

FRAMELESS ALOHA UNTUK KOMUNIKASI CAHAYA TAMPAK DALAM RUANGAN

FRAMELESS ALOHA FOR INDOOR VLC

Muhammad Imansyah Basudewa¹, Arfianto Fahmi², Brian Pamukti,³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹imansyah@student.telkomuniversity.ac.id, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id,

³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Seiring perkembangan teknologi, kebutuhan manusia akan kecepatan akses informasi semakin meningkat. *Visible Light Communication (VLC)* memanfaatkan cahaya sebagai sinyal pembawa informasi sehingga mampu mentransmisikan informasi dengan cepat. VLC dapat diimplementasikan untuk mendukung teknologi 5G seperti *massive Machine Type Communication* atau *Internet of Things*. Pada teknologi 5G terdapat istilah *massive connectivity* yang merupakan salah satu ciri dari teknologi yang dapat mengakomodasi jumlah *user* yang sangat banyak. Pengiriman oleh *user* yang bersamaan dan simultan dapat menyebabkan paket yang dikirimkan akan mengalami tabrakan sehingga mengakibatkan *traffic* data menjadi tinggi. Metode teknik akses jamak baik di *physical layer* maupun *network layer* diperlukan untuk mengatur transmisi komunikasi saat pengguna menggunakan akses poin (AP) yang sama. ALOHA adalah skema akses jamak berupa *random access* yang memungkinkan *user* mengirim data tanpa menunggu *feedback* dari *receiver*. Tugas Akhir ini memuat penelitian mengenai teknik akses jamak *random access* pada sistem komunikasi VLC menggunakan metode *Frameless ALOHA*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini memiliki fokus pada nilai *throughput* dan *packet loss rate (PLR)* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dengan model kanal *Line of Sight (LOS)* dengan ukuran ruangan 6 x 6 x 3 meter. Terdapat 6 hingga 18 *User* yang disimulasikan dengan posisi acak. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil bahwa *Frameless ALOHA* memiliki kemampuan untuk menambah panjang *framelength* sehingga menambah probabilitas sukses paket yang dikirim sehingga dapat meningkatkan *throughput* serta menurunkan PLR.

Kata Kunci : VLC, *Random Access*, *Frameless ALOHA*, *Throughput*, PLR

Abstract

Along with the development of technology, the human need for accessing information with high data rate is increasing. *Visible Light Communication (VLC)* uses light as a signal information carrier so it can transmit information quickly. VLC can be implemented to support 5G technologies such as *massive Machine Type Communication* or *Internet of Things*. In 5G technology there is a term called *massive connectivity* which can accommodate a very large number of user. If a user simultaneously sending a packet, it can cause the packets to collided, resulting in high traffic. Multiple access technique method uses both the physical layer and the network layer to manage when the user using the same access point (AP). ALOHA is a multiple access scheme in the form of random access which

allows user to send data without waiting a feedback from receiver. This final project contains a research on multiple access techniques by applying random access on the VLC communication system using the Frameless ALOHA method. This research focuses on the throughput and packet loss rate values. The simulation is carried out in a closed room with the Line of Sight channel model with a room size of 6 x 6 x 3 meters. There are 50 to 100 users which is simulated with a random position. Based on the results of this research, it can be concluded that Frameless ALOHA has the ability to increase the length of framelength by increasing its timeslots as to increase the probability of a successful packet being sent. Therefore, it can increase throughput and reduce packet loss rate.

Keywords : VLC, Random Access, Frameless ALOHA, Throughput, PLR

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dari tahun ke tahun, perkembangan teknologi telekomunikasi terus meningkat seiring kebutuhan informasi yang semakin tinggi. *Visible Light Communication* (VLC) merupakan teknologi yang menggunakan cahaya sebagai *carrier signal* dalam proses transmisi informasi. VLC memiliki bandwidth yang lebih lebar, bebas interferensi elektromagnetik dan datarate yang lebih tinggi sehingga VLC menjadi solusi atas padatnya lalu lintas *radio frequency* (RF) di jaringan 5G[1].

Massive Connectivity adalah salah satu ciri teknologi 5G yang dapat mengakomodasi jumlah perangkat yang banyak untuk saling bertukar informasi, salah satu contohnya yaitu *massive Machine Type Communication* (mMTC) [2] [3]. Dalam membuat konektivitas secara *massive* terutama saat *uplink* diperlukan proses *multiple access*. Maka dari itu dibutuhkan skema akses jamak baik di *physical layer* (PHY) maupun di *medium access control* (MAC) layer atau *network layer* [4]. *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) merupakan metode akses jamak yang digunakan di *physical layer* [5] sedangkan *Additive Links On-Line Hawaii Area* (ALOHA) adalah protokol akses jamak yang dapat digunakan di *network layer*. NOMA dapat mengakomodasi *user* lebih banyak dan memiliki efisiensi pada proses multiplexing data serta terdapat proses *Successive Interference Cancellation* pada *receiver* untuk proses *demultiplexing* dengan mempertimbangkan *Channel State Information*(CSI). NOMA dan ALOHA dapat diimplementasikan di VLC [6]. Pada penelitian [7] protokol ALOHA dimanfaatkan dalam sistem *Optical Wireless Communications* untuk implementasi *Internet of Things*.

Pada sistem komunikasi nirkabel dengan skema massive connectivity, jumlah *user* yang banyak harus terakomodasi. Berbagai penelitian terkait dengan *Random Access* (RA) sudah pernah dilakukan, diantaranya pada penelitian [8] dilakukan pengujian dengan *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA* (CRDSA) dimana tiap pengguna mentransmisikan ulang paket dalam jumlah tertentu berdasarkan banyaknya timeslot. Selain itu pada penelitian [9] menggunakan metode *irregular repetition slotted ALOHA* (IRSA) dimana metode ini merupakan peningkatan dari metode CRDSA. IRSA membuat *user* menentukan banyak duplikasi paket berdasarkan optimasi fungsi *degree distribution* yang ditentukan. Hasilnya adalah untuk meningkatkan nilai *throughput* serta performansi sistem, dimana nilai *throughput* CRDSA mencapai 0,52 saat *offered load* 0,65 dan IRSA mencapai 0,92 saat *offered load* 0,8 [10]. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode *Frameless ALOHA* untuk VLC dalam Ruang dan menganalisis nilai *throughput* serta *packet loss rate* (PLR) saat mencapai *offered load* atau *decoding threshold* dari paket - paket yang dikirimkan secara acak pada MAC atau *network layer*

2. Dasar Teori

2.1. Visible Light Communication

Visible Light Communication adalah teknologi pengiriman informasi berupa teks, suara, gambar maupun video yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisinya. Teknologi ini menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) yang berfungsi sebagai *Transmitter* untuk melakukan proses modulasi dan mengirimkan sinyal pada *receiver*. LED berfungsi sebagai sumber cahaya untuk penerangan ruangan dan cahaya tersebut juga membawa sinyal informasi pada *photodetector*. Teknologi *Visible Light Communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan cahaya dalam mengirimkan informasi. Teknologi ini memiliki keunggulan dalam kecepatan pengiriman data, efisiensi energi, biaya instalasi murah dan latensi yang rendah [12]. Selain itu, pengiriman sinyal menggunakan teknologi VLC juga tidak mengalami *electromagnetic interference* (EMI) sebagaimana penggunaan spektrum *Radio Frequency* (RF) [13].

VLC merupakan bagian dari *Optical Wireless Communication* yang memanfaatkan panjang gelombang cahaya 380 – 690nm, memiliki sifat direktif dan dapat dibatasi pada ruangan tertutup. Sedangkan *ultraviolet communication system* beroperasi pada panjang gelombang 100–400nm dan *Wireless Infrared* bekerja pada 800–2500nm [14]. Cahaya dengan spektrum 380–690nm dapat digunakan dalam komunikasi *downlink* pada VLC sedangkan untuk *uplink* digunakan *inframerah* supaya tidak mengganggu *user* [15]. Regulasi IEEE Standard 802.15.7 menjelaskan tentang *physical layer* dan *media-access-control* (MAC) layers untuk teknologi VLC untuk pengiriman data dalam jarak dekat [16].

2.2. LED

Light Emitting Diode (LED) adalah *Transmitter* pada teknologi VLC yang memancarkan cahaya inkoheren melalui emisi spontan ketika proses eksitasi. Eksitasi terjadi saat tegangan *forward bias* terjadi di daerah intrinsik pada daerah p-n junction di LED. Elektron pada n *junction* dan hole pada p *junction* yang bertemu menyebabkan lepasnya foton dan memancarkan cahaya satu warna atau monokromatik [17].

2.3 Photodetector

Photodetector (PD) adalah perangkat yang menghasilkan arus listrik sebanding dengan cahaya yang menimpa permukaannya. Dengan demikian, *photocurrent* (I_p) yang dihasilkan selalu sebanding dengan daya optik yang diterima (P_r). Setelah melewati kanal transmisi, sinyal optik umumnya lemah maka *photodetector* harus memiliki sensitivitas tinggi untuk mendeteksi sinyal. Responsivitas *photodetector* memiliki nilai yang berbeda - beda tergantung kepada material yang digunakan. Panjang gelombang cahaya yang dapat dideteksi oleh *photodetector* tergantung pada komposisi material penyusun dari *photodetector*. Beberapa parameter performansi *photodetector* diantaranya luas cakupan arah deteksi, field of view, sensitivitas dan responsivitas tinggi berdasarkan panjang operasi cahaya yang bekerja, rendah biaya, ukuran kecil, realibilitas tinggi, *noise* rendah dan waktu respon yang cepat [14][17].

