

Penghematan Daya pada Sistem Komunikasi Kooperatif *Two-Way* dengan Pengaturan Rasio *Data Rate*

Nasaruddin¹, Didi Rahmadi², Rusdha Muharar³

Abstract—Currently, many communication technologies use wireless media because it can provide seamless connectivity and mobile access. In the implementation, wireless communication system faces many challenges, one of them is fading. The effect of fading on a wireless channel will also add power consumption on mobile devices and can reduce the information signal power. However, fading can be overcome by using a cooperative communication system which is a method that utilizes antenna from other users (relays) with the principle of diversity, so the performance of wireless communication system can be improved. This paper proposes power saving on two-way cooperative communication system based on data rate ratio. The method of setting the value of this data rate ratio aims to minimize power consumption in a two-way cooperative communication system, i.e., a full-duplex communication system with quantized and forward (QF) relay protocol. To obtain a minimum power consumption, the ratio of the data rate must be set on the assumption that the value of the transmit power of each source and the relay is equal. The result shows that the system performance is improved, the system SNR value becomes lower, and the power is more efficient by adjusting the ratio of data rate compared to the conventional system without power control.

Intisari—Saat ini, teknologi komunikasi banyak menggunakan media nirkabel karena kemampuannya untuk menyediakan konektivitas tanpa batas dan akses yang bergerak. Dalam implementasinya, sistem komunikasi nirkabel mempunyai beberapa tantangan, salah satunya adalah *fading*. Pengaruh *fading* pada kanal nirkabel juga akan menambahkan konsumsi daya pada perangkat bergerak dan 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 kinerja sistem komunikasi nirkabel dapat ditingkatkan. Makalah ini mengusulkan penghematan daya pada sistem komunikasi kooperatif *two-way* berbasis rasio *data rate*. Metode pengaturan nilai rasio *data rate* ini bertujuan untuk meminimalkan konsumsi daya pada sistem komunikasi kooperatif *two-way*, yaitu sistem komunikasi *full-duplex* dengan protokol *relay quantize and forward* (QF). Untuk mendapatkan konsumsi daya yang minimum, maka rasio nilai *data rate* harus diatur dengan asumsi bahwa nilai daya pancar setiap sumber dan *relay* adalah sama. Hasil yang didapatkan adalah kinerja sistem semakin tinggi, SNR sistem menjadi lebih kecil, dan daya lebih hemat dengan

mengatur rasio *data rate* dibandingkan dengan sistem konvensional tanpa *power control*.

Kata Kunci—Sistem Komunikasi Nirkabel, *Fading*, *Two-way cooperative*, *Quantize and Forward* (QF), Rasio *Data Rate*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi telah mendorong banyak perangkat komunikasi menggunakan media nirkabel karena memiliki banyak keunggulan, di antaranya kemampuan untuk menyediakan konektivitas tanpa batas dan akses yang fleksibel (*mobile*) [1]. Namun, pada implementasi sistem komunikasi nirkabel, banyak tantangan yang harus dihadapi, seperti sinyal informasi yang dikirimkan melalui kanal nirkabel tidak terlindungi dalam suatu pemandu gelombang dan mengalami banyak gangguan yang dapat menurunkan kinerja sistem. Kemudian, kondisi kanal yang menurun dapat mengakibatkan kapasitas kanal dan kualitas daya dari data yang dikirimkan juga menurun. Kanal nirkabel sangat rentan terhadap gangguan yang dapat menurunkan kinerja sistem, seperti derau, interferens, atenuasi, dan *fading*. Gangguan pada sistem komunikasi nirkabel yang paling dominan adalah *multipath fading*. *Fading* merupakan salah satu gangguan yang terjadi pada kanal nirkabel yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas sinyal pada penerima yang disebabkan oleh perambatan sinyal yang dipantulkan oleh berbagai objek (*obstacle*) dalam beragam lintasan. Pengaruh *fading* dan interferens pada kanal nirkabel akan meningkatkan kebutuhan dan konsumsi energi pada perangkat bergerak dan *base station* (BS). Permasalahan-permasalahan tersebut telah memberi motivasi untuk kajian baru mengenai penghematan daya pada komunikasi nirkabel, salah satunya adalah sistem komunikasi kooperatif.

