

ANALISIS PENGARUH ALOKASI DAYA PADA *POWER DOMAIN NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS* UNTUK ARAH DOWNLINK

ANALYSIS THE EFFECT OF POWER ALLOCATION ON *POWER DOMAIN NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS* POWER DOMAIN FOR DOWNLINK

Aprian Firlanda Imani¹, Arfianto Fahmi², Nachwan Mufti Adriansyah³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹aprianfirlandaa@students.telkomuniversity.ac.id

²arfiantof@telkomuniversity.ac.id, ³nachwanma@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Salah satu target sistem komunikasi selular *fifth generation* (5G) adalah peningkatan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan generasi sebelumnya. *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) adalah salah satu skema multiple access yang menjanjikan peningkatan *spectral efficiency* yang lebih besar dibandingkan dengan skema *Orthogonal Multiple Access* (OMA). Ada dua kategori NOMA, yaitu *Power-Domain* (PD) dan *Code-Domain* (CD). Fokus pembahasan pada skema NOMA dengan jenis *Power-Domain* yang diaplikasikan pada arah *downlink*. *Superposition Coding* (SC) digunakan pada sisi pengirim untuk menggabungkan sinyal *multi-user* dengan alokasi daya yang berbeda, alokasi daya bergantung pada kondisi kanal dari *user* tersebut. *Successive Interference Cancellation* (SIC) digunakan pada sisi penerima untuk menghilangkan interferensi antar *multi-user*. Jumlah *user* yang menggunakan *resource block* yang sama adalah dua dengan kondisi *user* 1 tidak menerapkan SIC dan *user* 2 menerapkan SIC. Hasil simulasi menunjukkan nilai BER dibawah 10^{-6} ketika alokasi daya *user* 1 memiliki nilai 0,65 sampai 0,9 dan alokasi daya *user* 2 memiliki nilai 0,1 sampai 0,45. Rentang kebutuhan SNR antar *user* agar BER dibawah 10^{-6} cukup jauh kecuali ketika alokasi daya 0,8:0,2. Nilai SNR dan kapasitas kanal pada *user* 1 lebih rendah dibandingkan SNR *user* 2 karena pada *user* 1 sinyal dari *user* 2 dianggap sebagai *noise*. Kapasitas kanal total PD-NOMA lebih besar dibandingkan dengan OFDMA pada saat alokasi daya *user* berbeda signifikan.

Kata Kunci: *Non Orthogonal Multiple Access, Power Domain, Fix Power Allocation, Successive Interference Cancellation.*

Abstract

One of the requirement for mobile communications systems fifth generation (5G) is enhancement capacity from previous generations. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) is one of multiple access schemes that promises greater spectral efficiency improvement compared to the Orthogonal Multiple Access (OMA) scheme. There are two categories of NOMA that is Power-Domain (PD) and Code-Domain (CD). The focus of the study is on the NOMA scheme with Power-Domain type applied to the downlink. At the sender, this scheme uses Superposition Coding (SC) to combine multi-user signals with different power allocations, it's depending on the channel conditions of the user. The receiver used Successive Interference Cancellation (SIC) to eliminate inter-multi-user interference. The number of users using the same resource block is two. With the condition that user 1 does not implement SIC and user 2 applies SIC. Simulation results show BER values below 10^{-6} when user 1 power allocation has a value of 0.65 to 0.9 and user 2 power allocation has a value of 0.45 to 0.1. The range of SNR requirements between users so that the BER is below 10^{-6} is quite far except when the power allocation is 0.8: 0.2, the value of SNR and channel capacity in user 1 are lower than user SNR 2 because in user 1 the signal from user 2 is considered as noise. The total PD-NOMA channel capacity is greater than OFDMA when the user power allocation is significantly different.

Keywords: *Non Orthogonal Multiple Access, Power Domain, Fix Power Allocation, Successive Interference Cancellation.*

1. Pendahuluan

Pada sistem komunikasi selular generasi sebelumnya yaitu *fourth generation (4G) Long term Evolution (LTE)* menggunakan *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)*. Pada sistem komunikasi selular *fifth generation (5G)*, *spectral efficiency* menjadi salah satu tantangan utama karena meningkatnya demand trafik pada tahun 2020 [1]. Oleh karena itu, diperlukan teknologi radio akses dengan *spectral efficiency* yang lebih baik untuk memenuhi kebutuhan sistem komunikasi selular kedepannya.

