

VISIBLE LIGHT COMMUNICATION MENGGUNAKAN NOMA DENGAN METODE CRDSA UNTUK KOMUNIKASI DALAM RUANGAN

VISIBLE LIGHT COMMUNICATION USING NOMA WITH CRDSA METHOD FOR INDOOR COMMUNICATION

Fany Fitria Sari¹, Arfianto Fahmi², Brian Pamukti³

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

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

³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dengan mengusulkan cara yang sangat sederhana yaitu CRDSA didasarkan pada frame *Slotted ALOHA (SA)*. *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA (CRDSA)* adalah sebagai salah satu teknik *channel coding* untuk mengurangi terjadinya tabrakan paket yang dikirimkan maupun diterima dalam *frame* dan slot yang sama pada *Multiple Access Channel (MAC)*. Selain itu *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)* diterapkan pada sistem *Visible Light Communication (VLC)* dengan menggunakan *superposition coding* di sisi *transmitter* dan pada *receiver* diimplementasikan *Successive Interference Cancellation (SIC)* dengan variasi jumlah iterasi pada bagian *decoding*-nya. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh bahwa nilai *Offered Traffic (G)* tertinggi untuk kinerja *throughput* tertinggi menggunakan CRDSA dengan peningkatan nilai *throughput* $\pm 27\%$ dari 0.5004 hingga 0.5249 dan nilai *Packet Loss Ratio (PLR)* mengalami penurunan $\pm 27\%$ dalam nilai kinerja tersebut menggunakan 100 *Slot Node* dengan peluang terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) sebesar 26,19%.

Kata kunci : VLC, CRDSA, *Throughput*, PLR, *Degree Distributions*

Abstract

By proposing a very simple way, namely CRDSA based on Slotted ALOHA (SA) frames. Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA (CRDSA) is one of the channel coding techniques to reduce the occurrence of packet collisions sent and received in the same frame and slot in Multiple Access Channels (MAC). In addition, Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) is applied to the Visible Light Communication (VLC) system using superposition coding on the transmitter side and Successive Interference Cancellation (SIC) is implemented at the receiver with variations in the number of iterations in the decoding section. Based on the simulation results that have been carried out, it is found that the highest Offered Traffic (G) value for the highest throughput performance using CRDSA with an increase in throughput value of $\pm 27\%$ from 0.5004 to 0.5249 and the value of Packet Loss Ratio (PLR) decreased $\pm 27\%$ in the performance value. using 100 Slot Node with a chance of collision between packets (collision) of 26.19%.

Keywords : VLC, CRDSA, *Throughput*, PLR, *Degree Distributions*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi dalam beberapa tahun terakhir terjadi perkembangan yang pesat, masyarakat semakin membutuhkan akses komunikasi yang cepat dan efisien. *Visible Light Communication (VLC)* atau komunikasi cahaya tampak adalah teknologi yang memanfaatkan pancaran cahaya tampak (*visible light*) dari lampu sebagai media komunikasi, sehingga seseorang tidak harus membeli *access point* untuk menerima data, tetapi hanya menggunakan cahaya tampak (*visible light*) dari lampu saja[1].

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) baru-baru ini diakui sebagai teknik akses jamak yang menjanjikan secara signifikan meningkatkan efisiensi spektral jaringan komunikasi bergerak. NOMA menggunakan *domain* daya untuk beberapa akses, sedangkan generasi sebelumnya ada *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)* selama ini mengandalkan domain waktu, frekuensi, kode yang digunakan oleh 3GPP-LTE. Masalah utama dengan teknik OFDMA adalah efisiensi spektralnya rendah seperti saluran *subcarrier*, dialokasikan untuk pengguna dengan

kondisi saluran yang buruk[2]. Untuk peningkatan kinerja *Visible Light Communication* (VLC), *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) muncul sebagai teknologi yang kuat untuk melayani banyak pengguna pada waktu dan slot frekuensi yang sama. NOMA menggunakan pengkodean superposisi di pemancar sehingga *Successive Interference Cancellation* (SIC) dapat memisahkan pengguna di saluran *uplink* dan *downlink*[3].

Banyak skema kontrol akses untuk *Slotted ALOHA* (SA) telah diteliti sejak pengembangannya. Di antaranya adalah *Dynamic Frame Length ALOHA* (DFLA) dengan teknik menyesuaikan panjang bingkai dan probabilitas akses saluran masing-masing. DFLA tidak cocok pada lingkungan terdistribusi dan untuk digunakan dengan R-CRDSA, karena panjang bingkai harus sama untuk semua *node*, dan mengubah panjang bingkai menghasilkan perubahan lokasi slot reservasi. Karena itu, dibutuhkan skema pengkodean alternatif yang efisien diperlukan untuk mengurangi rasio kehilangan paket pada beban lalu lintas tinggi dan keandalan rendah karena tabrakan paket. Dengan mengusulkan cara yang sangat sederhana yaitu CRDSA didasarkan pada frame *Slotted ALOHA* (SA)[4]. *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA* (CRDSA) dengan penambahan slot reservasi dan kontrol jumlah replika. Jika memiliki pesan dengan beberapa paket terfragmentasi untuk dikirim secara berturut-turut, jumlah bingkai yang tersisa ditambahkan ke paket. Jika paket berhasil *decoded*, slot dengan angka terkecil di antara replika dipilih sebagai slot yang dipesan. Aturan ini memaksa slot untuk dicadangkan khusus untuk pengirim, dan slot tidak dapat diakses di *frame* berikutnya[5].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan deskripsi pada latar belakang, adapun masalah yang terjadi yaitu tabrakan (*collision*) antar paket yang cukup tinggi dengan penggunaan *user* yang banyak sehingga membutuhkan skema. Pada Tugas Akhir ini menguji penggunaan jumlah *Slot Node* saat menggunakan beberapa variasi *degree distribution* untuk mendapatkan nilai *Offered Traffic* (G) tertinggi untuk kinerja nilai *throughput* dan *Packet Loss Ratio* (PLR) yang dilakukan pada ruangan tertutup tanpa menggunakan interferensi. Adapun rumusan masalah yang didapatkan berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan yaitu:

1. Bagaimana cara mendapatkan nilai G tertinggi untuk kinerja *throughput* yang dihasilkan skema CRDSA dari jumlah *Slot Node* yang telah ditetapkan ?
2. Bagaimana cara skema CRDSA pada jumlah maksimal *Slot Node* dapat mengirim secara bersamaan pada *timeslot* tanpa menimbulkan kesalahan (*error*) agar tercapainya target dari PLR untuk G ?

