

## METODE T-FOLD PADA CODED SLOTTED ALOHA UNTUK VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

### *T-FOLD METHOD ON CODED SLOTTED ALOHA FOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION*

Mutiara Faradina<sup>1</sup>, Arfianto Fahmi<sup>2</sup>, Brian Pamukti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>mutiarafaradina@telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>arfiantof@telkomuniversity.co.id,

<sup>3</sup>brianpam@telkomuniversity.ac.id

---

#### Abstrak

Seiring perkembangan teknologi, kebutuhan manusia akan kecepatan akses informasi telah meningkat pesat. Visible Light Communication (VLC) teknologi komunikasi dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi dan lampu LED sebagai sumber cahaya. Tugas Akhir ini menggunakan Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) yang diimplementasikan pada VLC karena NOMA lebih efisien dalam proses multiplexing. Coded Slotted ALOHA (CSA) ditinjau menjadi skema NOMA lantaran keragaman kode digunakan untuk Multiple Access dan pengkodean Successive Interference Cancellation (SIC) untuk mengurangi interferensi. Skema CSA juga diperkenalkan sebagai skema Random Access yang kuat pada frame MAC. Skema CSA ini digeneralisasi dari teknik Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA) yang berdasarkan pengulangan sederhana dari tabrakan pengguna. Tugas Akhir ini berfokus pada nilai throughput dan Packet Loss Rate (PLR) yang dihasilkan saat batas offered load (G) atau decoding threshold menggunakan metode T-Fold dengan skema IRSA. Melalui analisis, hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan metode T-Fold IRSA dengan menggunakan kanal VLC, semakin banyak variasi degree distribution, maka semakin tinggi juga nilai G. Peningkatan nilai Throughput sebesar  $\pm 20\%$  dan pada PLR peningkatannya hingga dua kali lipat dalam rasio pengguna yang didekodekan dapat diperoleh dengan menggunakan 15 user dan 6 degree.

**Kata Kunci:** VLC, *Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA)*, *Successive Interference Cancellation (SIC)*, *T-Fold*.

---

#### Abstract

Along with the development of technology, the human need for speed of access to information has increased rapidly. Visible Light Communication (VLC) is a communication technology that utilizes visible light as a transmission medium and LED lights as a light source. This final project uses Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) which is implemented in VLC because NOMA is more efficient in the multiplexing process. Coded Slotted ALOHA (CSA) was reviewed as a NOMA scheme because of the diversity of codes used for Multiple Access and Successive Interference Cancellation (SIC) coding to reduce interference. The CSA scheme was also introduced as a robust Random Access scheme on MAC frames. This CSA scheme is generalized from the Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA) technique which is based on simple repetition of user collisions. This final project focuses on the throughput and Packet Loss Rate (PLR) values generated when the offered load (G) or decoding threshold uses the T-Fold method with the IRSA scheme. Through analysis, the results showed that using the T-Fold IRSA method using VLC channels, the more variations in the degree distribution, the higher the G value. The increase in the Throughput value was  $\pm 20\%$  and in PLR the increase was up to two times in the ratio of users who decoded can be obtained using 15 users and 6 degrees.

**Keywords:** VLC, *Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA)*, *Successive Interference Cancellation (SIC)*, *T-Fold*.

---

## 1. Pendahuluan

*Visible light communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi dan lampu LED sebagai sumber cahaya [1]. Fungsi cahaya sendiri yaitu sebagai sinyal *carrier* yang membawa informasi. Pada sistem VLC, diperlukan teknik *Multiple Access* (MA) yang bertujuan untuk berbagi sumber daya seperti frekuensi ataupun waktu yang dapat diakses oleh banyak *user*. Sebagian besar teknik MA dibidang teknik radio dan optik dapat diterapkan ke saluran VLC dalam ruangan.

Penelitian [2] menunjukkan bahwa *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) cocok diterapkan pada VLC karena NOMA lebih efisien dalam proses *multiplexing* beberapa data *user*, di mana digunakan *superposition coding* pada sisi *transmitter*, dan terdapat *Successive Interference Cancellation* (SIC) tanpa memerlukan *Channel State Information* (CSI) dalam proses *demultiplexing*. Selain itu, proses *Downlink* pada VLC menggunakan NOMA sebagai pengganti OFDMA dan OFDMA dengan *Gain Ratio Power Allocation* (GRPA) dapat meningkatkan *throughput* yang dihasilkan sehingga meningkatkan kinerja VLC [3].

