

# Performansi Static Power Allocation Di Ruang Indoor Pada Sistem VLC-NOMA Menggunakan Modulasi PPM

1<sup>st</sup> Syifa Hana Afifah  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

syifahfff@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Nachwan Mufti A  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

nachwanma@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Brian Pamukti  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

brianp@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**— Seiring penggunaan teknologi yang semakin pesat membuat berkembangnya inovasi dalam dunia teknologi. *Visible Light Communication* (VLC) adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisinya. VLC memiliki kekurangan pada *bandwidth* modulasi yang terbagi saat penggunaan *user* dalam jumlah banyak. Dalam mentransmisikan data VLC juga dapat mengalami interferensi dari suatu objek yang menghalangi cahaya untuk sampai langsung ke *user*. Pada penelitian ini menganalisis *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) dalam mengatasi kekurangan pada VLC. Teknik alokasi daya yang digunakan adalah *Static Power Allocation* (SPA) dan menggunakan *Pulse Position Modulation* (PPM). Penelitian ini menggunakan kanal *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Parameter performansi yang digunakan yaitu *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR), kapasitas kanal, dan *Bit Error Rate* (BER). Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil SINR dengan kondisi kanal LOS lebih baik dibandingkan kondisi kanal NLOS. Skenario yang memiliki 2 *user* mendapatkan nilai SINR tertinggi dibandingkan skenario lain nya, dengan nilai 33,450dB untuk kanal LOS dan 25,491dB untuk kanal NLOS. Sedangkan untuk BER dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi level pada modulasi PPM digunakan, maka hasil dari BER akan semakin baik.

**Kata kunci**— *Visible Light Communication*, *Non-Orthogonal Multiple Access*, *Pulse Position Modulation*, *Bit Error Rate*, *Signal to Interference plus Noise Ratio*

## I. PENDAHULUAN

*Visible Light Communication* (VLC) adalah sebuah teknologi komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisinya. Berdasarkan karakteristik saluran yang dimiliki VLC umumnya terdiri dari dua komponen, yaitu LOS dan NLOS [1]. VLC menggunakan cahaya tampak *Light Emitting Diode* (LED) pada media komunikasinya. Cahaya tampak memiliki panjang gelombang yaitu 380nm dan 780nm [3]. VLC mempunyai keterbatasan dalam modulasi *bandwidth* yang sempit, NOMA diterapkan ke jaringan downlink untuk meningkatkan kinerja user [1].

Peningkatan kinerja pada NOMA dikatakan lebih baik dibandingkan dengan OMA terutama dalam strategi alokasi daya. Selain itu NOMA menawarkan beberapa keunggulan,

antara lain adalah efisiensi spektral, efisiensi energi, *high capacity*. Dengan banyaknya keunggulan dari NOMA, dikatakan bahwa NOMA adalah teknologi yang menjanjikan untuk komunikasi 5G [6]. NOMA menggunakan strategi *Successive Interference Cancellation* (SIC) untuk decoding di sisi penerima [7]. SIC data pengguna ditempatkan dalam domain daya dan memecahkan kode pesan [1]. NOMA juga menggunakan *Superposition Coding* (SC) pada pemancar untuk melipat gandakan sinyal pengguna yang berbeda dengan menetapkan tingkat daya yang berbeda, sesuai dengan *Channel State Information* (CSI). Pengguna dengan kondisi sinyal yang lebih buruk akan mendapatkan alokasi daya maksimum, dan pengguna dengan kondisi sinyal lebih baik akan mendapatkan alokasi daya minimum.

Pada tugas akhir ini akan difokuskan mengenai kinerja dari SPA dengan beberapa skenario yang memiliki jumlah *user* yang berbeda dengan jarak yang akan berpindah-pindah. Dimana akan dilihat maksimal SPA bekerja dengan melihat SINR, kapasitas kanal, dan BER yang didapat. Lalu, akan diimplementasikan pada NOMA-VLC menggunakan kanal *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) dengan modulasi *Pulse Position Modulation* (PPM) pada ruangan *indoor*.

## II. KAJIAN TEORI

### A. *Visible Light Communication*

*Visible Light Communication* terbagi menjadi uplink dan downlink yang dapat mewujudkan full duplex communication. Komponen mendasar pada blok diagram VLC adalah *transmitter* (LED), *receiver* (*photodetector*), modulasi data ke optik dan saluran komunikasi optik. Pada blok diagram VLC terdapat *transmitter* sebagai sisi pengirim dan *receiver* sebagai sisi penerima. Pada *transmitter* sinyal informasi akan masuk ke *channel encoder*. Sinyal yang telah melewati modulator akan masuk ke LED. Pada sisi penerima atau biasa disebut *receiver* sinyal akan masuk ke *photodetector*. Sinyal akan masuk ke *channel decoder* yang akan merubah sinyal digital ke sinyal analog.

### B. *Light Emitting Diode*

*Light Emitting Diode* (LED) adalah sebuah komponen elektronika yang didalamnya terdapat dioda. LED hanya akan memancarkan cahaya ketika di aliri arus maju atau forward bias dari anoda ke katoda. Secara struktural LED adalah sumber multi-elemen dari substrat penghantar panas, dengan kristal pada LED berada di jarak yang tetap. Spektrum pada emisinya tergantung komposisi fosfor yang diterapkan. Seluruh struktur diisi dengan lapisan silikon [9].

### C. Photodetector

*Photodetector* merupakan komponen yang berada pada receiver. *Photodetector* mengubah sinyal cahaya yang datang dan mengubahnya menjadi arus listrik. Sinyal optik yang umumnya lemah dan terdistorsi maka dari itu photodetector harus memiliki persyaratan kinerja yang ketat [3]. Persyaratan yang harus dimiliki *photodetector* adalah sensitivitas yang tinggi terhadap panjang gelombang emisi dari cahaya yang diterima sinyal, penambahan noise minimum pada sinyal, dan kecepatan respon yang cepat. *Photodetector* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche PhotoDiode* (APD). PIN ini hanya akan bekerja jika dialiri tegangan *reverse bias*.

