

Evaluasi *Coded Random Access* untuk *Visible Light Communication* pada Model Kanal *Non-Line Of Sight*

BRIAN PAMUKTI, NACHWAN MUFTI ADRIANSYAH, DAN REYVALDO FAHREZY NILADBRATA

Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom, Indonesia
Email: brianpam@telkomuniversity.ac.id

Received 6 November 2021 | *Revised* 17 Desember 2021 | *Accepted* 25 Januari 2022

ABSTRAK

Penggunaan Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) pada sistem komunikasi dapat memberi kebebasan bagi user untuk mengirimkan informasi secara bersamaan tanpa harus memperebutkan timeslot ataupun frekuensi. Coded Random Access (CRA) adalah salah satu bagian dari Coded Comain-NOMA (CD-NOMA) yang menggunakan kode tanpa ortogonal untuk komunikasi uplink. Terinspirasi dari Additive Links On Line Hawaii Area (ALOHA), kami menggunakan metode Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA) dengan tiga jumlah slot node dan sembilan degree distribution pada model kanal Line Of Sight (LOS) dan Non-LOS (NLOS). Kami menggunakan metrik pengukuran berupa throughput dan Packet Loss Ratio (PLR) untuk memperoleh hasil simulasi. Dari simulasi yang ekstensif, kami membuktikan bahwa IRSA stabil pada jumlah slot node yaitu 75, 150 dan 300 yang memperoleh throughput di sekitar 0.75 paket/slot.

Kata kunci: *Coded Random Access, Non-Orthogonal Multiple Access, Slotted ALOHA, Successive Interference Cancellation*

ABSTRACT

The use of Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in communication systems can provide users the freedom to transmit information simultaneously without having to fight over timeslots or frequencies. Coded Random Access (CRA) is a part of Coded Domain-NOMA (CD-NOMA) that uses orthogonal code for uplink communication. Inspired by the Additive Links On Line Hawaii Area (ALOHA), we use the Irregular Repetition Slotted ALOHA (IRSA) method with three number of node slots and nine degree distributions on the Line Of Sight (LOS) and Non-LOS (NLOS) channel models. We use measurements in the form of throughput and Packet Loss Ratio (PLR) to obtain simulation results. From extensive simulations, we prove that IRSA is stable on a wide number of node slots of 75, 150 and 300 that acquire throughput in about 0.75 packets/slot.

Keywords: *Coded Random Access, Non-Orthogonal Multiple Access, Slotted ALOHA, Successive Interference Cancellation*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan teknologi nirkabel di Indonesia semakin berkembang. Hal ini didukung oleh penggunaan teknologi nirkabel yang telah ada, penggunaan gelombang radio menjadi pilihan utama dalam membawa sinyal informasi **(Wijanto, 2017)**. Tetapi teknologi nirkabel menggunakan gelombang radio memiliki beberapa keterbatasan. Keterbatasan tersebut di antaranya adalah keamanan, kebutuhan masyarakat akan pengiriman informasi dengan kecepatan tinggi, dan keterbatasan frekuensi sebagai sumber utama. Maka dari itu dibutuhkannya alternatif sebagai penggunaan nirkabel berbasis gelombang radio yaitu komunikasi nirkabel berbasis gelombang cahaya **(Wijanto, 2017) (Putra & Subhan, 2011)**. Solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan menggunakan teknologi *Optical Wireless Communication* (OWC) **(Ghassemlooy, dkk, 2019)**.

Penelitian **(Kowshik, dkk, 2020)** merancang arsitektur *channel access* untuk meningkatkan performansi *uplink* yang memiliki karakter cepat, latensi rendah, dan tidak terkoordinasi untuk *node* nirkabel yang padat. Secara khusus, penelitian tersebut mempelajari metode *random-access codes*, yang sebelumnya diperkenalkan untuk *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) pada *Medium Access Control* (MAC). Peneliti menggunakan model *rayleigh fading* yang lebih mendekati praktis dibandingkan AWGN dengan mengusulkan metode *random coding*. Dari metode yang diusulkan, performansi menjadi lebih tinggi dengan tambahan skema iteratif dan metode ini menjadi salah satu usulan *Code Random Access* (CRA) untuk *5th Generation* (5G) atau *6th Generation* (6G). Usulan metode CRA dengan *Spatially-Coupled Low Density Parity Check* (SC-LDPC) telah diteliti oleh **(Zhang, dkk 2014)**. Penelitian tersebut menggunakan *Multiuser Detection* (MUD) agar bisa meningkatkan performansi pada masif *user*. Peneliti juga menggunakan *Multiple Packet Reception* (MPR) yang ditambahkan pada simulasi penelitian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan terjadi pada *throughput* di kasus *fading channels*.

Visible Light Communication (VLC) memanfaatkan dua fungsi pada pemancar optik *Light Emitting Diode* (LED) yaitu, sebagai penerangan dan sebagai media komunikasi. LED merupakan sebuah perangkat elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor dan mampu memancarkan cahaya monokromatik ketika dialiri tegangan maju atau *forward bias* dan mempunyai *diode* di dalamnya **(Drost & Sadler, 2014)**. Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, bahan yang digunakan pada LED adalah *gallium*, *arsenic* dan *phosporus*. Dengan perbedaan bahan penyusun yang telah disebutkan akan menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula **(Darlis, dkk, 2013)**. Teknologi ini sesuai untuk pengimplementasian di dalam ruangan dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media pentransmisiannya. VLC memiliki panjang gelombang dengan rentang 380 – 750 nm maka dari itu VLC menjadi teknologi yang memumpuni dalam pengiriman sinyal informasi berkecepatan tinggi hingga 10 Gbps **(Karthika & Balakrishnan, 2015)**. Penggunaan LED karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan *Radio Frequency* (RF) di antaranya adalah konsumsi daya yang rendah, keandalan, dan umur yang panjang.