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk memperkecil kemungkinan tabrakan, sehingga memperoleh nilai G untuk kinerja nilai *throughput* dan *Packet Loss Ratio* (PLR) menggunakan metode *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA* (CRDSA).

2. Dasar Teori

2.1 Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) adalah teknologi yang menggunakan cahaya *Light Emitting Diode* (LED) putih (cahaya tampak) sebagai media transmisi datanya. Cahaya tampak adalah bentuk dimana radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam kisaran tertentu diinterpretasikan oleh otak manusia. Spektrum cahaya tampak meliputi panjang gelombang dari 380 nm sampai 750 nm[6].

2.2 Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode (LED) adalah komponen elektronika berupa dioda yang dapat memancarkan cahaya ketika menerima arus listrik. Panjang gelombang cahaya yang dipancarkan, dan karena itu warnanya, bergantung pada selisih pita energi dari bahan yang membentuk p-n *junction*[6].

2.3 Photodetector

Dalam proses pengiriman sinyal pada sistem VLC, disisi *receiver* terdapat *photodetector* yang mendeteksi sinyal berupa cahaya yang ditransmisikan oleh *transmitter*. Pada *photodetector*, mengubah sinyal dalam bentuk cahaya yang diterima oleh *receiver* menjadi sinyal listrik. Setelah melewati media transmisi, umumnya akan terjadi pelemahan pada sinyal optik[7].

2.4 Kanal Transmisi

Kanal transmisi adalah media yang digunakan sebagai tempat merambatnya sinyal pembawa bersama informasi yang ingin dikirim dari *transmitter* ke *receiver*. Pada VLC, terdapat dua model kondisi kanal transmisi yaitu *Line Of Sight* (LOS) dan *Non-Direct Line Of Sight* (NLOS). Perbedaan antara keduanya terletak pada *obstaclenya*. Saat kondisi LOS artinya jalur komunikasi antara *transmitter* ke *receiver* tidak terdapat *obstacle*, sehingga dapat dikatakan sebagai komunikasi *direct* yaitu tidak terdapat interferensi ataupun *obstacle*, Hal ini disebabkan karena saat kondisi LOS sinar pancaran dari LED akan berfokus pada suatu titik dengan cakupan *Field Of View* (FOV) yang sempit[8].

2.5 Slotted ALOHA

Dalam *Slotted ALOHA*, *packet* yang ingin ditransmisikan oleh *user* akan dibagi menjadi beberapa segmen dalam *frame* MAC, setiap paket ditransmisikan sekali dalam MAC jika terjadi tabrakan paket (*collision*) menyebabkan pengiriman ulang paket[7].

2.6 Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA (CRDSA)

CRDSA dapat mengoptimalkan kinerja nilai *throughput* pada *traffic load* yang tinggi, daya, efisiensi energi, dan juga dapat mengetahui letak celah tabrakan paket (*collision*) terjadi untuk membantu *contention resolution*, setiap paket di *physical layer* yang berisi tentang lokasi replika di dalam *frame* MAC[9]. Karakteristik utama dari CRDSA adalah untuk memungkinkan perangkat untuk mengirimkan dua *replica* (*twin bursts*) dari paket di slot yang berbeda dipilih secara acak dalam bingkai (*frame*) MAC dan melakukan *Successive Interference Cancellation* (SIC) untuk menyelesaikan tabrakan paket (*collision*)[10].

2.7 Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA)

IRSA adalah salah satu metode protokol *Random Access* dengan pengiriman paket *replica* dapat berbeda untuk setiap *user* sesuai dengan *degree distribution* yang diberikan[11].

2.8 Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) merupakan teknik transmisi *single-carrier* dan *multi-carrier* yang memungkinkan banyak pengguna untuk berbagi sumber daya waktu dan frekuensi yang sama melalui multiplexing domain sumber atau domain kode[12].

2.9 Successive Interference Cancellation (SIC)

Successive Interference Cancellation (SIC) merupakan suatu strategi *Multi-User Detection* (MUD) yang diimplementasikan pada sisi receiver sebelum proses decoding sinyal informasi tiap user, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi paket yang bertabrakan selama pengiriman[13].

2.10 Validasi Data

2.10.1 Offered Load

Offered load atau decoding threshold pada penelitian ini adalah jumlah paket user dibagi dengan jumlah timeslot yang tersedia atau bisa disebut contending user dimana setiap user mencari timeslot 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[14]. Rumus Offered Load (G) dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut :

$$G = \frac{M}{N} \quad (2.1)$$

dengan G adalah nilai offered load yaitu batas sebelum paket mengalami *error floor* dengan kata lain mewakili jumlah rata-rata transmisi paket per slot, M adalah jumlah *User* dan N adalah *Slot* Node (*timeslot*) yang tersedia.

