

Analisis Performansi Free Sic Pada Noma Vlc Menggunakan Pulse Modulation

Analysis Of Free Sic Performance on Noma Vlc Using Pulse Modulation

1st Giyan Sukma Pratama
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

giyansukma@student.telkomuniversity
.ac.id

2nd Akhmad Hambali
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd Brian Pamukti
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Visible Light Communication (VLC) merupakan komunikasi jaringan nirkabel yang informasinya dikirimkan menggunakan media cahaya berupa *Light Emitting Diode* (LED) melalui gelombang tampak. VLC memiliki keterbatasan berupa *bandwidth* yang sempit. *Non – Orthogonal Multiple Access* (NOMA) salah satu *multiple access* yang efektif menghemat *bandwidth*. Namun, *Multi User Detection* (MUD) jenis *Successive Interference Cancellation* (SIC) pada sisi penerima di NOMA konvensional menyebabkan *Error Detection* (ED). Pada Tugas Akhir ini menganalisis performansi MUD jenis FREE SIC pada NOMA VLC dalam ruangan berukuran 5 x 5 x 5 m³. MUD ini menggunakan dua modulasi berbeda untuk setiap kondisi kualitas kanal, yaitu kualitas kanal yang buruk menggunakan modulasi OOK dan untuk kualitas kanal yang baik menggunakan modulasi MPPM. Didapatkan bahwa penggunaan modulasi ini mampu memperbaiki BER yang ada, dimana BER saat menggunakan FREE SIC lebih baik dibandingkan dengan SIC. Hal ini menunjukkan penggunaan FREE SIC lebih baik dari pada penggunaan SIC.

Kata Kunci : *VLC, NOMA, ED, MPPM, OOK, FREE SIC*

Abstract

Visible Light Communication (VLC) is a wireless network that informants are transmitted using light media *Light Emitting Diode* (LED) through visible waves. VLC has limited *bandwidth*. *Non – Orthogonal Multiple*

Access (NOMA) is one of the most effective multiple access saving bandwidth. However, *Multi-User Detection* (MUD) type successive interference cancellation (SIC) on the receiving side in conventional NOMA causes error detection (ED). This research analyzes the performance of MUD free SIC type on NOMA VLC in an indoor measuring 5 x 5 x 5 m³. This MUD uses two different modulations for each channel quality condition, namely poor channel quality using OOK modulation and for good channel quality using MPPM modulation. It is found that the use of this modulation can improve existing BER, where BER when using FREE SIC is better than SIC. This shows that the use of FREE SIC is better than the use of SIC.

Keywords: *VLC, NOMA, ED, MPPM, OOK, FREE SIC*

I. PENDAHULUAN

Visible Light Communication (VLC) merupakan komunikasi jaringan nirkabel yang dikirimkan melalui gelombang tampak dari sumber berupa *Light Emitting Diode* (LED) [1]. Cahaya tampak yang digunakan memiliki panjang gelombang 380 – 750 nm. Kecepatan dan kapasitas dari VLC ini lebih baik daripada *Radio Frequency* (RF) namun dengan *bandwidth* yang terbatas, selain itu dari sisi keamanan dan kesehatan VLC ini lebih baik dari pada RF karena VLC tidak dapat menembus dinding serta VLC tidak memberikan efek radiasi. Hadirnya *Non – Orthogonal Multiple Access* (NOMA) pada perkembangan teknologi 5G juga mampu memberikan dampak pada teknologi VLC[2]. Penggunaan (NOMA) pada sistem VLC

ini mampu menghemat *bandwidth* yang terbatas [3]. NOMA konvensional menggunakan *Superposition Code* (SC) pada sisi pengirim dan *Multi User Detection* (MUD) jenis *Succesive Interference Cancelation* (SIC) pada sisi penerima [4]. SIC memiliki kompleksitas yang tinggi hingga dapat menyebabkan *Error Detection* (ED) yang berakibat turunnya kinerja BER [5]. Kinerja BER yang turun menandakan bahwa informasi yang diterima banyak terjadi *error* [6].

Pada saat ini penggunaan VLC termasuk NOMA VLC masih dikembangkan pada kondisi didalam ruangan. Karena, cahaya mudah berinterferensi dengan cahaya lainnya[7]. Kemudian, MUD FREE SIC mulai diteliti untuk



mengatasi *error detection* [8]. Penggunaan FREE SIC ini juga digunakan untuk MIMO pada VLC [9]. Kemudian dikembangkan lagi menggunakan modulasi yang berbeda tergantung pada kondisi kanalnya [10]. Dalam hal ini menggunakan dua modulasi berbeda setiap kondisi kanalnya. modulasi OOK dan PPM sering digunakan untuk sistem VLC karena kesederhanaan dari kedua modulasi tersebut [11]. Pada sistem FREE SIC ini menggunakan *Maximum Likelihood Detection* (MLD) pada OOK untuk mendekodekan sinyal dari kualitas kanal yang buruk dan *Soft Decision Decoding* (SDD) pada MPPM untuk mendekodekan sinyal dari kualitas kanal yang baik.

Pada Tugas Akhir ini diterapkan sistem FREE SIC untuk mengatasi *error detection* yang diakibatkan oleh SIC menggunakan dua modulasi yang berbeda untuk setiap kondisi kanalnya. Kondisi kanal yang buruk menggunakan modulasi OOK dan untuk kondisi kanal yang baik menggunakan modulasi MPPM. Kemudian membandingkan kinerja BER pada kedua MUD tersebut untuk didapatkan mana yang lebih baik.

