

Analisis Performansi Kapasitas Sistem UVLC Berbasis NOMA dengan Perubahan Metode Alokasi Daya pada Kanal Propagasi NLoS

1st Budi Ikhwan Fadilah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
budiikhwanfadilah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Nachwan Mufti A
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
nachwanma@telkomuniversity.ac.id

3rd Brian Pamukti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—*Underwater Visible Light Communication* (UVLC) merupakan salah satu penerapan teknologi VLC yang menggunakan pancaran *Light Emitting Diode* (LED) pada medium air. UVLC menjadi alternatif yang tepat untuk komunikasi bawah air selain penggunaan gelombang akustik dan radio. Efektivitas biaya dan konsumsi energi yang rendah menjadi keunggulan lainnya. Salah satu kekurangan yang dimiliki UVLC adalah sempitnya bandwidth modulasi sehingga mengakibatkan pengurangan kapasitas yang dicapai sistem. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diimplementasikan *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA). NOMA adalah suatu teknik penggabungan beberapa sinyal yang dibedakan berdasarkan daya tiap user. Dalam sistem NOMA, terdapat *superposition coding* di sisi pengirim dan *successive interference cancellation* (SIC) di sisi penerima. Pada Tugas Akhir ini, membandingkan dua metode alokasi daya yaitu *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA) dan *Static Power Allocation* (SPA). Selain itu, dilakukan juga penelitian pada kanal dengan kondisi terdapat turbulensi dan tanpa adanya turbulensi. Adapun Parameter yang diujikan adalah *Signal to Interference Plus Noise Ratio* (SINR) serta kapasitas. Hasil simulasi dan analisis didapatkan sistem NOMA-UVLC dengan alokasi daya GRPA lebih stabil dibandingkan dengan alokasi daya SPA dengan rata-rata kenaikan kapasitas 52%. Kapasitas sistem mengalami penurunan pada kondisi turbulensi serta dipengaruhi oleh diterapkannya residu pada proses *Successive Interference Cancellation* (SIC) dibandingkan tidak mengalami residu pada proses SIC.

Kata kunci— UVLC, NOMA, NLoS, *power allocation*, sic.

I. PENDAHULUAN

Di masa sekarang, kebutuhan akan akses komunikasi yang cepat dan efisien menjadi harapan dan hal penting dalam teknologi telekomunikasi. Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan adalah *Visible Light Communication* (VLC). Dengan memanfaatkan cahaya berupa *Light emitting diode* (LED) untuk sinyal pengirim informasi dan diterima oleh photodetector. Namun, sempitnya bandwidth modulasi menjadi keterbatasan yang ada pada teknologi VLC sehingga mengakibatkan berkurangnya kapasitas yang dicapai sistem [4]. Skema *Non-orthogonal multiple access* (NOMA) diusulkan untuk mengatasi batasan ini [5]. Dalam NOMA, beberapa sinyal informasi dengan domain waktu dan frekuensi yang berbeda dapat digabungkan, sehingga menyebabkan penghematan dalam penggunaan spektrum frekuensi.

Berdasarkan penelitian NOMA-VLC sebelumnya [1], penelitian tersebut menganalisis kinerja alokasi daya *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA) dalam ruangan terbuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GRPA memiliki peningkatan kinerja yang signifikan dalam hal *sumrate* dan keadilan pengguna dibandingkan dengan *Static Power Allocation* (SPA) pada ruangan terbuka. Pada perkembangannya VLC dapat diimplementasikan pada medium air yang disebut sebagai *Underwater Visible Light Communication* (UVLC). Selain menjadi alternatif untuk gelombang radio maupun gelombang akustik, teknologi UVLC memiliki redaman relatif rendah terhadap air, kecepatan yang tinggi serta cahaya yang digunakan dapat sekaligus dijadikan penerangan padabawah air [2] [3]. Dalam Penerapan UVLC terdapat juga turbulensi optik di bawahair yang terjadi karena adanya perubahan indeks bias air laut dan menyebabkan fluktuasi seketika atas daya rata-rata yang diterima [14].

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis kinerja metode alokasi daya *Static Power Allocation* (SPA) dan *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA) pada kanal propagasi *Non-Line of Sight* (NLoS), dengan adanya turbulensi maupun tanpa turbulensi pada medium air laut. Beberapa parameter yang diujikan pada Tugas Akhir ini antara lain *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR), serta kapasitas sistem.

II. KAJIAN TEORI

A. *Underwater Visible Light Communication* (UVLC)

UVLC merupakan pengembangan dari teknologi *Visible Light Communication* (VLC) yaitu teknologi komunikasi sistem nirkabel optik yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai sinyal pengirim informasi berupa pancaran *Light emitting diode* (LED) dengan implementasi pada medium air. Cahaya tampak memiliki panjang gelombang dengan rentang 380nm-780nm dan spektrum frekuensi dengan rentang 430 THz-790 THz [6]. UVLC dapat digunakan dengan baik sebagai komunikasi sekaligus media penerangan sesuai prinsip cahaya tampak.

