

PENGARUH VARIASI JUMLAH LED TRANSMISI DAN INTERFERENSI CAHAYA
MATAHARI PADA SISTEM NOMA-VLC DENGAN ALGORITMA SPA

*THE EFFECT OF LED TRANSMISSION NUMBER VARIATION AND SUN LIGHT
INTERFERENCE IN NOMA-VLC SYSTEM WITH SPA ALGORITHM*

Andika¹, Nachwan Mufti Adriansyah², Kris Sujatmoko³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹andikapg@student.telkomuniversity.ac.id ²nachwanma@telkomuniversity.ac.id

³krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem *Visible Light Communication* (VLC) nantinya akan bertindak sebagai alternatif dari komunikasi radio dalam proses pentransmisian data antar pengguna yang lebih cepat. Tetapi, kelemahan utama dari sistem VLC adalah *bandwidth* modulasi yang sempit dari sumber cahaya, jangkauan komunikasi yang terbatas, dan pengaruh dari cahaya atau penerangan lainnya, sehingga dapat menghambat untuk mencapai *data rates* yang bagus. Oleh karena itu, sistem *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) pada VLC diusulkan menjadi solusi untuk mengoptimalkan kinerja pada sistem VLC, yang mana menggunakan *Superposition Coding* di sisi pemancar dan *Successive Interface Cancellation* (SIC) pada penerima.

Tugas Akhir ini akan melakukan perancangan simulasi untuk mengetahui performansi sistem NOMA pada VLC dengan variasi LED transmisi dan alokasi daya dengan algoritma *Static Power Allocation* (SPA) pada ruangan berdimensi 9 x 9 x 3m yang tertembus sebagian oleh cahaya matahari yang dapat menyebabkan terjadinya interferensi.

Hasil simulasi membuktikan bahwa NOMA mampu meningkatkan performansi sistem VLC di setiap penerima. SINR mengalami peningkatan rata-rata sebesar 26,6351 dB untuk 1 LED dan 28,0405 dB untuk 2 LED, *data rate* mengalami peningkatan rata-rata sebesar 88,6761 Mbps untuk 1 LED dan 93,09015 Mbps untuk 2 LED. Variasi jumlah LED dan adanya interferensi cahaya matahari berpengaruh terhadap performansi NOMA-VLC, yang mana performansi NOMA-VLC dengan 2 LED menghasilkan nilai rata-rata SINR 1,4054 dB lebih besar dibanding dengan 1 LED. Nilai rata-rata *data rate* pada simulasi 2 LED memiliki nilai 4,41405 Mbps lebih besar dibanding dengan 1 LED. Interferensi cahaya matahari mengakibatkan penurunan performansi pada user yang terpengaruh. Untuk nilai BER, setiap user pada NOMA dengan VLC memiliki nilai 0.

Kata Kunci : NOMA, *Superposition Coding*, *Successive Interface Cancellation*, LED, VLC, SPA, OOK-NRZ, BER

Abstract

Visible Light Communication (VLC) system will act as an alternative to radio communication in the process of transmitting data between users faster. However, the main drawbacks of VLC systems are the narrow modulation bandwidth of the light source, limited communication range, and the effect of light or other lighting, which can prevent it from achieving good data rates. Therefore, the Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) system in VLC is proposed to be a solution to optimize performance on the VLC system, which uses Superposition Coding on the transmitter side and Successive Interface Cancellation (SIC) on the receiver.

This Final Project will conduct a simulation design to determine the performance of the NOMA system on VLC with variations in transmission LEDs and power allocation with the Static Power Allocation (SPA) algorithm in a 9 x 9 x 3m dimension room that is partially penetrated by sunlight which can cause interference.