II. KAJIAN TEORI

A. Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi dimana lampu LED berperan sebagai sumber cahaya dan terdapat *photodetector* berperan sebagai penerima sinyal informasi. Pada umumnya, VLC menggunakan cahaya yang dapat terlihat oleh mata manusia. Rentang spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat oleh manusia yaitu antara 400 Thz - 700 Thz dan memiliki panjang gelombang antara 380 nm - 750 nm. Teknologi VLC ini dilatarbelakangi oleh penggunaan lampu LED sebagai penerangan terus meningkat serta penggunaan radio frekuensi dimana spektrum frekuensinya terbatas. LED juga memiliki masa pakai lebih lama daripada jenis lampu lain seperti lampu pijar dan lampu neon. Selain itu, LED memiliki keunggulan seperti konsumsi daya yang rendah dan tidak ada bahaya disisi kesehatan. Pengembangan dan penerapan VLC pada saat ini lebih berfokus pada kondisi di dalam ruangan. Karena teknologi VLC ini rentan terhadap interferensi cahaya lain. Namun, teknologi ini lebih unggul dibandingkan dengan teknologi radio frekuensi yang pada saat ini

masih digunakan yaitu mengenai sistem keamanan data serta kecepatan tinggi yang ditawarkan. VLC ini lebih sulit untuk disadap karena media rambat cahaya tidak dapat menembus dinding.

a. Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode (LED) merupakan salah satu perangkat elektronika terbuat dari bahan material semikonduktor diode p-n *junction* yang akan memancarkan cahaya. Bahan yang sering dipakai dalam pembuatan LED seperti *gallium*, *arsenic* dan *phosphorium*. Ketika terjadinya penambahan energi elektronik, p-n *junction* akan memancarkan radiasi optik yang menyebabkan elektron tidak stabil. Pada keadaan stabil, elektron berenergi akan melepaskan energi dalam bentuk foton yang diradiasikan berada pada bagian spektrum cahaya tampak. Panas yang dihasilkan pada LED lebih sedikit dibandingkan dengan lampu pijar karena proses perubahan energi ini terjadi secara efisien.

B. Photodetector

Photodetector merupakan perangkat opto elektronika disisi penerima dan berfungsi untuk mendeteksi sinyal informasi berupa cahaya. *Photodetector* akan memiliki nilai resistansi berubah - ubah akibat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima. *Photodetector* ini juga harus memiliki persyaratan kinerja dengan sensitifitas yang tinggi karena pada umumnya sinyal akan menjadi lemah saat proses penransmisian. Tingkat *noise* yang rendah dan *bandwidth* yang memadai juga menjadi persyaratan kinerja dalam *photodetector*. Pada umumnya, *photodetector* terdapat dua jenis yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) *photodetector* dan *Avalanche Photodetector* (APD). *Photodetector* jenis PIN terbuat dari bahan semikonduktor p-n *junction* yang dipisahkan oleh daerah intrinsik. Arus mundur dengan energi foton lebih besar daripada energi band gap yang dihasilkan oleh material semikonduktor harus mengalir *photodetector* ini agar dapat mengubah foton menjadi energi listrik. Pada daerah intrinsik, seiring dengan tegangannya naik foton yang masuk dalam n *doped* akan bertabrakan menyebabkan terbaginya foton menjadi elektron dan hole. Hole akan menuju semikonduktor tipe p kemudian elektron menuju bagian semi konduktor tipe n yang mengakibatkan munculnya arus listrik.

C. *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA)

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) merupakan salah satu teknik *multiple access* yang saat ini masih dikembangkan. Pada teknik ini banyak pengguna dapat berbagi sumber daya frekuensi dan alokasi waktu yang sama melalui *multiplexing domain code* atau domain daya. Pada NOMA, sinyal dari beberapa pengguna ditumpangkan pada domain daya yang berbeda berdasarkan kondisi kanal dari tiap pengguna. NOMA mengalokasikan daya yang tinggi difokuskan untuk pengguna dengan kondisi saluran yang lebih buruk, sedangkan kondisi kanal yang baik akan mendapatkan alokasi daya yang kecil. Sinyal yang dikirimkan awalnya disuperposisikan untuk menyatukan antara sinyal yang akan dikirimkan kemudian di alokasikan dayanya sesuai dengan kondisi saluran pada tiap pengguna. Disisi penerima terdapat SIC sebagai *multi user detection*. SIC bekerja dengan membatalkan sinyal pengguna terjauh yang merupakan interferensi untuk sinyal pengguna terdekat lalu mendekodekan sinyal tersebut. Sedangkan untuk pengguna terjauh akan melakukan *decoding* sinyal dan menganggap sinyal

dari pengguna lain sebagai noise. Teknik ini menjadi kandidat yang berpotensi untuk diimplementasikan pada sistem VLC karena dapat meningkatkan efisiensi dan kapasitasnya .

D. *Modulasi OOK*

OOK merupakan salah satu teknik modulasi sederhana yang sering digunakan dalam sistem komunikasi VLC. Bit-1 pada modulasi OOK dipresentasikan dengan nilai - nilai pulsa optik yang menempati sebagian atau seluruh panjang durasi bit dan untuk bit-0 mempresentasikan tidak adanya nilai pulsa optik. OOK *Non Return to Zero* (NRZ) mampu memiliki *bandwidth* yang lebar apabila kondisi gelombang penuh tercapai.