### D. Pulse Position Modulation

Modulasi pulsa membawa informasi yang berupa deretan pulsa. Salah satu jenis dari modulasi pulsa adalah *Pulse Position Modulation* (PPM). Pada sistem komunikasi optik PPM banyak digunakan untuk menangani interferensi multipath di optik [11]. PPM merupakan bentuk modulasi pulsa yang mengubah-ubah posisi pulsa yang belum termodulasi sesuai dengan besarnya sinyal pemodulasi.

### E. Non-Orthogonal Multiple Access

*Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) adalah teknik yang memanfaatkan ketidak orthogonalan untuk proses penggabungan beberapa *user*. Teknik pada NOMA sendiri dibagi menjadi 2, yaitu *code domain* dan *power domain* [3]. Terdapat 2 cara kerja dalam NOMA, yang pertama ada proses *downlink* dan yang kedua adalah proses *uplink*. Pada proses *downlink* menggunakan teknik SC di sisi *transmitter*, sedangkan pada sisi user diterapkan teknik SIC. Sedangkan, pada proses *uplink multiple user* akan mengirimkan sinyal menuju BTS pada *resource block* yang sama. BTS akan mendeteksi sinyal dengan menggunakan teknik SIC.

### F. Static Power Allocation

*Static Power Allocation* (SPA) merupakan teknik alokasi daya yang menetapkan dahulu faktor alokasi daya. *Channel gain* yang berada pada setiap receiver dapat menetapkan besarnya alokasi daya. *Receiver* yang memiliki gain besar akan mendapatkan alokasi daya yang kecil, begitu pula sebaliknya.

### G. Successive Interference Cancellation

*Successive interference cancellation* (SIC) memecahkan kode informasi terkait dengan sinyal individu dari gabungan sinyal yang ditumpangkan. SIC mampu meningkatkan kapasitas suatu jaringan secara substansial karena adanya teknik mengelola interferensi. Proses SIC mendeteksi *user* dengan sinyal terkuat terlebih dahulu. Lalu diulangi terus

seperti itu sampai dengan user yang memiliki sinyal terendah, hal ini dapat terjadi dengan tanpa adanya interferensi.

### H. Superposition Code

NOMA memerlukan Superposition Code (SC) pada transmitter. SC merupakan suatu teknik pengkodean yang memungkinkan *base station* mengirimkan informasi dari beberapa user secara bersamaan. *User* di *encoding* dengan kondisi kanal yang buruk dan mengalokasikan power yang berasal dari user yang memiliki kondisi kanal lebih baik adalah konsep dari SC.

### G. Parameter Pengujian Sistem

#### 1. Line of Sight

Line of Sight (LOS) merupakan salah satu propagasi yang diantara transmitter dan receiver tidak boleh ada penghalang. Pada perhitungan parameter LOS terdapat 1 parameter penting yang akan dicari, yaitu parameter lambertian  $m$  yang memiliki hubungan dengan FWHM sebagai berikut :

$$m = \frac{\log_{10}(2)}{\log_{10} \cos \theta} \quad (2.1)$$

Dengan nilai dari  $\theta$  merupakan besarnya FWHM. Lalu untuk persamaan pada kanal LOS

$$H_{los} = \frac{A_r \cdot (m+1) \cdot \cos^{(m+1)}}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (2.2)$$

dengan  $A_r$  merupakan area photodetector disisi penerima, dan  $d$  merupakan jarak transmitter terhadap penerima. Besar daya yang dapat diterima disisi penerima dapat ditulis dengan persamaan berikut :

$$P_r = P_{tot} \cdot H \quad (2.3)$$

$P_{tot}$  merupakan besarnya daya kirim LED dan  $H$  adalah kanal yang digunakan.

#### 2. Non-Line of Sight

Kanal Non-Line of Sight (NLOS) memiliki nilai optikal *path loss* atau redaman yang dihasilkan lebih kompleks, ini disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut dapat berupa dimensi ruangan, pantulan yang berasal dari langit-langit atau dinding, dan penyerapan cahaya oleh benda-benda yang ada di dalam ruangan. Pada skenario kanal *shadowing* ruangan umumnya terdapat benda yang dapat menghalangi dan menyerap cahaya. Hal ini menyebabkan *user* berada di daerah yang biasa disebut efek *shadowing*. Channel gain pada user dapat dihitung dengan rumus

$$H_{shd} = \frac{A_r \cdot (m+1) \cdot \cos^{(m+1)}}{2 \cdot \pi \cdot d^2} (\varphi) O_{shd} \quad (2.4)$$

#### 3. Signal to Interference Noise Ratio

*Signal to Interference Noise Ratio* (SINR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim dengan noise. SINR sendiri tidak memiliki satuan karena berbentuk rasio, namun SINR dapat di konversikan ke dalam satuan desibel (dB). Nilai pada SINR merupakan salah satu kriteria untuk menentukan kualitas koneksi, dimana saat kualitas koneksi semakin besar maka menunjukkan bahwa kualitas koneksi

pada model kanal yang dipakai semakin baik. Untuk menghitung nilai SINR digunakan rumus sebagai berikut :

$$SINR = \frac{(R \cdot M \cdot Pr)^2_{user1}}{(R \cdot M \cdot Pr)^2_{user2} + \sigma^2_{total}} \quad (2.5)$$