2.4 Line of Sight

Pada VLC terdapat dua jenis kanal yang terapkan dalam saluran transmisi optik yaitu Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS) [16]. Kanal LOS merupakan kanal dimana *Transmitter* dapat mengirimkan langsung sinyal informasi pada *receiver* tanpa terhalang sesuatu

$$H = \frac{(m+1) \cdot A_{det} \cdot \cos^m(\phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (2.2)$$

dengan A_{det} yaitu *area photodetector* di sisi penerima, d merupakan jarak *receiver* terhadap *transmitter*, dan ϕ adalah sudut terhadap *transmitter*

2.5 Non Orthogonal Multiple Access

Teknik *Multiple Access* memanfaatkan sumber daya dari sebuah jaringan untuk dimanfaatkan *user* dalam jumlah yang besar. NOMA merupakan teknik dimana *user* mengirim dan menerima dengan alokasi frekuensi dan waktu yang sama serta daya yang berbeda [18]. Nilai *throughput* pada sistem NOMA dapat ditingkatkan karena *user* dapat mengakses *bandwidth* sepanjang waktu. Selain itu, pengaturan sudut pancar LED serta FOV dari *photodetector* dapat meningkatkan *throughput* [19]. NOMA memanfaatkan tiga alokasi sumber daya yang tersedia yaitu frekuensi, waktu dan daya / code. Balok - balok kubus menunjukkan *user* yang mengakses resource yang tersedia. NOMA dapat mengakomodasi *user* lebih banyak dibandingkan dengan *Orthogonal Multiple Access*(OMA) [20]

2.6 Slotted ALOHA

ALOHA merupakan skema *random access* yang sederhana dan memiliki sedikit *overhead* selama transmisi bit informasi [21]. Berbagai perkembangan protokol ALOHA memiliki tujuan mengurangi kemungkinan paket - paket bertabrakan karena proses *random access* dalam selang waktu tertentu [22]. *Timeslots* dibagi dengan durasi yang sama serta perangkat tersinkronisasi untuk menunggu akses berdasarkan probabilitas slot yang telah ditentukan ke dalam sebuah *frame*. Metode ini disebut dengan *Framed Slotted ALOHA* (FSA) [23]. ALOHA memiliki kekurangan pada jumlah *user* yang dapat diakomodasi dan tingginya nilai *packet loss rate* karena banyak paket dari berbagai *user* dikirimkan secara terus menerus dan bersamaan sehingga pada sisi *receiver* akan mengalami *collision*. Dampaknya, nilai *throughput* yang dihasilkan menjadi rendah. Pada *Receiver*, *Successive Interference Cancellation* (SIC) digunakan untuk memperbaiki paket yang mengalami *collision* selama *contention period* [24]. Selain itu, terdapat teknik *multiple access* lain seperti *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA* (CRDSA), *Irregular Repetition Slotted ALOHA* (IRSA), *Low-Density Signature (LDS) based spreading*, *Sparse Code Multiple Access* (SCMA), *Multi-User Sharing Access*(MUSA), *Pattern Division Multiple Access*, *T-fold ALOHA* [25].

2.7 Frameless ALOHA

Frameless ALOHA adalah metode yang terinspirasi dasar dari konsep *rateless coding framework* [26]. *Frameless ALOHA* memiliki karakteristik perubahan jumlah *frame length* atau perubahan jumlah *timeslots* dan dihentikan ketika *timeslots* mencapai *thresholds* [27]. Pada *Frameless ALOHA*, *receiver* menerima paket setelah proses SIC hingga sejumlah besar paket diterima dan penambahan *timeslots* dihentikan. Panjang *frame* ditentukan di awal namun bersifat adaptif sehingga dapat mendapatkan nilai *throughput* yang diharapkan [28]. Proses transmisi paket dari *user* dapat digambarkan dengan *bipartite graph*. Pada *bipartite graph* terdapat dua jenis *nodes* yaitu *User node* dan *Check Node* yang dihubungkan oleh garis yang disebut dengan *degree* yang berfungsi merepresentasikan banyaknya duplikasi paket yang dikirim selama jumlah *timeslots* [29].

2.8 Successive Interference Cancellation

Pada sisi *receiver*, *Successive Interference Cancellation* (SIC) dapat digunakan untuk mendeteksi paket yang bertabrakan selama pengiriman [30]. Saat *user* aktif mengirimkan replika dari paket yang sama pada berbagai slot yang berbeda SIC bekerja dengan cara menghapus replika paket dari pengiriman paket yang berhasil dipulihkan [31]

2.9 Offered Load

Offered load atau *decoding threshold* pada penelitian ini adalah jumlah paket *user* dibagi dengan jumlah *timeslots* yang tersedia [27], atau bisa disebut *contending user* dimana setiap *user* mencari *timeslots* yang tersedia sampai batas tertentu. Saat batas tersebut dicapai, maka paket - paket yang diterima setelah *threshold* tidak lagi dapat di-*decode* dan akan mengalami *error floor*.

$$G = \frac{M}{T_s} \quad (2.3)$$

dengan G adalah nilai offered load atau batas sebelum paket mengalami error floor, M adalah jumlah paket user dan T_s adalah timeslots yang tersedia.

2.9 Throughput

Throughput merupakan laju data maksimum yang dapat dikirim yang melewati kanal dan diterima oleh penerima dengan asumsi peluang tidak terjadi kesalahan dalam proses pengiriman [29] atau dengan kata lain dapat didefinisikan sebagai rata - rata paket yang sukses diterima dalam tiap *timeslot*.

$$S(T) \triangleq \frac{\text{Number of Retrieved Packet within } T_s}{T_s} \quad (3.5)$$

$$S(T) = \frac{N(1 - p_e(T))}{T_s} \quad (3.6)$$

dimana $N(1 - p_e(T))$ adalah jumlah paket yang dapat di-decode dan T_s adalah adalah timeslots. N adalah jumlah berapa kali paket berhasil dikirim dan $(1 - p_e(T))$ adalah peluang berhasilnya paket dikirim

2.9 Packet loss rate

Packet loss rate adalah jumlah rata-rata dari paket eror terhadap semua paket yang dikirimkan [24]. Semakin tinggi nilai PLR maka performansi suatu sistem semakin buruk karena *collision* yang terjadi semakin banyak. Sedangkan semakin rendah PLR dalam suatu sistem maka, performansi sistem semakin banyak karena hanya sedikit *collision* yang terjadi.

$$P_L = \frac{X}{k} \quad (3.7)$$

dimana X merupakan jumlah paket loss dan k merupakan total seluruh paket yang dikirim.

2.9 Degree distribution

Degree pada variable node menunjukkan berapa kali *user* mengirim paket pada *frame* atau *timeslots* yang tersedia. Degree pada Check Node menunjukkan jumlah *user* yang secara simultan mengirim paket. *Degree distribution* adalah peluang berapa banyak *user* yang mengirimkan paket secara simultan terhadap *timeslots* yang tersedia. *Degree distribution* pada bipartite graph menggunakan *random access*, sehingga dalam pengiriman paket secara acak mengikuti distribusi binomial[29].

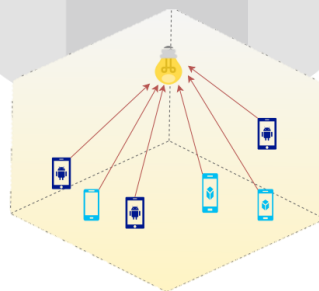
$$L(x) \triangleq \sum_{k=0}^T L_k x^k = \sum_{k=0}^T \binom{T}{k} p^k (1-p)^{T-k} x^k \quad (3.1)$$

dengan parameter T untuk menunjukkan *timeslots* dan p untuk probabilitas user mengirimkan paket berjumlah k .

3. Pembahasan

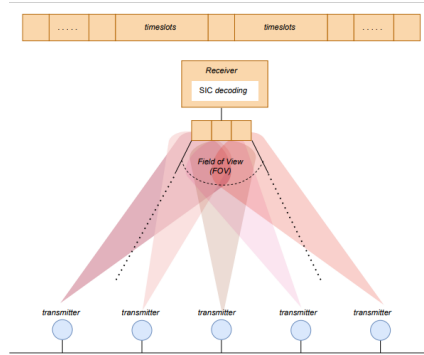
3.1 Perancangan Sistem

Berikut adalah gambar – gambar untuk model sistem VLC dalam ruangan yang digunakan pada penelitian



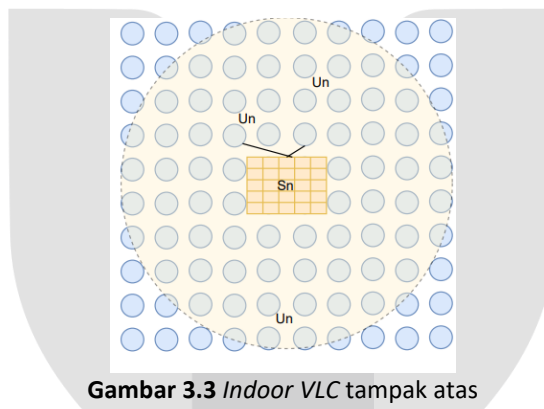
Gambar 3.1 Multiple Access Indoor VLC

Pada sebuah ruangan berukuran 6m x 6m x 3m seperti pada Gambar 3.1, terdapat beberapa *User* yang mengakses sebuah Akses Poin (AP) secara bersamaan sehingga paket yang dikirimkan sangat mungkin untuk mengalami *collision*. Pengiriman paket dari *Transmitter* ke *receiver* menggunakan kanal line-of-sight yang berarti tidak ada benda yang menghalangi proses transmisi informasi.



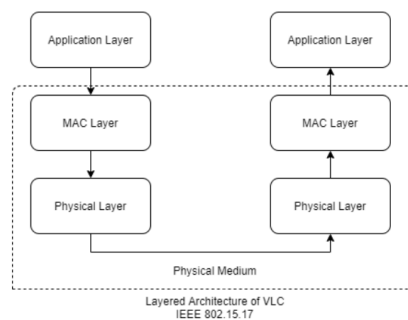
Gambar 3.2 Indoor VLC tampak depan

Pada gambar 3.2 terdapat ilustrasi tampak depan sebuah ruangan dengan sistem VLC. Transmitter mengirim paket - paket informasi dengan cahaya secara simultan dan bersamaan berdasarkan *degree distribution* yang telah ditetapkan. *Degree distribution* dari paket yang dikirim memilih secara acak *timeslots* yang tersedia di receiver. Paket yang dapat diterima oleh receiver adalah paket yang dibawa oleh signal carrier yang berupa cahaya dan ditangkap receiver dengan sudut dalam jangkauan FOV akan diteruskan dan diproses oleh receiver untuk selanjutnya dilakukan proses SIC decoding. Paket yang bertabrakan atau mengisi *timeslot* yang sama, namun berhasil di-decode adalah paket yang sukses. Paket yang tidak berhasil di-decode dan mengalami *stopping set* adalah paket yang gagal.