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) adalah sebuah teknik *multiple access* yang mampu melayani banyak *user* secara *non-orthogonal*, artinya dapat melayani *user* dalam waktu dan frekuensi yang sama **(Mitra, dkk, 2019)**. NOMA merupakan sebuah teknologi yang mendorong perkembangan 5G dengan mengizinkan banyak pengguna untuk berbagi waktu dan frekuensi yang sama, dan juga dapat meningkatkan jumlah pengguna yang dilayani, meningkatkan efisiensi spektral, dan meningkatkan keadilan pengguna dibandingkan dengan teknologi *Orthogonal Multiple Access* (OMA) **(Shin, dkk, 2017)**. Pada penelitian **(Kizilirmak,**

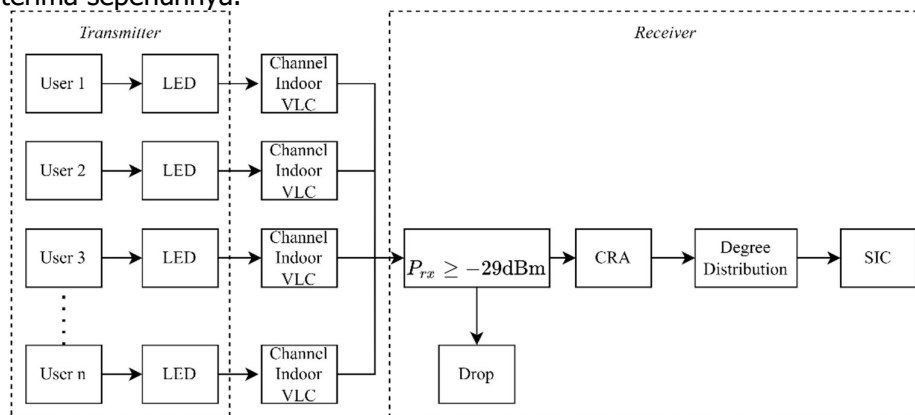
dkk, 2015) menggunakan *superposition coding* pada pemancar sehingga *Successive Interference Cancellation* (SIC) penerima dapat memisahkan pengguna di saluran *uplink dan downlink*. NOMA pada dasarnya memiliki tujuan sebagai kandidat teknologi akses radio pada 5G sistem seluler. Meskipun pengimplementasian pada jaringan seluler 5G masih dalam pembahasan, namun sudah siap digunakan oleh sistem VLC.

Pada sistem komunikasi nirkabel dengan jumlah *user* yang banyak, diperlukan metode agar semua *user* bisa terakomodasi. Berbagai penelitian terkait dengan *Slotted ALOHA* (SA) dan *Random Access* (RA) sudah pernah dilakukan. Di antaranya pada penelitian (**Jian, dkk, 2016**) menjelaskan tentang pengaplikasian *multichannel slotted ALOHA* dengan menggunakan RA untuk mengurangi *delay* paket. Pengaplikasian RA juga ditunjukkan pada penelitian (**Liva, 2010**) dengan menggunakan *irregular repetition slotted ALOHA* (IRSA) di mana merupakan hasil generalisasi dari *Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA* (CRDSA). Sebelumnya CRDSA melakukan pengujian dengan tiap pengguna dengan mengirimkan ulang paket dalam jumlah tertentu berdasarkan banyaknya *frame* waktu dan *timeslot*. Pada IRSA, pengguna menentukan masing-masing kecepatan transfer paket berdasarkan optimasi fungsi distribusi (*degree distribution*). Hasil yang didapatkan mampu meningkatkan nilai *throughput* sistem karena sifat *irregular* yang tidak diatur sejak awal. Selain itu, kami menggunakan pengukuran *throughput* yang berguna untuk mengukur efisiensi protokol. *Throughput* juga didefinisikan sebagai fraksi *user* yang diambil dan jumlah slot waktu yang telah berlalu, sehingga *throughput* adalah fungsi dari slot waktu (**Haryanti & Anwar, 2019**).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain Sistem

Desain model sistem komunikasi diilustrasikan pada Gambar 1, di mana terdapat lampu LED yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *photodetector Positive Intrinsic Negative* (PIN) sebagai *receiver*. Model kanal yang akan digunakan terdapat dua yaitu kanal *Line Of Sight* (LOS) dan *Non-Line Of Sight* (NLOS), di mana pada kanal LOS cahaya yang diterima oleh *receiver* tidak terdapat interferensi dengan cahaya lain atau hambatan yang menghalangi. Sedangkan pada kanal NLOS cahaya yang diterima oleh *receiver* terdapat interferensi dengan cahaya lain atau terdapat hambatan yang menghalangi pada arah *receiver* sehingga cahaya dari LED tidak dapat diterima sepenuhnya.



Gambar 1. Blok Diagram CRA pada *Visible Light Communication*

Sistem VLC ini menggunakan skema CRA yang memungkinkan *user* dengan jumlah maksimum dapat mengirimkan secara bersama diblok tanpa menimbulkan kesalahan (Liva, 2010). Pada sistem ini sensitivitas pada *receiver* sebesar >-29 dBm, jika kurang dari -29 dBm maka paket akan di-*drop*. Kemudian menggunakan CRA untuk mengirimkan paket secara acak, lalu diteruskan pada blok variasi *degree distributions* yang telah ditentukan, selanjutnya ke SIC. *Degree distribution* mengilustrasikan sebaran *user* dengan jumlah repetisi paket. Pada penelitian ini, kami menggunakan metode pengujian beberapa jenis *degree distribution* yang telah ditetapkan. Untuk memperoleh *degree distribution* tertinggi pada performansi, kami melakukan investigasi pada semua *degree distribution*. Proses SIC yaitu melakukan seleksi sinyal yang terkuat lebih dahulu, lalu sinyal tersebut dibatalkan untuk diteruskan pada proses *decoding* sinyal. Parameter yang akan dianalisis pada sistem VLC ini adalah nilai *throughput* pada G (*Offered Traffic*) dan nilai PLR pada G.

2.2 Blok Diagram Sistem

Gambar 2 menunjukkan blok diagram dasar sistem transmisi VLC, pada sisi pengirim terdapat tiga bagian dalam menyusun sistem VLC yaitu *transmitter*, kanal, dan *receiver*. Dalam *transmitter* terdapat *user* dan LED. Kanal atau media transmisi yang menjadi penghubung antara *transmitter* dan *receiver* hal ini digunakan dalam mentransmisikan sinyal.

