

# Perbandingan Kinerja Grpa Dan Spa Pada Kanal Los Untuk Sistem Noma Komunikasi Cahaya Tampak Di Bawah Air

1<sup>st</sup> Luthfi Nur'adli  
Universitas Telkom  
Fakultas Teknik Elektro  
Bandung, Indonesia  
luthfinuradli@student.telkomuniver  
sity.ac.id

2<sup>nd</sup> Luthfi Nur'adli  
Universitas Telkom  
Fakultas Teknik Elektro  
Bandung, Indonesia  
arfiantof@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Brian Pamukti  
Universitas Telkom  
Fakultas Teknik Elektro  
Bandung, Indonesia  
brianp@telkomuniversity.ac.id

## Abstrak

*Underwater visible light communication (UVLC)* merupakan komunikasi jaringan tanpa kabel dimana informasi dikirimkan dengan media cahaya melalui gelombang tampak, dalam hal ini sumber cahaya berasal dari *light emitting diode (LED)*. UVLC memiliki beberapa keterbatasan salah satunya yaitu sempitnya *bandwidth*. UVLC mengalami pembagian *bandwidth* modulasi untuk dialokasikan terhadap setiap pengguna. Pembagian *bandwidth* ini sehingga berdampak dalam kapasitas sistem. Pada Tugas Akhir ini menganalisis performa kinerja dua metode alokasi daya dalam medium air, diantaranya *gain ratio power allocation (GRPA)* dan *static power allocation (SPA)*. Selain itu dilakukan penelitian terhadap pengaruh *user fairness* terhadap *sumrate* pada model sistem NOMA-UVLC. Dalam hasil penelitian diperoleh pada sistem NOMA-UVLC nilai alokasi daya GRPA lebih stabil dibandingkan dengan alokasi daya SPA. Kemudian dengan diterapkannya residu pada proses *successive interference cancellation (SIC)* akan mengakibatkan penurunan kapasitas sistem jika dibandingkan tidak mengalami residu pada proses SIC. Selain itu dengan bertambahnya *sumrate* pada sistem NOMA-UVLC berdampak pada penurunan keadilan setiap pengguna.

**Kata Kunci :** *Underwater Visible Light Communication, NOMA, GRPA, SPA, Successive Interference Cancellation.*

## Abstract

*Underwater Visible light communication (UVLC)* is a wireless network communication where information is transmitted by light media via visible waves, in this case the light source comes from a light emitting diode (LED). UVLC has several limitations, one of which is the narrow bandwidth. UVLC undergoes a distribution of modulated bandwidth to be allocated to each user. This bandwidth sharing has an impact on system capacity. In this final project, we analyze the performance of two power allocation methods in water medium, including gain ratio power allocation (GRPA) and static power allocation (SPA). In addition, research was conducted on the effect of user fairness on sumrate on the NOMA-UVLC system model. In the research results obtained in the NOMA-UVLC system the value of the GRPA power allocation is more stable than the SPA power allocation. Then, by applying the residue to the successive interference cancellation (SIC) process, it will result in a decrease in system capacity when compared to no residue in the SIC process. In addition, the increase in sumrate in the NOMA-UVLC system has an impact on decreasing the fairness of each user.

**Keywords:** *Underwater Visible Light Communication, NOMA, GRPA, SPA, Successive Interference Cancellation.*

## I. PENDAHULUAN

*Visible light communication (VLC)* atau disebut dengan komunikasi cahaya tampak merupakan komunikasi jaringan tanpa kabel dimana informasi dikirimkan dengan media cahaya melalui gelombang tampak, dalam hal ini sumber cahaya berasal dari *light emitting diode (LED)* [1]. Teknologi VLC ini menggunakan cahaya tampak yang mempunyai panjang gelombang 375-780 nm dan frekuensi sebesar

400-800 THz [2]. VLC memiliki kecepatan dan kapasitas lebih baik dari *radio frequency (RF)*. Untuk mengatasi keterbatasan *bandwidth* modulasi pada kinerja di sistem VLC, *non-orthogonal multiple access (NOMA)* diterapkan ke *downlink* jaringan VLC untuk meningkatkan kinerja jumlah *datarate* secara efektif. Berdasarkan penelitian NOMA-VLC sebelumnya [2], penelitian dilakukan dengan menganalisis kinerja alokasi daya *gain ratio power allocation (GRPA)* pada ruangan terbuka. Hasil

penelitian membuktikan bahwa GRPA menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan dalam hal *sumrate* dan keadilan pengguna dibandingkan dengan *static power allocation* (SPA) pada ruangan terbuka.