NOMA merupakan *Multiple Access* yang berada di *physical layer* dengan memanfaatkan proses *superposition coding*. Sedangkan pada *network layer* terdapat skema ALOHA seperti *Irregular Repetition Slotted ALOHA* (IRSA) untuk menerima paket - paket yang dikirimkan secara acak dengan proses SIC. Skema akses IRSA dapat dilihat sebagai contoh *Coded Slotted ALOHA* (CSA), di mana semua kode komponen lokal adalah kode pengulangan. Untuk alasan ini, CSA mempertahankan semua keunggulan IRSA dalam hal akses yang tidak terkoordinasi, peluang akses menengah yang sama untuk semua *user*, dan pemrosesan yang dilakukan oleh *user*, sambil mengatasi kelemahan utama protokol IRSA [4].

Di T-Fold skema SA kode hanya diperlukan untuk menyelesaikan tabrakan orde hingga  $T$ , di mana  $T$  relatif kecil nilainya. Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA) diketahui secara signifikan mengungguli SA 1-Fold untuk saluran tabrakan tanpa noise. Telah dicatat, T-Fold IRSA juga dikenal dalam literatur dengan nama IRSA dengan Multipacket Reception (IRSA-MPR) [5]. Kemudian berdasarkan teori dan referensi T-Fold yang merupakan jumlah maksimum pengguna yang dapat mengirimkan secara bersamaan di blok tanpa menimbulkan kesalahan [6] maka Tugas Akhir ini menganalisis nilai  $G$  untuk kinerja *throughput* dan Packet Loss Ratio (PLR) menggunakan skema T-Fold IRSA pada sistem VLC.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Visible Light Communication (VLC)

*Visible light communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi dan lampu LED sebagai sumber cahaya. Dapat dilihat pada gambar 2.1 menunjukkan spektrum elektromagnetik dan beberapa aplikasi pemanfaatannya, ditunjukkan bahwa spektrum cahaya tampak berkisar antara 400 nm hingga 700 nm yang merupakan spektrum non lisensi [7]

### 2.2 LED

*Light emitting diode* (LED) merupakan perangkat semikonduktor diode p-n junction yang memancarkan radiasi optik ketika mengalami penambahan energi elektronik, hal ini menyebabkan elektron menjadi tidak stabil. Ketika elektron benergi kembali stabil maka akan melepaskan energi dan energi yang dilepaskan dalam bentuk foton. Dalam proses LED perubahan energi yang terjadi cukup efisien membuat panas yang dihasilkan sedikit dibandingkan dengan lampu pijar [8].

### 2.3 Coded Slotted ALOHA (CSA)

*Coded Slotted ALOHA* (CSA) mengusulkan strategi akses *Irregular Repetition Slotted ALOHA* (IRSA). Dalam skema ini paket *user* dikodekan sebelum transmisi dalam bingkai MAC, bukan hanya diulang. Operasi pengkodean dilakukan melalui kode komponen lokal yang diambil secara acak oleh pengguna, dengan cara yang tidak terkoordinasi, dari sekumpulan kode komponen. Ditetapkan bersama dengan fungsi massa probabilitas yang menurut pengguna memilih kode mereka mewakili parameter desain skema akses yang diusulkan. Di sisi penerima, *Successive Interference Cancellation* (SIC) dikombinasikan dengan *decoding* kode komponen lokal untuk memulihkan dari tabrakan. Memanfaatkan representasi grafik bipartit, persamaan evolusi kepadatan untuk CSA pada saluran yang tabrakan diturunkan, memungkinkan

analisis proses SIC dalam pengaturan asimtotik dan mengarah ke definisi "kapasitas" skema dalam konteks bebas transmisi. Terbukti bahwa skema ini dapat diandalkan secara asimtotik pada saluran tabrakan bahkan tanpa transmisi ulang. Lebih khusus lagi, dalam batas di mana panjang bingkai MAC dan ukuran populasi *user* keduanya cenderung tak terhingga (rasio mereka tetap konstan), probabilitas hilangnya paket yang hilang dijamin untuk beban saluran tidak lebih besar dari throughput asimtotik [4].

