

ANALISIS PERFORMANSI ALOKASI DAYA DENGAN GRPA PADA SISTEM NOMA-VLC PERFORMANCE ANALYSIS OF POWER ALLOCATION WITH GRPA IN NOMA-VLC SYSTEM

Ihza Ardi Prasetyo¹, Kris Sujatmoko², Desti Madya Saputri³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹ihzaardi@student.telkomuniversity.ac.id, ²krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id,

³destimadyasaputri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Seiring bertambahnya kebutuhan masyarakat dalam penyampaian informasi yang terus meningkat harus diiringi dengan teknologi telekomunikasi yang handal. Teknologi *Visible Light Communication* (VLC) adalah solusi potensial untuk komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi dan jarak pendek. Namun, dibalik kelebihan VLC yang masih terus dikembangkan terdapat beberapa kekurangan salah satunya perihal *bandwidth* modulasi yang terbatas. *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) diusulkan untuk mengatasi keterbatasan ini. Pada Tugas Akhir ini, telah dilakukan analisis simulasi sistem NOMA-VLC yang menggunakan GRPA sehingga mendapatkan performansi sistem yang lebih baik. Hasil simulasi membuktikan bahwa besar daya kirim LED akan berpengaruh pada daya terima kanal. Semakin besar daya kirim LED maka daya terima pada kanal akan semakin baik. Performansi sistem NOMA-VLC lebih baik ketika menggunakan GRPA daripada SPA. Pada GRPA, target BER $\leq 10^{-3}$ tercapai pada SNR 25 dB dengan nilai BER sebesar $9,67 \times 10^{-4}$ untuk *user* 1 dan $9,67 \times 10^{-4}$ untuk *user* 2. Berdasarkan simulasi pengaruh variasi jarak pada sistem NOMA-VLC dengan GRPA, variasi pertama mendapatkan perolehan yang lebih unggul. Pada variasi yang kedua, kondisi 2 memiliki performansi paling baik. Kemudian pada simulasi NOMA-VLC menggunakan 3 *user*, pada *user* 1 mendapatkan nilai BER paling baik daripada *user* 2 dan *user* 3.

Kata Kunci: *Visible Light Communication*, NOMA, *Gain Ratio Power Allocation*, *Line of Sight*, OOK

Abstract

Along with the increasing needs of the community in the delivery of information that continues to increase, it must be accompanied by reliable telecommunications technology. Visible Light Communication (VLC) technology is a potential solution for high-speed and short-range wireless communication. However, behind the advantages of VLC which is still being developed, there are several drawbacks, one of which is the limited modulation bandwidth. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) is proposed to overcome this limitation. In this final project, a simulation analysis of the NOMA-VLC system using GRPA has been carried out so as to get a better system performance. The simulation results prove that the LED transmit power will affect the channel receiver power. The greater the transmit power of the LED, the better the receiving power on the channel. The NOMA-VLC system performs better when using GRPA than SPA. In GRPA the target BER of 10^{-3} is achieved at an SNR of 25 dB with a BER value of 9.67×10^{-4} for user 1 and 9.67×10^{-4} for user 2. Based on the simulation of the effect of distance variations on the NOMA-VLC system with GRPA, the first variation gets a superior gain. In the second variation, condition 2 has the best performance. Then in the NOMA-VLC simulation using 3 users, user 1 gets the best BER value from user 2 and user 3.

Keywords: *Visible Light Communication*, NOMA, *Gain Ratio Power Allocation*, *Line of Sight*, OOK

1. Pendahuluan

Pada era sekarang, perkembangan teknologi menunjukkan peningkatan yang cukup pesat. Hal ini terbukti dengan banyaknya media komunikasi, baik nirkabel dan kabel yang mengakibatkan banyaknya cara untuk penyampaian suatu komunikasi data[1]. Kebutuhan akan teknologi yang pesat harus dibarengi dengan suatu sistem yang handal. Komunikasi cahaya tampak (VLC) adalah solusi potensial untuk komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi dan jarak pendek. Nantinya, sistem

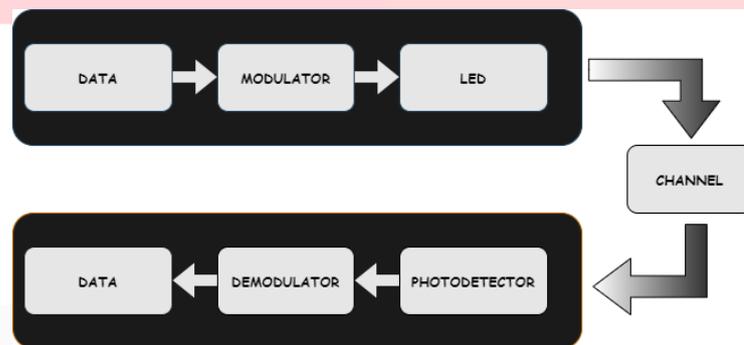
VLC dapat menggantikan komunikasi radio dalam melakukan transmisi data antar pengguna. Namun, kecepatan data yang ditawarkan oleh VLC dibatasi oleh bandwidth 3-dB dari light-emitting diode (LED). Skema non-orthogonal multiple access (NOMA) diusulkan untuk mengatasi keterbatasan ini[2].