Teknologi VLC saat ini sedang dikembangkan dalam penerapannya di medium air atau di ruang terbuka. *Underwater visible light communication* (UVLC) merupakan pengembangan dari VLC yang merupakan teknologi sistem komunikasi yang dapat menyampaikan data dengan mengatur cahaya tampak di dalam air secara keseluruhan. model kerja UVLC ini mengkomunikasikan sinyal data terendam dengan mempertimbangkan ketinggian gelombang, penyerapan dan kecepatan angin, yang masing-masing memiliki koefisien alternatif. Pengaruh jenis air dalam komunikasi UVLC dipisahkan menjadi empat jenis air, yaitu air tepi laut, perairan murara, air laut jernih, dan air laut murni [3].

Pada penelitian dalam Tugas Akhir ini diterapkan NOMA pada sistem *downlink* UVLC dengan menganalisis kinerja GRPA pada medium air dengan kanal berupa *line of sight* (LOS). Penelitian ini membandingkan kinerja alokasi daya SPA dan GRPA untuk diterapkan dalam sistem NOMA-UVLC yang bertujuan untuk memaksimalkan kinerja serta akurasi terbaik untuk perencanaan pada jaringan komunikasi cahaya tampak di bawah air.

## II. KAJIAN TEORI

### a. Visible Light Communication (VLC)

VLC atau komunikasi cahaya tampak merupakan teknologi komunikasi yang memanfaatkan cahaya LED putih (cahaya tampak) sebagai sinyal carrier pada pengiriman sinyal informasi, udara sebagai media transmisi, dan terdapat *photodetector* sebagai *receiver*. Sesuai definisinya, Gambar 2.1 menunjukkan bahwa VLC adalah sejenis komunikasi optik yang memanfaatkan rentang gelombang elektromagnetik, yaitu antara 400 THz - 700 THz dengan frekuensi senilai 380 nm – 750 nm [4]. Sistem VLC yang memanfaatkan sinyal carrier tidak memiliki efek samping radiasi yang merugikan bagi pemakaiannya, misalnya sinar bebas dan X dari tercampur gelombang radio sehingga layak diterapkan pada inovasi komunikasi nirkabel. LED sebagai sumber cahaya pembawa dalam teknologi VLC lebih unggul daripada sumber cahaya lainnya yaitu diantaranya tidak menciptakan emisi ultraviolet (UV), adaptif terhadap iklim, penggunaan LED yang lebih

aman, dan kecepatan transmisi informasi yang tinggi dengan tujuan dapat menghemat energi dan biaya lebih banyak.

### b. Light Emitting Diode (LED)

LED adalah komponen elektronika yang termasuk dalam perangkat semikonduktor p-n junction yang dapat memancarkan cahaya spontan ketika tegangan maju diberikan dan frekuensi tertentu diberikan. Frekuensi yang diberikan bergantung pada selisih pita energi bahan yang membentuk p-n junction. Bahan yang digunakan untuk membuat LED pada umumnya adalah bahan semikonduktor, antara lain silikon (Si), galium (Ga), aluminium (Al), atau indium (In). Metode yang digunakan untuk membuat cahaya dalam LED efektif dan menciptakan lebih sedikit panas dibandingkan dengan lampu pijar [6]. LED memiliki banyak manfaat bila diterapkan pada sistem komunikasi optik, termasuk toleransi tinggi terhadap kelembaman dan pemanfaatan daya yang rendah. Terlebih lagi, setiap kali dilakukan dalam teknologi VLC di mana LED dapat berperan dalam mengkomunikasikan data dari sumber ke penerima. Warna yang dihasilkan oleh LED bergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan. LED memiliki karakteristik spektral termasuk lebar spektral, bentuk spektral, dan gelombang emisi.

### c. Photodetector

Dalam sistem VLC pada proses pengiriman informasi terdapat *photodetector* yang berperan di sisi penerima yang merupakan perangkat optoelektronika yang berfungsi untuk menangkap sinyal cahaya yang dikirimkan oleh *transmitter*. Setelah sinyal cahaya diterima oleh *photodetector* kemudian dikonversikan menjadi keluaran sinyal listrik. Informasi yang telah dikirim oleh *transmitter* kemudian setelah melalui proses media transmisi umumnya terjadi pelemahan pada sinyal yang dikirimkan. Oleh karena itu *photodetector* yang diterapkan harus memiliki beberapa persyaratan diantaranya memiliki tingkat *noise* yang rendah, memiliki sensitivitas yang tinggi untuk dapat membaca sinyal informasi yang telah melalui proses pelemahan di media transmisi, dan memiliki *bandwidth* yang memadai untuk memenuhi *datarate* yang digunakan. Pada sistem VLC selama waktu pengiriman data terdapat *photodetector* yang berlaku pada sisi penerima yang merupakan perangkat

optoelektronika yang mampu menangkap sinyal cahaya yang dikirimkan oleh *transmitter*. Setelah sinyal cahaya diterima oleh photodetector, diubah menjadi hasil sinyal listrik. Data yang telah dikirimkan oleh *transmitter* kemudian setelah melalui proses media transmisi sebagian besar terjadi penyempitan sinyal yang dikirimkan. Oleh karena itu, *photodetector* yang diterapkan harus memiliki beberapa kebutuhan termasuk memiliki tingkat *noise* yang rendah, memiliki sensitivitas yang tinggi untuk dapat membaca sinyal informasi yang telah melalui proses pelemahan di media transmisi, dan memiliki kecepatan transfer yang memadai untuk memenuhi tingkat informasi yang digunakan.