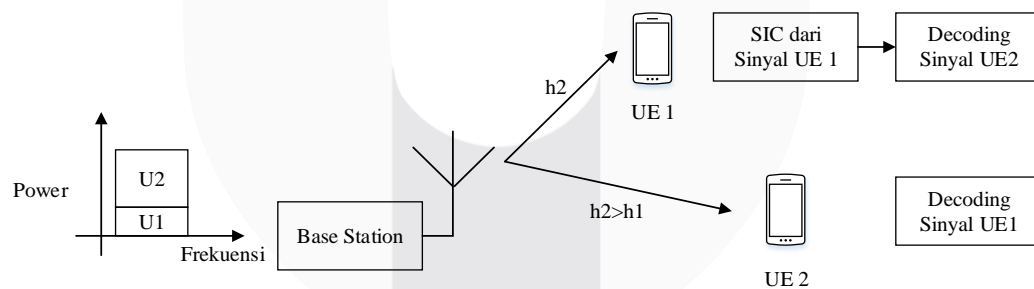
Skema *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)* dapat digunakan untuk meningkatkan *spectral efficiency* lebih baik daripada OMA [2]–[5]. NOMA memungkinkan *user* untuk mengakses kanal secara *non-orthogonal* berdasarkan domain *Power* atau *Code* [2]–[4]. Karena *user* pada NOMA berbagi *resource* yang sama, maka terjadi interferensi antar *user*. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan teknik *multi-user detection (MUD)* yaitu *successive interference cancellation (SIC)* yang diterapkan pada sisi *receiver* untuk mengurangi interferensi *multi-user*. Penggunaan SIC mengakibatkan kompleksitas penerima meningkat [2]–[4].

Pembahasan Tugas Akhir ini difokuskan pada NOMA dengan jenis *Power Domain (PD)*. PD-NOMA menggunakan skema *multi-user superposition transmission (MUST)* yang bernama *superposition code (SC)*. SC menggabungkan sinyal *multi-user* dengan alokasi daya berbeda. Skema *fix power allocation* diusulkan untuk pengalokasian daya [2]. Pada sisi penerima, *user* dengan alokasi daya yang besar langsung menerjemahkan sinyal yang diterima. Sedangkan *user* dengan alokasi daya yang lemah menggunakan SIC untuk menerjemahkan sinyal yang diterima. PD-NOMA dapat diterapkan pada sisi *uplink* maupun *downlink* [2], [4].

Untuk itu pada Tugas Akhir ini disimulasikan PD-NOMA pada arah *downlink*. Dengan kondisi jumlah *user* yang menggunakan set subcarrier yang sama adalah dua. *User 1* tidak menerapkan SIC dan *user 2* menerapkan SIC. Parameter yang diamati berupa performansi perubahan alokasi daya terhadap *Bit Error Rate (BER)*, *Signal to Noise Ratio* dan Kapasitas kanal setiap *user*.

2. Konsep Dasar PD-NOMA

Skema NOMA dengan *power domain* dapat diaplikasikan pada sisi *downlink* maupun *uplink*. Berikut adalah ilustrasi PD-NOMA dengan SIC untuk sisi *Downlink*.

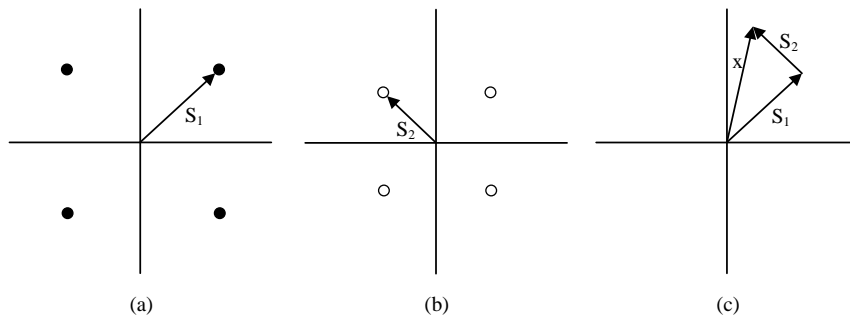


Gambar 1. Skema PD-NOMA arah *downlink*

Pada BS *transmitter*, sinyal dari setiap *user* digabungkan dengan acuan daya total transmisi dan *throughput fairness* setiap *user*. Pada *receiver*, SIC digunakan untuk *multi-user detection (MUD)*. Karena *near-far effect*, kondisi kanal setiap *user* berbeda-beda. SIC diterapkan pada *user* dengan *signal to interference plus noise ratio (SINR)* yang relative tinggi. Dengan dasar tersebut, SIC memanfaatkan SINR untuk mendeteksi sinyal setiap *user*.