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi sistem NOMA-VLC dengan *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA). Modulasi yang digunakan OOK-NRZ, menggunakan kanal *Line Of Sight* (LOS) pada ruangan yang disimulasikan berukuran $10 \times 10 \times 5 \text{ m}^3$. Parameter pengujian sistem yaitu *Bit Error Rate* (BER) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR).

2. Konsep Dasar

2.1. Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) adalah teknologi baru nirkabel yang berdasarkan teknologi LED putih [3]. VLC memanfaatkan panjang gelombang dari rentang 380nm-780nm sebagai penghantar medium informasi [4].

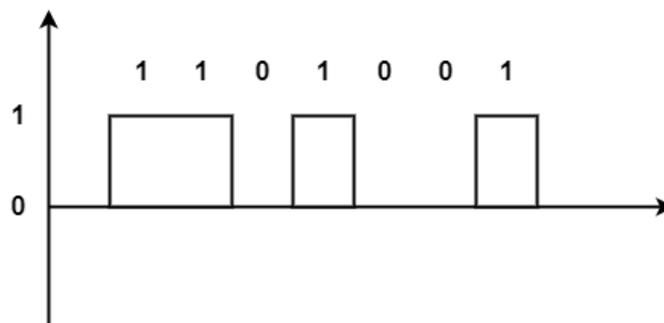


Gambar 1. Blok Diagram VLC

Blok diagram sistem VLC terdiri dari *transmitter*, *channel* dan *receiver* seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pada sisi *transmitter* terdiri dari sumber data, *modulator* dan LED. *Channel* atau kanal merupakan media penghubung antara *transmitter* dan *receiver*. Sementara di sisi *receiver* terdapat *photodetector* dan *demodulator*.

2.2. On-Off Keying NRZ (OOK-NRZ)

On-Off Keying adalah teknik modulasi yang digunakan pada sistem komunikasi optik. OOK mempunyai cara kerja paling sederhana, hal itu membuat OOK banyak diaplikasikan dalam sistem komunikasi optik. Pada modulasi OOK, bit "1" diwakili oleh pulsa optik yang menempati seluruh atau sebagian durasi bit. Sementara bit "0" diwakili oleh ketiadaan dari pulsa optik [5]. Pada OOK-NRZ ketika kondisi bit 1 maka gelombang bernilai penuh, hal tersebut seperti pada **Gambar 2**. Dengan gelombang yang penuh OOK-NRZ mempunyai *bandwidth* yang lebih besar, namun daya yang dikonsumsi juga lebih besar.



Gambar 2. Modulasi OOK NRZ

2.3. Gain Ratio Power Allocation (GRPA)

Gain Ratio Power Allocation merupakan teknik alokasi daya yang memberikan daya lebih besar kepada pengguna saluran yang buruk untuk mencapai *data rate* yang tinggi dan adil. Dalam GRPA untuk NOMA, perolehan *channel gain* dari pengguna dapat dicantumkan dalam urutan meningkat, misalnya $h_1 < h_2 < \dots < h_k < \dots < h_K$, sedangkan untuk alokasi daya setiap pengguna $a_1 > a_2 > \dots > a_k > \dots > a_K$ [6].

Alokasi daya pada GRPA untuk 2 user dapat ditulis dalam persamaan [7]

$$a_1 = \frac{h_2}{h_1 + h_2}, a_2 = \frac{h_1}{h_1 + h_2}. \quad (2.4)$$

Sedangkan, untuk penggunaan 3 user dapat ditulis [7]

$$a_1 = \frac{h_2 \cdot h_3}{h_1 \cdot h_2 + h_2 \cdot h_3 + h_1 \cdot h_3},$$

$$a_2 = \frac{h_1 \cdot h_3}{h_1 \cdot h_2 + h_2 \cdot h_3 + h_1 \cdot h_3}, \quad (2.5)$$

$$a_3 = \frac{h_1 \cdot h_2}{h_1 \cdot h_2 + h_2 \cdot h_3 + h_1 \cdot h_3}$$

dengan a_1 adalah alokasi daya user 1, a_2 adalah alokasi daya user 2, a_3 adalah alokasi daya user 3, h_1 adalah *channel gain* dari user 1, h_2 adalah *channel gain* dari user 2, dan h_3 adalah *channel gain* dari user 3.

2.4. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

Non-Orthogonal Multiple Access merupakan teknik transmisi *single carrier* dan *multi carrier* yang menggunakan *superposition coding* (SC) pada sisi pemancar dan *successive interference cancellation* (SIC) pada sisi penerima. NOMA pada dasarnya berbeda dari skema *multiple access* lainnya yang menyediakan akses ortogonal kepada pengguna baik dalam waktu, frekuensi, kode, atau ruang [8]. Dalam NOMA, *multiplexing* dilakukan dalam *power domain* (PD) atau dalam *code domain* melalui pengkodean superposisi, sehingga menawarkan efisiensi spektral yang lebih tinggi dibandingkan dengan *orthogonal multiple access* (OMA) [2].

