

**ANALISIS PERFORMANSI MULTI USER DETECTION PADA
KANAL NLOS UNTUK SISTEM NOMA-VLC**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTI USER DETECTION IN NLOS
CHANNEL FOR NOMA-VLC SYSTEM**

Bima Surya Pratama¹, Nachwan Mufti Adriansyah², Brian Pamukti³

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

¹bimasurya@student.telkomuniversity.ac.id

²nachwanma@telkomuniversity.ac.id ³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Keterbatasan utama dalam *visible light communication* (VLC) adalah *bandwidth* modulasi yang terbatas. *Non-orthogonal multiple access* (NOMA), mulai diteliti untuk dapat digunakan sebagai teknik *multiple access* yang efektif pada jaringan 5G karena teknik ini dapat menghemat *bandwidth* modulasi. Pada Tugas Akhir ini, NOMA diterapkan dalam sistem *downlink* VLC. Dilakukan analisis performansi *multi-user detection* (MUD) pada kanal propagasi *non-line of sight* (NLOS) berupa kanal yang terkena efek reflektor dan efek bayangan. Teknik MUD yang digunakan pada Tugas Akhir ini yaitu *successive interference cancellation* (SIC). Pada suatu *user*, SIC bekerja dengan cara membatalkan sinyal *user* lain dengan sinyal yang lebih kuat untuk dapat mendeteksi sinyalnya sendiri. Tugas Akhir ini melakukan simulasi pada ruangan berukuran 5 x 5 x 3 m dengan menggunakan 1 buah lampu LED dan jumlah *user* sebanyak 6 buah. Hasil simulasi penelitian ini diperoleh bahwa dengan penerapan SIC sebagai MUD pada sistem NOMA-VLC dibandingkan dengan tanpa NOMA dapat meningkatkan *data rate* sebesar 72 %.

Kata kunci: VLC, NOMA, LOS, NLOS, MUD, SNR.

Abstract

Main limitation of visible light communication (VLC) is the narrow modulation bandwidth. NOMA, has been proposed recently as an effective multiple access technique that can be used for 5G network because this technique can save the modulation bandwidth. In this Final Project, NOMA is implemented in the VLC downlink system. It performed multi-user detection (MUD) analysis on non-line of sight (NLOS) channel propagations in the form of channels affected by reflector and shadow effects. Successive interference cancellation (SIC) is being used as a MUD in this Final Project. In one user for example, SIC works by cancelling the other signal that have stronger signal to detect their own signal. This Final Project perform a simulation in a room with dimension 5 x 5 x 3 m using 1 LED and 6 users. The result of this Final Project shows that by implementing SIC as MUD in NOMA-VLC system can increasing the data rate system to the tune of 72% compared with VLC without using NOMA as a multiple access technique.

Keywords: VLC, NOMA, LOS, NLOS, MUD, SNR.

1. Pendahuluan

Teknologi *optical wireless communication* (OWC) merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan keterbatasan spektrum frekuensi, karena teknologi ini dapat menghemat spektrum frekuensi dengan tetap menghasilkan *data rate* yang tinggi [1]. *Visible light communication* (VLC) adalah salah satu penerapan dari teknologi OWC dengan menggunakan *light emitting diode* (LED) sebagai sumber pengiriman cahaya dan memanfaatkan panjang gelombang sebesar 380-780 nm. Namun, modulasi yang terbatas menjadi keterbatasan utama pada VLC [2].

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) dan *orthogonal frequency division multiple access* (OFDMA) diterapkan dalam sistem VLC dikarenakan efisiensi spektral yang tinggi [3]. Namun, teknik OFDM dan OFDMA tidak dapat langsung diterapkan dalam sistem VLC, karena sinyal yang dapat dibaca pada modulasi VLC hanya sinyal *real* dan positif sesuai persyaratan pencahayaan. Oleh karena itu, teknik *clipping* telah diusulkan untuk diadaptasi dalam OFDM dan OFDMA sistem VLC, tetapi teknik tersebut dapat menurunkan efisiensi spektral dan kinerja *bit error rate* (BER) [4].

