

**ANALISIS PERFORMANSI NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS PADA  
KOMUNIKASI CAHAYA TAMPAK DENGAN PERUBAHAN SUDUT ORIENTASI  
PENERIMA**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF NON ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS IN VISIBLE LIGHT  
COMMUNICATION WITH CHANGES OF RECEIVER ANGLE ORIENTATION**

**Robby Awaludin<sup>1</sup>, Nachwan Mufti Adriansyah<sup>2</sup>, Kris Sujatmoko<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>robbyawaludin@student.telkomuniversity.ac.id

<sup>2</sup>nachwanma@telkomuniversity.ac.id <sup>3</sup>krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**

Dibalik berbagai kelebihan yang dimiliki oleh Visible Light Communication (VLC) terdapat beberapa kelemahan yang harus diatasi, salah satu kelemahan VLC adalah *bandwidth* modulasi yang terbatas. Hal ini dapat diatasi *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA). NOMA menggunakan *Superposition Coding* pada sisi pengirim, dan *Successive Interference Cancellation* pada sisi penerima, sehingga dapat memaksimalkan *bandwidth* yang tersedia dan meningkatkan datarate yang dicapai. Riset ini meneliti pengaruh sudut orientasi penerima acak dengan metode *user grouping* pada NOMA-VLC, dengan daya kirim sebesar 7 watt dan dimensi ruangan 5x5x3 meter<sup>3</sup>. Hasil simulasi menunjukkan NOMA mampu meningkatkan performansi VLC dengan meningkatkan nilai SNR dan *datarate* pada tiap user. SNR mengalami peningkatan rata-rata sebesar 5.6442 dB, dan *datarate* mengalami peningkatan rata-rata sebesar 18.0045 Mbps. Perubahan nilai orientasi sudut dari 0° sampai 35° mempengaruhi nilai SNR dan *Datarate* pada NOMA-VLC, Semakin besar nilai sudut orientasi penerima maka semakin kecil nilai SNR dan *Datarate* yang dicapai pada sisi penerima.

**Kata kunci:** VLC, NOMA, LOS, NLOS, User Grouping, Random Orientation.

**Abstract**

Behind many advantages of Visible Light Communication there are still some weaknesses that has to be handled. One of VLC's weaknesses is the limited bandwidth modulation which can be overcome by Non-Orthogonal Multiple Access. NOME uses Superposition Coding (SC) in transmitter and Successive Interference Cancellation (SIC) in receiver. So that it can maximize the utilization of available bandwidth and maximizing the datarate. This research studies the NOMA performance in VLC with changes of receiver random orientation. The amount of Power Transmit is 7 watt and the room dimension is 5x5x3 meter<sup>3</sup>. Simulation result shows that NOMA can improve performance of VLC by increasing SNR and Datarate of each user. The random orientation also affect the achieved SNR and datarate value, the higher receiver orientation angle, the smaller the value of achievable SNR and datarate will be.

**Keywords:** VLC, NOMA, LOS, NLOS, User Grouping, Random Orientation.

**1. Pendahuluan**

Teknologi telekomunikasi berkembang semakin pesat seiring waktu berjalan yang menyebabkan berbagai teknologi baru muncul. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah VLC yang memanfaatkan spektrum cahaya tampak sebagai sinyal pembawa dengan rentang 375 nm – 780 nm untuk transmisi data [1]. VLC mampu mengirimkan data berupa teks, gambar, dan video dari transmitter ke receiver menggunakan cahaya yang dihasilkan LED [2].

VLC masih mempunyai kelemahan yang harus diatasi, salah satunya adalah bandwidth modulasi yang sempit, untuk mengatasi masalah tersebut pada penelitian sebelumnya [3] diusulkan skema *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA). NOMA menggunakan SC di pengirim dan SIC di penerima sehingga dapat memaksimalkan penggunaan bandwidth yang tersedia dan meningkatkan datarate yang dicapai. Tugas akhir ini meneliti performansi NOMA pada sistem VLC dengan perubahan sudut orientasi penerima.