Pr adalah daya terima pada sistem, R adalah responsivitas, M merupakan penguatan detektor, F(M) merupakan noise figure, B merupakan receiver electrical bandwidth. Persamaan noise quantum  $\sigma^2_q$  diartikan sebagai berikut :

$$\sigma^2_q = 2 \cdot q \cdot I \cdot B \quad (2.6)$$

dengan q merupakan muatan elektron dengan nilai  $1.602 \times 10^{-19}$ , B adalah bandwidth, I sebagai arus primer dari perkalian responsivitas R dan daya terima Pr dapat diartikan sebagai berikut :

$$I = R \cdot Pr \quad (2.7)$$

dan noise pada thermal ditentukan Type equation here an pada persamaan sebagai berikut :

$$\sigma^2_{th} = \frac{4 \cdot K_b \cdot T \cdot B}{RL} \quad (2.8)$$

dengan kb sebagai konstanta Boltzman, T suhu ruangan dalam satuan kelvin, B bandwidth dan RL adalah hambatan dalam.

#### 4. Perhitungan Kapasitas Kanal

Kapasitas merupakan salah satu parameter yang menyatakan kecepatan bit per detik maksimum yang dikirimkan dari transmitter untuk tiap receiver dalam proses pengiriman data. Kapasitas dapat diperoleh dari menggunakan Teorema Shannon dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = B \cdot \log_2 (1 + SINR) \quad (2.9)$$

#### 5. Bit Error Rate

Bit Error Rate sangat berpengaruh terhadap performansi VLC. Semakin kecil nilai BER maka semakin baik juga performansi pada sistem. BER menyatakan rasio pengiriman jumlah bit yang error dalam satu waktu. Yang dihasilkan dari jumlah bit yang error dibagi total bit yang dikirimkan keseluruhan dalam satu waktu. nilai BER dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

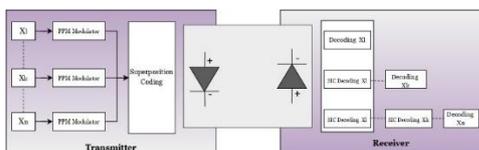
$$BER_{PPM} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{2}} \left( \sqrt{SINR} \frac{L}{2} \log_2 L \right) \right) \quad (2.10)$$

dengan L adalah leveling yang digunakan pada ppm.

### III. METODE

#### A. Desain Sistem

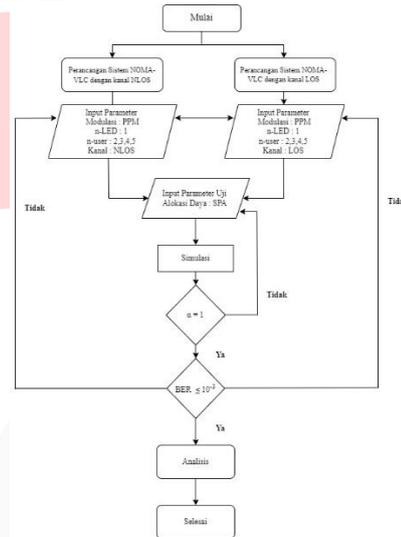
Perancangan sistem pada tugas akhir ini dibuat untuk mengevaluasi kinerja SPA yang digunakan untuk komunikasi VLC dengan kanal LOS dalam penerapan teknik multiple access yaitu NOMA.



GAMBAR 1. Blok Diagram NOMA-VLC.

Blok diagram NOMA yang digunakan pada sistem komunikasi VLC. Seperti yang terlihat pada gambar diatas, VLC sendiri terdiri dari transmitter, optical wireless channel, dan receiver. Pada sisi transmitter yaitu sisi pengirim terdapat Superposition Coding dan pada sisi receiver yaitu sisi penerima di implementasikan Successive Interference Cancellation. Sinyal input yang masuk akan diteruskan dan akan terjadi penumpangan sinyal. Proses modulasi yang digunakan adalah modulasi PPM. Lalu teknik pengalokasian daya akan terjadi di Superposition Coding dengan mempertimbangkan kondisi kanal yang dimiliki masing masing pengirim.

#### B. Diagram Alir



GAMBAR 2. Diagram Alir.

Pada gambar diatas, menjelaskan diagram alir penelitian ini. Dengan menggunakan modulasi PPM dengan sumber yang berasal dari LED. Ada 2 skenario ruangan yang terlihat pada gambar diatas yaitu, LOS dan NLOS. Setelah itu dilakukan input parameter dengan menggunakan semua parameter yang sudah ditetapkan. Lalu memasukkan parameter uji, barulah setelah itu melakukan simulasi dengan software Python dengan melihat nilai BER. Jika nilai BER tidak memenuhi syarat  $10^{-3}$  maka perlu dilakukan perubahan parameter agar syarat terpenuhi. Setelah simulasi dan syarat BER terpenuhi, langkah selanjutnya adalah menganalisis seluruh performansi.

#### C. Parameter

Berikut adalah parameter lain nya yang mempengaruhi Tugas Akhir ini.

No.	Parameter		Spesifikasi
1.	Ruangan	Ukuran Ruangan	5 x 5 x 3 m
		Suhu Ruangan	300 ° k
2.	Transmitter	Jenis	LED
		Jumlah	1
		Daya	12 watt
		Kanal	LOS dan NLOS
		Bandwith	20 MHz
3.	Reciever	Area Detektor	1mm <sup>2</sup>
		FoV	77°
		Responsifitas	0,55 A/W
		Hambatan Dalam	15
		Jarak ke Transmitter	2 meter
4.	User	Jumlah User	2, 3, 4 dan 5
		Jarak ke transmitter	Maksimal 2,8 meter

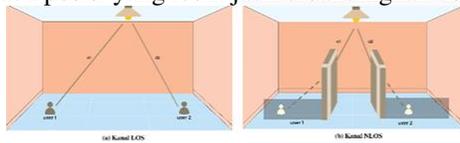
TABEL 1. Parameter.

