

**ALOKASI SUMBER DAYA DENGAN ORIENTASI ACAK MENGGUNAKAN  
METODE ALGORITMA GREEDY PADA *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION***

***RESOURCES ALLOCATION USING RANDOM ORIENTATION WITH  
GREEDY ALGORITHM METHOD IN VISIBLE LIGHT COMMUNICATION***

Raga Filydevilia Putra<sup>1</sup>, Nachwan Mufti Adriansyah<sup>2</sup>, Brian Pamukti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>ragafily@student.telkomuniversitygmail.ac.id

<sup>2</sup>nachwanma@telkomuniversity.ac.id <sup>3</sup>brianp@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**

Teknologi *Visible Light Communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi yang memiliki kapasitas besar. Dalam pengimpelemantasiannya diperlukan proses pengalokasian untuk meningkatkan kualitas sistem. Pengujian akan berfokus pada proses pengalokasian *time slots* ke *User Equipment* (UE) menggunakan penjadwalan algoritma *Greedy*. Penyebaran UE disebar secara acak di dalam ruangan ukuran 5x5x4 meter dengan jumlah dari 6 hingga 24 UE dan setiap orientasi UE diubah sudutnya secara bertahap antara 0°, 15°, dan 30°. Pada hasil pengujian, nilai rata - rata kenaikan total *throughput* sistem terhadap variasi jumlah UE meningkat sebesar 0.034% jika sistem menggunakan penjadwalan algoritma *Greedy* dan *power consumption* yang dibutuhkan 2.19 kali lebih hemat dibandingkan tanpa penjadwalan algoritma *Greedy*. Perubahan orientasi sudut penerima ke 30° menghasilkan nilai rata rata total *throughput* terkecil yaitu sebesar 1444.096 Mbps dan terbesar pada sudut 0° dengan 1503.478 Mbps dalam variasi jumlah UE. Kemudian nilai *fairness* sistem dipengaruhi oleh jumlah UE yang tersedia dengan nilai *fairness* tertinggi sebesar 0.833 ketika jumlah terdapat 6 UE dan nilai *fairness* terkecil sebesar 0.208 ketika terdapat 24 UE dalam sistem. Hal tersebut membuktikan bahwa dengan penambahan jumlah UE dapat menaikkan total *throughput* dan menurunkan nilai *fairness* sistem.

**Kata kunci:** *Visible Light Communication, Resource Allocation, Channel State Information, Fairness*

**Abstract**

*Visible Light Communication Technology* (VLC) is a communication technology that has a large capacity in sending data. The allocation process is needed to improve the system quality in its implementation. The test will be focused to the process of allocating time slots to *User Equipment* (UE) by scheduling *Greedy Algorithm*. UE distribution is spreaded randomly in a 5x5x4 meter room with amounts from 6 to 24 UE and each direction of UE is changed gradually between 0°, 15°, and 30°. The test results shows that the average of the total increase value in system *throughput* to variations of UE increases 0.034 % when the system using the scheduling *Greedy algorithm* and it requires *power consumption* which 2.19 times more efficient. Changing the receiver's point of view to 30° results in an average total *throughput* of 1444.096 Mbps and the highest at 0° with 1503.478 Mbps in variations of the UE, then the *fairness* value of the system is affected by the available UE. The highest *fairness* value is 0.833 when the number of UE is 6 while the lowest *fairness* value is 0.208 when there are 24 UE in the system. This is prove that with adding the amounts of UE can increase the total *throughput* and reduce the value of *fairness* system.

**Key words :** *Visible Light Communication, Resource Allocation, Channel State Information, Fairness*

**1. Pendahuluan**

Pada era globalisasi saat ini, kebutuhan proses telekomunikasi mengalami perkembangan yang sangat cepat, sehingga hampir seluruh manusia di dunia bergantung dengan teknologi telekomunikasi. Teknologi yang dibutuhkan harus memiliki performansi dari aspek kapasitas tetapi tidak menghilangkan aspek pengiriman data yang cepat, dan energi yang efisien. Kebutuhan tersebut dapat dipenuhi dengan menggunakan salah satunya jaringan komunikasi teknologi optik. *Optical Wireless Communication* merupakan teknologi optik alternatif untuk pengimplementasian dalam dan luar ruangan serta mendukung jaringan nirkabel tidak berlisensi dengan kecepatan tinggi, hemat biaya, dan mendukung mobilitas dalam ruangan. Salah satu implementasi OWC di dalam ruangan adalah *Visible Light Communication* (VLC) [2]. VLC adalah teknologi yang

memanfaatkan cahaya tampak dari *Light Emitting Diode* (LED) yang hemat energi sebagai media transmisi dalam mengirimkan informasi ke penerima.