Simulation results prove that NOMA is able to improve the performance of the VLC system in each receiver. SINR increased by an average of 26.6351 dB for 1 LED and 28.0405 dB for 2 LEDs, the data rate increased by an average of 88.66761 Mbps for 1 LED and 93.09015 Mbps for 2 LEDs. Variations in the number of LEDs and the presence of solar interference affect the performance of NOMA-VLC, where the performance of NOMA-VLC with 2 LEDs produces an average SINR value of 1.4054 dB greater than 1 LED. The average value of the data rate in the simulation of 2 LEDs also has a value of 4.41405 Mbps greater than that of 1 LED. Sunlight interference results in decreased performance of affected users. For BER value, every user in NOMA with VLC has a value of 0.

Keywords : . NOMA, Superposition Coding, Successive Interface Cancelation, LED, VLC, SPA, OOK-NRZ, BER

1. Pendahuluan

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi *Optical Wireless Communication (OWC)* yang memanfaatkan pancaran cahaya tampak dari lampu *Light Emitting Diode (LED)* pada sistem komunikasi. Dengan adanya teknologi yang memanfaatkan cahaya tampak (*visible light*) sebagai media komunikasi, seseorang tidak harus membeli sebuah access point untuk menerima data, akan tetapi hanya menggunakan cahaya tampak (*visible light*) dari lampu saja. Dengan demikian tingkat efisiensi dan mobilitas akan lebih tinggi [1]. VLC memiliki panjang gelombang dari 380 nm hingga 750 nm. Secara umum, sistem apa pun dimana informasi ditransmisikan menggunakan cahaya yang terlihat oleh mata manusia dapat disebut sebagai VLC. Namun, ide dari jenis komunikasi ini adalah untuk mentransfer data dengan cara yang tidak jelas ke penglihatan manusia, sehingga apa yang dilihat hanyalah penerangan lingkungan biasa, tanpa perubahan apapun.

Semakin maraknya penggunaan LED di kalangan masyarakat menjadi pendukung berkembangnya VLC. Cahaya tampak yang digunakan pada VLC bersumber dari LED. Digunakannya LED karena memiliki kecepatan *switching* yang tinggi, mengkonsumsi daya rendah, dan murah [2] sehingga dapat diterapkan sebagai sumber cahaya pada sistem komunikasi cahaya tampak ini. Sistem VLC nantinya akan bertindak mengganti kedudukan komunikasi radio dalam proses penransmisian data antar pengguna. Tetapi, kelemahan utama dari sistem VLC adalah *bandwidth* modulasi yang sempit dari sumber cahaya, yang mana membentuk penghalang untuk mencapai *data rates* yang bersaing [3], jangkauan komunikasi yang terbatas, dan pengaruh dari cahaya atau penerangan lainnya, sehingga dapat menghambat untuk mencapai *data rates* yang bagus.

Power Domain Multiple Access, juga dikenal sebagai *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)*, baru-baru ini telah diusulkan sebagai kandidat yang menjanjikan untuk jaringan nirkabel 5G. Pada NOMA, pengguna dimultiplexing dalam *power domain* menggunakan *Superposition Coding* di sisi pemancar dan *Successive Interface Cancelation (SIC)* pada penerima [3]. Menurut penelitian [4], implementasi dari NOMA dapat dengan mudah digunakan pada sistem VLC dengan alasan pertama, penerima SIC berkinerja lebih baik dengan lebih sedikit pengguna, ini biasanya berlaku untuk VLC, tetapi tidak untuk jaringan seluler. Kedua, *superposition code* membutuhkan pengetahuan saluran untuk setiap pengguna untuk menyesuaikan pemisahan daya di antara mereka, tidak seperti jaringan seluler, dalam VLC terminal pengguna biasanya stabil dan salurannya deterministik. Karakteristik jaringan VLC tersebut sangat cocok dengan persyaratan untuk implementasi NOMA.

