

Perbandingan Kinerja *Non-Orthogonal* dan *Orthogonal Amplify and Forward* pada *Two-Way Cooperative WLAN*

Kurnia Rizki¹, Nasaruddin², Ramzi Adriman³

Abstract— Nowadays, the advancement of Wireless Local Area Network (WLAN) technology has developed very rapidly because it is very practical and has effective mobility level. In practice, there is a major problem in wireless communications systems, which is fading. Fading can cause information signal power decreasing. Fading can be overcome using a cooperative communication system, which is a method that utilizes antenna from other users (relays), using principle of diversity, hence the performance of wireless communication system is improved. A relay has several protocols on cooperative communication system, such as Amplify and Forward (AF), Decode and Forward (DF), and Compress and Forward (CF). The AF protocol is divided into two types: Non-Orthogonal Amplify and Forward (NAF) and Orthogonal Amplify and Forward (OAF). In this paper, the performance comparison of two-way NAF and OAF in terms of outage probability, throughput, and spectral efficiency is investigated. The method used is computer simulation with system modeling and performance analysis. The simulation results show that OAF protocol can minimize outage probability and increase throughput and spectral efficiency, compared to NAF protocol on two-way WLAN cooperative network.

Intisari— Pada era sekarang, kemajuan teknologi *Wireless Local Area Network* (WLAN) mengalami perkembangan yang sangat pesat karena sangat praktis dan mempunyai tingkat mobilitas efektif. Dalam penerapannya, ada masalah utama dalam sistem komunikasi nirkabel, yaitu *fading*, yang dapat menyebabkan daya sinyal informasi melemah. *Fading* dapat diatasi dengan menggunakan sistem komunikasi kooperatif yang merupakan suatu metode yang memanfaatkan antena dari pengguna lain (*relay*) dengan prinsip diversitas, sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem komunikasi nirkabel. *Relay* memiliki beberapa protokol pada sistem komunikasi kooperatif seperti *Amplify and Forward* (AF), *Decode and Forward* (DF), dan *Compress and Forward* (CF). Protokol AF terbagi atas dua jenis, yaitu *Non-Orthogonal Amplify and Forward* (NAF) dan *Orthogonal Amplify and Forward* (OAF). Dalam makalah ini, perbandingan kinerja *two-way* NAF dan OAF dalam hal *outage probability*, *throughput*, dan efisiensi spektral diselidiki. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi komputer dengan pemodelan sistem dan analisis kinerja. Hasil simulasi menunjukkan bahwa protokol OAF dapat meminimalkan *outage probability* dan meningkatkan *throughput* serta efisiensi spektral,

dibanding protokol NAF, pada jaringan kooperatif *two-way* WLAN.

Kata Kunci— *Two-way cooperative*, WLAN, *Non-Orthogonal Amplify and Forward* (NAF), *Orthogonal Amplify and Forward* (OAF).

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi *Wireless Local Area Network* (WLAN) mengalami perkembangan yang sangat pesat karena sangat praktis dan mempunyai tingkat mobilitas efektif [1]. Sistem komunikasi WLAN menyediakan informasi tanpa kabel dalam mengakses informasi dengan sangat mudah. Kapasitas tertinggi pada sistem komunikasi WLAN saat ini terdapat pada standar IEEE 802.11ac yang bekerja pada frekuensi 5 GHz dengan *data rate* mencapai 1,3 Gbps [2]. Pada penerapannya, sistem komunikasi WLAN mengalami gangguan pada saat pengiriman data dari sumber (*source*) ke tujuan (*destination*) seperti *delay*, atenuasi, *noise*, interferens, dan yang sering terjadi adalah *fading* [3]. *Fading* terjadi karena perambatan sinyal yang dipantulkan oleh berbagai objek dalam beragam lintasan, meliputi pembiasan, pantulan, difraksi, hamburan, dan redaman, sehingga menyebabkan menurunnya kinerja sistem komunikasi [4].

