

Cognitive Successive Interference Cancellation for Multi-User Visible Light Communication Systems

Article History:

Received

13 February 2025

Revised

3 March 2025

Accepted

9 April 2025

AMINAH INDAHSAARI MARSUKI, BRIAN PAMUKTITeknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom,
Indonesia

Center of Excellence Telecom Infra Project, Universitas Telkom, Indonesia

Email: aminahindahsarim@telkomuniversity.ac.id**ABSTRAK**

Teknologi komunikasi nirkabel terus menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan bandwidth yang tinggi serta kemampuan untuk melayani banyak pengguna. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah skema non-orthogonal multiple access (NOMA), terutama melalui penggunaan power domain (PD) dalam penerapan teknologi komunikasi cahaya tampak (VLC). Namun, PD-NOMA masih menghadapi kendala dalam hal alokasi daya dan deteksi di perangkat penerima. Kami mengusulkan metode Cognitive-SIC-VLC yang memperhatikan jalur pandang langsung (LOS) dapat diusulkan. Menggunakan teknik multiplexing gabungan, variasi posisi pengguna dalam sistem dapat menghasilkan nilai SNR (dB) yang rendah saat mendeteksi ambang batas BER 10^{-3} . Dalam tiga skenario percobaan alokasi daya, skenario ketiga merupakan yang terbaik dengan alokasi daya inisial 0,95 dan kenaikan pangkat daya pada setiap pengguna sebesar 0,05. Hal ini terbukti dengan kebutuhan SNR yang sangat kecil untuk pengguna yang dekat dengan LED.

Kata kunci: NOMA, VLC, SIC, SNR**ABSTRACT**

Wireless communication technology continues to face challenges in meeting high bandwidth demands and the capability to serve numerous users. One promising solution is the non-orthogonal multiple access (NOMA) scheme, particularly through the use of power domain (PD) in the application of visible light communication (VLC) technology. However, PD-NOMA still faces power allocation and detection issues at the receiver end. We propose the Cognitive-SIC-VLC method, which considers the line of sight (LOS). Using combined multiplexing techniques, variations in user positions within the system can result in low SNR (dB) values when detecting a BER threshold of 10^{-3} . In three power allocation experiment scenarios, the third scenario was the best with an initial power allocation of 0.95 and a power increment for each user of 0.05. This has been proven to have very low SNR requirements for users close to the LED.

Keywords: NOMA, VLC, SIC, SNRThis is an open-access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. PENDAHULUAN

Dalam era digital saat ini, kebutuhan akan komunikasi nirkabel dengan *bandwidth* besar dan kemampuan untuk melayani banyak pengguna secara simultan semakin meningkat. Teknologi komunikasi tradisional sering kali menghadapi keterbatasan dalam memenuhi permintaan ini, terutama di lingkungan yang padat pengguna **(Farhad, dkk, 2023)**. Oleh karena itu, inovasi dalam teknologi komunikasi menjadi sangat penting untuk menangani tantangan ini. Suatu alternatif solusi yang menjanjikan adalah penggunaan *non-orthogonal multiple access* (NOMA) dalam *visible light communication* (VLC) **(Lestari, dkk, 2021)**. NOMA adalah teknik akses ganda yang memungkinkan beberapa pengguna untuk berbagi sumber daya spektrum yang sama dengan cara yang lebih efisien dibandingkan dengan teknik akses ganda ortogonal tradisional. Dengan memanfaatkan perbedaan daya sinyal dan teknik dekoding yang canggih, NOMA dapat meningkatkan kapasitas sistem dan efisiensi spektrum. Kombinasi NOMA dan VLC memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan komunikasi nirkabel dengan *bandwidth* besar dan banyak pengguna, terutama di lingkungan dalam ruangan seperti perkantoran, pusat perbelanjaan, dan rumah sakit. Selain itu, NOMA pada VLC memiliki potensi untuk digunakan pada kendaraan **(Ghazijahani, 2023)**.

Namun, implementasi NOMA pada VLC juga menghadapi berbagai tantangan, seperti alokasi daya yang optimal, efek *clipping*, dan masalah interferensi. Dengan demikian, diperlukan penelitian lanjutan untuk menangani tantangan ini dan mengoptimalkan kinerja sistem NOMA-VLC. Banyak peneliti telah mengusulkan berbagai metode untuk meningkatkan kinerja VLC dari mengurangi *error* pada transmisi data hingga memperbanyak *user* **(Marsuki, dkk, 2022)(Chen, dkk, 2024)(Dwivedi, dkk, 2024)(Ibrahim, dkk, 2024)(Kushwaha, dkk, 2024)(Liaqat, dkk, 2020)(Niu, dkk, 2023)(Obeed, dkk, 2018)(Tang, dkk, 2022)**. Peneliti **(Niu, dkk, 2023)** membahas teknologi kunci untuk komunikasi cahaya tampak berbasis LED substrat silikon berkecepatan tinggi. Fokus utamanya adalah pada teknik modulasi seperti *on-off keying* (OOK) dan *pulse amplitude modulation* (PAM), serta penggunaan *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) dan pembelajaran mesin (ML-NN) untuk meningkatkan efisiensi dan kecepatan transmisi data dalam sistem komunikasi cahaya tampak.

Studi dari **(Chen, dkk, 2024)** mengusulkan desain sistem *multiplexing* gabungan divisi spasial dan panjang gelombang untuk komunikasi cahaya tampak berbasis MIMO-OFDM. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi transmisi dengan memanfaatkan teknik *multiplexing* dan demodulasi OFDM, serta mempertimbangkan skema skenario *line of sight* (LOS) dan *non-line of sight* (NLOS). Laporan dari **(Liaqat, dkk, 2020)** memberikan tinjauan tentang penggunaan PD-NOMA dalam jaringan kooperatif. Fokus utamanya adalah pada teknik deteksi dan dekoding kompleks seperti *successive interference cancellation* (SIC) untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan kapasitas jaringan, serta penerapan PD-NOMA dalam skenario *line of sight* (LOS) untuk komunikasi yang lebih andal dan efisien. Meskipun telah banyak publikasi yang memberikan kontribusi signifikan dalam bidang komunikasi cahaya tampak (VLC) dan teknik *multiple access*, terdapat beberapa kekurangan yang dapat diidentifikasi sebagai *gap research*. Sebagai contoh, salah satu studi menggunakan teknologi modulasi seperti OOK, PAM, dan OFDM telah diimplementasikan, penelitian ini kurang mengeksplorasi strategi *decoding* yang efisien untuk skenario *multi-user* yang kompleks. Peneliti lain mengusulkan sistem *multiplexing* gabungan, namun penelitian ini tidak cukup mendalami pengaruh variasi posisi *user* terhadap kinerja sistem. Sementara itu, terdapat juga artikel memberikan tinjauan komprehensif tentang PD-NOMA, tetapi tidak menawarkan solusi praktis untuk mengatasi tantangan *decoding* pada skenario dengan lebih dari dua *user*.