**2. Dasar Teori**

**2.1. Visible Light Communication**

Visible Light Communication atau biasa disebut dengan VLC adalah sebuah teknologi telekomunikasi yang memanfaatkan visible light atau cahaya tampak sebagai signal carrier dalam proses pengiriman data. Cahaya tampak adalah suatu bentuk radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang 375-780 nm yang dapat diinterpretasikan oleh otak manusia sehingga bisa terlihat

secara kasat mata [4]

## 2.2. LED

Light Emitting Diode atau biasa disebut dengan LED adalah sebuah perangkat elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor dan mampu memancarkan cahaya monokromatik ketika dialiri tegangan maju atau forward bias dan mempunyai diode didalamnya [6].

## 2.3. Photodetector

Photodetector merupakan suatu komponen elektronika yang berfungsi untuk mendeteksi atau menerima sinyal cahaya untuk kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik.

## 2.4. Metode User Grouping

Tugas akhir ini menggunakan metode *user grouping* yang berarti mengelompokkan user kedalam dua kanal transmisi yang berbeda Kanal yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kanal *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight*(NLOS), pada kanal NLOS yang *obstacle* digunakan berupa *reflector* dan *shadow*.

### 2.4.1 Line Of Sight (LOS)

Kanal LOS memiliki tingkat kesalahan bit yang lebih rendah dan protokol yang tidak terlalu rumit, namun terbatas dalam segi mobilitas. parameter lambertian ( $m$ ) yang mana memiliki hubungan dengan semi-angle dengan  $\theta$  yang memiliki nilai sebesar 50. Dirumuskan dengan persamaan:

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos \Phi_{1/2})}, \quad (1)$$

Pada kanal LOS dapat dirumuskan oleh :

$$H = \frac{(m + 1) \cdot Ae \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

dengan  $Ae$  adalah area *photodetector* pada penerima,  $d$  adalah jarak penerima terhadap pengirim.  $\Phi$  adalah sudut propagasi dari pengirim dengan penerima. Untuk memperoleh nilai daya terima dapat menggunakan persamaan :

$$P_{rx} = P_{tot} \cdot H \quad (3)$$

Dengan  $P_{tot}$  merupakan daya kirim yang digunakan.

### 2.4.2 Non-Line Of Sight (NLOS)

Kanal yang digunakan pada tugas akhir ini adalah kanal NLOS. Pada kanal NLOS nilai pathloss yang didapat lebih sulit untuk dikalkulasikan karena bergantung pada banyak faktor, diantaranya; dimensi ruangan, pantulan dari langit-langit ruangan, objek yang berada di dalam ruangan serta posisi dan orientasi *transmitter* dan *receiver* [11]. Pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan *obstacle* berupa reflektor dan *shadow* yang dihasilkan oleh *blockage* di *photodetector* . Kanal shadow dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$H = \frac{(m+1) \cdot Ae \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \times O, \quad (4)$$

dimana  $O$  adalah probabilitas blocking, dengan asumsi pengurangan daya bernilai 0.65 yang dimanana dari daya yang dikirim setelah terkena *blockage* daya akan diteruskan sebesar 65% ke *shadowing area* kemudian dilanjutkan ke *photodetector*. Untuk kanal reflector dapat dirumuskan dengan:

$$H = \frac{(m+1) \cdot Ae \cdot \cos^{m+1}(\Phi) \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{2 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot d_2^2} \quad (5)$$

dimana  $A$  sebagai area *photodetector* dan  $d_1$  adalah jarak dari *transmitter* ke reflektor,  $d_2$  jarak dari reflektor ke *receiver*. Untuk  $r$  adalah koefisien refleksi dan  $dA$  merupakan luas per *cell*.

## 2.5. Non-Orthogonal Multiple Access

NOMA merupakan sebuah Teknik *multiple access* yang memanfaatkan power domain dalam proses kerjanya dan mampu melayani user secara *non orthogonal* yaitu melayani *user* dalam frekuensi dan waktu yang sama. NOMA menggunakan SC pada sisi pengirim dan SIC di sisi penerima sehingga seluruh user dapat memaksimalkan penggunaan bandwidth yang tersedia dan meningkatkan datarate [3]. Untuk Superposition Coding dapat menggunakan persamaan:

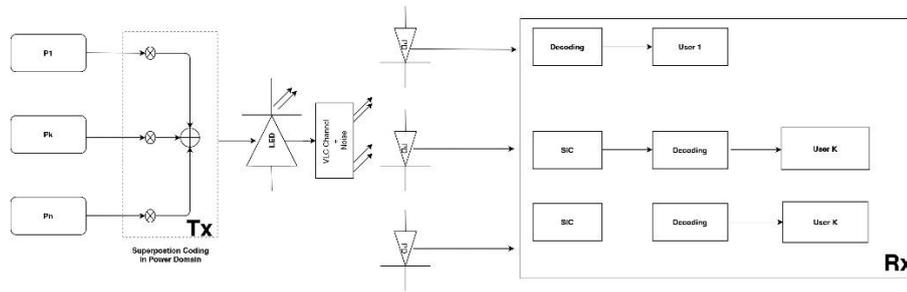
$$y = P_{tx} \times (\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2} + \sqrt{a_3} + \sqrt{a_4}) + N_o, \quad (6)$$

Sedangkan untuk perhitungan SIC dapat menggunakan persamaan

$$\Pr(sic) = (y_n) - \sqrt{h_n} \times (\sqrt{a_k} + \dots + \sqrt{a_k - 1}) \quad (7)$$

### 3. Perancangan dan Simulasi Sistem

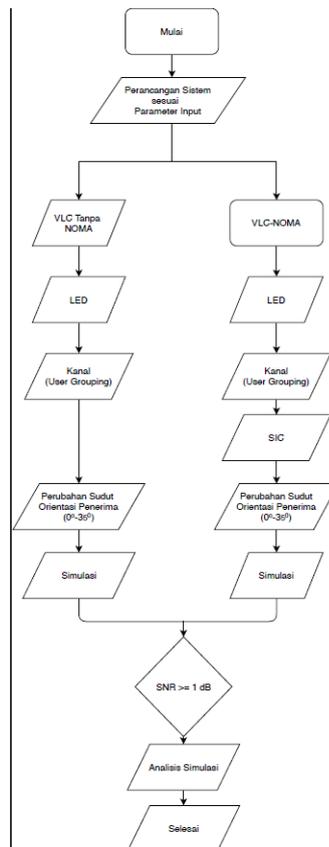
#### 3.1. Blok Diagram Sistem



Gambar 1. Blok diagram sistem.

Pada Gambar 1. menunjukkan blok diagram NOMA-VLC. Terdapat 1 buah LED 7 watt yang sebagai sinyal pembawa, dan akan terjadi proses alokasi daya menggunakan *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA), dimana kanal dengan channel gain paling tinggi akan mendapatkan alokasi daya paling rendah begitupula sebaliknya. Kemudian informasi akan dikirimkan dan digabungkan menggunakan SC. Pada bagian kanal terdapat dua jenis kanal yang digunakan, yaitu LOS dan NLOS. Pada NLOS digunakan reflector dan shadow sebagai obstacle. Informasi yang dikirimkan dalam cahaya akan diterima oleh photodetector untuk dikonversi menjadi sinyal elektrik, dengan sudut orientasi penerima diatur dengan rentang  $0^\circ$  sampai  $35^\circ$ . Sinyal yang diterima akan mengalami proses *decoding* yang juga disebut SIC untuk menyeleksi sinyal dari yang terkuat sampai terlemah. Sinyal terkuat akan *decode* terlebih dahulu dengan asumsi sinyal lain sebagai *noise*. Selanjutnya akan dilakukan analisis terhadap nilai SNR dan *datarate* yang dicapai.

#### 3.2. Diagram Alir Sistem



Gambar 2. Diagram alir sistem.

Gambar 2 menunjukkan diagram alir yang digunakan pada tugas akhir ini. Tugas Akhir ini melakukan pengujian terhadap pengaruh orientasi acak sudut penerima menggunakan metode *user grouping* untuk NOMA-VLC.

### 3.3. Desain Pengujian VLC

Pada simulasi sistem Tugas Akhir ini, memfokuskan pada dimensi ruangan, spesifikasi kanal, lokasi penerima, dan orientasi sudut penerima.

#### 3.3.1 Spesifikasi LED

LED yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan 1 buah LED dengan daya total sebesar 7 Watt. Lampu LED tersebut diletakkan ditengah atas ruangan dengan koordinat (0,0,3).