2.10.2 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 atau dengan kata lain dapat didefinisikan sebagai rata-rata paket yang sukses diterima dalam tiap timeslot[16]. Oleh karena itu, *throughput* adalah fungsi dari slot waktu, yaitu[15]:

$$T = G (1 - P_L) \quad (2.2)$$

dengan T adalah *throughput*, G adalah nilai *offered load* atau batas sebelum paket mengalami *error floor* dan P_L merupakan *Packet Loss Ratio* (PLR).

2.10.3 Packet Loss Ratio (PLR)

Packet Loss Ratio (PLR) adalah jumlah rata-rata *packet error* terhadap jumlah total paket yang ditransmisikan. Persamaan PLR dapat dinyatakan sebagai

$$P_L = \frac{X}{k} \tag{2.3}$$

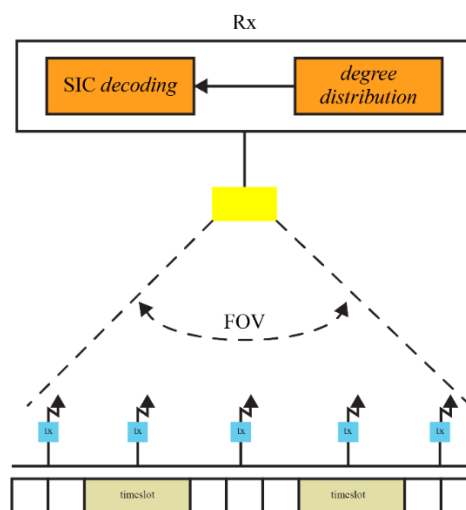
dengan X merupakan jumlah paket yang hilang, dan k adalah jumlah paket yang ditransmisikan.

2.10.4 Degree Distributions

Dalam sistem yang menggunakan CRDSA, setiap pengguna menentukan tingkat transmisi pakatnya berdasarkan fungsi distribusi derajat yang diberikan. Secara khusus, *user* dengan *degree* memilih k slot waktu acak dalam kerangka waktu. Probabilitas dinyatakan pada saat *user* mentransmisikan k kali dengan L_k . Maka, *degree distribution* dari variabel *node* dinyatakan dalam[16]

$$L(x) \triangleq \sum_{k=1}^{k_{max}} L_k x^k, \tag{2.4}$$

3. Pembahasan
3.1 Desain Sistem

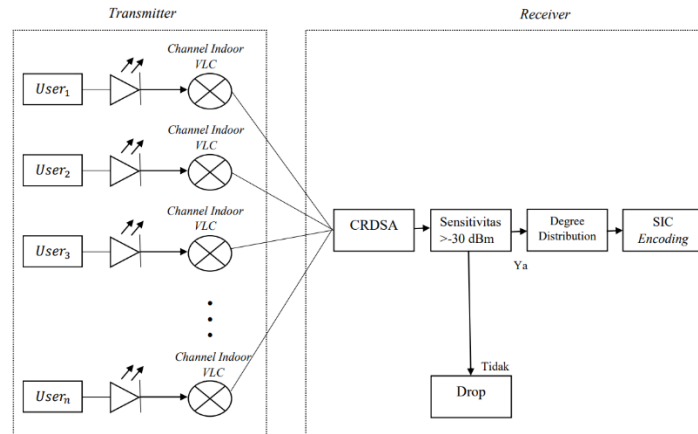


Gambar 3. 1 Model Sistem Komunikasi

Pada **Gambar 3.1** model sistem komunikasi Tugas Akhir ini diilustrasikan. Sistem VLC dipasang dalam ruangan yang berfungsi sebagai *transmitter*. *Transmitter* secara simultan dan bersamaan mengirim paket informasi dalam bentuk cahaya berdasarkan *degree distribution* yang telah ditentukan. Sedangkan pada sisi *receiver* terdapat *degree distribution* dan *SIC decoding*. *Degree distribution* dari paket yang dikirim memilih secara acak *timeslot* 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.

3.2 Blok Diagram Sistem

Pada Tugas Akhir ini dibuat model serta perancangan yang telah dibuat untuk meneliti nilai *Throughput* dan *Packet Loss Ratio* pada *Offered Traffic (G)* melaluikan *Line Of Sight (LOS)* dengan metode CRDSA.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Pada Gambar 3.2 terdapat tiga bagian pada sistem VLC yaitu *transmitter*, kanal VLC *indoor*, dan *receiver*. Dalam *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. Pada sistem ini menggunakan *Channel Indoor VLC* dengan kondisi LOS yaitu jalur komunikasi antara *transmitter* ke *receiver* tidak terdapat *obstacle*. Paket yang dikirimkan lalu diterima oleh *receiver*, selanjutnya digunakan metode CRDSA untuk mengurangi tabrakan paket (*collision*). Paket yang mencapai nilai *threshold* selanjutnya akan di-decode sesuai model *degree distribution* dengan proses SIC secara iteratif. Apabila paket tidak mencapai nilai *threshold* dari sensitivitas *photodetector*- 30 dBm maka paket akan di-drop.

3.2.1 Blok Transmitter

Pada blok transmitter dari sistem VLC berfungsi sebagai sumber pengiriman sinyal informasi pada kanal transmisi LOS. User pada penelitian ini dapat berupa perangkat atau *device* seperti gawai, laptop, komputer, ataupun mesin dan sensor sebagaimana pada skema IoT.

1. Pada Tugas Akhir ini terdapat beberapa *Slot Node* yang digunakan yaitu 25, 50, dan 100.
2. Sumber cahaya yang digunakan dalam perancangan Tugas Akhir ini terletak di bagian tengah atas ruangan dan berasal dari LED tipe *Surface Mount Diode (SMD) 5630* memiliki daya sebesar 7 Watt dengan *Field Of View (FOV)* sebesar 70°.
3. Tiap *user* memiliki probabilitas pengiriman paket masing-masing dengan jumlah replika paket yang berbeda yang direpresentasikan dengan nilai *degree distribution*.