#### d. Modulasi *On-Off Keying* (OOK)

Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi ke sinyal pembawa atau sinyal carrier. Terbagi menjadi dua jenis dalam modulasi, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Dalam sistem VLC, menggunakan modulasi digital dengan terjadinya proses berubahnya sifat dan karakteristik dari sinyal yang ditumpangkan ke sinyal pembawa, sehingga keluaran bentuk sinyal berupa bit (0 dan 1). Terdapat beberapa sistem modulasi digital antara lain modulasi *on-off keying* (OOK) dan *phase shift keying* (PSK). Pada Tugas Akhir ini menggunakan Modulasi OOK. Modulasi OOK atau biasa disebut modulasi *amplitude shift keying* (ASK) merupakan modulasi dengan pengiriman sinyal berdasarkan pergeseran amplitudo. Modulasi ini termasuk suatu modulasi paling sederhana yang digunakan pada sistem komunikasi optik. Modulasi OOK ini menyatakan dalam bit data 0 dan 1. Dimana bit data 1 merepresentasikan bahwa adanya nilai yang menempati panjang durasi bit tertentu. Sedangkan bit 0 merepresentasikan bahwa tidak adanya nilai yang menempati panjang durasi bit tertentu [6]. Pada modulasi OOK dapat dianalogikan seperti saklar ketika bit data 1 merupakan *on* dan ketika bit data 0 merupakan *off*. Selain itu modulasi OOK memiliki dua skema diantaranya modulasi OOK-*return to zero* (RZ) dan modulasi OOK-*non return to zero* (NRZ).

#### e. *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA)

NOMA merupakan sebuah teknik yang dapat memungkinkan suatu *transmitter* dapat mengirimkan ke beberapa *receiver* ataupun sebaliknya, dengan cara menggabungkan lebih dari satu sinyal informasi pada

domain *code*, daya, dan lain sebagainya. Pada skema domain daya pada NOMA satu atau lebih sinyal informasi dapat dikirimkan dalam satu *subcarrier* yang sama pada daya yang berbeda tergantung pada kondisi kanal terhadap domain waktu atau frekuensi yang berbeda. Oleh karena itu penggunaan NOMA dapat menghemat dalam pemakaian spektrum. Dalam blok diagram pada NOMA terdapat *successive interference cancellation* (SIC) pada sisi penerima, sedangkan *superposition coding* diterapkan pada sisi pengirim. Maka dari itu dilakukan penelitian mengenai NOMA yang dilakukan untuk penerapan di dalam teknologi 5G [8]. Pada penerapannya sistem NOMA memiliki dua buah metode yaitu ketika *multiple access channel* (MAC) pada *uplink* sistem NOMA dan ketika *broadcast channel* (BC) dalam *downlink* sistem NOMA. Pada teknologi VLC, metode NOMA diterapkan dengan memanfaatkan LED berperan sebagai *transmitter*, sedangkan *user* berperan sebagai *receiver* [9]. Jika mengingat karakteristik dari LED sesuai digabungkan dengan metode NOMA karena LED memiliki peran sebagai sumber cahaya yang menghasilkan cakupan cell yang tidak terlalu luas dengan akomodasi *user* yang tidak terlalu banyak, sedangkan performansi NOMA yang efisien dalam menggabungkan jumlah *user* yang sedikit. Pada sistem VLC yang menghasilkan *signal-to-noise ratio* (SNR) yang tinggi dikarenakan jarak antara LED dan photodetector, simultan dengan performansi NOMA pada SNR [10].

#### f. *Successive Interference Cancellation* (SIC)

Pada NOMA, cara paling umum untuk menyampaikan pesan data harus dimungkinkan untuk setiap pengguna dengan waktu dan ruang pengulangan yang berbeda, menyebabkan impedansi antar pengguna. SIC adalah metodologi identifikasi *multi-user* yang dijalankan di sisi penerima sebelum sistem terurai untuk setiap data pengguna, untuk membatasi peristiwa interferensi antara sinyal pengguna. Dalam interaksi SIC, sinyal yang memiliki distribusi daya lebih besar akan diabaikan untuk mengisi ruang.

#### g. *Static Power Allocation* (SPA)

Pada penerapan sistem NOMA-UVLC di sisi pengirim diterapkan *superposition coding* yang memiliki fungsi untuk pengalokasian daya dan pemodelan penggabungan sinyal berdasarkan channel gain pada masing-masing pengguna. Dalam *downlink* NOMA alokasi daya memiliki simbol dengan  $a$ . Pada SPA merupakan teknik pengalokasian daya dengan

memberikan nilai  $\alpha$  secara acak dengan alokasi daya terhadap pengguna secara manual sesuai dengan pertimbangan kondisi kanal pengguna tersebut.