Salah satu permasalahan yang muncul pada sistem VLC ialah kualitas sistem dan efisiensi daya kirim yang dibutuhkan dalam jumlah *User Equipment* (UE) yang bervariasi. Dibutuhkan proses manajemen penjadwalan yang baik agar dapat menjaga bahkan meningkatkan kualitas sistem dalam penggunaan sistem dalam jumlah UE bervariasi dan sudut orientasi dari UE yang tidak akan selalu  $0^\circ$ . Pada penelitian [5] menggunakan algoritma penjadwalan *Greedy* sebagai salah satu algoritma dalam proses pengalokasian *resource* untuk optimasi pada jaringan *Long Term Evolution* (LTE). Maka dari itu pada penelitian ini menggunakan algoritma penjadwalan *Greedy* sebagai proses pengalokasian pada sistem VLC dan menganalisis pengaruhnya terhadap kualitas sistem tersebut.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Visible Light Communication

*Visible Light Communication* adalah salah satu teknologi pengiriman informasi dari pengirim ke penerima menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisinya. Teknologi Komunikasi ini merupakan jenis *short range* dari *Optical Wireless Communication* (OWC) karena jarak pengirim dengan penerima kisaran beberapa meter saja. Pada bagian pengirim VLC digunakan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai sumber cahaya yang selain mengirimkan informasi juga dapat menjadi penerangan di dalam ruangan. Di sisi penerima terdapat *photodetector* untuk menangkap sinyal cahaya dari LED. Cahaya tampak merupakan radiasi dari elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang (380 - 780) nm sehingga menghasilkan *bandwidth* yang lebih besar dibanding teknologi radio frekuensi [1].

### 2.2. LED

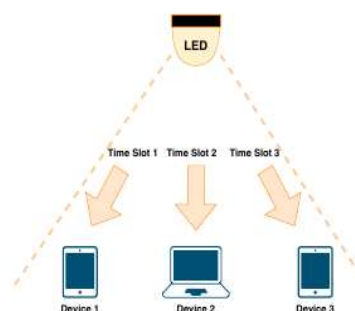
*Light Emitting Diode* (LED) merupakan salah satu bagian dari dari piranti elektronika dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor dan terdapat p-n *junction* yang bergerak sehingga menyebabkan struktur positif dan negatif nya dapat mengeluarkan foton (satuan energi dalam cahaya) ketika diberi tegangan listrik ke dalam. LED dapat mengalami perubahan energi yang efisien dan panas yang lebih sedikit dibanding dengan jenis lampu lainnya [2].

### 2.3. Photodetector

*Photodetector* merupakan salah satu jenis dioda yang nilai resistansinya dapat berubah terhadap intensitas cahaya. Pada teknologi VLC, *photodetector* berperan sebagai penangkap informasi dari pengirim yang berupa sinyal cahaya yang telah termodulasi. *photodetector* pada umumnya terdapat dua jenis, yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) *Photodiode* dan *Avalanche Photodiode* (APD). Pada PIN *Photodiode* terdapat P-N *junction* yang terpisahkan oleh daerah intristik [2].

### 2.4. TDMA

Salah tujuan dari penggunaan akses jamak ialah untuk dapat memaksimalkan sumber daya dalam menghadapi kondisi kanal atau melonjaknya *User Equipment* (UE) sehingga dapat menjaga ketersediaan kanal. Salah satu *multiple access* yang sering digunakan adalah *Time Division Multiple Access* (TDMA). TDMA merupakan salah satu teknik akses jamak yang menggunakan sinyal pembawa secara tunggal pada proses pentransmisi dengan menggunakan pembagian waktu/*time slots* seperti pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. TDMA di VLC [3].