Pengaruh *multipath fading* pada kanal nirkabel dapat diatasi dengan menggunakan teknik diversitas. Salah satu teknik diversitas yang efektif adalah *Multi-Input Multi-Output* (MIMO). Sistem MIMO telah terbukti dapat memperbaiki kinerja yang signifikan dan peningkatan kapasitas dari sistem komunikasi nirkabel [2], [3]. Sistem ini menggunakan beberapa antena pada perangkat komunikasi, sehingga kesalahan dan rugi-rugi sinyal dapat dikurangi secara drastis. Namun, pemrosesan sinyal pada sistem MIMO membutuhkan banyak daya dan konsumsi energi [4]. Beberapa perangkat nirkabel memiliki keterbatasan ukuran, biaya, dan kompleksitas perangkat keras sehingga tidak dapat diimplementasikan dengan antena jamak (*multiple-antenna*) [5]. Oleh karena itu, dikembangkan teknik baru untuk mengatasi keterbatasan tersebut, yaitu dengan menggunakan sistem komunikasi kooperatif. Pada sistem komunikasi kooperatif, sebuah sistem antena jamak dapat dibangun tanpa

^{1,3} Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech Abdulrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111 INDONESIA (telp/fax: 0651-7554336; Email: {nasaruddin, r.muhaarar}@unsyiah.ac.id)

² Mahasiswa, Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech Abdulrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111 INDONESIA (telp/fax: 0651-7554336; Email: didy.rahmady.87@gmail.com)

dibatasi oleh ukuran, konsumsi energi, dan biaya dari peralatan bergerak, sehingga sistem komunikasi kooperatif menjadi salah satu solusi untuk penghematan daya dengan kinerja sistem yang tetap tinggi.

Saat ini metode *power control* telah diterapkan pada sistem komunikasi nirkabel baik *one-way* (satu arah) maupun *two-way* (dua arah) [6], [7]. Beberapa penelitian sebelumnya juga menerapkan metode *power control* pada sistem komunikasi kooperatif *two-way* [8]-[10]. Penelitian sebelumnya telah mengkaji *power control* untuk sistem komunikasi kooperatif *two-way* menggunakan *power constraint*, dengan hasil yang diperoleh dapat mengoptimalkan daya pada setiap *node* yang digunakan berdasarkan nilai dari *signal-to-noise-ratio* (SNR) [8]. Penelitian lain juga telah mengkaji mengenai *power control* pada *relay* dengan menggunakan protokol *amplify-and-forward* (AF), dengan hasil yang diperoleh adalah kinerja konsumsi daya pada *relay* dengan menggunakan tiga skema, yaitu *maximum individual rate* (MIR), *maximum minimum rate* (MMR), dan *maximum sum rate* (MSR) [9]. Kemudian, penelitian yang menerapkan daya pancar (*transmit power*) minimum dengan *quality of service* (QoS) pada komunikasi *two-way relay* protokol AF dan metode *asymmetric traffic requirement* telah dilakukan [10]. Pada penelitian tersebut, terdapat dua skema untuk mendapatkan *QoS constraint*, yaitu dengan teknik daya pancar optimum dan teknik diversitas dengan *multiple-relay channel*. Selanjutnya, penelitian lain yang menggunakan *power control* dan teknik pemilihan *relay* untuk efisiensi energi juga telah dilakukan [11], [12].