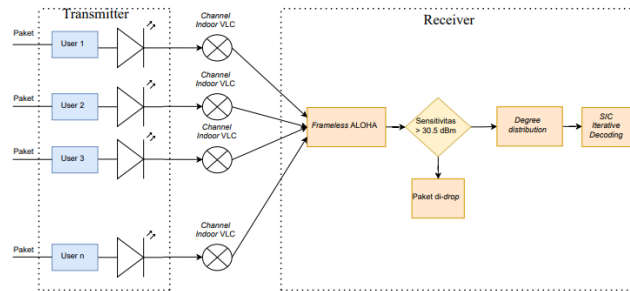
Gambar 3.3 Indoor VLC tampak atas

Gambar 3.3 menunjukkan ilustrasi Model Sistem dari tampak atas ruangan. User maksimal pada ruangan adalah sebanyak 100 User. U_n merupakan representasi dari jumlah User yang akan mengakses akses poin yang sama pada satu ruangan, sedangkan S_n adalah Slot node berupa *timeslots* yang tersedia. Pada metode *Frameless ALOHA*, *frame* pada *timeslots* bersifat dinamis dengan rentang panjang tertentu. Sifat dinamis pada *Frameless ALOHA* ditujukan untuk menurunkan probabilitas terjadinya tabrakan paket yang dikirim oleh user karena mengakses *timeslots* yang sama.



Gambar 3.4 Layer arsitektur system

Pada *physical layer* terdapat spesifikasi perangkat seperti LED, *photodetector* dan kanal optik. Lalu pada *mac layer* terdapat protokol untuk jaringan dan keamanan [33]. Metode *Frameless ALOHA* terletak pada *mac layer* sebagai protokol akses jamak *user* yang menggunakan *resource* berupa *timeslots* secara bersamaan. Pemodelan sistem dilakukan dengan mensimulasikan pengiriman paket secara acak oleh sejumlah *user* kepada satu *receiver*.



Gambar 3.4 Block diagram system

Gambar 3.4 adalah blok diagram sistem VLC pada penelitian ini. Pada bagian pengirim (*Transmitter*) terdapat *user* yang mengirimkan paket dengan menggunakan LED. Proses *random access* terjadi saat *user* mengirim paket pada posisi acak dalam sebuah ruangan tertutup dengan kondisi kanal LOS. Channel State Information memperhitungkan sudut transmisi, jarak *user* dan *receiver*, serta perhitungan kanal pada sistem. Paket yang dikirimkan lalu diterima oleh *receiver*, selanjutnya metode *Frameless ALOHA* digunakan untuk menambah panjang *frame* atau banyak *timeslots* yang tersedia. Apabila paket tidak mencapai nilai *threshold* dari sensitivitas *photodetector* maka paket di-drop. Sedangkan paket yang mencapai nilai *threshold* selanjutnya akan di-decode sesuai parameter *degree distribution* dengan proses SIC secara iteratif.

3.1.1 Transmitter Block

Pada bagian blok diagram *Transmitter* terdapat inisiasi proses pengiriman paket yang akan melalui kanal LOS 1. Penelitian Tugas Akhir ini mensimulasikan 60 *user* hingga 100 *user* yang dapat berupa . Tiap *user* mengirimkan paket pada *photodetector* menggunakan IR LED. Tiap *user* memiliki probabilitas pengiriman paket masing - masing dengan jumlah replika paket yang berbeda yang direpresentasikan dengan nilai *degree distribution*

3.1.1 Channel

Pada bagian blok diagram *Transmitter* terdapat inisiasi proses pengiriman paket yang akan melalui kanal LOS 1. Penelitian Tugas Akhir ini mensimulasikan 60 *user* hingga 100 *user* 2. Tiap *user* mengirimkan paket pada *photodetector* menggunakan IR LED 3. Tiap *user* memiliki probabilitas pengiriman paket masing - masing dengan jumlah replika paket yang berbeda yang direpresentasikan dengan nilai *degree distribution*

3.1.1 Receiver Block

Paket yang telah melalui kanal LOS akan diterima di *receiver* block. Pada *Receiver Block* terdapat perangkat berupa PIN photodiode berbahan Silicon, metode *Frameless ALOHA*, dan proses SIC *iterative decoding*. Pada bagian blok diagram *receiver* terdapat *photodetector* untuk menerima cahaya yaitu PIN photodiode S5973-1 berbahan dasar silicon (Si). *Photodetector* berfungsi untuk mendeteksi cahaya IR yang masuk berdasarkan batas *threshold* minimum yaitu sensitivitas sebesar -29 dBm [35]. Sehingga apabila kurang dari -29 dBm maka paket tidak dapat dideteksi

3.1.2 Multi User Detection

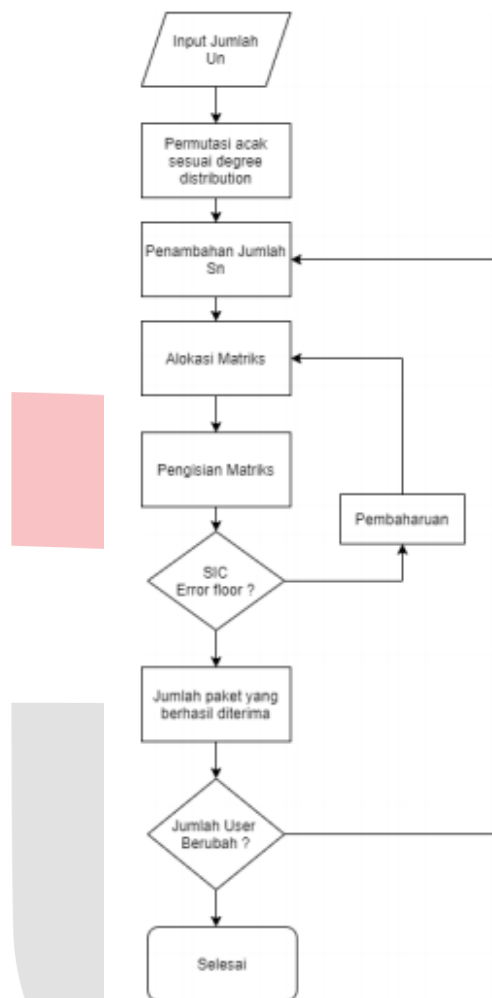
Pada penelitian ini, dimodelkan k- MUD yang dapat mengakomodasi pengiriman paket sebanyak k-kali. Paket yang diterima di receiver merupakan paket yang melewati batas *threshold* - 29 dBm. Selanjutnya proses *iterative decoding* menggunakan SIC dilakukan setelah melewati proses k- MUD. k=1 merupakan model standar untuk *collision channel* model [26]. Proses pendeteksian pada *slot node* sebanyak k oleh pengiriman paket dari user node sebanyak k kali akan diteruskan menuju proses *decode* dengan SIC yaitu melakukan proses *decode* satu persatu secara berulang sehingga paket dapat diselesaikan dan didapatkan nilai *throughput* dan PLR

3.2. Parameter Input

Perancangan simulasi sistem VLC menggunakan beberapa parameter input yang akan digunakan dalam perhitungan [38]. Berikut parameter input pada perhitungan seperti Tabel 3.3

Tabel 3.1. Parameter Input Sistem

| Parameter | Spesifikasi |
|--------------------|------------------|
| Sudut Pancar LED | 60° |
| Daya LED | 80 mW |
| Jumlah LED | 1 |
| FOV | 70° |
| Luas Photodetector | 1cm ² |
| Index Bias | 1.5 |
| Responsivitas | 0.6 A/W |



Gambar 3.10. Skenario Simulasi

Pada Gambar 3.10 dijelaskan langkah - langkah dalam skenario simulasi. Langkah pertama adalah memasukkan jumlah *user*. Pada penelitian ini penulis menggunakan 60 *user*, 70 *user*, 80 *user*, 90 *user* dan 100 *user*. *User* lalu mengirimkan paket secara acak berdasarkan *degree distribution*. Pada *receiver*, metode *frameless ALOHA* membuat *framelength* menjadi bersifat dinamis dan dapat ditambah sampai batas *threshold*. Selanjutnya matriks dialokasi dan diisi berdasarkan hubungan antara *Variable Node* dan *User Node*. Untuk mengatasi paket yang mengalami *collision* dilakukan proses SIC sehingga sejumlah paket yang berhasil di-*decode* dan paket yang gagal di-*decode* dapat dihitung nilai *throughput* dan *packet loss rate*. Proses desain untuk sudut pandang *User Node* ($L(x)$) dilakukan untuk mencari nilai *throughput* dan PLR terbaik. Sedangkan pada sisi *Slot Node* atau *Check Node* ($R(x)$) tidak dilakukan pengambilan hasil *degree* sebagaimana pada Gambar 3.8 karena proses random access yang terjadi saat melakukan simulasi. Namun untuk ilustrasi proses yang terjadi pada *degree Slot Node* $R(x)$ dapat dilihat pada Gambar 3.8.

Jumlah Timeslots pada Frameless ALOHA dilakukan dengan mengikuti jumlah user yang ada pada skenario sistem.. Pada skenario sistem 60 User, timeslots pada frameless ALOHA 2x hingga 6x lipat dari jumlah timeslots IRSA yaitu dari 30 hingga 60 timeslots. Pada skenario sistem 70 User, timeslots pada frameless ALOHA ditentukan dari 40 hingga mencapai 70 timeslots yaitu sebesar 1,5x hingga 3,5x jumlah timeslots IRSA. Pada skenario sistem 80 User, timeslots pada

frameless ALOHA berjumlah antara 50 sampai 80 timeslots atau sebesar 1.3x hingga 2.6x jumlah timeslots IRSA. Saat skenario sistem 90 User, timeslots pada frameless ALOHA bervariasi dari 60 sampai 90. Jumlah timeslots ini setara dengan 1.25x hingga 2.25x timeslots IRSA yang digunakan. Saat skenario sistem 100 User, timeslots pada frameless ALOHA bervariasi dari 70 hingga 100 timeslots atau sama dengan 1.2x hingga 2x timeslots IRSA.