*h. Gain Ratio Power Allocation (GRPA)*

Pada GRPA, merupakan teknik pengalokasian daya dengan melibatkan nilai channel gain dari pengguna lain terhadap pengguna ke- $n$ . Secara sistematis perhitungan mencari nilai GRPA dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut [11]:

$$\alpha_n = \frac{\left(\frac{h_1}{h_n}\right)}{1 + \left(\frac{h_1}{h_2}\right) + \dots + \left(\frac{h_1}{h_N}\right)}, 1 \leq n \leq N,$$

dimana  $h$  merupakan nilai kanal setiap user, dengan  $n$  adalah nilai setiap pengguna, dan  $N$  adalah jumlah seluruh pengguna.

*i. Signal to Interference Plus Noise Rasio (SINR)*

SINR merupakan nilai perbandingan nilai pada *noise* yang terjadi di dalam sistem dan sinyal yang ditransmisikan terhadap interferensi. Pemrosesan sinyal akan terganggu pada saat pengiriman informasi ketika adanya interferensi dan *noise*. Ketika nilai interferensi diterima ( $I_p$ ) dan *noise* ( $N_p$ ) diterima di sisi *receiver* semakin besar akan mempengaruhi sinyal informasi yang berhasil diterima akan semakin kecil [6]. Secara matematis SINR dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut [6]:

$$SINR_n = \frac{h_n^2 \cdot p_n}{h_n^2 \cdot \sum_{k=n}^N p_k + \epsilon \cdot h_n^2 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} p_k + \sigma^2},$$

dimana  $\epsilon$  adalah persentase residu yang terjadi dalam proses SIC atau biasa disebut *dengan interference cancellation factor*.

*j. Kapasitas*

Kapasitas merupakan salah satu parameter yang menyatakan kecepatan bit per detik maksimum yang dikirimkan dari *transmitter* untuk tiap *receiver* dalam proses pengiriman data. Kapasitas dapat diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan teorema kapasitas Shannon yang dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut [12]:

$$r_n = B \cdot \log(1 + SINR_n),$$

dimana  $B$  adalah nilai *bandwith*. Sedangkan SINR adalah nilai SINR yang terdapat pada pengguna.

*k. Jain's Fairness Indeks*

JFI merupakan parameter untuk menunjukkan ukuran kuantitatif yang diusulkan dalam sebuah

penelitian. Index ini berlaku untuk berbagai sumber power alokasi. JFI ini memiliki nilai dengan berkisar antara 0 sampai 1 [13]. Secara sistematis nilai JFI dapat dirumuskan sebagai berikut [13]:

$$I_N = \frac{(\sum_{n=1}^N r_n)^2}{N \cdot \sum_{n=1}^N r_n^2}$$

dimana  $r_n$  merupakan jumlah nilai kapasitas yang terdapat pada pengguna dan  $N$  adalah banyaknya pengguna dalam satu model sistem.

(1)

*l. Sumrate*

*Sumrate* merupakan parameter untuk meunjukkan seberapa banyak jumlah kapasitas pada setiap pengguna yang ada dalam sebuah sistem. Pada sistem NOMA-UVLC ini menggunakan kapasitas untuk mengukur seberapa besar *sumrate* pada setiap skenario jumlah pengguna. Secara sistematis nilai *sumrate* dapat dirumuskan sebagai berikut [13]:

$$S_N = \sum_{n=1}^N r_n,$$

dimana  $r_n$  merupakan jumlah nilai kapasitas yang terdapat pada pengguna dan  $N$  adalah banyaknya pengguna dalam satu model sistem.

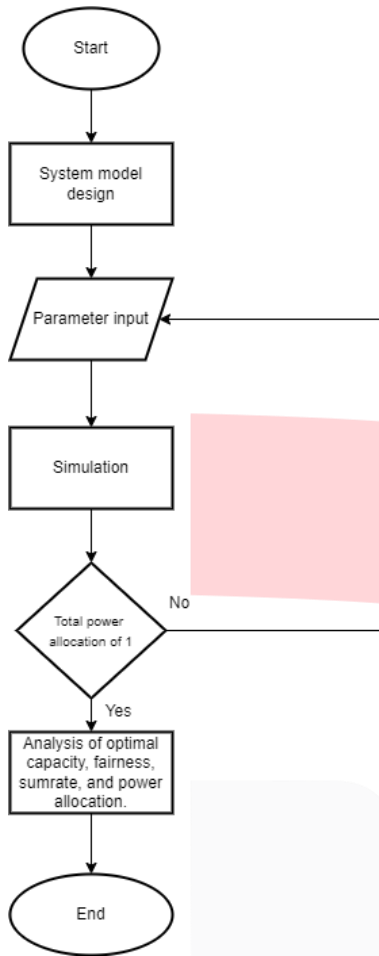
III. METODE (2)

a. Diagram Alir Penelitian

Perancangan simulasi model NOMA-UVLC pada Tugas Akhir ini dibuat dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.