Non-orthogonal multiple access (NOMA), baru-baru ini diusulkan sebagai kandidat *multiple access* yang menjanjikan untuk jaringan nirkabel 5G [5]. Dalam penelitian [8] diterapkan NOMA pada sistem *downlink* VLC, didapatkan hasil bahwa NOMA dapat meningkatkan *data rate* yang dicapai sistem VLC. Pada NOMA, sinyal yang ditransmisikan dari *multi-user* menghasilkan interferensi antar *user*[6], maka dibutuhkan teknik *multi-user detection* (MUD) untuk mendeteksi

sinyal yang diterima pada masing-masing user [7]. Proses *multiplexing* dengan menggunakan NOMA dilakukan dalam domain daya dengan adanya *superimposed* di sisi *transmitter* dan MUD di sisi *receiver*. Untuk mengembangkan VLC, Tugas Akhir ini melakukan penelitian terhadap performansi MUD pada kanal NLOS untuk sistem NOMA-VLC. Pada beberapa penelitian sebelumnya diterapkan *successive interference cancellation* (SIC) sebagai MUD pada sistem NOMA-VLC. Teknik ini digunakan pada karakteristik kanal *line of sight* (LOS) dan dihasilkan performansi yang lebih baik dibandingkan penggunaan teknik *multiple access* lainnya pada VLC. Pada Tugas Akhir ini diterapkan SIC sebagai MUD dalam NOMA-VLC dengan kanal yang digunakan yaitu *non-line of sight* (NLOS) karena pada realisasi ruangan umumnya tidak ada karakteristik ruangan LOS.

2. Dasar Teori

2.1. Visible Light Communication

Visible light communication (VLC) adalah teknologi komunikasi dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi dan lampu LED sebagai pengirim, rentang cahaya tampak yang digunakan antara 380nm - 780nm. Selain memanfaatkan cahaya tampak dan LED teknologi ini juga memanfaatkan photodetector sebagai penerima.

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 [1].

2.3. Photodetector

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

2.4. Kanal Propagasi

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 θ 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. Φ 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* [9]. 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 0.6 yang dimanana dari daya yang dikirim setelah terkena *blockage* daya akan diteruskan sebesar 60% 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)

NOMA merupakan sebuah Teknik *multiple access* yang memanfaatkan *power* domain dalam proses kerjanya. NOMA menggunakan *superimposed* di sisi pengirim dan SIC di sisi penerima sehingga seluruh user dapat memaksimalkan penggunaan *bandwidth* yang tersedia dan meningkatkan *datarate* [3]. Untuk *superimposed* dapat menggunakan persamaan

$$x = P \times (\sqrt{\alpha_1 s_1} + \sqrt{\alpha_2 s_2}), \tag{6}$$

2.6. Multi User Detection

Tugas akhir ini menggunakan metode *multi user detection* (MUD) yang mendeteksi daya yang di terima dari semua pengguna adalah tetap, sekaligus mendemodulasikan semua sinyal yang di terima dari semua pengguna secara bersamaan. Maka memerlukan strategi MUD yang sesuai seperti *successive interference cancellation* (SIC), setelah menerima sinyal penerima mendeteksi dan mendekodekan sinyal dari beberapa pemancar dengan urutan kekuatan sinyal yang menurun. Untuk perhitungan SIC dapat dinyatakan dengan

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

2.7. Channel State Information

Channel state information (CSI) adalah informasi yang didapatkan dari penerima ke pengirim. Informasi yang dikirim berupa nilai tingkat kualitas penerima dalam menerima data dari pengirim, hal ini diperlukan untuk dijadikan pertimbangan dalam proses alokasi daya

2.8. Validasi Data

2.8.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal yang ditransmisikan dengan daya noise yang terdapat pada sistem. Nilai *receive* SNR didapatkan dari persamaan berikut

$$SNR = \frac{(Pr \times R \times M)^2}{2 \times q \times Pr \times R M^2 \times F(M) \times B + \frac{4 \times Kb \times T \times B}{Rl}} \tag{8}$$