B. *Light Emitting Diode* (LED)

Light Emitting Diode (LED) merupakan jenis semikonduktor dioda yang terdiri dari dari tiga bagian, yaitu p-junction yang berisikan hole, n-junction yang berisikan elektron, dan ruang deplesi. LED sering dipakai dalam UVLC sebagai sumber cahaya [9]. Perubahan energi pada

LED terjadi dengan memberikan *forward bias* (tegangan maju) dari semikonduktor tipe-p menuju tipe-n. Cahaya yang dihasilkan dari material penyusun LED akan mempengaruhi nilai *band gap* yang dihasilkan sehingga terjadinya perubahan energi emisi dari LED. Perubahan ini menyebabkan perbedaan pada cahaya yang dihasilkan.

C. Modulasi

Modulasi merupakan sebuah proses penumpangan sinyal informasi kedalam sinyal pembawa (*carrier*). Dapat dinyatakan bahwa modulasi merupakan proses transmisi gelombang sinyal yang telah termodulasi dari *transmitter* ke *receiver*. Terdapat dua jenis modulasi, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Salah satu jenis modulasi digital yang melalui proses perubahan karakteristik sinyal *carrier* sehingga menghasilkan bentuk bit-bit (1 atau 0) adalah modulasi *On-off Keying* (OOK) [6].

D. Photodetector

Photodetector adalah perangkat dengan prinsip kerja mengubah sinyal optik berupa cahaya menjadi sinyal listrik. Terdapat 2 jenis *photodetector* yang digunakan, yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photodetector* (APD). Pada sistem komunikasi UVLC ini menggunakan *Photodetector* berjenis PIN.

E. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) merupakan sebuah teknik multiple access yang mampu melayani banyak user secara *non-orthogonal* yaitu melayani *user* pada waktu dan frekuensi yang sama [9]. NOMA memungkinkan beberapa *receiver* dapat mengakses satu *transmitter* ataupun sebaliknya dengan menggabungkan satu atau beberapa sinyal pada domain daya, *code*, dan lain sebagainya. Pada NOMA di sisi *transmitter* terdapat *superposition coding* dan di sisi *receiver* diterapkan *successive interference cancellation* (SIC). Dalam *power domain* NOMA satu atau lebih sinyal dapat dikirimkan melalui satu *subcarrier* yang sama pada level daya kirim yang berbeda dengan begitu dapat menghemat penggunaan spektrum. Pada ilustrasi skema downlink NOMA UVLC dengan kondisi kanal $h_1 \leq h_k \leq \dots \leq h_n \leq h_N$ sehingga alokasi daya pada setiap user didapatkan $P_1 \geq P_k \geq \dots \geq P_n \geq P_N$.

F. Turbulensi

Dalam medium bawah air, turbulensi umumnya diakibatkan oleh adanya fluktuasi suhu dan salinitas. Fluktuasi dapat terjadi dan dapat ditemukan dengan bantuan model spektrum yang terdiri dari pusanan-pusanan turbulensi [14]. Turbulensi mempengaruhi perambatan cahaya di bawah air karena adanya sedikit perubahan dalam indeks bias yang terkait dengan suhu atau salinitas dalam membiaskan cahaya karena melewati lapisan turbulensi, secara efektif menginduksi beberapa hamburan dalam berkas cahaya [15].

G. Static Power Allocation (SPA)

Static Power Allocation (SPA) merupakan teknik alokasi daya yang menetapkan terlebih dahulu faktor alokasi daya (α) yang mana pemberian alokasi daya secara manual dan nilai α diberikan secara acak untuk setiap *user* [11].

H. Gain Ratio Power Allocation (GRPA)

Gain ratio power allocation (GRPA) merupakan jenis pengalokasian daya yang mempertimbangkan besaran nilai *channel gain user* lain terhadap *user* ke-n [10]. rumus matematis yang dapat dituliskan pada GRPA seperti pada persamaan berikut.

$$a_n = \frac{\frac{h_1}{h_2}}{1 + \left(\frac{h_1}{h_2}\right) + \dots + \left(\frac{h_1}{h_2}\right)}, 1 \leq n \leq N \quad (2.1)$$

dengan N merupakan total *user* dan h adalah nilai kanal dari masing-masing *user*.