Pada NOMA, ketika *on-off keying* dan *intensity modulation* dengan deteksi langsung digunakan di pemancar dan penerima, sinyal yang diterima y_k ditransmisikan dari LED ke- k pengguna NOMA-VLC dinyatakan dengan [9]

$$y_k = \gamma_{oe} P_t h_k \sum_{i=1}^K a_i x_i + N_k, \quad (1)$$

Dimana γ_{oe} adalah konstanta efisiensi konversi lisrik-optik, P_t adalah daya sinyal optik, h_k adalah penguatan saluran VLC dari pengguna ke- k , a_i adalah faktor alokasi daya, x_i adalah sinyal *on-off keying*, K adalah jumlah total pengguna, dan N_k menunjukkan *zero-mean gaussian noise*.

2.4.1. Superposition Coding (SC)

Superposition Coding merupakan teknik mengirimkan informasi secara bersamaan ke beberapa pengguna oleh satu sumber. Artinya *superposition coding* memungkinkan pemancar mengirimkan informasi secara bersama ke beberapa penerima atau pengguna [10].

$$x = (\sqrt{P \cdot a_1} \cdot x_1) + \dots + (\sqrt{P \cdot a_n} \cdot x_n) \quad (2)$$

Dengan P adalah besarnya total daya, a adalah alokasi daya, n adalah jumlah pengguna, x_1 adalah nilai bit *output* dari user 1, dan x_n adalah nilai bit *output* dari user ke n .

2.4.2. Successive Interference Cancellation (SIC)

Successive Interference Cancellation dapat dibayangkan dengan memanfaatkan spesifikasi pada besarnya kekuatan sinyal diantara sinyal yang diinginkan. Pada SIC, sinyal pengguna diterjemahkan secara berurutan. Pada *receiver*, sinyal diterima dengan persamaan [11]:

$$y_n = h_n \cdot x + N \tag{3}$$

Dengan h_n adalah *channel gain* pada penerima, n adalah user ke- n , x adalah *superposition coding*, dan N adalah noise gaussian. Sinyal yang diterima pada SIC dapat dinyatakan dengan persamaan [10]:

$$y'_n = y_n - (\sqrt{h_n(Pa_k)}) \tag{4}$$

Dimana n adalah pengguna ke- n , h adalah *channel gain* dari setiap pengguna, P adalah total daya, a adalah alokasi daya, dan k adalah pengguna selain pengguna n .

2.5. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan rasio perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya *noise* yang diterima [5]. Artinya, semakin besar nilai dari SNR maka kualitas dari sinyal akan lebih baik. Persamaan SNR dapat ditulis dengan:

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R)^2}{2 \cdot q \cdot P_{rx} \cdot R^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \left(\frac{4 \cdot k_B \cdot T \cdot B_e}{R_L}\right)} \tag{5}$$

P_{rx} merupakan daya terima pada sistem (W), R adalah responsivitas (A/W), q adalah muatan elektron, $F(M)$ merupakan *noise figure*, B_e adalah *receiver bandwidth* (Hz), k_B merupakan konstanta Boltzman, T merupakan suhu (K), dan R_L adalah hambatan dalam (Ω).

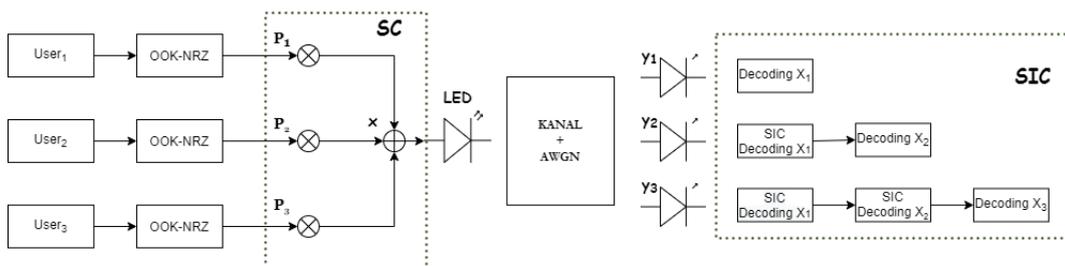
2.6. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate merupakan parameter yang menunjukkan nilai kesalahan bit saat sinyal ditransmisikan. Sebagai contoh BER 10^{-4} , artinya terdapat kesalahan 1 bit ketika mengirimkan bit sebanyak 10^4 . Semakin kecil nilai BER, maka semakin baik kualitas sistem transmisi tersebut.

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{SNR} \right) \tag{5}$$

3. Perancangan Sistem

3.1. Blok Diagram Sistem NOMA-VLC



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan perancangan simulasi sistem NOMA-VLC seperti pada **Gambar 3.1**. Pada sisi *transmitter* sinyal input berupa bit bernilai 1 atau 0 yang merupakan informasi dari *user*. Pada modulasi OOK, bit “1” diwakili oleh pulsa optik yang menempati seluruh atau sebagian durasi bit. Sementara bit “0” diwakili oleh ketiadaan dari pulsa optik. Pada OOK-NRZ ketika kondisi bit 1 maka gelombang bernilai penuh, hal ini menyebabkan OOK-NRZ mempunyai *bandwidth* yang lebih besar namun mengkonsumsi daya yang besar. Kemudian, pembagian alokasi daya menggunakan teknik GRPA. Pada GRPA, *user* yang memiliki saluran yang buruk akan diberikan daya yang lebih besar agar mendapatkan *data rate* yang tinggi dan adil. LED berfungsi sebagai pemancar dari bit-bit informasi yang akan di transmisikan. Kanal berfungsi sebagai media transmisi. Kemudian bit-bit yang ditransmisikan akan diterima di sisi *receiver* oleh

photodetector. Lalu bit-bit yang telah diterima selanjutnya akan di pisahkan untuk masing-masing *user* menggunakan teknik *Successive Interference Cancellation (SIC)*.

