang menggunakan cahaya sebagai media transmisi relatif lebih aman dari adanya penyadapan karena media rambatnya tidak menembus dinding dan diketahui tidak menimbulkan masalah kesehatan yang terdapat di RF yang disebabkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik namun di VLC lebih aman digunakan, maka VLC sangat ideal untuk digunakan di rumah sakit, dan kabin pesawat

### 2.2 Modulasi

Modulasi adalah sebuah proses penumpangan sinyal informasi ke dalam sinyal pembawa (carrier). Untuk modulasi digital ialah proses pengubahan karakteristik dan sifat dari sinyal pembawa atau carrier sehingga berbentuk bit-bit (0 atau 1). Dalam sistem VLC, teknik modulasi diaplikasikan untuk efisiensi daya dan *bandwidth*.

#### 2.2.1 On Off Keying (OOK)

On-Off Keying (OOK) termasuk ke dalam bagian dari ASK dan merupakan modulasi paling sederhana. OOK dinyatakan dengan bit data 1 dan 0, jika bit data bernilai 1 memiliki pulsa optik pada suatu interval, atau bisa dinyatakan bahwa sumber cahaya “on”, sedangkan jika bit data bernilai 0 melambangkan tidak adanya pulsa optik pada suatu interval atau sumber cahaya dinyatakan “off”. Secara garis besar skema OOK dapat dianalogikan seperti saklar yang memiliki kondisi “on” dan “off” [4].

##### 2.2.1.1 Return to Zero (RZ)

Skema RZ dapat diartikan untuk bit data bernilai 1 hanya menempati sebagian atau setengah interval bit, dan untuk bit bernilai 0 tidak dinyatakan dengan pulsa. Sistem komunikasi yang memiliki bit rate yang tinggi biasanya memakai RZ sebagai teknik modulasinya [4].

##### 2.2.1.2 Non Return to Zero (NRZ)

NRZ menunjukkan saat bit 1 menempati seluruh interval bit, dan untuk bit 0 tidak memiliki pulsa yang digunakan. Untuk NRZ mudah dikodekan, serta menempati bandwidth yang lebih kecil. Sistem komunikasi berkecepatan tinggi yang memiliki rentang sampai dengan 10Gbps biasanya memakai NRZ sebagai teknik pemodulasinya [4].

### 2.2.2 Quardature Amplitudo Modulation (QAM)

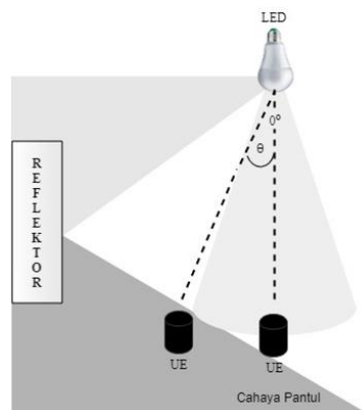
QAM merupakan gabungan bentuk modulasi antara Amplitude Shift Keying (ASK) dan Phase Shift Keying (PSK), dan informasinya terdiri dari amplitudo dan fasa dari sinyal carrier. Pada QAM sinyal yang dikirimkan terbagi menjadi dua yaitu, Inphase dan Quadrature. Inphase merupakan bagian yang real, untuk mendapatkan nilai inphase sinyal yang dilewatkan pada matched filter, dan untuk sinyal dengan frekuensi yang tinggi dihilangkan. Quadrature merupakan bagian imajiner, mendapatkan nilainya dengan mengalikan sinyal informasi dengan gelombang sinus. Hasilnya akan digabungkan sehingga membentuk sinyal informasi [6].