3.2.2 Channel

Pada Tugas Akhir ini, model kanal propagasi yang digunakan adalah *Line Of Sight (LOS)* yang kemudian sinyal akan ditransmisikan dan diterima di sisi *receiver* yaitu *photodetector*. Pada kanal LOS dapat dirumuskan oleh :

$$H = \frac{(m+1) \cdot A_{det} \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (3.1)$$

dengan A_{det} merupakan area *photodetector* pada sisi penerima (*receiver*), d merupakan jarak *receiver* terhadap *transmitter*, dan Φ adalah sudut propagasi dari *transmitter* dengan *receiver*[6].

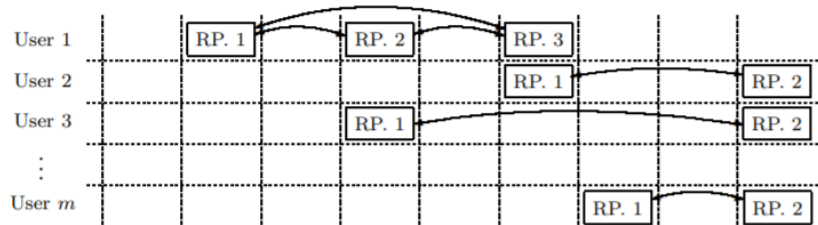
3.2.3 Blok Receiver

Blok *receiver* yang menyusun NOMA-VLC untuk menerima sinyal cahaya yang datang sehingga user dapat menerima sinyal informasi. Terdiri atas PIN *Photodiode G906* berbahan dasar InGaAs, metode CRDSA, dan SIC *iterative decoding*.

3.2.3.1 Photodetector

Pada bagian blok receiver terdapat photodetector untuk menerima cahaya dengan menggunakan PIN Photodiode G906 berbahan dasar InGaAs. Photodetector berfungsi untuk mendeteksi cahaya yang masuk berdasarkan batas threshold minimum yaitu sensitivitas sebesar -30 dBm. Sehingga apabila kurang dari -30 dBm maka paket tidak dapat dideteksi.

3.2.3.2 Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA (CRDSA)



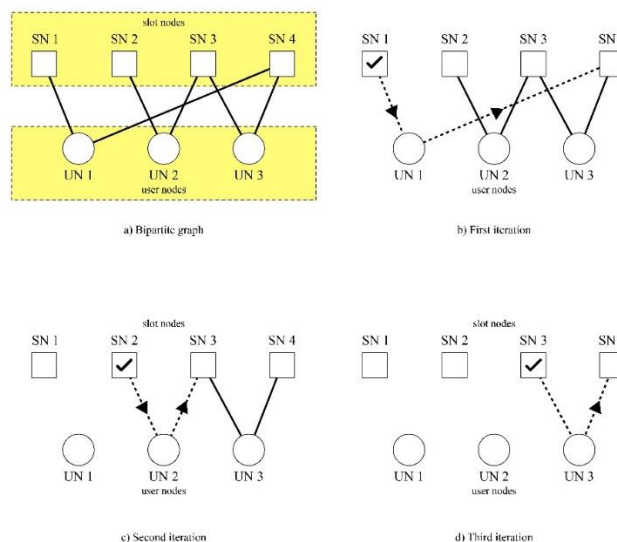
Gambar 3. 1 Metode CRDSA pada frame MAC

Pada CRDSA, setiap pengguna mengirimkan dua replika paket yang sama pada slot acak dalam frame. Setiap replika berisi informasi sinyal yang digunakan untuk melokalisasi salinannya. Jika semua pengguna telah mengirimkan paket dengan data yang sama, hanya replika bebas tabrakan yang dapat berhasil didecode di penerima. Setelah didecode, kedua replika tersebut dilokalisasi dan dihapus dari frame[19]. Dengan demikian, penerima dapat memulihkan lainnya paket yang telah bertabrakan. Paket yang mengakses slot bisa berupa paket bersih atau paket bertabrakan. Paket yang bersih digunakan untuk mencari nomor slot replikanya sendiri. Jika tabrakan terjadi di slot, replika dibatalkan (dihapus) dengan menggunakan paket bersih. Proses ini berulang iteratif setiap kali replika berhasil didecode atau dengan kata lain menggunakan SIC untuk menyelesaikan tabrakan paket (collision)[20]. Diketahui bahwa Probabilitas untuk jumlah active user paket bertabrakan (collision) dalam Slot Node dapat menggunakan distribusi binomial[26]:

$$P_{int}((i|G) = \binom{IM}{i} \cdot \left(\frac{2}{N}\right)^i \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right)^{IM-i} \tag{3.2}$$

dengan $IM = (G \cdot N - 1)$ adalah jumlah maksimum interferensi paket yang bertabrakan dalam Slot, N merupakan jumlah Slot Node serta i merupakan jumlah paket yang bertabrakan (collision).