### 2.5. Kanal Transmisi

Kanal transmisi merupakan media tempat merambatnya sinyal pembawa bersama informasi yang

ingin dikirim dari pengirim ke penerima. Pada sistem VLC terdapat dua jenis kanal pendistribusian cahaya yang sering digunakan, yaitu *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line Of Sight* (NLOS). Kanal LOS adalah model kanal yang bagian pengirim dan penerima saling berhadapan tanpa adanya gangguan dari benda (*obstacle*). Pada proses pendistribusian sudut dari pola intensitas radiasi dapat dimodelkan dengan menggunakan intensitas radiasi lambertian yang mana memiliki hubungan dengan *Full Width at Half Maximum* (FWHM) atau *semi-angle* yang dapat dirumuskan sebagai berikut [2] :

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos \Phi_{1/2})}$$

dengan  $\Phi$  adalah FWHM. Pada kanal LOS dapat dirumuskan oleh :

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

dengan  $A_e$  adalah area *photodetector* pada penerima,  $d$  adalah jarak penerima terhadap pengirim.  $\Phi$  adalah sudut propagasi dari pengirim dengan penerima. Untuk mendapatkan nilai daya terima dirumuskan oleh :

$$P_{rx} = P_{tot} \cdot H \cdot T_s(\Psi) \cdot g(\Psi) \cdot \cos(\psi) \cdot nLED, 0 \leq \psi \leq \psi_{con}, \quad (3)$$

dengan  $T_s(\Psi)$  merupakan penerima dengan filter *pass-band* optik transmisi,  $g(\Psi)$  adalah konsentrator *gain*,  $\psi_{con}$  merupakan *Field of view* (FOV), serta  $nLED$  jumlah lampu yang digunakan.

## 2.6. Random Orientation

*Random orientation* adalah suatu parameter yang menyatakan bahwa sudut dari perangkat penerima tidak selalu tetap melainkan dapat berubah secara acak sehingga mempengaruhi kualitas konektivitas yang baik. Hal ini akan berkaitan dengan teorema rotasi *Euler* yang menyatakan bahwa setiap rotasi di dalam ruangan tersusun tiga rotasi elemen. Sumbu  $x$  sebagai kutub timur positif,  $y$  sebagai kutub utara positif, sumbu  $z$  tegak lurus keatas positif dan ketiganya berada di bidang tanah [4].

## 2.7. Algoritma Greedy

Algoritma *Greedy* adalah algoritma optimasi yang dapat mengalokasikan *resource* kepada UE dengan menjadikan nilai CSI sebagai parameter dalam mengalokasikan. Algoritma *Greedy* menentukan suatu solusi dengan langkah per langkah (*step by step*) untuk mendapatkan keputusan terbaik dalam menentukan keputusan. Dalam menentukan keputusan untuk optimasi biasanya algoritma *Greedy* menggunakan maksimasi (*maximization*). Dengan menggunakan algoritma ini memungkinkan ada UE yang tidak mendapatkan pengalokasian sumber daya sama sekali karena lebih memprioritaskan yang memiliki kualitas lebih baik tanpa memperhatikan resiko [5].

## 2.8. Signal to Noise Ratio

*Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan nilai dari hasil perbandingan antara daya sinyal yang ditransmisikan dengan daya *noise* yang terdapat pada sistem transmisi. SNR dapat digunakan untuk mengetahui *noise* yang mengganggu sinyal yang diterima oleh setiap UE. Sinyal yang mengalami gangguan *noise* akan mempengaruhi kualitas sinyal yang diukur dengan satuan desibel (dB) yang dapat dihitung dalam persamaan berikut [2] :

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot q \cdot (I_p) \cdot B \cdot M^2 \cdot F(M) + 2 \cdot q \cdot (I_D) \cdot B \cdot M^2 \cdot F(M) + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot B}{R_L}} \quad (4)$$

