

Simulasi Dan Analisis Sistem Daya Kontrol Adaptif Pada Noma VLC

Simulation And Analysis Of The Adaptive Power Control System On Noma VLC

1st Muhammad Naufal Akbar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
nnaufalakbar@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd Kris Sujatmoko
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
krissujatmoko@telkomuniversity.
ac.id

3rd Brian Pamukti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
brianpam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Teknologi frekuensi radio merupakan teknologi yang umum digunakan, teknologi ini memiliki kelemahan untuk tidak dapat menutupi peningkatan layanan data rate terutama dalam teknologi 5G. Visible Light Communication (VLC) yang merupakan salah satu subset dari sistem komunikasi optik, berpotensi menjadi solusi, atau bahkan pengganti untuk teknologi frekuensi radio. VLC memiliki berbagai Teknik Multiple Access, salah satunya ialah Non-Orthogonal Multiple (NOMA). Dalam komunikasi optik, sinyal yang ditransmisikan melalui kanal komunikasi akan selalu mengalami perubahan akibat adanya interferensi dari luar maupun pelanggan yang selalu bergerak dan terkadang menjauhi transmitter. Sebagai penyeimbang hal tersebut maka digunakanlah Teknik Power Control untuk mengatasi permasalahan permasalahan yang sering terjadi. Simulasi dengan Adaptive Power Control melampaui skema alokasi rasio daya, skema alokasi daya tetap, dan skema Multiple Access dalam hal pembagian waktu, atau dengan kata lain hasil yang diraih, dapat meningkatkan efisiensi kinerja sistem. Penelitian Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa jumlah serta letak user dalam teknik Adaptive Power Control NOMA VLC, mempengaruhi nilai rata - rata data rate dan rata - rata gain yang diraih. Penelitian ini juga membuktikan bahwa nilai Adaptive Power Control memiliki peranan penting dalam perubahan nilai gain. Dengan Adaptive Power Control, gain memiliki nilai 60% lebih efisien dalam penggunaannya.

Kata kunci — Visible Light Communication, NOMA, Adaptive Power Control

Abstract—Radio frequency technology is one of the communication technologies that's frequently used daily. This technology has disadvantage of not being able to cover the improvement of data rate services, especially in 5G communication technology. Visible Light Communication (VLC) subsets of the optical communication systems, has the potential to be a solution or a substitute for radio frequency technology. VLC has various Multiple Access Techniques, one of them is Non - Orthogonal Multiple Access (NOMA). In optical communication, the signal transmitted will undergo changes due to interference from outside or user who constantly moving away from transmitter. As a counterbalance, the power control technique is used to overcome variety of problems. Simulation with Adaptive Power Control (APC) go beyond the power ratio allocation scheme, fixed power allocation scheme, and Multiple Access scheme in terms of time division, or in other words the results achieved, can improve energy efficiency system. In this final project, research shows, the number and location of users in APC NOMA VLC, affects the average value of data rate and gain achieved. This research also proves that APC has important role in changing the gain value. With APC, gain is 60% more efficient in its use.

Keywords: Visible Light Communication,

NOMA, Adaptive Power Control

I. PENDAHULUAN

Saat ini sudah banyak sekali teknologi frekuensi ataupun daya pancar yang selalu kita gunakan dan manfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Teknologi frekuensi yang paling umum kita gunakan dalam hal komunikasi ialah teknologi frekuensi radio. Frekuensi radio ini dapat kita jumpai dalam hal komunikasi data pada antena radio, maupun komunikasi telepon seluler dengan BTS (Base Transceiver Station). Meskipun teknologi ini merupakan teknologi yang umum digunakan, teknologi frekuensi radio memiliki kelemahan untuk tidak dapat menutupi peningkatan layanan data rate terutama dalam hal teknologi 5G. Visible Light Communication (VLC) yang merupakan salah satu subset dari sistem komunikasi optik, berpotensi menjadi solusi, atau bahkan pengganti untuk teknologi frekuensi radio. VLC sendiri merupakan salah satu teknologi dalam hal komunikasi data dengan menggunakan gelombang elektromagnetik pada spektrum cahaya tampak. VLC memiliki berbagai Teknik Multiple Access, salah satunya ialah Non Orthogonal Multiple Access atau biasa disebut NOMA. NOMA berpotensi untuk mengungguli serta menggantikan Multiple Access sebelumnya seperti OFDMA. Dalam basis utamanya NOMA sendiri merupakan multiple access yang memiliki tujuan utama untuk melayani banyaknya jumlah pelanggan dengan menggunakan satu sumber, dalam hal frekuensi maupun waktu.