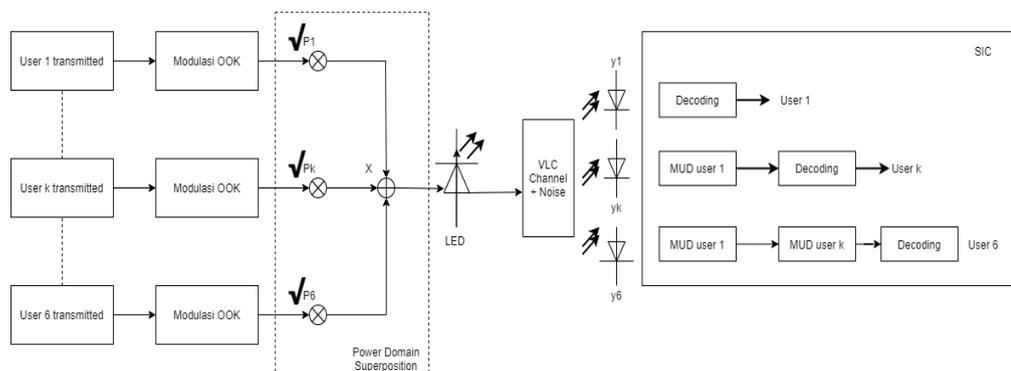
2.8.2 Data Rate

Data rate merupakan banyaknya data (dalam bit) yang dapat diterima dengan benar dalam satuan waktu. *Data rate* maksimal dapat diperoleh dengan perhitungan kapasitas kanal yang digunakan. Berikut adalah persamaan kapasitas kanal menggunakan teorema shannon

$$C = B \times \log_2(1 + SNR) \tag{9}$$

3. Perancangan dan Simulasi Sistem

3.1. Blok Diagram Sistem

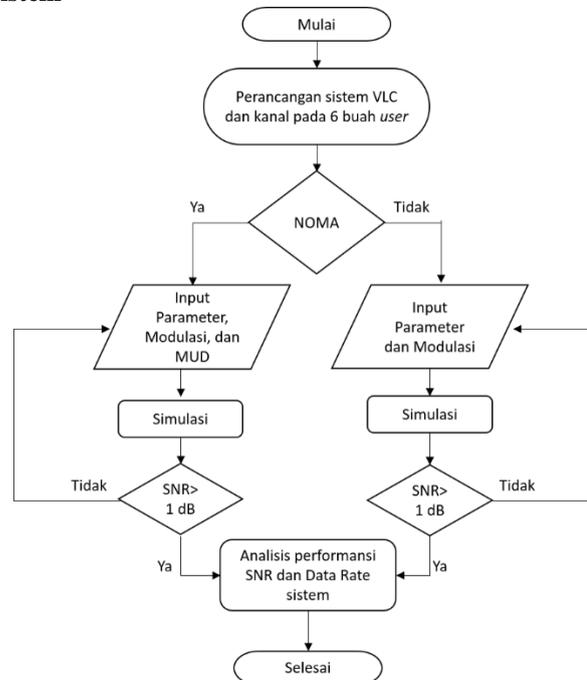


Gambar 1. Blok diagram sistem.

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 *superimposed*. 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. Sinyal yang diterima akan dideteksi MUD lalu proses *decoding* yang juga disebut SIC untuk membatalkan sinyal dari yang terkuat sampai terlemah. Sinyal terkuat akan *didecode* 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 performansi *multi user detection* pada kanal NLOS untuk sistem NOMA-VLC.

3.3. Desain Pengujian VLC

Pada simulasi sistem Tugas Akhir ini, memfokuskan pada dimensi ruangan, spesifikasi kanal, dan teknik deteksi *user*.

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 silikon PIN *Photodetector* jenis C30810EH dengan rentang spectral 400 nm sampai dengan 1100 nm. Tipe *photodetector* ini memiliki luas permukaan sebesar 1 cm^2 , memiliki *field of view* (FOV) sebesar 70° dan memiliki responsivitas sebesar 0.55 A/W.

3.3.4 Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

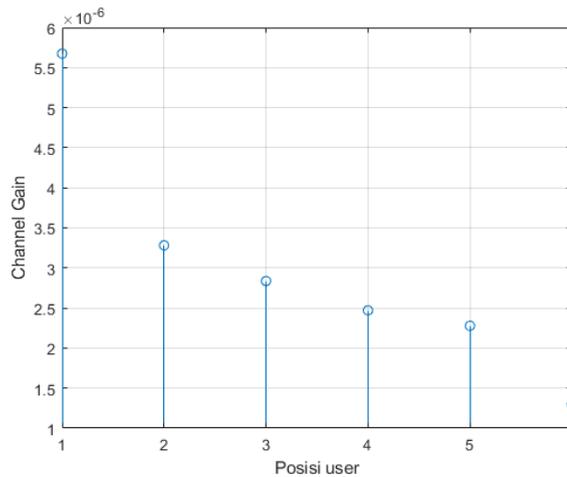
Jenis NOMA yang digunakan adalah NOMA pada *power domain* dengan *superimposed* pada sisi pengirim dan MUD dengan teknik SIC pada sisi penerima. Teknik alokasi daya yang digunakan adalah GRPA yang akan mengalokasikan daya paling besar kepada kanal dengan *channel gain* terlemah dan mengalokasikan daya 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 5x5x3 meter². Skenario pertama membandingkan nilai *channel gain* dengan kondisi kanal masing-masing *user*, skenario kedua membandingkan nilai *receive SNR* VLC tanpa NOMA dengan NOMA-VLC pada masing-masing *user* dengan kanal yang berbeda, skenario ketiga membandingkan nilai *datarate* VLC tanpa NOMA dengan NOMA-VLC pada masing-masing *user* dengan kanal yang berbeda.