2.1 Superposition Code

Superposition code adalah teknik mengirimkan informasi secara simultan ke beberapa penerima melalui satu *resource block*. *Superposition code* bisa diakui sebagai skema *non-orthogonal* yang mencapai kapasitas pada scalar *gaussian broadcast channel*. Berikut adalah gambar konstelasi QPSK dengan skenario 2 *user* pada *superposition code*.



Gambar 2. *superposition code encoding* (a) konstelasi sinyal *user 1*
(b) konstelasi sinyal *user 2* (c) konstelasi sinyal superposisi

Pada gambar diatas, daya transmisi *user 1* lebih besar dari *user 2*. Berikut adalah persamaan sinyal yang ditransmisikan oleh BS dengan *superposition coding* untuk dua *user*

$$X(n) = \sqrt{P\beta_1}S_1(n) + \sqrt{P\beta_2}S_2(n) \quad (1)$$

Keterangan: P adalah total daya pancar, dan β_i adalah pecahan untuk alokasi daya yang totalnya 1 ($\beta_1 + \beta_2 = 1$).

2.2 Successive Interference Cancellation

SIC adalah teknik yang digunakan untuk mengembalikan kode informasi pada setiap penerima. Daya yang diterima pada *user ke-i* adalah

$$y_i = h_i x + w_i \quad (2)$$

Keterangan: h_i adalah *channel gain* pada *user ke-i*, dan w_i adalah AWGN pada *user ke-i*.

Berikut adalah tahapan *decode message* pada *receiver*

- Pada *User ke-1*, diterapkan *decoder g1*: $C^T \rightarrow \{0,1\}^{2^{TR_1}}$ dengan menganggap sinyal dari *user ke-2* sebagai *noise*.
- Pada *User ke-2* diterapkan *decoder g2*: $C^T \rightarrow \{0,1\}^{2^{TR_2}}$ pada sinyal terima *user ke-2* ($y_2(n)$) yang dikurangi dengan $\sqrt{P\beta_1}h_2S_1(n)$, yang nilai h_2 adalah nilai *channel gain user ke-2*.

$$y'_2(n) = y_2 - \sqrt{P\beta_1}h_2S_1(n). \quad (3)$$

3. Hasil Performasi NOMA

Simulasi dilakukan sesuai dengan model sistem yang telah dirancang pada bab tiga. Analisis dan hasil Simulasi untuk melihat performasi sistem diamati berdasarkan parameter berupa BER dan kapasitas kanal. Simulasi penelitian ini dibagi menjadi beberapa skenario yaitu sebagai berikut.

- Pengaruh alokasi daya PD-NOMA terhadap BER.
- Pengaruh SNR terhadap BER.
- Kapasitas Kanal PD-NOMA.

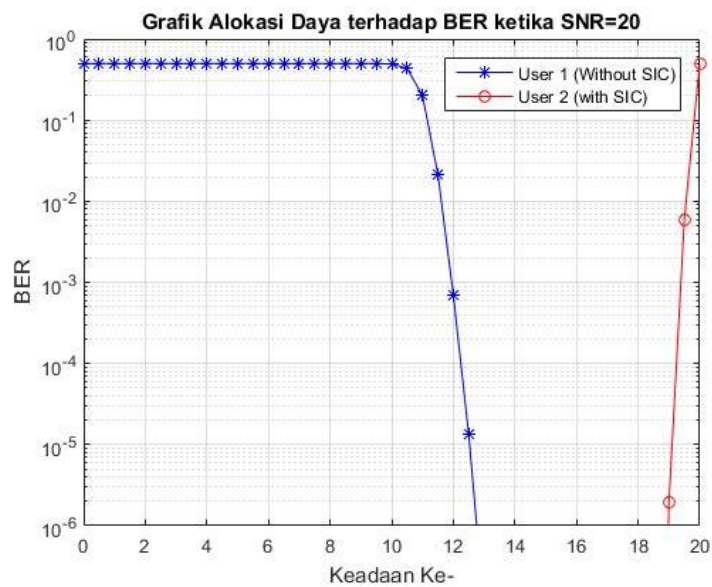
3.1 Pengaruh Alokasi Daya PD-NOMA terhadap BER