Dalam komunikasi optik, sinyal yang ditransmisikan melalui kanal komunikasi akan selalu mengalami perubahan akibat adanya interferensi dari luar maupun pelanggan yang selalu bergerak dan terkadang menjauhi transmitter. Sebagai penyeimbang hal tersebut maka digunakanlah Teknik Power Control untuk mengatasi permasalahan permasalahan yang sering terjadi. Power Control sendiri dapat dibagi menjadi dua macam, yakni Adaptive Power Control dan Conventional Power Control. Keduanya masing-masing memiliki pengertian yang sama yakni sebagai pengendali transmitter agar berbagai macam masalah seperti

interferensi maupun masalah near far effect user, hanya saja menggunakan teknik atau algoritma yang berbeda. Penelitian mengenai penerapan NOMA pada VLC sudah cukup banyak dilakukan, salah satunya adalah peneliti [1] yang membahas penerapan channel bit serta Adaptive Power Control pada NOMA VLC. Dari penelitian tersebut, didapatkan bahwa dalam penggunaan channel dan bit Adaptive Power Control, dengan mempertimbangkan bersama antara informasi channel state dan bit rate transmisi, di setiap LED transmitter untuk uplink NOMA VLC, sinyal yang diterima pada Photodiode (PD) merupakan konstelasi modulasi amplitudo pulsa yang cukup besar dan deteksi kemungkinan maksimum dengan kompleksitas rendah akan diterima. Kesimpulannya pada hasil simulasi terindikasi bahwa Adaptive Power Control ini akan melampaui skema alokasi rasio daya keuntungan, skema alokasi daya tetap, dan skema Multiple Access dalam hal pembagian waktu, atau dengan kata lain hasil yang diraih, dapat meningkatkan efisiensi energi pada sistem.

Penelitian dalam Tugas Akhir ini membandingkan pengaruh perubahan jumlah user terhadap nilai data rate dan gain dengan menggunakan Teknik Adaptive Power Control sebagai salah satu alternatif pada NOMA VLC. Hal-hal tersebut bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh perubahan jumlah dan letak user terhadap nilai data rate dan gain pada NOMA VLC. Power Control yang akan di desain hanya pada arah uplink (Uplink Power Control), sehingga Downlink Power Control tidak dibahas. Diasumsikan ada 5 variasi jumlah user yang diuji, yakni 2 user, 3 user, 4 user, 5 user, dan 6 user dengan lokasi yang berbeda-beda, serta Adaptive Power Control yang di simulasikan pada NOMA VLC diasumsikan ideal. Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang pertama adalah studi literatur (membaca) mengenai mekanisme power control (adaptif) pada sistem NOMA VLC. Setelah itu membuat pemodelan sistem serta mekanisme APC. Pembuatan model dan mekanisme dilakukan untuk membandingkan nilai data rate dengan 5 skenario jumlah user yang berbeda untuk

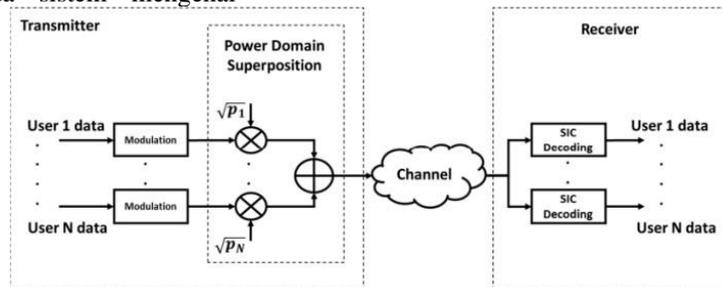
memperoleh hasil yang terbaik.