2.2.1 Blok Transmitter

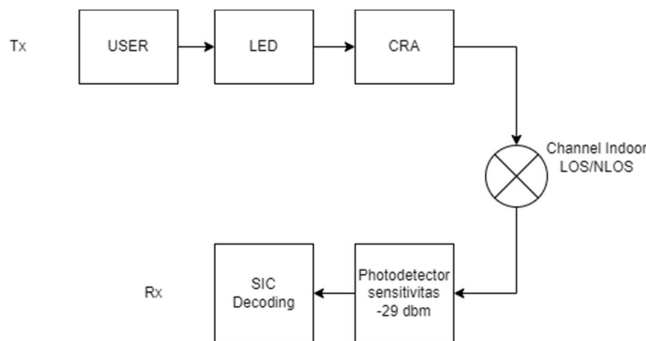
Pada blok *transmitter* dari sistem VLC berfungsi sebagai pengiriman sinyal informasi pada kanal transmisi. Pada penelitian ini terdapat beberapa *slot node* yang akan digunakan yaitu 75, 150, dan 300. Menggunakan satu buah lampu LED yang memiliki daya sebesar 6 watt sebagai sumber cahaya yang ditempatkan ditengah ruangan. LED yang digunakan memiliki *Field Of View* (FOV) sebesar 70° .

2.2.2 Blok Diagram Sistem

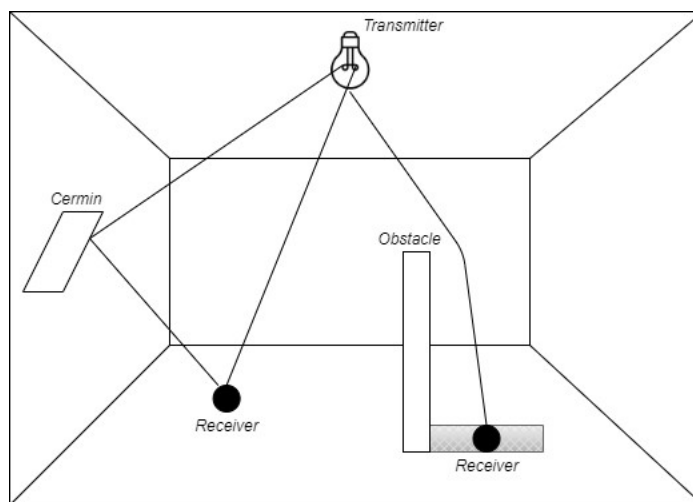
Pada penelitian ini, model kanal propagasi yang digunakan ada dua jenis yaitu kanal LOS dan NLOS yang kemudian sinyal akan ditransmisikan dan diterima di sisi *receiver* yaitu *photodetector*. Penggunaan kanal LOS dan NLOS pada simulasi ini untuk membandingkan pengiriman paket menggunakan CRA dengan melihat pada parameter *throughput* terhadap G (*Offered Traffic*) dan nilai PLR terhadap G, perbandingan ini dilakukan karena pada LOS tidak terdapat interferensi ataupun *obstacle* sehingga propagasi cahaya merambat secara *direct*. Sedangkan pada NLOS terdapat interferensi dan *obstacle* sehingga propagasi cahaya merambat tidak secara langsung seperti Gambar 3. Pada kanal LOS dapat dirumuskan dengan Persamaan (1).

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

Dengan A_{det} yaitu area *photodetector* pada penerima, d merupakan jarak antara penerima dengan bagian pengirim, dan Φ adalah sudut perpindahan terhadap *transmitter*.



Gambar 2. Model Komunikasi *Visible Light Communication*.



Gambar 3. Ilustrasi Model Kanal N-LOS.

Pada kanal N-LOS dapat dirumuskan dengan Persamaan (2) (Pratama, dkk, 2021).

$$H_{Shd} = \frac{(m + 1) \cdot A_{\epsilon} \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \times P, \quad (2)$$

Dengan P merupakan probabilitas *blocking*, dari asumsi pengurangan daya mengikuti distribusi binomial di mana daya yang telah dikirimkan setelah mengenai *blockage*, daya diteruskan ke *shadowing* area, lalu kemudian ke *photodetector*. Untuk kanal *reflector* dinyatakan dengan Persamaan (3).

$$H_{ref} = \frac{(m + 1) \cdot A_{\epsilon} \cdot \rho \cdot A \cdot \cos^{m+1}(\Phi) \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{2 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot d_2^2}, \quad (3)$$

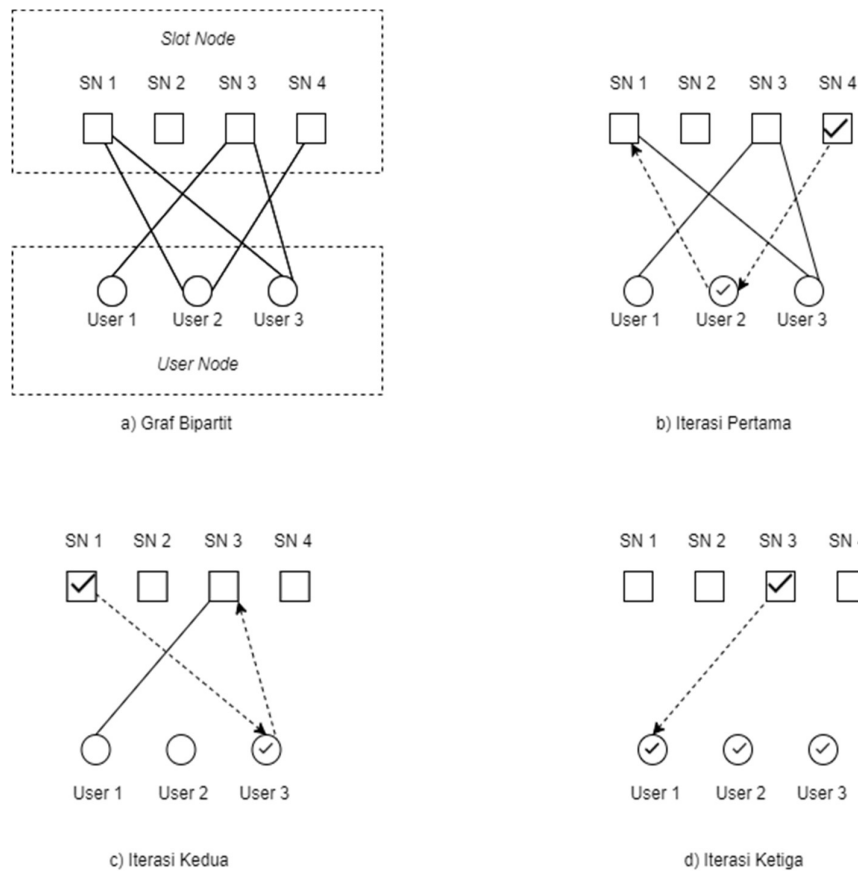
Dengan A_{ϵ} sebagai area *photodetector* dan d_1 merupakan jarak *transmitter* ke *reflector*, d_2 merupakan jarak dari *reflector* ke *receiver*, ρ adalah koefisien refleksi dan d_A merupakan luas per *cell*. Nilai sudut yang dihasilkan oleh α terbentuk dari jarak antara lampu LED dengan dinding cermin, sementara sudut β terbentuk dari jarak antara dinding cermin dengan *user*. Sehingga *channel gain* total yang diperoleh dinyatakan dengan Persamaan (4).