Pada skenario ini, sinyal informasi dilewatkan pada kanal *noise* AWGN dengan nilai SNR adalah 20. Jumlah *user* yang menggunakan *resource block* yang sama pada pengujian ini adalah dua. Panjang data informasi yang dibangkitkan setiap *user* adalah 1.280.000 bit. Pada penelitian ini penulis menetapkan nilai BER maksimal 10^{-6} sebagai acuan optimalnya sistem yang dirancang. *User 1* langsung menterjemahkan sinyal yang diterima dengan menggunakan blok OFDM *transmitter*. Sedangkan pada *user 2*, sinyal yang diterima akan dipisahkan dari sinyal penginterferensi dengan menggunakan SIC, setelah itu sinyal keluaran SIC diterjemahkan dengan blok OFDM *transmitter*.

Setiap *user* dialokasikan daya dari nol sampai satu dengan kenaikan sebesar 0,025. Alokasi daya *user 1* dan *user 2* dibuat berkebalikan untuk menyesuaikan sistem. Sebagai contoh, Jika alokasi daya *user 1* sama dengan 0,2 ($\beta_1 = 0,2$), maka alokasi daya *user 2* sama dengan 0,8 ($\beta_2 = 0,8$). Berikut adalah tabel keadaan alokasi daya saat pengujian dan grafik hasil simulasi pengaruh alokasi daya terhadap BER dengan kondisi dua *user*.

Tabel 1. Kondisi Alokasi Daya Saat Pengujian

Keadaan ke-	Alokasi Daya (β)	
	User 1	User 2
0	0	1
1	0,05	0,95
2	0,1	0,9
3	0,15	0,85
4	0,2	0,8
5	0,25	0,75
6	0,3	0,7
7	0,35	0,65
8	0,4	0,6
9	0,45	0,55
10	0,5	0,5
11	0,55	0,45
12	0,6	0,4
13	0,65	0,35
14	0,7	0,3
15	0,75	0,25
16	0,8	0,2
17	0,85	0,15
18	0,9	0,1
19	0,95	0,05
20	1	0

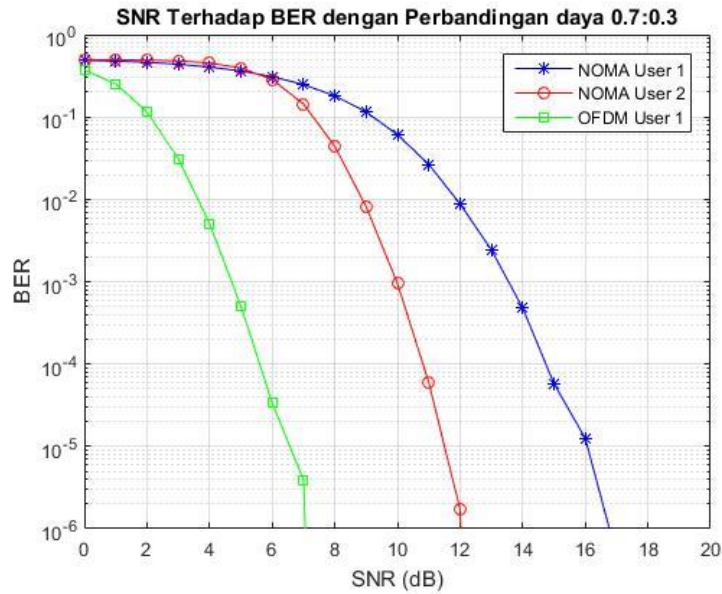


Gambar 3. Alokasi Daya Terhadap BER Kondisi Dua User

Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa performasi BER akan kurang dari 10^{-6} jika perbandingan alokasi daya *user 1* dan *user 2* berada diantara 0.63:0.47 sampai 0.95:0.05. Berdasarkan hasil tersebut dapat terlihat bahwa nilai BER akan kurang dari 10^{-6} ketika alokasi daya *user 1* lebih besar dari alokasi daya *user 2*. Hal ini disebabkan oleh sinyal *user 2* yang menjadi *noise* bagi *user 1*. Sehingga hal tersebut berdampak pada nilai SNR *user 1* yang menjadi rendah.