E. *Modulasi MPPM*

Multi level Pulse Position Modulation (MPPM) yang pada dasarnya adalah modulasi PPM yang mana modulasi ini dapat mengubah pulsa dari sebuah sumber cahaya. Dalam VLC, setiap perubahan pulsa pada LED memiliki artian yang mana dalam sekali pulsa terdapat lebih dari satu informasi. Karena memiliki level yang berubah - ubah, maka PPM memiliki efisiensi daya yang lebih baik dibandingkan modulasi OOK.

$$L = 2^M, \quad (1)$$

Dimana L merupakan level atau pulsa yang memiliki daya konstan yang bisa berubah - ubah. Serta M merupakan resolusi bit yang dapat berupa bilangan bulat. Pada PPM durasi bit yang panjang merepresentasikan bit-1 sedangkan untuk durasi yang pendek merepresentasikan bit-0.

F. *Successive Interference Cancellation (SIC)*

Successive Interference Cancellation (SIC) adalah salah satu MUD yang digunakan untuk membedakan dan mendekodekan simbol dari pemancar disisi penerima. SIC berguna untuk mengelola interferensi pada proses *decoding* NOMA. Pada NOMA dengan SIC, setelah sinyal informasi diterima oleh penerima selanjutnya penerima akan mendeteksi dan mendekodekan sinyal informasi dari pengirim dengan urutan kekuatan sinyal yang menurun. Artinya penerima akan mendekodekan sinyal informasi yang memiliki kekuatan sinyal yang paling besar. SIC ini bekerja dengan cara menyeleksi sinyal interferensi pada penerima yang dilakukan secara berulang hingga mendapatkan sinyal yang diinginkan. Pada pengguna dengan jarak yang dekat dengan pengirim maka daya yang dialokasikan untuk pengguna tersebut rendah sehingga pengguna tersebut harus membatalkan sinyal dari pengguna yang memiliki kekuatan sinyal lebih besar agar bisa mendekodekan sinyal nya sendiri [12].

a. *Signal to Noise Ratio (SNR)*

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah rasio perbandingan dari daya sinyal yang dikirimkan dengan *noise* yang ada pada sistem transmisi, SNR dapat ditulis seperti persamaan berikut :

$$SSSSSS = \frac{(h_{kk}SSPP_{kk})^2}{(2\sigma_{mkk}^2)}, \tag{2}$$

dengan h_{kk} merupakan *channel gain*, SS merupakan *responsivitas photodetector*, PP_{kk} merupakan daya kirim dan σ_{mkk}^2 merupakan *noise* AWGN.

I. *Signal to Interference Plus Noise Ratio (SINR)*

Signal to Interference Plus Noise Ratio (SINR) merupakan rasio perbandingan nilai pada *noise* yang ada pada sistem transmisi terhadap *interferensi*. Banyaknya *interferensi* dan *noise* menyebabkan sinyal akan terganggu saat pengirimannya. Secara matematis SINR dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$SSSSSSSS = \frac{SS}{SSII + SSII}, \tag{3}$$

G. *Soft Decision Decoding (SDD)*

Soft Decision Decoding (SDD) merupakan salah satu metode *decoding* data. Fungsi dari SDD yaitu mendekodekan data yang telah didekodekan dengan kode koreksi kesalahan. SDD disini akan mendekodekan sinyal informasi yang dimodulasi dengan modulasi MPPM. SDD juga merupakan kelas algoritma yang cara kerjanya mengambil bit dan mendekodekan dengan cara mempertimbangkan berbagai nilai yang mungkin diperlukan. SDD mempertimbangkan keandalan dari tiap pulsa untuk memperkirakan data input yang lebih baik.

H. *Maximum Likelihood Decision (MLD)*

Maximum Likelihood Decision (MLD) merupakan salah satu teknik *decoding*. MLD bekerja dengan cara membandingkan fungsi kemungkinan dari setiap fungsi dan apabila fungsi tersebut masuk dalam nilai yang diinginkan yang mana merupakan total dari *maximum likelihood function* masuk kedalam nilai maksimumnya sehingga dapat dikatakan bahwa simbol tersebut adalah simbol yang terdeteksi. Misalkan memiliki fungsi MLD dan katakanlah bahwa pada kasus tertentu probabilitas z m2 adalah maksimum dari MLD maka simbol yang terdeteksi menjadi m2, jika MLD pada probabilitas z m4 maksimum diantara semua kemungkinan MLD maka simbol yang terdeteksi adalah m4.

Pada NOMA VLC, dengan pengimplementasi SIC sebagai MUD terkadang menyebabkan *residu* akibat adanya kegagalan pembatalan *interferensi*. SINR dengan *residu* atau yang disebut *imperfect* SIC dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$SINR_{imperfect} = \frac{h_{nn}^2 P_n}{h_{nn}^2 \sum_{k=n}^N P_k + \epsilon \cdot h_{nn}^2 \sum_{k=1}^{n-1} P_k + \sigma^2} \tag{4}$$

Sedangkan untuk *perfect* SIC dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$SINR_{perfect} = \frac{h_{nn}^2 P_n}{h_{nn}^2 \sum_{k=n}^N P_k + \sigma^2} \tag{5}$$

J. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan parameter performansi dari setiap pengiriman data. Semua bit yang dikirimkan belum tentu dapat diterima dengan baik, nilai BER menjadi parameter untuk mengetahui apakah pada suatu pengiriman data tersebut data dikirimkan dengan baik atau tidak. Nilai BER yang semakin kecil menandakan semakin baiknya suatu sistem transmisi tersebut. Nilai BER berbeda dalam setiap modulasi. BER modulasi PPM dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$BER_{PPM} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^L \tag{6}$$