Dengan  $I_p$  merupakan arus primer,  $I_D$  merupakan arus *dark*,  $M$  merupakan multiplikasi dengan nilai ketetapan 1 pada tipe *photodetector* PIN,  $q$  merupakan muatan elektron dengan ketetapan  $1.6 \times 10^{-19}$ ,  $B$  merupakan *bandwidth*,  $F(M)$  merupakan *noise figure* dengan kelipatan 1 pada *photodetector* PIN,  $I_L$  merupakan arus bocor,  $K_B$  merupakan konstanta boltzman dengan ketetapan  $1.38 \times 10^{-23}$ ,  $T$  merupakan ekuivalen dari suhu *noise*,  $R_L$  merupakan muatan resistor,  $h$  merupakan konstanta planck dengan ketetapan  $6.625 \times 10^{-24}$ .

## 2.9. Fairness Indeks

*Fairness* indeks adalah nilai untuk mengukur tingkat keadilan yang didapatkan dari laju bit maksimum rata-rata pada tiap penerima yang berdasarkan hasil proses pertransmisi pengirim ke penerima. Salah satu jenis dari pengukuran *fairness* yaitu *Jain's Fairness* yang dinyatakan dalam persamaan [6]:

(5)

$$f(x) = \frac{(\sum x)^2}{n(\sum x^2)}$$

dengan  $f$  adalah nilai *fairness index*,  $x$  merupakan nilai *throughput* dari setiap UE, dan  $n$  adalah jumlah UE dalam sistem.

**2.10. Throughput**

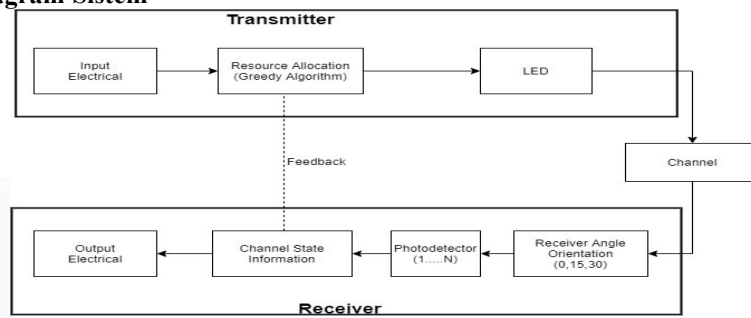
*Throughput* merupakan laju data maksimum yang dapat dikirim yang melewati kanal dan diterima untuk 1 penerima dengan asumsi peluang tidak terjadi kesalahan dalam pengiriman. *Shannon* menurunkan persamaan kapasitas kanal yang telah ternormalisasi (kapasitas per satuan *bandwidth*) dengan persamaan sebagai berikut [7] :

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

dengan nilai SNR didapatkan dari sisi penerima dan  $B$  adalah nilai *bandwidth* yang digunakan oleh sistem.

**3. Perancangan dan Simulasi Sistem**

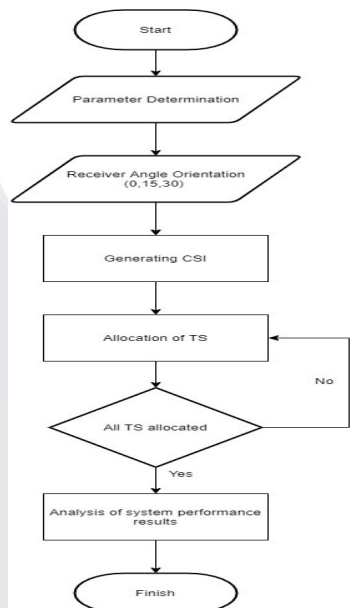
**3.1. Blok Diagram Sistem**



**Gambar 2.** Blok diagram sistem.

Terlihat pada Gambar 2 merupakan sistem VLC dengan proses pengalokasian. Secara garis besar blok diagram terdiri dari *transmitter* dan *receiver*. Tetapi, yang membedakan ialah terdapat *feedback* dari pengirim ke penerima berupa CSI untuk dijadikan parameter pengambilan keputusan proses pengalokasian dengan algoritma penjadwalan *Greedy*. Kemudian pada sudut orientasi penerima tidak menetap pada 0° saja melainkan akan berubah secara bertahap antara 0°, 15°, dan 30°.