#### 3.3.2 Kanal Transmisi

Kanal yang digunakan ialah menggunakan kanal LOS dan NLOS, pada kanal LOS cahaya akan langsung diterima penerima sementara pada kanal NLOS cahaya akan melewati reflector dan *shadow* yang dihasilkan *blockage*.

#### 3.3.3 Spesifikasi Photodetector

*Photodetector* yang digunakan berjenis N-Type silicon PIN *Photodetector* jenis C30810EH dengan rental spectral 400 nm sampai dengan 1100 nm. Tipe *photodetector* ini memiliki luas permukaan sebesar  $1 \text{ cm}^2$ , memiliki *Field of View* (FOV) sebesar  $70^\circ$  dan memiliki responsivitas sebesar 0.55 A/W.

#### 3.3.4 Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

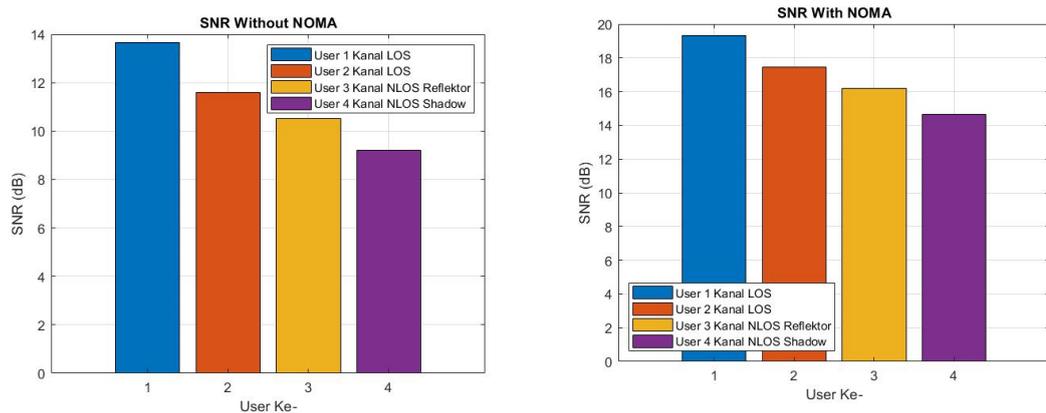
Jenis NOMA yang digunakan adalah NOMA pada *power domain* dengan SC pada sisi pengirim dan SIC pada sisi penerima. Teknik alokasi daya yang digunakan adalah GRPA yang akan mengalokasikan daya paling besar kepada kanal dengan channel gain terlemah dan mengalokasikan daya paling kecil pada kanal dengan channel gain paling kuat.

## 4. Hasil dan Analisis

Pada bagian ini membahas tentang hasil simulasi dan analisis. Proses diawali dengan melakukan simulasi dengan parameter yang sudah ditentukan. Simulasi menggunakan ruangan dengan dimensi  $5 \times 5 \times 3$  meter<sup>3</sup>. Skenario pertama membandingkan nilai SNR VLC tanpa NOMA dengan VLC-NOMA pada masing-masing user dengan kanal yang berbeda, Skenario kedua membandingkan nilai *datarate* VLC tanpa NOMA dengan VLC-NOMA pada masing-masing user dengan kanal yang berbeda. Skenario ketiga membandingkan nilai SNR dan *Datarate* pada VLC-NOMA yang telah menggunakan *random orientation*.

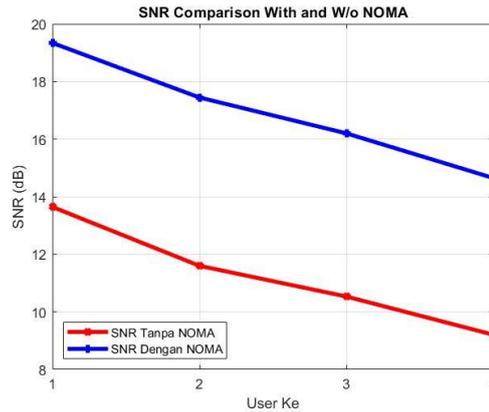
### 4.1. Analisis Perbandingan SNR VLC Tanpa NOMA dengan VLC-NOMA

Analisis ini bertujuan untuk membandingkan hasil SNR yang diterima pada VLC tanpa NOMA dengan VLC NOMA.



