

Penggunaan Protokol Non-orthogonal Amplify-and-forward pada Jaringan Kooperatif Nirkabel dengan Antena Jamak Virtual

Yunida Yunida, Nasaruddin Nasaruddin, Rusdha Muharar, Yuwaldi Away

Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia
*E-mail: yunida91@mhs.unsyiah.ac.id, nasaruddin@unsyiah.ac.id

Abstrak

Kinerja sistem komunikasi nirkabel dipengaruhi oleh *fading* yang merupakan fenomena fluktuasi amplitudo dan fasa sinyal yang diterima oleh tujuan. Oleh sebab itu kemungkinan untuk mendapatkan sinyal yang sama atau mendekati sinyal asli di tujuan sangat sulit. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan teknik diversitas spasial berupa sistem komunikasi kooperatif dimana terdapat sebuah atau lebih terminal relay yang membentuk antena virtual untuk membantu pengiriman informasi ke tujuan. Pada terminal relay, sinyal informasi yang diterima akan diproses terlebih dahulu menggunakan protokol kooperatif sebelum diteruskan ke tujuan. Terdapat beberapa jenis protokol kooperatif pada jaringan relay, salah satunya ialah *non-orthogonal amplify-and-forward* (NAF). Pada makalah ini akan di analisis penerapan protokol kooperatif NAF pada sistem kooperatif berupa sebuah terminal sumber (TS) dan N -buah terminal relay (TR). Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memperoleh peningkatan kinerja jaringan kooperatif nirkabel melalui penerapan protokol NAF dan membandingkannya dengan protokol AF. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja jaringan kooperatif nirkabel dengan menggunakan protokol NAF menghasilkan tingkat diversitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan protokol AF. Serta tingkat gain diversitas sistem juga dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah TR yang berperan sebagai antena jamak virtual, yaitu sebesar 2^N .

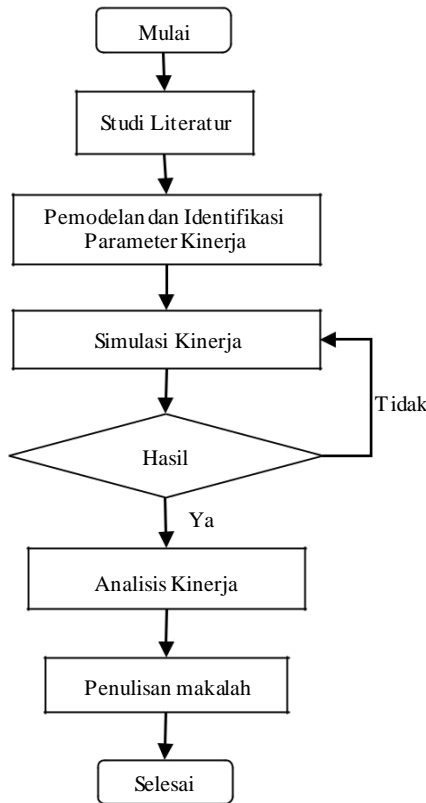
1. Pendahuluan

Penurunan tingkat diversitas atau kinerja suatu sistem komunikasi nirkabel sangat dipengaruhi oleh kondisi kanal transmisinya, salah satunya yaitu *multipath fading* yang merupakan kelemahan utama kanal nirkabel dimana sinyal informasi yang dikirim dalam berbagai lintasan akan mengalami perubahan selama perambatannya [1]. Saat ini salah satu solusi untuk mengurangi dampak penurunan kualitas sinyal informasi tersebut dapat diperoleh melalui kerjasama antara terminal-terminal dalam sebuah jaringan yang disebut dengan sistem komunikasi kooperatif [2, 3]. Proses pentransmisi informasi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel dilakukan melalui bantuan satu atau lebih terminal terdekat yang disebut dengan relay, yang membentuk antena virtual untuk meneruskan informasi ke suatu tujuan.

Sebelum penerusan informasi ke tujuan, sinyal informasi dari terminal sumber akan terlebih dahulu diproses di terminal relay melalui penerapan protokol kooperatif. Jenis protokol kooperatif yang sering digunakan pada umumnya bersifat *orthogonal* yang terbagi dua yaitu protokol *decode-and-forward* (DF) [4] dan *amplify-and-forward* (AF) [5]. Protokol DF memiliki proses yang lebih kompleks dibandingkan dengan protokol AF, dimana sinyal yang diterima akan didekodekan terlebih dahulu kemudian dikodekan kembali (*re-encode*) untuk menghilangkan delay yang disebabkan oleh proses pendkodean. Sedangkan untuk protokol AF memiliki proses yang lebih sederhana, dimana sinyal yang diterima pada terminal relay akan diperkuat untuk mengimbangi pelemahan sinyal yang terjadi di jalur transmisi.