I. Successive Interference Cancellation (SIC)

Successive interference cancellation (SIC) merupakan suatu strategi *multi-user detection* yang diimplementasikan pada sisi penerima sebelum proses *decoding* sinyal informasi tiap *user*, sehingga dapat memperkecil terjadinya interferensi antar sinyal. Pada *receiver*, SIC bekerja dengan membatalkan sinyal yang lebih kuat dari sinyal *user* ke-n yang diperoleh dari alokasi daya sinyal kirim yang berasal dari proses *superposition coding*.

J. Signal to Interference Plus Noise Ratio (SINR)

Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) merupakan rasio perbandingan antara kuat sinyal yang ditransmisikan terhadap interferensi dan noise yang timbul di dalam sistem [6]. Rumus SINR dapat dinyatakan sebagai berikut [6] :

$$SINR_n = \frac{h_n^2 \cdot P_{total} \cdot \alpha_n}{h_n^2 \cdot P_{total} \cdot \sum_{k=n}^N \alpha_k + \sigma^2} \quad (2.2)$$

dengan h_n merupakan nilai kanal dari tiap *user*, P merupakan daya total yang diperoleh.

K. Kapasitas

Kapasitas merupakan nilai yang menyatakan kecepatan bit perdetik maksimum yang dapat dikirimkan dari *transmitter* untuk tiap *receiver*. Nilai kapasitas dapat diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan teorema kapasitas shannon yang dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut [12]:

$$R_n = B \cdot \log_2 (1 + SINR_n) \quad (2.3)$$

dengan B adalah *bandwidth*.

L. Jain's Fairness Index (JFI)

Jains Fairness Index adalah nilai parameter untuk menentukan ukuran kuantitatif yang diusulkan pada sebuah penelitian. Index JFI berlaku terhadap berbagai sumber power alokasi. JFI memiliki rentang nilai yang berkisar antara 0 sampai 1 [17]. JFI dapat dirumuskan sebagai berikut [18]:

$$I = \frac{(\sum_{n=1}^N R_n)^2}{N \cdot \sum_{n=1}^N R_n^2} \quad (2.4)$$

dengan R_n yaitu total nilai kapasitas yang terdapat dalam pengguna dan N adalah banyaknya pengguna pada satu model sistem.

M. Sumrate

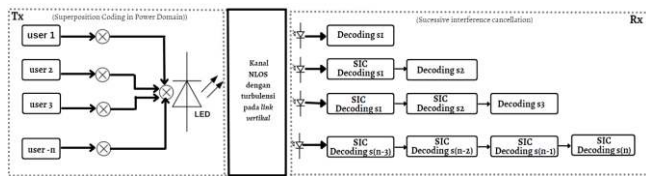
Sumrate adalah parameter untuk menentukan seberapa banyak total kapasitas pada setiap pengguna yang ada dalam sebuah sistem. Pada sistem UVLC ini, kapasitas didapatkan untuk mengukur seberapa besar sumrate pada setiap skenario jumlah pengguna. Nilai sumrate dapat dirumuskan sebagai berikut [17]:

$$S_N = \sum_{n=1}^N R_n \tag{2.5}$$

III. METODE

A. Desain Sistem

Pada bab ini membahas tentang perancangan sistem yang digunakan untuk menentukan pengujian sistem UVLC untuk menganalisis kinerja alokasi daya dalam penerapan teknik Non-orthogonal multiple access (NOMA). Desain simulasi terdapat seperti pada gambar dibawah ini :



GAMBAR 1
DIAGRAM BLOK SISTEM

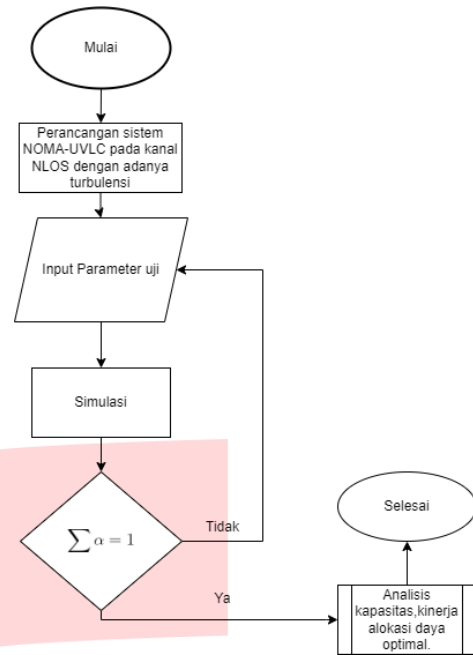
Pada blok transmitter terdapat LED sebagai sumber cahaya, sinyal input sebagai sinyal informasi yang akan dikirimkan kepada 3 pengguna, dan proses pengalokasian daya yang akan menggabungkan sinyal melalui penerapan superposition coding. Pada bagian kanal, terdapat dua jenis kanal transmisi yang digunakan, yaitu LoS dan NLoS.