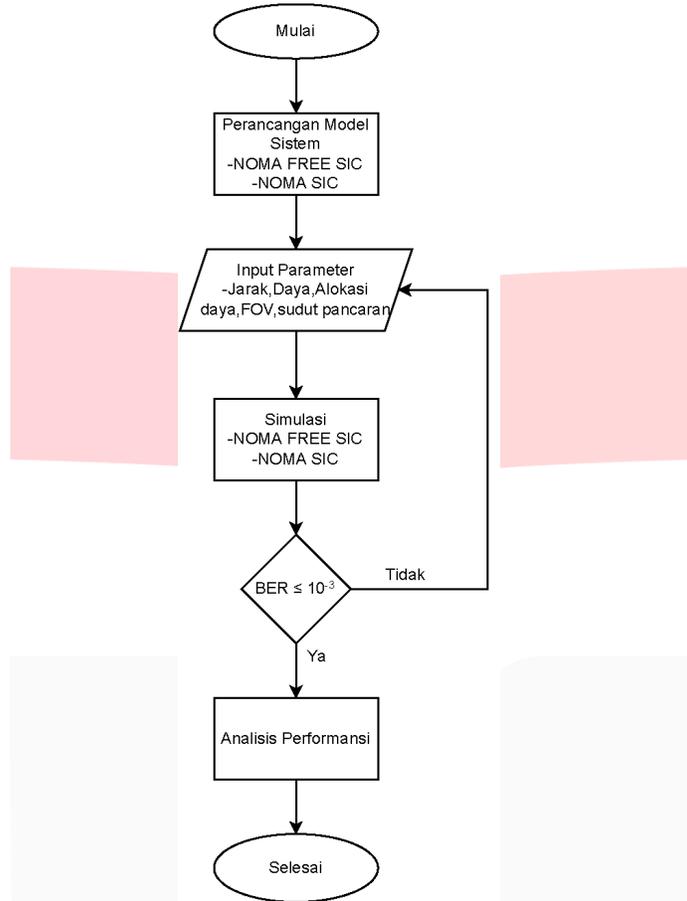
$$BER_{SDDMPPM} = \frac{(L - M)M}{2^{L-1} \pi \sigma_{nk}^2} \exp \left[-\frac{LRh_k P_k^2}{2\sigma_{nk}^2} - \frac{(\varphi - \psi)^2}{2\sigma_{nk}^k} \right] \times \frac{\psi \prod_{k=1}^{PP-1} \sqrt{2\sigma_{nk}^{PP-k}}}{\prod_{k=1}^{PP-1} \sqrt{2\sigma_{nk}^{k+1}}} \tag{7}$$

$$BER_{PPLMPPM} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{L}} \right)^L \tag{8}$$

III. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

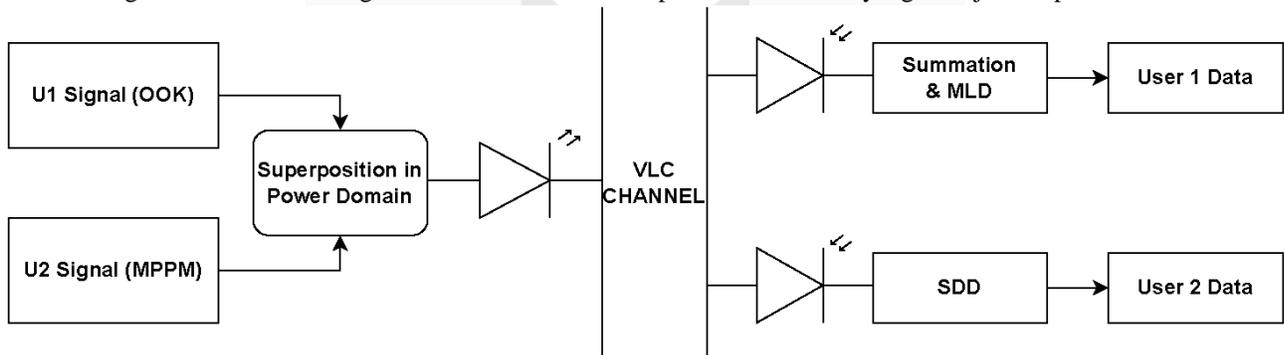
Perancangan simulasi model NOMA FREE SIC pada Tugas Akhir ini dibuat dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian sistem.

B. Desain Sistem

Pada Tugas Akhir ini dirancang model NOMA FREE SIC pada desain sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem.

