

## Analisis Performansi *Multi User Detection* pada Kanal NLOS untuk Sistem NOMA-VLC

BIMA SURYA PRATAMA, NACHWAN MUFTI ADRIANSYAH, BRIAN PAMUKTI

Telkom University, Indonesia  
Email: [bsurya1923@gmail.com](mailto:bsurya1923@gmail.com)

*Received* 1 Oktober 2020 | *Revised* 20 Oktober 2020 | *Accepted* 15 November 2020

### ABSTRAK

*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 penelitian ini, NOMA diterapkan untuk sistem downlink Visible Light Communication (VLC). Kami telah melakukan analisis performansi Multi-User Detection (MUD) pada kanal propagasi Non-Line of Sight (NLOS) dengan mempertimbangkan efek reflektor dan efek bayangan (shadowing). Kami juga mempertimbangkan teknik MUD yang digunakan pada penelitian ini yaitu Successive Interference Cancellation (SIC). Setelah simulasi yang ekstensif, kami menemukan bahwa dengan penerapan SIC sebagai MUD pada sistem NOMA-VLC lebih baik dibandingkan dengan tanpa NOMA. Selain itu, kami juga memperoleh peningkatan data rate sebesar 72 %.*

**Kata kunci:** VLC, NOMA, NLOS, MUD, Optical Wireless Communication.

### ABSTRACT

*Non-orthogonal multiple access (NOMA), began to be studied to be used as an effective multiple access technique on 5G networks because this technique can save modulation bandwidth. In this research, NOMA is applied to the Visible Light Communication (VLC) downlink system. We have performed a Multi-User Detection (MUD) performance analysis on Non-Line of Sight (NLOS) propagation channels by considering the reflector and shadowing effects. We also consider the MUD technique used in this study, namely Successive Interference Cancellation (SIC). After extensive simulations, we found that the application of SIC as MUD to the NOMA-VLC system is better than without NOMA. In addition, we also achieve an increase in data rate of 72%.*

**Keywords:** VLC, NOMA, NLOS, MUD, Optical Wireless Communication.

## 1. PENDAHULUAN

Diera revolusi industri 4.0, kebutuhan akan teknologi komunikasi dan informasi semakin tinggi. Hal ini berpengaruh pada bidang telekomunikasi khususnya pada komunikasi dengan media berupa kabel maupun nirkabel. Kebutuhan akan teknologi yang semakin meningkat ini berdampak pada keterbatasan sumber daya yang ada, salah satunya yaitu keterbatasan spektrum frekuensi yang digunakan dalam pengiriman data nirkabel pada sistem telekomunikasi. Teknologi *Optical Wireless Communication* (OWC) merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut, karena teknologi ini dapat menghemat spektrum frekuensi dengan tetap menghasilkan *data rate* yang tinggi (**Ghassemlooy, dkk, 2019**). *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 (**Wang, dkk, 2015**). VLC mampu menjadi alternatif bagi *Wireless Fidelity* (WiFi) sebagai jaringan akses hingga ke pelanggan. Seperti yang sudah diteliti oleh (**Tonapa, dkk, 2014**) bahwa *wireless* untuk *broadband* memiliki *Quality of Service* (QoS) yang tinggi. Hal ini membuat VLC bisa meningkatkan nilai QoS jauh lebih tinggi dari WiFi.

*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) diterapkan dalam sistem VLC dikarenakan efisiensi spektral yang tinggi (**Armstrong, dkk, 2012**). 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) (**Dimitrov, dkk, 2012**).

Untuk mengatasi masalah *bandwidth* modulasi pada VLC yang terbatas, *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) baru-baru ini diusulkan sebagai kandidat *multiple access* yang menjanjikan untuk jaringan nirkabel 5G (**Benjebbour, dkk, 2013**) karena dapat menghemat *bandwidth* modulasi. Dalam penelitian (**Su, dkk, 2016**) 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* (**Marshoud, dkk, 2015**), maka dibutuhkan teknik *Multi-User Detection* (MUD) untuk mendeteksi sinyal yang diterima pada setiap *user* (**Guan, dkk, 2017**). Proses *multiplexing* dengan menggunakan NOMA dilakukan dalam domain daya dengan adanya *superimposed* di sisi *transmitter* dan MUD di sisi *receiver*. Untuk mengembangkan VLC, penelitian ini melakukan penelitian terhadap performansi MUD pada kanal NLOS untuk sistem NOMA-VLC.