$$H = H_{LOS} + H_{ref} + H_{shd} \tag{4}$$

2.2.3 Blok Receiver

Paket yang telah melalui kanal LOS dan NLOS akan diterima di *receiver block*. Pada *receiver block* terdapat perangkat berupa PIN *photodiode* dengan bahan penyusun *silicon*, metode CRA, dan proses SIC *iterative decoding*. Pada penelitian ini *photodetector* memiliki sensitivitas -29 dBm. Pada bagian *receiver*, terdapat algoritma CRA untuk memudahkan *user* mengirimkan paket dengan jumlah banyak diasumsikan sebagai *M* mentransmisikan paket dengan memilih *N slot node* yang sama. Pengguna yang pakatnya bertabrakan harus diinformasikan oleh *feedback channel* dan ditransmisikan ulang pada *frame* berikutnya. Probabilitas transmisi sukses di satu slot dirumuskan dengan Persamaan (5).

$$G = \frac{M}{N} \tag{5}$$



Gambar 4. Ilustrasi Proses Iterasi pada Grafik Bipartit.

Gambar 4 menunjukkan proses SIC pada ALOHA di mana paket *user 1* dipulihkan kembali pada slot 2, memungkinkan pemulihan paket pengguna 3 di slot 4, hal ini dilakukan dengan mengurangi replika paket *user 2* di slot 4. Dengan cara yang sama pemulihan paket *user 3* memungkinkan penghapusan replikanya pada slot 4, sehingga memulihkan paket *user 1*. Iterasi ini dilakukan hingga semua *degree* dihapus atau tidak ada slot tunggal yang terdeteksi (Paolini, dkk, 2015).

Pada *receiver* memiliki sensitivitas -29 dBm memiliki peran sebagai ambang batas, jika suatu sinyal kurang dari -29 dBm maka paket tidak dapat dikirim. Selain itu, terdapat *Multi-User Detection* (MUD) berupa SIC. SIC adalah algoritma yang mampu menerima dua atau lebih sinyal terima yang telah dikonversi oleh *photodetector* secara bersamaan tanpa terjadinya tabrakan antar sinyal sebelum dilakukannya proses *decoding*. Cara kerja pada SIC yaitu memilih sinyal yang paling kuat terlebih dahulu, lalu sinyal tersebut dibatalkan untuk nantinya diteruskan pada proses *decoding* sinyal (**Pratama, dkk, 2021**). Persamaan (6)-(9) diperoleh untuk cara kerja SIC mendapatkan sinyal *user*.

$$Y_1 = y_1 - \sqrt{a_1 \cdot h_1}, \quad (6)$$

$$Y_2 = y_2 - \sqrt{a_1 \cdot a_2}, \quad (7)$$

$$Y_3 = y_3 - \sqrt{(a_1 + a_2) \cdot h_3}, \quad (8)$$

$$Y_n = y_n - \sqrt{(a_1 + a_2 + \dots a_n) \cdot h_n}. \quad (9)$$

2.3 Parameter Input

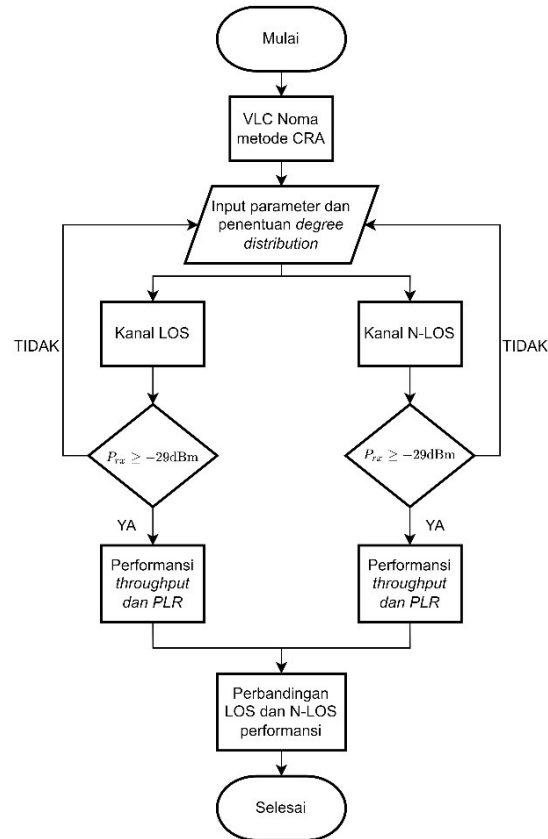
Dalam simulasi ini, ada beberapa parameter yang dibuat secara konstan. Ini membuat variabel yang nantinya akan diuji lebih terlihat jelas perbedaannya. Berikut parameter input pada simulasi seperti yang dipaparkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sistem

	Parameter	Nilai
Ruangan	Ukuran	5 m x 5 m x 3 m
Source	Jenis	LED SMD 5730
	Jumlah	1
	Daya	6 watt
	Kanal	LOS & N-LOS
	FOV	70°
Receiver	<i>Sensitivitas</i>	≥ -29 dBm
	Jenis	<i>Positive Intrinsic Negative</i> (PIN)
	Jumlah	1