4.1. Analisis Channel Gain Sistem

Analisis ini bertujuan untuk membandingkan posisi *user* terhadap *channel gain* untuk VLC NOMA.

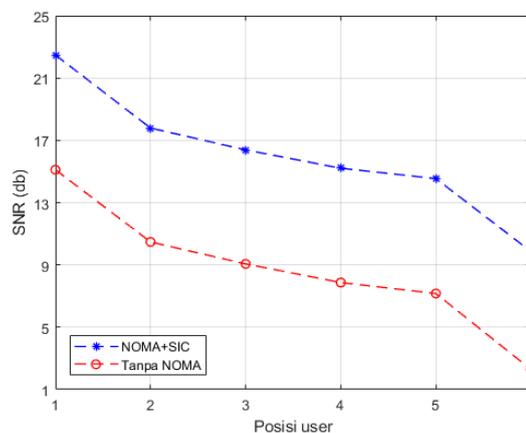


Gambar 3. Nilai *channel gain* masing-masing *user*.

Gambar 3. Menunjukkan hasil *channel gain* yang dicapai, *channel gain* paling baik dicapai pada saat posisi *user* diletakkan pada kanal NLOS dengan penambahan reflektor sebesar 5.6885×10^{-6} . Sedangkan posisi *user* dengan kondisi kanal NLOS dengan penambahan efek bayangan menjadi *channel gain* yang terendah dengan nilai sebesar 1.2986×10^{-6} . Hal ini menunjukkan bahwa performansi reflektor lebih baik dibandingkan dengan efek bayangan.

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

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

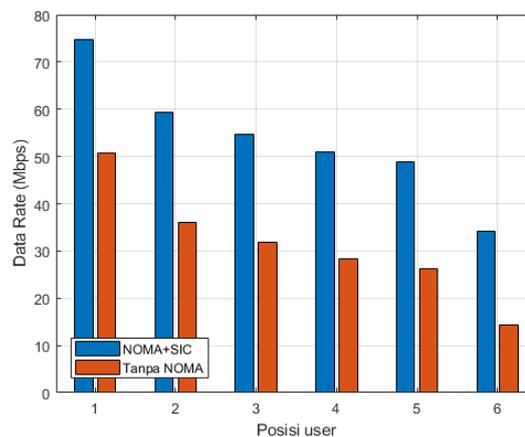


Gambar 4. Perbandingan SNR VLC Tanpa NOMA dan NOMA-VLC.

Gambar 4. menunjukkan hasil SNR yang dicapai pada VLC tanpa noma dengan NOMA-VLC. SNR maksimal yang dicapai pada NOMA-VLC sebesar 22.4719 dB, sedangkan pada VLC tanpa NOMA, SNR maksimal yang dicapai sebesar 15.112 dB. NOMA mampu meningkatkan nilai SNR dengan peningkatan rata-rata SNR pada tiap *user* sebesar 7 dB. Hal ini dikarenakan pada sistem NOMA-VLC terdapat *superimposed* di sisi transmitter dan *multi-user detection* di sisi receiver membuat performansi menjadi lebih baik

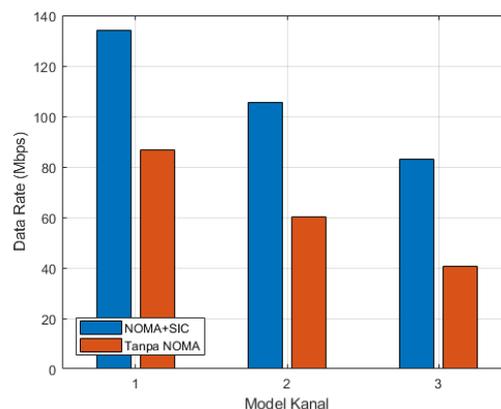
4.3 Analisis Hasil Data Rate VLC Pada NOMA dan Tanpa NOMA

Analisis ini bertujuan untuk membandingkan hasil *data rate* yang diterima pada VLC tanpa NOMA dengan NOMA-VLC.