Karena penelitian [3] yang meneliti performansi BER dan *sum rate* pengguna pada suatu ruangan, tidak menjelaskan pengaruh jumlah LED transmisi yang digunakan dan interferensi cahaya matahari yang menembus ruangan, serta menggunakan hanya 2 LED transmisi dengan membandingkan kinerja alokasi daya *Static Power Allocation* (SPA) dan *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA), maka penelitian ini akan digunakan modulasi OOK-NRZ dengan perbandingan jumlah LED transmisi yaitu 1 LED dan 2 LED pada dimensi Laboratorium Sistem Komunikasi Optik (9 x 9 x 3m) yang mana setengah ruangan dekat jendela yang tertembus cahaya matahari, dan sisanya tidak terkena cahaya matahari langsung, dengan kanal LOS dan menggunakan alokasi daya SPA. Tugas Akhir ini akan mengevaluasi kinerja NOMA VLC menggunakan variasi jumlah LED dengan parameter uji yaitu BER, SINR, dan *data rate* pada sistem NOMA-VLC.

2. Konsep Dasar

2.1 Power Allocation

Power allocation merupakan suatu teknik untuk mendistribusikan total dari daya yang tersedia pada sisi *transmitter*. Pada penelitian kali ini menggunakan *Static Power Allocation* (SPA) untuk membagi daya total pada *transmitter* kepada tiap *receiver*.

2.1.1 Static Power Allocation (SPA)

SPA merupakan teknik alokasi daya yang mana terlebih dahulu menetapkan faktor alokasi daya (α). Besarnya alokasi daya yang ditetapkan berdasarkan dari channel gain yang dimiliki oleh tiap *receiver* yang menerima sinyal. *Receiver* yang memiliki *channel gain* kecil akan mendapatkan alokasi daya yang besar, begitu sebaliknya.

Besarnya faktor alokasi daya (α) yang ditetapkan pada *receiver* memiliki rentang nilai :

$$(0 < \alpha < 1)$$

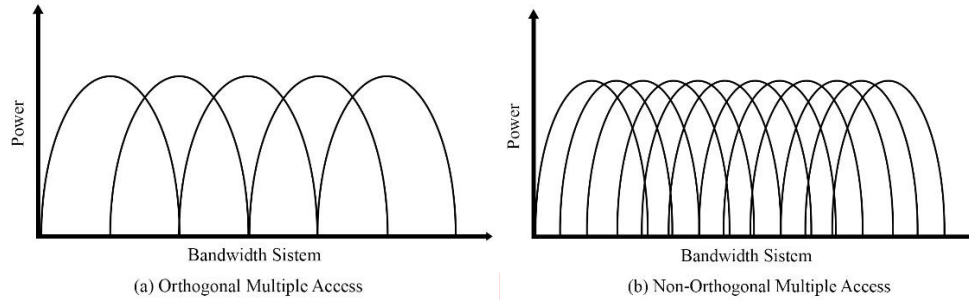
dengan persamaan besar daya yang dialokasikan ke pengguna adalah [3]:

$$P_n = P_{tot} \cdot \alpha_n \quad (2.1)$$

dengan P_{tot} adalah daya total dari *transmitter* dan α adalah faktor alokasi daya.

2.2 Non Orthogonal Multiple Access (NOMA)

Pada *Power Domain Multiple Access*, juga dikenal sebagai *Non Orthogonal Multiple Access* (NOMA), pengguna dimultiplexing dalam domain power menggunakan *Superposition Code* di sisi pemancar dan *Successive Interference Cancellation* (SIC) pada penerima. Pada NOMA, setiap pengguna dapat mengeksploitasi seluruh bandwidth sepanjang waktu, sehingga peningkatan yang signifikan dalam data rate dapat dicapai. Investigasi terbaru pada NOMA untuk sistem RF ditunjukkan untuk menghasilkan peningkatan substansial dalam *throughput* [3]. Perbedaan pola OMA dan NOMA dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Perbedaan OMA dan NOMA

Protokol NOMA mengalokasikan sumber daya frekuensi dua dimensi yang sama untuk banyak pengguna dalam domain power. Protokol NOMA mengalokasikan sumber daya yang sama mengeksplorasi karakteristik perbedaan saluran, yang memungkinkan banyak pengguna yang memiliki perbedaan saluran yang signifikan untuk berbagi sumber daya yang sama. Oleh karena itu jumlah pengguna yang didukung tidak terbatas [5].