#### 2.4 Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA)

*Irregular Repetition Slotted ALOHA* (IRSA) diperkenalkan untuk memberikan perolehan throughput lebih lanjut atas *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA* (CRDSA). Throughput yang dinormalisasi lebih tinggi dicapai oleh IRSA dengan memungkinkan variabel dan tingkat pengulangan yang dirancang dengan cermat untuk setiap tabakannya. Sedangkan untuk *Diversity Slotted ALOHA* (DSA), peningkatan kinerja yang dicapai oleh CRDSA / IRSA memiliki pendamping dalam peningkatan daya pancar rata-rata [9].

#### 2.4 Successive Interference Cancellation (SIC)

*Successive Interference Cancellation* (SIC) adalah lapisan fisik kemampuan yang memungkinkan penerima untuk memecahkan kode paket yang datang serentak. Sementara teknik ini terkenal dalam literatur komunikasi, radio perangkat lunak yang muncul membuat eksperimen praktis menjadi layak. Ini memotivasi penulis untuk pelajari sejauh mana perolehan throughput yang dimungkinkan dengan SIC. Selain itu, penulis mengamati bahwa cakupan untuk SIC diperas oleh kemajuan dalam adaptasi bitrate, menimbulkan keraguan pada masa depan protokol berbasis SIC. Cara kerja SIC dengan menyeleksi sinyal interferensi pada user yang dilakukan secara berulang sehingga didapatkan sinyal yang diinginkan. Sinyal yang diterima oleh SIC ditulis dengan persamaan [10]

$$PrSIC = (y_n) - \sqrt{hn} \cdot (\sqrt{\alpha_k} + \dots + \sqrt{\alpha_k - 1}). \quad (2,1)$$

#### 2.5 Line Of Sight (LOS)

Kanal *Line Of Sight* (LOS) adalah keadaan di mana ruang antara transmitter dan receiver tidak dihalangi oleh apapun atau bisa dibayangkan kita bisa melihat titik *receiver* dari *transmitter*. Daya dari sinyal yang dipancarkan di kanal LOS akan lebih besar dari pada daya dari sinyal pantul tersebut. Tugas Akhir ini menggunakan kanal LOS sebagai media transmisi yang dirumuskan sebagai [8]

$$H_{loss} = \frac{(M + 1) \cdot A_{det} \cdot \cos^{m+1}(\theta)}{2\pi d^2} \quad (2,2)$$

dengan  $A_{det}$  adalah area deteksi dari receiver dalam  $m^2$ ,  $d$  adalah jarak antara *transmitter* dan *receiver* dalam meter dan  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk antara transmitter dan receiver dalam derajat.

#### 2.6 Parameter Performansi

##### 2.6.1 Packet Loss Ratio (PLR)

*Packet Loss Ratio* (PLR) diukur dari jumlah packet loss dibandingkan jumlah total paket yang ditransmisikan menggunakan [11]

$$P_L = \frac{X}{k} \quad (2,3)$$

di mana  $X$  adalah jumlah paket yang hilang dan  $k$  adalah jumlah paket yang ditransmisikan.

### 2.6.2 Throughput

*Throughput* adalah metrik yang berguna untuk mengukur efisiensi protokol. Sepanjang disertasi, *throughput* didefinisikan sebagai fraksi *user* yang diambil dan jumlah slot waktu yang telah berlalu. Oleh karena itu, *throughput* adalah fungsi dari slot waktu, yaitu [11]

$$T = G(1 - P_L) \quad (2,4)$$

dimana  $T$  adalah throughput, dan  $P_L$  adalah PLR.

### 2.6.3 Degree Distributions

Secara khusus, *user* dengan *degree- k* memilih  $k$  slot waktu acak dalam kerangka waktu. Dinyatakan probabilitas bahwa *user* mentransmisikan  $k$  kali dengan  $L_k$ . Oleh karena itu, *degree distribution* dari simpul variabel diberikan oleh [12]

$$L(x) \triangleq \sum_{k=1}^{k_{max}} L_k x^k, \quad (2,5)$$

di mana  $k_{max}$  mewakili jumlah maksimum transmisi paket dan  $x$  adalah variabel dummy. Distribusi  $L(x)$ , dapat dikonfigurasi oleh perancang sistem dan merupakan target optimasi untuk mencapai throughput puncak tertinggi untuk  $k_{max}$  tertentu. Bahwa IRSA dianggap sebagai generalisasi dari CRDSA, CRDSA dapat diwujudkan dengan pengaturan