Untuk mengatasi kekurangan yang telah diidentifikasi, penelitian ini mengusulkan penggunaan *Cognitive-SIC* dengan strategi kemudahan dalam mengganti parameter untuk banyak *user*. Pendekatan ini memungkinkan penyesuaian parameter *decoding* secara dinamis sesuai dengan jumlah dan posisi *user*, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem VLC. Dalam penelitian ini, kami akan menguji usulan tersebut menggunakan satu buah lampu (LED) dengan lima *user*, yang merupakan peningkatan dari strategi *decoding* sebelumnya yang hanya mendukung hingga dua *user* per *transmitter*. Kami juga akan menganalisis pengaruh posisi *user* terhadap kinerja NOMA-VLC melalui tiga skenario posisi yang berbeda, serta mengukur performansi menggunakan parameter *bit error rate* (BER) dan nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) yang diperlukan untuk mencapai *error* minimal sebesar 10^{-3} .

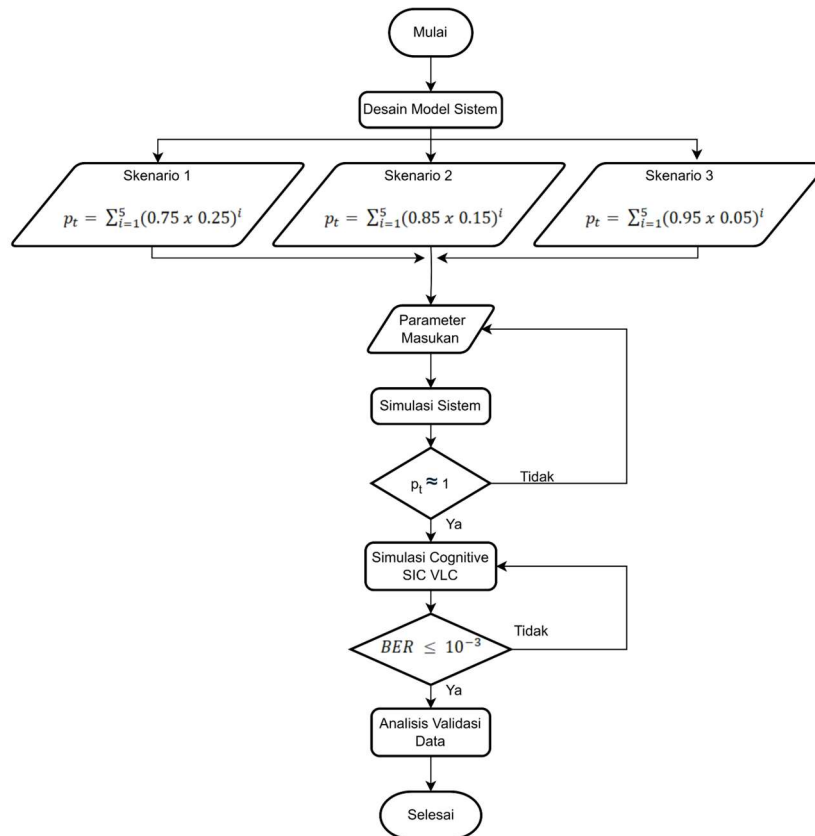
2. METODE

Dalam penelitian ini, metode yang direkomendasikan adalah "*Cognitive-SIC*" berupa kemudahan strategi untuk melakukan penggantian atau substitusi nilai parameter pada setiap pengguna. Metode ini diusulkan dengan kombinasi PD-NOMA-LOS untuk menghasilkan komunikasi yang handal dan efisien. Dengan menitikberatkan proses *decoding* yang dinamis, jumlah pengguna, posisi pengguna dan LED, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja VLC. Simulasi yang dilakukan menggunakan metode "*Cognitive-SIC*" diasumsikan memiliki 1 sumber LED, 5 *user* dengan posisi koordinat yang berbeda pada setiap skenario, dan dengan *output* nilai performansi berupa nilai BER dan SNR. Penelitian kami juga menggunakan kombinasi antara pemrograman *Python* dan pembelajaran mesin dalam melakukan analisis data. Pemilihan Bahasa pemrograman *Python* dipilih karena dapat mengolah data besar dan *library* yang luas. Dengan langkah spesifik, melakukan pengumpulan data menggunakan *pandas* dan *NumPy*. Selanjutnya, mengimplementasikan algoritma "*Cognitive-SIC*" dengan pembelajaran mesin seperti penerapan simulasi *monte carlo*, evaluasi kinerja BER, dan penggunaan data acak. Sedangkan, proses visualisasi data menggunakan *Matplotlib* dengan tujuan agar hasil ilustrasi data bersifat informatif untuk mendukung analisis data.

2.1 Diagram Alir

Pada Penelitian ini memiliki diagram alir penelitian sebagai acuan proses simulasi skema skenario penelitian dengan 3 skema skenario. Diagram alir penelitian ini, merincikan prosedur untuk mencapai tujuan penelitian menggunakan metode "*Cognitive-SIC*". Diagram penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

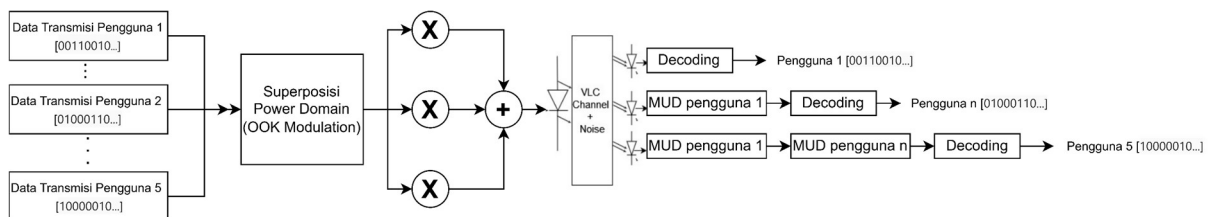
Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian yang diawali dengan proses perancangan desain dari model sistem. Model sistem yang dimaksud mengacu pada metode "*Cognitive-SIC*" yang menjadi usulan pada penelitian ini. Pada diagram alir di atas juga dapat dilihat bahwa pada penelitian ini memiliki 3 skema skenario dengan perbedaan nilai total *power* alokasi. Nilai p_t diformulasikan dengan mengacu pada nilai total *power* alokasi ≈ 1 . Parameter masukan yang dimaksud pada gambar diatas adalah seperti nilai di setiap parameter yang akan diaplikasikan, dapat diamati pada tabel 1 di bawah. Selanjutnya, akan dilanjutkan dengan simulasi sistem dengan mengacu pada metode usulan dan di akhir akan dilakukan analisis terkait hasil yang didapatkan berdasarkan skema skenario yang digunakan dengan menggunakan parameter validasi berupa nilai BER dan SNR.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem sebagai pelengkap perancangan sistem, pada penelitian ini menggambarkan blok diagram umum pada penelitian NOMA VLC (**Pratama, dkk, 2021**). Blok diagram sistem pada penelitian ini, menguraikan gambaran blok-blok sistem untuk mencapai tujuan penelitian dan mengujian metode "*Cognitive-SIC*". Dalam penelitian ini, data yang dikirimkan dalam bentuk bilangan biner menggunakan skema sistem VLC dengan implementasi algoritma metode "*Cognitive-SIC*". Diketahui bahwa bilangan biner, hanya terdiri dari 0 dan 1, yang digunakan dalam proses transmisi data melalui sinyal cahaya tampak. Berikut adalah gambar dari blok diagram keseluruhan sistem yang dimaksud :