3.2.3.3 Successive Interference Cancellation (SIC)

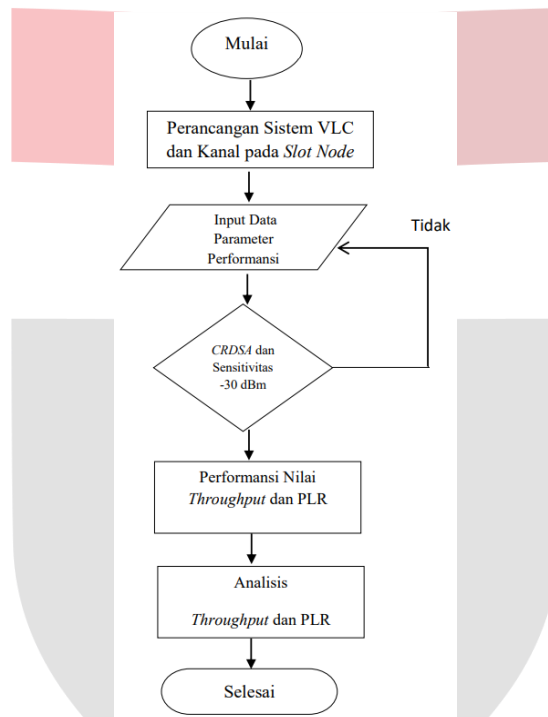


Gambar 3. 2 Grafik Bipartite dari Proses Iterasi

Berdasarkan **Gambar 3.6** mengilustrasikan CRDSA pada MAC Layer dengan 3 user dan 4 Slot Node dengan *degree distribution* pada sisi User Node yaitu $\lambda(x) = 0,33x$ dimana 0.33 merupakan jumlah satu pertiga dari total keseluruhan user yaitu 1 dari 3 user yang mengirim paket dengan *degree distribution* $\lambda(x) = x^2$ yaitu 2 replika paket. Proses SIC dilakukan dengan mencari slot yang hanya berisi satu paket. Slot yang hanya berisi satu paket dapat di-decode langsung sementara paket replika yang dikirimkan oleh user yang sama dihapus. Selanjutnya proses berulang ke pencarian slot yang hanya berisi satu paket dan proses berulang terus - menerus hingga semua paket dapat diselesaikan. Pada penelitian ini, proses iterasi berlangsung satu-persatu, setiap iterasi menghilangkan satu paket replika hingga semua paket dapat diselesaikan.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Tugas Akhir ini mengusulkan skenario pengujian untuk memperoleh analisis nilai G tertinggi untuk kinerja throughput dan Packet Loss Ratio (PLR).



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan **Gambar 3.7** menunjukkan diagram alir dari penelitian Tugas Akhir dapat dijelaskan mulai dari melakukan perancangan sistem VLC beserta kanal sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Dari perancangan sistem VLC dengan 3 buah Slot Node yaitu 25,50, dan 100 memiliki nilai sensitivitas -30 dBm. Selanjutnya memasukkan nilai *degree distribution* yang menentukan pengiriman paket tiap user terhadap alokasi *timeslot* yang tersedia. Setelah itu, proses *random access* terjadi. *Random Access* memungkinkan adanya dua atau lebih paket mengakses *timeslot* yang sama sehingga terjadi *collision*. Langkah terakhir yaitu menghitung rata-rata paket yang sukses dan gagal dan mencari nilai *throughput* serta *packet loss rate* dari nilai *Offered Load* (G) yang diperoleh.

3.4 Parameter Input

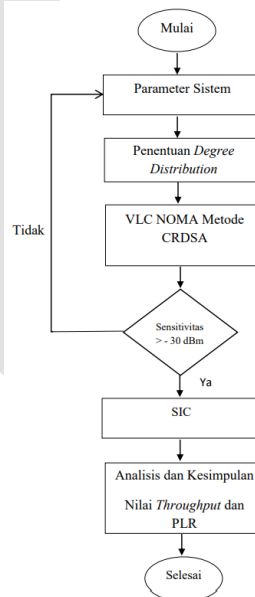
Berikut parameter input pada simulasi seperti yang di paparkan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Parameter Sistem

Parameter		Nilai
Ruangan	Ukuran	5 x 5 x 3 m
Source	Jenis	LED SMD 5630
	Jumlah	1 LED
	FOV	70°
	Daya	7 Watt
	Sudut Pancar LED	60°
Receiver	Jenis	PIN Photodiode G906
	Jumlah	1
	Sensitivitas	-30 dBm

3.5 Skenario Simulasi

Tugas Akhir ini memiliki beberapa skenario yang bertujuan untuk mencari nilai *throughput* dan PLR tertinggi dengan melakukan variasi *degree distribution* pada skema CRDSA.



Gambar 3. 4 Flowchart Simulasi

Pada **Gambar 3.8**. di mana skenario Tugas Akhir menggunakan kanal VLC dengan metode CRDSA. Langkah awal adalah memasukkan spesifikasi sistem yang telah di tentukan seperti Tabel 3.1 selanjutnya yaitu proses penentuan nilai *degree distribution*. Kemudian melakukan perhitungan kanal *indoor* VLC dan masuk ke metode CRDSA untuk melihat apakah nilai sensitivitasnya dibawah -30 dBm atau diatas -30 dBm. Jika nilai sensitivitas pada **Gambar 3.8**. melebihi -30dBm maka dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu proses SIC sampai semua sinyal yang di kirim ke *Timeslot* dihapus atau tidak ada slot tunggal yang dapat dideteksi. Kemudian menghitung jumlah pengiriman paket sukses dan paket gagal. Dan melakukan analisis nilai *throughput* dan PLR.