2.4 Simulasi

Terdapat beberapa scenario yang bertujuan untuk mencari nilai *throughput* dan PLR tertinggi dengan melakukan variasi *degree distribution* pada skema CRA, dan juga membandingkan masing-masing hasil pada kanal yang berbeda. Gambar 5 membahas tentang simulasi yang menggunakan sistem VLC pada kanal LOS dan NLOS dengan metode CRA. Langkah awal adalah memasukan spesifikasi sistem yang telah ditentukan seperti Tabel 1 serta menggunakan 75, 150, dan 300 buah *user* yang telah ditetapkan posisinya. Selanjutnya yaitu proses penentuan variasi nilai *degree distribution*. Kemudian melakukan perhitungan kanal *indoor* VLC dan masuk ke metode CRA untuk melihat apakah nilai sensitivitasnya dibawah -29 dBm atau diatas -29 dBm. Jika nilai sensitivitas pada Gambar 5 melebihi -29 dBm maka akan dilanjutkan kepada proses SIC sampai semua sinyal yang dikirim ke *timeslot* dihapus atau tidak ada slot tunggal yang terdeteksi. Kemudian menghitung jumlah pengiriman paket sukses dan paket gagal. Lalu, melakukan analisis nilai *throughput* dan PLR.



Gambar 5. Flowchart Simulasi.

Pada Tabel 2 ini, menjelaskan beberapa percobaan *degree distributions* untuk menginterpretasikan hasil analisis nilai G (batas maksimum *receiver* dapat mendekoding paket) tertinggi untuk kinerja *throughput* dan PLR bersama dengan simulasi skema CRA. Dalam perancangan simulasi ini tingkat pengulangan maksimum iterasi dibatasi pada 100. Pada simulasi dari *user* menggunakan tiga macam *slot node*, yaitu 75, 150, dan 300.

Tabel 2. Degree Distribution menggunakan CRA

	<i>Degree Distribution, $\lambda(x)$</i>
75	$0,3x + 0,3x^2 + 0,1x^3 + 0,3x^4$
	$0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5$
	$0,1x + 0,1x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5 + 0,2x^6$
150	$0,3x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4$
	$0,2x + 0,2x^2 + 0,2x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$
	$0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$
300	$0,25x + 0,25x^2 + 0,25x^3 + 0,25x^4$
	$0,3x + 0,2x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$
	$0,2x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$

Pada IRSA, setiap *user* memiliki kemungkinan pengiriman jumlah paket yang selalu berbeda. Secara sederhana *degree distribution* pada SA adalah x^2 , di mana semua *user* mengirimkan duplikasi dua paket kepada *slot node*. Sebagai salah satu contoh, IRSRA menggunakan *degree distribution* $0.8x+0.2x^2$, artinya 80% dari total *user* mengirimkan paket 1, dan 20% dari total *user* mengirimkan dua paket. Setiap *slot node* hanya bisa menerima satu paket dari *user node*.

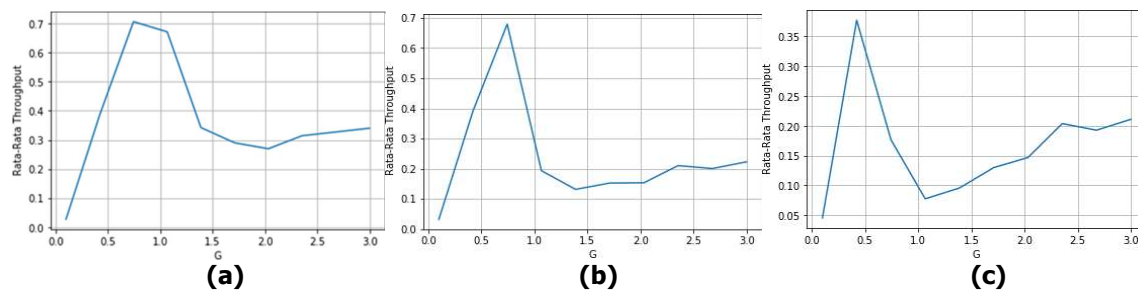
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang telah dilakukan menggunakan simulasi dan parameter yang telah ditentukan. Pengujian ini menggunakan metode CRA untuk menguji dan membandingkan nilai asimtotik G (batas maksimum *receiver* dapat mendekoding paket) tertinggi untuk kinerja *throughput* dan *Packet Loss Ratio* (PLR). Fenomena ketika G mencapai nilai maksimal adalah kondisi asimtotik, di mana nilai *throughput* setelah titik G asimtotik, tidak lagi diperhitungkan karena sudah terjadi *error floor*. Hal tersebut terjadi karena semua paket tidak berhasil didekoding, adapun kurva yang turun setelah asimtotik menjelaskan paket dipaksa didekoding untuk menyelesaikan proses simulasi.

3.1 Analisis Nilai G pada *Throughput* Kanal NLOS

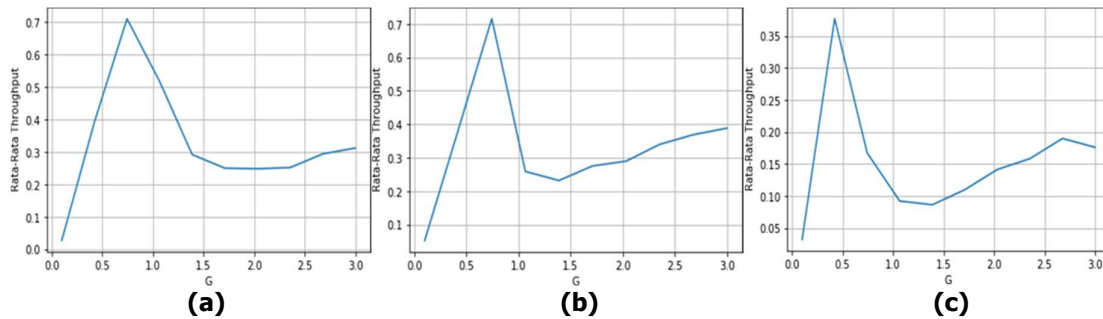
Gambar 6 menggunakan 75 *slot node* model *degree distribution* $\lambda(x) = 0,3x + 0,3x^2 + 0,1x^3 + 0,3x^4$. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *throughput* pada G sebesar 0,7177 paket/slot. Maka jumlah maksimal slot yang dapat diisi tidak lebih dari 53 paket/slot. Kurva asimtotik terjadi ketika jumlah paket dari *user* terlalu banyak dan tidak mendapatkan *slot node*, setelah titik puncak asimtotik, performansi sudah tidak sesuai, sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik puncak dari asimtotik.