(3)

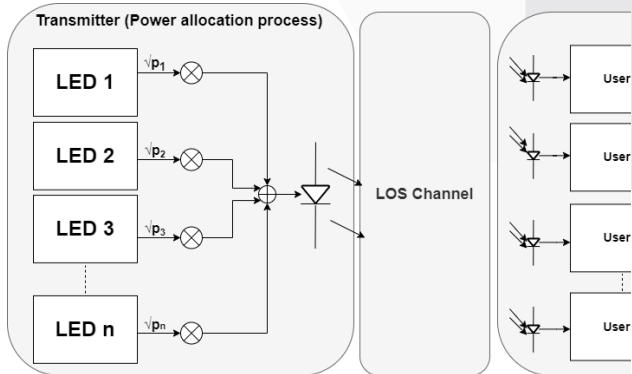
(4)



Gambar 1. Diagram alir penelitian sistem NOMA-UVLC.

b. Desain Sistem

Pada Tugas Akhir ini dirancang model NOMA-UVLC pada desain sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem.

c. Parameter Simulasi

Dalam perancangan sistem NOMA-UVLC pada Tugas Akhir ini diberikan beberapa parameter input

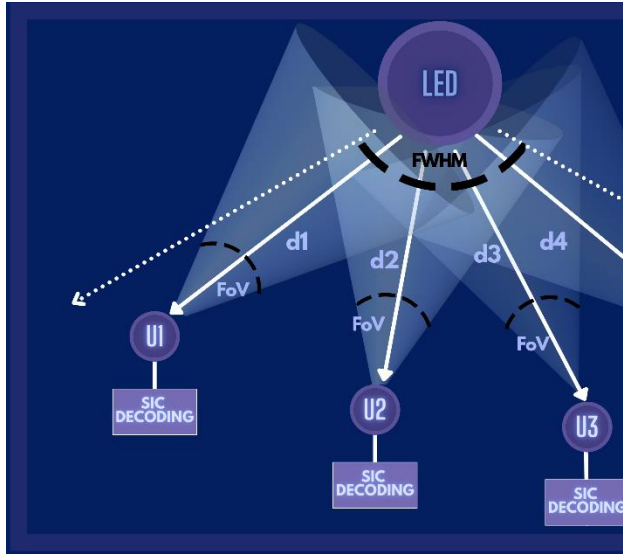
pada sistem yang akan mempengaruhi hasil simulasi. Parameter input yang digunakan pada simulasi ini terdapat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter input simulasi.

Parameter		Nilai
Transmitter	Jenis	LED
	Jumlah	1 Buah
	Daya Kirim	5 Watt
	Bandwith	10 Mhz
Receiver	Jenis Photodiode	PIN C30810EH
	Area Detektor Photodiode	100 mm <sup>2</sup>
	Field of View (FoV)	77 <sup>o</sup>
	Responsivitas (A/W)	0,55
	Kedalaman	10 m
Lain-lain	Nilai Hamburan Rayleigh (Pure Water)	0,0022 mm <sup>-1</sup>
	Nilai Absorpsi Air Laut (Pure Water)	0,114 mm <sup>-1</sup>

d. Simulasi Sistem

Pada penyusunan Tugas Akhir ini, dilakukan permodelan sistem *downlink* yang menggunakan kanal LOS dengan terdapat 4 pengguna yang setiap pengguna memiliki jarak yang berbeda antar pengguna lainnya terhadap LED seperti terlihat pada Gambar 3.



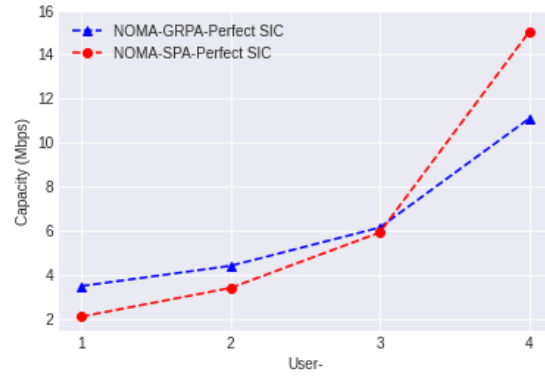
Gambar 3. Desain sistem NOMA-UVLC dengan 4 pengguna pada model kanal LOS.