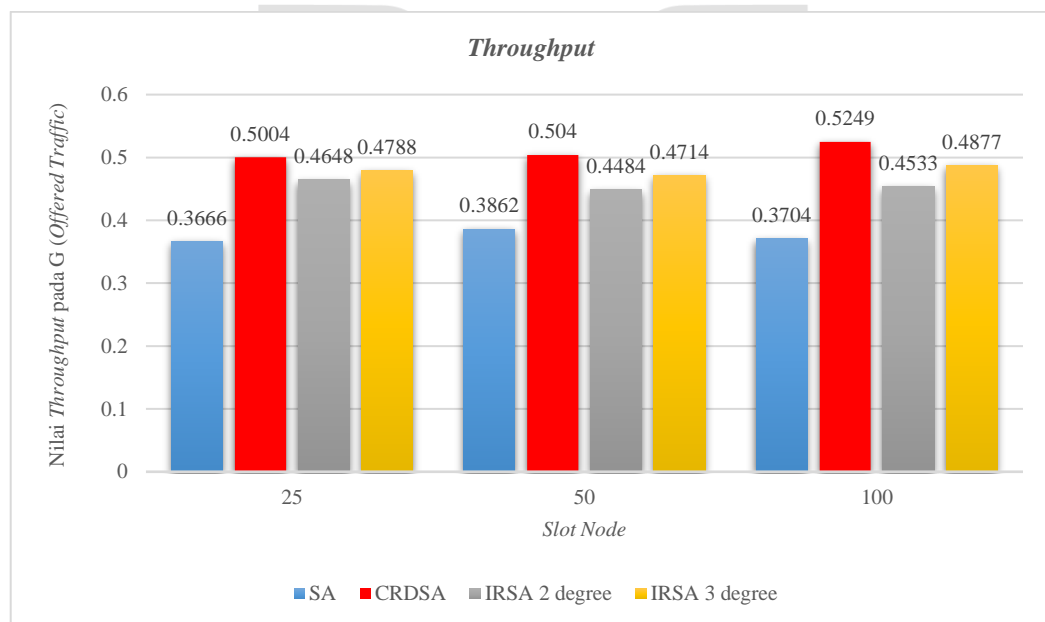
Pada **Tabel 3.2** ini, menyajikan beberapa percobaan *degree distributions* untuk menginterpretasikan hasil analisis nilai G bersama dengan simulasi skema CRDSA. Dalam perancangan Tugas Akhir ini tingkat pengulangan maksimum atau iterasi dibatasi hingga 100. Pada simulasi dari *user* menggunakan tiga macam *Slot Node*, yaitu 25, 50, dan 100.

Tabel 3.2 *Degree Distribution* menggunakan 4 Metode

SN	Metode	<i>Degree Distribution, λ(x)</i>
25	SA	x
	CRDSA	x^2
	IRSA 2 degree	$0.5x^1 + 0.5x^2$
	IRSA 3 degree	$0.5x^1 + 0.4x^2 + 0.1x^3$
50	SA	x
	CRDSA	x^2
	IRSA 2 degree	$0.5x^1 + 0.5x^2$
	IRSA 3 degree	$0.5x^1 + 0.4x^2 + 0.1x^3$
100	SA	x
	CRDSA	x^2
	IRSA 2 degree	$0.5x^1 + 0.5x^2$
	IRSA 3 degree	$0.5x^1 + 0.4x^2 + 0.1x^3$

4. Hasil Simulasi dan Analisis

4.1. Analisis Nilai G Pada Throughput



Gambar 4.1 Perbandingan *Throughput* pada nilai G

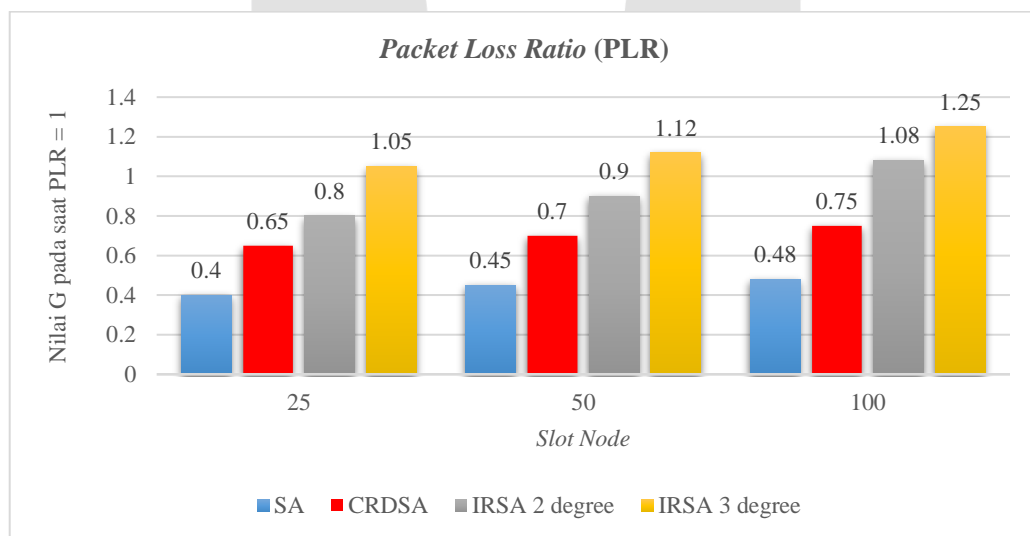
Pada **Gambar 4.7** menjelaskan mengenai pengaruh jumlah *Degree distributions* terhadap *Throughput* yang dicapai pada nilai G dengan membandingkan kondisi pada masing-masing *Slot Node*. Nilai G menunjukkan berapa *user* yang dapat diakomodasi oleh *receiver* secara simultan dan terus menerus. Pada simulasi yang telah dilakukan dengan penggunaan metode *Slotted ALOHA* mencapai throughput tertinggi pada nilai G = 0.74 dengan nilai *throughput* sebesar 0.3862 pada penggunaan 50 *Slot Node* sedangkan pada jumlah 100 *Slot Node* mengalami penurunan throughput sebesar 1.58% dikarenakan pada metode *Slotted ALOHA*, *user* hanya memilih satu slot secara acak untuk transmisi paket. Jika dua paket ditransmisikan di slot yang sama, pada sisi *receiver* paket yang bertabrakan dianggap hilang[17]. Dan setiap *user* diberi kemungkinan mentransmisikan paket hanya sekali per *frame*, yang secara signifikan membatasi efisiensi sistem VLC dan kehilangan paket yang lebih tinggi sehingga semakin tinggi juga kemungkinan tabrakan (*collision*)[18]. *Throughput*

puncak untuk SA dicapai pada $G = 1$, dimana $S = \frac{1}{e} \approx 0.37$ packet/slot[7]. Dapat disimpulkan bahwa Slotted ALOHA kurang efisien untuk digunakan pada *traffic load* yang tinggi.