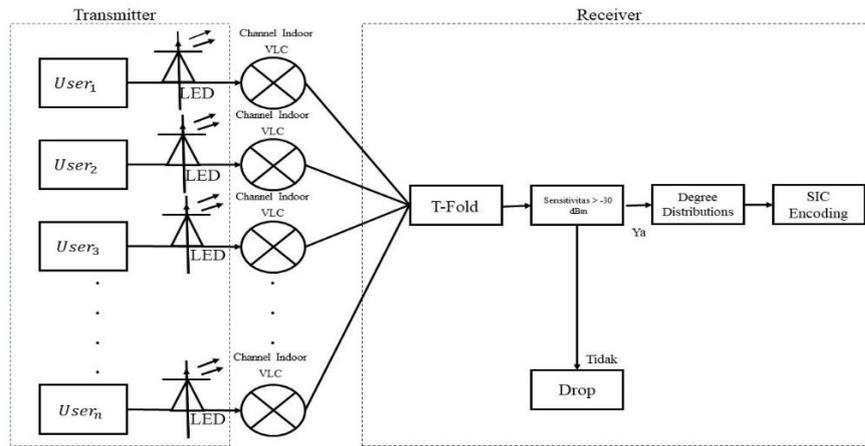
$$L_k = \begin{cases} 1 & (k = k_{max}) \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2,6)$$

seperti  $L(x)$  tidak dapat dikonfigurasi oleh perancang sistem dan bergantung pada realisasi sistem. masing-masing. Kemudian, fungsi *degree distribution* perspektif tepi untuk variabel dan node observasi dapat diberikan oleh

$$\lambda(x) \triangleq \sum_{k=1}^{k_{max}} \lambda_k x^{k-1} \quad (2,7)$$

## 3. Perancangan dan Simulasi Sistem

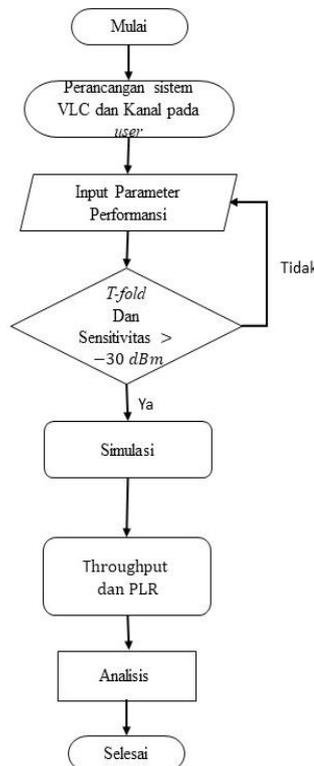
### 3.1 Model Sistem



**Gambar 3.1** Model sistem komunikasi

Pada desain model sitem komunikasi Tugas Akhir ini di ilustrasikan pada Gambar 3.1. Terdapat lampu LED yang berfungsi sebagai transmmitter dan *T-Fold* sebagai *receiver*. Model kanal yang digunakan yaitu kanal LOS di mana cahaya yang diterima oleh *receiver* tidak terdapat interferensi dengan cahaya yang lain. Sistem VLC ini menggunakan skema *T-Fold* IRSA yang merupakan jumlah maksimum pengguna yang dapat mengirimkan secara bersamaan di blok tanpa menimbulkan kesalahan. Selanjutnya ada sensitifitas > -30, jika kurang dari -30 maka paket akan di drop. Kemudian menggunakan variasi *degree distributions* yang telah di tentukan, setelah itu ke SIC. Cara kerja SIC yaitu dengan menyeleksi sinyal yang terkuat terlebih dahulu dan kemudian sinyal tersebut dibatalkan untuk dapat diteruskan pada proses *decoding* sinyal. Parameter keluaran dalam sistem VLC ini adalah nilai *Throughput* pada G dan nilai PLR pada G.

**3.2 Diagram Alir Sistem**



**Gambar 3.2** Diagram Alir Percobaan.

Gambar 2 menunjukkan diagram alir yang digunakan pada tugas akhir ini. Tugas Akhir ini melakukan pengujian terhadap performansi multi user detection pada kanal LOS untuk skema *T-Fold* IRSA.

### 3.3 Desain Pengujian

Pada simulasi sistem Tugas Akhir ini, memfokuskan pada *user*, *degree distributions*, dan spesifikasi kanal.