### 2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan teknik transmisi (multicarrier) yang mendistribusikan secara digital simbol yang akan dikodekan pada beberapa frekuensi yang saling tegak lurus (Orthogonal). Sub-Carrier tersebut selanjutnya akan dimodulasikan pada rasio simbol yang rendah secara konvensional [7]. OFDM juga mengurangi laju waktu simbol untuk tercapainya keandalan melawan pantulan panjang dalam lintasan komunikasi radio dan bila terjadinya sub-carrier yang tumpang tindih akan dapat menerima data secara keseluruhan dalam satu simbol dari interferensi antar sub-carrier [8].

### 2.4 Reflektor

Reflektor dapat diartikan sebuah permukaan yang dapat memantulkan gelombang cahaya atau lainnya. Kegunaannya ialah agar gelombang cahaya yang dihasilkan dari pantulan dapat menyebabkan iluminasi gelombang cahaya sampai ke tujuan secara maksimal. Iluminasi gelombang cahaya yang paling maksimal ialah terdapat pada sudut  $0^\circ$  dan seiring mengalami penurunan dengan penambahan sudut menjauhi sumber lampu tersebut [9]



Gambar 2.1 Penguanaan Reflektro pada VLC

Gambar 2.1, menjelaskan bahwa penggunaan reflektor ialah sebagai alat refraktif digunakan untuk mengumpulkan atau memproyeksikan energi berupa cahaya. Gelombang cahaya dapat memberi daya maksimal yang akan diterima disisi receiver. Reflektor yang digunakan berjenis kaca cermin dengan indeks bias 1,45.

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos(50^\circ))}, \quad (2.1)$$

$$H_{ref} = \frac{(m+1).A.\rho.dA.\cos(\phi)^{(m+1)}.\cos(\alpha).\cos(\beta).\cos(\psi)}{2.(\pi.d1.d2)^2}, \quad (2.2)$$

$$H_d = \frac{(m+1).A.\cos(\phi)^{(m+1)}}{2.\pi.D^2}, \quad (2.3)$$

$$H_{tot} = (Daya\ total * H_d) + (Daya\ total * H_{ref}), \quad (2.4)$$

dengan A sebagai area photodetector dan D adalah jarak dari receiver ke transmitter. Untuk rho adalah koefisien refleksi yang bernilai 0.8 dan dA merupakan luas per cell sebesar 0.04 meter.

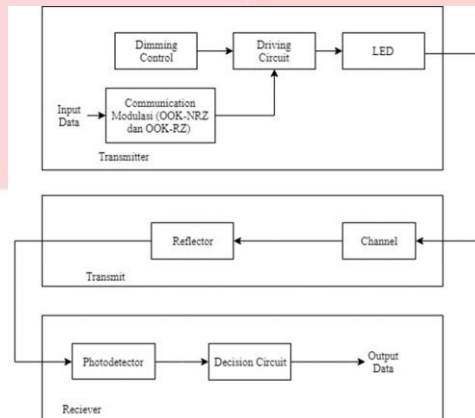
### 3. Pembahasan dan perancangan system

Bab ini membahas tentang perancangan simulasi yang melihat kinerja dari pendistribusian cahaya menggunakan beberapa modulasi yaitu OOK-NRZ, OOK-RZ dan QAM dengan menambahkan reflektor berupa kaca pantul. Secara garis besar sistem ini terbagi menjadi 2 bagian utama, yaitu bagian transmitter dan bagian receiver dari sistem VLC.

#### 3.1 Model Sistem

Blok diagram desain sistem VLC untuk komunikasi cahaya tampak yg disimulasikan pada penelitian ini terlihat pada gambar 2.1. Secara garis besar, sistem, terdiri dari 3 bagian yaitu, transmitter, receiver dan model kanal.