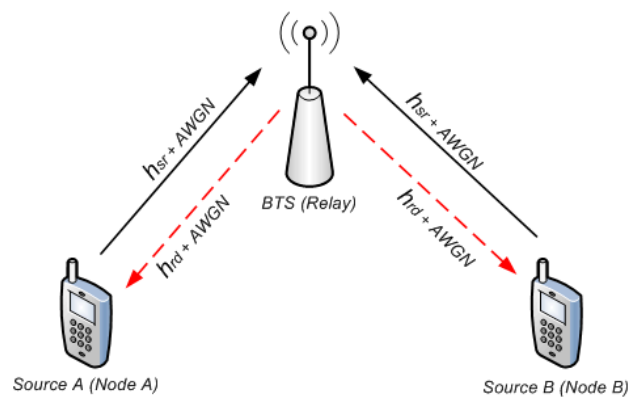
Makalah ini mengusulkan penghematan daya pada sistem komunikasi kooperatif *two-way* dengan menggunakan metode rasio *data rate*. Metode ini dilakukan dengan pengaturan nilai rasio *data rate* untuk meminimalkan konsumsi daya pada sistem komunikasi kooperatif *two-way*. Pengaturan rasio *data rate* ini diterapkan pada sistem komunikasi *two-way* dengan mode *full-duplex* menggunakan protokol relay *quantize-and-forward* (QF). Untuk mendapatkan konsumsi daya minimum, rasio nilai *data rate* harus diatur dengan mengasumsikan nilai daya pancar untuk setiap sumber dan *relay* adalah sama. Di samping itu, daya pancar yang sama dapat menghindari pengaruh interferens pada *link two-way* dalam sistem. Kemudian, metode yang digunakan adalah simulasi komputer yang diawali dengan pemodelan sistem dan analisis matematis dari sistem yang diusulkan. Adapun manfaat yang diharapkan adalah dapat meningkatkan penghematan daya pada sistem komunikasi kooperatif yang akhirnya dapat meningkatkan efisiensi daya pada sistem komunikasi kooperatif dan menciptakan komunikasi yang ramah lingkungan. Sistem komunikasi kooperatif *two-way* merupakan salah satu cikal bakal teknologi yang dapat diimplementasikan pada teknologi 5G ke depan [13]. Arah pengembangan teknologi 5G tidak hanya berfokus pada peningkatan kinerja, kapasitas, dan *data rate*, tetapi juga pada penghematan daya.

II. MODEL SISTEM

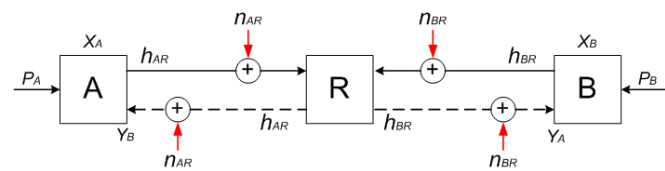
A. Model Sistem Kooperatif Two-Way

Gbr. 1 merupakan sebuah model sistem komunikasi kooperatif *two-way* yang terdiri atas *source* (*node A/B*), *relay*,

dan *destination* (*Node B/A*). *Source* dan *destination* pada model ini merupakan sebuah *handphone* (HP) dan *relay* disimbolkan dengan *base transceiver station* (BTS). Masing-masing *node* sumber mengirimkan informasi secara bersamaan dalam satu waktu dengan menggunakan teknik modulasi *binary phase shift keying* (BPSK). Pada umumnya, sistem komunikasi kooperatif *two-way* dilakukan dalam dua tahap pada proses transmisi. Pada saat transmisi sinyal informasi yang dilakukan pada kedua tahap tersebut, sinyal yang dikirim dipengaruhi oleh *fading* dan derau *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Pada tahap pertama, sinyal informasi yang dikirimkan oleh *source* dilakukan secara *broadcast* ke *relay* sehingga sinyal informasi tersebut diterima oleh *relay* dan kemudian dilakukan proses kuantisasi dengan menggunakan protokol *quantize and forward* (QF), yang bertujuan untuk mengurangi kerusakan sinyal yang diterima sebelum diteruskan ke masing-masing tujuan. Selanjutnya, pada tahap kedua, *relay* meneruskan sinyal terkuantisasi ke masing-masing tujuan.



Gbr. 1 Model sistem komunikasi kooperatif *two-way*.



Gbr. 2 Proses kerja sistem komunikasi kooperatif *two-way*.