Gambar 7 dimana terdapat 150 *slot node*, pada model *degree distribution* $\lambda(x) = 0,3x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4$ membuktikan nilai *throughput* pada G sebesar 0,7119 paket/slot dengan jumlah maksimal *slot node* yang dapat diisi tidak lebih dari 106 paket/slot. Sedangkan pada $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$ memiliki nilai *throughput* pada G sebesar 0.3948 paket/slot dengan jumlah maksimal *slot node* yang dapat diisi tidak lebih dari 59 paket/slot. Kurva asimtotik terjadi ketika jumlah paket dari *user* terlalu banyak dan tidak mendapatkan *slot node*, setelah titik puncak asimtotik, performansi sudah tidak sesuai, sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik puncak dari asimtotik.



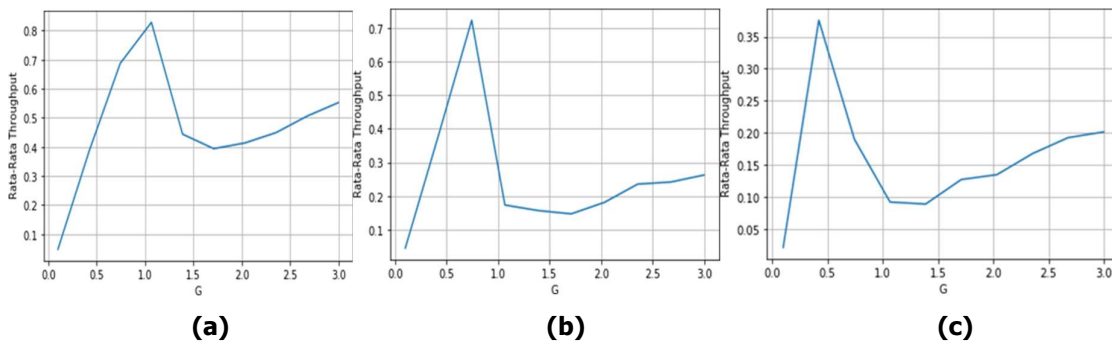
Gambar 6. Throughput pada Degree Distribution

(a) $\lambda(x) = 0,3x + 0,3x^2 + 0,1x^3 + 0,3x^4$; (b) $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5$; (c) $\lambda(x) = 0,1x + 0,1x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5 + 0,2x^6$.



Gambar 7. Throughput pada Degree Distribution

(a) $\lambda(x) = 0,3x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4$; (b) $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,2x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$; (c) $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$.

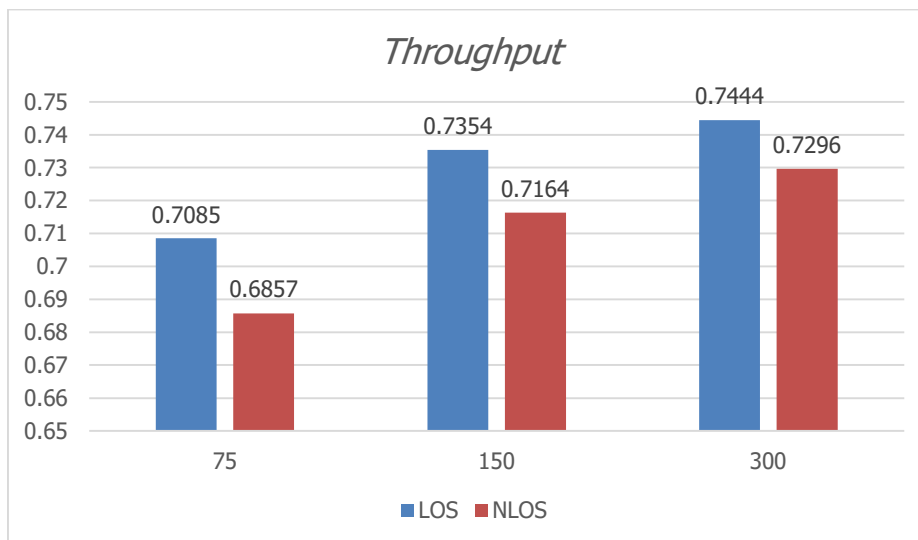


Gambar 8. Throughput pada Degree Distribution

(a) $\lambda(x) = 0,25x + 0,25x^2 + 0,25x^3 + 0,25x^4$; (b) $\lambda(x) = 0,3x + 0,2x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$; (c) $\lambda(x) = 0,2x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$.

Dengan penggunaan 300 slot node pada Gambar 8 model *degree distribution* $\lambda(x) = 0,25x + 0,25x^2 + 0,25x^3 + 0,25x^4$ memiliki nilai *throughput* tertinggi jika dibandingkan dengan *degree* lain pada pengaplikasian 300 slot node dengan maksimum G sebesar 0.9239 paket/slot. Sehingga jumlah maksimal slot yang dapat diisi tidak lebih dari 277 paket/slot.

Gambar 9 menjelaskan mengenai pengaruh jumlah *degree distribution* terhadap *throughput* yang dicapai pada nilai G dengan membandingkan kondisi kanal pada masing-masing user. G didefinisikan sebagai jumlah rata-rata normalisasi transmisi paket per slot. Pada penelitian terhadap SA menyatakan bahwa *throughput* puncak dicapai pada $G = 1$, dimana $S = \frac{1}{e} \cong 0.37$ (Paolini, dkk, 2011). Pada penelitian ini, memiliki acuan terhadap *throughput* SA dengan mengimplementasikannya terhadap metode CRA, sebelumnya *throughput* maksimum pada SA memiliki nilai 0,37 paket/slot, namun dalam penelitian terhadap CRA nilai maksimum *throughput* dapat melebihi SA dengan menggunakan kanal yang berbeda. Pada penggunaan kanal LOS dan NLOS dibagi menjadi beberapa variasi *degree distribution* dan slot node berbeda. Untuk slot node yang diujikan adalah 75, 150, dan 300. Hasil *throughput* tertinggi yang dicapai pada kanal LOS dengan *degree* $\lambda(x) = 0,3x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4$ sebesar 0.7444 paket/slot. Pada slot node 150 yang artinya dalam pentransmisiannya jumlah maksimal slot yang dapat diisi tidak lebih dari 111 paket/slot. Pada kanal NLOS hasil *throughput* tertinggi yang dicapai sebesar 0.8979 paket/slot, dengan *degree* $\lambda(x) = 0,25x + 0,25x^2 + 0,25x^3 + 0,25x^4$.