3.2. Parameter Simulasi

Pada perancangan sistem NOMA-VLC dengan GRPA terdapat beberapa spesifikasi yaitu:

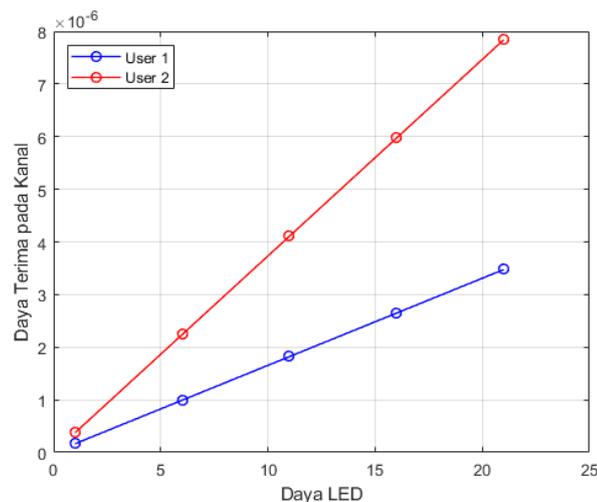
Tabel 1. Parameter Simulasi

PARAMETER	NILAI	
TRANSMITTER	Jenis	LED
	Bandwidth	1 MHz
	Kanal	LOS
	Tinggi	4 meter
RECEIVER	Jenis	PIN
	Responsivitas	0.55 A/W
	FOV	70°
LAIN-LAIN	Ruangan	10 x 10 x 5 m ³

4. IV. Hasil Simulasi dan Analisis

4.1. Analisis Pengaruh Daya Kirim terhadap *Channel Gain*

Daya kirim LED menunjukkan besarnya daya yang digunakan untuk mengirimkan sinyal dari LED menuju ke *user*. Selain itu besarnya daya kirim akan mempengaruhi performansi dari sistem NOMA-VLC ketika menggunakan alokasi daya GRPA. Pada simulasi ini digunakan variasi daya kirim: 1 W, 6 W, 11 W, 16 W, 21 W.



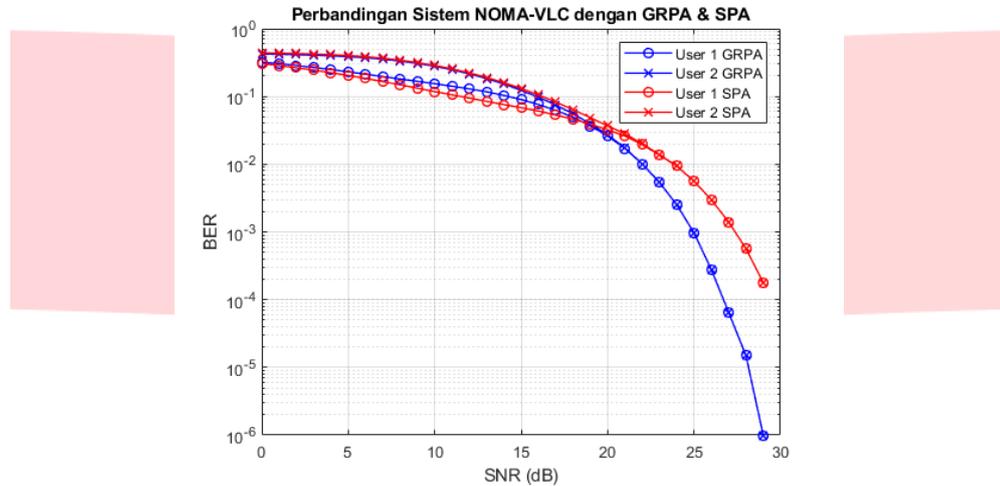
Gambar 4. Grafik Perbandingan Daya Kirim terhadap *channel gain*.

Pada **Gambar 4** menunjukkan hasil dari simulasi sistem NOMA-VLC ketika menggunakan GRPA. Nilai daya terima pada kanal ketika daya kirim 1 W sebesar 1.65×10^{-7} untuk *user 1* dan 3.73×10^{-7} untuk *user 2*. Berdasarkan grafik diatas, nilai daya terima semakin naik hingga daya kirim pada variasi 21 W dengan nilai 3.48×10^{-6} untuk user 1 dan 7.84×10^{-6} untuk user 2. Hal ini terjadi karena, nilai daya kirim LED merupakan salah satu faktor pengaruh baik atau buruknya daya yang diterima. Dengan semakin besarnya nilai daya kirim LED maka saluran akan semakin baik.