**Gambar 3.** Perbandingan SNR VLC Tanpa NOMA dan VLC-NOMA

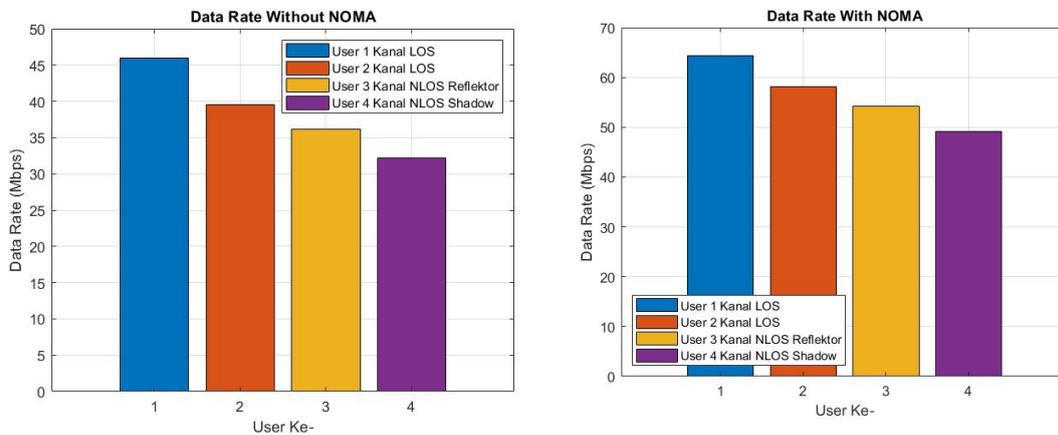
Gambar 3. menunjukkan hasil SNR yang dicapai pada VLC tanpa noma dengan VLC-NOMA. SNR maksimal yang dicapai pada VLC tanpa NOMA sebesar 13.6437 dB, sedangkan pada VLC-NOMA SNR maksimal yang dicapai sebesar 19.3386 dB. NOMA mampu meningkatkan nilai SNR dengan peningkatan rata-rata SNR pada tiap user sebesar 5.6642 dB. Untuk peningkatan SNR dengan NOMA yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan SNR VLC Tanpa NOMA dan VLC-NOMA

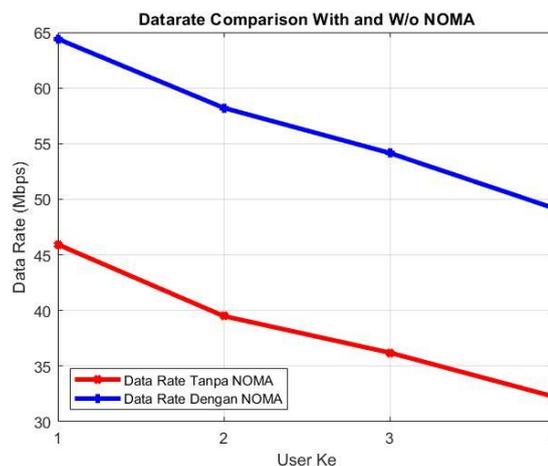
4.2. Analisis Perbandingan Datarate VLC Tanpa NOMA dengan VLC-NOMA

Analisis ini bertujuan untuk membandingkan hasil *datarate* yang diterima pada VLC tanpa NOMA dengan VLC NOMA.