Proses kerja sistem komunikasi kooperatif *two-way relay* dibagi menjadi dua *time-slot* seperti pada Gbr. 2. Untuk *time-slot* pertama, yaitu sumber *node A* dan *B* mengirimkan sinyal informasi secara bersamaan dalam satu satuan waktu yang sama berupa data bit yang disimbolkan dengan x_A dan x_B ke *node R*, dengan informasi yang diterima pada *node relay* dipengaruhi oleh koefisien *fading* dan penambahan derau AWGN, sehingga sinyal yang diterima pada *node R* adalah

$$Y_R = \sqrt{P_A}h_{AR}x_A + \sqrt{P_B}h_{BR}x_B + n_R \tag{1}$$

dengan P_A adalah daya pancar pada *node A*, P_B adalah daya pancar pada *node B*, n_R merupakan AWGN pada *node relay*, n_{AR} merupakan AWGN pada *link node A* dan *relay*, n_{BR} merupakan AWGN pada *node A* dan *relay*, h_{AR} merupakan koefisien *channel Rayleigh fading* antara *node A* dan *relay*, serta h_{BR} merupakan koefisien *channel Rayleigh*

fading antara *node* B dan *link node relay*, dengan h_{AR} dan h_{BR} adalah independen dan terdistribusi secara acak.

Time-slot kedua yaitu *relay* melakukan proses kuantisasi dari sinyal informasi yang diterima dari *node* A dan B sebelum diteruskan ke masing-masing tujuan A dan B, menggunakan protokol *Quantize and Forward* (QF), sehingga sinyal yang diterima pada tujuan A dan B adalah sinyal setelah dilakukan proses kuantisasi. Maka, sinyal pada masing-masing tujuan A (Y_A) dan tujuan B (Y_B) adalah

$$Y_A = \sqrt{P_B}h_{AR}h_{BR}x_B + h_{AR}n_R + n_{AR} \quad (2)$$

dan

$$Y_B = \sqrt{P_A}h_{AR}h_{BR}x_A + h_{BR}n_R + n_{BR}. \quad (3)$$

Nilai SNR pada *node* A dan B dihitung berdasarkan *instantaneous channel gain*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kanal dengan pengetahuan akan kondisi kanal pada saat itu dan juga bersamaan dengan pengiriman sinyal informasi, sehingga nilai SNR masing-masing *link* dapat ditulis sebagai berikut.

$$SNR_{AB} = \frac{|h_{AR}|^2|h_{BR}|^2P_AP_R/N_o}{P_A|h_{AR}|^2+P_B|h_{BR}|^2+P_R|h_{BR}|^2+N_o} \quad (4)$$

dan

$$SNR_{BA} = \frac{|h_{AR}|^2|h_{BR}|^2P_BP_R/N_o}{P_A|h_{AR}|^2+P_B|h_{BR}|^2+P_R|h_{AR}|^2+N_o} \quad (5)$$

dengan SNR_{AB} merupakan nilai SNR dari *link* A ke B, SNR_{BA} merupakan nilai SNR dari *link* B ke A, R_{AB} merupakan nilai *data rate* dari *node* sumber A ke *node* tujuan B, R_{BA} merupakan nilai *data rate* dari *node* sumber B ke *node* tujuan A, P_R adalah daya pancar pada *node relay*, dan N_o adalah varian derau dari kanal yang diasumsikan sebagai Gaussian dengan $n(0, 1)$ [14].

Berdasarkan (4) dan (5), nilai *data rate* dari *link node* A ke B, dan sebaliknya *link node* B ke A, dapat ditulis masing-masing sebagai berikut.

$$R_{AB} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{AR}|^2|h_{BR}|^2P_AP_R/N_o}{P_A|h_{AR}|^2+P_B|h_{BR}|^2+P_R|h_{BR}|^2+N_o} \right) \quad (6)$$

dan

$$R_{BA} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{AR}|^2|h_{BR}|^2P_BP_R/N_o}{P_A|h_{AR}|^2+P_B|h_{BR}|^2+P_R|h_{AR}|^2+N_o} \right). \quad (7)$$

Pada sistem komunikasi kooperatif *two-way*, faktor $\frac{1}{2}$ pada (6) dan (7) menunjukkan durasi dua *time-slot*.