Penelitian (**Putri dkk, 2019**) telah mengerjakan tentang penggunaan penguat optik dengan konsentrator untuk komunikasi cahaya tampak. Jurnal tersebut menemukan cakupan area komunikasi yang dapat dijangkau oleh lampu LED. Kami juga menganalisis bahwa jurnal ini hanya membahas satu sisi, yaitu pada *downlink*. Dari penelitian tersebut, diperoleh hasil bahwa penggunaan konsentrator pada penerima, meningkatkan performansi dan menurunkan nilai *Bit Error Rate* (BER). Selain itu, penelitian ini belum membahas pembagian *Multiple Access* (MA).

Penelitian (**Kurniawan dkk, 2019**) membahas tentang perbedaan teknik modulasi pada kanal *Visible Light Communication* (VLC). Penelitian tersebut menggunakan dua modulasi, yaitu *Return-to-Zero* (RZ) dan *Non Return-to-Zero* (NRZ) dengan *line coding On-Off Keying* (OOK). Model ruangan yang digunakan adalah  $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$  dengan tidak mempertimbangkan

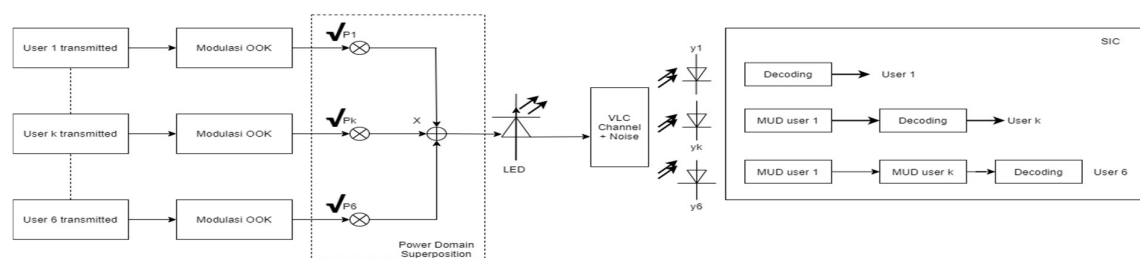
interferensi matahari. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa modulasi NRZ-OOK lebih baik dibandingkan modulasi RZ-OOK.

NOMA membutuhkan teknik untuk pengalokasian daya setiap *user*, terdapat *resource management* yang mirip dengan *power* alokasi yaitu *water filling* cara kerjanya *user* yang memiliki nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) tinggi akan dialokasikan daya yang rendah, sedangkan *user* yang memiliki SNR rendah akan dialokasikan daya yang lebih tinggi agar semua *user* mendapatkan kualitas yang sama serta karena *orthogonal* maka semua *user* dapat dideteksi. Namun, NOMA adalah teknik *multiple acces* yang *non-orthogonal* mengakibatkan *user* rawan tidak terdeteksi. Penelitian ini menerapkan *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA) sebagai teknik pengalokasian daya karena GRPA dapat mempertimbangkan proses SIC untuk mendeteksi sinyal. GRPA dapat menyelesaikan permasalahan *user* yang rawan tidak terdeteksi pada NOMA dengan cara mengurutkan *user* terlebih dahulu kemudian *power* dialokasikan berdasarkan rasio *gain* yang didapat dari kondisi kanal yang dimiliki oleh setiap *user* dan GRPA secara signifikan dapat meningkatkan kinerja sistem menjadikan *sum rate* maksimal.

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 Penelitian ini diterapkan SIC sebagai MUD dalam NOMA-VLC dengan kanal yang digunakan yaitu *Non-Line of Sight* (NLOS) dengan penambahan efek reflektor dan bayangan karena pada realisasi ruangan umumnya tidak ada karakteristik ruangan LOS. Adapun *output* yang diharapkan dari penelitian ini adalah menunjukkan hasil bahwa NOMA dapat meningkatkan kapasitas kanal dan mengatasi *bandwidth* modulasi yang terbatas pada sistem VLC.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Blok Diagram Keseluruhan



Gambar 1. Blok Diagram Sistem.

Dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem VLC untuk menganalisis dampak yang terjadi terhadap performansi *multi-user detection* dengan kanal NLOS dalam penerapan teknik *multiple access* yaitu *Power Domain-NOMA* yang terinspirasi dari (Liu, dkk, 2018). Berdasarkan Gambar 1, terdapat tiga bagian yang menyusun sistem VLC yaitu *transmitter* yang berisikan: sumber informasi, modulasi dan teknik *superimposed*. Lalu ada kanal NLOS, dan *receiver* yang berisikan: SIC, MUD, proses *decoding* dan *output*. Pada skema VLC dengan menggunakan NOMA sebagai teknik *multiple access*, terdapat *superimposed* di sisi *transmitter* dan *multi-user detection* di sisi *receiver*. Dalam skema penelitian ini MUD yang digunakan yaitu *Successive Interference Cancellation* (SIC).

## 2.2 Blok Diagram *Transmitter*

Pada sisi *transmitter* menggunakan NOMA pada VLC terdapat *superimposed* yang bertujuan untuk menggabungkan beberapa sinyal yang sebelumnya telah dilakukan alokasi daya menggunakan algoritma *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA) seperti yang telah diteliti oleh (Tao, dkk, 2019). Dengan menggunakan GRPA, kondisi *channel gain* setiap *user* menjadi pertimbangan untuk memberikan alokasi daya yang berbeda. Alokasi daya yang dikirim akan besar jika *channel gain user* tersebut kecil, dan alokasi daya yang kecil akan dikirimkan apabila *channel gain* pada *user* tersebut lebih besar. Sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini berasal dari lampu LED yang mentransmisikan data dengan daya yang dikirimkan sebesar 7 Watt.

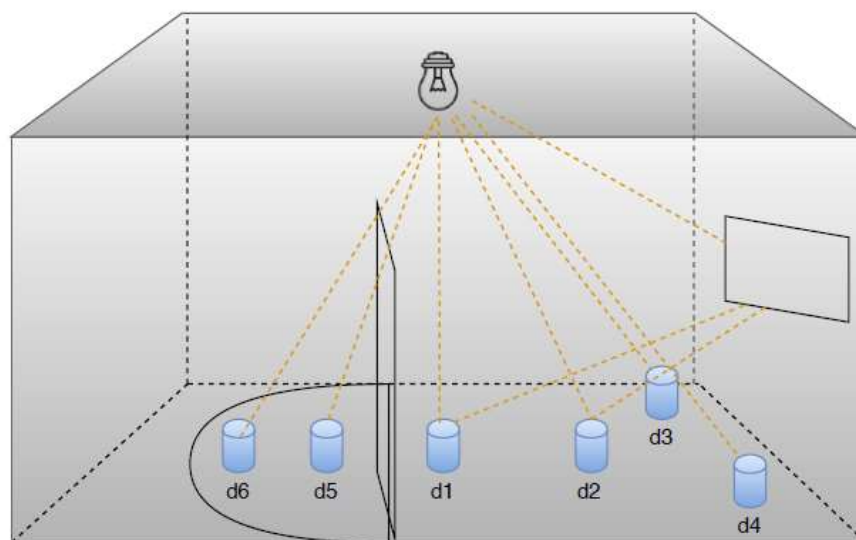
## 2.3 Blok Diagram Kanal

Pada bagian kanal terdapat tiga kondisi yang digunakan pada penelitian ini. Pertama kondisi kanal LOS, dalam kondisi ini terdapat dua *user* dengan posisi yang telah ditentukan. Kedua, model kanal NLOS dengan penambahan reflektor diberikan untuk dua buah *user* dengan posisi yang telah ditentukan. Ketiga, kondisi kanal NLOS dengan adanya penghalang (*blocking*) untuk dua *user* yang telah ditentukan jaraknya. Kondisi tersebut kami peroleh dari penelitian (Játiva, dkk, 2020) dengan mempertimbangkan model kanal yang serupa.