Gambar 2. Blok diagram sistem

Gambar 2 secara detail, menggambarkan blok diagram sistem. Dari gambar di atas juga diketahui bahwa pada penelitian ini diterapkan perancangan sistem VLC guna menguji performansi *multi-user*, pada penelitian ini dengan jumlah *user* = 5, dengan kanal LOS dengan teknik *multiple access*, power domain NOMA. Dengan skema sistem VLC, data biner dikirim oleh sumber (LED) berupa cahaya dengan rentang panjang gelombang 380 – 750 nm (**Pamukti, dkk, 2022**) dan di sisi penerima menangkap sinyal cahaya dan mengubahnya kembali menjadi data biner, sesuai dengan gambar 2 di atas. Format bilangan biner

memudahkan integrasi perangkat (keras dan lunak), serta memastikan data diproses dan dianalisis secara efektif, karena teknologi VLC memungkinkan transmisi data yang cepat dan aman. Berdasarkan gambar diatas, terilustrasi tiga bagian yang merancang sistem VLC yaitu *transmitter* dengan komponen : sumber informasi, modulasi dan teknik superposisi. Kanal LOS, dan *receiver* dengan komponen penyusun : SIC, MUD, proses *decoding* dan *output* (**Pratama, dkk, 2021**). Pada skema penelitian ini MUD yang diterapkan ialah *successive interference cancellation* (SIC) dengan kombinasi usulan metode yaitu "*Cognitive-SIC*". Pada Penelitian ini memiliki blok diagram keseluruhan sistem sebagai gambaran umum terkait proses simulasi penelitian dengan 3 skema skenario yang telah dirancang sebelumnya.

2.3 Parameter Masukan

Parameter masukan pada penelitian ini adalah pembahasan nilai-nilai parameter yang digunakan dalam proses pengujian skema skenario. Acuan nilai-nilai parameter ini didapatkan dari paper (**Marsuki, dkk, 2022**) dan berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan platform pengujian dengan bahasa pemrograman *python*. Parameter masukan pada penelitian ini, akan menguraikan nilai-nilai parameter yang digunakan dalam sistem untuk mencapai tujuan penelitian dan mengujian metode "*Cognitive-SIC*". Berikut adalah tabel parameter masukan pada sistem yang dimaksud :

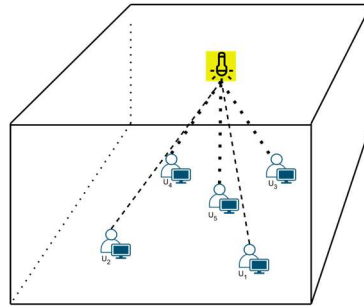
Tabel 1. Parameter masukan

Parameter	Informasi	Simbol
<i>Field of View</i>	70^0	FOV
Jumlah <i>User</i>	5	n
Total LED	1	led
<i>Multiple Access Channel</i>	<i>Non-Orthogonal Multiple Access</i>	$NOMA$
Sudut Pancaran Cahaya	<i>Line of Sight</i>	los
Dimensi Ruangan	60^0	ϕ_{hf}
Area <i>Photodetector</i>	5m x 5m x 2,5m	$p \times l \times h$
Indeks Bias	0.001	A_r
Jumlah Bit	1.45	$index$
Jumlah Putaran <i>Monte Carlo</i>	100.000	N_{bit}
Laju <i>Rate Data</i>	10	m_c
<i>Power Transmit</i>	1 Gbps	R_b
	2 watt	p_t

Tabel 1 menampilkan nilai-nilai parameter masukan yang digunakan dan diatur pada penelitian ini. Nilai-nilai yang didapatkan melalui proses pengujian skema skenario. Sebagai contoh penggunaan 1 LED sebagai sumber didasarkan pada penelitian lain (**Li, dkk, 2019**). Adapun pembahasan nilai-nilai parameter lain yang digunakan dalam proses pengujian skema skenario ini dilengkapi dengan simbol. Sebagai contoh, simbol R_b adalah nilai laju rate data (data rate) pada sistem VLC.

2.4 Desain Simulasi Sistem

Desain Simulasi sistem ini akan menggambarkan ilustrasi dari penggunaan ruangan 3 dimensi dan juga penjelasan terkait pseudocode dari metode "*Cognitive-SIC*" sebagai metode usulan pada penelitian ini. Gambaran desain sistem dalam penelitian ini, sebagai berikut :



Gambar 3. Ilustrasi desain simulasi sistem ruangan 3 dimensi

Gambar 3 memproyeksikan tampilan ruangan 3 dimensi dengan 1 LED sebagai *transmitter* dan 5 *user* sebagai *receiver*, dengan pemodelan sistem *downlink*. Pada ilustrasi di atas juga dapat ditarik kesimpulan, menggunakan kanal LOS karena tidak terdapat penghalang. Seperti yang dijelaskan bahwa dimensi ruangan telah ditampilkan ditabel parameter masukan. Selanjutnya adalah pembahasan terkait *pseudocode* dari metode "**Cognitive-SIC**" yang ditawarkan pada penelitian ini, adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Pseudocode cognitive SIC VLC

Algoritma Cognitive SIC VLC	
1. Inisialisasi	Menentukan jumlah <i>user</i> , i Menentukan sinyal yang diterima, p_t $p_t = n \text{ daya kirim} + \text{noise}$ Menentukan level <i>power</i> setiap <i>user</i> , pow_{user} $pow_{user} = p_t \times \sqrt{r_{pa}}$ Menentukan urutan <i>decoding</i> berdasarkan level <i>power</i> $[P_1, P_2, P_3, P_4, \dots \dots P_n]$
2. Untuk setiap <i>user</i> i dalam urutan <i>decoding</i>	Decode sinyal untuk <i>user</i> i : Estimasi sinyal untuk <i>user</i> i ($spc[i,:]$): $spc[i,:] = \frac{p_t}{h[i]}$ Kurangi sinyal yang diestimasi dari sinyal yang diterima : $p_t = p_t - pow_{user}[i] \times mod[i,:] \times h[i]$ Jika sinyal untuk <i>user</i> i berhasil di-decode : Simpan sinyal yang telah di-decode ($yhat[i,:]$) : $yhat[i,:] = (spc[i,:] < 0. \text{astype(int)})$ Jika tidak, ditandai tidak dapat di-decode
3. Output sinyal yang telah di-decode untuk semua <i>user</i>.	Menghitung <i>bit error rate</i> setiap <i>user</i> : Untuk setiap <i>user</i> op: $bitter = (yhat[op,:] \neq bit[op,:]). \text{astype(int)}$ $ber[op, kp] = \frac{n_{bitter}}{N_{bit}}$ Simpan hasil BER untuk setiap iterasi <i>monte carlo</i> : $ber_{mc}[m,:] = avg_{ber}$ Hitung rata-rata BER dari semua iterasi <i>monte carlo</i> : $avg_{ber} = avg_{ber_{mc}}$ Return hasil : Return $\leftarrow avg_{ber}$

Algoritma 1 sebelumnya, menyajikan *pseudocode* sebagai gambaran logika berpikir dari metode **Cognitive SIC VLC**. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pemahaman alur program terhadap metode yang diusulkan pada penelitian ini (**Pamukti, dkk, 2025**). Penamaan metode pada penelitian ini, didasarkan pada fungsi fitur yang lebih fleksibel dan dapat disesuaikan untuk berbagai kebutuhan simulasi SIC VLC. Dengan fungsi *Cognitive* ini dapat dengan mudah menyesuaikan parameter seperti rentang nilai SNR (dB), jumlah bit, jumlah *user*, nilai *power* alokasi, dan parameter lainnya sesuai dengan kebutuhan simulasi yang akan diujikan.