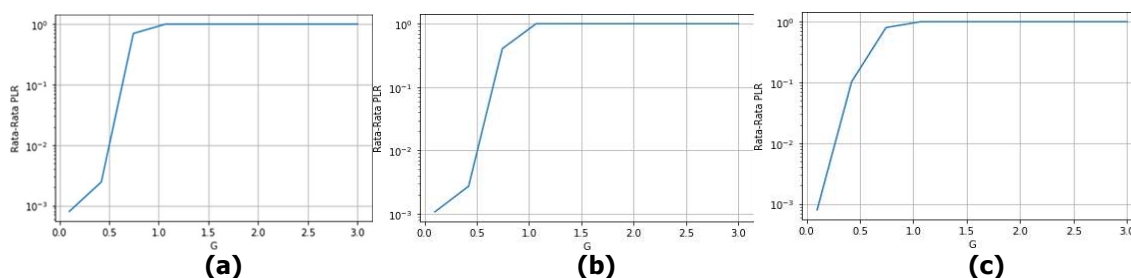
Gambar 9. Perbandingan *Throughput* pada Nilai *G*.

3.2 Analisis Nilai *G* terhadap PLR Kanal NLOS

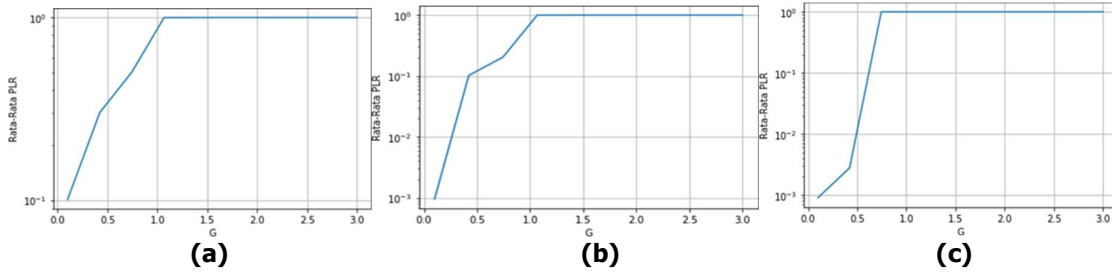
Gambar 10 menjelaskan tentang nilai asimtotik *G* pada rata-rata PLR di kanal NLOS dengan penggunaan 75 *slot node*. Dengan model *degree* $\lambda(x) = 0,1x + 0,1x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5 + 0,2x^6$. Pada sumbu Y terdapat PLR saat *G* di titik 0.7930 tidak mengalami *error*. Sehingga jumlah maksimal *user* yang dapat diisi tidak lebih dari 59 *user* dari total 75 *user*.

Dalam Gambar 11 menggunakan 150 *slot node* dengan model *degree* $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,2x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$. Menjelaskan maksimal asimtotik pada *G* terhadap PLR. Hasilnya *G* pada titik 0.9992 tidak terjadi *error*. Nilai PLR pada *G* sebesar 0.9855, sehingga jumlah maksimal *user* yang dapat diisi tidak lebih dari 147 *user* dari 150 *user*.

Gambar 12 menggunakan 300 *slot node* menjelaskan bahwa nilai asimtotik *G* pada titik 0.9992 dengan *degree* $\lambda(x) = 0,2x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$ memperoleh hasil jumlah maksimal *user* yang dapat diisi tidak lebih dari 299 *user* dari 300 *user*.

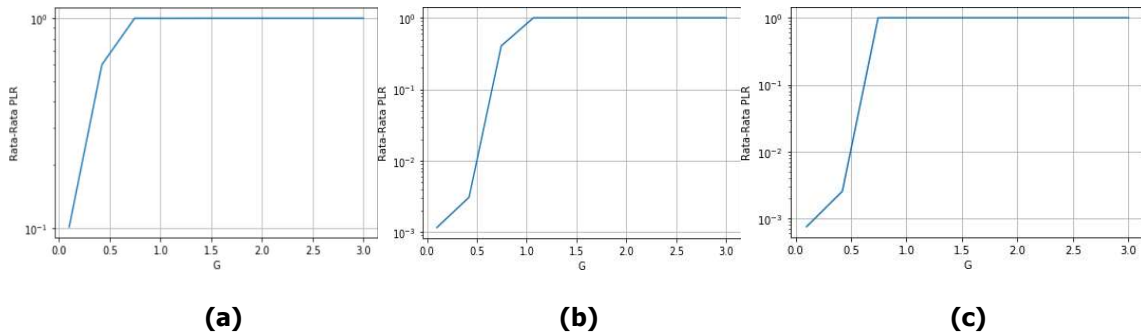


Gambar 10. Rata-rata PLR pada *Degree Distribution*
 (a) $\lambda(x) = 0,3x + 0,3x^2 + 0,1x^3 + 0,3x^4$; (b) $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5$; (c) $\lambda(x) = 0,1x + 0,1x^2 + 0,3x^3 + 0,2x^4 + 0,1x^5 + 0,2x^6$.



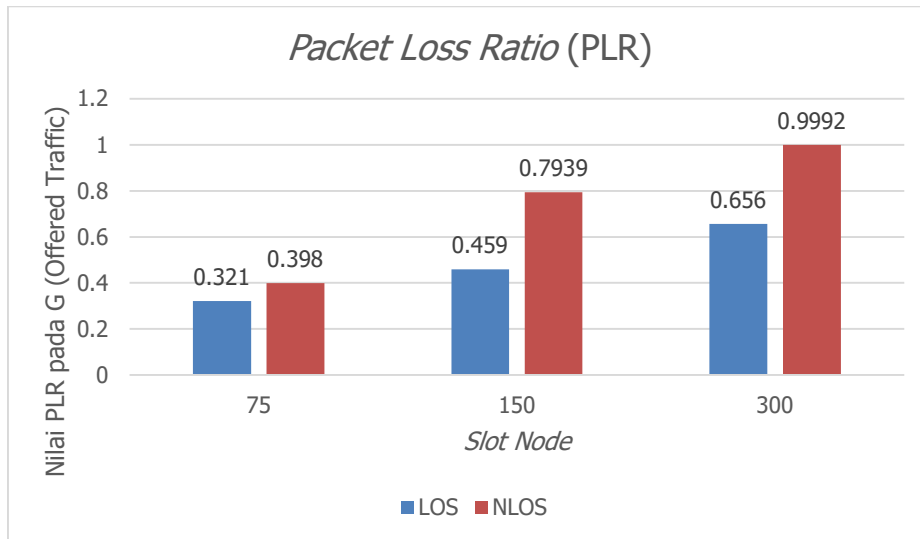
Gambar 11. Rata-rata PLR pada Degree Distribution

(a) $\lambda(x) = 0,3x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4$; (b) $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,2x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$; (c) $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,3x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$.