Gambar 5. Perbandingan Datarate VLC Tanpa NOMA dan VLC-NOMA

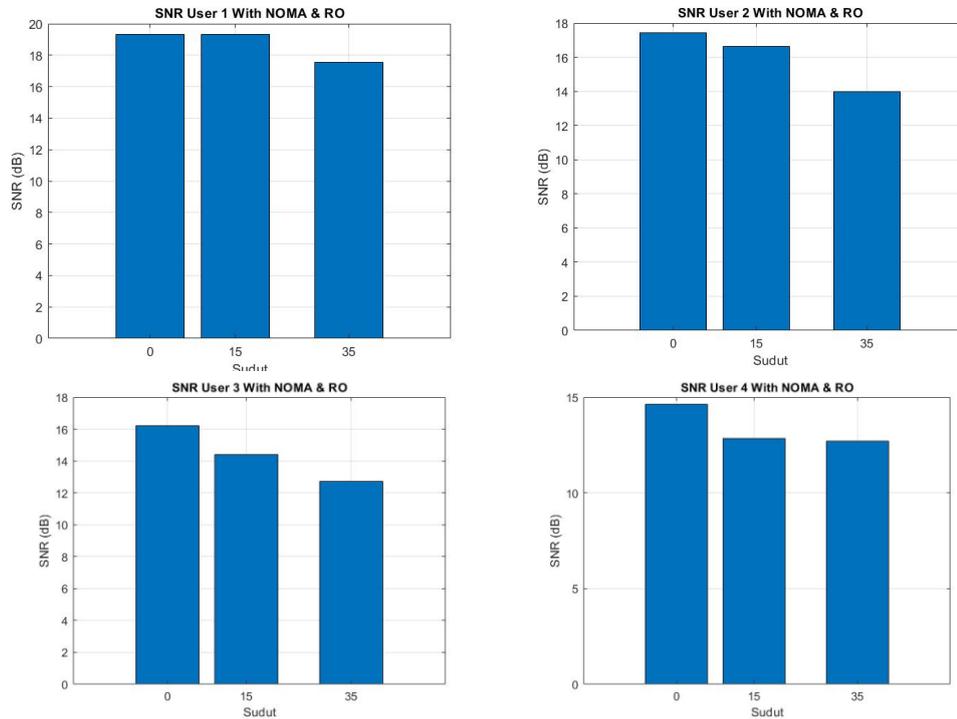
Gambar 5. menunjukkan hasil *datarate* yang dicapai pada VLC tanpa noma dengan VLC-NOMA. *datarate* maksimal yang dicapai pada VLC tanpa NOMA sebesar 45.9338 Mbps, sedangkan pada VLC-NOMA, *datarate* maksimal yang dicapai sebesar 64.4085 Mbps. NOMA mampu meningkatkan performa VLC dengan meningkatkan *datarate*. Nilai peningkatan rata-rata *datarate* pada tiap user sebesar 18.0045 Mbps. Untuk menunjukkan peningkatan *datarate* menggunakan noma dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Datarate VLC Tanpa NOMA dan VLC-NOMA

**4.3 Analisis Hasil SNR pada NOMA-VLC dengan Perubahan Orientasi Sudut Penerima**

Pada skenario VLC-NOMA dengan random orientation dilakukan perubahan orientasi sudut penerima secara acak dan bertahap pada rentang sudut 0°, 15°, 35°