D. Skenario Simulasi

Pada simulasi Tugas Akhir ini memiliki beberapa analisa. Skenario yang digunakan adalah perhitungan tanpa NOMA, analisa kondisi kanal LOS dan kanal NLOS. Skenario dalam simulasi ini memiliki tujuan untuk mendapatkan hasil terbaik dengan parameter yaitu BER dan SINR. Hasil yang dapat di analisa antara lain adalah daya terima pada receiver, SINR dan BER yang dipengaruhi oleh perbedaan jarak antar user.

1. Skenario Simulasi 2 User

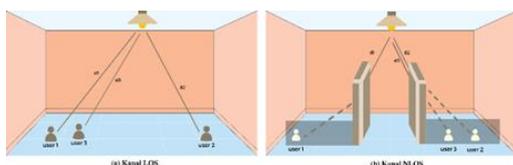
Pada skenario ini terdapat 2 user dengan kondisi kanal LOS dan NLOS. Pada kanal dengan kondisi ruangan LOS, cahaya langsung sampai ke user. Sedangkan, ruangan dengan kondisi kanal NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya sehingga tidak bisa langsung sampai ke user. Pada ruangan ini dapat dilihat bahwa jarak transmitter ke user 1 berada pada posisi yang lebih jauh dibandingkan user 2.



GAMBAR 3. Skenario 2 User.

2. Skenario Simulasi 3 User

Pada skenario ini terdapat 3 user dengan kondisi kanal LOS dan NLOS. Pada kanal dengan kondisi ruangan LOS, cahaya langsung sampai ke user. Sedangkan, ruangan dengan kondisi kanal NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya sehingga tidak bisa langsung sampai ke user. Pada ruangan ini dapat dilihat jarak terjauh dimiliki oleh user 1, 2 lalu user terdekat adalah user 3.

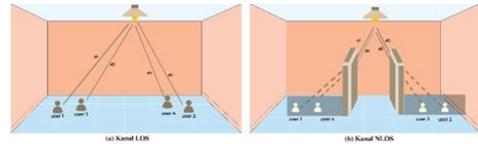


GAMBAR 4. Skenario 3 User.

terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya sehingga tidak bisa langsung sampai ke user. Pada ruangan ini dapat dilihat jarak terjauh dimiliki oleh user 1, 2 lalu user terdekat adalah user 3.

3. Skenario Simulasi 4 User

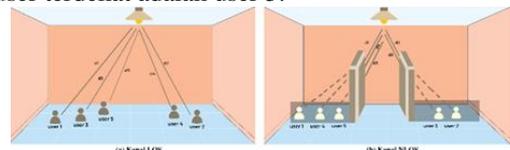
Pada skenario ini terdapat 4 user dengan kondisi kanal LOS dan NLOS. Pada kanal dengan kondisi ruangan LOS, cahaya langsung sampai ke user. Sedangkan, ruangan dengan kondisi kanal NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya sehingga tidak bisa langsung sampai ke user. Pada ruangan ini dapat dilihat jarak terjauh dimiliki oleh user 1, 2, 3 lalu user terdekat adalah user 4.



GAMBAR 5. Skenario 4 User.

4. Skenario Simulasi 5 User

Pada skenario ini terdapat 5 user dengan kondisi kanal LOS dan NLOS. Pada kanal dengan kondisi ruangan LOS, cahaya langsung sampai ke user. Sedangkan, ruangan dengan kondisi kanal NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya sehingga tidak bisa langsung sampai ke user. Pada ruangan ini dapat dilihat jarak terjauh dimiliki oleh user 1, 2, 3,4 lalu user terdekat adalah user 5.



GAMBAR 6. Skenario 5 User.

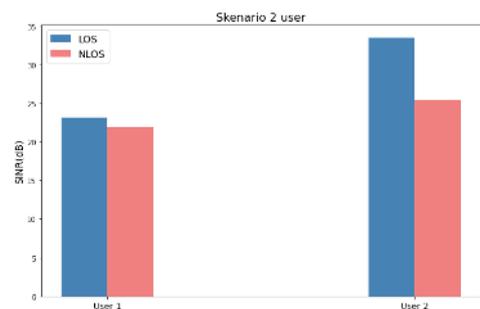
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil dan analisa dari simulasi yang telah dilakukan, sesuai parameter yang sudah di tentukan. Parameter yang sudah ditentukan adalah SINR, kapasitas kanal, dan BER. Pada parameter SINR dan kapasitas kanal akan di simulasi dengan membandingkan beberapa kondisi kanal yaitu, kanal LOS dan NLOS. Sedangkan pada parameter BER menggunakan modulasi 4-ppm, 8-ppm, dan 16-ppm. Pada parameter BER menganalisis pengaruh bertambahnya jumlah user terhadap BER.

A. Hasil Simulasi SINR

1. Skenario 2 User

Pada simulasi pertama menggunakan user yang berjumlah 2 buah. Pada skenario ini jarak diambil secara acak dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dan mengambil rata-rata.



GAMBAR 7. Skenario SINR 2 user.

Pada gambar diatas kondisi kanal LOS terjadi kenaikan SINR dari user 1 ke user 2, begitupun yang terjadi pada kanal NLOS terjadi kenaikan dari user 1 ke user 2. Dapat dilihat perbandingan antara kondisi kanal LOS dan kondisi kanal NLOS pada user 1 ataupun user 2 mengalami penurunan. Hasil perhitungan SINR untuk skenario 1 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

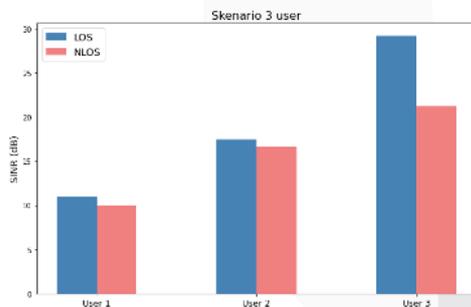
User ke-	d	Kondisi Ruangan	SINR	Persentase
1	2,613 m	LOS	23,188 dB	-5,373%
		NLOS	21,942 dB	
2	2,528 m	LOS	33,450 dB	-23,793%
		NLOS	25,491 dB	

Tabel 2.  
Hasil perhitungan SINR 2 user.