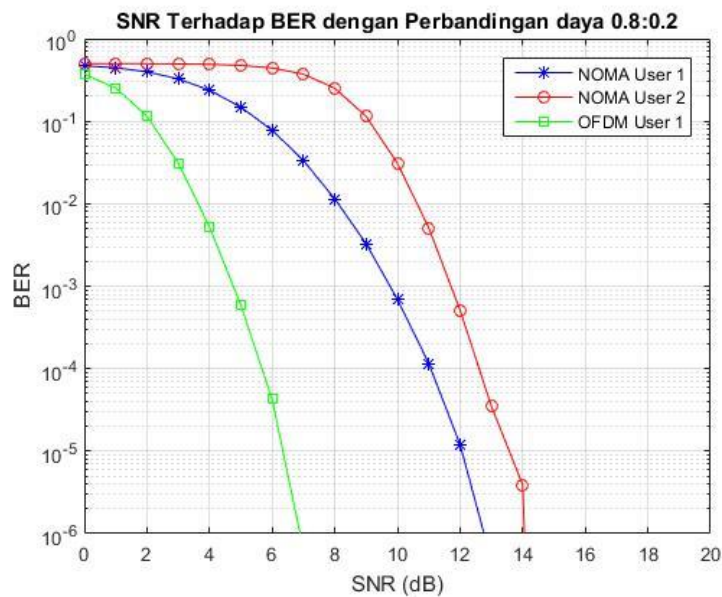
3.2 Pengaruh SNR Terhadap BER

Pada skenario ini, sinyal informasi dilewatkan pada kanal *noise* AWGN dengan nilai SNR yang digunakan dari 0 samapai dengan 20. Jumlah *user* yang menggunakan *resource block* yang sama pada skenario ini hanyalah dua. Karena pada pengujian pengaruh alokasi daya terhadap BER untuk tiga *user* telah dibuktikan bahwa nilai BER tidak memenuhi target. Panjang data informasi yang dibangkitkan secara acak untuk dua *user* tersebut adalah 1.280.000. Alokasi daya yang diujikan adalah 0.7:0.3, 0.8:0.2, dan 0.9:0.1. Karena pada pengujian pengaruh alokasi daya terhadap BER untuk dua *user* nilai BER mencapai target. *User* skema PD-NOMA juga dibandingkan dengan *user* yang menggunakan skema OFDMA. Berikut adalah hasil pengujian pengaruh SNR terhadap BER untuk alokasi daya 0.7:0.3.



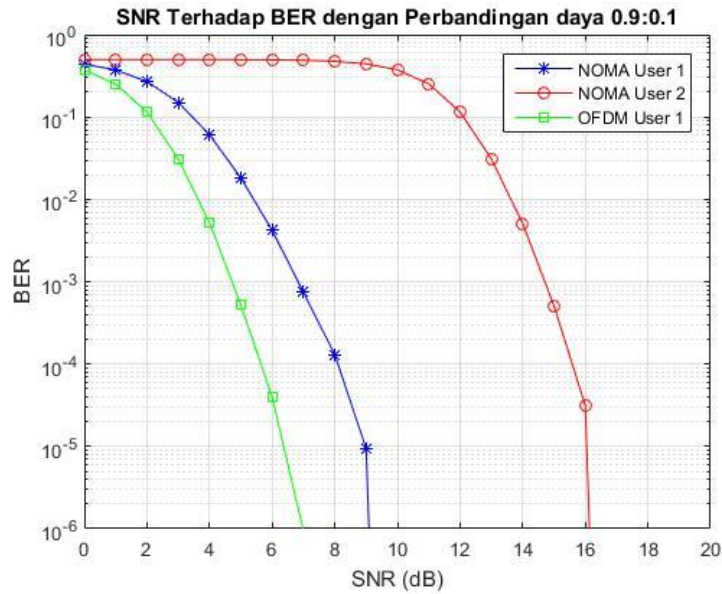
Gambar 4. Pengaruh SNR terhadap BER dengan perbandingan alokasi daya 0,7:0,3