4.2. Analisis Performansi GRPA dan SPA

Pada sistem *Power Domain (PD)* NOMA-VLC, terdapat 2 teknik untuk mengalokasikan daya yaitu *Gain Ratio Power Allocation (GRPA)* dan *Static Power Allocation (SPA)*. Pada simulasi ini dibuat sistem NOMA-VLC dengan GRPA dan dengan SPA. Spesifikasi perancangan

pada sistem NOMA-VLC yaitu ketika menggunakan GRPA maka pembagian alokasi daya dilakukan berdasarkan channel gain, ketika menggunakan SPA alokasi daya ditentukan untuk *user 1* sebesar 0.8 dan *user 2* sebesar 0.2, ketinggian LED 4 m, jarak (d_1) *user 1* sebesar 7.5 m dan jarak (d_2) *user 2* sebesar 6 m, daya kirim sebesar 10 Watt, dan dengan asumsi didalam ruangan tidak ada interferensi cahaya matahari dan cahaya lain.



Gambar 5. Grafik Perbandingan BER dan SNR dengan GRPA dan SPA.

Hasil simulasi pada Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan BER dan SNR pada sistem NOMA-VLC saat menggunakan alokasi daya GRPA dan SPA. Saat menggunakan GRPA, tercapai target BER ($\leq 10^{-3}$) ketika SNR 25 dB dengan nilai BER sebesar $9,67 \times 10^{-4}$ untuk user 1 dan $9,67 \times 10^{-4}$ untuk user 2. Ketika menggunakan SPA, untuk mencapai target BER ($\leq 10^{-3}$) saat nilai SNR 28 dB tercapai BER sebesar $5,68 \times 10^{-4}$ untuk user 1 dan $5,68 \times 10^{-4}$ untuk user 2.

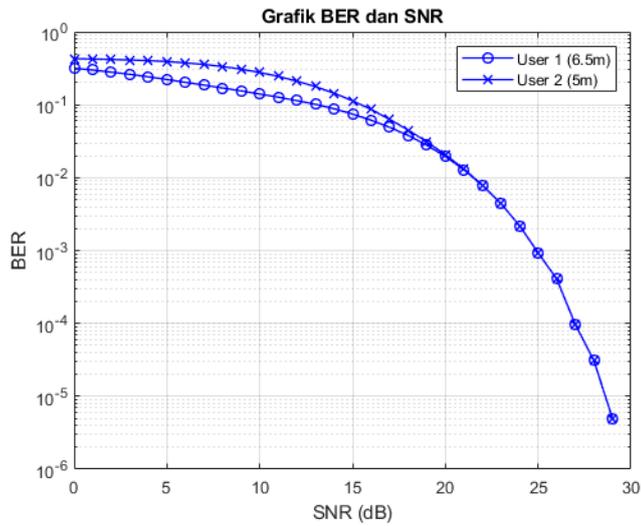
Penggunaan alokasi daya GRPA lebih baik daripada SPA dikarenakan pada GRPA pembagian daya dilakukan lebih adil dengan memberikan daya yang lebih besar kepada pengguna saluran yang buruk.

4.3. Analisis Pengaruh Jarak terhadap BER

4.3.1. Performansi GRPA terhadap Variasi Kedua Jarak User Menjauh dari LED

Pada skenario ini, digunakan variasi jarak dimana posisi *user 1* dan *user 2* telah ditentukan sebelumnya, kemudian perubahan jarak untuk tiap *user* besarnya 1 meter.

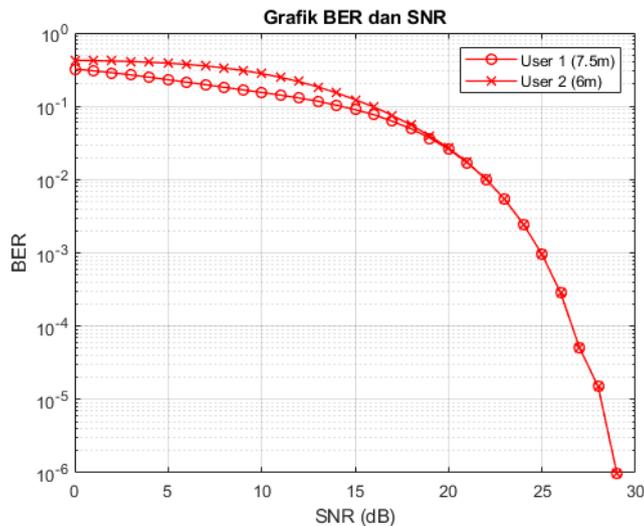
4.3.1.1. Analisis BER dengan Jarak (d) User 1 = 6.5 m dan User 2 = 5 m



Gambar 6. Grafik BER dan SNR saat d1=6,5m dan d2=5m

Pada Gambar 4. 3 menunjukkan hasil simulasi sistem NOMA-VLC dengan GRPA. Ketika menggunakan jarak d1=6,5m dan d2=5m, target BER $\leq 10^{-3}$ tercapai ketika nilai SNR 25 dB dengan nilai BER untuk user 1 sebesar $9,32 \times 10^{-4}$ dan $9,32 \times 10^{-4}$ untuk user 2.