##### 3.1.1 Blok Diagram OOK-NRZ dan OOK-RZ

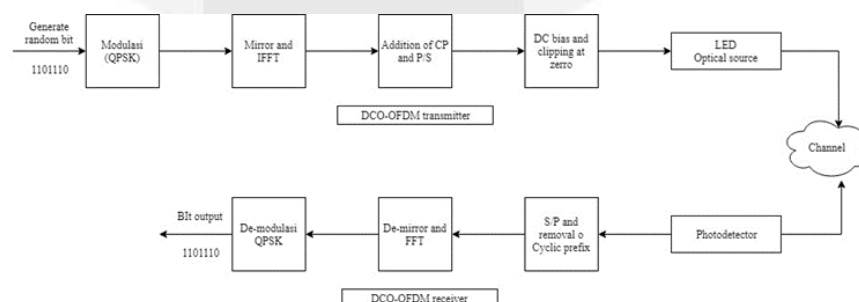


Gambar 3. 1 Blok diagram VLC (OOK-NRZ dan OOK-RZ)

Gambar 3.1 menjelaskan bagian transmitter berfungsi sebagai sumber informasi yang akan dikirim berupa sinyal dalam bentuk cahaya dengan udara sebagai media rambatnya. Dalam blok transmitter terdapat beberapa bagian utama komponen. Terdapat dimming control berfungsi sebagai pemberi masukan untuk sinyal listrik. Jika dimming control off maka sinyal listrik tidak bisa merambat namun jika on sinyal listrik bisa merambat masuk ke dalam blok driving circuit. Dimming control terhubung langsung dengan driving circuit. Driver circuit ini berfungsi untuk mengaktifkan blok transmitter agar dapat bekerja saat input data bernilai bit 1 maka LED akan menyala. Namun jika input data bernilai bit 0 lampu tidak menyala. Blok transmitter menggunakan driver circuit untuk mengaktifkan LED beserta komponen di dalamnya dan mengubah sinyal input berupa pesan-pesan digital ke dalam bentuk lain, sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan.

Pada Komponen LED akan mentransmisikan sinyal informasi dengan menggunakan sinyal keluaran LED. Prinsip kerja dari dioda ialah untuk mengubah sinyal listrik sebagai cahaya yang dapat dipancarkan, maka cahaya yang dipancarkan melalui udara sebagai media rambatnya terdapat sinyal informasi yang telah termodulasi dari blok transmitter dan kemudian diterima oleh blok receiver. Sinyal cahaya yang mengandung informasi lalu akan mengenai permukaan photodetector, kemudian terjadi proses perubahan cahaya ke sinyal listrik. Pada tugas akhir ini photodetector yang digunakan berjenis Positiv intrinsic Negative (PIN), karena kecocokan pemakaian dari sumber cahaya yang menggunakan LED. Setelah masuk dari photodetector, sinyal yang sudah terkonversi dari sinyal cahaya ke sinyal listrik akan masuk ke dalam decision circuit, yang mana pada blok ini meloloskan sinyal yang dayanya melebihi batas treshold dan bernilai bit 1, sedangkan untuk sinyal yang daya di bawah treshold bernilai bit 0.

##### 3.1.2 Diagram Blok Phasa Shift Keying (4-QAM)

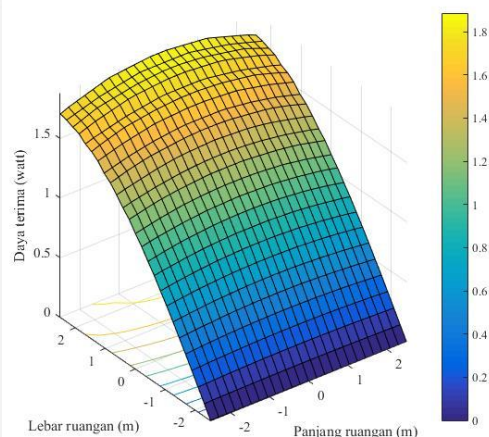


Gambar 3.2 Blok diagram VLC (4-QAM)