2.2.1 Superposition Code

NOMA membutuhkan *superposition code* di sisi pemancar. *Superposition code* adalah istilah umum untuk *power domain multiplexing*, dengan persamaan :

$$x = (\sqrt{P\alpha_1} + \dots + \sqrt{P\alpha_n}) \quad (2.4)$$

2.2.2 Successive Interference Cancellation (SIC)

SIC adalah algoritma iteratif di mana data diterjemahkan dengan urutan tingkat daya yang menurun. Artinya, data yang sesuai dengan pengguna yang diberi kekuatan tertinggi didekodekan terlebih dahulu, kemudian data pengguna yang diberi kekuatan tertinggi berikutnya didekodekan setelahnya.

Sinyal terima oleh *receiver* yang telah mengalami *superposition code* dapat diberikan dengan persamaan [7]:

$$y_n = h_n x + w_n \quad (2.5)$$

dengan n adalah *user* ke- n , h adalah *channel gain* pada *user*, x adalah nilai *superposition code* dari transmitter, dan w adalah jumlah *ambient shot light noise* dan *thermal noise* dari user.

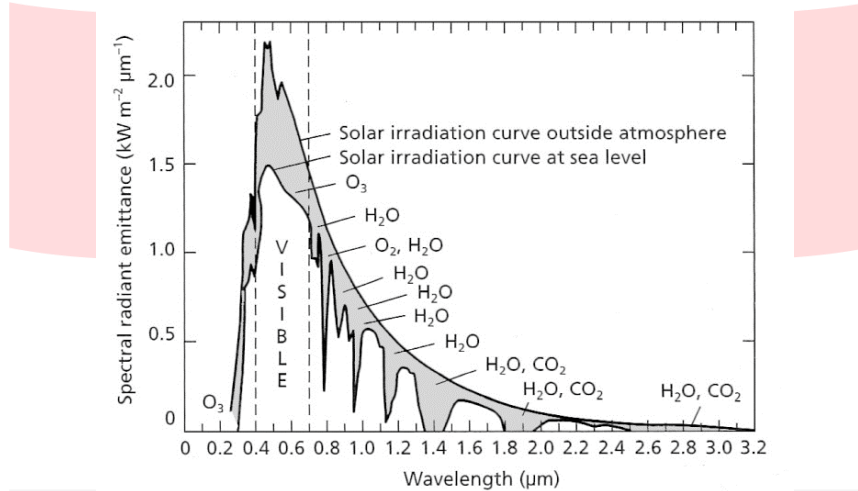
Sinyal yang didapat setelah melalui proses SIC pada NOMA diberikan oleh persamaan [8]:

$$y'_n = y_n - (\sqrt{h_n(P\alpha_k)}) \quad (2.6)$$

dengan n adalah *user* ke- n , h adalah *channel gain* dari tiap *user*, P adalah besar daya dari transmitter, α_k faktor alokasi daya yang dialokasikan dan k adalah *user* selain *user* n .

2.3 Sun Irradiance

Irradiansi adalah jumlah energi cahaya dari satu benda yang mencapai satu meter persegi setiap detik. Foton yang membawa energi ini memiliki panjang gelombang mulai dari sinar-X, sinar gamma, cahaya tampak, inframerah dan radio.



Gambar 2. Grafik Spectral Radiant Emmitance

Berikut ini adalah ekspresi irradian (daya per unit area) :