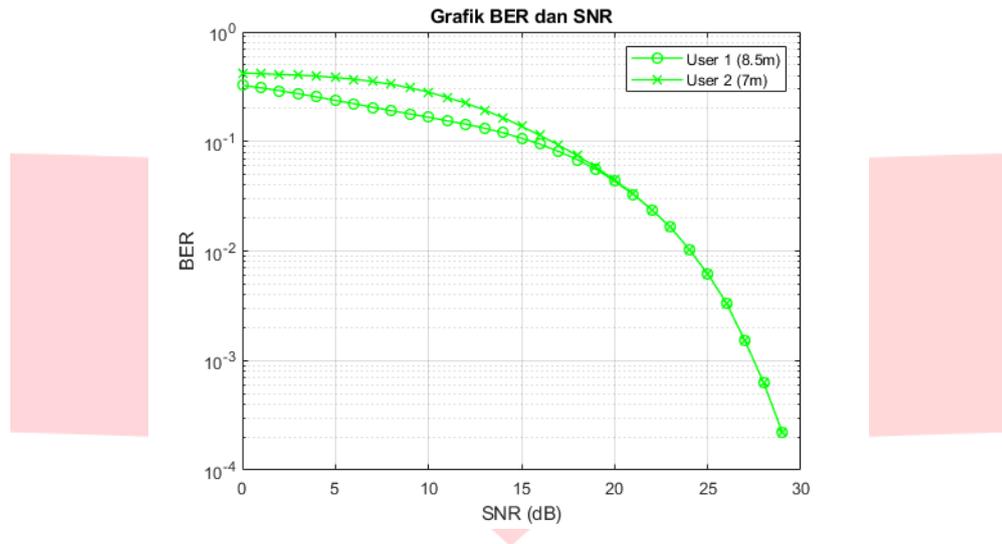
4.3.1.2. Analisis BER dengan Jarak User 1 = 7.5 m dan User 2 = 6 m



Gambar 7. Grafik BER dan SNR saat d1=7,5m dan d2=6m

Dalam Gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi NOMA-VLC dengan GRPA ketika menggunakan jarak d1=7,5m dan d2=6m. BER $\leq 10^{-3}$ tercapai saat nilai SNR 25 dB, dengan nilai BER untuk user 1 sebesar $9,51 \times 10^{-4}$ dan user 2 sebesar $9,51 \times 10^{-4}$.

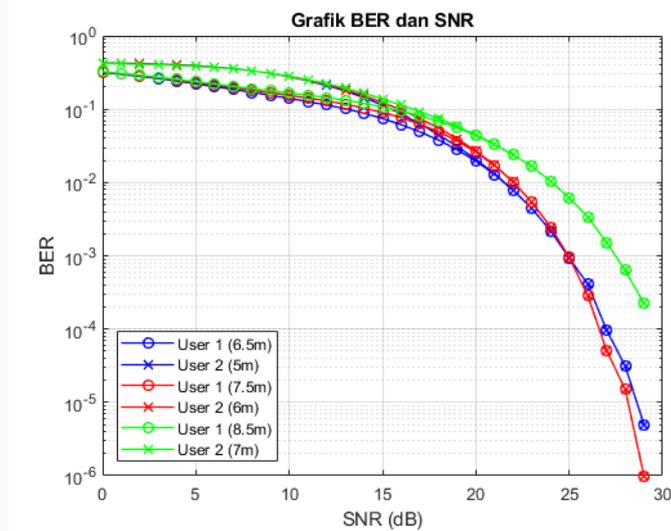
4.3.1.3. Analisis BER dengan Jarak User 1 = 8.5 m dan User 2 = 7 m



Gambar 8. Grafik BER dan SNR saat d1=8,5m dan d2=7m

Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi sistem NOMA-VLC dengan GRPA ketika menggunakan d1=8,5m dan d2=7m. Untuk mencapai target BER yang diinginkan ($BER \leq 10^{-3}$), tercapai saat nilai SNR 28 dB dengan nilai BER untuk user 1 sebesar $6,3 \times 10^{-4}$ dan $6,3 \times 10^{-4}$ untuk nilai BER user 2.

4.3.1.4. Analisis Jarak terhadap BER Keseluruhan



Gambar 9. Grafik BER dan SNR terhadap jarak

Dalam Gambar 4.6 menunjukkan hasil simulasi sistem NOMA-VLC dengan GRPA ketika menggunakan 3 kondisi jarak yang berbeda. Kondisi pertama ketika nilai d1=6,5m dan d2=5m. Kondisi kedua ketika nilai d1=7,5m dan d2=6m. Kondisi ketiga ketika nilai d1=8,5m dan d2=7m. Berdasarkan grafik diatas kondisi pertama mempunyai hasil terbaik saat nilai SNR 25 dB memperoleh nilai BER $9,32 \times 10^{-4}$ untuk user 1 dan $9,32 \times 10^{-4}$ untuk user 2. Kemudian disusul kondisi kedua saat nilai SNR 25 dB memperoleh nilai BER sebesar $9,51 \times 10^{-4}$ untuk user 1 dan $9,51 \times 10^{-4}$ untuk user 2. Dan kondisi ketiga, ketika nilai SNR 28 dB dengan BER sebesar $6,3 \times 10^{-4}$ untuk user 1 dan $6,3 \times 10^{-4}$ untuk user 2.

Hal ini dikarenakan, pada simulasi ini semakin jauh jarak maka perbandingan nilai alokasi daya akan semakin kecil antara *user 1* dan *user 2*. Dengan semakin kecil nilai perbandingan alokasi daya maka pada saat proses SIC akan lebih sulit untuk memisahkan bit informasi milik *user 1* dan *user 2* sehingga BER akan semakin besar. Kemudian, pada saat jarak kurang dari kondisi pertama maka perbandingan alokasi daya akan semakin besar. Dengan nilai perbandingan alokasi daya yang semakin besar, proses pemisahan bit informasi pada SIC juga akan lebih sulit.