2.5 Parameter Pengujian Data

Parameter pengujian data ini adalah validasi data untuk mengelolah dan menganalisis metode "**Cognitive-SIC**" sebagai metode usulan pada penelitian ini. Secara umum, penelitian ini berkaitan dengan penerapan VLC dengan karakteristik LOS. Tingkat kesalahan bit dalam sistem komunikasi akan relatif kecil dikarenakan tidak terdapat penghalang antara LED sebagai sumber dan *user*. Selanjutnya parameter yang dibutuhkan adalah *lambertian* (m) :

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

Berdasarkan Persamaan 1, m melambangkan *lambertian* dengan formula rumusan fungsi *logaritmik*, dan θ mewakili nilai sudut. Selanjutnya, pada usulan metode penelitian ini menggunakan kanal LOS, dengan persamaan kanal LOS adalah :

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

Persamaan 2 merupakan formula untuk mencari nilai HLOS, m adalah nilai indeks modulasi, A_e adalah area efektif, Φ merupakan nilai sudut, dan d adalah nilai jarak. Pada persamaan 1 dan 2 (**Pratama, dkk, 2021**) merupakan 2 variabel awal yang dibutuhkan pada penerapan metode usulan "**Cognitive-SIC**". Terdapat parameter pengujian lainnya yang dibutuhkan yaitu SNR dan BER. Persamaan SNR merupakan nilai perbandingan antara daya sinyal yang dikirimkan dengan nilai daya noise pada sistem. Berikut adalah persamaan yang dimaksud :

$$SNR = \frac{h_k (p_{rx} \cdot R)^2 \cdot \alpha}{\sigma^2 n k} \quad (3)$$

$$BER = \frac{\exp(Q^2/2)}{Q\sqrt{2n}} \quad (4)$$

Persamaan 3 dan 4 merupakan formula matematis yang digunakan sebagai persamaan dasar untuk mengimplementasikan metode usulan "**Cognitive-SIC**" pada penelitian ini. Koefisien Q adalah nilai muatan elektron, R adalah responsivitas fotodetektor, h_k adalah penguatan saluran/kanal, adapun koefisien lain adalah nilai daya terima (**Marsuki, dkk, 2022**).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menampilkan dan memaparkan hasil yang diperoleh berdasarkan pengujian skema skenario. **Cognitive SIC VLC** merupakan skema yang ditawarkan pada penelitian ini, dengan jumlah skenario sebanyak 5 jenis. Pada setiap skenario yang diujikan akan memiliki perbedaan pada bagian nilai power alokasi yang digunakan. Variabel power alokasi pada skema SIC VLC

akan memproyeksikan nilai *fairness* (Putra, dkk, 2020) untuk data *rate* pada setiap *user* didasarkan dengan nilai kanal LOS (Lestari, dkk, 2021) yang didapatkan dari pengujian. Pada setiap skema percobaan yang dilakukan memiliki karakteristik tersendiri. Dalam merealisasikan skema skenario yang ditawarkan, maka berikut adalah tabel parameter uji yang dimaksudkan :

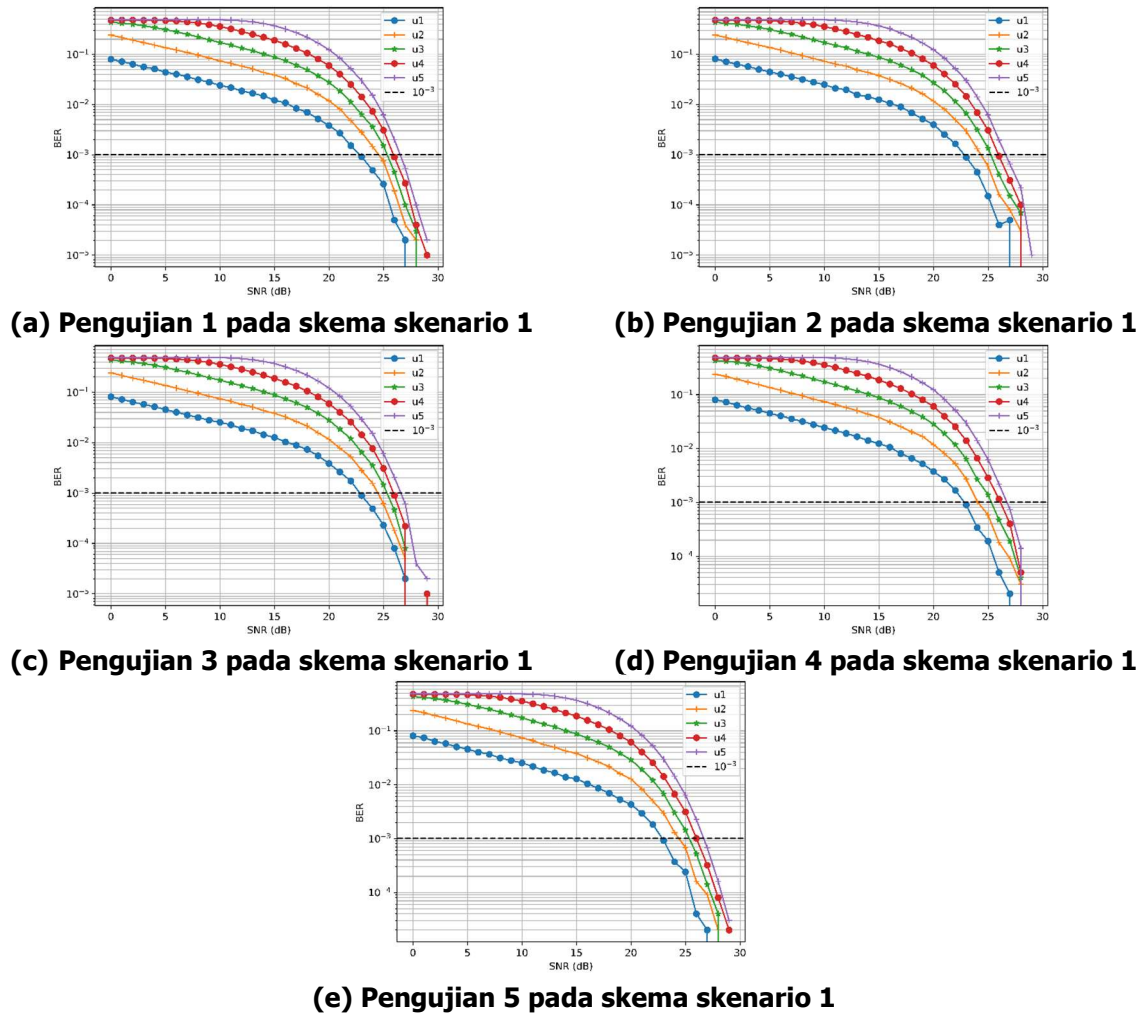
Tabel 3. Parameter pengujian skema skenario