## 2.4 Blok Diagram *Receiver*

Bagian ini menjelaskan perancangan sistem yang berada pada sisi *receiver*. Terdapat *photodetector* yang digunakan untuk menerima sinyal cahaya dari LED dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik. *Photodetector* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Positive Intrinsic Negative* (PIN). Lalu, terdapat *Multi-User Detection* (MUD) yang berupa *Successive Interference Cancellation* (SIC) yang merupakan suatu teknik pendeteksi sinyal *user* dan pendemodulasian sinyal terima tanpa terjadinya tabrakan antar sinyal sebelum proses *decoding* sinyal. Cara kerja SIC yaitu dengan menyeleksi sinyal yang terkuat terlebih dahulu dan kemudian sinyal tersebut dibatalkan untuk dapat diteruskan pada proses *decoding* sinyal. Kami memperoleh model matematika yang mirip dan telah disimulasikan dari penelitian (B. Wang, dkk, 2016) untuk blok penerima.

## 2.5 VLC Channel



Gambar 2. Desain Ruang NOMA-VLC dengan Kanal NLOS.

Simulasi ini digunakan pada ruangan tertutup berukuran  $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$  dengan pertimbangan tidak ada interferensi dari cahaya lain selain lampu LED. Pada skema ruangan, diletakkan cermin di salah satu sisi ruangan dan benda yang menghalangi cahaya dari lampu LED. Kami juga mempertimbangkan bahwa benda yang menjadi penghalang tidak bergerak. Selain itu, kami menggunakan distribusi Binomial untuk menandakan bahwa benda tersebut menyerap daya optis (*absorption effect*). Jika benda tersebut menyerap cahaya LED 100%, maka nilai dari distribusi Binomial adalah nol dan jika tidak ada benda yang menghalangi, maka distribusi Binomial bernilai satu.

Berdasarkan karakteristik saluran VLC, sinyal yang diterima oleh *user* pada umumnya terdiri dari dua komponen LOS dan NLOS. Pada penelitian ini berfokus pada kanal NLOS dengan penambahan reflektor dan efek bayangan. 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 70 dinyatakan dengan :

$$m = \frac{-\log_{10} 2}{\log_{10} \cos \frac{\theta_1}{2}} \quad (1)$$

Pada kanal LOS dapat dinyatakan dengan :

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

Dengan  $Ae$  adalah area *photodetector* pada penerima,  $d$  adalah jarak penerima terhadap pengirim, dan  $\Phi$  adalah sudut propagasi dari pengirim dengan penerima. Kanal yang digunakan pada penelitian ini adalah kanal NLOS. Pada kanal NLOS nilai *pathloss* yang didapat lebih sulit untuk dikalkulasikan karena bergantung pada banyak faktor, yaitu dimensi ruangan, pantulan dari langit-langit ruangan, objek yang berada di dalam ruangan serta posisi dan orientasi *transmitter* dan *receiver*. Pada penelitian ini menggunakan *obstacle* berupa reflektor dan efek bayangan yang dihasilkan oleh *blockage* di *photodetector*. Kanal dengan penambahan efek bayangan dapat dinyatakan dengan Persamaan (3).

$$H_{shd} = \frac{(m + 1) \cdot Ae \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \times O, \quad (3)$$

Dengan  $O$  adalah probabilitas *blocking*, dengan asumsi pengurangan daya mengikuti distribusi binomial di mana dari daya yang dikirim setelah terkena *blockage*, daya diteruskan ke *shadowing* area kemudian dilanjutkan ke *photodetector*. Untuk kanal *reflector* dinyatakan dengan Persamaan (4).

$$H_{ref} = \frac{(m + 1) \cdot Ae \cdot \rho \cdot dA \cdot \cos^{m+1}(\Phi) \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{2 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot d_2^2} \quad (4)$$