Terlihat pada Gambar 3.2 merupakan sistem 4-QAM dalam skema DCO-OFDM, secara garis besar DCO-OFDM terdiri dari tiga blok utama yaitu transmitter, receiver dan channel. Pada transmitter terdapat general input bits, dimana data masukan berupa data biner '0' dan '1' secara acak dengan jumlah bit tertentu dan untuk dapat menentukan banyaknya bit informasi yang digunakan dapat ditentukan dari jenis modulasi dan jumlah simbol pada subcarrier yang digunakan. Pada blok IFFT pada sistem DCO-OFDM berguna untuk mengubah data yang pada awalnya domain frekuensi menjadi domain waktu. Untuk blok add DC bias dan Clipping harus mengeluarkan nilai yang real dan positif. Maka dari itu DC-offset ditambahkan yang berguna untuk sebagai arus bias DC pada LED lalu ditambahkan gelombang dalam domain waktu yang dihasilkan untuk menjadikan sinyal unipolar dan lalu ditransmisikan. Blok P/S conversion berfungsi untuk mengubah data awal yang sebelumnya paralel menjadi ke bentuk serial lalu ditransmisikan melalui kanal transmisi. Add Cyclic Prefix berfungsi untuk menghindari dari interferensi simbol akibat kanal yang memiliki banyak kanal yang bersifat frequency selective fading. Untuk kanal, sistem VLC ini menggunakan LOS. Blok receiver, terdapat photodetector yang berfungsi untuk menerima sinyal cahaya dan akan diubah ke dalam bentuk sinyal elektrik. Selanjutnya pada blok transmitter melewati CP maka setelah melewati photodetector akan melewati cyclic prefix removing untuk mendapatkan simbol asli yang dikirimkan. Pada blok Fast Fourier Transform (FTT) merupakan kealikan dari IFFT, dimana berfungsi untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke dalam bentuk sinyal frekuensi dan blok demapper akan memetakan kembali ke data serial pada domain frekuensi menjadi bit sinyal aslinya

#### 4. Analisis Simulasi

Pada sub bab ini dapat dilihat hasil simulasi sistem pada ruangan dengan penambahan reflektor di sisi kanan ruangan dengan menggunakan model kanal LOS. Pada simulasi terdapat beberapa percobaan untuk melihat kinerja VLC terhadap modulasi, diantaranya menggunakan modulasi OOK-NRZ, OOK-RZ dan 4-QAM dengan menggunakan daya LED sebesar 2 Watt ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Distribusi daya dalam satu reflektor

Gambar 4.1 mempresentasikan pendistribusian daya yang terjadi untuk seluruh bidang penerima dapat terdistribusi, namun pada daerah koordinat (-2.5 2.5) tidak dapat pendistribusian daya dikarenakan daerah tersebut memiliki jarak terjauh dari LED dan reflektor. Nilai minimum dan maksimum daya yang diterima adalah 0 watt dan  $1.882 \times 10^{-5}$  watt dan memiliki nilai rata-rata daya sebesar  $1.0925 \times 10^{-5}$  watt. Daya maksimum yang diterima terjadi pada cakupan area reflektor dengan jarak terdekat sebesar 2 meter, sedangkan untuk daya minimum yang dapat diterima, merupakan daya pada cakupan terjauh dari reflektor dengan jarak terjauh sebesar 5.9317 meter. Dengan penambahan reflektor menyebabkan adanya penambahan daya yang terjadi pada daerah yang terdekat pada reflektor. Terlihat pada gambar 4.2 bahwa dengan penambahan reflektor dapat mengubah bentuk pendistribusian daya, dikarenakan dengan penambahan reflektor menyebabkan pancaran daya dari LED akan mengenai reflektor dan terjadi pemantulan sebesar 80% dan penyerapan oleh reflektor sebesar 20%. Hasil dari pantulan cahaya akan menyebabkan daya yang diterima oleh receiver akan ada penambahan daya sebesar  $7.8455 \times 10^{-5}$  watt.