Berdasarkan tabel dengan d sebagai jarak user ke transmitter, dapat dilihat bahwa pada user 1 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 23,188dB dan NLOS nya 21,942dB. Pada user 2 didapatkan SINR 33,450dB dan NLOS nya 21,491dB. Pada user 1 dapat dilihat bahwa SINR dengan kanal NLOS mengalami penurunan terhadap kanal LOS sebanyak -5,373%. Sedangkan pada user 2 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS dan terhadap kanal LOS sebanyak -23,793%. Pada kondisi kanal NLOS mengalami penurunan SINR terhadap kanal LOS dikarenakan pada kanal dengan kondisi NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya untuk langsung sampai ke user.

2. Skenario 3 User

Pada simulasi kedua menggunakan user yang berjumlah 3 buah. Pada skenario ini jarak diambil secara acak dengan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dan mengambil rata-rata.



GAMBAR 8.  
Skenario SINR 3 user.

Pada gambar diatas kondisi kanal LOS terjadi kenaikan SINR dari user 1 sampai ke user 3, begitupun yang terjadi pada kanal NLOS terjadi kenaikan dari user 1 sampai ke user 3. Dapat dilihat perbandingan antara kondisi kanal LOS dan kondisi kanal NLOS pada user 1 sampai user 3 mengalami penurunan. Hasil perhitungan SINR untuk skenario 2 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

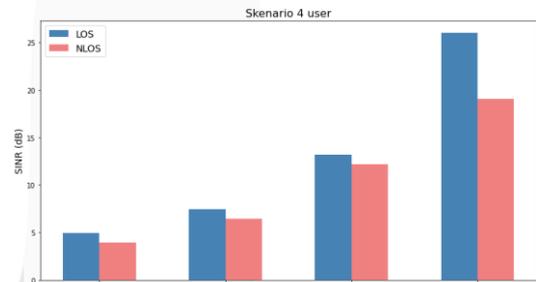
TABEL 3.  
Hasil perhitungan SINR 3 user

User ke-	d	Kondisi Ruangan	SINR	Persentase
1	2,613 m	LOS	10,997 dB	-9,138 %
		NLOS	9,992 dB	
2	2,528 m	LOS	17,470 dB	-4,934%
		NLOS	16,608 dB	
3	2,394 m	LOS	29,172 dB	-27,283%
		NLOS	21,213 dB	

Berdasarkan tabel dengan d sebagai jarak user ke transmitter, dapat dilihat bahwa pada user 1 dengan kondisi kanal LOS didapka SINR 10,997dB dan NLOS nya 9,992dB. Pada user 2 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 17,470dB dan NLOS nya 16,608dB. Pada user 3 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 29,172dB dan NLOS nya 21,213dB. User 1 dapat dilihat bahwa SINR dengan kanal NLOS mengalami penurunan terhadap kanal LOS sebanyak -9,138%. Pada user 2 terjadi penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap LOS sebanyak -4,943%. Pada user 3 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -27,283%. Pada kondisi kanal NLOS mengalami penurunan SINR terhadap kanal LOS dikarenakan pada kanal dengan kondisi NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya untuk langsung sampai ke user.

3. Skenario 4 User

Pada simulasi ketiga menggunakan user yang berjumlah 4 buah. Pada skenario ini jarak diambil secara acak dengan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dan mengambil rata-rata.



Gambar 9.  
Skenario SINR 4 user.

Pada diatas kondisi kanal LOS terjadi kenaikan SINR dari user 1 sampai ke user 4, begitupun yang terjadi pada kanal NLOS terjadi kenaikan dari user 1 sampai ke user 4. Dapat dilihat perbandingan antara kondisi kanal LOS dan kondisi kanal NLOS pada user 1 sampai user 4 mengalami penurunan. Hasil perhitungan SINR untuk skenario 3 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

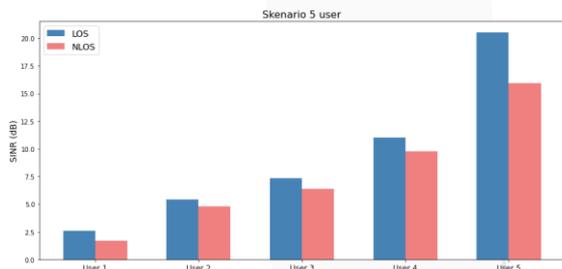
TABEL 4.  
Hasil perhitungan SINR 4 user.

User ke-	d	Kondisi Ruangan	SINR	Persentase
1	2,613 m	LOS	4,951 dB	-20,238%
		NLOS	3,949 dB	
2	2,528 m	LOS	7,449 dB	-13,867%
		NLOS	6,416 dB	
3	2,394 m	LOS	13,215 dB	-7,839%
		NLOS	12,179 dB	
4	2,202 m	LOS	25,990 dB	-26,775%
		NLOS	19,031 dB	

Berdasarkan tabel dengan d sebagai jarak user ke transmitter, dapat dilihat bahwa pada user 1 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 4,951dB dan NLOS nya 3,949dB. Pada user 2 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 7,449dB dan NLOSnya 6,416dB. Pada user 3 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 13,215dB dan NLOS nya 12,179dB. Pada user 4 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 25,990dB dan NLOS nya 19,031dB. User 1 dapat dilihat bahwa SINR dengan kanal NLOS mengalami penurunan terhadap kanal LOS sebanyak - 20,238%. Pada user 2 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -13,867%. Pada user 3 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak - 7,839%. Pada user 4 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -26,775%. Pada kondisi kanal NLOS mengalami penurunan SINR terhadap kanal LOS dikarenakan pada kanal dengan kondisi NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya untuk langsung sampai ke user. Successive interference cancellation(SIC) juga dapat menjadi faktor dimana user yang berada lebih jauh dengan user lain nya akan mengalami SIC berkali kali, yang menyebabkan hasil SINR user yang paling jauh menjadi lebih kecil sedangkan user dengan jarak yang dekat lebih besar.