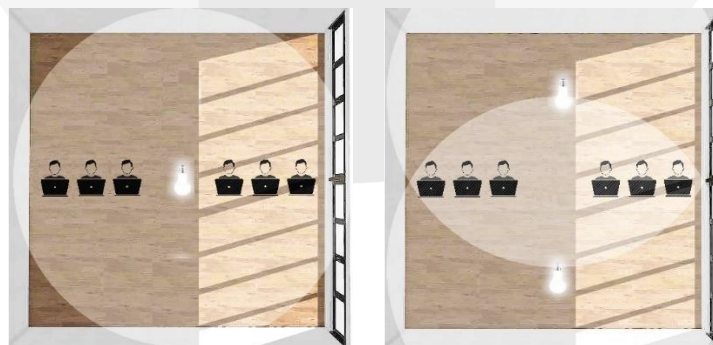
$$I_{sun} = W(\lambda)\Delta\lambda_{OBPF} \tag{2.6}$$

dengan $W(\lambda)$ adalah spectral radiant emittance dari matahari dan $[\Delta\lambda]_{OBPF}$ adalah bandwidth dari *Optical Band-Pass Filter* (OBPF) yang mendahului PD [6]. Grafik besar spectral radiant emittance terhadap Panjang gelombang dapat dilihat pada **Gambar 2**.

3. Hasil Performasi NOMA-VLC

Simulasi dilakukan sesuai dengan model sistem yang telah dirancang pada bab tiga. Analisis dan hasil Simulasi untuk melihat performasi sistem diamati berdasarkan parameter berupa SINR, BER, dan *data rate*. Simulasi penelitian ini dibagi menjadi beberapa skenario yaitu sebagai berikut.

1. Pengaruh interferensi cahaya matahari dan 1 LED terhadap performansi NOMA-VLC
2. Pengaruh interferensi cahaya matahari dan 2 LED terhadap performansi NOMA-VLC



(a)

(b)

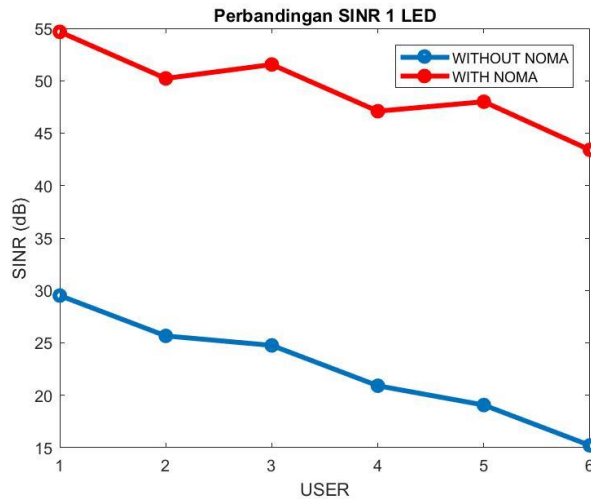
Gambar 3. Ilustrasi skenario (a) 1 LED dan (b) 2 LED.

Simulasi dilakukan dengan asumsi terdapat 6 orang user yang mana 3 user tidak terkena cahaya matahari yang masuk, yaitu *user* 1, 3, dan 5. Sedangkan 3 *user* lainnya terkena cahaya matahari yang masuk menembus jendela ruangan simulasi, yaitu *user* 2, 4, 6.

Simulasi dengan satu buah dan dua buah LED transmisi dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sistem NOMA-VLC.