Pada kanal Line of Sight (LoS) informasi ditransmisikan langsung tanpa ada hambatan apapun, sedangkan pada kanal Non-Line of Sight (NLoS) terdapat obstacle saat proses transmisi berlangsung. Pada Tugas akhir ini menggunakan kanal NLoS pada medium air coastal ocean water pada panjang gelombang 530nm dengan adanya turbulensi pada link vertikal.

Pada sisi receiver, terdapat PIN photodetector yang berfungsi untuk meneruskan sinyal cahaya yang diterima untuk di konversikan menjadi sinyal listrik, sinyal yang diterima dari hasil photodetector akan melalui proses Successive interference cancellation (SIC) yaitu suatu metode dalam menerima sinyal secara bersamaan tanpa terjadi interferensi sinyal. Proses SIC dengan dilakukan pembatalan pada sinyal informasi yang lebih kuat untuk mendapatkan kondisi sinyal yang diinginkan.

B. Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan flowchart atau diagram alir penelitian pada Tugas Akhir ini dengan dua skenario yang berbeda yang dapat dilihat pada berikut :



GAMBAR 2
DIAGRAM ALIR PENELITIAN

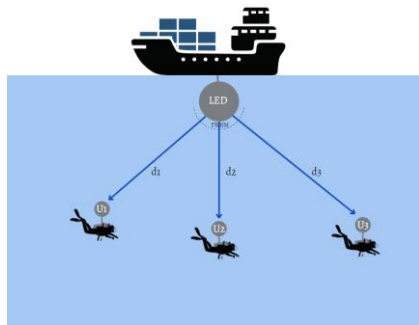
C. Parameter Simulasi

Perancangan simulasi sistem UVLC menggunakan beberapa parameter input yang akan digunakan dalam perhitungan. seperti pada tabel berikut :

TABEL 1
PARAMETER INPUT SIMULASI

	Parameter	Nilai
Transmitter	Jenis	LED
	Jumlah	1
	Daya	7 Watt
	Efisiensi Tx	60%
Receiver	Jenis Photodetector	PIN
	Detector Area	100 mm ²
	FoV	77°
	Responsivitas (A/W)	0,6
	Efisiensi Rx	60%
	Kedalaman	10 m
Media	Jenis Air Laut	Coastal Ocean
	Kanal	NLOS (vertikal)
Lain-Lain	Nilai Absorpsi Air Laut (Coastal)	0,179m ⁻¹
	Bandwidth	10Mhz

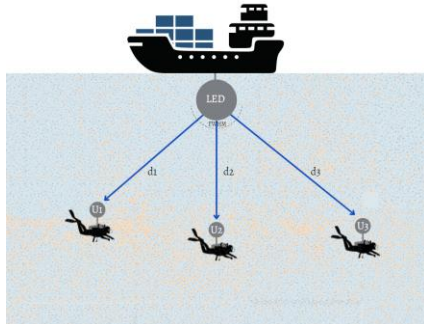
D. Skenario Simulasi



GAMBAR 3
SKENARIO 1

Tugas akhir ini memiliki beberapa skenario dalam simulasi. Skenario yang dilakukan pada simulasi yaitu mendapatkan kinerja dari power alokasi terbaik antara alokasi daya GRPA serta SPA dan mengetahui kapasitas sistem yang diperoleh. Diasumsikan perambatan tanpa terdapat cahaya lain yang dikirimkan. Lalu menggunakan medium jenis air *coastal ocean water* dengan panjang gelombang 530nm. Skenario yang pertama yaitu transmisi sistem UVLC vertikal tidak dipengaruhi oleh nilai turbulensi.

i. Skenario dengan adanya pengaruh turbulensi



GAMBAR 4
SKENARIO II

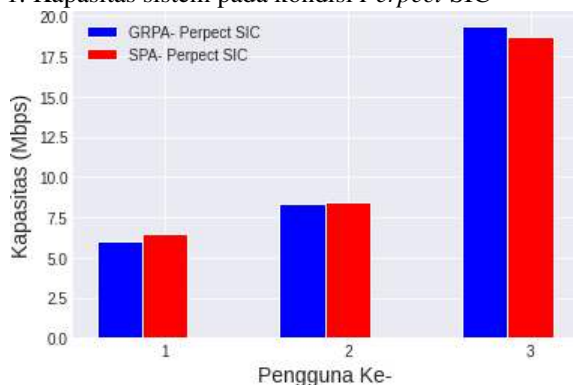
Pada skenario yang kedua, kinerja alokasi daya SPA dan GRPA akan dibandingkan pada sistem NOMA UVLC dengan 3 posisi *user* pada kondisi adanya turbulensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kapasitas dengan alokasi daya SPA dan GRPA pada kondisi tanpa turbulensi

Pada simulasi ini, dibuat sebuah proses pengalokasian daya pada yang didapatkan dari nilai daya terima setiap *user*. Menggunakan lampu LED sebagai pengirim daya dengan nilai daya sebesar 7 Watt pada jenis air *Pure Sea Water*.