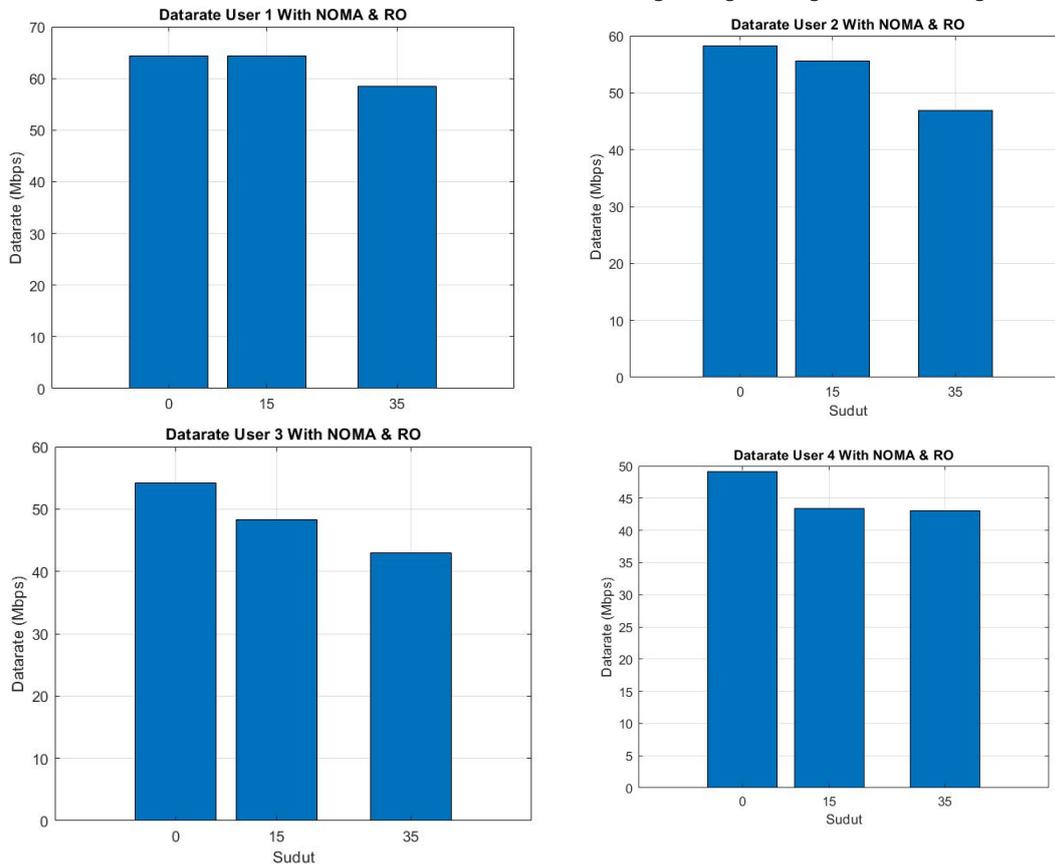


**Gambar 7.** Hasil SNR yang dicapai pada masing masing User pada VLC-NOMA dengan Penerima Sudut Orientasi Penerima

Gambar 7. Menunjukkan hasil SNR yang dicapai pada masing-masing user di scenario VLC-NOMA dengan *random orientation* yang menunjukkan SNR tertinggi didapatkan pada nilai orientasi sudut penerima 0°, nilai SNR semakin menurun Ketika nilai orientasi sudut penerima meningkat. SNR paling kecil didapatkan pada orientasi sudut 35°. Hal ini dikarenakan Ketika nilai sudut orientasi penerima bertambah maka FOV penerima akan berkurang sehingga daya yang diterima pun berkurang dan mempengaruhi nilai SNR yang dicapai.

**4.4 Analisis Hasil Datarate pada NOMA-VLC dengan Perubahan Orientasi Sudut Penerima**

Pada skenario VLC-NOMA dengan random orientation dilakukan perubahan orientasi sudut penerima secara acak dan bertahap pada rentang sudut 0°, 15°, dan 35°.



**Gambar 8.** Hasil Datarate yang dicapai pada masing masing User pada VLC-NOMA dengan Perubahan Orientasi Sudut Penerima

Gambar 8. Menunjukkan hasil Datarate yang dicapai pada masing-masing user di scenario VLC-NOMA dengan perubahan sudut orientasi penerima yang menunjukkan Datarate tertinggi didapatkan pada nilai orientasi sudut penerima  $0^\circ$ , nilai Datarate semakin menurun Ketika nilai orientasi sudut penerima meningkat. Datarate paling kecil didapatkan pada orientasi sudut  $35^\circ$ . Hal ini dikarenakan Ketika nilai sudut orientasi penerima bertambah maka FOV penerima akan berkurang sehingga daya yang diterima pun berkurang dan mempengaruhi nilai *datarate* yang dicapai.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisis simulasi yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis dari simulasi dengan perubahan sudut orientasi penerima pada sistem NOMA-VLC menunjukkan semakin tinggi nilai orientasi sudut penerima maka nilai SNR dan datarate akan semakin berkurang hal ini disebabkan karena ketika nilai orientasi sudut penerima bertambah, maka daya terima yang diterima oleh photodetector akan berkurang sehingga mempengaruhi nilai SNR dan *datarate* yang dicapai.
2. Dengan menggunakan metode user grouping di simulasi VLC tanpa NOMA pada kanal LOS dengan jarak antara transmitter dan user sejauh 2.25 meter memiliki nilai SNR tertinggi sebesar 13.6437 dB, dan nilai SNR paling rendah terletak di kanal NLOS shadow dengan jarak transmitter dan user sejauh 2.3 meter dengan Nilai SNR sebesar 9.2059 dB. Pada simulasi VLC-NOMA Nilai SNR tertinggi didapatkan pada kanal LOS dengan jarak antara transmitter dan user sejauh 2.25 meter memiliki nilai SNR tertinggi sebesar 19.3386 dB, dan nilai SNR paling rendah terletak di kanal NLOS dengan jarak transmitter dan user sejauh 2.3 meter dengan nilai SNR yang didapat sebesar 14.6469 dB.
3. Dengan menggunakan metode user grouping di simulasi VLC tanpa NOMA. pada kanal LOS dengan jarak antara transmitter dan user sejauh 2.25 meter memiliki nilai datarate tertinggi sebesar 45.9338 Mbps, dan nilai datarate paling rendah terletak di kanal NLOS shadow dengan jarak transmitter dan user sejauh 2.3 meter dengan Nilai *datarate* sebesar 32.2172 Mbps. Pada simulasi VLC-NOMA Nilai datarate tertinggi didapatkan pada kanal LOS dengan jarak antara transmitter dan user sejauh 2.25 meter memiliki nilai datarate tertinggi sebesar 64.4085 Mbps, dan nilai datarate paling rendah terletak di kanal NLOS dengan jarak transmitter dan user sejauh 2.3 meter dengan nilai datarate yang didapat sebesar 49.1426 Mbps