Bedasarkan hasil pengujian untuk alokasi daya 0,7:0,3, *user 1*(tanpa proses SIC) harus memiliki SNR yang lebih besar dari 17 dB agar nilai BER dibawah 10^{-6} . Sedangkan *user 2* (dengan proses SIC) harus memiliki nilai SNR lebih besar dari 12 dB agar nilai BER dibawah 10^{-6} . Jika dibandingkan antar *user* PD-NOMA, nilai SNR *user 1* harus lebih besar dari dari *user 2* agar mendapatkan nilai BER dibawah 10^{-6} . Berikut adalah hasil pengujian pengaruh SNR terhadap BER untuk alokasi daya 0,8:0,2.



Gambar 5. Pengaruh SNR terhadap BER dengan perbandingan alokasi daya 0,8:0,2

Bedasarkan hasil pengujian untuk alokasi daya 0,8:0,2, *user 1*(tanpa proses SIC) harus memiliki SNR yang lebih besar dari 13 dB agar nilai BER dibawah 10^{-6} . Sedangkan *user 2* (dengan proses SIC) harus memiliki nilai SNR lebih besar dari 14 dB agar nilai BER dibawah 10^{-6} . Jika dibandingkan antar *user* PD-NOMA, nilai SNR *user 2* harus lebih besar dari *user 1* agar mendapatkan nilai BER dibawah 10^{-6} . Namun perbandingan daya tidak terlalu besar. Berikut adalah hasil pengujian pengaruh SNR terhadap BER untuk alokasi daya 0.9:0.1.



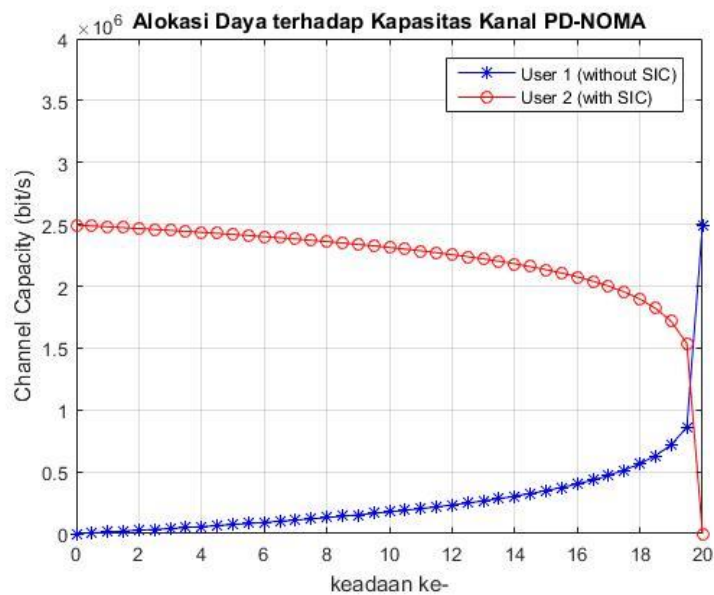
Gambar 6. Pengaruh SNR terhadap BER dengan perbandingan alokasi daya 0,9:0,1

Bedasarkan hasil pengujian untuk alokasi daya 0,9:0,1, *user 1* (tanpa proses SIC) harus memiliki SNR yang lebih besar dari 9 dB agar nilai BER dibawah 10^{-6} . Sedangkan *user 2* (dengan proses SIC) harus memiliki nilai SNR lebih besar dari 16 dB agar nilai BER dibawah 10^{-6} . Jika dibandingkan antar *user* PD-NOMA, nilai SNR *user 2* harus jauh lebih besar dari *user 1* agar mendapatkan nilai BER dibawah 10^{-6} .

Bedasarkan tiga hasil pengujian diatas yaitu untuk perbandingan alokasi daya 0,7:0,3; 0,8:0,2 dan 0,9:0,1. *User* OFDMA harus memiliki nilai SNR lebih dari 7 dB agar mendapatkan nilai BER dibawah 10^{-6} . Sedangkan *user* PD-NOMA harus memiliki nilai SNR yang lebih besar dibandingkan *user* OFDMA.