II. KAJIAN TEORI

A. Non – Orthogonal Multiple Access

Dalam sistem NOMA pada sisi Transmitter, terjadi proses pemasukan kode awal data yang berisi informasi yang akan dikirim melalui sistem Superposition Coding (SC). Setelah pemasukan data maka langkah selanjutnya ialah memberikan informasi kepada sistem mengenai

sistem modulasi yang akan dipakai dalam pengiriman datanya. Alokasi daya pada NOMA akan diatur dalam sistem Power Domain Superposition untuk memberikan daya secara efisien kepada tiap user. Sinyal yang dikirimkan transmitter akan melalui kanal dan ditangkap oleh receiver.



GAMBAR 1.
DIAGRAM BLOK NOMA

Pada sisi receiver sinyal akan diproses secara berbeda antara user 1 dengan user lainnya. Berbeda dengan sistem OFDMA lainnya yang bergantung pada sumber frekuensi atau waktu, NOMA memanfaatkan sistem power domain dan code domain. Power domain NOMA yang terletak pada sisi transmitter mengeksplorasi cara baru mengenai pembagian daya transmit pada user. Dayapada user umumnya ditentukan oleh Channel State Information (CSI). Pada sistem NOMA user dengan CSI rendah akan dikirimkan daya lebih banyak dibandingkan dengan user lainnya. Pembagian daya user dengan sistem ini memungkinkan sistem untuk segera melayani user dengan kondisi saluran yang buruk maupun lokasi user yang buruk. Sementara dalam Code domain NOMA yang terletak pada sisi receiver, sistem NOMA akan menyeleksi sinyal yang masuk dengan cara mendeteksi sinyal terjauh terlebih dahulu. Sinyal terjauh akan didecode dengan normal meskipun memiliki sedikit interferensi

(noise). Untuk sinyal terdekat akan didecode dengan cara mendeteksi sinyal user kedua dan menghilangkan sinyal tersebut dengan Successive Interference Cancellation (SIC) [2]. Penelitian ini berfokus pada Power Domain NOMA, dimana dilihat performansinya pada sisi transmitter LED.

B. Kanal LOS

Kanal VLC memiliki 2 macam karakteristik yakni kanal Line Of Sight (LOS) dan kanal Non Line Of Sight (NLOS). Kanal LOS merupakan kondisi dimana tidak adanya penghalang antara jalan sinyal dari transmitter ke receiver sedangkan kanal NLOS merupakan kondisi dimana terdapat penghalang antara jalannya sinyal yang dikirimkan transmitter ke receiver. Pada Kanal VLC, NLOS cenderung memiliki daya yang lebih kecil dari daya LOS, oleh karenanya banyak penelitian yang mengutamakan menggunakan kanal LOS [3]. kanal LOS dapat diperoleh dengan model matematis:

$$H_{los} = \frac{(m_l + 1)A_{det}}{2\pi d^2} \cos^{m_l}(\theta)g(\psi) \quad (1)$$

dengan Adet merupakan nilai area detektor Photodiode, d menggambarkan jarak antara Photodiode receiver dengan LED Transmitter, serta $g(\psi)$ merupakan nilai dari gain concentrator optik. Nilai ml yang mengespreksikan directivity sumber pencahayaan atau biasa disebut nilai Lambertian Mode.

C. Adaptive Power Control

Adaptive control adalah controller pintar dengan adjustable mechanism untuk mengatur parameter kontrol atau berarti mengubah tingkah laku atau

karakteristik untuk menyesuaikan diri dengan keadaan yang baru atau tidak diketahui. Sistem kontrol adaptif terdiri atas 2 loop tertutup. Loop pertama (fast loop control) adalah normal feedback control terhadap plant dan controller, loop kedua (slow loop) adalah loop dengan parameter adjustment. Pada sistem adaptif parameter pengendali disesuaikan setiap saat sehingga keluaran sistem selalu berubah mengikuti perubahan proses yang dikontrol. Adapun proses yang terjadi pada pengendali adaptif ini dengan model matematis:

$$\gamma_i = -\gamma_i = 2^{\sum_{j=1}^{i-1} k_j \frac{h_1}{h_i}} \gamma_1 \frac{h_1}{h_i} \tag{2}$$

$$\max_{2 \leq i \leq N} (1, 2^{\sum_{j=1}^{i-1} k_j \frac{h_1}{h_i}}) \tag{3}$$

gamma1 merupakan nilai APC yang menunjukkan faktor power control ($0 < \gamma_i \leq 1$). Nilai ki melambangkan nilai modulation order dari teknik modulasi Unipolar Pulse Amplitude Modulation (UPAM) yang membawa sinyal informasi dari transmitter ke receiver. pada persamaan (2) dan (3) terindikasi bahwa strategi adaptive power control yang diusulkan pada dasarnya kanal dan bit adaptive yang mengaktifkan tiap LED transmitter untuk

mengirimkan sub-konstelasinya sendiri dengan amplitudo yang disesuaikan secara adaptif [1]