1. Kapasitas sistem pada kondisi *Perfect SIC*

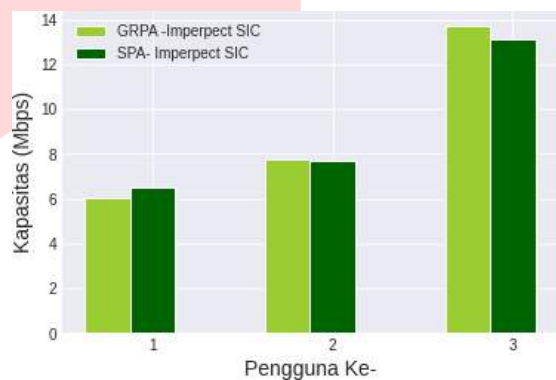


GAMBAR 5
PERBANDINGAN ALOKASI DAYA PADA *PERFECT SIC*

Dengan penerapan alokasi daya GRPA pengguna ke-1 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 6,044 Mbps, sedangkan untuk alokasi daya SPA didapatkan 6,5 Mbps. Pada pengguna ke-2 nilai kapasitas yang didapatkan lebih tinggi dari pengguna ke-1 dengan nilai sebesar 8,385 Mbps untuk alokasi daya GRPA, dan 8,421 Mbps untuk alokasi daya SPA. Pengguna ke-3 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 19,358 Mbps untuk alokasi daya GRPA, lebih besar dibandingkan alokasi daya SPA dengan kapasitas sebesar 18,736 Mbps dengan selisih 0,62 Mbps.

2. Kapasitas sistem pada kondisi *Imperfect SIC*

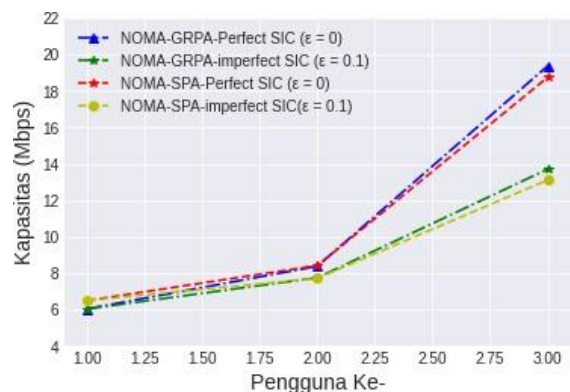
Selanjutnya, Pada sistem NOMA-UVLC pada penelitian ini saat dalam proses pembatalan sinyal pada sisi penerima terdapat residu, dengan diasumsikan nilai residu sebesar 0.1 dalam sistem.



GAMBAR 6
PERBANDINGAN ALOKASI DAYA PADA *IMPERFECT SIC*

Pada kondisi *imperfect* kapasitas pada pengguna ke-2 dan ke-3 alokasi daya GRPA memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan SPA. Sementara pada pengguna ke-1 alokasi daya SPA mendapatkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan alokasi daya GRPA. Menggunakan alokasi daya GRPA, pengguna ke-1 memiliki nilai kapasitas sebesar 6,044 Mbps, dan alokasi daya SPA sebesar 6,05 Mbps. Pada pengguna ke-2 alokasi daya GRPA mendapatkan nilai yang lebih besar yaitu 7,752 Mbps, sedangkan kapasitas alokasi daya SPA pengguna ke-2 memiliki nilai 7.727 Mbps. Pengguna ke-3 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 13,7 Mbps untuk alokasi daya GRPA dan 13,1 Mbps untuk alokasi daya SPA.