Sistem komunikasi kooperatif adalah salah satu solusi untuk mengatasi masalah *fading*, yaitu dengan memanfaatkan antena dari pengguna lain dengan prinsip teknik diversitas untuk mendapatkan suatu antena virtual (*relay*), sehingga dapat meningkatkan kinerja pada sistem komunikasi WLAN [5]. *Relay* berfungsi untuk membantu meneruskan sinyal informasi yang dikirimkan secara *broadcast* dari sumber ke tujuan [6]. Dengan demikian, mekanisme *relay* pada sistem komunikasi kooperatif mempunyai peran penting dalam meningkatkan kinerja sistem komunikasi WLAN. Ada beberapa protokol *relay* pada sistem komunikasi kooperatif yaitu *amplify and forward* (AF), *decode and forward* (DF), dan *compress and forward* (CF) [7]. Pada metode AF, *relay* menguatkan sinyal informasi yang diterima dari sumber dan kemudian diteruskan ke tujuan [8]. Metode ini lebih praktis karena sangat sederhana dan mudah untuk diimplementasikan, memiliki kompleksitas komputasi dan *delay* yang rendah [9]. Metode AF dapat diklasifikasi dalam dua metode yaitu *Non-Orthogonal Amplify and Forward* (NAF) dan *Orthogonal Amplify and Forward* (OAF) [10].

Untuk mengevaluasi kinerja jaringan sistem komunikasi kooperatif, dilakukan pengukuran tingkat *outage probability* yang didapatkan pada saat sinyal informasi ditransmisikan ke tujuan. Semakin rendah *outage probability* yang didapatkan, maka *throughput* dan efisiensi spektral juga akan semakin meningkat [11]. Penggunaan mode *full-duplex* untuk memperoleh efisiensi spektral yang tinggi telah dikaji pada

¹ Mahasiswa Magister Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala, Jln. Syech Abdulrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh 23111 INDONESIA (telp: 0651-7554336; e-mail:kurniarizki91@gmail.com)

^{2,3}Dosen, ²Corresponding Author, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jln. Syech Abdulrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111 INDONESIA (telp: 0651-7554336; e-mail:nasaruddin@unsyah.ac.id, ramzi.adriman@unsyah.ac.id)

penelitian sebelumnya [12]. Penelitian lain mengkaji tentang perbandingan kinerja antara protokol NAF dan protokol OAF dengan menggunakan mode *half-duplex* pada sistem komunikasi kooperatif WLAN [13]. NAF telah terbukti memiliki kinerja lebih unggul dalam menghasilkan *Frame Error Rate* (FER) yang lebih rendah dibandingkan OAF pada sistem komunikasi *half-duplex* WLAN [13]. Penelitian lain juga mengkaji tentang analisis *outage probability* dengan menggunakan perbandingan protokol AF dan DF pada mode *half-duplex* [14]. Pada protokol DF, sinyal informasi yang dikirimkan dari sumber ke *relay* akan didekodekan dan dikodekan kembali sebelum diteruskan ke tujuan. Protokol AF menghasilkan *outage probability* yang lebih rendah dibandingkan protokol DF. Namun demikian, hingga saat ini banyak penelitian hanya menganalisis kinerja berdasarkan metode AF secara umum pada sistem komunikasi kooperatif WLAN dengan mode *half-duplex*. Untuk itu, dalam makalah ini dianalisis perbandingan kinerja metode *two-way full-duplex* NAF dan OAF pada sistem kooperatif WLAN.

Makalah ini menganalisis perbandingan kinerja protokol NAF dan OAF pada sistem *two-way cooperative* untuk lingkungan *Non Line of Sight* (NLoS) dengan sinyal informasi yang dikirimkan dari sumber ke *relay* yang dipengaruhi oleh koefisien kanal dan *noise*, kemudian dikuatkan terlebih dahulu sebelum diteruskan ke tujuan. Makalah ini tidak mempertimbangkan parameter gangguan pada saat pengiriman data dari sumber ke tujuan seperti *delay*, atenuasi, dan interferensi. Untuk perbandingan kinerja tersebut, digunakan beberapa parameter yaitu *outage probability*, *throughput*, dan efisiensi spektral. Parameter-parameter tersebut kemudian disimulasikan dengan komputer menggunakan pemrograman MATLAB, sehingga penelitian ini dapat berkontribusi dalam mendapatkan protokol yang memiliki kinerja lebih baik pada sistem komunikasi kooperatif WLAN.

II. MODEL SISTEM

A. Non-Orthogonal Amplify and Forward (NAF)

NAF merupakan protokol yang menggabungkan transmisi *non-orthogonal* pada *relay* AF. Protokol NAF juga dapat meningkatkan *Diversity Multiplexing Tradeoff* (DMT) menjadi lebih optimal dengan menggunakan SNR yang tinggi pada sistem komunikasi *half-duplex*, dibandingkan dengan *relay* AF secara konvensional tanpa mempertimbangkan parameter alokasi daya [15].