Adapun nilai parameter untuk *Degree distribution* berdasarkan sudut pandang *User Node* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.2. Tabel user dan degree distribution

| User | Degree Distribution |
|------|--|
| 60 | $0.33x^2 + 0.33x^4 + 0.33x^6$ |
| 60 | $0.25x^2 + 0.25x^3 + 0.25x^4 + 0.25x^5$ |
| 60 | $0.25x^2 + 0.25x^4 + 0.25x^6 + 0.25x^8$ |
| 70 | $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.2x^4 + 0.2x^5 + 0.2x^6$ |
| 70 | $0.14x^2 + 0.14x^3 + 0.14x^4 + 0.14x^5 + 0.14x^6 + 0.14x^7 + 0.14x^8$ |
| 70 | $0.14x^{12} + 0.14x^{13} + 0.14x^{14} + 0.14x^{15} + 0.14x^{16} + 0.14x^{17} + 0.14x^{18}$ |
| 80 | $0.25x^2 + 0.25x^3 + 0.25x^4 + 0.25x^5$ |
| 80 | $0.6x^2 + 0.1x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^6$ |
| 80 | $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^7 + 0.1x^9 + 0.1x^{11} + 0.1x^{13}$ |
| 90 | $0.33x^2 + 0.33x^4 + 0.33x^6$ |
| 90 | $0.33x^3 + 0.33x^5 + 0.33x^7$ |
| 90 | $0.1x^3 + 0.1x^5 + 0.1x^7 + 0.1x^9 + 0.1x^{11} + 0.1x^{13} + 0.1x^{15} + 0.1x^{17} + 0.1x^{19}$ |
| 100 | $0.75x^2 + 0.25x^3$ |
| 100 | $0.25x^2 + 0.25x^4 + 0.25x^6 + 0.25x^8$ |
| 100 | $0.1x^2 + 0.1x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^6 + 0.1x^7 + 0.1x^8 + 0.1x^{19} + 0.1x^{10} + 0.1x^{11}$ |

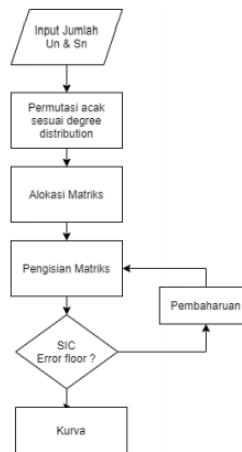


4 Hasil dan Analisis

4.1 Skenario Simulasi

Hasil penelitian dianalisis berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Hasil penelitian ini berfokus kepada metode *Frameless ALOHA* yang menghasilkan *throughput* dari paket yang berhasil dikirim, *packet loss rate* yang didapatkan dari rata - rata paket error dari semua paket yang dikirimkan. *Throughput* dan *Packet loss rate* yang didapat diambil saat offered load mencapai *threshold*.

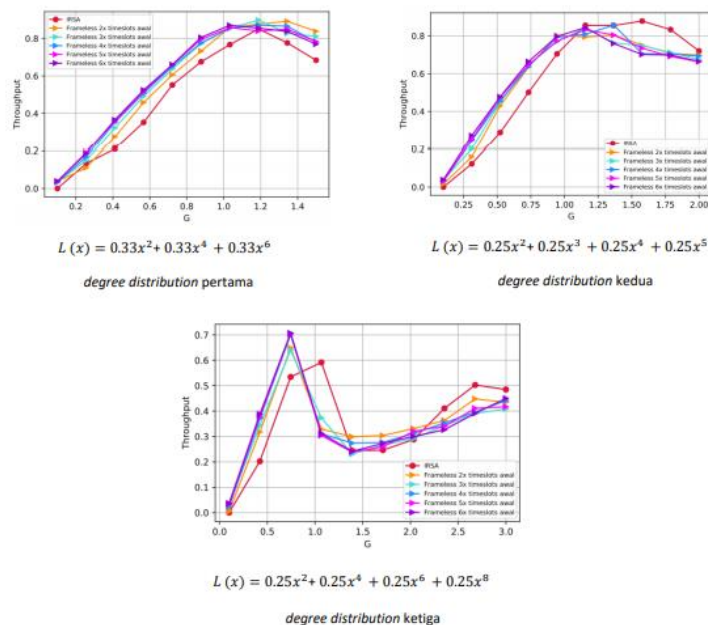
4.1.1 Skenario Simulasi



Gambar 4.1. Skenario Simulasi pada variasi jumlah User berbeda

4.2 Skenario 60 User

4.2.1 Hasil Throughput 60 User

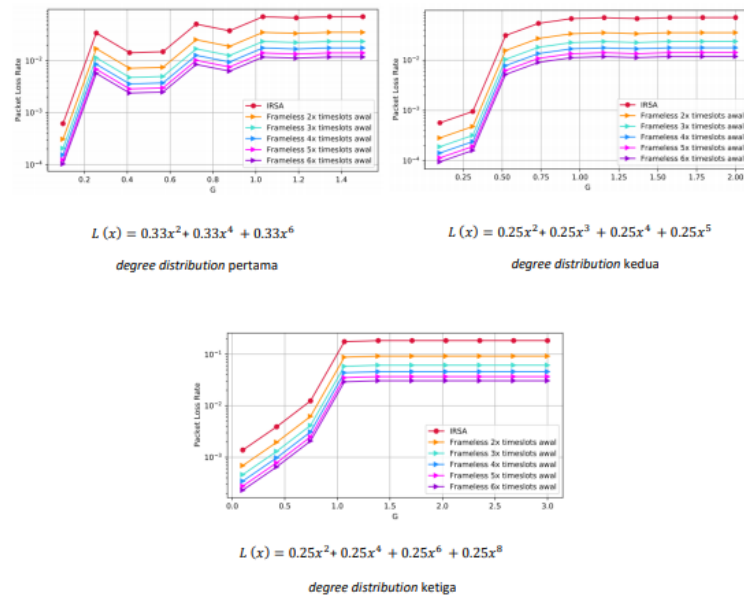


Gambar 4.2. Throughput 60 User

Percobaan skenario pertama dengan jumlah *user* sebanyak 60 pada percobaan pertama dengan *degree distribution* $0.33x^2 + 0.33x^4 + 0.33x^6$. Pada percobaan kedua digunakan *degree distribution* $0.25x^2 + 0.25x^3 + 0.25x^4 + 0.25x^5$ dan percobaan terakhir menggunakan *degree distribution* $0.25x^2 + 0.25x^4 + 0.25x^6 + 0.25x^8$. *User* pada percobaan pertama, kedua dan ketiga berjumlah 60 *user* dan ditempatkan secara acak pada ruangan *indoor* serta tidak berpindah – pindah

Pada Gambar 4.2 dengan *degree distribution* pertama menunjukkan bahwa offered load (G) bervariasi dari 0,74 hingga 1,15 dan probabilitas paket yang dapat diselesaikan bertambah seiring meningkatnya *timeslots* yang tersedia. Pada IRSA, terdapat nilai *throughput* yang dihasilkan sebesar 0,85 saat G menunjukkan nilai 1,03. Sedangkan pada metode *Frameless ALOHA* yang menggunakan 2x hingga 3x lipat dari *timeslots* awal, menghasilkan nilai *throughput* hingga sebesar 0.89 saat G 1,03. Hal ini disebabkan karena saat *Frameless ALOHA* menambah jumlah *timeslots*, maka probabilitas paket yang dikirim secara acak dan kemungkinan *timeslots* yang mendapat paket tunggal akan semakin meningkat dan paket yang dapat sukses di-*decode* akan semakin banyak seiring jumlah *timeslots* yang tersedia.

4.2.2 Hasil PLR 60 User



Gambar 4.3. PLR 60 User

Pada Gambar 4.3 menggunakan *degree distribution* pertama, nilai *packet loss*

Pada Gambar 4.3 menggunakan *degree distribution* pertama, nilai *packet loss rate* IRSA sebesar 0.071 sedangkan pada *Frameless ALOHA* didapatkan variasi nilai *packet loss rate* dengan penurunan yang signifikan dengan rentang nilai 0.035 hingga 0.011 saat batas *decoding threshold*. Penambahan jumlah *timeslots* dengan metode *Frameless ALOHA* memungkinkan untuk menurunkan jumlah *collision* yang terjadi antar paket pada *timeslot* yang sama sehingga PLR pada *Frameless ALOHA* dengan *timeslots* yang lebih banyak akan menghasilkan PLR yang lebih rendah.

Tabel 4.1. Tabel Throughput 60 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|----------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.850 (1.03) | 0.877 (1.15) | 0.591 (1.06) |
| FA 2x Ts | 0.891 (1.03) | 0.802 (1.15) | 0.649 (0.74) |
| FA 3x Ts | 0.898 (1.03) | 0.842 (1.15) | 0.639 (0.74) |
| FA 4x Ts | 0.870 (1.03) | 0.856 (1.15) | 0.700 (0.74) |
| FA 5x Ts | 0.857 (1.03) | 0.831 (1.15) | 0.706 (0.74) |
| FA 6x Ts | 0.870 (1.03) | 0.843 (1.15) | 0.706 (0.74) |