3. Pengaruh Kenaikan Residu terhadap Kapasitas Sistem

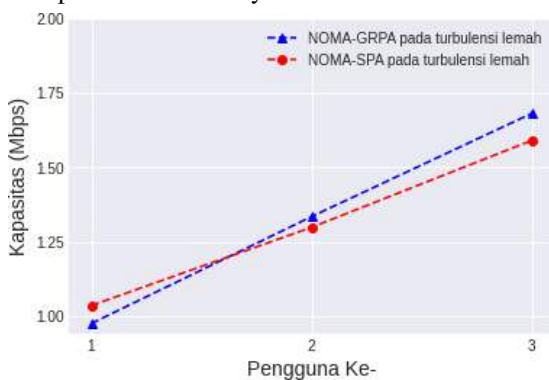


GAMBAR 7
PENGARUH RESIDU

Hasil simulasi dari pengaruh residu (ϵ) yang dihasilkan oleh proses pembatalan sinyal pada sisi penerima. Dengan kondisi *perfect* SIC pada pengguna ke-3 alokasi GRPA mendapatkan nilai kapasitas sebesar 19,4 Mbps, Sedangkan untuk GRPA *imperfect* SIC didapatkan 13,7 Mbps. Berdasarkan nilai tersebut terlihat bahwa pada saat kondisi *imperfect* SIC ($\epsilon = 0,1$) terjadi penurunan performansi kapasitas sebesar 29% dari kondisi *perfect* SIC ($\epsilon = 0$) pada posisi pengguna ke 3. Peningkatan residu dari 0 ke 0.1 dalam sistem NOMA-UVLC menyebabkan penurunan nilai kapasitas. Hal ini dikarenakan proses pembatalan sinyal di sisi penerima menghasilkan residu yang dianggap sebagai interferensi, sehingga berdampak terhadap performansi SINR dan kapasitas pada setiap pengguna di model sistem NOMA-UVLC.

B. Analisis Kapasitas dengan Alokasi Daya SPA dan GRPA pada kondisi turbulensi lemah

Pada Skenario kedua ini menganalisis kapasitas sistem dan mencari alokasi daya yang optimal dengan membandingkan kinerja alokasi daya GRPA dan alokasi daya SPA pada kondisi adanya turbulensi lemah

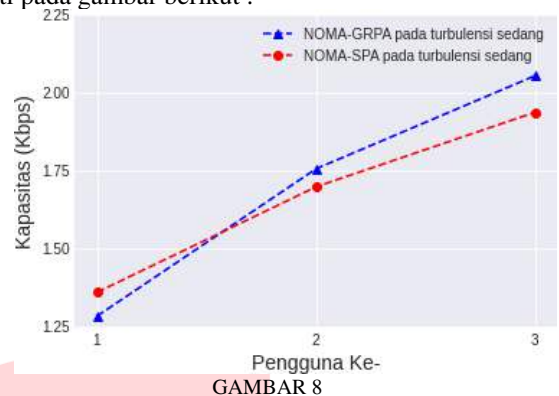


GAMBAR 7
KAPASITAS PADA KONDISI TURBULENSI LEMAH DENGAN ALOKASI DAYA GRPA DAN SPA

Dengan penerapan alokasi daya GRPA pengguna ke-1 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 0,98 Mbps, sedangkan untuk alokasi daya SPA didapatkan 1,034 Mbps. Terdapat selisih nilai kapasitas sebesar 0,05 Mbps. Pada *user* ke-2 nilai kapasitas yang didapatkan lebih besar atau mengalami peningkatan dari *user* ke-1 dengan nilai sebesar 1,35 Mbps untuk alokasi daya GRPA dan 1,299 Mbps untuk alokasi daya SPA. *User* ke-3 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 1,68 Mbps untuk alokasi daya GRPA lebih tinggi dibandingkan alokasi daya SPA sebesar 1,59 Mbps dengan selisih 0,9 Mbps. Nilai kapasitas tertinggi pada pengguna ke-3. Dapat dianalisis bahwa kapasitas sistem menjadi lebih rendah dikarenakan adanya pengaruh turbulensi, dengan selisih penurunan kapasitas pengguna ketiga sebesar 99% pada alokasi daya GRPA dan 92% pada alokasi SPA dibandingkan kondisi tanpa adanya turbulensi. Berdasarkan kinerja alokasi daya didapatkan kapasitas yang diperoleh dengan alokasi daya GRPA mengalami kenaikan terhadap jarak yang lebih stabil dibandingkan SPA.

C. Analisis Kapasitas dengan Alokasi Daya SPA dan GRPA pada kondisi turbulensi sedang

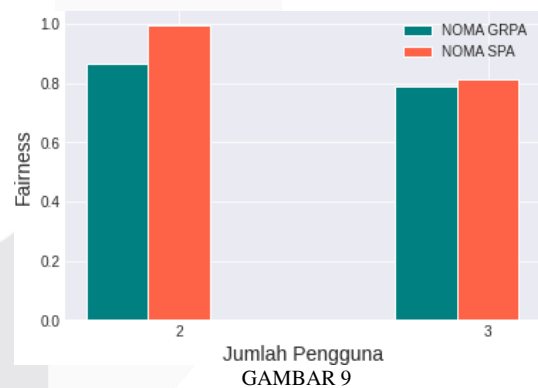
Dengan menggunakan jarak yang sama, pada skenario kedua ini menganalisis penerapan dari alokasi GRPA dan SPA pada kondisi turbulensi sedang. Hasil yang diperoleh seperti pada gambar berikut :