Meskipun protokol *orthogonal* memberikan keuntungan dalam hal kecepatan dan diversitas yang tinggi, akan tetapi efisiensi spektral dari protokol ini masih kecil, dimana suatu terminal sumber harus tetap diam pada saat proses transmisi kedua [6]. Hal ini mendorong munculnya kehadiran protokol *non-orthogonal* dimana terminal sumber diizinkan untuk mentransmisikan sinyal informasi secara kontinu. Jenis protokol *non-orthogonal* yang dikenal dengan keunggulannya adalah protokol *non-orthogonal AF* (NAF), dimana derajat tumbukan (*collision*) dalam proses *broadcast*-an dan penerimaan dapat semakin maksimal [6, 7].

Pada makalah ini akan dianalisis penerapan protokol NAF pada jaringan kooperatif nirkabel dimana terdapat sebuah terminal sumber (TS) yang ingin mengirimkan informasi ke sebuah tujuan melalui bantuan N -buah terminal relay (TR) yang membentuk sistem antena jamak virtual. Setiap terminal sumber dan relay memiliki satu antena dan beroperasi pada mode *half-duplex*. Metode penelitian yang digunakan adalah secara kuantitatif yang mencakup analisis matematis dan simulasi. Simulasi dilakukan terhadap analisis sistem secara matematis dengan bantuan program MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan protokol NAF pada jaringan kooperatif nirkabel menghasilkan tingkat diversitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan protokol AF. Serta tingkat diversitas sistem juga dapat ditingkatkan sebesar 2^N dengan meningkatkan jumlah TR pada jaringan yang berperan sebagai antena jamak virtual.



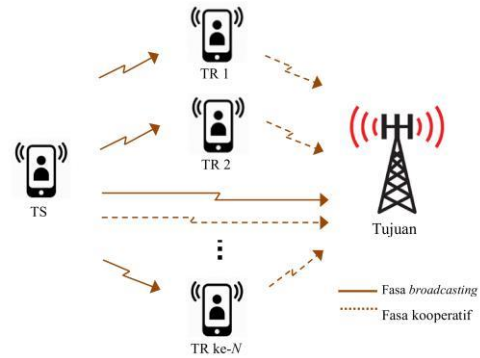
Gambar 1. Metode dan tahapan penelitian

2. Metode Penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan diagram *flowchart* penelitian dapat dilihat bahwa penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian literatur terbaru dan terkait sistem komunikasi kooperatif *non-orthogonal* dari berbagai referensi baik berupa jurnal, prosiding, maupun buku cetak. Selanjutnya dilakukan pemodelan sistem dan identifikasi parameter kinerja jaringan kooperatif nirkabel yang dilanjutkan dengan simulasi numerik dengan menggunakan program MATLAB untuk melihat tingkat kinerja yang dihasilkan. Selanjutnya apabila hasil simulasi yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan, maka akan dilakukan analisis sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan.

3. Pemodelan Sistem

Model topologi jaringan kooperatif nirkabel *non-orthogonal* yang dipertimbangkan pada makalah ini terdiri dari sebuah terminal sumber (TS) yang ingin mengirimkan informasi ke sebuah tujuan melalui bantuan beberapa terminal relay (TR) di sekitarnya yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setiap TS dan TR memiliki satu antenna dan beroperasi pada mode *half-duplex* dimana proses transmisi dan penerimaan sinyal informasi tidak dapat dilakukan secara bersamaan. Proses komunikasi terbagi dalam dua fasa transmisi yaitu fasa *broadcasting* dan fasa kooperatif yang memiliki durasi waktu yang sama.



Gambar 2. Model topologi jaringan kooperatif *non-orthogonal* dengan antenna jamak virtual

Pada fasa pertama, TS mem-*broadcast* sinyal informasi ke tujuan dan ke semua terminal terdekat, berupa N -buah TR secara bersamaan. Setiap TR diasumsikan tidak memiliki informasi yang akan dikirim ke tujuan dengan kanal transmisi berupa kanal *flat Rayleigh fading*. Masing-masing TR menerima sinyal dan kemudian menguatkan sinyal yang diterima tersebut dengan menggunakan protokol AF. Sinyal yang mengalami penguatan di setiap TR tersebut kemudian diteruskan ke tujuan pada fasa kedua (fasa kooperatif). Dengan mengasumsikan bahwa sistem merupakan kooperatif *non-orthogonal*, maka setiap TR akan mentransmisikan kembali sinyal informasi ke tujuan pada fasa kooperatif. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat keakuratan pada saat proses pendeteksian sinyal di tujuan.