D. Gain

Gain merupakan suatu besaran yang digunakan untuk memperoleh nilai perbandingan antara besaran sinyal keluaran dan sinyal yang masuk dalam bilangan logaritmis dengan satuan Decibel(dB). Gain dalam penelitian ini dapat di definisikan dalam model matematis seperti :

$$Gain = 20 \log_{10} \left(\frac{h_1 \gamma_1}{\sum_{i=1}^N 2^{k_i} - N} \right) / \left(\min_{1 \leq i \leq N} \frac{h_i}{2^{N k_i} - 1} \right) \tag{4}$$

dimana γ_1 merupakan nilai dari persamaan (2) dan nilai h1 dapat dicari dari persamaan (1) Nilai N merupakan jumlah LED atau user yang digunakan dalam penelitian.

pengukuran dalam satuan decibel(dB) yang digunakan peneliti untuk mengetahui perbandingan sinyal yang diinginkan dengan noise yang tidak diinginkan. Noise yang berada pada LED adalah shot noise dan thermal noise. SNR dapat didefinisikan dengan model matematis seperti :

E. Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio merupakan

$$SNR = \frac{I_p^2}{\sigma_T^2} = \frac{(RMP_T)^2}{\sigma_q^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{bg}^2 + \sigma_{th}^2 + \sigma_m^2} \tag{5}$$

nilai SNR yang tinggi dapat diperoleh dari foto detektor yang memiliki efisiensi kuantum yang tinggi untuk memperoleh sinyal yang besar, serta noise foto detektor dan penguat dengan nilai yang rendah.

F. Shannon Capacity

$$C = B \log_2(1 + SNR) \tag{6}$$

G. Pulse Amplitude Modulation

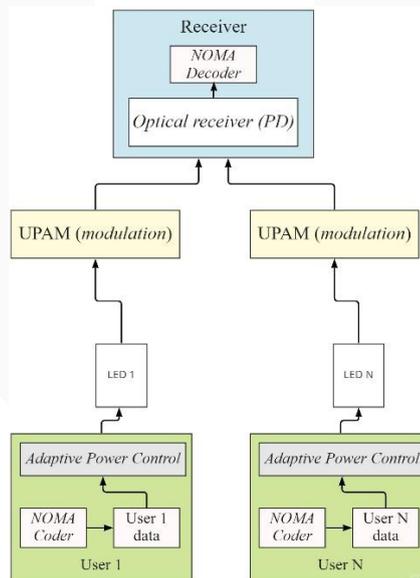
Quadrature amplitude modulation (QAM), discrete multitone (DMT), dan multilevel pulse amplitude modulation (PAM) merupakan teknik modulasi efisien yang biasa digunakan dalam komunikasi LED. Pulse Amplitude Modulation merupakan bentuk teknik modulasi yang paling sederhana. Metode konversi analog ke digital dengan informasi pesan dikodekan dalam amplitudo dari rangkaian pulsa sinyal. Dalam modulasi ini, sinyal diambil sampelnya secara berkala dan

Teorema Shannon Capacity merupakan teorema yang menjelaskan tentang jumlah maksimum informasi atau kapasitas data, yang dapat dikirim melalui kanal atau medium apapun (nirkabel, coax, fiber, dll). dengan C merupakan kapasitas kanal dalam satuan bits per second(bps).

setiap nilai sampel dibuat sebanding dengan amplitudo sinyal modulasi. Secara singkatnya, PAM bekerja dengan cara merubah amplitudo sinyal sampel menjadi sama dengan amplitudo sinyal modulasi. Dikarenakan Sinyal yang ditransmisikan dalam sistem VLC harus bernilai non-negatif dan real maka, teknik Unipolar dari PAM sering digunakan dalam tiap penelitian VLC [4].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Sistem