4. Dengan menggunakan metode user grouping hasil analisis menunjukkan bahwa kanal LOS memiliki performansi lebih baik dari kanal NLOS reflektor maupun shadow. Hal ini disebabkan karena pada kanal LOS tidak ada obstacle yang mampu menghambat cahaya saat proses transmisi berlangsung.
5. Penggunaan NOMA terbukti mampu meningkatkan kinerja sistem VLC, hal ini ditunjukkan oleh hasil SNR dan datarate yang didapat pada VLC dengan NOMA lebih tinggi daripada VLC tanpa NOMA. NOMA mampu meningkatkan SNR pada masing-masing user rata rata peningkatan sebesar 5.6642 dB, dan nilai datarate pada VLC-NOMA pada masing-masing user mengalami peningkatan dengan rata-rata peningkatan 18.0045 Mbps

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Sharma, S. Bajaj, and A. Sonia, "Visible light communication," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 4, no. 7, 2015.
- [2]. F. B. Aska, D. Darlis, and H. Hafidudin, "Implementasi visible light communication untuk pengiriman data digital," *eProceedings of Applied Science*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [3]. H. Marshoud, V. M. Kapinas, G. K. Karagiannidis, and S. Muhaidat, "Nonorthogonal multiple access for visible light communications," *IEEE photonics technology letters*, vol. 28, no. 1, pp. 51–54, 2015.
- [4]. D. Yulian, D. Darlis, and S. Aulia, "Perancangan dan implementasi perangkat visible light communication sebagai transceiver video," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [5]. R. J. Drost and B. M. Sadler, "Constellation design for channel precompensation in multi-wavelength visible light communications," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 62, no. 6, pp. 1995–2005, 2014.
- [6]. G. Keiser, "Optical fiber communications," *Wiley Encyclopedia of Telecommunications*, 2003.
- [7]. R. Darlis, L. Lidyawati, and D. Nataliana, "Implementasi visible light communication (vlc) pada sistem komunikasi," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 1, no. 1, p. 13, 2013.
- [8]. 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 Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2018, no. 1, p. 154, 2018.
- [9]. Z. Ding, Z. Yang, P. Fan, and H. V. Poor, "On the performance of nonorthogonal multiple access in 5g systems with randomly deployed users," *IEEE signal processing letters*, vol. 21, no. 12, pp. 1501–1505, 2014.
- [10]. [Z. Ghassemlooy, S. Arnon, M. Uysal, Z. Xu, and J. Cheng, "Emerging optical wireless communications-advances and challenges," *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 33, no. 9, pp. 1738–1749, 2015.
- [11]. R. Hayes, Z. F. Ghassemlooy, and N. Seed, "Optical wireless communication using digital pulse interval modulation," in *Optical Wireless Communications*, vol. 3532. International Society for Optics and Photonics, 1999.
- [12]. S. Hranilovic, *Wireless optical communication systems*. Springer Science Business Media, 2006.