Dengan  $Ae$  sebagai area *photodetector* dan  $d_1$  adalah jarak dari *transmitter* ke reflektor,  $d_2$  jarak dari reflektor ke *receiver*, sedangkan  $\rho$  merupakan koefisien refleksi dan  $dA$  merupakan luas per *cell*. Nilai sudut dari  $\alpha$  dibentuk dari jarak antara lampu LED terhadap dinding cermin dan sudut  $\beta$  dibentuk oleh jarak antara dinding cermin dan user. Sehingga *channel gain* total yang diperoleh user adalah :

$$H = H_{LOS} + H_{ref} + H_{shd} \quad (5)$$

## 2.6 Sistem NOMA-VLC

Dalam penelitian ini, jaringan *downlink indoor* NOMA-VLC dilengkapi dengan 1 buah LED dan 6 *user*. Melalui prinsip NOMA, *user* diberi nilai daya yang berbeda tergantung pada *gain* saluran mereka di sisi *transmitter*. Sinyal yang ditransmisikan didapatkan dari persamaan (5).

$$\alpha_1 x P_T > \alpha_k x P_T \dots > \alpha_n x P_T > \alpha_N x P_T, s. t. \sum_{k=1}^N \alpha_k = 1 \quad (5)$$

Dengan  $N$  adalah jumlah *user* yang berada dalam jangkauan satu buah LED. Lalu sinyal yang dikirimkan dapat dinyatakan sebagai berikut

$$x = P \times (\sqrt{\alpha_1 x s_1} + \sqrt{\alpha_2 x s_2} + \sqrt{\alpha_3 x s_3} + \sqrt{\alpha_4 x s_4} + \sqrt{\alpha_5 x s_5} + \sqrt{\alpha_6 x s_6}), \quad (6)$$

dengan  $P$  adalah transmit *power* dan  $s$  adalah sinyal yang dikirimkan. Penelitian ini menggunakan metode *Multi-User Detection* (MUD) untuk mendeteksi daya yang diterima dari semua pengguna adalah tetap, sekaligus mendemodulasikan semua sinyal yang diterima 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 Persamaan (7).

$$Pr_{sic} = y_n - \sqrt{H_n} \times (\sqrt{\alpha_k} + \dots + \sqrt{\alpha_k - 1}) \quad (7)$$

Dengan  $y_n$  adalah sinyal terima oleh user ke- $n$ , dan  $H_n$  adalah *channel gain* dan  $\alpha_k$  adalah nilai alokasi *power* dari setiap user. Sehingga daya terima yang sudah di SIC mengalami pengurangan sedikit demi sedikit.

## 2.7 Validasi Data

### 2.7.1 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 (8).

$$SNR = \frac{(P_r R M)^2}{2q P_r R M^2 F(M) B + \frac{4 K_b T B}{R_l}} \quad (8)$$

Dengan  $R$  adalah responsivitas,  $M$  adalah multiplikasi,  $q$  adalah muatan listrik  $F(M)$  adalah *noise figure*,  $K_b$  adalah konstanta Boltzmann,  $T$  adalah suhu detector foto,  $B$  adalah *bandwidth* dan  $R_l$  adalah tahanan dalam.

### 2.7.2 Data Rate

*Data rate* merupakan bit data 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 Capacity*.

$$C = B_w \times \log(1 + SNR) \quad (9)$$

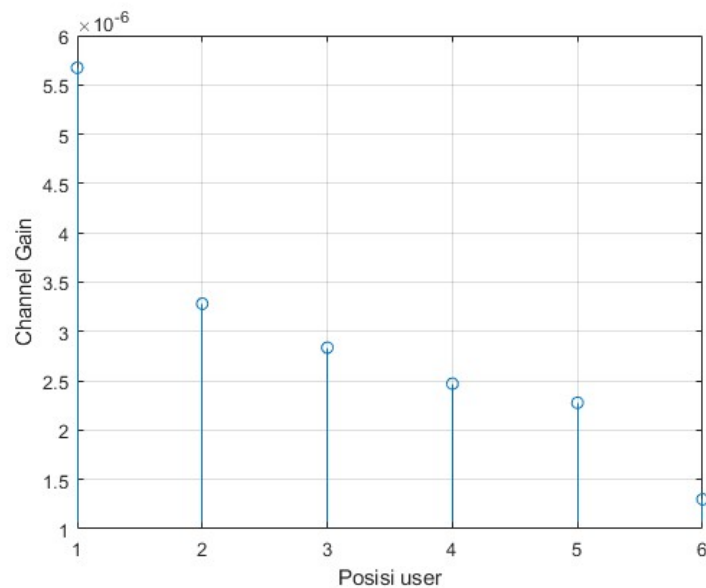
Dengan  $B_w$  adalah *bandwidth* LED.