GAMBAR 8
KAPASITAS PADA KONDISI TURBULENSI SEDANG DENGAN ALOKASI DAYA GRPA DAN SPA

Dengan penerapan alokasi daya GRPA pengguna ke-1 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 1,28 Kbps, Sedangkan untuk alokasi daya SPA didapatkan 1,13 Kbps. Terdapat selisih nilai kapasitas sebesar 0,15 Kbps. Pada pengguna ke-2 nilai kapasitas yang didapatkan lebih besar atau mengalami peningkatan dari pengguna ke-1 dengan nilai sebesar 1,75 Kbps untuk alokasi daya GRPA dan 1,83 Kbps untuk alokasi daya SPA. Pengguna ke-3 mendapatkan nilai kapasitas sebesar 2,05 Mbps untuk alokasi daya GRPA lebih rendah dibandingkan alokasi daya SPA sebesar 2,32 Kbps dengan selisih 0,3 Kbps. Berdasarkan hasil simulasi dapat diamati bahwa kapasitas sistem mengalami penurunan dibandingkan pada kondisi turbulensi lemah.

D. Analisis Keadilan Pengguna pada Kinerja Alokasi Daya



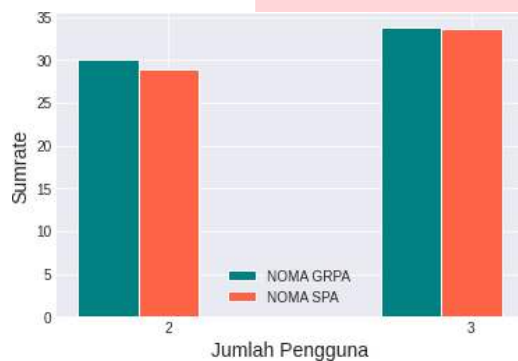
GAMBAR 9
KEADILAN PENGGUNA TERHADAP KINERJA ALOKASI DAYA.

User Fairness pada sistem didapatkan dari hasil simulasi cenderung mengalami penurunan nilai *User Fairness* terhadap jumlah pengguna. Dalam hasil tersebut dapat dilihat alokasi daya yang lebih optimal ditunjukkan oleh alokasi daya SPA dibandingkan alokasi daya GRPA. Dengan nilai keadilan pada 2 jumlah pengguna sebesar 0,99 untuk alokasi daya SPA dan 0,86 untuk alokasi daya GRPA. Lalu, dari peningkatan 1 jumlah pengguna menjadi sebanyak 3 jumlah pengguna memiliki rata-rata selisih sebesar 8% lebih kecil yaitu 0,79 untuk alokasi daya GRPA dan 18% yaitu 0,81 untuk alokasi daya SPA.

E. Analisis *Sumrate* Pengguna pada Kinerja Alokasi Daya

Dalam penerapan NOMA, nilai keefektifan pengguna pada sistem diperoleh dari hasil simulasi pada

Gambar 4.7 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 ini terdiri dari 2 dan 3 pengguna dengan alokasi daya masing-masing pengguna ditunjukkan pada 2 jumlah pengguna memiliki nilai efisiensi setiap pengguna yaitu bernilai 30,4 untuk alokasi daya GRPA dan 28,9 untuk alokasi daya SPA. Sedangkan dari peningkatan 1 jumlah pengguna menjadi 3 jumlah pengguna memiliki tingkat efisiensi pengguna sebesar 33,65 untuk alokasi daya SPA dan 33,78 untuk alokasi daya GRPA. Hal ini disebabkan ketika jumlah pengguna semakin bertambah maka jumlah data rate yang dihasilkan semakin besar.



GAMBAR 10
PERBANDINGAN NILAI SUMRATE PENGGUNA TERHADAP
KINERJA ALOKASI DAYA..

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh perubahan alokasi daya pada performansi NOMA-UVLC dengan alokasi daya yang digunakan yaitu alokasi daya SPA dan GRPA, serta pengaruh kondisi turbulensi adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan dari kinerja dari pada sistem NOMA-UVLC yang dirancang dengan perubahan alokasi daya dapat berpengaruh pada performansi kapasitas sistem. Diperoleh hasil alokasi daya GRPA lebih stabil dibandingkan dengan penerapan alokasi daya SPA. Peningkatan kapasitas rata-rata yang diberikan 52% pada alokasi daya GRPA. Hal ini dipengaruhi oleh dilakukannya perhitungan terlebih dahulu untuk mencari nilai alokasi daya yang optimal untuk setiap pengguna pada alokasi daya GRPA. Sehingga cocok untuk pengimplmentasiannya pada *user* yang banyak karena peningkatan kapasitas yang lebih stabil.