Pada IRSA pengiriman paket *replica* dapat berbeda untuk pengguna yang berbeda sesuai dengan *degree distribution* yang diberikan[11]. Dari nilai *throughput* IRSA 2 degree mengalami peningkatan rata-rata *throughput* sebesar 2.38%. Hasil yang diperoleh pada IRSA 3 degree menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan *degree distribution* maka nilai *throughput* pada G juga akan meningkat. *User* menentukan banyak replika paket berdasarkan optimasi fungsi *degree distribution* yang ditentukan[18]. Sehingga pengiriman paket pada *user* tidak bergantung pada urutan waktu dalam antrian slot.

Hasil simulasi yang telah dilakukan, kinerja nilai *throughput* pada metode CRDSA dengan menggunakan 2 jumlah replika akan mempercepat konvergensi proses SIC karena meningkatkan jumlah paket interferensi yang dihapus pada setiap iterasi [19] dan juga dengan melakukan penambahan jumlah *slot per frame* mengalami peningkatan kinerja *throughput* sebesar 27% pada penggunaan 25 *Slot Node*, 28% dengan 50 *Slot Node* dan 29% pada penggunaan 100 *Slot Node* dari metode SA dan IRSA 2 degree maupun IRSA 3 degree. Dengan menggunakan CRDSA, perolehan hasil nilai *throughput* maksimum sekitar 0,52 paket/slot[20]. Seiring bertambahnya *timeslot* pada CRDSA akan menurunkan probabilitas *collision* yang terjadi sehingga nilai paket yang dapat sukses di-decode akan bertambah. Nilai *throughput* yang didapatkan bervariasi karena paket yang dikirimkan bersifat *random access* sehingga *timeslot* yang dipilih juga tidak tentu atau acak. *Throughput* sebesar 0.5249 paket/slot menunjukkan bahwa rata-rata sebuah paket dapat diselesaikan dengan kepadatan *user* 52% dari total keseluruhan *user* yaitu 100 *user*.

4.2 Analisis Perbandingan Nilai PLR



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai PLR pada G

Pada Gambar 4.8 menjelaskan mengenai pengaruh jumlah *Degree distributions* terhadap PLR yang dicapai pada nilai G dengan membandingkan kondisi pada masing-masing *Slot Node*. Pada hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan metode SA didapatkan variasi nilai *Packet Loss Ratio* dengan kenaikan yang kurang signifikan dengan rentang nilai 0.3 hingga 0.5 saat batas *decoding threshold*. Sehingga mendapatkan nilai G pada saat $PLR = 1$ yang paling rendah dengan rata-rata penurunan nilai PLR sebesar 14% dengan peluang rata-rata terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) sebesar 25,47%.

Pada metode IRSA 2 degree menghasilkan nilai G pada saat $PLR = 1$ dengan rata-rata penurunan nilai PLR sebesar 26% dengan peluang rata-rata terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) sebesar 26,23%. Sedangkan dengan melakukan penambahan *degree* nilai G pada saat $PLR = 1$ mengalami peningkatan sebesar 36% pada IRSA 3 degree didapatkan variasi nilai *Packet Loss Ratio* dengan kenaikan yang signifikan dengan rentang nilai 0.2 hingga 0.12 saat batas

decoding threshold. Sehingga peluang rata-rata terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) sebesar 26,49%. Dengan nilai PLR yang semakin besar jumlah paket yang akan diisi pada *timeslot* juga akan semakin berkurang. Pada CRDSA didapatkan variasi nilai *Packet Loss Ratio* dengan penaikan yang signifikan dengan rentang nilai 0.5 hingga 0.10 saat batas *decoding threshold*. Dengan metode CRDSA menghasilkan nilai G pada saat PLR = 1 dengan rata-rata penurunan nilai PLR sebesar 27% dengan peluang rata-rata terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) sebesar 26,19% dengan jumlah *user* sebanyak 100. Jika nilai peluang rata-rata terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) semakin besar, maka kemungkinan *error* pada saat mengirimkan paket juga akan semakin tinggi hal tersebut tidak dapat disimpulkan dari awal dikarenakan pada metode CRDSA *user* memilih secara acak *timeslot* yang akan diisi. Penambahan jumlah *timeslot* dengan metode CRDSA memungkinkan untuk menurunkan jumlah *collision* yang terjadi antar paket pada *timeslot* yang sama sehingga PLR pada CRDSA dengan *timeslot* yang lebih banyak akan menghasilkan PLR yang lebih rendah.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi menggunakan skema CRDSA pada sistem VLC dengan variasi *degree distributions* serta skenario jumlah *Slot Node* yang telah ditetapkan pada Tugas Akhir ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada skenario 25 *Slot Node* dengan *degree distribution* $\lambda(x) = x^2$ menghasilkan *throughput* tertinggi sebesar 0.5004 paket/slot saat *Offered Load* (G) pada 0.74. Sedangkan nilai PLR terendah pada saat G=1 sebesar 0.80.
2. Dalam simulasi VLC pada ruangan tertutup dengan jumlah *Slot Node* yang telah ditetapkan yaitu 50 *Slot Node* dengan *degree distribution* $\lambda(x) = x^2$ menghasilkan *throughput* tertinggi sebesar 0.5040 paket/slot saat *Offered Load* (G) pada 0.74. Sedangkan nilai PLR terendah pada saat G=1 sebesar 0.82.
3. *Throughput* maksimal yang dihasilkan pada saat menggunakan 100 *Slot Node* dengan *degree distribution* $\lambda(x) = x^2$ sebesar 0.5249 paket/slot saat *Offered Load* (G) pada 0.74. Sedangkan nilai PLR terendah pada saat G=1 sebesar 0.86.
4. Metode CRDSA dapat meningkatkan kinerja nilai *throughput* sebesar 27% pada penggunaan 25 *Slot Node*, 28% dengan 50 *Slot Node* dan 29% pada penggunaan 100 *Slot Node* dari metode SA dan IRSA 2 *degree* maupun IRSA 3 *degree*.
5. Dengan melakukan penambahan *Slot Node* pada CRDSA akan menurunkan probabilitas tabrakan antar paket (*collision*) dengan peluang terjadinya tabrakan antar paket (*collision*) sebesar 26,19%.