C. Parameter Simulasi

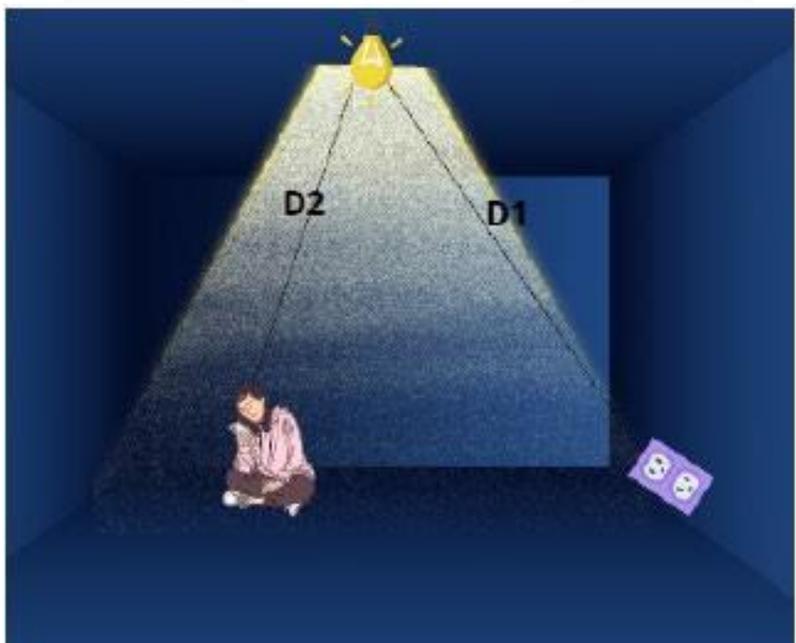
Dalam perancangan sistem NOMA FREE SIC pada Tugas Akhir ini diberikan beberapa parameter input pada sistem. Parameter input yang digunakan pada simulasi ini terdapat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter input simulasi.

Parameter		Value
Source	Total	1
	Power	60 mWatt
	Bandwidth	10 Mbps
Photodetector	Jumlah	2
	Responsivitas	1 A/W
Lainnya	Multiple Access	NOMA
	Kanal	LOS
	Jarak	5,2 m
		3 m
	Alokasi Daya	0,8
0,2		

D. Simulasi Sistem

Pada penyusunan Tugas Akhir ini, dilakukan permodelan sistem *downlink* yang menggunakan kanal LOS dengan terdapat dua kondisi kualitas kanal pengguna, yaitu kualitas kanal yang buruk ditandai dengan D1 dan kualitas kanal yang baik ditandai dengan D2 terlihat pada Gambar 3.



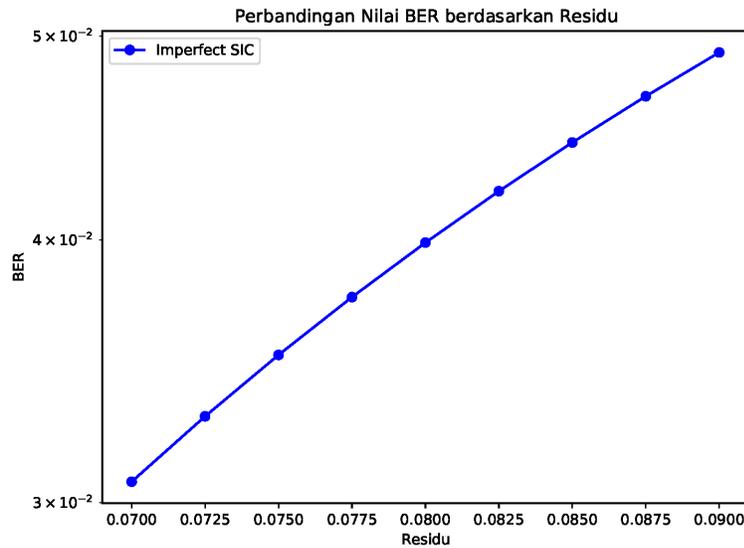
Gambar 3. Desain sistem NOMA FREE SIC pada model kanal LOS.

Pada Gambar 3. merupakan gambaran dari ruangan yang digunakan pada simulasi Tugas Akhir ini. Terdapat dua buah pengguna pada ruangan tertutup, kanal yang digunakan merupakan kanal LOS dimana pengguna pertama yang memiliki kualitas kanal yang buruk berjarak 5,2 meter dan pengguna kedua yang memiliki kualitas kanal yang baik berjarak jarak 3 meter. Ruangan yang digunakan yaitu berukuran $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$. Kemudian pada ruangan tersebut diberikan satu buah lampu LED yang diletakkan pada tengah ruangan yang memiliki daya 60 mWatt. Simulasi ini menggunakan *photodetector* jenis PIN dengan tipe C30810EH yang memiliki spesifikasi FOV sebesar 77° .

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengaruh Residu terhadap BER

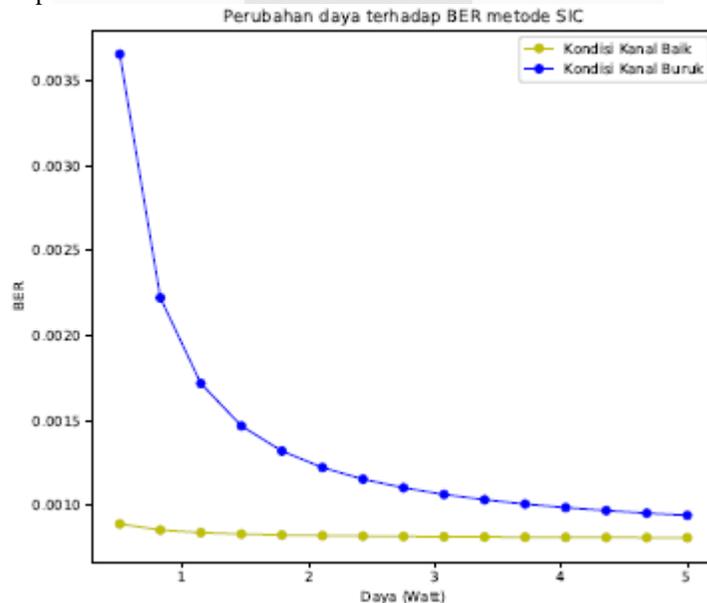
Komplektifitas SIC sering menyebabkan adanya sisa - sisa daya yang gagal dibatalkan oleh proses SIC tersebut sehingga menyisakan *residu*. Proses SIC yang sering menyisakan *residu* ini sering disebut juga dengan *Imperfect* SIC. Residu dalam *imperfect* SIC ini biasanya berkisar kurang dari 0,1.