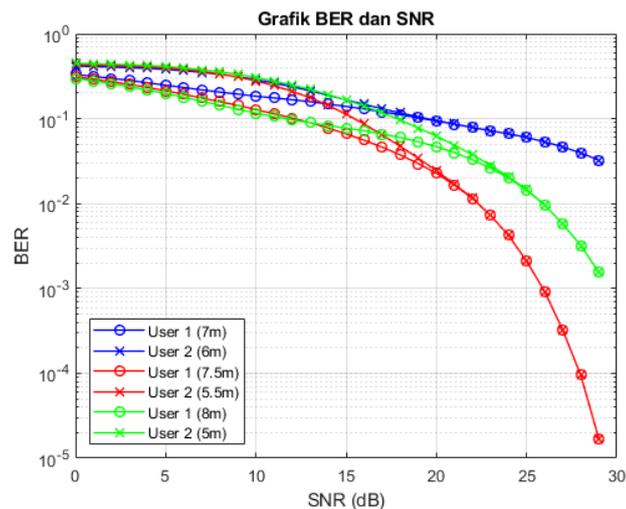
4.3.2. Analisis Performansi GRPA terhadap Variasi Jarak antar User Saling Menjauh

Pada skenario ini, digunakan variasi jarak dimana posisi antar *user* akan saling menjauh tiap 0,5 m. Jarak untuk tiap *user* ditentukan sebagai berikut:

Tabel 1. 1. Posisi Jarak *User 1* dan *User 2*

Kondisi	Jarak User 1	Jarak User 2
1	7 m	6 m
2	7,5 m	5,5 m
3	8 m	5 m

Kemudian akan dilakukan analisis untuk mengetahui nilai performansi GRPA terbaik.

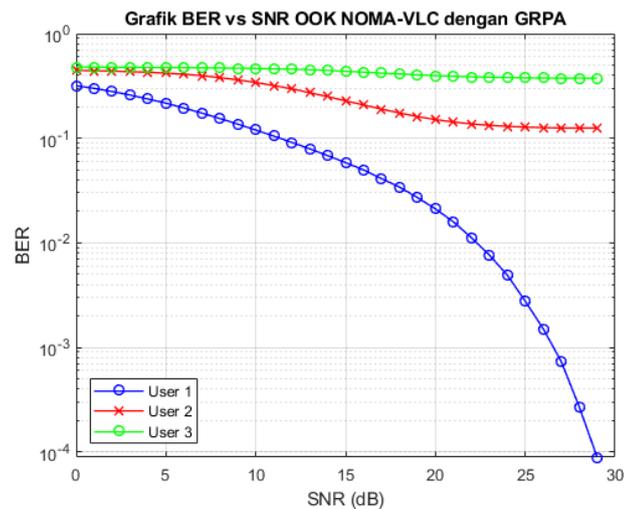


Gambar 10. Grafik BER dan SNR terhadap jarak

Pada skenario ini, performansi GRPA terbaik ketika pada kondisi kedua, pada nilai SNR 26 dB memperoleh BER $9,21 \times 10^{-4}$ untuk *user 1* dan $9,21 \times 10^{-4}$ untuk *user 2*. Sedangkan untuk kondisi pertama dan ketiga target BER tidak tercapai seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7. Hal ini dikarenakan pada kondisi pertama perbandingan alokasi daya yang didapat terlalu kecil. Pada kondisi ketiga perbandingan alokasi daya yang didapat terlalu besar. Dengan perbandingan alokasi daya yang terlalu kecil dan terlalu besar akan mempengaruhi kinerja SIC, sehingga nilai BER akan semakin besar. Pada kondisi kedua memiliki perbandingan alokasi daya yang paling ideal, sehingga nilai BER yang didapatkan lebih kecil.

4.4. Analisis Performansi GRPA menggunakan 3 User

Pada simulasi kali ini, penulis mencoba untuk menganalisis performansi NOMA-VLC dengan GRPA menggunakan 3 user dengan jarak *user* yang telah ditentukan, *user 1* = 9 m, *user 2* = 6 m dan *user 3* = 4 m.