3.1. Fasa *Broadcasting*.

Pada fasa *broadcasting*, TS mengirimkan sinyal informasi ke tujuan dan ke semua TR secara bersamaan. Sinyal yang diterima oleh tujuan dan TR ke- k secara berturut-turut dapat ditulis sebagai

$$y_{sd_1} = h_{sd_1} x + n_{d_1}, \quad (1)$$

$$y_{r_k} = h_{sr_k} x + n_{r_k}, \quad (2)$$

dimana x adalah sinyal informasi TS yang ingin dikirim ke tujuan. h_{sd_1} dan h_{sr_k} berturut-turut adalah koefisien kanal acak yang terdistribusi secara Gaussian dari link antara TS dengan tujuan pada fasa pertama dan TS dengan TR ke- k , dimana $k = 1, 2, \dots, N$ merupakan jumlah TR. Sedangkan n_{d_1} dan n_{r_k} berturut-turut adalah *additive white Gaussian noise* (AWGN) pada tujuan untuk fasa pertama dan TR ke- k dengan *zero-mean* dan varians N_0 .

Sinyal yang diterima di setiap TR kemudian akan dikuatkan dengan menggunakan protokol AF dengan faktor penguatan yang didefinisikan sebagai

$$\beta_k = \sqrt{\frac{P_r}{P_s |h_{sr_k}|^2 + N_0}} \quad (3)$$

dimana P_r dan P_s masing-masing adalah daya transmit rata-rata tiap TR dan TS. Pada makalah ini TS dan setiap TR diasumsikan memiliki daya transmit yang sama.

3.2. Fasa Kooperatif

Sinyal informasi yang mengalami penguatan pada setiap TR ke- k dapat ditulis sebagai

$$x_{r_k} = \beta_k y_{r_k}, \quad (4)$$

Kemudian sinyal yang telah dikuatkan selanjutnya diteruskan ke tujuan oleh setiap TR secara bersamaan pada fasa kooperatif. Selain itu TS juga akan mengirimkan kembali sinyal informasi secara langsung ke tujuan sebagai penerapan sifat ketidak-ortogonalan sistem komunikasi kooperatif. Sehingga total sinyal yang diterima di tujuan pada fasa kedua ini dapat didefinisikan sebagai

$$y_{d_2} = \sum_{k=1}^N (h_{rd_k} x_{r_k} + n_{r_k}) + h_{sd_2} x + n_{d_2}, \quad (5)$$

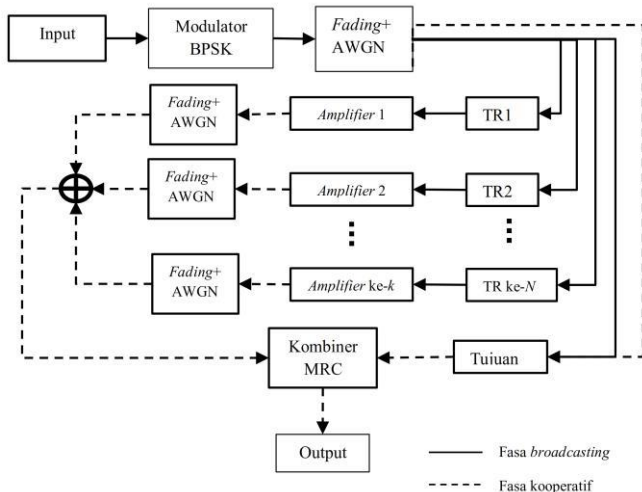
dimana x dan x_{r_k} berturut-turut adalah sinyal yang ditransmisikan oleh TS dan TR ke- k dengan $k = 1, 2, \dots, N$ merupakan jumlah TR. h_{rd_k} dan h_{sd_2} berturut-turut adalah koefisien kanal acak yang terdistribusi secara Gaussian dari link antara TR ke- k dengan tujuan dan TS dengan tujuan pada fasa kedua. n_d dan n_{r_k} berturut-turut adalah *noise* di perangkat tujuan dan TR ke- k .

Akhirnya, semua sinyal dari setiap fasa transmisi akan dikombinasikan di tujuan dengan menggunakan teknik kombinasi *maximum ratio combining* (MRC). Sehingga total semua sinyal yang diterima oleh tujuan dapat ditulis sebagai

$$y_d = y_{sd_1} + y_{d_2}. \quad (6)$$

4. Pengaturan Simulasi

Sebelum simulasi dijalankan, terlebih dahulu akan dijelaskan beberapa tahapan proses simulasi dan parameter kinerja untuk sistem komunikasi kooperatif *non-orthogonal* dengan beberapa TR sebagai antena jamak virtual.