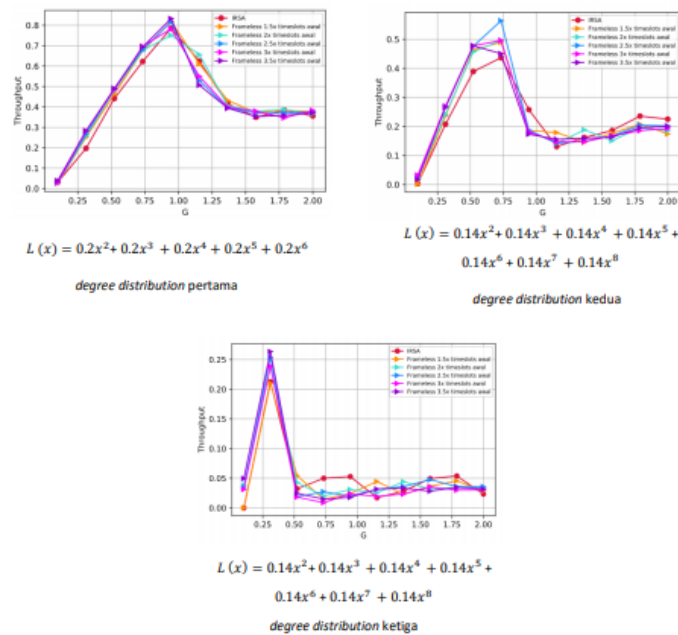
Tabel 4.2. Tabel PLR 60 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|----------|----------------|-------------------|---------------|
| IRSA | 0.071 (1.03) | 0.071 (1.15) | 0.184 (1.06) |
| FA 2x Ts | 0.035 (1.03) | 1.54 0.035 (1.15) | 0.092 (0.74) |
| FA 3x Ts | 0.023 (1.03) | 0.023 (1.15) | 0.061 (0.74) |
| FA 4x Ts | 0.017 (1.03) | 0.017 (1.15) | 0.046 (0.74) |
| FA 5x Ts | 0.014 (1.03) | 0.014 (1.15) | 0.036 (0.74) |
| FA 6x Ts | 0.011 (1.03) | 0.011 (1.15) | 0.037 (0.74) |

4.2 Skenario 70 User

Skenario kedua diuji coba menggunakan user sebanyak 70. Pada percobaan kali ini digunakan degree distribution dengan nilai $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.2x^4 + 0.2x^5 + 0.2x^6$ untuk degree distribution pertama, $0.14x^2 + 0.14x^3 + 0.14x^4 + 0.14x^5 + 0.14x^6 + 0.14x^7 + 0.14x^8$ untuk degree distribution kedua dan $0.14x^{12} + 0.14x^{13} + 0.14x^{14} + 0.14x^{15} + 0.14x^{16} + 0.14x^{17} + 0.14x^{18}$ untuk degree distribution ketiga. User ditempatkan secara acak pada ruangan indoor serta tidak berpindah - pindah.

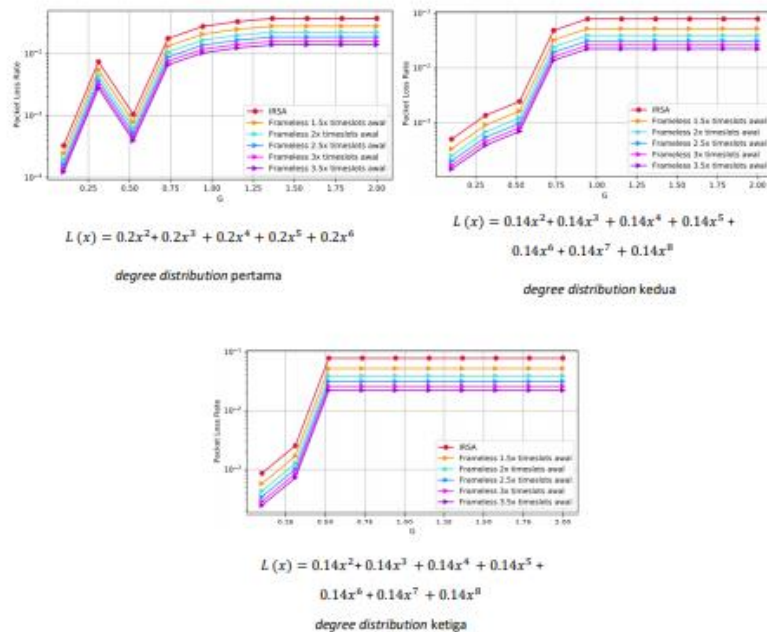
4.3.1 Hasil Throughput 70 User



Gambar 4.4. Throughput 70 User

Nilai tertinggi throughput pada Gambar 4.4 dengan degree distribution pertama sebesar 0,832 saat nilai Frameless ALOHA menambahkan timeslots hingga 3,5x jumlah timeslots awal. Nilai G menunjukkan berapa user yang dapat diselesaikan pakatnya oleh receiver dengan nilai sebesar 0,94. Throughput paling tinggi sebesar 0,832 paket/slot, dan throughput terendah sebesar 0,751 pada metode Frameless ALOHA sebanyak 2x timeslots awal. Keduanya menunjukkan bahwa dengan kepadatan user hingga 0,94, receiver dapat decode paket rata - rata sebanyak masing - masing 0.813 paket untuk Frameless ALOHA dengan 3.5x timeslots awal dan 0,751 paket dengan metode Frameless ALOHA 2x timeslots awal untuk tiap slotnya

4.3.2 Hasil PLR 70 User



Gambar 4.5. PLR 70 User

Pada Gambar 4.5 di *degree distribution* pertama PLR yang didapatkan untuk metode IRSA adalah 0,037 dengan *decoding threshold* atau G yaitu 0.94. Penggunaan metode *Frameless ALOHA* membuat nilai PLR turun menjadi 0,028 hingga 0,014 bergantung kepada kelipatan *timeslots* yang ditambahkan. Untuk rentang 1.5x, 2x, 2.5x, 3x dan 3.5x secara berturut - turut memiliki nilai 0,028, 0,022, 0,018, 0,016 dan 0,016.

Sedangkan untuk *degree distribution* kedua pada gambar yang sama, terdapat parameter yang dapat diamati yaitu nilai PLR terhadap G (batas *decoding threshold*). PLR tertinggi adalah 0,077 dengan metode IRSA dan nilai PLR terendah pada *Frameless ALOHA* 3.5x jumlah *timeslots* awal dengan nilai 0,022. Nilai PLR untuk *Frameless ALOHA* 1.5x jumlah *timeslots* awal yaitu 0,051, lalu PLR sebesar 0,038 *timeslots* 2x semula. Berikutnya untuk *timeslots* 2.5x semula terdapat nilai PLR 0,031. Nilai PLR 0,025 untuk 3x jumlah *timeslots* awal. Terakhir, nilai PLR paling rendah dengan *timeslots* sebanyak 3.5x semula yaitu sebesar 0,022. Penyebabnya adalah probabilitas tabrakan paket yang menurun karena jumlah *timeslots* yang meningkat serta perbandingan terbalik antara nilai rata - rata loss dengan banyaknya *timeslots*. Nilai G pada metode baik IRSA dan *Frameless ALOHA* yaitu sebesar 0,52. Nilai ini menunjukkan berapa banyak *user* yang dapat mengirimkan paket secara terus menerus dan dapat di-*decode* oleh *receiver*

Tabel 4.3. Tabel Throughput 70 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.785 (0.94) | 0.436 (0.52) | 0.212 (0.31) |
| FA 1.5x Ts | 0.819 (0.94) | 0.490 (0.52) | 0.210 (0.31) |
| FA 2x Ts | 0.751 (0.94) | 0.496 (0.52) | 0.237 (0.31) |
| FA 2.5x Ts | 0.816 (0.94) | 0.563 (0.52) | 0.253 (0.31) |
| FA 3x Ts | 0.782 (0.94) | 0.496 (0.52) | 0.238 (0.31) |
| FA 3.5x Ts | 0.832 (0.94) | 0.477 (0.52) | 0.263 (0.31) |

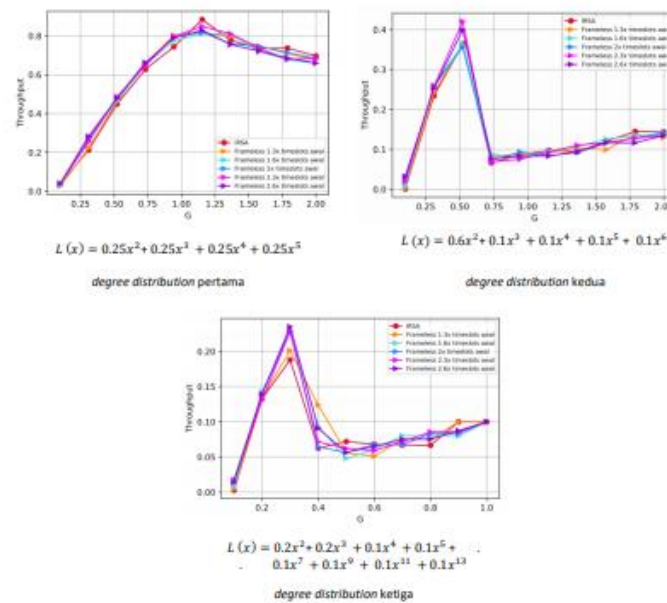
Tabel 4.4. Tabel PLR 70 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.037 (0.94) | 0.077 (0.52) | 0.077 (0.31) |
| FA 1.5x Ts | 0.028 (0.94) | 0.051 (0.52) | 0.051 (0.31) |
| FA 2x Ts | 0.022 (0.94) | 0.038 (0.52) | 0.038 (0.31) |
| FA 2.5x Ts | 0.018 (0.94) | 0.031 (0.52) | 0.031 (0.31) |
| FA 3x Ts | 0.016 (0.94) | 0.025 (0.52) | 0.025 (0.31) |
| FA 3.5x Ts | 0.014 (0.94) | 0.022 (0.52) | 0.022 (0.31) |

4.3 Skenario 80 User

Dalam sebuah ruangan tertutup, terdapat 70 user yang akan mengakses sebuah akses poin sama. Terdapat 3 degree distribution yang digunakan dengan nilai masing - masing sebesar $0.25x^2 + 0.25x^3 + 0.25x^4 + 0.25x^5$ untuk degree distribution pertama, $0.6x^2 + 0.1x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^6$ untuk degree distribution kedua dan $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^7 + 0.1x^9 + 0.1x^{11} + 0.1x^{13}$ untuk degree distribution ketiga. User ditempatkan secara acak pada ruangan tertutup tersebut serta tidak berpindah – piindah.