**3.2. Diagram Alir Sistem**



**Gambar 3.** Daigram alir sistem.

Perancangan skenario pada sistem VLC dengan proses pengalokasian *time slots* di tunjukkan pada Gambar 3. Penelitian ini berfokus pada proses *downlink* sistem VLC terhadap pengaruh dari kinerja sistem setelah menggunakan proses pengalokasian menggunakan penjadwalan algoritma

*Greedy*.

### 3.3. Desain Pengujian VLC

Pada bagian ini, memfokuskan pada spesifikasi LED, kanal transmisi, spesifikasi *photodetector* dan algoritma pengalokasian yang digunakan.

#### 3.3.1 Spesifikasi LED

Pengirim yang digunakan berupa LED dengan daya total sebesar 7 Watt. Lampu LED tersebut diletakkan ditengah atas ruangan (0,0,4).

#### 3.3.2 Kanal Transmisi

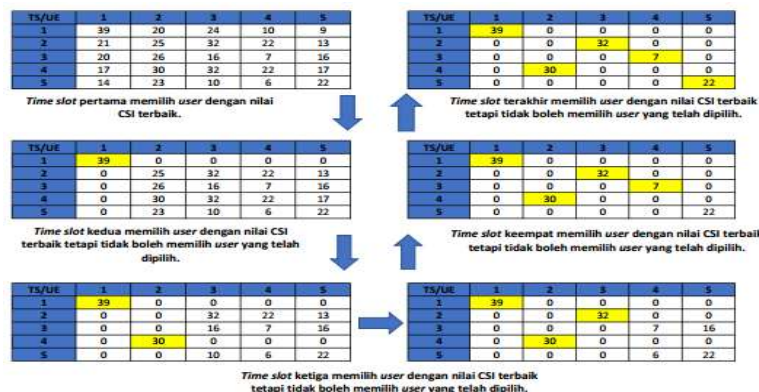
Kanal yang digunakan ialah menggunakan kanal LOS yang berarti di dalam ruangan tersebut tidak terdapat interferensi dari cahaya lain dan *obstacle* yang mengganggu proses transmisi.

#### 3.3.3 Spesifikasi *Photodetector*

*Photodetector* yang digunakan berjenis N-Type silicon PIN *Photodetector*. Tipe *photodetector* ini memiliki karakteristik dengan luas permukaan sebesar 1 cm<sup>2</sup>, memiliki *Field of View* (FOV) sebesar 60° untuk dan memiliki responsivitas 0.4 A/W.

#### 3.3.4 Algoritma *Greedy*

Algoritma *Greedy* digunakan pada pengujian sistem karena algoritma ini dapat mengalokasikan *time slots* hanya kepada UE yang memiliki nilai CSI terbaik. Sehingga diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari sistem tersebut. Jumlah *time slots* ditentukan dalam pengujian ditentukan hanya sebanyak 5 *time slot* pada setiap percobaan. Kemudian dilakukan pengecekan nilai CSI tiap UE. *Time slot* pertama mendapatkan kesempatan untuk memilih UE dengan nilai CSI terbaik dan UE tersebut tidak dapat dipilih kembali oleh *time slot* berikutnya. Langkah tersebut diulang sebanyak jumlah *time slots* hingga semua *time slot* telah teralokasi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses pengalokasian [8].

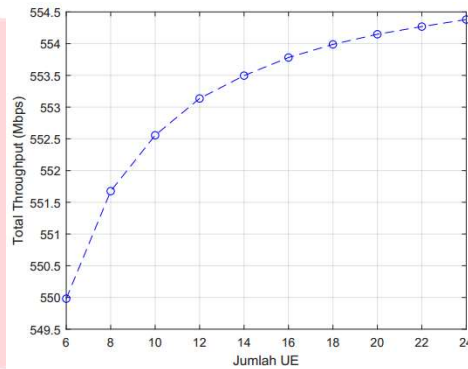
## 4. Hasil dan Analisis

Bab ini menampilkan hasil pengujian berdasarkan parameter – parameter yang telah dijelaskan di bab sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan beberapa pengujian diantaranya menentukan nilai SNR/CSI sistem, nilai total *Throughput* sistem, *power consumption* sistem, dan nilai *fairness* sistem. Setiap pengujian dilakukan dengan asumsi jumlah UE bervariasi, lokasi UE berubah secara acak, dan orientasi sudut juga berubah antara 0°, 15°, dan 30°. Hasil tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh proses pengalokasian penjadwalan algoritma *Greedy* dan tanpa algoritma *Greedy* terhadap kinerja sistem VLC.