Gambar 3. Bagan alur tahapan simulasi

4.1. Bagan Simulasi

Proses dalam mensimulasikan hasil analisis matematis pada bagian sebelumnya dapat diilustrasikan pada Gambar 3. Input merupakan bit informasi dari TS yang akan dikirimkan ke tujuan dan ke N -buah TR secara bersamaan yang terlebih dahulu dimodulasikan dengan modulator *binary phase shift keying* (BPSK). Sinyal informasi yang telah dimodulasikan tersebut akan mengalami *fading* di kanal transmisi dan *noise* di perangkat penerima. Selanjutnya pada fasa kedua setiap TR akan menguatkan sinyal yang diterima dengan *amplifier* dan meneruskannya ke tujuan. Di tujuan setiap sinyal dari TS dan semua TR dikombinasikan dengan kombiner *maximum ratio combining* (MRC) yang selanjutnya akan menjadi output data informasi.

4.2. Parameter Simulasi

Pada sub-bagian ini akan dipertimbangkan beberapa parameter kinerja sistem komunikasi kooperatif *non-orthogonal* dengan dua antena virtual, yaitu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

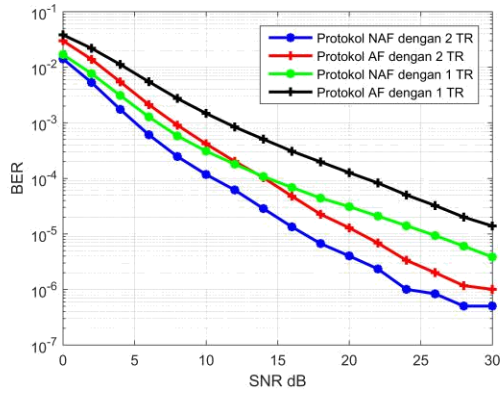
Table 1: Parameter kinerja jaringan kooperatif non-orthogonal dengan dua antena virtual.

Parameter	Jumlah satuan
Kanal transmisi	<i>Flat fading</i>
Modulasi	BPSK
Bit informasi	100.000 bit
Jumlah TS	1 buah
Jumlah TR (N)	1-4 buah
Kombiner	MRC
Noise varians (N_0)	1
Range SNR	0-30 dB

5. Hasil Simulasi

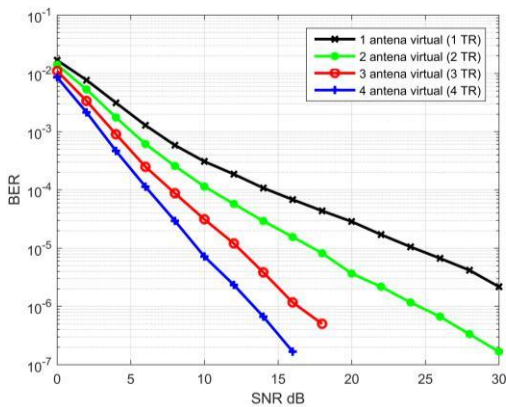
Pada bagian ini akan analisis hasil simulasi sebagai tahapan validasi terhadap hasil analisis matematis. Parameter untuk menentukan kinerja jaringan kooperatif nirkabel dengan protokol NAF dengan N -buah TR yang diasumsikan pada makalah ini adalah *bit error rate* (BER) rata-rata dan *signal-to-noise ratio* (SNR).

Pertama kami membandingkan kinerja jaringan kooperatif nirkabel dengan mempertimbangkan jenis protokol yang berbeda untuk satu dan dua buah TR yang ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa penggunaan protokol NAF dengan 2 TR pada jaringan kooperatif nirkabel menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan protokol AF dengan 1 dan 2 TR, serta protokol NAF dengan 1 TR. Peningkatan jumlah TR dari 1 ke dua buah terminal juga menyebabkan meningkatnya kinerja sistem. Pada BER rata-rata menunjukkan nilai 1×10^{-4} , protokol NAF dengan 2 buah TR menghasilkan gain diversitas yang besar, yaitu sekitar 4 dB dibandingkan protokol AF dengan 2 buah TR dan protokol NAF dengan 1 TR, serta sekitar 10 dB daripada protokol AF dengan 1 buah TR.