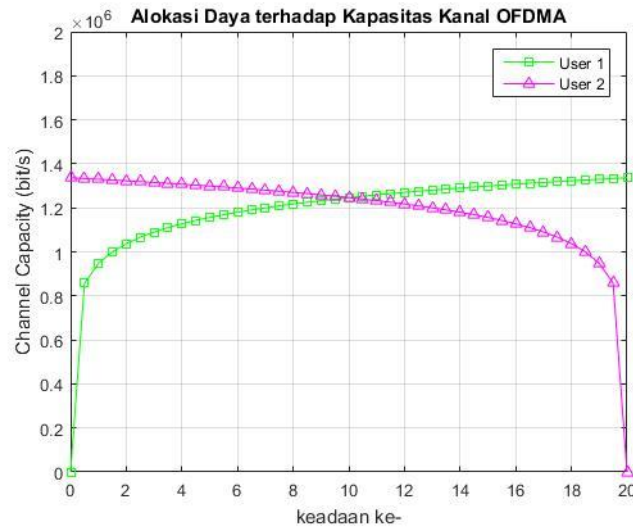
3.3 Kasitas Kanal PD-NOMA

Simulasi kapasitas kanal untuk PD-NOMA dan OFDMA menggunakan persamaan (3.5-3.8). Pada skenario ini *user 1* sebagai *user* tanpa proses SIC, sedangkan *user 2* sebagai *user* dengan proses SIC. Kondisi tersebut digunakan agar menyesuaikan dengan kriteria PD-NOMA yang mengharuskan *user* dengan *channel gain* besar menggunakan SIC dan untuk *user* dengan *channel gain* kecil tidak menggunakan SIC. Berikut adalah grafik hasil simulasi alokasi daya terhadap kapasitas kanal PD-NOMA antar *user*.



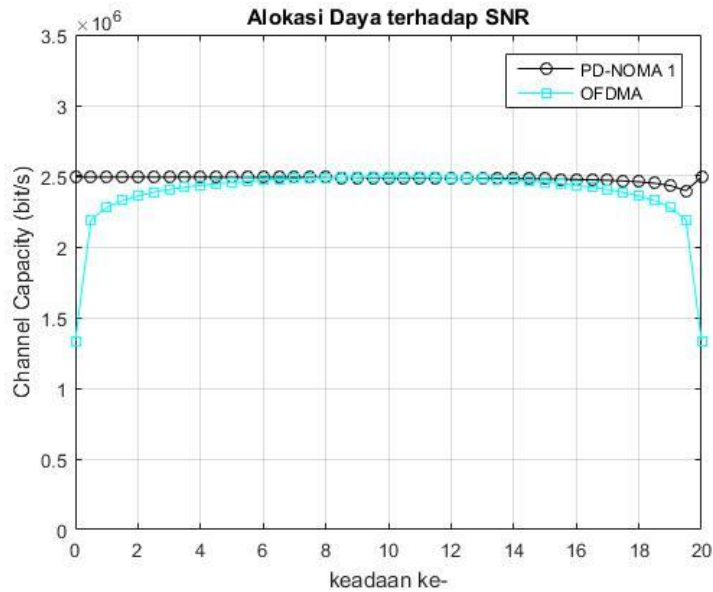
Gambar 7. Kapasitas Kanal *User* PD-NOMA

Pada gambar diatas, kapasitas kanal *user 1* pada sistem PD-NOMA lebih kecil dibandingkan kapasitas kanal *user 2*. Maka pada sistem PD-NOMA, *user* yang tidak menerapkan SIC nilai kapasitas kanalnya akan lebih kecil dibandingkan *user* yang menerapkan SIC. Hal ini disebabkan oleh sinyal *user 2* (menerapkan SIC) menjadi *noise* bagi *user 1* (tidak menerapkan SIC). Berikut adalah grafik untuk kapasitas kanal *user* OFDMA.