#### 3.3.1 Transmitter Block

*Transmitter Block* merupakan bagian dari sistem VLC dimana memiliki fungsi untuk sumber pengiriman sinyal informasi melalui kanal transmisi.

1. Pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat beberapa *user*, yang di gunakan yaitu 11 *user*, 13 *user*, dan 15 *user*.
2. Desain model sistem pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan satu buah lampu LED yang memiliki daya 7 Watt yang ditempatkan pada atas tengah ruangan. LED yang digunakan memiliki *Filed Of View* (FOV) sebesar  $80^\circ$ .

#### 3.3.2 Channel

*Channel* pada sistem VLC ini menggunakan model kanal LOS yang merupakan teknik pentransmisian sinyal dimana tidak adanya *obstacle* atau benda-benda dan *noise* yang menghalangi saat propagasi cahaya merambat pada media transmisi udara sehingga sinyal dari sisi *transmitter* dapat langsung diterima oleh sisi *receiver*. Nilai sebuah kanal LOS dapat di ketahui bila mengetahui jarak dan sudut penerimanya dengan persamaan.

#### 3.3.3 Receiver Block

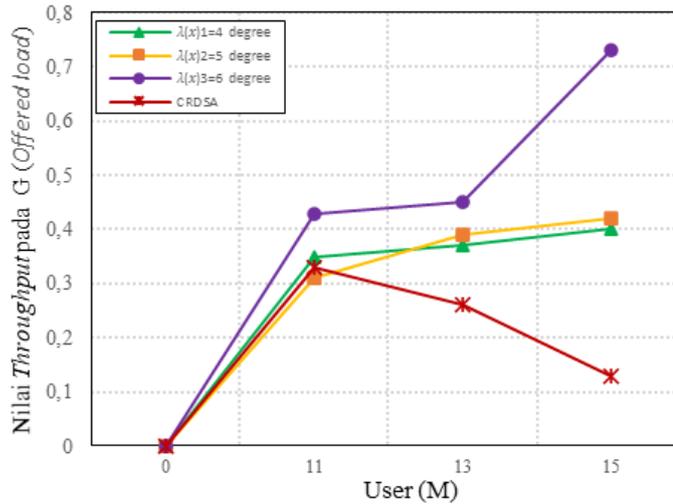
Bagian ini menjelaskan perancangan sistem yang berada pada sisi *receiver*

1. Pada bagian blok *receiver*, terdapat *T-Fold* untuk melipat jumlah *user* sebelum masuk ke *decoding*.
2. Kemudian terdapat sensitifitas  $> -30 \text{ dBm}$  memiliki peran untuk meloloskan sinyal  $> -30 \text{ dBm}$ , jika kurang dari  $-30 \text{ dBm}$  maka paket tidak bisa dikirim.
3. Lalu, *Succesive Interference Cancellation* (SIC) yang merupakan suatu teknik pendeteksi sinyal user dan pendemodulasian sinyal terima tanpa terjadinya tabrakan antar sinyal sebelum proses *decoding* sinyal.

## 4. Hasil dan Analisis

Pada bagian ini membahas tentang hasil simulasi dan analisis. Proses diawali dengan melakukan simulasi dengan parameter yang sudah ditentukan. Pada Tugas Akhir ini membandingkan *user* dengan *degree distributions* untuk nilai *Throughput* dan nilai PLR pada G.

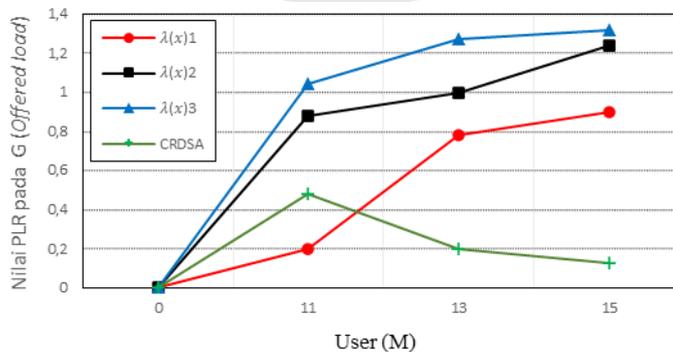
### 4.1 Analisis Nilai *Throughput*



Gambar 4.1 Nilai Throughput pada G.