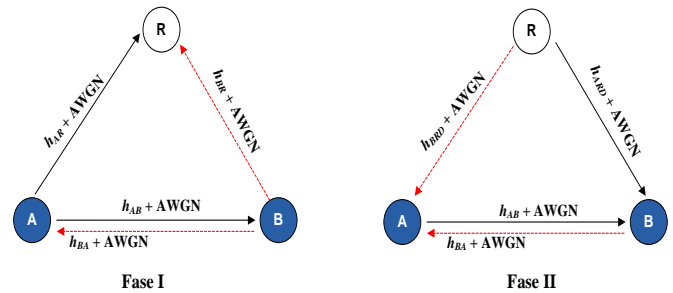
Proses transmisi sistem komunikasi *two-way* menggunakan protokol NAF ditunjukkan pada Gbr. 1. Prinsip kerja *two-way cooperative* menggunakan protokol NAF dibagi menjadi dua fase. Fase pertama, kedua sumber tersebut mengirim sinyal informasi secara *broadcast* ke tujuan dan ke *relay*, yang secara matematis dapat dinyatakan pada persamaan berikut.

$$y_{sd} = \sqrt{P_s} h_{sd} x_s + n_d, \quad (1)$$

$$y_{sr} = \sqrt{P_s} h_{sr} x_s + n_{sr}, \quad (2)$$

dengan P_s adalah jumlah rata-rata energi sinyal yang diterima dari sumber-tujuan (s-d) dan sumber-*relay* (s-r) pada tujuan,

h_{sr} dan h_{sd} adalah koefisien kanal *Rayleigh Fading* dari s-d dan s-r, sedangkan n_d dan n_{sr} adalah nilai *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dengan varian N_0 pada *relay* dan tujuan. Informasi yang diterima pada tujuan dan *relay* dipengaruhi oleh koefisien kanal *Rayleigh fading* dan penambahan AWGN.



Gbr. 1 Sistem komunikasi *two-way* menggunakan protokol NAF.

Pada fase kedua, sinyal informasi yang telah dikuatkan pada *relay* ditransmisikan kepada kedua tujuan secara bersamaan, dan sinyal informasi dari masing-masing sumber juga ditransmisikan secara langsung ke tujuan. Sinyal informasi yang diterima pada tujuan dan *relay* secara matematis dapat dinyatakan sebagai (3).

$$y_{rd} = \sqrt{P_s} h_{rd} (\beta y_{sr}) + \sqrt{P_s} h_{sd} x_s + n_{rd}. \quad (3)$$

Sinyal informasi yang dikirimkan secara langsung (y_{sd}) dari sumber ke tujuan dan sinyal yang dikuatkan melalui *relay* (y_{sr}) akan digabungkan pada tujuan menggunakan teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC), sehingga diperoleh keluaran data (y_D) yang secara matematis dapat diekspresikan sebagai (4).

$$y_D = y_{sd} + y_{rd}. \quad (4)$$

Protokol yang digunakan pada sistem komunikasi kooperatif ini adalah AF, yaitu pada *relay* terjadi proses penguatan sinyal dengan simbol β yang kemudian sinyal tersebut diteruskan ke tujuan. Proses penguatan sinyal tersebut secara matematis dapat ditulis sebagai (5).

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{P_s |h_{sr}|^2 + N_0}}. \quad (5)$$

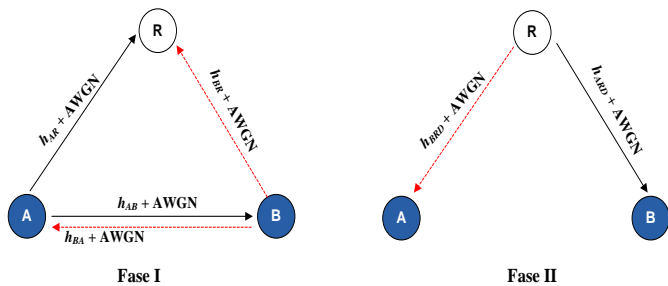
B. Orthogonal Amplify and Forward (OAF)