Gambar 5. Hasil *data rate* yang dicapai *user* pada VLC tanpa NOMA dan NOMA-VLC.

Gambar 5. Menunjukkan hasil *data rate* yang dicapai pada masing-masing *user*. *Data rate* maksimal yang dicapai pada NOMA-VLC sebesar 74.7 Mbps, sedangkan pada VLC tanpa NOMA *data rate* maksimal yang dicapai sebesar 50 Mbps. NOMA mampu meningkatkan nilai *data rate* dengan peningkatan rata-rata pada tiap *user* sebesar 24 Mbps. Hal ini karena NOMA memiliki efisiensi spektral yang tinggi karena terdapat proses *superimposed* di sisi pengirim dengan menggabungkan semua *user* dengan satu *subcarrier* dan SIC di sisi penerima yang mengakibatkan setiap *user* dapat menggunakan seluruh *bandwidth* yang tersedia sehingga meningkatkan *data rate* yang diterima dengan asumsi kondisi kanal yang tetap dan nilai *receive SNR* sempurna.



Gambar 6. Hasil *data rate* yang dicapai *user* pada VLC tanpa NOMA dan NOMA-VLC.

Gambar 6. Menunjukkan hasil *data rate* yang dicapai pada masing-masing model kanal *user*. *Data rate* tertinggi dicapai pada model kanal NLOS dengan penambahan reflektor sebesar 138 Mbps, sedangkan model kanal NLOS dengan efek bayangan mendapat nilai *data rate* terendah sebesar 40 Mbps. Hal ini menunjukkan bahwa reflektor dapat meningkatkan *data rate* yang dicapai dibandingkan dengan efek bayangan karena pada prinsipnya reflektor dapat memantulkan sinar cahaya sedangkan efek bayangan menghalangi sinar cahaya.

5. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan peletakan posisi, *user* yang berada pada kanal NLOS reflektor menghasilkan *sum rate* sebesar 138 Mbps dan SNR yang paling baik dibandingkan dengan *user* lain pada kanal LOS dan kanal NLOS *shadowing*. Hal ini dikarenakan dengan penambahan reflektor terjadi pemantulan sinar cahaya yang menyebabkan *user* mendapat sinyal dari berbagai arah dan adanya penghalang antara sinyal dan *user* dapat mengurangi performansi dikarenakan penghalang dapat menyarap sinyal cahaya yang dikirimkan.
2. Sistem NOMA-VLC dengan menggunakan SIC sebagai MUD pada sisi *receiver* dapat memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan sistem VLC tanpa menggunakan NOMA, yakni terjadi peningkatan total *data rate* sebesar 72% dari 186 Mbps menjadi 321 Mbps.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R. CRC press, 2019.
- [2]. C.Wang, L.Wang, X. Chi, S. Liu, W. Shi, and J. Deng, "The research of indoor positioning based on visible light communication," China Communications, vol. 12, no. 8, pp. 85–92, 2015.
- [3]. J. Armstrong, R. J. Green, and M. D. Higgins, "Comparison of three receiver designs for optical wireless communications using white leds," IEEE Communications Letters, vol. 16, no. 5, pp. 748–751, 2012.
- [4]. S. Dimitrov, S. Sinanovic, and H. Haas, "Clipping noise in ofdm-based optical wireless communication systems," IEEE Transactions on Communications, vol. 60, no. 4, pp. 1072–1081, 2012.
- [5]. A. Benjebbour, Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Li, A. Harada, and T. Nakamura, "Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (noma) for future radio access," in 2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems. IEEE, 2013, pp. 770–774.
- [6]. X. Su, H. Yu, W. Kim, C. Choi, and D. Choi, "Interference cancellation for non-orthogonal multiple access used in future wireless mobile networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2016, no. 1, p. 231, 2016.
- [7]. X. Guan, Q. Yang, and C.-K. Chan, "Joint detection of visible light communication signals under non-orthogonal multiple access," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 29, no. 4, pp. 377–380, 2017.
- [8]. 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.
- [9]. 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.