Pada Gambar 4.4 menjelaskan mengenai pengaruh jumlah *Degree distributions* terhadap *Throughput* yang dicapai dengan membandingkan kondisi pada masing-masing user.  $\lambda(x)_1$  merupakan *Degree distributions* yang menggunakan 4 *degree*, pada penelitian ini 11 user berada pada kondisi G sebesar 0,35 yang berarti maksimal G hanya 0,35 dari jumlah *Timeslot* 100. Kemudian pada 13 user berada pada kondisi G sebesar 0,31. Dan pada 15 user berada pada kondisi G sebesar 0,43. Untuk  $\lambda(x)_2$  merupakan *Degree distributions* yang menggunakan 5 *degree*, pada penelitian ini 11 user berada pada kondisi G sebesar 0,37 yang berarti maksimal G hanya 0,37 dari jumlah *Timeslot* 100. Kemudian pada 13 user berada pada kondisi G sebesar 0,39. Dan pada 15 user berada pada kondisi G sebesar 0,45. Untuk  $\lambda(x)_3$  merupakan *Degree distributions* yang menggunakan 5 *degree*, pada penelitian ini 11 user berada pada kondisi G sebesar 0,4 yang berarti maksimal G hanya 0,4 dari jumlah *Timeslot* 100. Kemudian pada 13 user berada pada kondisi G sebesar 0,42. Dan pada 15 user berada pada kondisi G sebesar 0,73. Pada metode *Contention Resolution Diversity Slotted Aloha* (CRDSA) nilai *Throughput* pada saat *Degree distributions* lebih banyak maka semakin kecil nilai *Throughput* pada G [13]. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa  $\lambda(x)_3$  menghasilkan G yang lebih tinggi yaitu masing-masing sebesar 0,4 Kbps, 0,42 Kbps, dan 0,73 Kbps. Hal ini dikarenakan variasi *Degree distributions* pada sistem VLC mengakibatkan perbedaan nilai G atau sinyal yang diterima serta nilai *Throughput* yang dihasilkan, di mana semakin tinggi *Degree distributions* belum tentu nilai G akan semakin tinggi.

#### 4.2 Analisis Nilai PLR



Gambar 4.2 Nilai PLR pada G.

Gambar 4.2 menjelaskan mengenai pengaruh jumlah *Degree distributions* terhadap *Packet Loss Ratio* (PLR) yang dicapai dengan membandingkan kondisi pada masing-masing user.  $\lambda(x)_1$  merupakan *Degree*

*distributions* yang menggunakan 4 *degree*, pada penelitian ini 11 *user* nilai PLR yang diterima berada pada kondisi G sebesar 0,2 yang berarti tidak ada paket yang gagal saat G 0,2 dari jumlah *Timeslot* 100. Kemudian pada 13 *user* nilai PLR yang diterima berada pada kondisi G sebesar 0,78. Dan pada 15 *user* nilai PLR yang diterima berada pada kondisi G sebesar 0,9. Untuk  $\lambda(x)_2$  merupakan *Degree distributions* yang menggunakan 5 *degree*, pada penelitian ini 11 *user* nilai PLR yang diterima berada pada kondisi G sebesar 0,88 yang berarti tidak ada paket yang gagal saat G 0,88 dari jumlah *Timeslot* 100. Kemudian pada 13 *user* nilai PLR yang diterima berada pada kondisi G sebesar 0,1. Dan pada 15 *user* nilai PLR yang diterima berada pada kondisi G sebesar 1,24. Untuk  $\lambda(x)_3$  merupakan *Degree distributions* yang menggunakan 5 *degree*, pada penelitian ini 11 *user* berada pada kondisi G sebesar 1,04 yang berarti tidak ada paket yang gagal saat G 1,04 dari jumlah *Timeslot* 100. Kemudian pada 13 *user* berada pada kondisi G sebesar 1,27. Dan pada 15 *user* berada pada kondisi G sebesar 1,32. Pada metode CRDSA nilai PLR pada saat *Degree distributions* lebih banyak maka semakin kecil nilai PLR pada G [13]. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa  $\lambda(x)_3$  menghasilkan G yang lebih tinggi yaitu masing-masing sebesar 1,04, 1,27, dan 1,32. Hal ini dikarenakan variasi *Degree distributions* pada sistem VLC mengakibatkan perbedaan nilai G atau sinyal yang diterima oleh PLR yang dihasilkan, di mana semakin tinggi *Degree distributions* maka nilai G-nya semakin tinggi.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi menggunakan skema *T-Fold IRSA* pada sistem VLC dengan variasi *Degree distributions* pada kanal VLC *indoor* yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian jumlah *user* yang sudah ditetapkan dan menggunakan variasi *Degree distributions* menghasilkan nilai *Throughput* pada G yang paling baik adalah pada 15 *user* dan menggunakan variasi *Degree distributions* 6 *degree* pada kanal VLC *indoor*. Hal ini dikarenakan dengan penambahan *user* dan *Degree distributions* terjadi kenaikan nilai *Throughput* pada G yang semakin bagus.
2. Berdasarkan perbandingan PLR menggunakan skema *T-Fold IRSA* dengan variasi *Degree distributions* mendapatkan nilai PLR pada G tertinggi terdapat pada 15 *user* dan menggunakan 6 *degree* dengan nilai 1,32 kemudian nilai PLR pada terkecil terdapat pada 11 *user* dan menggunakan 4 *degree* dengan nilai 0,2. Jadi pada Tugas Akhir ini semakin tinggi *Degree distributions* maka nilai G-nya semakin tinggi.
3. Pada pengujian variasi *Degree distributions* yang sudah ditetapkan terjadi kenaikan pada nilai *Throughput* dan nilai PLR pada G. Nilai tertinggi terdapat pada  $\lambda(x)_3$  yang di mana menggunakan 6 *degree*.
4. Setiap bertambahnya *user* maka nilai *Throughput* dan nilai PLR pada G dapat berubah. Nilai pada *Throughput* dan nilai PLR akan menurun apabila *user* dikurangi dan *Timeslot* bertambah banyak.
5. Hasil pengujian ini memiliki hubungan yang di mana saat nilai PLR pada G naik maka nilai *Throughput* pada G juga akan naik.