GAMBAR 2. DIAGRAM BLOK UPLINK NOMA – VLC

Pada gambar 2 Kedua sinyal carrier dihasilkan dalam NOMA coder dan diunggah ke dalam masing - masing adaptive power control, yang berfungsi sebagai pengatur masing - masing LED user untuk mentransmisikan sub-konstelasinya dengan amplitudo yang disesuaikan. Sinyal informasi ditumpangkan dengan menggunakan modulasi PAM yang merupakan modulasi sederhana untuk mengkonversikan sinyal analog ke digital dalam komunikasi VLC. Jarak antara transmitter dan receiver diatur sedemikian rupa, untuk menghasilkan data rate dan gain yang baik. Dalam PD receiver, sinyal optik terdeteksi oleh detektor foto dan kemudian ditangkap oleh ruang lingkup. Sinyal yang ditangkap dapat diterjemahkan di NOMA decoder. Perbedaan antara uplink dan downlink adalah metode alokasi daya yang digunakan. Di downlink, alokasi daya direalisasikan dalam domain digital, sementara pada uplink direalisasikan domain optik [5].

B. Analisis menggunakan APC

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini ialah melakukan simulasi Adaptive Power Control untuk membandingkan nilai data rate mana yang lebih efisien digunakan dalam 5 skenario yang diuji. Perbedaan dari 5 skenario yang diuji adalah perbedaan lokasi koordinat serta jumlah dari LED atau user. skenario pertama user LED berjumlah 2, dan bertambah seterusnya sampai skenario 5 dengan LED berjumlah 6 buah. Ukuran ruangan simulasi adalah $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 3\text{ m}$, yang merupakan ukuran ruangan yang digunakan dalam simulasi VLC pada umumnya [6]. dalam simulasi Photodiode yang merupakan receiver diletakkan di atas ruangan dalam koordinat (1.5 m, 2.2 m, 3 m). User LED dalam seluruh skenario diletakkan dalam plane sejauh 0.85 m dari dasar ruangan. Parameter yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut :

TABEL 1.
PARAMETER
SIMULASI

| Parameter | Nilai |
|---|--|
| <i>high</i> (Ketinggian PD dengan LED) | 2m |
| <i>high user plane</i> | 0.85m |
| $\theta_{1/2}$ (Sudut Setengah Iluminasi) | 70° |
| <i>Field of View</i> | 70° |
| <i>Area Detector</i> | 10^{-4} cm^2 |
| <i>Gain Optical Concentrator</i> | 1 |
| P_i (Daya Terima) | 5W |
| Ukuran Ruangan | $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 3\text{ m}$ |

Dalam simulasi ini untuk dapat membandingkan data rate tiap skenario hal yang dibutuhkan adalah nilai dari SNR tiap kanal Hlos. parameter yang digunakan dalam mencari SNR adalah sebagai berikut :

TABEL 2.
PARAMETER SNR

| Parameter | Nilai |
|--|---------------------------------------|
| <i>Responsivity (R)</i> | 0.8 |
| Multiplikasi | 1 |
| <i>Bandwidth</i> | 177 Ghz |
| Muatan Listrik (q) | $1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ |
| Suhu Ruangan (T) | 300 K |
| Konstanta Boltzman | $1,380649 \times 10^{-23}\text{ J/K}$ |
| <i>ShuntResistance (R_f)</i> | 800 Mohm |