#### 4.1 Analisis Luas Cakupan

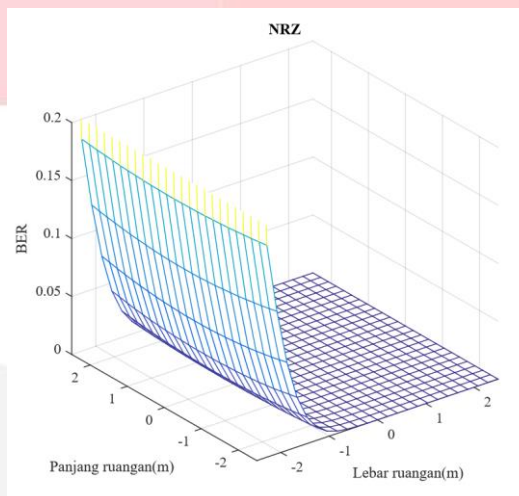
Topik yang perlu dibahas dalam penelitian VLC ini ialah luas cakupan yang bisa digunakan untuk komunikasi cahaya tampak. Luas cakupan komunikasi dapat menentukan kelayakan dalam sistem VLC untuk di implementasikan. Untuk bisa menentukan kelayakan nilai BER harus memenuhi  $10^{-3}$  sesuai syarat terjadinya komunikasi cahaya tampak. Untuk nilai BER melebihi  $10^{-3}$  maka bisa dinyatakan bahwa cakupan tersebut bisa dikatakan tidak layak untuk terjadinya komunikasi cahaya tampak. Dapat

diketahui luas cakupan pendistribusian daya atau cahaya akan berbeda dengan cakupan komunikasi cahaya tampak.

Untuk cakupan yang bisa terjadi komunikasi cahaya tampak akan mempengaruhi posisi penerima. Untuk posisi penerima yang memiliki jarak terjauh dari LED dan reflektor akan mempengaruhi tingkat kesalahan yang terjadi. Jarak terjauh akan mempengaruhi data yang dikirimkan, karena posisi penerima yang memiliki jarak terjauh maka bit yang error akan semakin banyak, sehingga membuat data yang diterima akan semakin sedikit. Begitupun dengan posisi penerima terdekat dari LED dan reflektor akan memiliki tingkat kesalahan bit akan semakin kecil, menyebabkan data yang dapat diterima oleh penerima akan semakin banyak. Cakupan komunikasi cahaya akan diambil dengan cara menjumlahkan luas tiap cell pada data nilai BER yang memenuhi parameter BER sebesar  $10^{-3}$ . Satu cell sendiri mewakili luas sebesar  $0,04 \text{ m}^2$ , dengan itu dapat menentukan luas cakupan komunikasi cahaya.

#### 4.1.1 Analisis Modulasi OOK-NRZ

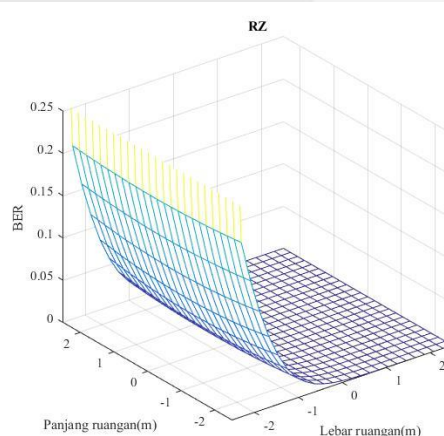
Kinerja OOK-NRZ dalam menentukan cakupan komunikasi cahaya akan dilihat dari nilai BER di seluruh receiver. Dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Daerah cakupan modulasi OOK-NRZ dalam kurva 3D.