### 4.1. Nilai *Throughput* Sistem

#### 4.1.1.1. Pengujian dengan jumlah UE Bervariasi Menggunakan Algoritma *Greedy*

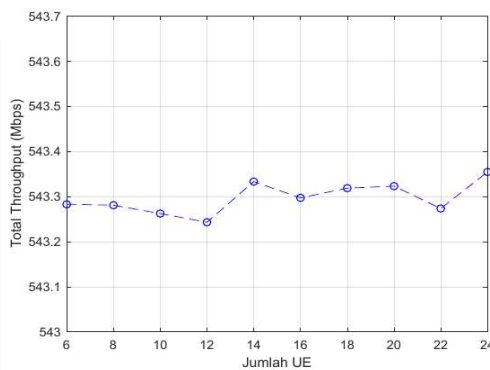
Salah satu parameter untuk mengukur hasil dari kinerja sistem yang menggunakan proses pengalokasian dengan algoritma penjadwalan *Greedy* pada orientasi sudut penerima tetap di 0°, maka dilakukan perhitungan *data rate*. Perhitungan menggunakan teorema *Shannon* pada persamaan (7) dengan jumlah UE terdiri dari 6 hingga 24 UE



**Gambar 5.** Total *throughput* dengan algoritma *Greedy*.

Pada Gambar 5 terdapat grafik hasil pengalokasian dengan penjadwalan algoritma *Greedy* yang dapat meningkatkan total *throughput* sistem seiring dengan bertambahnya jumlah UE. Rata-rata total *throughput* sistem seiring pertambahan jumlah UE dengan jumlah *time slot* yang tetap berada pada 1503.478 Mbps dan kenaikan jumlah UE dari 6 ke 24 menghasilkan peningkatan *throughput* sebesar 0.034 %. Hal ini disebabkan karena adanya *Multiuser Diversity Gain* yang terjadi bila suatu sistem hanya mentransmisikan hanya kepada UE dengan nilai CSI terbaik dalam waktu tertentu.

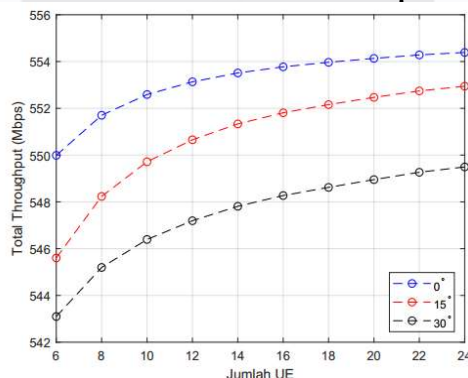
#### 4.1.1. Pengujian dengan jumlah UE Bervariasi Tanpa Menggunakan Algoritma Greedy



**Gambar 6.** Total *throughput* tanpa algoritma *Greedy*.

Bedasarkan hasil pengujian dari Gambar 6 grafik menjelaskan bahwa proses pengalokasian tanpa menggunakan konsep penjadwalan algoritma *Greedy* pada sistem VLC menghasilkan nilai total *throughput* cenderung stabil seiring dengan bertambahnya jumlah UE. Nilai *throughput* terkecil pada pengujian ini ketika terdapat 16 UE dengan total nilai *throughput* sistem sebesar 1403.086 Mbps dan nilai *throughput* tertinggi saat terdapat 14 UE dengan total *throughput* sistem sebesar 1403.797 Mbps. Hal ini karena dalam proses pengalokasian tiap *time slot* hanya memilih berdasarkan urutan UE tanpa mempertimbangkan kualitas nilai CSI yang dipilih. Sehingga total *throughput* sistem yang didapatkan stabil dan tidak terpengaruh oleh *Multiuser Diversity Gain*.