4. Skenario 5 User

Pada simulasi ketiga menggunakan user yang berjumlah 5 buah. Pada skenario ini jarak diambil secara acak dengan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dan mengambil rata-rata.



GAMBAR 10. Skenario 5 user.

Pada gambar diatas kondisi kanal LOS terjadi kenaikan SINR dari user 1 sampai ke user 5, begitupun yang terjadi pada kanal NLOS terjadi kenaikan dari user 1 sampai ke user 5. Dapat dilihat perbandingan antara kondisi kanal LOS dan kondisi kanal NLOS pada user 1 sampai user 5 mengalami penurunan. Hasil perhitungan SINR untuk skenario 4 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

TABEL 5. Hasil perhitungan SINR 5 user.

User ke-	d	Kondisi Ruangan	SINR	Persentase
1	2,613 m	LOS	2,588 dB	-34,853%
		NLOS	1,686 dB	
2	2,528 m	LOS	5,396 dB	-11,453%
		NLOS	4,778 dB	
3	2,394 m	LOS	7,367 dB	-13,628%
		NLOS	6,363 dB	
4	2,202 m	LOS	11,009 dB	-11,072%
		NLOS	9,790 dB	
5	2,100 m	LOS	20,602 dB	-20,022%
		NLOS	16,477 dB	

Berdasarkan tabel dengan d sebagai jarak user ke transmitter, dapat dilihat bahwa pada user 1 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 2,588dB dan NLOS nya 1,686dB. Pada user 2 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 5,396dB dan NLOS nya 4,778dB. Pada user 3 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 7,367dB dan NLOS nya 6,363dB. Pada user 4 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 11,009dB dan NLOS nya 9,790dB. Pada user 5 dengan kondisi kanal LOS didapatkan SINR 20,602dB dan NLOS nya 16,477dB. User 1 dapat dilihat bahwa SINR dengan kanal NLOS mengalami penurunan terhadap kanal LOS sebanyak - 34,853%. Pada user 2 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -11,453%. Pada user 3 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -13,628%. Pada user 4 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -11,072%. Pada user 5 terdapat penurunan SINR antara kanal NLOS terhadap kanal LOS sebanyak -20,022%. Pada kondisi kanal NLOS mengalami penurunan SINR terhadap kanal LOS dikarenakan pada kanal dengan kondisi NLOS terdapat suatu objek yang menghalangi cahaya untuk langsung sampai ke user. Successive interference cancellation(SIC) juga dapat menjadi faktor dimana user yang berada lebih jauh dengan user lain nya akan mengalami SIC berkali kali, yang menyebabkan hasil SINR user yang paling jauh menjadi lebih kecil sedangkan user dengan jarak yang dekat lebih besar.

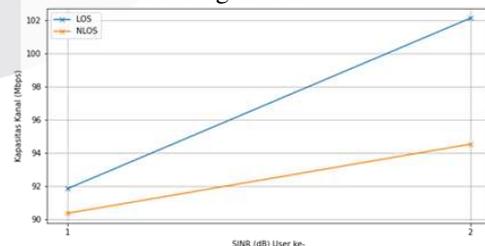
B. Hasil Simulasi Kapasitas Kanal

1. Skenario 2 User

TABEL 6. Hasil perhitungan kapasitas kanal 2 user.

User ke-	Kondisi Ruangan	C	Persentase
1	LOS	91.847 Mbps	-1,634%
	NLOS	90.370 Mbps	
2	LOS	102.118 Mbps	-7,429%
	NLOS	94.531 Mbps	

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa user 1 dengan kanal LOS memiliki kapasitas kanal yang lebih kecil dibanding user 2 dengan kanal LOS. Hal ini disebabkan nilai SINR pada user 2 lebih besar dibandingkan user 1.



GAMBAR 11. Skenario kapasitas kanal 2 user.

Pada gambar diatas terlihat perbedaan kapasitas kanal user ke-2 memiliki jarak yang cukup jauh antara LOS dan NLOS, hal ini dapat dilihat pada Tabel4.5. Dimana persentase antara LOS dan NLOS terjadi penurunan paling besar sebanyak -7,429%. Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai SINR yang didapat suatu user, kapasitas kanal yang

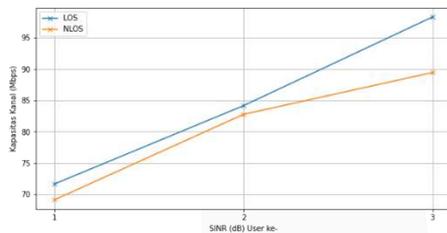
dihasilkan akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai SINR suatu user maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin kecil.

2. Skenario 3 User

TABEL 7.  
Hasil perhitungan kapasitas kanal 3 user.