### 3. HASIL DAN ANALISIS

Pada bagian ini membahas tentang hasil simulasi dan analisis dalam penelitian ini dengan perancangan sistem VLC untuk menganalisis dampak yang terjadi terhadap performansi *Multi-User Detection* dengan kanal NLOS dalam penerapan teknik *multiple access* yaitu NOMA. Proses diawali dengan melakukan simulasi dengan parameter yang sudah ditentukan. Simulasi menggunakan ruangan dengan dimensi  $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ . Skenario pertama membandingkan nilai *channel gain* dengan kondisi kanal tiap user, skenario kedua membandingkan nilai *receive SNR* VLC tanpa NOMA dengan NOMA-VLC pada setiap *user* dengan kanal yang berbeda, skenario ketiga membandingkan nilai *data rate* VLC tanpa NOMA dengan NOMA-VLC pada setiap *user* dengan kanal yang berbeda.

#### 3.1 Analisis *Channel Gain* Sistem

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

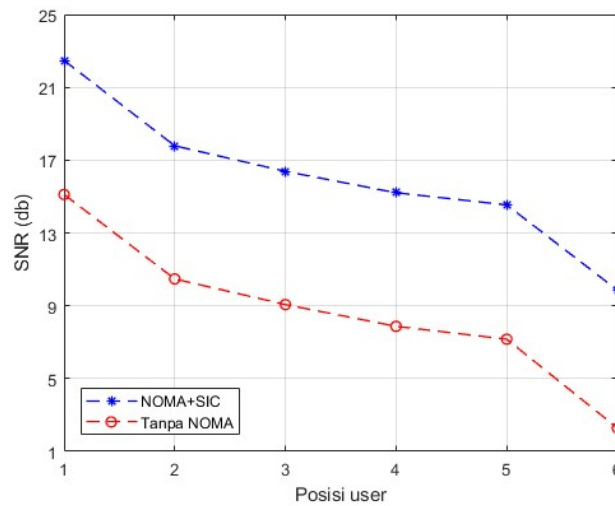


**Gambar 3. Nilai *Channel Gain* User.**

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  $5.6885 \times 10^{-6}$ . Sedangkan posisi *user* dengan kondisi kanal NLOS dengan penambahan efek bayangan menjadi *channel gain* yang terendah dengan nilai sebesar  $1.2986 \times 10^{-6}$ . Hal ini menunjukkan bahwa performansi reflektor lebih baik dibandingkan dengan efek bayangan karena *user* dengan reflektor menerima efek *multipath* yang dapat meningkatkan *gain*.

#### 3.2 Analisis Perbandingan SNR VLC Tanpa NOMA dengan NOMA-VLC

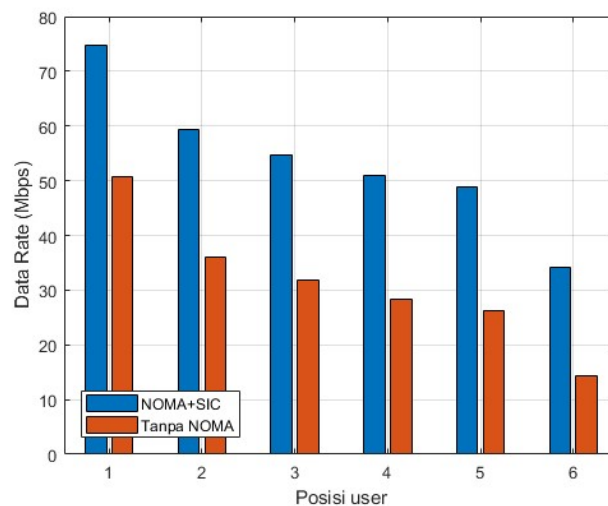
Analisis ini bertujuan untuk membandingkan hasil SNR yang diterima pada VLC tanpa NOMA dengan NOMA-VLC.