Pada simulasi skenario 1, User LED yang berjumlah 2 buah ditempatkan dalam koordinat (1 m, 2 m, 0.85 m) dan (2 m, 1 m, 0.85 m). langkah pertama yang dilakukan ialah mencari jarak koordinat antara PD receiver dengan LED transmitter menggunakan rumus euclidian distance. Jarak yang didapat adalah $d_1 = 2.21$ dan $d_2 = 2.51$. langkah selanjutnya ialah mencari nilai kanal Los dengan menggunakan persamaan (1) bersamaan dengan daya terima receiver. Setelah mendapatkan nilai kanal Los, $H_1 = 1.22 \times 10^{-6}$ dan $H_2 = 1.03 \times 10^{-6}$, maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan algoritma Adaptive Power Control menggunakan persamaan (2) dan (3). Perlu diketahui nilai modulation order UPAM yang dipakai adalah $k_1 = 1$ dan $k_2 = 3$, maka nilai APC yang didapat adalah $\gamma_1 = 0.43$ dan $\gamma_2 = 1.43$. Tahap selanjutnya setelah mendapatkan nilai APC adalah, mencari nilai gain, yakni $\text{Gain}_1 = 12.26\text{ dB}$ dan $\text{Gain}_2 = 21.06\text{ dB}$ dengan menggunakan persamaan (4). Untuk mencari nilai SNR sesuai dengan persamaan (5), hal pertama yang dilakukan adalah mencari nilai noise. Receiver noise yang ada dalam penelitian ini adalah shot noise yang diakibatkan oleh ambient light dari LED dan Thermal Noise yang merupakan sinyal independen dan Gaussian. Nilai noise yang didapat

adalah shot noise, $I_{q1} = 2.77 \times 10^{-13}$, $I_{q2} = 2.34 \times 10^{-13}$ dan thermal noise $I_t = 2.73 \times 10^{-21}$. Setelah mendapatkan nilai total noise, maka nilai SNR yang didapatkan adalah $SNR1 = 86.53$ dan $SNR2 = 73.02$. Langkah terakhir yang dilakukan setelah mendapatkan nilai SNR adalah mencari nilai capacity atau data rate dengan menggunakan persamaan (6). Maka nilai capacity yang didapat ialah $C1 = 851.64$ Mbps dan $C2 = 819.72$ Mbps. Untuk seluruh skenario penelitian ini menggunakan Langkah yang sama. Setelah melakukan sampai skenario 5 (6 user LED) maka didapatkan nilai rata - rata gain dan data rate sebagai berikut :

TABEL 3. NILAI RATA - RATA GAIN

| Jumlah LED | Nilai rata-rata Gain |
|------------|----------------------|
| 2 user | 16.66 dB |
| 3 user | 19.65 dB |
| 4 user | 24.94 dB |
| 5 user | 35.93 dB |
| 6 user | 45.37 dB |

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai gain yang ada cenderung meningkat. Semakin bertambahnya jumlah user maka semakin bertambah pula nilai rata - rata gain tiap skenario. Dimulai dari skenario 1 dimana nilai rata - rata gain bernilai kurang dari 20 dB sampai skenario 5 dimana nilai rata - rata gain-nya lebih dari 40 dB. Pada LED yang berjumlah 4 user dan 5 user terdapat perbedaan nilai rata - rata gain yang besar. Hal ini salah satunya, dapat

TABEL 5. NILAI RATA - RATA GAIN TANPA APC

| Jumlah LED | Nilai rata-rata Gain |
|------------|----------------------|
| 2 user | 18.66 dB |
| 3 user | 21.84 dB |
| 4 user | 31.46 dB |
| 5 user | 42.17 dB |
| 6 user | 53.18 dB |

Apabila nilai rata - rata gain user yang menggunakan Adaptive Power Control dalam tabel 3 dibandingkan dengan nilai rata - rata gain pada tabel 5, dapat dilihat dalam gambar 3, bahwa tanpa menggunakan Adaptive Power Control nilai rata - rata gain yang diperoleh tiap user memiliki nilai yang lebih besar dari user yang menggunakan Adaptive Power Control. Maka dapat dikatakan bahwa penggunaan APC memiliki pengaruh dalam keefektifan sistem.