OAF adalah protokol yang menggabungkan transmisi *orthogonal* dengan protokol *relay* AF. Protokol OAF telah terbukti dapat menghasilkan alokasi daya yang tinggi dengan total daya yang rendah pada sistem komunikasi WLAN *half-duplex* dibandingkan dengan protokol NAF [13]. Proses transmisi sistem komunikasi *two-way* menggunakan protokol OAF ditunjukkan pada Gbr. 2. Fase pertama pada sistem komunikasi *two-way* menggunakan protokol OAF adalah kedua sumber tersebut mengirim sinyal informasi secara *broadcast* ke tujuan dan ke *relay*. Pada proses transmisi, sinyal informasi tersebut dipengaruhi oleh kanal *Rayleigh fading* dan AWGN. Sinyal informasi yang diterima pada kedua tujuan dan *relay* secara matematis dapat dilihat pada (1)

dan (2). Pada fase kedua, sinyal informasi yang telah dikuatkan pada *relay* sama-sama ditransmisikan kepada kedua tujuan yang secara matematis dapat dinyatakan pada (6). Pada sistem komunikasi *two-way* menggunakan protokol OAF tidak terdapat proses transmisi sinyal informasi yang ditransmisikan secara langsung dari sumber ke tujuan. Hal ini yang membedakan protokol OAF dan NAF.

$$y_{rd} = \sqrt{P_s} h_{rd} (\beta y_{sr}) + n_{rd}. \tag{6}$$

Pada tujuan, sinyal informasi yang dikirimkan secara langsung dari sumber ke tujuan dan sinyal yang dikuatkan melalui *relay* akan digabungkan menggunakan teknik MRC yang secara matematis dapat dinyatakan seperti pada (4).



Gbr. 2 Sistem komunikasi *two-way* menggunakan protokol OAF.

III. ANALISIS DAN SIMULASI

A. Analisis Kinerja Jaringan Kooperatif

Berdasarkan prinsip kerja protokol NAF dan OAF, model jaringan kooperatif *two-way* pada jaringan komunikasi kooperatif WLAN dapat diilustrasikan seperti pada Gbr. 3. Beberapa faktor yang perlu dihitung untuk mengukur kinerja sistem komunikasi kooperatif WLAN adalah sebagai berikut.

1) *Outage Probability*: *Outage probability* merupakan nilai probabilitas SNR yang digunakan di bawah nilai SNR dari batas ambang. *Outage probability* mengakibatkan terjadinya pengurangan energi dalam pengiriman informasi sehingga terjadi kegagalan pengiriman informasi. *Outage probability* merupakan salah satu parameter untuk menentukan kinerja sistem jaringan *relay* nirkabel dan dapat ditentukan sebagai berikut [16].

$$P_{out} = 1 - e^{-\frac{Y_{th}}{Y}} \tag{7}$$

dengan:

- P_{out} adalah *outage probability* jaringan komunikasi kooperatif,
- Y_{th} adalah *SNR threshold* yaitu nilai SNR batas ambang pada sistem komunikasi kooperatif, dan
- Y adalah SNR rata-rata, yaitu jumlah nilai SNR dari semua sinyal yang diterima oleh *receiver* dari sumber dan *relay*.

2) *Throughput*: *Throughput* adalah ukuran *bandwidth* yang sebenarnya dalam satuan waktu dan pada kondisi jaringan tertentu yang digunakan untuk melakukan pengiriman data

(informasi) dengan ukuran tertentu. Semakin tinggi *throughput* yang didapatkan pada sistem komunikasi, maka semakin banyak informasi yang ditransmisikan dalam satuan waktu. *Throughput* dapat ditentukan dengan (8) [17].

$$E_r = (1 - P_{out}(r))r \tag{8}$$

dengan E_r adalah *throughput* (bps) dan r adalah *bit rate* (bps). *Bit rate* adalah ukuran kecepatan bit suatu informasi yang dikirimkan dari satu titik ke titik lainnya dengan satuan *bit per second*.

3) *Efisiensi Spektral*: Efisiensi spektral adalah suatu metode pada sistem komunikasi untuk mengukur kecepatan data yang bisa ditransmisikan melalui *bandwidth* dalam satuan bps/Hz, yang artinya *throughput* maksimum dibagi dengan *bandwidth* dalam Hertz dari saluran komunikasi. Efisiensi spektral dapat dirumuskan dengan menggunakan (9) [18].