Skenario pertama yaitu simulasi kualitas jaringan dengan membandingkan kualitas performansi dari power alokasi terbaik antara power alokasi GRPA serta SPA pada komunikasi NOMA-UVLC. Diasumsikan perambatan tanpa terdapat cahaya lain yang dikirimkan dari LED menuju *photodetector* yang berada di sisi penerima. Lalu menggunakan skenario 4 pengguna dengan posisi yang telah ditentukan. Skenario kedua yaitu simulasi kualitas jaringan dengan membandingkan keadilan setiap pengguna dengan kenaikan jumlah pengguna pada komunikasi UVLC dengan diasumsikan perambatan tanpa terdapat cahaya lain yang dikirimkan dari LED menuju *photodetector* yang berada di sisi penerima, lalu menggunakan medium jenis air *pure sea water*, menggunakan skenario 5 pengguna dengan posisi yang telah ditentukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kinerja Alokasi Daya Pada Kondisi *Perfect SIC*

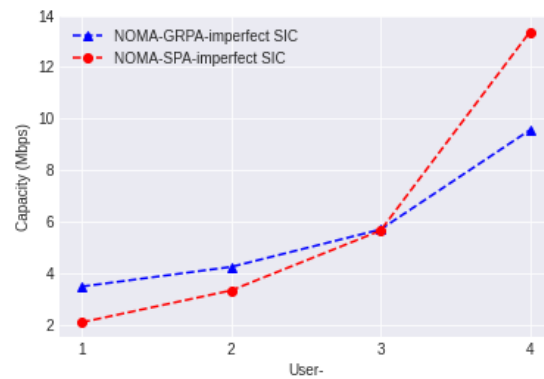
Simulasi ini digunakan pada sisi penerima dengan implementasi SIC untuk sistem NOMA-UVLC dengan penerapan metode alokasi daya GRPA dan SPA. Kemudian diasumsikan SIC tidak mengalami residu atau disebut *perfect SIC* dengan spesifikasi perancangan posisi pengguna yang berbeda jaraknya masing-masing terhadap LED.



Gambar 4. Kinerja alokasi daya pada kondisi *perfect SIC*.

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4 terjadi kenaikan performansi kapasitas sistem seiring pertambahan jarak pengguna terhadap cakupan satu buah lampu LED. Diperoleh hasil kapasitas pada pengguna ke-1, ke-2, dan ke-3 alokasi daya GRPA memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan alokasi daya SPA. Sedangkan pada pengguna ke-4 alokasi daya SPA memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan alokasi daya GRPA. Nilai kapasitas mengalami kenaikan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin dekat jarak pengguna terhadap cakupan satu buah lampu LED, maka kapasitas sistem semakin meningkat.

b. Kinerja Alokasi Daya Pada Kondisi *Imperfect SIC*

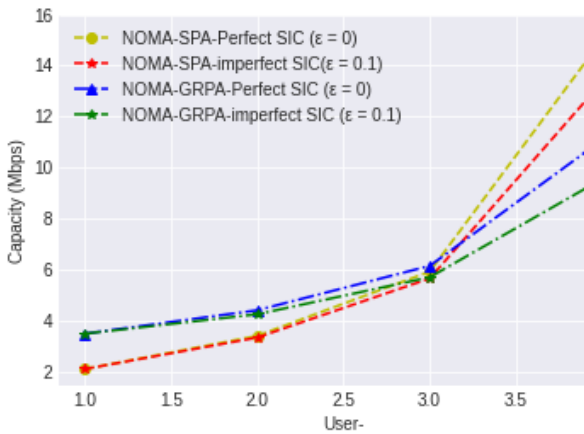


Gambar 5. Kinerja alokasi daya pada kondisi *imperfect SIC*.

Pada sistem NOMA-UVLC ini ketika dalam proses pembatalan sinyal di sisi penerima terdapat residu, maka proses pembatalan tersebut dapat diartikan dengan *imperfect SIC*. Pada simulasi ini diasumsikan nilai residu sebesar 0.1 dalam sistem.

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 5 terjadi kenaikan performansi kapasitas sistem dalam *imperfect* SIC dengan seiring pertambahan jarak pengguna terhadap cakupan satu buah lampu LED. Diperoleh hasil kapasitas pada pengguna ke-1, ke-2, dan ke-3 alokasi daya GRPA memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan alokasi daya SPA. Sedangkan pada pengguna ke-4 alokasi daya SPA memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan alokasi daya GRPA. Nilai kapasitas mengalami kenaikan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin dekat jarak pengguna terhadap cakupan satu buah lampu LED, maka kapasitas sistem semakin meningkat.