3.1 Pengaruh interferensi cahaya matahari dan 1 LED terhadap performansi NOMA-VLC

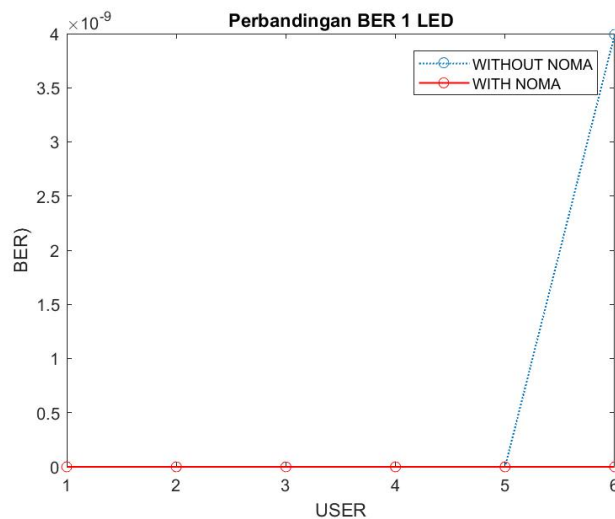
3.1.1 SINR NOMA-VLC 1 LED



Gambar 4. Perbandingan SINR 1 LED

Dari grafik yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa SINR sebelum dan sesudah dengan NOMA mengalami kenaikan yaitu pada *user* 1 sebesar 25,1538 dB, *user* 2 sebesar 24,5564 dB, *user* 3 sebesar 26,7907 dB, *user* 4 sebesar 26,188 dB, *user* 5 sebesar 28,9315 dB, dan *user* 6 sebesar 28.1903 dB.

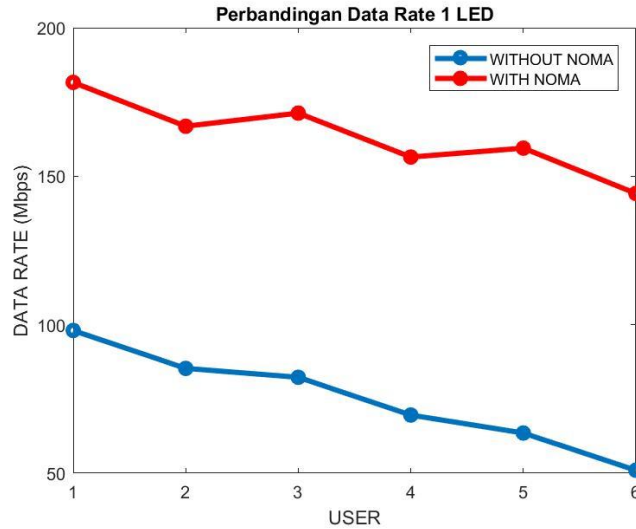
3.1.2 BER NOMA-VLC 1 LED



Gambar 5. Perbandingan BER 1 LED

Grafik perbandingan BER pada skenario 1 LED menampilkan bahwa pada simulasi tanpa NOMA, nilai BER hampir mendekati 0 pada *user* 1 hingga 5, sedangkan pada *user* 6 merupakan *user* terjauh dan juga terpengaruh interferensi cahaya matahari mengalami kenaikan BER yang signifikan hingga ke nilai BER 10^{-9} . Pada NOMA, besar BER tetap di angka 0 pada semua *user*.

3.1.3 Data Rate NOMA-VLC 1 LED

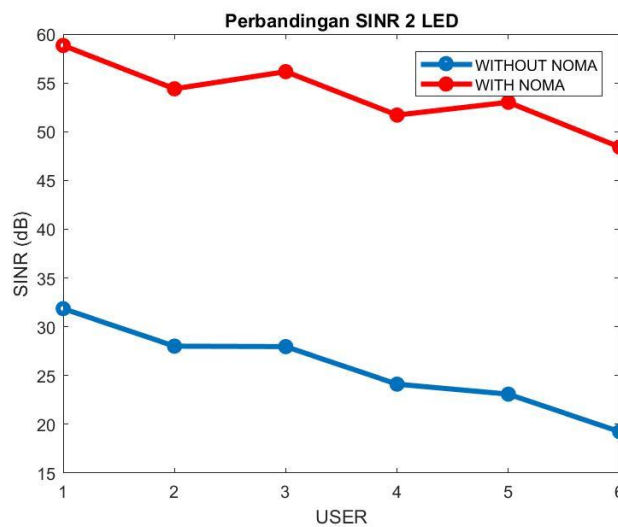


Gambar 6. Perbandingan Data Rate 1 LED

Dari grafik yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa data rate sebelum dan sesudah dengan NOMA mengalami kenaikan yaitu pada *user* 1 sebesar 83,543 Mbps, *user* 2 sebesar 81,5359 Mbps, *user* 3 sebesar 88,9486 Mbps, *user* 4 sebesar 86,8784 Mbps, *user* 5 sebesar 95,931 Mbps, dan *user* 6 sebesar 93,2197 Mbps.