Gambar 12. Rata-rata PLR pada Degree Distribution

(a) $\lambda(x) = 0,25x + 0,25x^2 + 0,25x^3 + 0,25x^4$; (b) $\lambda(x) = 0,3x + 0,2x^2 + 0,1x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$; (c) $\lambda(x) = 0,2x + 0,4x^2 + 0,1x^3 + 0,1x^4 + 0,1x^5 + 0,1x^6$.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai G pada PLR.

Gambar 13 menunjukkan pengaruh jumlah *degree distribution* dan kanal terhadap *packet loss ratio* (PLR) dengan membandingkan kondisi masing-masing *slot node*. Jika nilai $PLR = 1$, ini menandakan bahwa tidak ada paket yang diterima karena seluruh paket dianggap gugur. Pada grafik dapat dilihat bahwa pengaruh dari kanal sangat berdampak pada pengiriman, di mana kanal LOS memiliki nilai G tertinggi di 0.6 dan kanal NLOS pada 0.9. Semakin besar nilai G,

semakin sama perbandingan antara jumlah *slot node* dan *user node*. Kemungkinan semakin banyaknya *slot node*, tidak menjamin PLR akan turun. Model kanal NLOS membuktikan bahwa penurunan pada PLR di *slot node* 300 sebesar 34%.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi dengan berbagai variasi *degree distribution*, kami menyimpulkan bahwa model kanal LOS memiliki kestabilan pada hasil *throughput*. Pada model kanal NLOS, perubahan jumlah *slot node* mempengaruhi nilai *throughput*. Kami juga mendapatkan hasil bahwa model kanal NLOS membutuhkan jumlah *slot node* yang lebih banyak jika dibandingkan model kanal LOS. Sehingga, sistem yang dibuat lebih kompleks dengan jumlah *slot node* yang dibutuhkan. Dari hasil percobaan banyak variasi *degree distribution*, kami menemukan bahwa *degree distribution* paling optimal adalah $\lambda(x) = 0,2x + 0,2x^2 + 0,2x^3 + 0,2x^4 + 0,2x^5$. Penelitian ini memiliki peluang untuk dikembangkan dengan menambahkan metode IRSA dengan model *degree distribution* lain. Selain itu, dengan menambahkan beberapa jumlah lampu pada sistem, memungkinkan untuk satu *slot node* bisa mengirimkan lebih dari satu paket.

DAFTAR RUJUKAN

- Darlis, A. R., Lidyawati, L., & Nataliana, D. (2013). Implementasi visible light communication (VLC) pada sistem komunikasi. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 1(1), 13.
- Drost, R. J., & Sadler, B. M. (2014). Constellation design for channel precompensation in multi-wavelength visible light communications. *IEEE Transactions on Communications*, 62(6), 1995–2005.
- Ghassemlooy, Z., Popoola, W., & Rajbhandari, S. (2019). *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press.
- Haryanti, T., & Anwar, K. (2019). 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)*, (pp. 143–149).
- Jian, X., Liu, Y., Wei, Y., Zeng, X., & Tan, X. (2016). Random access delay distribution of multichannel slotted ALOHA with its applications for machine type communications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 21–28.
- Karthika, R., & Balakrishnan, S. (2015). Wireless communication using Li-Fi technology. *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE)*, 2(3), 32–40.

- Kizilirmak, R. C., Rowell, C. R., & Uysal, M. (2015). Non-orthogonal multiple access (NOMA) for indoor visible light communications. *2015 4th International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW)*, 98–101.
- Kowshik, S. S., Andreev, K., Frolov, A., & Polyanskiy, Y. (2020). Energy efficient coded random access for the wireless *uplink*. *IEEE Transactions on Communications*, *68*(8), 4694–4708.
- Liva, G. (2010). Graph-based analysis and optimization of contention resolution diversity slotted ALOHA. *IEEE Transactions on Communications*, *59*(2), 477–487.
- Mitra, R., Sofotasios, P., Bhatia, V., & Muhaidat, S. (2019). Non-orthogonal multiple access for visible light communications with ambient light and user mobility. *ArXiv Preprint ArXiv:1911.06765*.
- Paolini, E., Liva, G., & Chiani, M. (2015). Coded slotted ALOHA: A graph-based method for uncoordinated multiple access. *IEEE Transactions on Information Theory*, *61*(12), 6815–6832.
- Paolini, E., Liva, G., & Chiani, M. (2011). High throughput random access via codes on graphs: Coded slotted ALOHA. *2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, (pp. 1–6).
- Pratama, B. S., Adriansyah, N. M., & Pamukti, B. (2021). Analisis Performansi Multi User Detection pada Kanal NLOS untuk Sistem NOMA-VLC. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *9*(2), 482.
- Putra, D. L. A., & Subhan, A. (2011). Analisa Kinerja Implementasi Wireless Distribution System Pada Perangkat Access Point 802.11 G Menggunakan OpenWRT. *EEPIS Final Project*.
- Shin, W., Vaezi, M., Lee, B., Love, D. J., Lee, J., & Poor, H. V. (2017). Non-orthogonal multiple access in multi-cell networks: Theory, performance, and practical challenges. *IEEE Communications Magazine*, *55*(10), 176–183.
- Wijanto, E. (2017). Analisis kesiapan teknologi dalam penerapan teknologi telekomunikasi generasi kelima (5g). *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*.
- Zhang, Z., Xu, C., & Ping, L. (2014). Coded random access with distributed power control and multiple-packet reception. *IEEE Wireless Communications Letters*, *4*(2), 117–120.