#### 4.1.2. Pengujian Orientasi Sudut Penerima Bervariasi Terhadap Nilai Data Rate



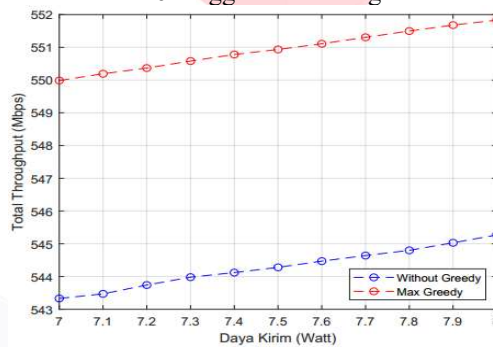
**Gambar 7.** Total *throughput* dengan *random orientation*.

Pengujian ini dilakukan dengan jumlah UE bervariasi antara 6 - 24 UE. Kemudian nilai tersebut

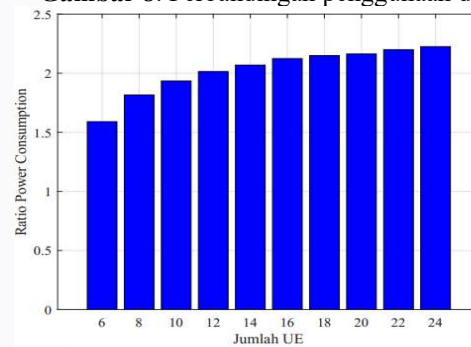
di bandingkan dengan perubahan nilai pada skema orientasi sudut penerima acak antara 0°, 15°, dan 30°. Pada Gambar 7 terdapat grafik perbandingan nilai total *throughput* sistem pada 6 UE menghasilkan nilai tertinggi ketika sudut penerima/UE di 0° dengan nilai sebesar 1470.771 Mbps dan nilai terkecil didapatkan saat sudut UE di 30° dengan nilai sebesar 1400.923 Mbps Hal ini disebabkan pengaruh orientasi sudut penerima yang dapat menyebabkan pengurangan daya yang diterima oleh *photodetector*. Semakin besar perubahan sudut orientasi dari 0° maka semakin tinggi pengurangan daya yang diterima tiap UE sehingga mempengaruhi nilai CSI dan total *throughput* sistem menurun.

**4.2. Power Consumption Sistem**

Pengujian dilakukan dengan menghitung nilai *throughput* pada penggunaan daya kirim dari 7 Watt hingga 8 Watt dengan terdapat 6 UE dan sudut orientasi tiap UE tetap di 0°. Kemudian pada pengujian berikutnya ditentukan target nilai total *throughput* yang ingin dicapai yaitu sebesar 560 Mbps terhadap variasi jumlah UE dari 6 hingga 24 UE dengan sudut orientasi penerima tetap di 0°.



**Gambar 8.** Perbandingan penggunaan daya.

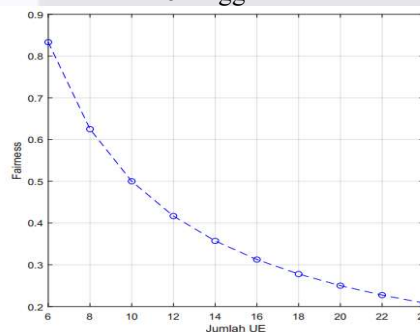


**Gambar 9.** Perbandingan dengan target 560 Mbps.

Pada Gambar 8 dan 9 menggambarkan kenaikan penggunaan daya kirim dari 7 hingga 8 Watt didapatkan total *throughput* rata - rata dengan penggunaan algoritma *Greedy* ialah sebesar 1480.597 Mbps dan tanpa penggunaan algoritma *Greedy* ialah sebesar 1413.257 Mbps. Kemudian saat target nilai total *throughput* sistem yang diinginkan sebesar 560 Mbps dengan variasi jumlah UE didapatkan rasio perbandingan *power consumption* paling hemat saat terdapat 24 UE dengan daya yang dibutuhkan hanya sebesar 6.25 Watt dan nilai tersebut 2.19 kali lebih hemat dibanding tanpa menggunakan algoritma *Greedy*.