## REFERENSI

- [1] Wu, Shaoen, Honggang Wang, and Chan-Hyun Youn. "Visible light communications for 5G wireless networking systems: from fixed to mobile communications." *Ieee Network* 28.6 (2014): 41-45.
- [2] Yapıcı, Yavuz, and Ismail Güvenç. "NOMA for VLC downlink transmission with random receiver orientation." *IEEE Transactions on Communications* 67.8 (2019): 5558-5573.
- [3] Pamukti, Brian, et al. "Water-Filling Random Resource Allocation (W-FRRA) Using NOMA for Downlink LiFi System." *2019 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)*. IEEE, 2019.
- [4] Paolini, Enrico, Gianluigi Liva, and Marco Chiani. "Coded slotted ALOHA: A graph-based method for uncoordinated multiple access." *IEEE Transactions on Information Theory* 61.12 (2015): 6815-6832.
- [5] Glebov, Anton, et al. "Achievability bounds for T-fold irregular repetition slotted ALOHA scheme in the Gaussian MAC." *2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*

- (WCNC). IEEE, 2019.
- [6] Ustinova, Daria, Pavel Rybin, and Alexey Frolov. "On the Analysis of T-Fold Coded Slotted ALOHA for a Fixed Error Probability." *2019 11th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*. IEEE, 2019.
  - [7] Adiono, Trio, Syifaul Fuada, and Suksmandhira Harimurti. "Bandwidth budget analysis for visible light communication systems utilizing commercially available components." *Proc. of the 10th Int. Conf. on Electrical and Electronics Engineering*. 2017.
  - [8] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab ®*. CRC press, 2019.
  - [9] Paolini, Enrico, Gianluigi Liva, and Marco Chiani. "High throughput random access via codes on graphs: Coded slotted ALOHA." *2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2011.
  - [10] Sen, Souvik, et al. "Successive interference cancellation: A back-of-the-envelope perspective." *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks*. 2010.
  - [11] Haryanti, Tita, and Khoirul Anwar. "Frequency Domain-Extended Coded Random Access Scheme for Spectrum Sharing between 5G and Fixed Satellite Services." *2019 IEEE International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*. IEEE, 2019.
  - [12] Oinaga, Masaru, Shun Ogata, and Koji Ishibashi. "Design of coded ALOHA with ZigZag decoder." *IEEE Access* 7 (2019): 168527-168535.
  - [13] Casini, Enrico, Riccardo De Gaudenzi, and Oscar Del Rio Herrero. "Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA): An enhanced random access scheme for satellite access packet networks." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 6.4 (2007): 1408-1419.