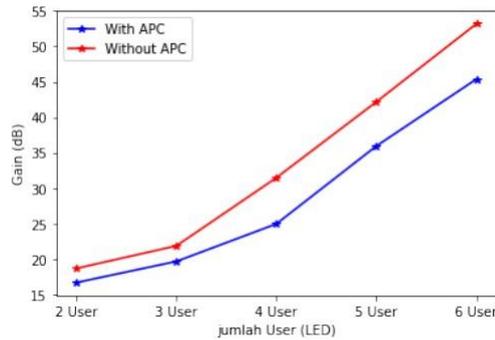
disebabkan oleh letak koordinat LED, dimana terdapat 2 buah LED dalam skenario 4 (5 user) yang memiliki jarak yang jauh dari PD receiver. Berbeda dengan nilai rata - rata gain yang cenderung naik, nilai rata - rata data rate dalam penelitian penggunaan APC ini memiliki nilai yang cenderung menurun. Terlihat dalam Tabel 4, bahwa nilai rata - rata menurun dari 835 Mbps menjadi 813 Mbps. Semakin bertambahnya jumlah user LED, semakin menurunnya nilai data rate. Hal ini dapat disimpulkan bahwa jumlah pertambahan user, dapat mempengaruhi nilai rata - rata data rate. Penurunan nilai data rate juga dapat disebabkan oleh letak koordinat user LED yang jauh dari PD receiver.

TABEL 4. NILAI RATA - RATA CAPACITY

| Jumlah LED | Nilai rata-rata Gain |
|------------|----------------------|
| 2 user | 835.68 Mbps |
| 3 user | 830.07 Mbps |
| 4 user | 827.76 Mbps |
| 5 user | 820.58 Mbps |
| 6 user | 813.81 Mbps |

C. Analisis tanpa menggunakan APC

Seperti disebutkan dalam penelitian [1], penggunaan APC dapat dikatakan efektif apabila gain yang digunakan transmitter memiliki nilai kurang dari 20 dB. Dalam alur perhitungan yang sama, tanpa menggunakan nilai Adaptive Power Control nilai rata-rata gain tiap user dapat diperoleh sebagai berikut :



GAMBAR 3. PERBANDINGAN PLOT CHART GAIN

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis penelitian, dapat ditarik kesimpulan, pertama perubahan jumlah user LED mempengaruhi nilai rata-rata data rate. Hal ini disebabkan oleh letak koordinat user LED dari PD receiver. Semakin jauh posisi user LED, semakin kecil juga nilai data rate-nya. Kedua, Perubahan Jumlah user LED mempengaruhi nilai rata-rata gain. Hal ini disebabkan oleh nilai Adaptive Power Control, nilai kanal LOS, dan letak koordinat user LED. Dalam hal nilai Adaptive Power Control dan kanal LOS, semakin kecil nilainya, maka akan semakin kecil pula

nilai rata-rata gainnya. Sementara dalam hal letak koordinat LED, semakin jauh letak user maka akan semakin besar nilai tiap gain-nya. Dan terakhir, nilai Adaptive Power Control memiliki peranan penting dalam nilai gain tiap user yang diperoleh. Apabila Adaptive Power Control mempunyai nilai yang kurang dari 1, maka nilai gain yang didapat cenderung lebih kecil, yang menjadikan performansi sistem lebih efisien. Hal ini disebabkan oleh rumus perhitungan antara nilai Adaptive Power Control user 1 berbeda dengan user lainnya.

REFERENSI

- [1] Z.-Y. Wang, H.-Y. Yu, and D.-M. Wang, "Channel and bit adaptive power control strategy for uplink noma vlc systems," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 2, p. 220, 2019.
- [2] Z. Elsaraf, F. Khan, and Q. Ahmed, "Performance analysis of code-domain noma in 5g communication systems," *Proceedings of the 2018 ELEKTRO, Mikulov, Czech Republic*, pp. 21–23, 2018.
- [3] H. Shen, Y. Wu, W. Xu, and C. Zhao, "Optimal power allocation for downlink two-user non-orthogonal multiple access in visible light communication," *Journal of Communications and Information Networks*, vol. 2, no. 4, pp. 57–64, 2017.
- [4] M. Secondini and E. Forestieri, "Direct detection of bipolar pulse amplitude modulation," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 38, no. 21, pp. 5981–5990, 2020.
- [5] B. Lin, X. Tang, Z. Ghassemlooy, Y. Li, M. Zhang, Y. Wu, and H. Li, "A noma scheme for visible light communications with single carrier transmission and frequency-domain successive interference cancellation," *Optik*, vol. 183, pp. 445–450, 2019.
- [6] Y.-Y. Zhang, H.-Y. Yu, and J.-K. Zhang, "Block precoding for peak-limited miso broadcast vlc: Constellation-optimal structure and addition-unique designs," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 36, no. 1, pp. 78–90, 2017..