3.2 Pengaruh interferensi cahaya matahari dan 2 LED terhadap performansi NOMA-VLC

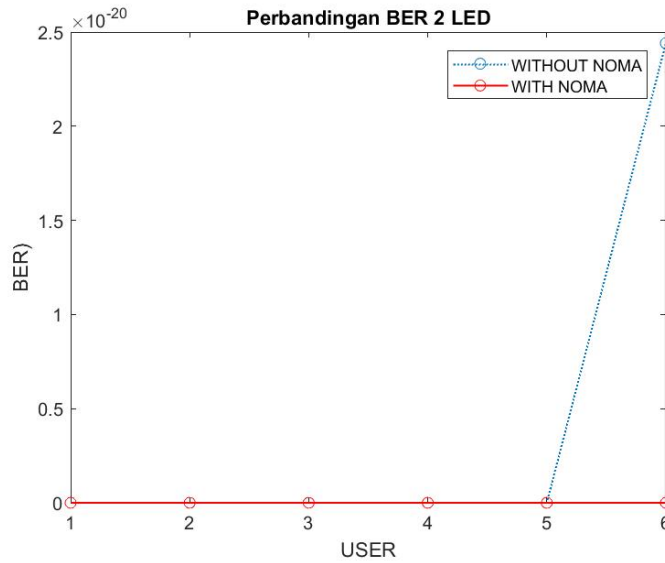
3.2.1 SINR NOMA-VLC 2 LED



Gambar 7 Perbandingan SINR 2 LED

Dari grafik yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa SINR sebelum dan sesudah dengan NOMA mengalami kenaikan yaitu pada *user 1* sebesar 26,9816 dB, *user 2* sebesar 26.3836 dB, *user 3* sebesar 28,189 dB, *user 4* sebesar 27.5856 dB, *user 5* sebesar 29,9228 dB, dan *user 6* sebesar 29.1808 dB.

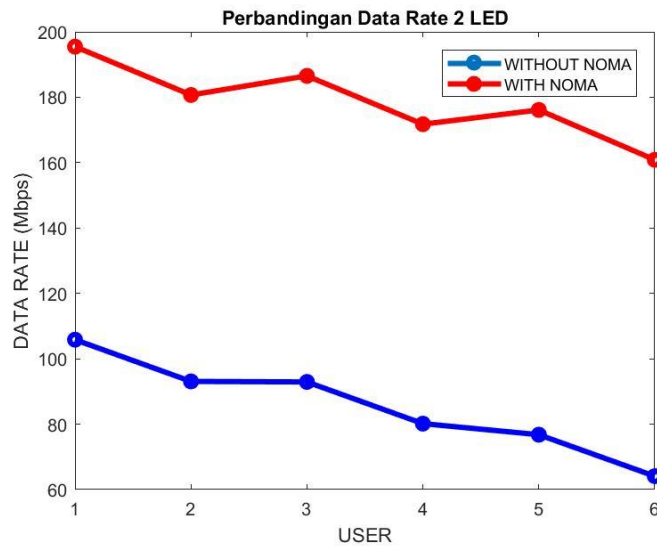
3.2.2 BER NOMA-VLC 2 LED



Gambar 8. Perbandingan BER 2 LED

Grafik perbandingan BER pada skenario 2 LED menampilkan bahwa pada simulasi tanpa NOMA, BER bernilai 0 pada *user 1*, mendekati 0 pada *user 1* hingga 5, sedangkan pada *user 6* merupakan user terjauh dan juga terpengaruh interferensi cahaya matahari mengalami kenaikan BER yang signifikan hingga ke nilai BER 10⁻²⁰. Pada NOMA, besar BER tetap di angka 0 pada semua user.