$$\varepsilon = \frac{n \cdot r}{(1 + \alpha)} \cdot (1 - P_{out}) \tag{9}$$

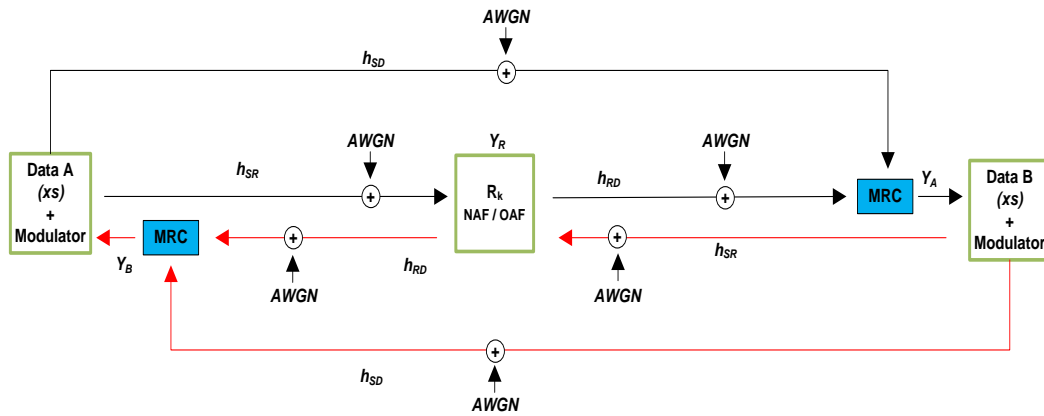
dengan ε adalah efisiensi spektral (bps/Hz), n adalah modulasi (*bit/symbol*), r adalah *data rate* (bps), dan α adalah *roll of factor*. *Roll of factor* adalah tingkat ukuran lebar frekuensi yang mengacu pada jenis modulasi yang digunakan. Pada makalah ini digunakan modulasi BPSK dengan nilai optimum *roll of factor* antara 2 hingga 2,5.

B. Parameter Simulasi

Simulasi komputer dilakukan berdasarkan model jaringan pada Gbr. 3 dan analisis kinerja jaringan kooperatif yang telah dijelaskan dengan menggunakan protokol NAF dan OAF. Simulasi komputer dilakukan menggunakan pemrograman MATLAB, menggunakan beberapa parameter terkait model jaringan tersebut seperti pada Tabel I. Parameter tersebut di antaranya adalah jumlah maksimum bit data yang dikirimkan 100.000 bit. Parameter lainnya adalah penggunaan *range* SNR 0 sampai dengan 30 dB yang menjadi acuan pada transmisi sinyal informasi. Nilai *data rate* yang digunakan pada penelitian ini dari standar WLAN IEEE 802.11ac yaitu 65 Mbps [19].

TABEL I
PARAMETER SIMULASI

No	Parameter	Keterangan
1.	Data	100.000 bits
2.	Jenis Modulasi	BPSK
3.	<i>Channel Fading</i>	<i>Rayleigh fading</i>
4.	Jumlah sumber	1
5.	Jumlah <i>relay</i>	1
6.	Jumlah tujuan	1
7.	Protokol <i>relay</i>	NAF dan OAF
8.	<i>Path Loss Exponent</i>	2
9.	Penggabungan Informasi	MRC
10.	Range SNR	0-30 dB
11.	Jarak <i>source-destination</i>	Variabel
12.	<i>Bandwidth</i>	160 Hz
13.	<i>Roll of factor</i>	2



Gbr. 3 Jaringan kooperatif *two-way* menggunakan Protokol NAF dan OAF.

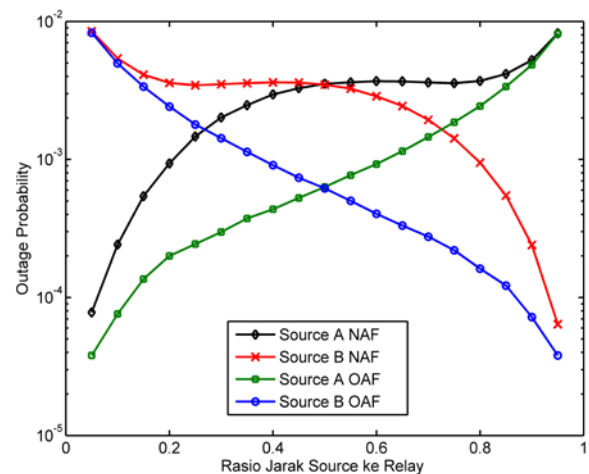
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Outage Probability