Gambar 4. Perbandingan BER terhadap Residu.

Berdasarkan Gambar 4 diatas bisa terlihat bahwa kenaikan nilai residu atau kegagalan dari proses SIC yang menyisakan residu mempengaruhi nilai performansi BER nya. Terlihat bahwa pada nilai residu 0,07 performansi BER dari pengguna kedua SIC atau kondisi kanal yang paling baik ini diangka 3.06×10^{-2} kemudian pada kondisi nilai residu naik diangka 0,0725 , nilai performansi BER nya juga meningkat diangka 3.29×10^{-2} . Saat nilai residu diangka 0,8 nilai BER meningkat dan berada pada nilai 3.98×10^{-2} . Nilai Performansi BER ini semakin meningkat saat menyentuh nilai residu di angka 0,09, dimana nilai performansi BER nya adalah 4.91×10^{-2} . Jika dilihat pada kenaikan. nilai residu pada setiap nilai performansi BER nya. Maka residu sangat mempengaruhi nilai BER sehingga performansi menjadi turun yang berakibat pada data yang diterima banyak terjadi eror.

B. Perubahan Daya terhadap BER Metode SIC

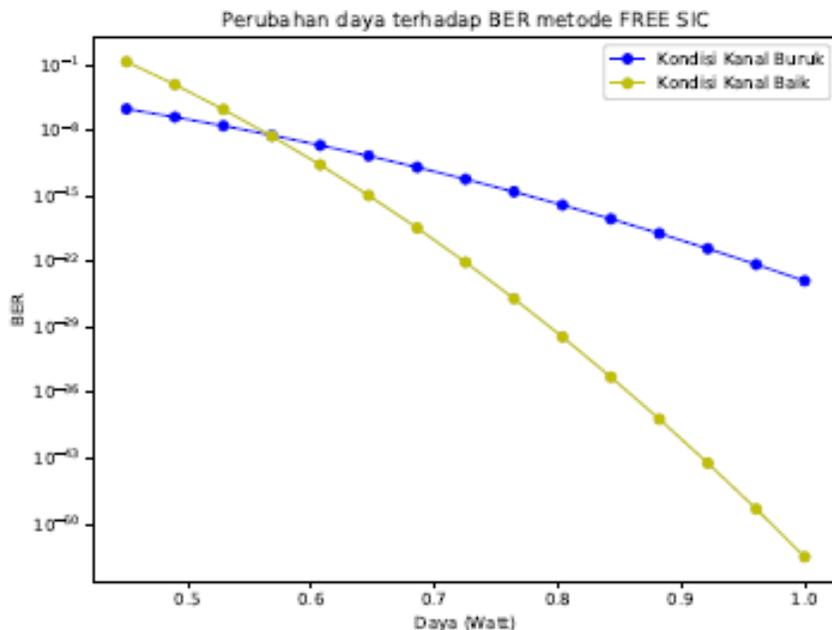


Gambar 5. Perubahan Daya terhadap BER metode SIC



Perubahan daya terhadap BER metode SIC pada 2-8 MPPM ini lebih baik dari pada 2-4 MPPM. Untuk mencapai nilai BER 10^{-3} pada 2-8 MPPM memerlukan daya sekitar 3 Watt untuk kedua kondisi kanalnya. Dari grafik terlihat bahwa peningkatan daya membuat grafik dengan kecenderungan menurun, kecenderungan menurun ini menandakan semakin tinggi daya maka akan semakin baik performansinya karena pada saat transmisi banyak sekali noise yang menyebabkan dayanya menjadi lemah, sehingga peningkatan daya ini akan mengurangi kemungkinan sinyal yang menjadi lemah dan mengakibatkan banyak error disisi penerima. 2-8 MPPM ini lebih unggul dibandingkan 2-4 MPPM diakibatkan karena bit informasi yang dibawa oleh 2-8 MPPM lebih banyak, sehingga dapat peningkatan nilai indeks modulasi ini mempengaruhi performansi sistem ini.

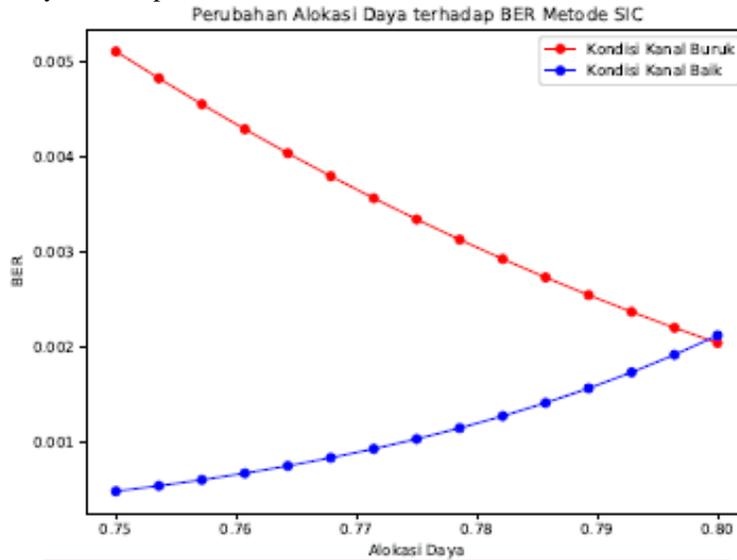
a. Perubahan Daya terhadap BER Metode FREE SIC



Gambar 6. Perubahan Daya terhadap BER metode FREE SIC.