3.2.3 Data Rate NOMA-VLC 2 LED



Gambar 9. Perbandingan Data Rate 2 LED

Dari grafik yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa data rate sebelum dan sesudah dengan NOMA mengalami kenaikan yaitu pada *user 1* sebesar 89,6216 Mbps, *user 2* sebesar 87,6217 Mbps, *user 3* sebesar 93,6188 Mbps, *user 4* sebesar 91,5819 Mbps, *user 5* sebesar 99,3307 Mbps, dan *user 6* sebesar 96,7662 Mbps.

4. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan jarak yang dihitung antara LED transmisi dan penerima/*user*, penggunaan dua buah LED lebih baik dibandingkan penggunaan satu buah LED. Hal ini dibuktikan data BER pada penggunaan dua buah LED lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan satu buah LED pada sistem VLC tanpa NOMA.
2. BER pada sistem VLC dengan NOMA menunjukkan nilai BER 0 yang mana tidak terdapat bit yang error pada bit yang ditransmisikan, sehingga memiliki performansi yang jauh lebih baik disbanding sistem VLC tanpa NOMA.
3. Jarak *user* terhadap LED transmisi dan adanya interferensi matahari berpengaruh dalam besarnya SINR yang dihasilkan, yang mana *user* yang lebih jauh dari LED transmisi dan terkena interferensi cahaya matahari akan memiliki nilai SINR yang lebih kecil.
4. Nilai SINR pada sistem VLC tanpa NOMA maupun dengan NOMA pada dua LED transmisi lebih besar dibandingkan dengan sistem VLC satu LED transmisi.
5. Jarak *user* terhadap LED transmisi dan adanya interferensi matahari berpengaruh dalam besarnya *data rate* yang dihasilkan, yang mana *user* yang lebih jauh dari LED transmisi dan terkena interferensi cahaya matahari akan memiliki nilai *data rate* yang lebih kecil.
6. Nilai *data rate* pada sistem VLC tanpa NOMA maupun dengan NOMA pada dua LED transmisi lebih besar dibandingkan dengan sistem VLC satu LED transmisi.
7. Superposition Code dan Successive Interference Cancellation pada sistem NOMA-VLC dapat meningkatkan besarnya SINR dan *data rate* yang jauh lebih efisien dibandingkan dengan sistem VLC tanpa NOMA.

Daftar Pustaka

- [1] A. R. Darlis, L. Lidyawati, and D. Nataliana, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi," J. Elkomika, vol. 1, no. 1, pp. 12–25, 2017
- [2] Retno Renggani Nugroho, Inung Wijayanto, and Sugondo Hadiyoso "Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis VLC dengan LED dan Phototransistor Array", Jurnal Edukasi Elektro, Vol. 2, No. 1, Mei 2018
- [3] Hanaa Marshoud, Vasileios M. Kapinas, George K. Karagiannidis, and Sami Muhaidat, "Non-Orthogonal Multiple Access for Visible Light Communications", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 28, No. 1, January 1, 2016

- [4] Refik Caglar Kizilirmak, Corbett Ray Rowell, Murat Uysal, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Indoor Visible Light Communications", 4th International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW), 2015
- [5] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, and O. Gnawali, "Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019.
- [6] Ghassemlooy Zabih, Wasu Popoola, and Sujun Rajbhandari. *Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with Matlab® Second Edition*. CRC press, 2019.
- [7] Agarwal, Aastha, and S. Garima. "SNR Analysis for Visible Light Communication Systems." *International Journal of Engineering Research and Technology* 3, no. 10 (2014).
- [8] Islam SR, Avazov N, Dobre OA, Kwak KS. Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016 Oct 25;19(2):721-42.
- [9] Marshoud H, Sofotasios PC, Muhaidat S, Karagiannidis GK, Sharif BS. "On the Performance of Visible Light Communication Systems With Non-Orthogonal Multiple Access." *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2017 Jul 11;16(10):6350-64.
- [10] Dickey, T., and P. Falkowski. "Solar Energy and Its Biological-Physical Interactions in The Sea." *The sea* 12 (2002): 401-440.
- [11] G. Keiser, "Optical fiber communications," *Wiley Encyclopedia of Telecommunications*, 2003.