Parameter	Pengujian	Simbol	Nilai (m)
Koordinat Pengguna	1	x_1, y_1, z_1	$U_1 = 0.5, -0.5, 0.5 ; U_2 = -0.5, -0.5, 0.4 ; U_3 = 0.5, 0.5, 0.3 ; U_4 = -0.5, 0.5, 0.2 ; U_5 = 0, 0, 0.1$
	2	x_2, y_2, z_2	$U_1 = 1, -1, 0.5 ; U_2 = -1, -1, 0.4 ; U_3 = 1, 1, 0.3 ; U_4 = -1, 1, 0.2 ; U_5 = 0, 0, 0.1$
	3	x_3, y_3, z_3	$U_1 = 1.5, -1.5, 0.5 ; U_2 = -1.5, -1.5, 0.4 ; U_3 = 1.5, 1.5, 0.3 ; U_4 = -1.5, 1.5, 0.2 ; U_5 = 0, 0, 0.1$
	4	x_4, y_4, z_4	$U_1 = 2, -2, 0.5 ; U_2 = -2, -2, 0.4 ; U_3 = 2, 2, 0.3 ; U_4 = -2, 2, 0.2 ; U_5 = 0, 0, 0.1$
	5	x_5, y_5, z_5	$U_1 = 2.5, -2.5, 0.5 ; U_2 = -2.5, -2.5, 0.4 ; U_3 = 2.5, 2.5, 0.3 ; U_4 = -2.5, 2.5, 0.2 ; U_5 = 0, 0, 0.1$

Pada tabel 2 di atas, disajikan nilai setiap parameter yang digunakan pada skema skenario yang diujikan. Jika diperhatikan nilai pengujian dipengaruhi oleh nilai koordinat pengguna (Marsuki, dkk, 2022; Bagaswara, dkk, 2023). Nilai koordinat yang didapatkan dan diujikan pada skema skenario ini sudah dilakukan beberapa percobaan untuk menemukan nilai yang sesuai. Simulasi ini menggunakan jenis ruangan 3 dimensi, untuk menggambarkan keadaan sebenarnya di dunia nyata. Dari hasil percobaan pengujian yang dilakukan sebanyak 5 jenis skema skenario dengan masing-masing 5 kali pengujian dan menggunakan 5 *user*. Pengujian skema skenario ini diusulkan dengan nilai kebaruan, antara lain dengan dilengkapi fungsi baru yang dapat mengubah nilai tanpa harus mengubah *code* utama. **Cognitive SIC VLC** juga menggunakan operasi vektor dan matriks dengan tujuan mempercepat perhitungan dan mengurangi kompleksitas *code* dengan struktur *code* pemisahan logika simulasi. Maka didapatkan hasil pengujian, sebagai berikut :

3.1 Pengujian Skema Skenario 1

Secara umum, pada pengujian skema skenario 1 ini memiliki karakteristik pada variabel substitusi berupa nilai pada konstanta r_{pa} yaitu menunjukkan nilai dari *power* alokasi. Variabel substitusi ini dipilih menjadi skema skenario dikarenakan, pembagian *power* alokasi dapat mempengaruhi nilai dari SNR (dB) (Wang, dkk, 2021). Skema skenario 1 ini dirancang dengan 5 kali percobaan, dengan melakukan substitusi nilai dari konstanta a dan b . Nilai a dan b dimaksudkan untuk mengilustrasikan posisi pengguna dalam ruangan (*indoor*). Sedangkan nilai konstanta c akan konstanta degradasi dari nilai 0.5 - 0.1 meter. Percobaan skema skenario pada penelitian ini menggunakan SIC sebagai teknik pemrosesan sinyal komunikasi antar banyak *user* (Dwivedi, dkk, 2024). Pemilihan teknik SIC mengilustrasikan proses *decoding* sebagai tahapan yang paling penting dalam proses transmisi informasi. Selanjutnya penggabungan teknik SIC dengan VLC sebagai jenis komunikasi yang menggunakan cahaya tampak, dengan *bandwidth* lebar dan merupakan inovasi dari komunikasi nirkabel (Fasya, dkk, 2023). Adapun hasil dari Pengujian Skema Skenario 1, adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Kurva garis perbandingan nilai SNR (dB) dan BER pada skema skenario 1 (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3, (d) Pengujian 4, (e) Pengujian 5.

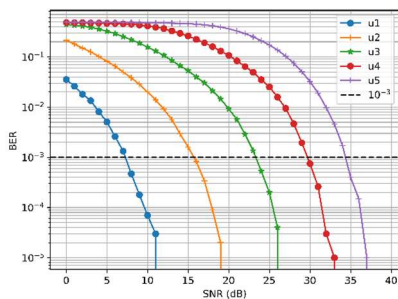
Gambar 4 memproyeksikan hasil yang didapatkan melalui 5 kali percobaan menggunakan skema skenario 1. Secara detail nilai *power* alokasi yang digunakan pada skema 1 ini, menggunakan persamaan $r_{pa} = 0.75 \times (0.25)^n$. Nilai n merupakan nilai dari setiap *user*, dalam percobaan ini menggunakan 5 *user*. Terlihat pada gambar 4 memproyeksikan hasil kurva perbandingan nilai SNR (dB) dan BER disetiap percobaan serta proyeksi hasil diagram batang nilai antar *user* dengan gambaran hubungan nilai SNR (dB) dan $\log(\text{BER})$. Jika diperhatikan, nilai yang dihasilkan pada gambar 4 masih memiliki gap nilai dan dibutuhkan simulasi lain untuk menggambarkan pengaruh *power* alokasi dalam simulasi menggunakan metode **Cognitive SIC VLC**, sehingga dibutuhkan pengujian dengan skema berbeda.

Pada Gambar 4 menjelaskan kinerja dari setiap hasil skenario 1 yang disajikan dalam data berupa kurva sebagai rangkuman kinerja. Gambar 4 (a)-(e) mengilustrasikan perbedaan performansi pada *user* 1 – *user* 5. Gambar kurva garis diatas menggambarkan hubungan antara sumbu x yang merepresentasikan nilai SNR (dB) dan sumbu y yang merepresentasikan nilai BER. SNR merupakan parameter yang dapat mengilustrasikan perbandingan antara kekuatan sinyal yang diterima oleh *user* dengan jumlah gangguan dan kebisingan (**H.D, dkk, 2023**). Nilai SNR yang lebih besar berarti sinyal lebih kuat dibandingkan nilai *noise*, dalam satuan desibel (dB). Sedangkan, BER adalah nilai rasio antara nilai *error* dengan bit yang ditransmisikan secara keseluruhan dalam sistem (**Prakoso, dkk, 2021**). Dengan indikator bahwa nilai BER yang lebih rendah berarti kualitas transmisi yang lebih baik. Saat nilai SNR

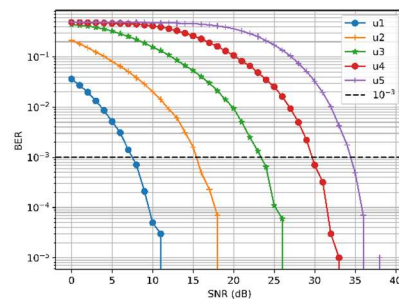
rendah maka nilai BER cenderung besar, disebabkan karena nilai *noise* lebih besar dibandingkan sinyal sehingga menyebabkan banyaknya kesalahan bit. Sebaliknya, saat nilai SNR besar, nilai BER akan menurun karena sinyal mendominasi sistem dibandingkan *noise* dan kesalahan bit akan berkurang.