Gambar 11. Grafik BER dan SNR NOMA-VLC dengan 3 user

Pada percobaan ini, target BER terpenuhi pada *User 1* pada SNR 27 dB dengan BER $7,33 \times 10^{-4}$. Sedangkan untuk nilai BER *user 2* dan *user 3* tidak mencapai target. Pada NOMA-VLC proses *decoding* dilakukan secara berurutan. Sehingga, kesalahan bit yang terjadi pada *user* pertama, akan berdampak pada *user* yang selanjutnya. Seperti yang terjadi pada **Gambar 11**, pada *user 1* mendapatkan nilai BER paling kecil. Hal ini dikarenakan sinyal yang diterima pada *user 1* melalui proses *decoding* paling awal sehingga tidak mendapat pengaruh dari kesalahan bit dari pengguna lain. Kemudian *user 2* mendapatkan BER lebih besar dari *user 1*. Pada *user 2* sinyal yang diterima akan dikurangi atau dipisahkan dari hasil *decoding* *user 1*, sehingga nilai BER *user 1* akan berpengaruh pada nilai BER *user 2*. Pada *user 3* mendapatkan nilai BER paling buruk, dikarenakan proses *decoding* pada *user 1* dan *user 2* akan berpengaruh pada *user 3*. Sinyal yang diterima pada *user 3* akan dikurangi atau dipisahkan dari hasil *decoding* *user 1* dan *user 2*, sehingga kesalahan bit pada *user 1* dan *user 2* akan mempengaruhi besar kecilnya nilai BER pada *user 3*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan besar daya kirim LED mempengaruhi besarnya *channel gain* pada sistem NOMA-VLC. Hal ini dikarenakan nilai daya kirim merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi baik buruknya saluran. Semakin besar daya yang dikirim, maka saluran akan semakin baik. Pada sistem NOMA-VLC dengan parameter yang sama, ketika menggunakan GRPA performansi sistem lebih baik daripada menggunakan SPA. Hal ini dikarenakan pada alokasi daya GRPA pembagian daya dilakukan secara adil dengan memberikan daya yang lebih besar kepada saluran yang buruk. Saat menggunakan GRPA target BER ($\leq 10^{-3}$) tercapai ketika nilai SNR 25 dB dengan nilai BER sebesar $9,67 \times 10^{-4}$ untuk *user 1* dan $9,67 \times 10^{-4}$ untuk *user 2*. Pada simulasi sistem NOMA-VLC menggunakan GRPA ketika jarak $d_1=6,5\text{m}$ dan $d_2=5\text{m}$ menunjukkan performansi paling baik dibandingkan 2 kondisi jarak lainnya, terbukti target BER ($\leq 10^{-3}$) tercapai pada nilai SNR 25 dB dengan nilai BER sebesar $9,32 \times 10^{-4}$ untuk *user 1* dan $9,32 \times 10^{-4}$ untuk *user 2*. Hal ini dikarenakan pada simulasi ini, jarak akan berpengaruh pada pembagian daya kepada setiap pengguna yang menyebabkan perubahan nilai BER. Pada simulasi ini jarak berpengaruh terhadap nilai perbandingan alokasi daya. Sedangkan perbandingan alokasi daya antara *user 1* dan *user 2* akan mempengaruhi proses pemisahan antara bit informasi *user 1* dan *user 2* pada proses SIC, sehingga mempengaruhi nilai dari BER. Pada percobaan menggunakan 3 *user*, *user 1* mendapatkan perolehan BER paling baik daripada *user 2* dan *user 3*. Hal ini dikarenakan pada NOMA-VLC proses *decoding* dilakukan secara berurutan. Sehingga, kesalahan bit yang terjadi pada *user* pertama, akan berdampak pada nilai BER *user* yang selanjutnya.

REFERENSI

- [1] A. R. DARLIS, L. LIDYAWATI, and D. NATALIANA, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 1, no. 1, p. 13, 2017, doi: 10.26760/elkomika.v1i1.13.
- [2] B. Lin, X. Tang, and Z. Ghassemlooy, "Optical Power Domain NOMA for Visible Light Communications," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 8, no. 4, pp. 1260–1263, 2019, doi: 10.1109/LWC.2019.2913830.
- [3] Y. Chen, Y. Su, D. Xue, and C. Dong, "Research on performance of visible light communication based on LDPC code," *Proc. - 5th Int. Conf. Instrum. Meas. Comput. Commun. Control. IMCCC 2015*, pp. 1461–1465, 2016, doi: 10.1109/IMCCC.2015.310.
- [4] T. Adiono, S. Fuada, and A. Pradana, "Desain dan Realisasi Sistem Komunikasi Cahaya Tampak untuk Streaming Teks berbasis PWM," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 6, no. 2, p. 270, 2017, doi: 10.36055/setrum.v6i2.2620.
- [5] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB®*. 2019.
- [6] H. Marshoud, V. M. Kapinas, G. K. Karagiannidis, and S. Muhaidat, "Non-orthogonal multiple access for visible light communications," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 28, no. 1, pp. 51–54, 2015, doi: 10.1109/LPT.2015.2479600.
- [7] S. Tao, H. Yu, Q. Li, and Y. Tang, "Performance analysis of gain ratio power allocation strategies for non-orthogonal multiple access in indoor visible light communication networks," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2018, no. 1, 2018, doi: 10.1186/s13638-018-1152-z.
- [8] R. C. Kizilirmak and C. R. Rowell, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Indoor Visible Light Communications," *4th Int. Work. Opt. Wirel. Commun.*, 2015, doi: 10.1017/CBO9780511979187.014.
- [9] S. Tao, H. Yu, Q. Li, and Y. Tang, "Strategy-Based Gain Ratio Power Allocation in Non-Orthogonal Multiple Access for Indoor Visible Light Communication Networks," *IEEE Access*, vol. 7, no. c, pp. 15250–15261, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2894733.
- [10] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, "Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2621116.
- [11] X. Su, H. F. Yu, W. Kim, C. Choi, and D. Choi, "Interference cancellation for non-orthogonal multiple access used in future wireless mobile networks," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2016, no. 1, 2016, doi: 10.1186/s13638-016-0732-z.