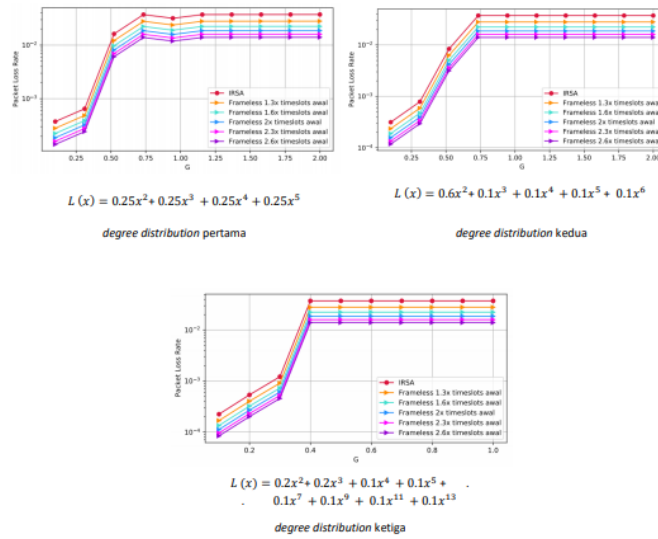
4.4.1 Hasil Throughput 80 User



Gambar 4.6. Throughput 80 User

Pada Gambar 4.6, yaitu saat degree distribution pertama tiap kurva memiliki nilai throughput yang berbeda - beda namun nilai G sama yaitu 1,15. Metode IRSA yang digunakan menghasilkan throughput sebesar 0,884 saat G=1,15. Pada metode Frameless ALOHA, throughput memiliki variasi nilai menjadi 0,815 jika framelength menjadi 1,3x panjang semua dan menjadi 0,810 apabila framelength menjadi 1,6x semula. Nilai tertinggi pada metode Frameless ALOHA didapatkan saat Frameless ALOHA 2,3x lipat dari timeslots semula. Penambahan frameleng bertujuan untuk meningkatkan probabilitas paket yang dapat diselesaikan atau di-decode. Frameless ALOHA pada framelength 2,6x lipat panjang frame awal tidak menghasilkan throughput tertinggi karena probabilitas paket yang dikirim secara acak, sehingga penambahan framelength tidak berarti menjamin meningkatnya nilai throughput, namun hanya meningkatkan probabilitas nilai throughput menjadi semakin tinggi karena semakin banyak timeslots yang tersedia

4.4.2 Hasil PLR 80 User



Gambar 4.7. PLR 80 User

Pada Gambar 4.7 *degree distribution* pertama, nilai *packet loss rate* IRSA sebesar 0,037 saat G sebesar 1,15 sedangkan pada *Frameless* ALOHA memiliki nilai *packet loss rate* dengan penurunan yang signifikan dengan rentang nilai 0,028 hingga 0,014 saat batas *decoding threshold* atau nilai G. Nilai PLR terendah adalah saat metode *Frameless* ALOHA dengan *timeslots* sebanyak 2.6x jumlah *timeslots* awal yaitu sebesar 0,014. *Timeslots* yang bertambah banyak dengan metode *Frameless* ALOHA dapat menurunkan jumlah tabrakan yang terjadi antar paket pada *timeslot* yang sama. Akibatnya, PLR pada *Frameless* ALOHA dengan *timeslots* terbanyak membuat nilai PLR terendah.

Tabel 4.5. Tabel Throughput 80 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.884 (1.15) | 0.364(0.52) | 0.188 (0.3) |
| FA 1.3x Ts | 0.815 (1.15) | 0.363(0.52) | 0.201 (0.3) |
| FA 1.6x Ts | 0.810 (1.15) | 0.362(0.52) | 0.228 (0.3) |
| FA 2x Ts | 0.820 (1.15) | 0.356(0.52) | 0.229 (0.3) |
| FA 2.3x Ts | 0.848 (1.15) | 0.420(0.52) | 0.228 (0.3) |
| FA 2.6x Ts | 0.829 (1.15) | 0.399(0.52) | 0.235 (0.3) |

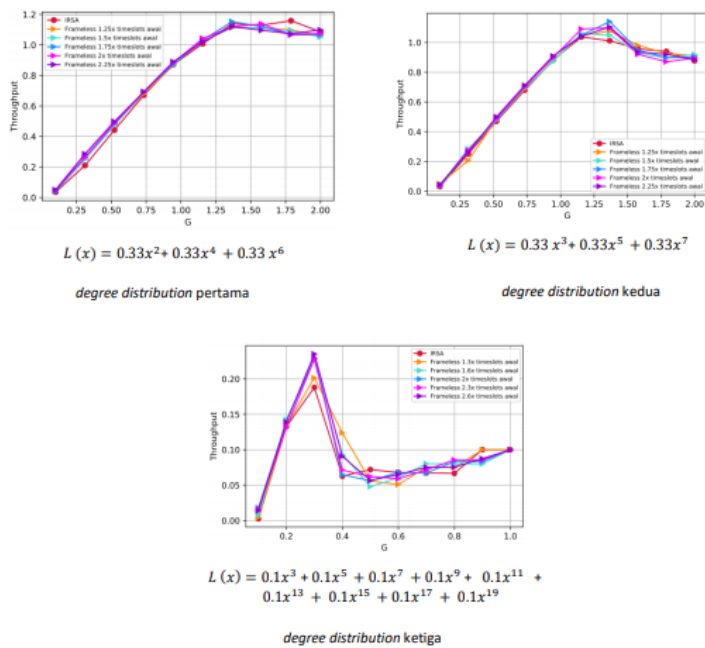
Tabel 4.6. Tabel PLR 80 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.037 (1.15) | 0.037(0.52) | 0.037 (0.3) |
| FA 1.3x Ts | 0.028 (1.15) | 0.028(0.52) | 0.028 (0.3) |
| FA 1.6x Ts | 0.022 (1.15) | 0.022(0.52) | 0.022 (0.3) |
| FA 2x Ts | 0.018 (1.15) | 0.018(0.52) | 0.018 (0.3) |
| FA 2.3x Ts | 0.016 (1.15) | 0.016(0.52) | 0.016 (0.3) |
| FA 2.6x Ts | 0.014 (1.15) | 0.014(0.52) | 0.014 (0.3) |

4.4 Skenario 90 User

Percobaan skenario keempat menggunakan *user* sebanyak 90. Terdapat 3 jenis *degree distribution* pada tiap percobaan simulasi yang akan dilakukan. Pada percobaan pertama dengan *degree distribution* $0.33x^2 + 0.33x^4 + 0.33x^6$. Pada percobaan kedua digunakan *degree distribution* $0.33x^3 + 0.33x^5 + 0.33x^7$. Pada percobaan ketiga menggunakan *degree distribution* $0.1x^3 + 0.1x^5 + 0.1x^7 + 0.1x^9 + 0.1x^{11} + 0.1x^{13} + 0.1x^{15} + 0.1x^{17} + 0.1x^{19}$

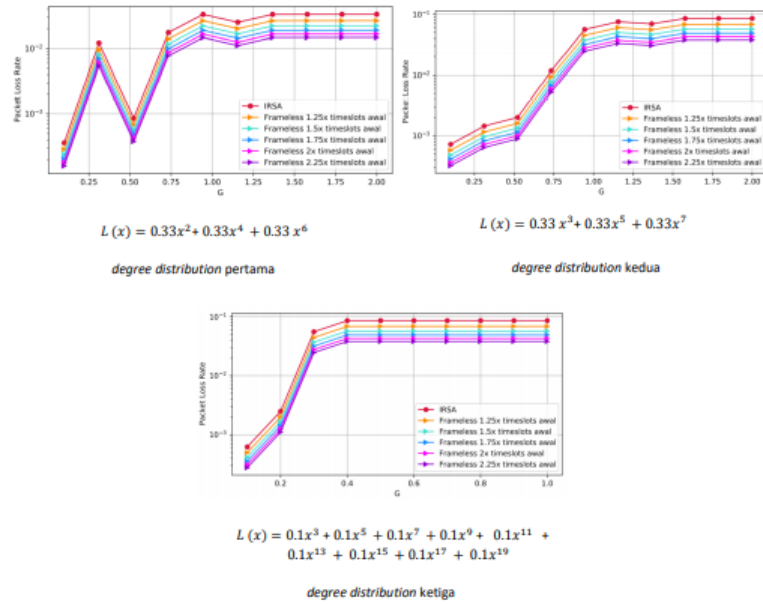
4.5.1 Hasil Throughput 90 User



Gambar 4.8. Throughput 90 User

Nilai tertinggi *throughput* didapatkan sebesar 1,158 saat nilai *G* adalah 1.57 dengan IRSA, sedangkan *throughput* terendah sebesar 1,25x jumlah *timeslots* awal sebagaimana tertera berdasarkan Gambar 4.8 *degree distribution* pertama. Nilai *G* menunjukkan berapa *user* yang dapat diakomodasi oleh *receiver* secara simultan dan terus menerus. *Throughput* sebesar 1,58 paket/*slot* memiliki arti setiap paket dapat diselesaikan dengan rata2 tiap slot sehingga nilai *G* dapat mengakomodasi *user* lebih banyak yaitu 1.57 atau 1.57x lipat dari *user* yang ada. Dapat dianalisis berdasarkan Gambar 4.8 *degree distribution* kedua, nilai *throughput* IRSA yang didapatkan sebesar 1,03 saat nilai *G* sebesar 1,15. Penggunaan metode *Frameless ALOHA* meningkatkan *throughput* hingga 1,14 untuk kepadatan *user* atau *decoding threshold* (*G*) yang bernilai 1,36. Nilai *throughput* yang didapatkan bervariasi karena paket yang dikirimkan bersifat *random access* sehingga *timeslots* yang dipilih juga tidak tentu atau acak. Namun metode *Frameless ALOHA* dapat meningkatkan probabilitas paket yang dikirim menjadi sukses.

4.5.2 Hasil PLR 90 User



Gambar 4.9. PLR 90 User

Berdasarkan Gambar 4.9 PLR yang didapatkan untuk metode CRDSA adalah 1.6 dengan *decoding threshold* atau G yaitu 1.5. Sedangkan pada *Frameless ALOHA*, nilai PLR turun menjadi 1.29 hingga 0.71 dipengaruhi oleh jumlah *timeslots* yang berubah. Untuk rentang 1.25x, 1.5x, 1.75x, 2x dan 2.25x secara berturut - turut memiliki nilai 1.6, 1.29, 1.07, 0.92, 0.8, dan terakhir yaitu 0.7. Penurunan ini disebabkan menurunnya probabilitas paket untuk tabrakan karena bertambahnya jumlah *timeslots*. Gambar 4.9 dengan *degree distribution* ketiga, nilai PLR yang didapatkan untuk metode IRSA adalah 0,085 dengan *decoding threshold* atau G yaitu 0,2. Penggunaan metode *Frameless ALOHA* membuat nilai PLR turun menjadi 0,068 hingga 0,038 bergantung kepada kelipatan *timeslots* yang ditambahkan. Untuk rentang 1.25x, 1.5x, 1.75x, 2x dan 2.25x secara berturut - turut memiliki nilai 0,068, 0,057, 0,048, 0,042 dan 0,038.