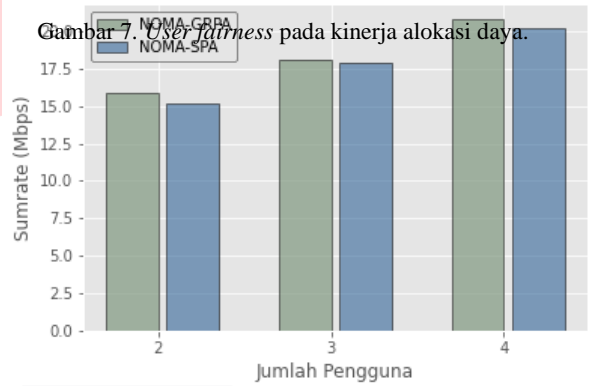
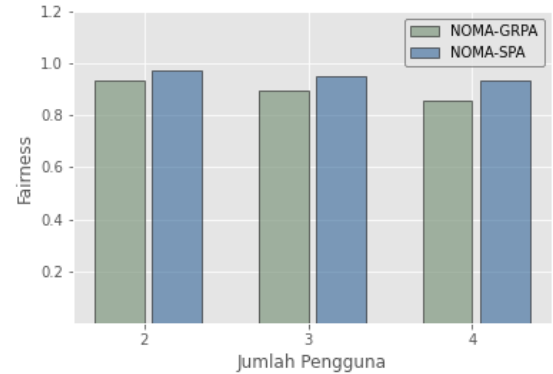
c. Pengaruh Kenaikan Residu terhadap Kapasitas Sistem



Gambar 6. Pengaruh kenaikan residu.

Pada simulasi ini menganalisis pengaruh residu yang dihasilkan oleh proses pembatalan sinyal pada sisi penerima yang terlihat pada Gambar 6. Dengan penerapan *perfect* SIC pada GRPA pengguna ke-4 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 11,09 Mbps, Sedangkan untuk *perfect* SIC pada GRPA didapatkan 9.5 Mbps. Dari hasil tersebut terlihat bahwa ketika kondisi *imperfect* SIC terjadi penurunan performansi kapasitas sebesar 4,7% dari kondisi *perfect* SIC pada posisi pengguna ke 4. Kenaikan residu dari 0 ke 0.1 pada sistem NOMA-UVLC dapat mempengaruhi penurunan nilai kapasitas. Hal ini disebabkan ketika proses pembatalan sinyal di sisi penerima menghasilkan residu yang telah dianggap sebagai interferensi, sehingga berdampak terhadap performansi SINR dan kapasitas pada setiap pengguna di model sistem NOMA-UVLC.

d. Analisis Keadilan Pengguna pada Kinerja Alokasi Daya



Gambar 7. User fairness pada kinerja alokasi daya.

Gambar 8

Untuk penelitian kali ini, penulis mencoba untuk membandingkan keadilan pengguna pada kinerja alokasi daya GRPA dan SPA berdasarkan jumlah pengguna dalam cakupan lampu LED dan memiliki jarak yang berbeda. Dalam simulasi ini menggunakan lampu LED sebagai pengirim daya dengan nilai daya sebesar 5 Watt. Dengan asumsi kanal sempurna tanpa interferensi cahaya lainnya. Simulasi pengujian sistem NOMA-UVLC ini menggunakan 4 pengguna dengan alokasi daya masing-masing pengguna. Dengan penerapan NOMA, tingkat keefektifan pengguna pada sistem diperoleh dari hasil simulasi pada Gambar 8 cenderung mengalami kenaikan efisiensi pengguna pada setiap jumlah pengguna. Pada kenaikan tersebut terlihat alokasi daya yang lebih optimal ditunjukkan oleh alokasi daya GRPA dibandingkan dengan SPA. Dengan asumsi kanal sempurna tanpa interferensi cahaya lainnya. Simulasi pengujian sistem NOMA-UVLC ini menggunakan 4 pengguna. Pada 2 jumlah pengguna yang memiliki nilai efisiensi setiap pengguna sebesar 15,8 untuk alokasi daya GRPA dan 15,1 untuk alokasi daya SPA. Kemudian dari peningkatan 1

jumlah pengguna menjadi 3 jumlah pengguna memiliki selisih sebesar 17,4%. Sedangkan untuk 4 jumlah pengguna memiliki tingkat efisiensi pengguna sebesar 20,8 untuk alokasi daya SPA dan 20,2 untuk alokasi daya GRPA. Hal ini dikarenakan ketika jumlah pengguna semakin banyak maka jumlah *datarate* yang dihasilkan semakin besar.

## V. KESIMPULAN

### a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis penelitian mengenai perbandingan kinerja alokasi daya GRPA dengan alokasi daya SPA pada sistem NOMA-UVLC dengan kanal LOS yang dilakukan pada simulasi ini dan dapat diberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kinerja dari model sistem NOMA-UVLC dengan perubahan alokasi daya dapat berpengaruh pada performansi kapasitas sistem. Pada penelitian ini didapatkan alokasi daya GRPA lebih stabil dalam performansi kapasitas dibandingkan dengan penerapan alokasi daya SPA. Kenaikan kapasitas rata-rata sebesar 48,5% pada alokasi daya GRPA. Hal ini dipengaruhi karena dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk mencari nilai alokasi daya yang optimal untuk setiap pengguna pada alokasi daya GRPA.
2. Ketika model sistem NOMA-UVLC diterapkan pada kondisi *imperfect* SIC terjadi penurunan performansi kapasitas rata-rata sebesar 6,8% dari kondisi *perfect* SIC dengan alokasi daya GRPA. Hal ini dikarenakan adanya residu yang terdapat pada kondisi *imperfect* SIC sebesar 0.1. Residu pada model sistem NOMA-UVLC dianggap sebagai interferensi pada proses pembatalan sinyal di sisi penerima.