**4.3. Nilai Fairness Sistem**

Pengujian ini nilai *fairness* didapatkan dari hasil proses pengalokasian menggunakan algoritma *Greedy* dengan jumlah UE bervariasi dari 6 hingga 24 UE.



**Gambar 10.** Fairness sistem.

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik nilai *fairness* pada sistem yang telah dirancang. Hasil tersebut menggambarkan pertambahan jumlah UE dapat mempengaruhi nilai *fairness* dari sistem. Semakin banyak jumlah UE maka nilai *fairness* mendekati 0 yang berarti sistem tersebut tidak adil. Nilai *fairness* tertinggi ketika terdapat 6 UE dengan nilai 0.833 dan nilai *fairness* terendah ketika jumlah terdapat 24 UE dengan nilai 0.208. Hal ini disebabkan karena terbatasnya jumlah *time slots* sistem yaitu hanya sebanyak 5 *time slots*. Sehingga semakin banyak jumlah UE yang tidak mendapatkan alokasi daya.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap sistem VLC dengan proses pengalokasian menggunakan algoritma penjadwalan *Greedy*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pertambahan jumlah UE pada sistem VLC pada proses pengalokasian dengan algoritma penjadwalan *Greedy* dapat meningkatkan total *Throughput* sistem dengan nilai rata - rata kenaikan sekitar 0.034 %. Hal itu disebabkan karena adanya pengaruh dari konsep *Multiuser Diversity Gain*.
2. Perubahan orientasi sudut pada UE dapat mempengaruhi total *throughput* sistem. Saat sudut penerima 0° mendapatkan nilai rata - rata total *throughput* tertinggi yaitu sebesar 1503.478 Mbps dan nilai terkecil didapatkan saat sudut penerima di 30° dengan nilai rata - rata sebesar 1444.096 Mbps. Hal tersebut terjadi karena semakin besar perubahan sudut dari 0° menyebabkan semakin besar pula berkurangnya daya yang diterima oleh tiap UE.
3. *Power consumption* paling hemat pada saat pengalokasian penjadwalan algoritma *Greedy*. Hal tersebut karena sistem mampu lebih hemat 2.19 kali saat terdapat 24 UE jika dibandingkan dengan sistem VLC tanpa menggunakan penjadwalan algoritma *Greedy* untuk mencapai total *throughput* sebesar 1.5 Gbps.
4. Nilai *fairness* sistem dapat berubah terhadap pertambahan jumlah UE. Nilai *fairness* tertinggi didapatkan ketika terdapat 6 UE dengan nilai sebesar 0.833 dan jumlah *fairness* terendah ketika terdapat 24 UE dengan nilai sebesar 0.208. Hal tersebut karena semakin banyak UE yang tidak teralokasi maka semakin menurun tingkat *fairness* sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Chi, *LED-Based Visible Light Communications*. Springer, 2018.
- [2] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB*, 08 2012.
- [3] S.-M. Kim, M.-W. Baek, and S. H. Nahm, "Visible light communication using tdma optical beamforming," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2017, no. 1, p. 56, 2017.
- [4] C. Barthold, K. P. Subbu, and R. Dantu, "Evaluation of gyroscope-embedded mobile phones," in *2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. IEEE, 2011, pp. 1632–1638.
- [5] R. H. Akbar, A. Fahmi, and H. Vidyaningtyas, "Pengaruh penggunaan skema pengalokasian daya waterfilling berbasis algoritma greedy terhadap perubahan efisiensi spektral sistem pada jaringan lte," *Prosiding SeNTIK STI&K*, vol. 1, 2018.
- [6] R. K. Jain, D.-M. W. Chiu, and W. R. Hawe, "A quantitative measure of fairness and discrimination," *Eastern Research Laboratory, Digital Equipment Corporation, Hudson, MA*, 1984.
- [7] Z. Wang, Q. Wang, W. Huang, and Z. Xu, *Visible light communications: Modulation and signal processing*. John Wiley & Sons, 2017.
- [8] V. S. W. Prabowo, A. Fahmi, and D. Perdana, "Radio resources allocation based-on energy saving for lte-advanced system," *eProceedings of Engineering*, vol. 4, no. 1, 2017.