Tabel 4.7. Tabel Throughput 90 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|-------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 1.158 (1.57) | 1.03 (1.15) | 0.127 (0.2) |
| FA 1.25x Ts | 1.113 (1.57) | 1.07 (1.36) | 0.148 (0.2) |
| FA 1.5x Ts | 1.114 (1.57) | 1.05 (1.15) | 0.147 (0.2) |
| FA 1.75x Ts | 1.152 (1.57) | 1.14 (1.36) | 0.147 (0.2) |
| FA 2x Ts | 1.137 (1.57) | 1.09 (1.36) | 0.153 (0.2) |
| FA 2.25x Ts | 1.119 (1.57) | 1.10 (1.36) | 0.155 (0.2) |

Tabel 4.8. Tabel PLR 90 user saat decoding threshold

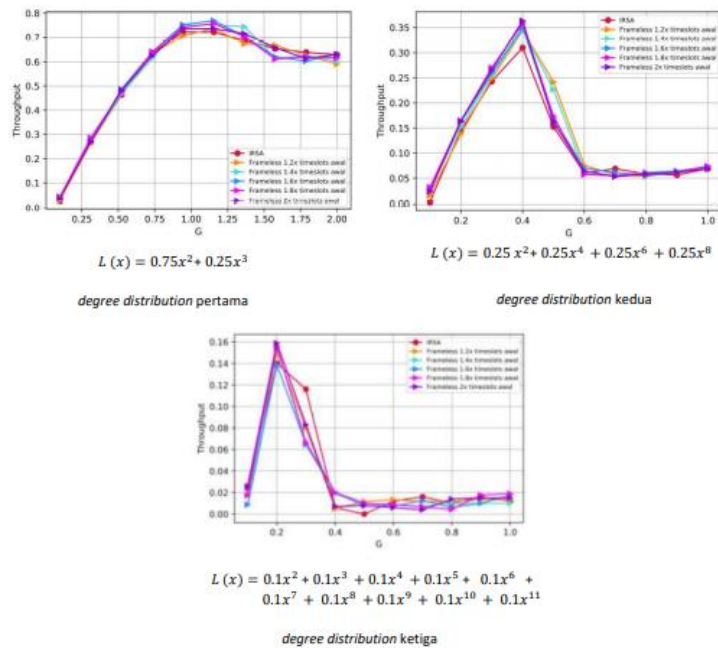
| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree ketiga |
|-------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.033 (1.57) | 0.074 (1.15) | 0.085 (0.2) |
| FA 1.25x Ts | 0.026 (1.57) | 0.056 (1.36) | 0.068 (0.2) |
| FA 1.5x Ts | 0.022 (1.57) | 0.049 (1.15) | 0.057 (0.2) |
| FA 1.75x Ts | 0.018 (1.57) | 0.048 (1.36) | 0.048 (0.2) |
| FA 2x Ts | 0.016 (1.57) | 0.042 (1.36) | 0.042 (0.2) |
| FA 2.25x Ts | 0.014 (1.57) | 0.037 (1.36) | 0.038 (0.2) |

4.5 Skenario 100 User

Skenario pada penelitian ini menggunakan 100 user yang ditempatkan secara acak dalam sebuah ruangan tertutup. *Degree distribution* pertama yang digunakan yaitu $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.5x^4 + 0.1x^5$.

Degree distribution kedua yang digunakan yaitu $0.1x^2 + 0.1x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^6 + 0.1x^7 + 0.1x^8 + 0.1x^9 + 0.1x^{10} + 0.1x^{11}$, dan degree distribution ketiga adalah $0.1x^2 + 0.2x^3 + 0.3x^4 + 0.1x^5 + 0.15x^6 + 0.05x^{17} + 0.03x^{18} + 0.03x^{19} + 0.02x^{20} + 0.02x^{21}$. Variasi degree distribution digunakan untuk mendapatkan nilai throughput dan packet loss rate yang berbeda.

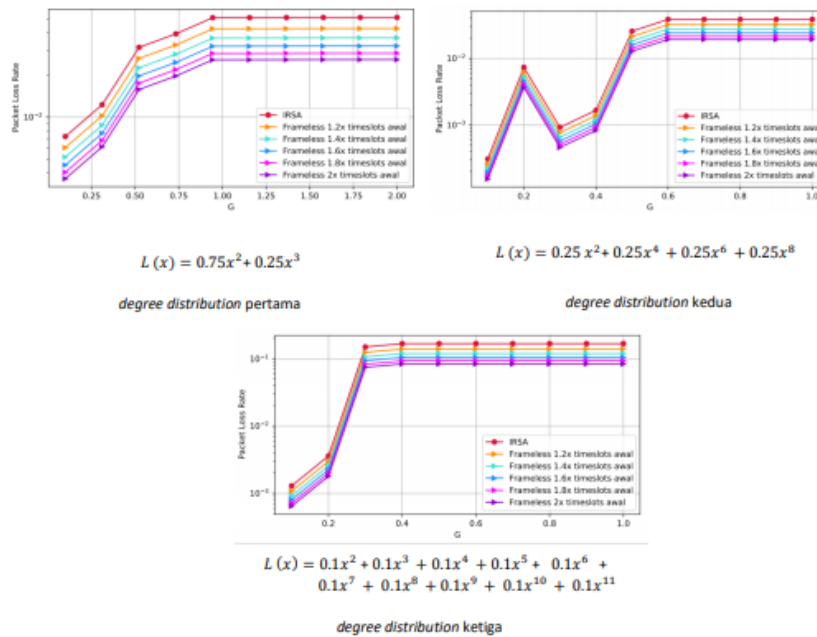
4.6.1 Hasil Throughput 100 User



Gambar 4.10. Throughput 100 User

Analisis berdasarkan Gambar 4.10 yaitu nilai throughput IRSA adalah 0,722 pada saat decoding threshold (G) sebesar 1.15. Nilai throughput maksimum yang didapatkan sebesar 0.769 saat nilai G sebesar 1.15 dengan frameless ALOHA 1,6x jumlah timeslots IRSA. Dalam penggunaan metode Frameless ALOHA menghasilkan throughput yang bervariasi. Nilai Frameless ALOHA dengan jumlah timeslots 1.2x, 1.4x, 1.6x, 1.8x dan 2x yaitu sebesar 0.737, 0.752, 0.769, 0.757, dan 0.736. Pada Frameless ALOHA dengan timeslots 1.2x, 1.4x, 1.6x, 1.8x dan 2x mendapat nilai G 1.15. Metode Frameless ALOHA dapat meningkatkan probabilitas paket yang dikirim berhasil di-decode, serta nilai throughput yang didapatkan tidak secara teratur meningkat seiring pertambahan jumlah timeslots karena random access yang digunakan.

4.6.2 Hasil PLR 100 User



Gambar 4.11. PLR 100 User

Pada Gambar 4.11 *degree distribution* pertama, PLR yang didapatkan untuk metode IRSA adalah 0,166 dengan *decoding threshold* atau G yaitu 0,2. Metode *Frameless* ALOHA menurunkan probabilitas *collision* antar paket sehingga nilai PLR turun menjadi 0,043 dan PLR terendah dengan nilai 0,025. Nilai PLR tersebut bergantung kepada kelipatan timeslots yang ditambahkan serta nilai G yang didapat. Untuk rentang 1.2x, 1.4x, 1.6x, 1.8x dan 2x secara berturut - turut memiliki nilai 0,043, 0,036, 0,032, 0,028 dan 0,025.

Tabel 4.9. Tabel Throughput 100 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.722 (1.15) | 0.310 (0.4) | 0.140 (0.2) |
| FA 1.2x Ts | 0.737 (1.15) | 0.344 (0.4) | 0.150 (0.2) |
| FA 1.4x Ts | 0.752 (1.15) | 0.346 (0.4) | 0.155 (0.2) |
| FA 1.6x Ts | 0.769 (1.15) | 0.350 (0.4) | 0.138 (0.2) |
| FA 1.8x Ts | 0.757 (1.15) | 0.358 (0.4) | 0.155 (0.2) |
| FA 2x Ts | 0.736 (1.15) | 0.363 (0.4) | 0.159 (0.2) |

Tabel 4.10. Tabel PLR 100 user saat decoding threshold

| | Degree Pertama | Degree Kedua | Degree Ketiga |
|------------|----------------|--------------|---------------|
| IRSA | 0.051 (1.15) | 0.038 (0.4) | 0.166 (0.2) |
| FA 1.2x Ts | 0.043 (1.15) | 0.032 (0.4) | 0.138 (0.2) |
| FA 1.4x Ts | 0.036 (1.15) | 0.027 (0.4) | 0.119 (0.2) |
| FA 1.6x Ts | 0.032 (1.15) | 0.024 (0.4) | 0.104 (0.2) |
| FA 1.8x Ts | 0.028 (1.15) | 0.021 (0.4) | 0.092 (0.2) |
| FA 2x Ts | 0.025 (1.15) | 0.019 (0.4) | 0.083 (0.2) |