Terlihat pada Gambar 6 perubahan daya pada LED ini berpengaruh terhadap performansi sistem. Terlihat kecenderungan penurunan pada grafik baik pada kondisi kanal yang buruk maupun pada kondisi kanal yang baik. Peningkatan LED pada kondisi kanal yang buruk membuat performansinya semakin bagus begitu juga pada kondisi kanal yang baik. Pada saat daya LED berada pada 0,45 Watt nilai BER pengguna dengan kondisi kanal yang buruk $2,16 \times 10^{-6}$ sedangkan kondisi kualitas kanal yang baik sebesar $2,4 \times 10^{-1}$. Perbedaan terlihat signifikan pada saat daya dinaikan disekitar 0.56 Watt terjadi perpotongan antar grafik dimana kondisinya berubah. Kondisi kanal yang baik menjadi memiliki ki sistem performansi yang baik tetapi dengan perubahan yang signifikan, berbeda dengan kondisi kualitas kanal yang buruk dimana hasil perfromansi BER nya lebih stabil. Kemudian pada 2-8 MPPM ini lebih baik dari pada 2-4 MPPM, nilai performansi pada saat daya yang sama lebih baik 2-8 MPPM. Hal ini dikarenakan pada 2-8 MPPM dapat mentransmisikan lebih banyak bit informasi daripada 2-4 MPPM.

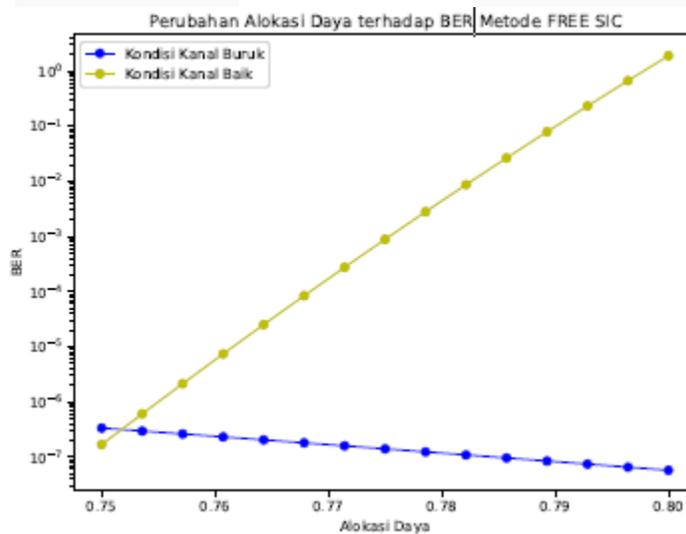
C. Perubahan Alokasi Daya terhadap BER Metode SIC



Gambar 7. Perubahan Alokasi Daya terhadap BER metode SIC.

Pembagian alokasi daya pada NOMA disesuaikan dengan kondisi kanal masing masing. Dimana kondisi kanal yang buruk akan mendapatkan alokasi daya yang besar dibandingkan dengan kondisi kanal yang baik. Pada grafik tersebut dilakukan perubahan daya terhadap nilai BER metode SIC pada 2-8 MPPM. Pada kondisi kanal yang buruk semakin meningkatnya nilai alokasi daya maka performansi sistem akan semakin bagus dilihat dengan kondisi grafik yang menurun. Kemudian untuk kondisi kanal yang baik akan mengalami kecenderungan peningkatan nilai BER yang mengakibatkan sistem erformansinya menurun. Hal ini dapat terjadi karena alokasi daya yang besar akan diberikan kepada kondisi kanal yang buruk sedangkan kondisi kanal yang baik mendapatkan sisinya dari total sama dengan satu. Peningkatan nilai indeks modulasi ini juga berpengaruh terhadap perfromansinya. Jika dibandingkan dengan 2-4 MPPM pada kondisi daya LED yang sama, 2-8 MPPM mampu memberikan BER disekitar 10^{-3} artinya untuk mencapai BER 10^{-3} dengan menggunakan daya yang sama bisa dengan meningkatkan nilai indeks modulasinya.

D. Perubahan Alokasi Daya terhadap BER Metode FREE SIC



Gambar 7. Perubahan Alokasi Daya terhadap BER metode FREE SIC.

NOMA identik dengan adanya alokasi daya, dimana alokasi daya diberikan sesuai dengan kondisi kualitas kanal yang ada. Kondisi kanal yang buruk dimana jauh dari transmitter akan mendapatkan alokasi daya yang besar dibandingkan dengan yang memiliki kualitas kanal baik atau yang dekat dengan transmitter. Pada Gambar 4.11 ditunjukkan adanya perubahan alokasi daya terhadap nilai BER atau performansi sistem 2-8 MPPM metode FREE SIC. Pengguna dengan kualitas kanal yang baik menggunakan modulasi MPPM sedangkan pengguna dengan kualitas kanal yang buruk menggunakan OOK. Terlihat bahwa pada saat alokasi daya meningkat pada kondisi kualitas kanal yang buruk akan mengalami kecenderungan menurun sedangkan untuk kondisi kualitas kanal yang baik akan mengalami kecenderungan menaik. Hal ini dikarenakan pada saat alokasi daya meningkat maka yang mendapatkan alokasi daya terbesar adalah kondisi kualitas kanal yang buruk, sedangkan sisanya diberikan kepada kondisi kualitas kanal yang baik.