Terlihat pada Gambar 4.2 menunjukan luas daerah cakupan dengan menggunakan modulasi OOK-NRZ dalam tiga dimensi. Dari data nilai BER yang diambil mendapatkan 471 cell yang memenuhi syarat nilai BER  $10^{-3}$ , maka luas daerah cakupan yang bisa dipakai untuk komunikasi cahaya tampak sebesar  $18.84 \text{ m}^2$ . Dengan nilai daya maksimum nilai BER dicapai 0, maka dapat disimpulkan bahwa pada kawasan nilai BER yang bernilai 0 tidak memiliki error dalam pengiriman bit, sehingga data yang diterima akan semuanya masuk receiver. Nilai BER sebesar  $10^{-3}$  terjadi mulai pada daya terima sebesar  $6.252 \times 10^{-6}$  Watt. Dimana daya tersebut berada pada daerah dengan jarak sebesar 4.73316 meter dari reflektor. Dapat disimpulkan bahwa jika jarak melebihi 4.73361 meter dan daya kurang dari  $6.252 \times 10^{-6}$  Watt maka nilai BER akan melebihi  $10^{-3}$  dan daerah tersebut tidak termasuk dalam cakupan komunikasi cahaya. Penjelasan dari Gambar 4.2, dimana sumbu Z adalah nilai BER di seluruh cakupan ruangan, untuk sumbu X dinyatakan sebagai lebar dari ruangan dan sumbu Y sebagai panjang ruangan.

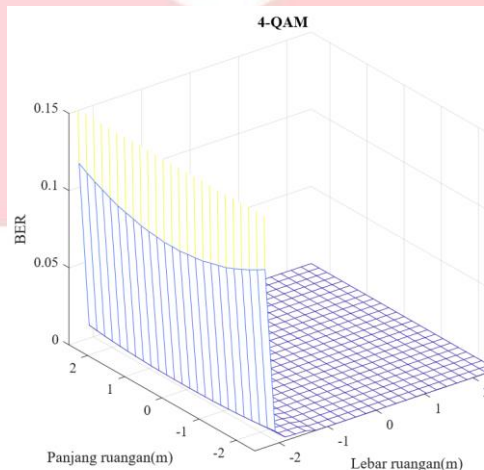
#### 4.1.2 Analisa Modulasi OOK-RZ



Gambar 4.3. Daerah cakupan modulasi OOK-RZ dalam kurva 3D.

Daerah cakupan komunikasi cahaya pada sistem VLC dengan menggunakan modulasi OOK-RZ dapat dilihat pada Gambar 4.6 yang mana dalam bentuk 3D dari pendistribusian nilai BER. Pada modulasi OOK-RZ dengan daya terbesar memiliki nilai BER sebesar  $2.233 \times 10^{-6}$  dengan jarak terpendek sebesar 2 meter dari reflektor. Untuk mencakupi nilai BER sebesar  $10^{-3}$  terpenuhi pada daya  $8.902 \times 10^{-6}$  watt dan memiliki jarak sebesar 4.47388 meter. Dengan modulasi OOK-RZ untuk memenuhi nilai BER  $10^{-3}$  harus memiliki daya lebih besar dari  $8.902 \times 10^{-6}$  watt dan memiliki jarak kurang 4.47388 meter dari reflektor. Cakupan komunikasi cahaya yang terjadi pada modulasi OOK-RZ memiliki luas daerah cakupan yang lebih kecil dari modulasi OOK-NRZ, untuk cakupan yang terpenuhi sebesar  $16 \text{ m}^2$ .