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi skema *Frameless* ALOHA pada *indoor* VLC dengan variasi *degree distribution* serta skenario jumlah *user* yang berbeda dapat dianalisis serta diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada skenario 60 *User*, *degree distribution* $0.33x^2 + 0.33x^4 + 0.33x^6$ menghasilkan throughput tertinggi yaitu sebesar 0.898 saat *decoding threshold* (G) pada 1,03. Sedangkan PLR terendah yaitu 0.037 saat $G = 0.74$ didapatkan dengan *degree distribution* $0.25x^2 + 0.25x^3 + 0.25x^4 + 0.25x^5$
2. Dalam simulasi ruangan tertutup yang berisi 70 *User*, nilai *throughput* terbesar yaitu 0.832 saat $G = 0.94$. Sementara nilai PLR paling rendah yaitu 0.022 saat $G=0.31$ dengan menggunakan *degree distribution* $0.14x^{12} + 0.14x^{13} + 0.14x^{14} + 0.14x^{15} + 0.14x^{16} + 0.14x^{17} + 0.14x^{18}$
3. *Throughput* maksimal yang dihasilkan saat terdapat 80 *user*, yaitu 0.769 saat G mencapai nilai 1.15 dengan *degree distribution* $0.25x^2 + 0.25x^3 + 0.25x^4 + 0.25x^5$. PLR paling rendah yaitu 0.083 dengan G adalah 0.2 dengan *degree distribution* $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.1x^4 + 0.1x^5 + 0.1x^7 + 0.1x^9 + 0.1x^{11} + 0.1x^{13}$
4. Saat jumlah *user* mencapai 90 *user*, *throughput* tertinggi adalah 1.158 saat G mencapai 1.57 dan *degree distribution* yang digunakan yaitu $0.33x^3 + 0.33x^5 + 0.33x^7$. PLR terendah yang didapatkan menunjukkan nilai 0.0038 saat $G = 0.2$ dengan *degree distribution* $0.1x^3 + 0.1x^5 + 0.1x^7 + 0.1x^9 + 0.1x^{11} + 0.1x^{13} + 0.1x^{15} + 0.1x^{17} + 0.1x^{19}$
5. Pada ruangan $6 \times 6 \times 3$ dengan batas maksimum 100 *User*, didapatkan hasil throughput maksimum sebesar 0.884 pada *degree distribution* $0.2x^2 + 0.2x^3 + 0.5x^4 + 0.1x^5$ dengan nilai $G = 1.15$. Sedangkan nilai PLR terendah didapatkan pada 0.014 pada *Frameless ALOHA* dengan *timeslots* 2.6x semua dengan *degree distribution* $0.1x^2 + 0.2x^3 + 0.3x^4 + 0.1x^5 + 0.15x^6 + 0.05x^{17} + 0.03x^{18} + 0.03x^{19} + 0.02x^{20} + 0.02x^{21}$
6. *Frameless ALOHA* dapat meningkatkan *throughput* dari 0.188 hingga 0.235 dengan 1,25x peningkatan dan menurunkan PLR hingga 37% dengan nilai 0.037 untuk IRSA dan 0.014 untuk *frameless ALOHA* 2.6x *timeslots* IRSA dengan jumlah *User* sebanyak 100 karena *timeslots* yang berubah secara dinamis dan dapat bertambah membuat probabilitas peningkatan dari paket yang sukses diterima oleh *receiver* dan mengurangi kemungkinan tabrakan paket yang terjadi di *timeslots*.

Referensi:

- [1] J. Chen and T. Shu, "Statistical modeling and analysis on the confidentiality of indoor vlc systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 7, pp. 4744–4757, 2020.
- [2] H. Yu, Z. Fei, C. Cao, M. Xiao, D. Jia, and N. Ye, "Analysis of irregular repetition spatially-coupled slotted aloha," *Science China Information Sciences*, vol. 62, no. 8, pp. 1–13, 2019.
- [3] X. Fu and Y. Su, "Performance analysis of crdsa based on m2m flow model," in *International Conference in Communications, Signal Processing, and Systems*. Springer, 2020, pp. 1300–1305..
- [4] F. Tariq, M. R. Khandaker, K.-K. Wong, M. A. Imran, M. Bennis, and M. Debbah, "A speculative study on 6g," *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, no. 4, pp. 118–125, 2020..
- [5] F. Wu and P. Fan, "A survey on high mobility wireless communications: Challenges, opportunities and solutions," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 450–476, 2016.
- [6] B. Pamukti, W. V. Sigit, A. Fahmi, N. M. Adriansyah, and N. Andini, "Waterfilling random resource allocation (w-frra) using noma for downlink lifi system," in *2019 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)*. IEEE, 2019, pp. 13–18
- [7] D. Vukobratovic and F. J. Escibano, "Adaptive multi-receiver coded slotted aloha for indoor optical wireless communications," *IEEE Communications Letters*, vol. 24, no. 6, pp. 1308–1312, 2020.
- [8] R. 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*, vol. 1, 2018

- [9] J. Deng, X. Jin, X. Ma, M. Jin, C. Gong, and Z. Xu, "Graph-based multi-user scheduling for *indoor* cooperative visible light transmission," *Optics express*, vol. 28, no. 11, pp. 15 984–16 002, 2020
- [10] H. Wang and A. O. Fapojuwo, "Design and performance evaluation of successive interference cancellation-based pure aloha for internet-of-things networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 4, pp. 6578–6592, 2019
- [11] S. A. Tegos, P. D. Diamantoulakis, A. S. Lioumpas, P. G. Sarigiannidis, and G. K. Karagiannidis, "Slotted aloha with noma for the next generation iot," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 68, no. 10, pp. 6289–6301, 2020.
- [12] D. Marabissi, L. Mucchi, S. Caputo, F. Nizzi, T. Pecorella, R. Fantacci, T. Nawaz, M. Seminara, and J. Catani, "Experimental measurements of a joint 5g-vlc communication for future vehicular networks," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 9, no. 3, p. 32, 2020
- [13] H. Wu and Q. Fan, "Study on led visible light communication channel model based on poisson stochastic network theory," in 2020 International Conference on Wireless Communications and Smart Grid (ICWCSG). IEEE, 2020, pp. 5–9
- [14] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R . C*
- [15] O. Z. Alsulami, M. T. Alresheedi, and J. M. Elmirghani, "Infrared uplink design for visible light communication (vlc) systems with beam steering," in 2019 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC). IEEE, 2019, pp. 57–60
- [16] M. Uysal, C. Capsoni, Z. Ghassemlooy, A. Boucouvalas, and E. Udvary, *Optical wireless communications: an emerging technology*. S
- [17] Z. Ghassemlooy, L. N. Alves, S. Zvanovec, and M.-A. Khalighi, *Visible light communications: theory and applications*. CRC press, 2017.
- [18] S. S. Bawazir, P. C. Sofotasios, S. Muhaidat, Y. Al-Hammadi, and G. K. Karagiannidis, "Multiple *access* for visible light communications: Research challenges and future trends," *Ieee Access*, vol. 6, pp. 26 167–26 174,
- [19] H. Marshoud, V. M. Kapinas, G. K. Karagiannidis, and S. Muhaidat, "Nonorthogonal multiple *access* for visible light communications," *IEEE photonics technology letters*, vol. 28, no. 1, pp. 51–54, 2015
- [20] Y. Chen, A. Bayesteh, Y. Wu, B. Ren, S. Kang, S. Sun, Q. Xiong, C. Qian, B. Yu, Z. Ding et al., "Toward the standardization of non-orthogonal multiple *access* for next generation wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 3, pp. 19–27, 2018
- [21] L. Beltramelli, A. Mahmood, P. Osterberg, and M. Gidlund, "Lora beyond " aloha: An investigation of alternative *random access* protocols," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 5, pp. 3544–3554, 20
- [22] E. Paolini, C. Stefanovic, G. Liva, and P. Popovski, "Coded *random access*: How coding theory helps to build *random access* protocols," *arXiv preprint arXiv:1405.4127*, 2014.
- [23] — —, "Coded *random access*: Applying codes on graphs to design *random access* protocols," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 6, pp. 144– 150, 2015
- [24] S. Ogata and K. Ishibashi, "Coded *Frameless* aloha," in 2018 15th Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC). IEEE, 2018, pp. 1–5.

- [25] T.-H. Liu, C.-H. Yu, Y.-J. Lin, C.-S. Chang, and D.-S. Lee, "Aloha receivers: a network calculus approach for analyzing coded multiple access with sic," arXiv preprint arXiv:2009.03145, 2020.
- [26] F. Lazaro and C. Stefanovic, "Finite-length analysis of *Frameless* aloha with multi-user detection," IEEE Communications Letters, vol. 21, no. 4, pp. 769–772, 2016.
- [27] C. Stefanovic and P. Popovski, "Aloha random access that operates as a rateless code," IEEE Transactions on Communications, vol. 61, no. 11, pp. 4653–4662, 2013.
- [28] S. Ogata and K. Ishibashi, "Application of zigzag decoding in *Frameless* aloha," IEEE Access, vol. 7, pp. 39 528–39 538, 2019.
- [29] S. Ogata, "Graph-based random access protocols for massive multiple access networks," Diss. The University of Electro-Communications, 2019.
- [30] L. Zhao, X. Chi, and S. Yang, "Optimal aloha-like random access with heterogeneous qos guarantees for multi-packet reception aided visible light communications," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 11, pp. 7872–7884, 2016.
- [31] E. Casini, R. De Gaudenzi, and O. D. R. Herrero, "Contention resolution diversity slotted aloha (crdsa): An enhanced random access scheme for satellite access packet networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 4, pp. 1408–1419, 2007.
- [32] C. Ley-Bosch, I. Alonso-Gonzalez, D. Sánchez-Rodríguez, and C. Ramírez-Casas, "Evaluation of the effects of hidden node problems in ieee 802.15.7 uplink performance," Sensors, vol. 16, no. 2, p. 216, 2016.
- [33] L. U. Khan, "Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges," Digital Communications and Networks, vol. 3, no. 2, pp. 78–88, 2017.
- [34] B. S. Pratama, N. M. Adriansyah, and B. Pamukti, "Analisis performansi multi user detection pada kanal nlos untuk sistem noma-vlc," ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, vol. 9, no. 2, p. 482, 2021.
- [35] P. Binh, V. Trong, D. Hung, P. Renucci, A. Balocchi, and X. Marie, "Demonstration of 300 mbit/s free space optical link with commercial visible led," in 2013 IEEE 11th International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS). IEEE, 2013, pp. 1–3.
- [36] S. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K.-S. Kwak, "Power-domain nonorthogonal multiple access (noma) in 5g systems: Potentials and challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2016.
- [37] A. Al Hammadi, P. C. Sofotasios, S. Muhaidat, M. Al-Qutayri, and H. Elgala, "Non-orthogonal multiple access for hybrid vlc-rf networks with imperfect channel state information," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 1, pp. 398–411, 2020.