Maka dari itu kondisi kualitas kanal yang baik cenderung meningkat dan kondisi kualitas kanal yang buruk cenderung menurun. Kemudian kondisi kualitas kanal yang baik mengalami peningkatan yang sangat signifikan karena bit informasi yang dibawa lebih banyak sehingga kemungkinan untuk terjadinya *error* lebih sedikit dibandingkan modulasi OOK yang digunakan pada kondisi kualitas kanal yang buruk.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis penelitian pada sistem NOMA VLC antara penggunaan MUD jenis FREE SIC dan SIC dengan kondisi yang sudah ditentukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- i. Berdasarkan kinerja sistem FREE SIC pada NOMA VLC pada perubahan alokasi daya, indeks modulasi, daya dan jarak memiliki sistem performansi yang lebih unggul dibandingkan dengan sistem SIC. Untuk mencapai nilai BER 10^{-3} metode FREE SIC hanya memerlukan nilai daya 0,5 watt sedangkan untuk metode SIC memerlukan daya 5 Watt. Sehingga FREE SIC ini memiliki sistem yang lebih sederhana karena tidak adanya interferensi dengan menggunakan dua modulasi yang berbeda. Sedangkan dengan SIC masih adanya interferensi. Kemudian juga indeks modulasi yang semakin besar membuat performansi sistem semakin baik, karena bit informasi yang dibawa lebih banyak dibandingkan 2-4 MPPM.
- ii. Performansi FREE SIC lebih unggul dibandingkan dengan performansi SIC. Dimana daya yang digunakan untuk metode FREE SIC lebih rendah dan juga penggunaan indeks modulasi yang kecil sudah cukup bagus di metode FREE
- iii. SIC. Peningkatan *residu* pada proses SIC mengakibatkan peningkatan nilai BER. Nilai BER yang semakin tinggi berdampak pada performansi sistem yang semakin buruk. Hal ini diakibatkan, besarnya nilai residu mempengaruhi proses SIC yakni mengindikasikan bahwa SIC gagal diberlakukan sehingga masih adanya sisa interferensi dari daya user lain.

B. Saran

Berdasarkan hasil Kesimpulan pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat beberapa hal yang nantinya mungkin dapat dikembangkan pada penelitian

selanjutnya. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya seperti :

- iv. Menambahkan jumlah user yang lebih banyak lagi pada sistem ini.
- v. Menggunakan jenis dekoding lagi seperti *Hard Decision Decoding* pada modulasi MPPM.
- vi. Menggunakan kanal lain seperti kanal NLOS.
- vii. Menggunakan jenis MUD lain seperti, *joint detection*.

REFERENSI

- [1] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press, 2019.
- [2] J. Lee and Y. Kwak, "5G standard development: technology and roadmap," *Signal Process. G*, vol. 5, 2016.
- [3] A. Benjebbour, K. Saito, A. Li, Y. Kishiyama, and T. Nakamura, "Non-orthogonal multiple access (NOMA): Concept and design," *Signal Process. G*, vol. 5, 2016.
- [4] A. Li, Y. Lan, X. Chen, and H. Jiang, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for future downlink radio access of 5G," *China Commun.*, vol. 12, no. Supplement, pp. 28–37, 2015.
- [5] T. Manglayev, R. C. Kizilirmak, Y. H. Kho, N. Bazhayev, and I. Lebedev, "NOMA with imperfect SIC implementation," *17th IEEE Int. Conf. Smart Technol. EUROCON 2017 - Conf. Proc.*, no. July, pp. 22–25, 2017, doi: 10.1109/EUROCON.2017.8011071.
- [6] H. Huang, J. Wang, J. Wang, J. Yang, J. Xiong, and G. Gui, "Symbol error rate performance analysis of non-orthogonal multiple access for visible light communications," *China Commun.*, vol.

- 14, no. 12, pp. 153–161, 2017.
- [7] C. Wang, L. Wang, X. Chi, S. Liu, W. Shi, and J. Deng, “The research of indoor positioning based on visible light communication,” *China Commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 85–92, 2015, doi: 10.1109/CC.2015.7224709.
- [8] C. Chen, W.-D. Zhong, H. Yang, P. Du, and Y. Yang, “Flexible-rate SIC-free NOMA for downlink VLC based on constellation partitioning coding,” *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 8, no. 2, pp. 568–571, 2018.
- [9] T. Wang, F. Yang, C. Pan, J. Song, and Z. Han, “Successive-Interference-Cancellation-Free NOMA for Indoor VLC: A Generalized Spatial Modulation Based Approach,” *2020 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICC Work. 2020 - Proc.*, 2020, doi: 10.1109/ICCWorkshops49005.2020.9145385.
- [10] J. Song, T. Cao, and H. Zhang, “A low complexity NOMA scheme in VLC systems using pulse modulations,” in *2020 29th Wireless and Optical Communications Conference (WOCC)*, 2020, pp. 1–6.
- [11] T. Wang *et al.*, “Intercommunity Detection Scheme for Social Internet of Things: Compressive Sensing over Graphs Approach,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 6, pp. 4550–4557, 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2837048.
- [12] M. R. Usman, A. Khan, M. A. Usman, Y. S. Jang, and S. Y. Shin, “On the performance of perfect and imperfect SIC in downlink non orthogonal multiple access (NOMA),” in *2016 international conference on smart green technology in electrical and information systems (ICSGTEIS)*, 2016, pp. 102–106.