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

Gambar 4 menunjukkan tentang pengaruh posisi *user* terhadap nilai SNR dengan menggunakan NOMA dan tanpa NOMA. SNR maksimal yang dicapai pada NOMA-VLC sebesar 22.4719 dB, sedangkan pada VLC tanpa NOMA, SNR maksimal yang dicapai sebesar 15.112 dB. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa 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* membuat sinyal dapat dikirimkan secara bersamaan sehingga meningkatkan efisiensi spektral dan *Multi-User Detection* di sisi *receiver* membuat performansi menjadi lebih baik.

### 3.3 Analisis Posisi User terhadap Data Rate

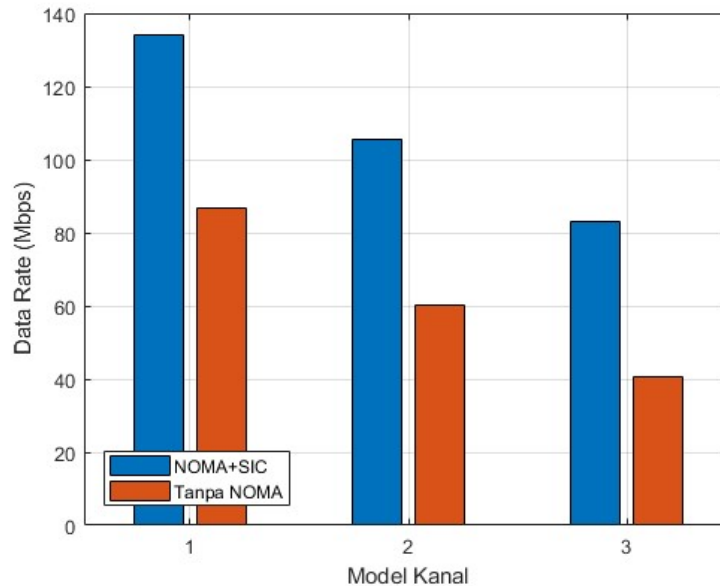


**Gambar 5. Perbandingan data rate VLC Tanpa NOMA dan NOMA-VLC.**

Gambar 5 menunjukkan mengenai pengaruh posisi *user* terhadap *data rate* yang didapat dengan perbandingan VLC menggunakan NOMA dan tanpa NOMA. *Data rate* maksimal yang dicapai pada NOMA-VLC sebesar 74.7 Mbps, sedangkan pada VCL tanpa NOMA *data rate* maksimal yang dicapai sebesar 50 Mbps. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan



bahwa NOMA mampu meningkatkan nilai *data rate* dengan peningkatan rata-rata pada tiap *user* sebesar 24 Mbps. Hal ini disebabkan NOMA memiliki efisiensi spektral yang tinggi karena terdapat proses *superimposed* di sisi pengirim dengan menggabungkan dan mengirimkan semua *user* secara bersamaan. Proses deteksi dilakukan MUD yang berupa SIC di sisi penerima untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan, sehingga setiap *user* dapat menggunakan seluruh *bandwidth* yang tersedia dengan asumsi kondisi kanal tetap dan nilai *receive* SNR sempurna sehingga meningkatkan *data rate* yang diterima. Selain itu, penelitian ini membuktikan bahwa total *data rate* meningkat sebesar 72% dari 186 Mbps menjadi 321 Mbps.



**Gambar 6. Perbandingan *Data Rate* Sistem terhadap Permodelan Kanal.**

Gambar 6 menjelaskan mengenai pengaruh kanal terhadap *data rate* yang dicapai dengan membandingkan kondisi kanal pada tiap *user*. Kanal ke-1 merupakan kanal yang terkena efek reflektor, pada penelitian ini *user* 1 dan *user* 2 berada pada kondisi kanal ini. *User* 3 dan *user* 4 berada pada kondisi kanal ke-2 yang merupakan kanal LOS. Sedangkan, pada kanal ke-3 yang merupakan kanal yang terkena efek *shadowing* terdapat *user* 5 dan *user* 6. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa kanal reflektor menghasilkan total *rate* yang lebih tinggi dalam sistem baik menggunakan NOMA maupun tidak yaitu sebesar 138 Mbps dan 86 Mbps. Hal ini dikarenakan dengan penambahan reflektor pada sistem VLC sinyal yang diterima oleh *user* yang terkena efek reflektor mendapatkan sinyal dari *multi-path*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang ekstensif menggunakan sistem NOMA-VLC dengan penerapan SIC pada kanal NLOS, teramati bahwa penggunaan NOMA-VLC mampu meningkatkan *data rate*. Berdasarkan peletakan posisi *user*, untuk *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 serta jika adanya penghalang antara sinyal dan *user* dapat mengurangi performansi dikarenakan penghalang dapat menyerap sinyal cahaya yang dikirimkan. Sistem NOMA-VLC dapat memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan sistem VLC tanpa