3.2 Pengujian Skema Skenario 2

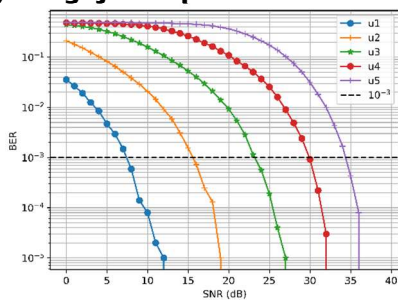
Melakukan skema *power* alokasi secara dinamis menggunakan sistem skema NOMA dapat menjadi alternatif solusi yang potensial dalam meningkatkan efisiensi dan *fairness* dalam sistem jaringan komunikasi nirkabel (**Kushwaha, dkk, 2024**). Selanjutnya, pada skema skenario 2 ini melakukan formula persamaan $r_{pa} = 0.85 \times (0.15)^n$. Nilai n merupakan nilai dari setiap *user*, dalam percobaan ini menggunakan 5 *user*. Pengujian dengan skema skenario 2 dilakukan untuk melihat pengaruh dari proses substitusi nilai konstanta r_{pa} . Pada skema skenario 2 ini dilakukan 5 kali percobaan dengan substitusi nilai konstanta r_{pa} . Setelah, melakukan formula persamaan diatas maka didapatkan hasil pengujian skema skenario 2, sebagai berikut :



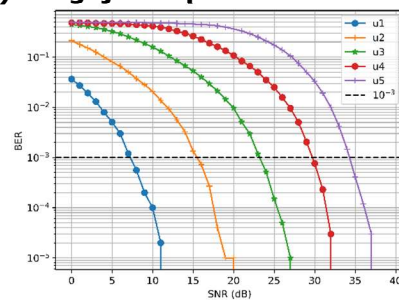
(a) Pengujian 1 pada skema skenario 2



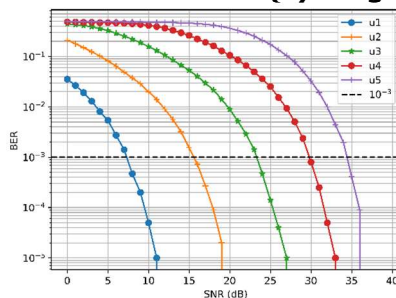
(b) Pengujian 2 pada skema skenario 2



(c) Pengujian 3 pada skema skenario 2



(d) Pengujian 4 pada skema skenario 2



(e) Pengujian 5 pada skema skenario 2

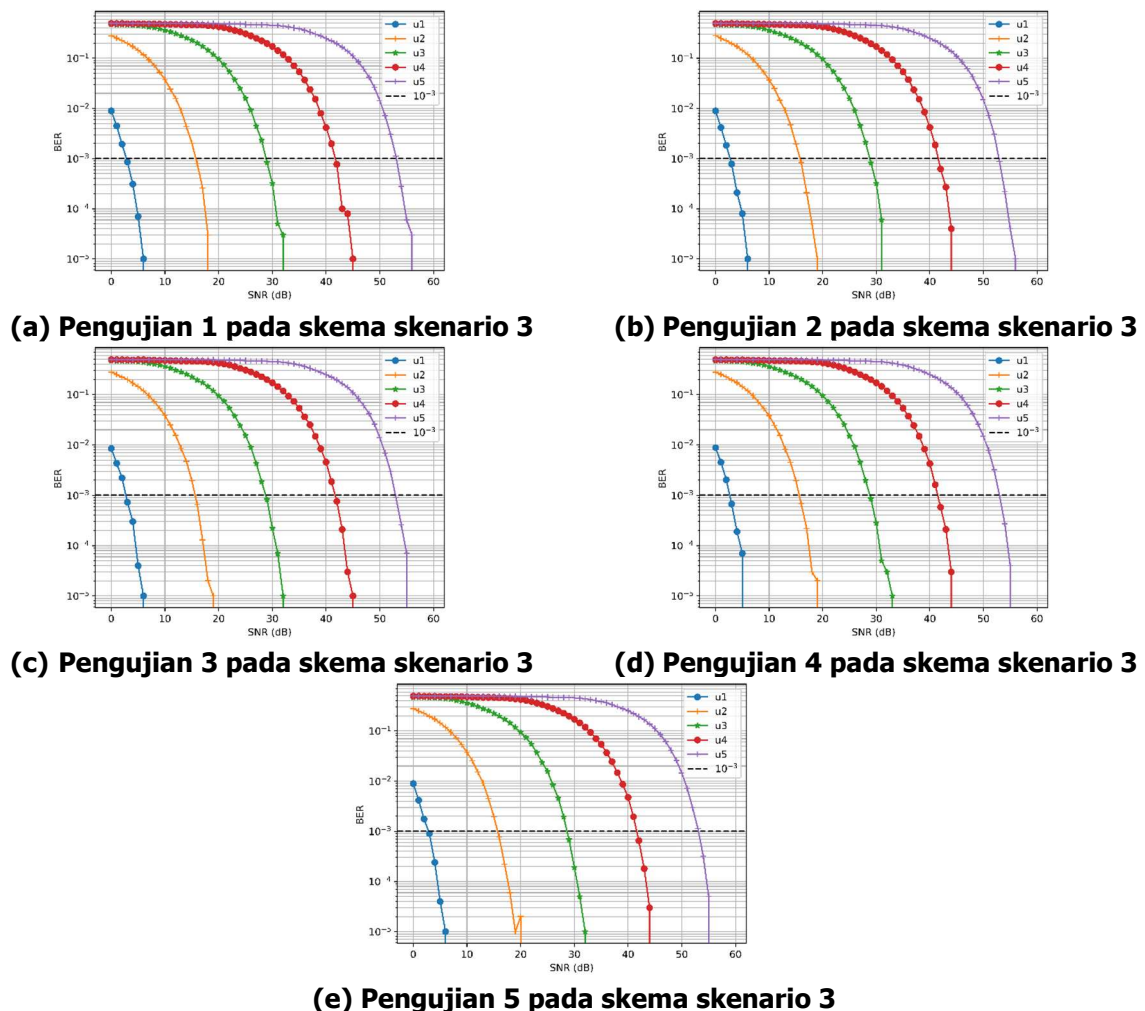
Gambar 5. Kurva garis perbandingan nilai SNR (dB) dan BER pada skema skenario 2 (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3, (d) Pengujian 4, (e) Pengujian 5.