Pada simulasi komputer untuk perbandingan kinerja *outage probability*, pengiriman sinyal informasi dari sumber ke tujuan dilakukan dengan menggunakan dua protokol yang berbeda pada sistem komunikasi kooperatif WLAN, yaitu protokol NAF dan OAF. Simulasi ini mempertimbangkan jarak antara sumber ke *relay* dan *relay* ke tujuan. Kemudian, jarak tersebut dinyatakan dalam bentuk rasio antara 0 – 1. Masing-masing protokol tersebut disimulasikan pada jaringan *two-way* kooperatif dengan *single relay* dan kondisi kanal pada simulasi ini berada pada lingkungan NLoS, yaitu tidak ada lintasan langsung dalam transmisi sinyal tersebut. Hasil simulasi komputer untuk hubungan kinerja *outage probability* dengan rasio jarak pada jaringan *two-way* WLAN NAF dan OAF untuk SNR sebesar 20 dB ditunjukkan pada Gbr. 4. Rasio jarak dari sumber A ke *relay* bertambah secara linier, sedangkan rasio jarak sumber B ke *relay* adalah kebalikannya. Misalnya, rasio jarak sumber A ke *relay* adalah 0,05, maka jarak sumber B ke *relay* adalah 0,95. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa nilai *outage probability* semakin besar seiring besarnya rasio jarak antara sumber dan *relay*, sehingga kinerja sistem kooperatif WLAN menurun. Kemudian, jaringan kooperatif WLAN yang memiliki *relay* berada di dekat sumber menghasilkan nilai *outage probability* yang lebih kecil, sehingga memiliki sistem kinerja yang lebih baik. Pada simulasi tersebut, nilai *outage probability* yang sama didapatkan jika kondisi antara sumber A dan sumber B memiliki jarak yang sama dengan *relay*.

Nilai kinerja *outage probability* yang didapatkan pada saat SNR sebesar 20 dB untuk protokol NAF dengan rasio jarak sumber ke *relay* sebesar 0,05 adalah $8,7 \times 10^{-5}$ dan jarak *relay* berada di tengah dengan rasio jarak sebesar 0,5 adalah $3,4 \times 10^{-3}$. Sedangkan *outage probability* dengan SNR sebesar 20 dB pada protokol OAF dengan rasio jarak sumber ke *relay* sebesar 0,05 adalah 4×10^{-5} dan pada rasio jarak 0,5 adalah $5,5 \times 10^{-4}$. Hasil simulasi ini membuktikan bahwa kinerja *outage probability* terhadap jarak sumber ke *relay* pada SNR sebesar 20 dB untuk sistem komunikasi *two-way* WLAN, kinerja protokol OAF lebih baik dibandingkan

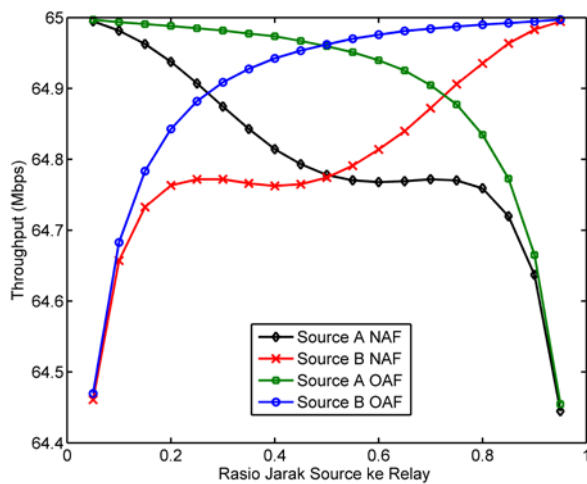
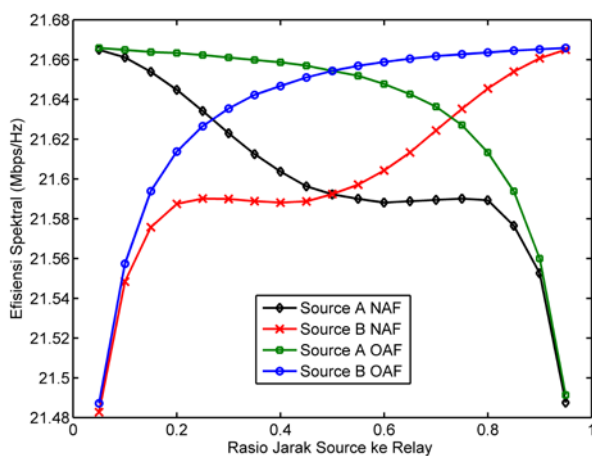
protokol NAF, dengan nilai *outage probability* OAF lebih kecil dibandingkan NAF, pada rasio jarak yang sama. Hal ini dikarenakan pada sistem komunikasi kooperatif WLAN menggunakan protokol NAF terdapat penambahan sinyal dari sumber ke tujuan pada fase kedua sebelum mengalami proses penggabungan sinyal dengan teknik MRC. Penambahan sinyal langsung juga mengakibatkan bertambahnya *noise* dan *fading* pada sinyal informasi yang ditransmisikan, sehingga kinerja protokol NAF menurun.