Gambar 4. Perbandingan kinerja jaringan kooperatif nirkabel dengan protokol AF dan NAF

Selain itu, berdasarkan grafik kinerja di atas juga dapat diamati bahwa pada SNR yang lebih rendah, penggunaan protokol NAF dengan 1 TR lebih unggul dibandingkan dengan protokol AF dengan 2 TR. Hal ini terlihat pada titik perpotongan kedua kurva tersebut yaitu pada SNR sebesar 12 dB. Untuk SNR lebih kecil dari 12 dB, penggunaan protokol NAF dengan N -buah TR lebih optimal dibandingkan dengan protokol AF dengan $(N+1)$ -buah TR. Peningkatan kinerja yang dihasilkan oleh penggunaan protokol NAF pada jaringan kooperatif nirkabel ini disebabkan oleh adanya penerusan kembali sinyal informasi oleh terminal sumber ke tujuan pada fasa transmisi kedua. Sehingga peluang untuk mendapatkan informasi yang benar proses pendeteksian di tujuan lebih besar.



Gambar 5. Perbandingan tingkat diversitas jaringan kooperatif NAF dengan N -buah antenna virtual

Selanjutnya simulasi dilakukan terhadap jaringan kooperatif nirkabel dengan protokol NAF dengan jumlah antenna virtual yang berbeda yang ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa peningkatan jumlah terminal relay sebagai antenna jamak virtual untuk membantu penerusan informasi ke tujuan dapat meningkatkan gain diversitas dan kinerja sistem. Sistem kooperatif NAF dengan $N = 4$ TR mengasilkan tingkat diversitas yang lebih besar dari sistem lainnya yaitu sistem

dengan buah TR yang lebih kecil. Hal ini dapat dilihat dengan perolehan gain diversitas masing-masing sebesar 2 dB, 4 dB, dan 8 dB berturut-turut untuk sistem dengan 1, 2, dan 3 buah antenna virtual pada BER rata-rata sebesar 1×10^{-4} . Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatkan jumlah antenna virtual sebanyak N -buah terminal, maka tingkat diversitas yang dapat dicapai adalah sebesar 2^N . Pencapaian ini sama halnya dengan perolehan tingkat diversitas pada sistem spasial penerima dengan teknik multi-antena nyata. Akan tetapi penggunaan teknik antenna jamak virtual lebih hemat dan praktis, dimana untuk sistem multi-antena nyata diperlukan adanya penyediaan *space* yang lebih besar untuk suatu perangkat komunikasi yang umumnya berukuran lebih kecil.

6. Kesimpulan

Pada makalah ini telah dianalisis penggunaan protokol *non-orthogonal* AF (NAF) pada jaringan kooperatif nirkabel dengan dua antenna virtual dimana terdapat dua terminal relay yang membantu dalam meneruskan sinyal informasi ke tujuan. Metode penelitian yang digunakan adalah secara kuantitatif yang mencakup analisis matematis dan simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan protokol NAF pada jaringan kooperatif nirkabel dengan N -buah TR menghasilkan tingkat diversitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan protokol AF. Serta tingkat diversitas sistem juga dapat ditingkatkan sebesar 2^N dengan menggunakan jumlah TR atau antenna virtual yang lebih besar.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Indonesia yang telah mensponsori penelitian ini di bawah program beasiswa “Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjan Unggul (PMDSU)” dengan kode kontrak penelitian: 67/UN11.2/PP/SP3/2018.

Daftar Pustaka

- [1] R. H. Clarke, A statistical theory of mobile-radio reception. *Bell Syst. Tech. Journal* 47: 957–1000, 1968.
- [2] B. Wang, J. Zang, A. H. Madsen, On the capacity of MIMO relay channels. *IEEE Trans. Inf. Theory* 51: 29-43, 2005.
- [3] H. Bölcskei, R. Nabar, O. Oyman, A. J. Paulraj, Capacity scaling laws in MIMO relay networks. *IEEE Trans. Wireless Commun.* 5: 1433-1444, 2006.
- [4] Nasaruddin, Mayliana, and Roslidar, Performance of multi-relay cooperative communication using decode-and-forward protocol. *Proc. of AIC*, 165–172, 2012.
- [5] Nasaruddin and R. Kurnia, Hamming coding for multi-relay cooperative quantize and forward networks. *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, 321–325, 2016.

- [6] K., Azarian, H. E. Gamal, and P. Schniter, On the achievable diversity-multiplexing tradeoff in half-duplex cooperative channels. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 51: 4152–4172, 2005.
- [7] Q. Z. Ahmed, K. H. Park, M. S. Alouini, S. Aissa, Optimal linear detector for nonorthogonal amplify-and-forward protocol. *IEEE Int. Conf. Commun.* 4829-4833 2016.