menggunakan NOMA karena dengan adanya *superimposed* pada *transmitter* membuat sinyal informasi yang dikirimkan dapat dilakukan secara bersamaan sehingga meningkatkan efisiensi spektral dan penggunaan SIC di sisi *receiver* membuat performansi menjadi lebih baik karena tidak ada interferensi antar sinyal *user*, oleh karena itu terjadi peningkatan total *data rate* sebesar 72% dari 186 Mbps menjadi 321 Mbps.

## DAFTAR RUJUKAN

- Armstrong, J., Green, R. J., & Higgins, M. D. (2012). Comparison of three receiver designs for optical wireless communications using white LEDs. *IEEE communications letters*, *16*(5), 748–751.
- Benjebbour, A., Saito, Y., Kishiyama, Y., Li, A., Harada, A., & Nakamura, T. (2013). Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access. *2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, 770–774.
- Dimitrov, S., Sinanovic, S., & Haas, H. (2012). Clipping noise in OFDM-based optical wireless communication systems. *IEEE Transactions on Communications*, *60*(4), 1072–1081.
- Ghassemlooy, Z., Popoola, W., & Rajbhandari, S. (2019). *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press.
- Guan, X., Yang, Q., & Chan, C.-K. (2017). Joint detection of visible light communication signals under non-orthogonal multiple access. *IEEE Photonics Technology Letters*, *29*(4), 377–380.
- Játiva, P. P., Azurdia-Meza, C. A., Cañizares, M. R., Zabala-Blanco, D., & Montejo-Sánchez, S. (2020). Performance Analysis of OFDM-Based VLC Schemes in NLOS Channels. *2020 South American Colloquium on Visible Light Communications (SACVC)*, 1–6.
- Kurniawan, P., Sujatmoko, K., & Pamukti, B. (2019). Performance of OOK-RZ and NRZ Modulation Techniques in Various Receiver Positions for Li-Fi. *2019 IEEE International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, 173–177.
- Liu, C.-H., & Liang, D.-C. (2018). Heterogeneous networks with power-domain NOMA: Coverage, throughput, and power allocation analysis. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *17*(5), 3524–3539.
- Marshoud, H., Kapinas, V. M., Karagiannidis, G. K., & Muhaidat, S. (2015). Non-orthogonal multiple access for visible light communications. *IEEE photonics technology letters*, *28*(1), 51–54.
- Putri, N. A. Y., Hambali, A., & Pamukti, B. (2019). VLC system performance evaluation with addition of optical concentrator on photodetector. *2019 IEEE International Conference*

- on Signals and Systems (ICSigSys)*, 167–172.
- Su, X., Yu, H., Kim, W., Choi, C., & Choi, D. (2016). Interference cancellation for non-orthogonal multiple access used in future wireless mobile networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2016(1), 231.
- Tao, S., Yu, H., Li, Q., & Tang, Y. (2019). Strategy-based gain ratio power allocation in non-orthogonal multiple access for indoor visible light communication networks. *IEEE Access*, 7, 15250–15261.
- Tonapa, O., Rahmiati, P., & Komba, D. (2014). Analisis Performansi Konektifitas Pada Jaringan Wireless Broadband di Bandung. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 2(2), 162.
- Wang, B., Dai, L., Zhang, Y., Mir, T., & Li, J. (2016). Dynamic compressive sensing-based multi-user detection for uplink grant-free NOMA. *IEEE Communications Letters*, 20(11), 2320–2323.
- Wang, C., Wang, L., Chi, X., Liu, S., Shi, W., & Deng, J. (2015). The research of indoor positioning based on visible light communication. *China Communications*, 12(8), 85–92.