Pada gambar 5 diatas merupakan hasil proyeksi hasil yang ditampilkan dalam bentuk kurva garis berupa nilai perbandingan SNR (dB) dan BER pada setiap percobaan. Selain kurva garis disajikan juga hasil berupa proyeksi diagram batang antar *user* dengan gambaran hubungan nilai SNR (dB) dan $\log(\text{BER})$. Distribusi *power* alokasi yang dilakukan secara optimal akan menghasilkan nilai total *power* alokasi bernilai 1. Tetapi perlu diperhatikan juga bahwa istilah

interferensi dalam sistem komunikasi akan membentuk algoritma yang bersifat *iterative* sehingga dapat mencapai nilai *power* alokasi yang optimal (**Obeed, dkk, 2018**). Berdasarkan pernyataan diatas maka, formula persamaan nilai r_{pa} dapat disimulasikan untuk mendapatkan $nilai\ total = 1$.

3.3 Pengujian Skema Skenario 3

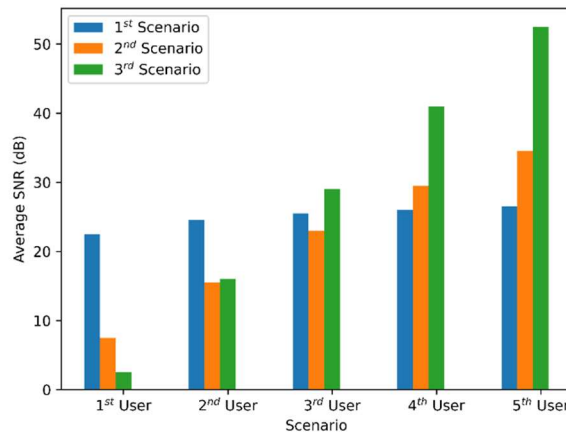
Skema skenario terakhir yang diformulakan dan diujikan pada penelitian ini adalah persamaan nilai $r_{pa} = 0.95 \times (0.05)^n$. Persamaan *power* alokasi pada skema skenario 3 ini adalah yang terakhir dikarenakan nilai maksimal atau nilai total yang harus dihasilkan adalah bernilai 1. Penerapan teknik *power* alokasi yang dilakukan dapat dikategorikan sebagai proses dengan kompleksitas yang rendah (**Ibrahim, dkk, 2024**), hal ini disebabkan karena proses iterasi. Teknik *power* alokasi yang efisien dimaksudkan agar dapat meninjau bahwa satu sumber dengan daya pancar dapat didistribusikan secara optimal ke-5 *user* sekaligus, sehingga dapat memaksimalkan kinerja sistem pada proses komunikasi. Berikut adalah gambaran hasil yang diperoleh dari pengujian skema skenario 3 :



Gambar 6. Kurva garis perbandingan nilai SNR (dB) dan BER pada skema skenario 3 (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3, (d) Pengujian 4, (e) Pengujian 5.

Sama halnya dengan skema skenario sebelumnya, gambar 6 juga disajikan untuk memproyeksikan hasil pengujian. Gambar yang disajikan juga lengkap berisi kurva garis yang dapat menjelaskan hubungan nilai antara SNR (dB) dan BER. Secara umum, metode *power* alokasi yang dipilih dan dirancang dalam melakukan proses alokasi untuk *user* dengan nilai

channel gain yang buruk atau bernilai kecil. Dengan tujuan agar dapat melakukan peningkatan transfer kecepatan data *user* dan mengurangi efek jarak dekat serta tidak menurunkan kinerja *user* lainnya (Prasad, dkk, 2019). Dengan tersajinya seluruh gambar untuk memproyeksikan hasil dari skema skenario 1 sampai 3, maka pada penelitian ini juga disajikan bentuk diagram batang untuk memproyeksikan nilai rata-rata. Berikut adalah tampilan diagram batang yang menggambarkan hubungan antara nilai rata-rata SNR dalam satuan dB terhadap 3 skema skenario pengujian dengan 5 kali percobaan disetiap skema skenarionya :



Gambar 7. Nilai rata-rata SNR (dB) pada setiap skema skenario dengan 5 *user*.

Gambar 7 adalah hasil proyeksi hasil nilai rata-rata yang didapatkan melalui proses pengujian skema skenario 1 sampai dengan 3. Gambar ini disajikan untuk melihat perbandingan dan memudahkan dalam menentukan skema skenario yang terbaik untuk diujikan lebih lanjut. Sehingga, metode *Cognitive SIC VLC* sebagai usulan pada penelitian ini lebih baik dalam melakukan proyeksi menggunakan skema skenarion 3. Dalam tiga skenario percobaan *power* alokasi, skenario ketiga merupakan yang terbaik dengan inisial 0,95 dan kenaikan pangkat *power* pada setiap *user* sebesar 0,05. Hal ini terbukti dengan kebutuhan SNR yang sangat kecil untuk *user* yang dekat dengan LED. Hal ini dikarenakan hasil proyeksi gambar yang dihasilkan konsisten mengalami peningkatan nilai rata-rata SNR (dB). Sedangkan skema skenario 1 nilai proyeksi yang dihasilkan tidak tergambar konsisten atau hanya memiliki kenaikan yang sangat kecil. Selanjutnya, jika dilihat dari penetapan koordinat *user* dalam percobaan baiknya menggunakan koordinat (2.5, 2.5, 0.1). Nilai yang diproyeksikan mengalami peningkatan yang signifikan dan konsisten. Hal ini dapat menjadi proyeksi hasil bahwa koordinat (2.5, 2.5, 0.1) pada setiap skema skenario untuk *user* kelima lebih baik dibandingkan koordinat *user* lainnya. Tetapi jika dilihat dari pengaruh atau hubungan antara nilai SNR (dB) dan BER, maka titik koordinat terbaik yang diujikan adalah titik koordinat *user* 1. Titik koordinat yang dimaksud adalah (0.5, -0.5, 0.5). Nilai koordinat ini dapat menghasilkan nilai SNR yang terkecil saat nilai threshold $BER \leq 10^{-3}$.

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas, terdapat beberapa langkah penting dalam pengembangan penelitian di masa mendatang. Pertama, peningkatan laju data menjadi 1 – 10 Gbps untuk memaksimalkan proses transmisi data. Selanjutnya, integrasi *artificial intelligence* (AI) dalam penerapan sistem VLC, yang diharapkan dapat mengoptimalkan teknik modulasi, pengurangan kesalahan transmisi, dan peningkatan adaptabilitas sistem. Dengan demikian, kombinasi teknologi VLC dan AI tidak hanya akan meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem, tetapi juga membuka peluang baru untuk aplikasi komunikasi yang inovatif. Secara umum, langkah ini diharapkan dapat membawa penelitian ke tingkat yang lebih tinggi,

dengan pengembangan solusi komunikasi yang lebih cepat, aman, dan efektif untuk berbagai kebutuhan modern.