## REFERENSI

- [1] A. Mahdy and J. S. Deogun, "Wireless optical communications: a survey," in 2004 IEEE wireless communications and networking conference (IEEE Cat.No. 04TH8733), vol. 4. IEEE, 2004, pp. 2399–2404.

3. Berdasarkan hasil simulasi mengenai analisis pada *user fairness* didapatkan nilai cenderung menurun berbanding terbalik dengan meningkatnya pengguna dalam cakupan satu buah lampu LED. Peningkatan rata-rata *user fairness* setiap jumlah pengguna sebesar 6,6% pada alokasi daya GRPA.
4. Pada hasil simulasi yang didapatkan Gambar 4.5 terlihat bahwa alokasi daya GRPA lebih tinggi dibandingkan alokasi daya SPA dengan kecenderungan meningkat, sedangkan itu pada Gambar 4.4 terlihat bahwa alokasi daya SPA lebih tinggi dibandingkan alokasi daya GRPA dengan kecenderungan menurun. Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai fairness pada sistem NOMAUVLC berbanding terbalik dengan nilai *sumrate*.

### b. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat beberapa hal yang memungkinkan untuk dapat dikembangkan dalam penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat dikembangkan sebagai berikut:

1. Melakukan analisis mengenai performansi pada model kanal lain seperti model kanal NLOS.
2. Melakukan simulasi dan analisis pada beragam jenis modulasi optimal di model sistem NOMA-UVLC.
3. Melakukan penelitian mengenai hubungan *optical concentrator* dengan pengaruhnya pada performansi NOMA-UVLC.
4. Pembuatan alat untuk model sistem NOMA-UVLC agar dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari.

- [2] Z. Ghassemlooy, S. Arnon, M. Uysal, Z. Xu, and J. Cheng, "Emerging optical wireless communications—advances and challenges," IEEE journal on selected areas in communications, vol. 33, no. 9, pp. 1738–1749, 2015.
- [3] M. Farhan, D. Darlis, and A. R. Darlis, "Perancangan dan implementasi komunikasi suara pada sistem bi-directional underwater visible light communication menggunakan



- led biru,” eProceedings of Applied Science, vol. 4, no. 3, 2018.
- [4] D. Yulian, D. Darlis, and S. Aulia, “Perancangan dan implementasi perangkat visible light communication sebagai transceiver video,” Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan, vol. 2, no. 2, 2015.
- [5] Y. Seow, C. Rashidi, S. Aljunid, N. Ali, and R. Endut, “20 mb/s experimental demonstration using modulated 460 nm blue led for underwater wireless optical communications (uowc),” in Journal of Physics: Conference Series, vol. 1878, no. 1. IOP Publishing, 2021, p. 012069.
- [6] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R. CRC press, 2019.
- [7] B. Priyalakshmi and K. Mahalakshmi, “Analysis of suitable modulation techniques for underwater wireless optical communication,” Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, vol. 10, 2018.
- [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] Y. Liu, Z. Qin, M. ElKashlan, Z. Ding, A. Nallanathan, and L. Hanzo, “Nonorthogonal multiple access for 5g and beyond,” Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 12, pp. 2347–2381, 2017.
- [10] W. Shin, M. Vaezi, B. Lee, D. J. Love, J. Lee, and H. V. Poor, “Non-orthogonal multiple access in multi-cell networks: Theory, performance, and practical challenges,” IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 10, pp. 176–183, 2017.
- [11] S. Tao, H. Yu, Q. Li, and Y. Tang, “Performance analysis of gain ratio power allocation strategies for non-orthogonal multiple access in indoor visible light communication networks,” EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2018, no. 1, pp. 1–14, 2018.
- [12] J. Anguita, I. Djordjevic, M. Neifeld, and B. Vasic, “Shannon capacities and error-correction codes for optical atmospheric turbulent channels,” Journal of Optical Networking, vol. 4, no. 9, pp. 586–601, 2005.
- [13] R. K. Jain, D.-M. W. Chiu, W. R. Hawe et al., “A quantitative measure of fairness and discrimination,” Eastern Research Laboratory, Digital Equipment Corporation, Hudson, MA, 1984.
- [14] F. S. Putri, D. M. Saputri, and B. Pamukti, “Pengaruh orientasi receiver dan multi bit-rate pada sistem visible light communication di dalam ruangan,” eProceedings of Engineering, vol. 6, no. 2, 2019.