Referensi :

- [1] A. R. DARLIS, L. LIDYAWATI, and D. NATALIANA, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 1, no. 1, p. 13, 2017, doi: 10.26760/elkomika.v1i1.13.
- [2] H. V. Poor, Z. Ding, Y. Liu, J. Choi, Q. Sun, and M. ElKashlan, "Application of Non-orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks Application of Non-orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks," *IEEE Commun. Mag.*, no. February 2017, pp. 185–191, 2017.
- [3] Y. Yapici and I. Guvenc, "NOMA for VLC Downlink Transmission With Random Receiver Orientation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, no. 8, pp. 5558–5573, 2019, doi: 10.1109/tcomm.2019.2914195.
- [4] D. Vukobratovic and F. J. Escibano, "Adaptive multi-receiver coded slotted ALOHA for indoor optical wireless communications," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 24, no. 6, pp. 1308–1312, 2020, doi: 10.1109/LCOMM.2020.2981070.
- [5] H. J. Noh, J. K. Lee, and J. S. Lim, "Performance evaluation of access control for CRDSA and R-CRDSA under high traffic load," *Proc. - IEEE Mil. Commun. Conf. MILCOM*, pp. 1365–1370, 2013, doi: 10.1109/MILCOM.2013.232.
- [6] F. T. Elektro and U. Telkom, "Perancangan Dan Implementasi Vlc Untuk Pengiriman Video

Di Gedung Learning Center Telkom University Design and Implementation of Vlc for Video Transmitting,” vol. 5, no. 3, pp. 5285–5293, 2018.

- [7] A. Raza, *Modelling . the . Wireless . Propagation . Chan.* 2008.
- [8] B. S. PRATAMA, N. M. ADRIANSYAH, and B. PAMUKTI, “Analisis Performansi Multi User Detection pada Kanal NLOS untuk Sistem NOMA-VLC,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 482, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.482.
- [9] E. Casini, R. De Gaudenzi, and O. Del Rio Herrero, “Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA): An enhanced random access scheme for satellite access packet networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 1408–1419, 2007, doi: 10.1109/TWC.2007.348337.
- [10] G. Cocco, N. Alagha, C. Ibars, and S. Cioni, “Network-coded diversity protocol for collision recovery in slotted ALOHA networks,” *Int. J. Satell. Commun. Netw.*, vol. 32, no. 3, pp. 225–241, 2014, doi: 10.1002/sat.1056.
- [11] I. Hmedoush, C. Adjih, P. Muhlethaler, and V. Kumar, “On the Performance of Irregular Repetition Slotted Aloha with Multiple Packet Reception,” *2020 Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. IWCMC 2020*, pp. 557–564, 2020, doi: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148173.
- [12] J. Dai, K. Niu, and J. Lin, “Code-Domain Non-Orthogonal Multiple Access for Visible Light Communications,” *2018 IEEE Globecom Work. GC Wkshps 2018 - Proc.*, vol. 28, no. 1, pp. 51–54, 2019, doi: 10.1109/GLOCOMW.2018.8644271.
- [13] 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 Trans. Wirel. Commun.*, vol. 15, no. 11, pp. 7872–7884, 2016, doi: 10.1109/TWC.2016.2608956.
- [14] S. Ogata, “Graph-based Random Access Protocols for Massive Multiple Access Networks,” no. March, 2019.
- [15] T. Haryanti and K. Anwar, “Frequency Domain-Extended Coded Random Access Scheme for Spectrum Sharing between 5G and Fixed Satellite Services,” *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2019*, pp. 143–149, 2019, doi: 10.1109/ICSIGSYS.2019.8811015.
- [16] M. Oinaga, S. Ogata, and K. Ishibashi, “Design of Coded ALOHA with ZigZag Decoder,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 168527–168535, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2954163.
- [17] X. Shao, Z. Sun, M. Yang, S. Gu, and Q. Guo, “NOMA-Based Irregular Repetition Slotted ALOHA for Satellite Networks,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 23, no. 4, pp. 624–627, 2019, doi: 10.1109/LCOMM.2019.2900319.
- [18] I. Hmedoush, C. Adjih, P. Mühlethaler, and L. Salaün, “Multi-power irregular repetition slotted ALOHA in heterogeneous IoT networks,” *2020 9th IFIP Int. Conf. Perform. Eval. Model. Wirel. Networks, PEMWN 2020*, 2020, doi: 10.23919/PEMWN50727.2020.9293078.
- [19] C. Resolution, D. Slotted, A. Protocol, M. Applications, and S. Networks, “Alberto Mengali.”
- [20] C. Fei, B. Jiang, K. Xu, L. Wang, and B. Zhao, “An intelligent load control-based random access scheme for space-based internet of things,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1–27, 2021, doi: 10.3390/s21041040.