4. KESIMPULAN

Teknologi komunikasi nirkabel menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang besar serta harus mampu melayani banyak pengguna. Oleh karena itu, diperlukan solusi teknologi seperti NOMA dalam penerapan teknologi VLC. Dengan penerapan teknik deteksi dan *decoding* yang kompleks, SIC merupakan salah satu teknik yang dapat diterapkan. Memperhatikan kanal LOS yang digunakan, *Cognitive-SIC-VLC* menjadi solusi metode yang diusulkan. Teknik *multiplexing* gabungan, variasi posisi *user* pada kinerja sistem dapat menghasilkan nilai SNR (dB) yang rendah saat mendeteksi *threshold* BER 10^{-3} . Dalam tiga skenario percobaan *power* alokasi, skenario ketiga merupakan yang terbaik dengan *power* alokasi inisial 0,95 dan kenaikan pangkat *power* pada setiap *user* sebesar 0,05. Pengujian skema skenario 3 pada koordinat (2.5, 2.5, 0.1) menunjukkan peningkatan signifikan dan konsisten, sehingga menjadikannya pilihan terbaik untuk *user* kelima dalam berbagai skenario. Namun, untuk hubungan antara SNR (dB) dan BER, koordinat (0.5, -0.5, 0.5) adalah koordinat dengan posisi terbaik, yang menghasilkan nilai SNR terendah saat *threshold* BER $\leq 10^{-3}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih atas fasilitas yang disediakan oleh Center of Excellence Telecom Infra Project, Universitas Telkom, Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Alizadeh Ghazijahani, H. (2023). On the performance analysis of NOMA-based vehicular visible light communication systems. *Results in Optics*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2023.100481>
- Aminah Indahsari Marsuki, Akhmad Hambali, B. P. (2022). The Performance of Visible Light Communication Bit Error Rate with Power Allocation Strategy. *[CEPAT] Journal of Computer Engineering: Progress, Application and Technology*, 1(01), 1. <https://doi.org/10.25124/cepat.v1i01.4818>
- Bima Surya Pratama, Nachwan Mufti Adriansyah, B. P. (2021). Analisis Performansi Multi User Detection pada Kanal NLOS untuk Sistem NOMA-VLC. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 482. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.482>
- Chen, C., Huang, S., Tavakkolnia, I., Safari, M., & Haas, H. (2024). Spatial and Wavelength Division Joint Multiplexing System Design for MIMO-OFDM Visible Light Communications. *IEEE Access*, 12, 109526–109543. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3439407>

- Diah Ayu Lestari, Arfianto Fahmi, B. P. (2021). Alokasi Daya Kirim pada Visible Light Communication menggunakan Algoritma Waterfilling. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(1), 137. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i1.137>
- Dwivedi, N., Kumar, S., Tanwar, S., & Tyagi, S. (2024). DCO-FBMC-based VLC NOMA with SIC cancellation: enhancing multi-user communication efficiency. *Journal of Optics (India)*. <https://doi.org/10.1007/s12596-024-02237-7>
- Farhad, A., & Pyun, J. Y. (2023). Terahertz Meets AI: The State of the Art. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/s23115034>
- Gary Bagaswara, Erna Sri Sugesti, M. I. M. (2023). Analisis Dan Perancangan Sistem Visible Light Communication (Analyzing and Designing Visible Light Communication System in School of Electrical Engineering Meeting Room At Telkom University Landmark Tower). *E-Proceeding of Engineering*, 11(2), 503–512.
- Ibrahim, H. S., Abaza, M., Mansour, A., & Alfalou, A. (2024). Performance Analysis of Power Allocation and User-Pairing Techniques for MIMO-NOMA in VLC Systems. *Photonics*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/photonics11030206>
- Isti Fasya, Akhmad Hambali, B. P. (2023). Penentuan Indoor Positioning System (IPS) menggunakan Metode Received Signal Strength (RSS) untuk Visible Light Communication (VLC). *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(2), 325. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i2.325>
- Kushwaha, A., & Khurana, A. (2024). A REVIEW PAPER ON THE DYNAMIC POWER ALLOCATION IN NOMA FOR 5G COMMUNICATION. 09, 978–983.
- Li, Q., Shang, T., Tang, T., & Dong, Z. (2019). Optimal Power Allocation Scheme Based on Multi-Factor Control in Indoor NOMA-VLC Systems. *IEEE Access*, 7, 82878–82887. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2924027>
- Liaqat, M., Noordin, K. A., Abdul Latef, T., & Dimyati, K. (2020). Power-domain non orthogonal multiple access (PD-NOMA) in cooperative networks: an overview. *Wireless Networks*, 26(1). <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1807-z>
- Ni Ketut H.D, Ayurisa Monaretta Konadi, F. H. (2023). Analisis Pengaruh Penggunaan AAU pada Swap RRU terhadap Kualitas Layanan Telekomunikasi di Wilayah Puskom Cibeureu Cimahi. *Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 21.
- Niu, W., Xu, Z., Liu, Y., Lin, X., Cai, J., Shi, J., Wang, X., Wang, G., Zhang, J., Jiang, F., He, Z., Yu, S., Shen, C., Zhang, J., & Chi, N. (2023). Key Technologies for High-Speed Si-

- Substrate LED Based Visible Light Communication. *Journal of Lightwave Technology*, 41(11). <https://doi.org/10.1109/JLT.2023.3252005>
- Obeed, M., Salhab, A. M., Zummo, S. A., & Alouini, M. S. (2018). Joint optimization of power allocation and load balancing for hybrid VLC/RF networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, 10(5), 553–562. <https://doi.org/10.1364/JOCN.10.000553>
- Pamukti, B., Adriansyah, N. M., & Niladbrata, R. F. (2022). Evaluasi Coded Random Access untuk Visible Light Communication pada Model Kanal Non-Line Of Sight. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(2), 405. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i2.405>
- Pamukti, B., Afifah, S., Liaw, S. K., Sung, J. Y., & Chu, D. (2025). Intelligent Pattern Recognition Using Distributed Fiber Optic Sensors for Smart Environment. *Sensors*, 25(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/s25010047>
- Prasad, B. S., & Narayana, E. V. (2019). Power Allocation Methods for NOMA based Visible Light Communication. *Power*, 6(09), 1108–1112.
- Putra, R. F., Adriansyah, N. M. B. P. (2020). Alokasi Sumber Daya Dengan Orientasi Acak Menggunakan Metode Algoritma Greedy Pada Visible Light Communication. *E-Proceeding of Engineering*, 7(3), 8810–8817.
- Prakoso, R. P., Wahyudi, E., K. M. (2021). Optimalisasi Bit Error Rate Jaringan Optik Hybrid pada Sistem DWDM Berbasis Soliton. *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, 03, 64–72. <https://doi.org/10.20895/JTECE.V3I2.320>
- Tang, T., Shang, T., Li, Q., Li, G., & Bai, B. (2022). Energy-efficient subchannel assignment and power allocation in VLC-IoT systems with SLIPT. *Optics Express*, 30(22), 39492. <https://doi.org/10.1364/oe.469696>
- Wang, F., & Li, H. (2021). Power Allocation for Coexisting Multicarrier Radar and Communication Systems in Cluttered Environments. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 1603–1613. <https://doi.org/10.1109/TSP.2021.3060003>