#### 4.1.3 Analisa Modulasi 4-QAM



4.4. Daerah cakupan modulasi 4-QAM dalam kuva 3D.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan pendistribusian nilai BER menggunakan modulasi 4-QAM. Cakupan komunikasi cahaya yang didapatkan lebih besar untuk bisa melakukan komunikasi cahaya tampak dari OOK-NRZ dan OOK-RZ. Dengan menggunakan modulasi 4-QAM dapat bekerja pada luas cakupan sebesar  $23 \text{ m}^2$ . Untuk daya maksimum modulasi 4-QAM memiliki nilai BER sebesar 0 Watt dan untuk memenuhi nilai BER  $10^{-3}$  memiliki daya sebesar  $2.2607 \times 10^{-6}$  Watt dengan jarak sebesar 5.00069 meter. Untuk daya  $1.06007 \times 10^{-5}$  Watt nilai BER yang dihasilkan sebesar 0. Modulasi 4-QAM menjadi skema terbaik dalam melakukan komunikasi cahaya tampak dikarenakan pada modulasi QAM dapat mentransmisikan banyak bit-bit informasi per simbol.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi sistem VLC dengan penambahan reflektor menggunakan modulasi OOK-NRZ, OOK-RZ dan 4-QAM yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi jangkauan komunikasi, teknik modulasi 4-QAM lebih baik digunakan dibandingkan dengan OOK-NRZ dan OOK-RZ. Hal dibuktikan dengan hasil simulasi dimana saat menggunakan modulasi 4-QAM nilai BER mencapai  $10^{-3}$  jarak antara reflektor terhadap receiver mendapatkan jarak sebesar 5.00069 meter ini membuktikan bahwa modulasi 4-QAM mencakup jarak yang jauh, sedangkan untuk teknik modulasi OOK-NRZ mendapatkan jarak sebesar 4.25 meter dan untuk teknik modulasi OOK-RZ hanya mendapatkan jarak sebesar 3.71020 meter untuk mencapai nilai BER  $10^{-3}$ .
2. Apabila dari segi besarnya daya yang dapat diterima oleh receiver, teknik modulasi 4-QAM lebih mendapatkan daya yang lebih rendah untuk dapat memenuhi nilai BER  $10^{-3}$ . Untuk OOK-NRZ mendapatkan daya sebesar  $6.6437 \times 10^{-6}$  Watt, sedangkan OOK-RZ untuk memenuhi nilai BER  $10^{-3}$  mendapatkan daya sebesar  $9.6699 \times 10^{-6}$  Watt dan 4-QAM mendapatkan daya sebesar  $2.260815 \times 10^{-6}$  Watt.
3. Dalam segi cakupan komunikasi cahaya tampak pada sistem VLC ini, teknik modulasi 4-QAM lebih unggul dengan mendapatkan cakupan komunikasi sebesar  $23 \text{ m}^2$  sedangkan untuk teknik modulasi OOK-RZ sebesar  $16 \text{ m}^2$  untuk bisa menerima cakupan komunikasi cahaya tampak dan teknik modulasi OOK-NRZ mendapatkan luas komunikasi cahaya sebesar  $18.84 \text{ m}^2$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. Hanafiah R, "Teknologi Serat Optik," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 7, no. January, pp. 87–91, 2017.
- [2] W. Tang *et al.*, "Analysis of indoor VLC positioning system with multiple reflections," *ICO CN 2017 - 16th Int. Conf. Opt. Commun. Networks*, vol. 2017–Janua, pp. 1–3, 2017.
- [3] W. Tang, J. Zhang, B. Chen, Y. Liu, Y. Zuo, S. Liu, and Y. Dai, "Analysis of indoor vlc positioning system with multiple reflections," in 2017 16th International Conference on Optical Communications and Networks (ICO CN). IEEE, 2017, pp. 1–3.
- [4] P. S. R. Z., Ghassemlooy; W., *Optical Wireless Communications, System and*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2013.
- [5] M. Uysal and H. Nouri, "Optical wireless communications - An emerging technology," *Int. Conf. Transparent Opt. Networks*, pp. 1–7, 2014.
- [6] Ferio, Y. S. Rohmah, and A. D. Pambudi, "Qam Menggunakan Labview Design of Modulation and Demodulation Simulator for 16-Qam and 64-Qam Using Labview," vol. 1, no. 2, pp. 1450–1456, 2015.
- [7] Y. G. Li and G. L. Stuber, *Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [8] W. Shieh and I. Djordjevic, *OFDM for optical communications*. Academic Press, 2009.
- [9] R. H. A. Prastica, "Analisis pengaruh penambahan reflector terhadap tegangan keluaran modul solar cell," Ph.D. dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.