User ke-	Kondisi Ruang	C	Persentase
1	LOS	71.669 Mbps	-3,528%
	NLOS	69.140 Mbps	
2	LOS	84.144 Mbps	-1,643%
	NLOS	82.761 Mbps	
3	LOS	98.284 Mbps	-9,007%
	NLOS	89.432 Mbps	

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa kapasitas kanal untuk user 3 lebih besar dibandingkan user 2 dan 1. Hal ini disebabkan oleh SINR yang didapat user 3 lebih besar dibandingkan yang lain nya, sehingga kapasitas kanal yang didapat lebih besar.



GAMBAR 12.  
Skenario kapasitas kanal 3 user.

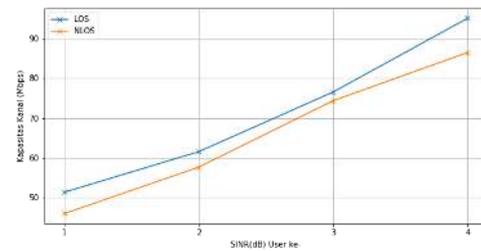
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada user 3, kapasitas kanal LOS dan NLOS nya memiliki penurunan yang paling besar, yaitu -9,007%. Nilai SINR yang didapat suatu user, kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai SINR suatu user maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin kecil.

3. Skenario 4 User

TABEL 8.  
Hasil perhitungan kapasitas kanal 4 user.

User ke-	Kondisi Ruang	C	Persentase
1	LOS	51.346 Mbps	-10,464%
	NLOS	45.973 Mbps	
2	LOS	61.546 Mbps	-6,311%
	NLOS	57.662 Mbps	
3	LOS	76.549 Mbps	-2,865%
	NLOS	74.356 Mbps	
4	LOS	95.080 Mbps	-11,055%
	NLOS	86.470 Mbps	

Pada tabel diatas terlihat kenaikan nilai kapasitas kanal dari user 1 sampai user 4, hal ini disebabkan oleh nilai SINR yang di dapat. SINR user 4 lebih besar dibandingkan ketiga user lain nya.



GAMBAR 13.  
Skenario kapasitas kanal 4 user.

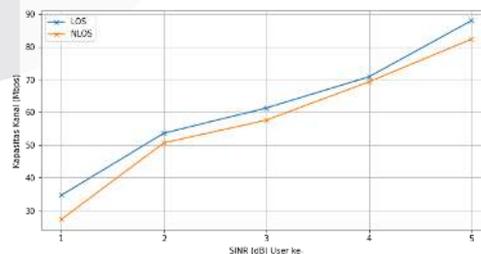
Pada tabel diatas dapat dilihat pula bahwa pada user 4 mengalami penurunan pada kanal LOS dan NLOS yang paling besar, yaitu -11,055%. Sedangkan user 3 memiliki persentasi paling kecil yaitu -2,865%. Hal ini dapat dilihat pada gambar, yang mana user 4 memiliki jarak perbandingan yang lebih besar dibandingkan user lain nya. Semakin besar nilai SINR yang didapat suatu user, kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai SINR suatu user maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin kecil.

4. Skenario 5 User

User ke-	Kondisi Ruang	C	Persentase
1	LOS	34.586 Mbps	-21,291%
	NLOS	27.222 Mbps	
2	LOS	53.541 Mbps	-5,527%
	NLOS	50.582 Mbps	
3	LOS	61.247 Mbps	-6,052%
	NLOS	57.540 Mbps	
4	LOS	70.754 Mbps	-2,215%
	NLOS	69.227 Mbps	
5	LOS	88.654 Mbps	-6,907%
	NLOS	82.531 Mbps	

TABEL 9.  
Hasil perhitungan kapasitas kanal 2 user.

Pada tabel diatas kapasitas kanal yang didapat user 5 lebih besar dibandingkan user lain nya. Ini dikarenakan nilai SINR pada user 5 lebih besar. User 1 memiliki penurunan pada kanal LOS dan NLOS yang paling besar yaitu -21,291%. Kapasitas kanal dipengaruhi oleh nilai SINR yang didapat.



GAMBAR 14.  
Skenario kapasitas kanal 5 user.

Hal ini dapat dilihat pula pada gambar diatas bahwa user 1 memiliki jarak selisih antara kanal LOS dan NLOS yang cukup jauh. Semakin besar nilai SINR yang didapat suatu user, kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai SINR suatu user

maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan akan semakin kecil. Kapasitas kanal dipengaruhi oleh nilai SINR yang didapat.

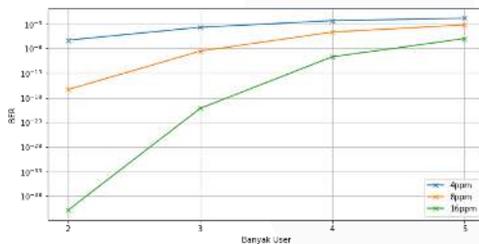
C. Hasil Simulasi BER

1. Skenario penambahan user dengan kanal LOS

Pada simulasi skenario BER digunakan modulasi 4-ppm, 8-ppm, 16-ppm.

TABEL 10. Rata rata BER kanal LOS.

PPM	Jumlah User	BER
4-PPM	2 User	4,696 e <sup>-7</sup>
	3 User	1,918 e <sup>-4</sup>
	4 User	4,310 e <sup>-3</sup>
	5 User	1,387 e <sup>-2</sup>
8-PPM	2 User	4,345 e <sup>-17</sup>
	3 User	2,858 e <sup>-9</sup>
	4 User	2,053 e <sup>-5</sup>
	5 User	6,124 e <sup>-4</sup>
16-PPM	2 User	1,401e <sup>-41</sup>
	3 User	6,493 e <sup>-21</sup>
	4 User	1,995 e <sup>-10</sup>
	5 User	9,804 e <sup>-7</sup>



GAMBAR 15. BER dengan kondisi kanal LOS.