Gbr. 4 Perbandingan *outage probability* menggunakan SNR 20 dB.

B. Throughput

Hasil simulasi perbandingan kinerja *throughput* terhadap rasio jarak antara sumber ke *relay* pada perbandingan *two-way* WLAN NAF dan OAF pada SNR sebesar 20 dB ditunjukkan pada Gbr. 5. Nilai *throughput* semakin kecil seiring bertambahnya rasio jarak antara sumber ke *relay*. Nilai *throughput* yang tinggi dihasilkan dari *bandwidth* tinggi yang digunakan dan nilai *outage probability* yang rendah. Berdasarkan Gbr. 5, jaringan kooperatif WLAN dengan jarak *relay* berada di dekat sumber menghasilkan nilai *outage probability* yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan nilai *throughput* yang didapatkan akan menjadi tinggi, sehingga menghasilkan kinerja sistem komunikasi kooperatif yang lebih baik (*outage probability* rendah dan *throughput* tinggi).

Gbr. 5 Perbandingan *throughput* menggunakan SNR 20 dB.

Gbr. 6 Perbandingan efisiensi spektral menggunakan SNR 20 dB.

Hasil simulasi membuktikan bahwa hasil *throughput* terhadap rasio jarak antara sumber ke *relay* dengan SNR sebesar 20 dB pada sistem komunikasi kooperatif *two-way* WLAN. *Throughput* jaringan protokol OAF lebih besar dibandingkan dengan protokol NAF. Karakteristik ini diperoleh karena hasil *outage probability* yang didapatkan dengan protokol OAF lebih kecil dibandingkan protokol NAF.

C. Efisiensi Spektral

Proses simulasi efisiensi spektral dilakukan berdasarkan (9) dan diketahui bahwa efisiensi spektral dipengaruhi oleh *outage probability*, proses modulasi, dan *data rate* yang digunakan, yaitu untuk WLAN IEEE 802.11ac dengan modulasi BPSK mempunyai *data rate* 65 Mbps. Gbr. 6 merupakan hasil simulasi hubungan kinerja efisiensi spektral terhadap rasio jarak antara sumber ke *relay* pada sistem kooperatif *two-way* WLAN NAF dan OAF.

Hasil simulasi pada Gbr. 6 menunjukkan bahwa efisiensi spektral semakin tinggi pada jarak sumber dekat ke *relay*, *data rate*, dan *roll of factor* yang digunakan. Efisiensi spektral juga dipengaruhi oleh parameter *outage probability*. Semakin kecil

outage probability yang didapatkan, efisiensi spektral yang dihasilkan juga akan meningkat. Sebaliknya, efisiensi spektral akan menurun ketika rasio jarak sumber ke *relay* semakin jauh dan *outage probability* yang didapatkan semakin besar. Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan bahwa protokol OAF memiliki nilai efisiensi spektral yang lebih tinggi dibandingkan dengan protokol NAF. Hal ini dapat dilihat pada Gbr. 6, yaitu hasil efisiensi spektral menggunakan protokol NAF dengan rasio jarak sumber ke *relay* 0,5 sebesar 21,59 Mbps/Hz, sedangkan efisiensi spektral menggunakan protokol OAF dengan rasio jarak sumber ke *relay* 0,5 sebesar 21,65 Mbps/Hz. Pada simulasi tersebut, nilai efisiensi spektral adalah sama ketika jarak *relay* terhadap sumber A dan B sama atau berada di antaranya.