Gambar 8. Kapasitas Kanal *User* OFDMA

Pada gambar diatas, nilai kapasitas kanal *user* sistem OFDMA akan seimbang saat keadaan ke -10 yaitu ketika alokasi daya antar *user* sama. Karena tidak seperti seperti sistem PD-NOMA yang sinyal *user* yang satu mempengaruhi sinyal *user* lainnya. Sehingga kapasitas kanal antar *user* tidak berbeda signifikan. Berikut adalah grafik hasil simulasi alokasi daya terhadap kapasitas kanal total sistem PD-NOMA dan OFDMA.



Gambar 9. Kapasitas Kanal Total NOMA dan OFDMA

Pada gambar diatas terlihat bahwa nilai kapasitas kanal total PD-NOMA lebih besar dibandingkan dengan kapasitas kanal total OFDMA pada saat perbedaan alokasi daya signifikan. Hal ini disebabkan oleh pemanfaatan penggunaan *bandwidth* yang lebih baik pada sistem PD-NOMA.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi sistem dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk mendapatkan nilai BER dibawah 10^{-6} , *user* yang tidak menerapkan SIC harus dialokasikan daya yang lebih besar dari *user* yang menerapkan SIC ($\beta_{U1} > \beta_{U2}$). Pada kondisi dua *user* dengan nilai SNR 20, alokasi

daya mendapatkan nilai BER dibawah 10^{-6} yaitu dari 0.63:0.47 sampai 0.95:0.05. sedangkan pada kondisi tiga *user*, nilai BER BER dibawah 10^{-6} tidak tercapai.

2. Sistem PD-NOMA membutuhkan nilai SNR yang lebih besar dibandingkan sistem OFDMA agar nilai BER dibawah 10^{-6} .
3. Sensitifitas SNR terhadap BER antar *user* untuk sistem PD-NOMA tidak terpaut jauh pada saat alokasi daya 0,8:0,2. Namun, hal tersebut belum dapat menjadi acuan yang optimal. Karena SNR *user* yang tidak menerapkan SIC lebih kecil dibandingkan *user* yang menerapkan SIC ($SNR_{U1} < SNR_{U2}$). Sehingga alokasi daya yang mendekati optimal adalah 0,9:0,1.
4. Kapasitas kanal total sistem PD-NOMA lebih besar besar dibandingkan sistem OFDMA. Namun perbedaan kapasitas kanal antar *user* pada sistem PD-NOMA lebih buruk dibandingkan sistem OFDMA.

Daftar Pustaka:

- [1] L. Song dan J. Shen, *Evolved Network Planning and Optimization for UMTS and LTE*, Auerbach Publications, CRC Press, 2010.
- [2] J. Liu *et al.*, "Device-to-Device Communications Achieve Efficient Load Balancing in LTE-Advanced Networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 21, no. 2, Apr. 2014, pp. 57–65.
- [3] Y. Saito *et al.*, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access," *Proc. IEEE 77th VTC Spring*, Dresden, Germany, Juni 2013, pp. 1–5.
- [4] Z. Ding *et al.*, "On the Performance of Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems with Randomly Deployed Users," *IEEE Signal Processing Lett.*, vol. 21, no. 12, Des. 2014, pp. 1501–05.
- [5] L. Song, Y Li, dan H. Vincent Poor., "Resource Management in Non-Orthogonal Multiple Access Networks for 5G and Beyond," *IEEE Network*, Juli/Agustus 2017
- [6] S. M. Riazul Islam, Nurilla Avazov, Octavia A. Dobre, dan Kyung-Sup Kwak, "Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges," *IEEE Communication Surveys & Tutorial*, Vol. 19, No. 2, Second Quarter 2017
- [7] M. Saludin, "Perancangan Sistem OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)," Graha Ilmu, Yogyakarta, 2014.
- [8] R. C. V. Raymond, "*Cellular Radio Principles and Design Second Edition*," Macmillan Press LTD, London 1997.
- [9] K. U. Uke, "Fundamental Teknologi Selular Long Term Evolution (LTE)," Rekayasa Sains, Bandung, Januari 2012.
- [10] W. Gunawan, "Konsep Teknologi Selular," Informatika, Bandung, Januari 2008.
- [11] P. Matthias, "*Mobile Fading Channels*," John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2002.
- [12] Goldsmith Andrea, "*Wireless Communication*", Cambridge University Press Cambridge USA 2005.