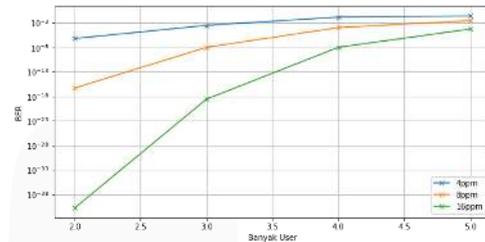
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin sedikit jumlah user maka nilai rata-rata BER yang dihasilkan akan semakin bagus. Kenaikan level ppm juga mempengaruhi hasil rata-rata BER pada gambar diatas. Semakin besar kenaikan level pada ppm, maka BER rata-rata yang dihasilkan akan semakin baik.

2. Skenario penambahan user dengan kanal NLOS

Pada simulasi skenario BER digunakan modulasi 4-ppm,8-ppm, dan 16-ppm.

TABEL 11. Rata rata BER kanal NLOS.

PPM	Jumlah User	BER
4-PPM	2 User	5,983e <sup>-7</sup>
	3 User	2,859e <sup>-4</sup>
	4 User	1,440e <sup>-2</sup>
	5 User	2,438e <sup>-2</sup>
8-PPM	2 User	4,536e <sup>-17</sup>
	3 User	9,723e <sup>-9</sup>
	4 User	1,033e <sup>-4</sup>
	5 User	2,709e <sup>-3</sup>
16-PPM	2 User	1,469e <sup>-41</sup>
	3 User	2,535e <sup>-19</sup>
	4 User	9,822e <sup>-9</sup>
	5 User	5,316e <sup>-5</sup>



GAMBAR 16. BER dengan kondisi kanal NLOS.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin sedikit jumlah user maka nilai rata-rata BER yang dihasilkan akan semakin bagus. Kenaikan level ppm juga mempengaruhi hasil rata-rata BER pada gambar diatas. Semakin besar kenaikan level pada ppm, maka BER rata-rata yang dihasilkan akan semakin baik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil simulasi dan analisis penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan Static Power Allocation pada NOMA dapat menyeimbangkan pembagian sinyal pada setiap user. Dengan memberikan power alokasi yang lebih besar kepada user yang memiliki jarak terjauh dan kondisi kanal terburuk, menghasilkan sinyal pada user dengan jarak terjauh masih mendapatkan sinyal yang cukup baik.
2. Pertambahan user pada skenario Tugas Akhir ini sangat berpengaruh. Pada SINR semakin banyak user yang digunakan, semakin kecil pula nilai SINR yang dihasilkan. Ini di sebabkan semakin banyak user, maka sinyal yang diterima akan terbagi lebih banyak ke user lain nya. Pengaruh pertambahan user juga terlihat pada BER. Pada BER, semakin banyak user pada suatu ruangan maka BER rata-rata yang dihasilkan akan semakin kecil.

3. Kanal NLOS yang diterapkan pada skenario Tugas akhir ini memiliki pengaruh terhadap hasil SINR, kapasitas kanal, dan BER yang dihasilkan. Kanal NLOS mendapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan kanal LOS. Sebagai contoh pada skenario 2 user yaitu pada perhitungan SINR, user1 dengan kanal LOS mendapatkan 23,188dB sedangkan user2 mendapatkan 21,942dB. Hal ini dapat disebabkan pada kanal NLOS terdapat obstacle yang menyebabkan cahaya dari transmitter terhalang untuk langsung sampai ke user.

4. Pada hasil BER pada skenario 5 user kanal LOS, dapat dilihat bahwa BER dengan 4-ppm menghasilkan  $1,387e^{-2}$ . BER yang dihasilkan belum cukup memenuhi  $\leq 10^{-3}$ . Solusinya adalah dengan menaikkan leveling pada ppm menjadi 8-ppm. Sehingga BER yang dihasilkan adalah  $6,124e^{-4}$ .

## REFERENSI

- [1] Q. Li, T. Shang, T. Tang, and Z. Dong, "Optimal Power Allocation Scheme Based on Multi-Factor Control in Indoor NOMA-VLC Systems," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82 878–82 887, 2019.
- [2] Z. Geng, F. N. Khan, X. Guan, and Y. Dong, "Advances in Visible Light Communication Technologies and Applications," *Photonics*, vol. 9, no. 12, 2022.
- [3] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications*, 2019.
- [4] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. Vieira, M. A. Vieira, and O. Gnawali, "Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3204–3237, 2019.
- [5] B. Lin, X. Tang, and Z. Ghassemlooy, "Optical Power Domain NOMA for Visible Light Communications," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 8, no. 4, pp. 1260–1263, 2019.
- [6] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K.-s. Kwak, "power NOMA," pp. 1–41.
- [7] H. V. Poor, Z. Ding, Y. Liu, J. Choi, Q. Sun, and M. Elkashlan, "Application of Non-orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks Application of Non-orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks," *IEEE Communications Magazine*, no. February 2017, pp. 185–191, 2017.
- [8] P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, "Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, 2015.
- [9] A. A. Abbyasovich and C. D. Kamilevna, "Light Emitting Diode Modules with Reflective Optical System that Implements the 'Flat Beam' Lighting Technology," *2020 5th Junior Conference on Lighting, Lighting 2020 - Proceedings*, pp. 2020–2021, 2020.
- [10] T. Pulli, T. Donsberg, T. Poikonen, F. Manoocheri, P. K. " arh " a, and E. Ikonen, " "Advantages of white LED lamps and new detector technology in photometry," *Light: Science and Applications*, vol. 4, no. June, pp. 1–7, 2015.
- [11] N. Yu, P. Wang, and Z. Zhuang, "Design of digital pulse-position modulation system," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2093, no. 1, 2021.
- [12] A. Agarwal and G. Saini, "SNR Analysis for Visible Light Communication Systems," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 10, pp. 520–524, 2014.