V. KESIMPULAN

Makalah ini telah menganalisis perbandingan kinerja sistem komunikasi kooperatif *two-way* WLAN dengan menggunakan protokol NAF dan OAF. Selanjutnya, analisis matematis sesuai dengan model jaringan dan simulasi komputer telah dilakukan untuk evaluasi dan perbandingan kinerja yang meliputi *outage probability*, *throughput*, dan efisiensi spektral. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin dekat jarak sumber dengan *relay* dan semakin besar nilai SNR yang digunakan, maka nilai *outage probability* semakin kecil. Kemudian, *throughput* dan efisiensi spektral tergantung pada nilai *outage probability*, yaitu semakin kecil nilai *outage probability* yang didapatkan, maka *throughput* dan efisiensi spektral yang dihasilkan semakin tinggi. Efisiensi spektral dipengaruhi juga oleh *roll of factor* dan besarnya *bandwidth* yang digunakan. Berdasarkan hasil-hasil simulasi tersebut, protokol OAF menghasilkan sistem komunikasi kooperatif *two-way* WLAN yang lebih efektif dibandingkan dengan protokol NAF. Hal ini disebabkan oleh proses penggabungan sinyal informasi pada tujuan menggunakan teknik MRC, yaitu pada protokol NAF terdapat penambahan sinyal langsung dari sumber ke tujuan pada fase kedua yang menyebabkan bertambahnya *fading* dan *noise* pada sinyal informasi, sehingga kinerja protokol NAF lebih rendah dibandingkan dengan protokol OAF.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Hibah Tim Pascasarjana yang berjudul "Green Communications Pada Sistem Komunikasi Kooperatif Nirkabel" yang didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Tahun 2017.

REFERENSI

- [1] L. Guo, X. Ding, H. Wang, Q. Li, S. Chen, and X. Zhang, "Cooperative relay service in a wireless LAN," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC)*, vol. 25, no. 2, pp. 355-368, February 2007.
- [2] Matthew S. Gast, *802.11ac: A Survival Guide*, 1st ed. O'Reilly Media, USA, 2013.
- [3] IBM Corporation, *Wireless LAN Communications*, 1st ed. IBM Corp, USA, 1996.
- [4] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University, United Kingdom, 2005.

- [5] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [6] F. Akhyar, Nasaruddin, R. Muharar, "Efisiensi Energi Sistem Komunikasi Kooperatif Multi-relay Quantize and Forward Berdasarkan Pemilihan Relay," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 6, No. 1, Februari 2017.
- [7] S. Berger, "Coherent Cooperative Relaying in Low Mobility Wireless Multiuser Networks," Dissertation, Technische Universität München, München, Germany, 2010.
- [8] Z. Zhipeng and J. C. Belfiore, "Application of Cooperative Diversity in 802.11a Ad-Hoc Network," *Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks*, Honolulu, Hawaii, Aug. 2007.
- [9] L. J. Rodriguez, N. Tran, T. Le-Ngoc, *Amplify-and-Forward Relaying in Wireless Communications*, Springer Cham Heidelberg, London, New York. 2015.
- [10] A. Saadani and O. Traore, "Orthogonal or non Orthogonal Amplify and Forward Protocol: How to Cooperate?," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 368-373, 2008.
- [11] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Outage Optimality of Opportunistic Amplify-and-Forward Relaying," *IEEE Communications Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 261-263, March 2007.
- [12] D. Nguyen, L. Tran, P. Pirinen and M. Latva-aho, "Precoding for Full Duplex Multiuser MIMO Systems: Spectral and Energy Efficiency Maximization," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 61, no. 16, pp. 4038-4050, Aug. 2013.
- [13] J. Chen, K. Djouani and K. Barkaoui, "Orthogonal and Non Orthogonal Cooperative Protocols in WLANs," *IEEE International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication System*, Jan. 2009.
- [14] X. Liang, S. Jin, W. Wang, X. Gao and K. Kit, "Outage probability of Amplify and Forward Two-way Relay Interference Limited Systems," *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, vol. 61, no. 7, pp. 3038-3049, Sept. 2012.
- [15] B. Youngtaek, J. Sungkyu, and L. Jungwoo, "Performance Comparison of Orthogonal and Non-orthogonal AF Protocols in Cooperative Relay Systems," *In Vehicular Technology Conference*, Barcelona, Spanyol, Apr. 2012.
- [16] M. K. Siomon and M. S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*, Wiley Series in Telecommunication and Signal Processing, 2005.
- [17] Mohammed, A. Hasan, B. Huang, Benxiong, Azhar, M. Xu, Guang, Qin, PengYu and Shui, "A Survey and Tutorial of Wireless Relay network Protocols based on Network coding," Department of Electronics and Information Engineering, China. 2013.
- [18] F. Khan, *LTE for 4G Mobile Broadband*. Cambridge University, United Kingdom, 2009.
- [19] IEEE Computer Society, *IEEE Std 802.11ac: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, USA, 2013.