2. Kondisi turbulensi mempengaruhi nilai kanal dan kapasitas yang diperoleh oleh sistem. Berdasarkan pengujian pada skenario kedua, perbedaan kapasitas tertinggi yang didapatkan pada kondisi tidak adanya turbulensi lebih tinggi dengan selisih 91% untuk alokasi GRPA dan 92% untuk alokasi SPA dibandingkan kondisi turbulensi lemah. Serta dapat diperoleh alokasi daya yang stabil pada kondisi turbulensi yaitu pada alokasi daya GRPA karena rata-rata peningkatannya sebesar 36% dibanding dengan SPA sebesar 24% pada turbulensi lemah serta 33% untuk GRPA

dibandingkan 20% untuk SPA pada kondisi turbulensi sedang.

3. Dalam kondisi *imperfect* SIC terjadi penurunan performansi kapasitas rata-rata sebesar 12% pada alokasi GRPA dan 15% pada alokasi SPA. Hal ini dikarenakan adanya residu yang terdapat sebesar 0,1. Residu pada model sistem NOMA-UVLC dianggap sebagai interferensi pada proses pembatalan sinyal di sisi penerima.

4. Semakin banyak total pengguna dalam satu cakupan lampu LED, maka performansi tiap pengguna akan berkurang. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pengalokasian daya untuk setiap pengguna dengan total alokasi dalam sistem NOMA-UVLC, sehingga semakin banyak user semakin kecil alokasi daya yang diperoleh masing-masing *user*.

5. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4.6 yaitu nilai *user fairness* didapatkan hasil alokasi daya SPA lebih tinggi dibandingkan GRPA. Sedangkan pada Gambar 4.7 yaitu nilai sumrate alokasi daya GRPA memiliki kecenderungan menaik dan lebih tinggi dibandingkan alokasi daya SPA. Hal ini berarti bahwa nilai *user fairness* pada sistem yang dirancang berbanding terbalik dengan nilai *sumrate*.

REFERENSI

- [1] 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..
- [2] T. Szili, B. Matolcsy, and G. Fekete, "Water pollution investigations by underwater visible light communications," in *2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*. IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [3] Z. Zeng, S. Fu, H. Zhang, Y. Dong, and J. Cheng, "A survey of underwater optical wireless communications," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 204–238, 2016.
- [4] S. S. Bawazir, P. C. Sofotasios, S. Muhaidat, Y. Al-Hammadi, and G. K. Karagiannis, "Multiple access for visible light communications: Research challenges and future trends," *Ieee Access*, vol. 6, pp. 26 167–26 174, 2018.
- [5] Y. Liu, Z. Qin, M. El-kashlan, Z. Ding, A. Nallanathan, and L. Hanzo, "Non-orthogonal multiple access for 5g and beyond," *arXiv preprint arXiv:1808.00277*, 2018.
- [6] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press, 2019.

- [7] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," IEEE access, vol. 4, pp. 1518–1547, 2016.
- [8] N. Chi, LED-based visible light Communications. Springer, 2018.
- [9] R. Mitra, P. Sofotasios, V. Bhatia, S. Muhaidat et al., "Non-orthogonal multiple access for visible light communications with ambient light and user mobility," arXiv preprint arXiv:1911.06765, 2019.
- [10] 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.
- [11] Q. Li, T. Shang, T. Tang, and Z. Dong, "Optimal power allocation scheme based on multi-factor control in indoor noma-vlc systems," IEEE Access, vol. 7, pp. 82 878–82 887, 2019.
- [12] X. Guan, Q. Yang, and C.-K. Chan, "Joint detection of visible light communication signals under non-orthogonal multiple access," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 29, no. 4, pp. 377–380, 2017.
- [13] N. Anous, M. Abdallah, M. Uysal, and K. Qaraqe, "Performance evaluation of los and nos vertical inhomogeneous links in underwater visible light communications," IEEE Access, vol. 6, pp. 22 408–22 420, 2018.
- [14] M. C. Gökçe and Y. Baykal, "Aperture averaging and BER for Gaussian beam in underwater oceanic turbulence," Opt. Commun., vol. 410, no. • November 2017, pp. 830–835, 2018, doi: 10.1016/j.optcom.2017.11.049.
- [15] S. Woods, W. Hou, W. Goode, E. Jarosz, and A. Weidemann, "Measurements of turbulence for quantifying the impact of turbulence on underwater imaging," 2011 IEEE/OES/CWTM 10th Work. Conf. Curr. Waves Turbul. Meas. CWTM 2011, pp. 179–183, 2011, doi: 10.1109/CWTM.2011.5759548.
- [16] W. (Will) Hou, "A simple underwater imaging model," Opt. Lett., vol. 34, no. 17, p. 2688, 2009, doi: 10.1364/01.34.002688.
- [17] 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.
- [18] Marsuki, Aminah Indahsari, Akhmad Hambali, and Brian Pamukti. "Performance of Visible Light Communication Bit Error Rate with Power Allocation Strategy." [CEPAT] Journal of Computer Engineering: Progress, Application and Technology 1.01 (2022): 1-8.