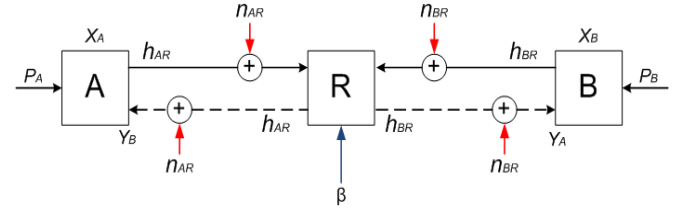
B. Metode Power Control Berbasis Rasio Data Rate

Gbr. 3 merupakan model sistem strategi metode *power control* yang diusulkan pada makalah ini, yaitu berdasarkan pengaturan nilai rasio *data rate* untuk meminimalkan konsumsi daya pada sistem komunikasi kooperatif *two-way*. Metode *power control* ini diterapkan pada sistem komunikasi *two-way*, yaitu sistem komunikasi *full-duplex* dan protokol *relay* yang digunakan adalah QF. Pada metode ini, untuk mendapatkan konsumsi daya yang minimum, maka rasio nilai *data rate* harus diatur dengan mengasumsikan nilai daya pancar setiap sumber dan *relay* adalah sama, supaya tidak

terjadi intereferens antar *link* pada sistem transmisi *two-way*. Kemudian, total *data rate* pada komunikasi kooperatif *two-way* dinyatakan sebagai *sum rate* dan diukur *per unit* lebar pita. *Sum rate* per unit lebar pita untuk sistem *two-way* dapat dirumuskan sebagai berikut [9].

$$R_S = R_{AB} + R_{BA} \quad (8)$$

dengan R_S merupakan total *data rate two-way*, R_{AB} adalah nilai *data rate* dari *node* A ke *node* B, dan R_{BA} adalah nilai *data rate* dari *node* B ke *node* A.



Gbr. 3 Model sistem *power control* berbasis rasio *data rate*.

Salah satu strategi untuk mendapatkan konsumsi daya minimum adalah dengan mengatur rasio *data rate* pada sistem. Rasio *data rate* dapat dihitung dengan membandingkan parameter R_{AB} dan R_{BA} , dan dapat dirumuskan sebagai berikut [9].

$$\frac{R_{AB}}{R_S} = \beta \quad (9)$$

dan

$$\frac{R_{BA}}{R_S} = (1 - \beta) \quad (10)$$

dengan β adalah faktor rasio *data rate* untuk menentukan tingkat konsumsi daya ($0 < \beta < 1$). Pada penerapannya, *data rate* masing-masing *link* sumber boleh berbeda. Akan tetapi, makalah ini mempertimbangkan skenario kecepatan asimetris dengan mengacu pada rasio dari kecepatan data.

Berdasarkan (9) dan (10), konsumsi daya minimum tergantung pada beberapa daya perangkat pada sistem, seperti sumber, *relay*, pemrosesan penerima, dan lainnya. Maka, konsumsi daya minimum pada sistem yang diusulkan dapat ditulis sebagai berikut [9].

$$\begin{aligned} & \min_{P_A, P_B, P_R} (P_A + P_B + P_R + P_{rc} + 2(P_{rc} + P_{SIC}))/2 \\ & \text{s.t} \quad R_{AB} = \beta R_S, R_{BA} = (1 - \beta)R_S. \end{aligned} \quad (11)$$

dengan P_{rc} adalah konsumsi daya pemrosesan di perangkat penerima, dan P_{SIC} adalah konsumsi daya pada saat *self interference cancelation* (SIC). Dengan mendapatkan nilai β yang optimum sebagai nilai rasio *data rate* pada komunikasi *two-way*, maka konsumsi daya rata-rata dapat dihitung sebagai berikut [9].

$$P_S^T = N_o \left[\frac{2^{2\beta R_S} + 2^{2(1-\beta)R_S} - 2}{2} \left(\frac{1}{|h_{AR}|^2} + \frac{1}{|h_{BR}|^2} \right) + \frac{\sqrt{(2^{2\beta R_S} + 2^{2(1-\beta)R_S} - 2)(2^{2\beta R_S} + 2^{2(1-\beta)R_S} - 1)}}{|h_{AR}||h_{BR}|} + 1,5P_{rc} + P_{SIC} \right]. \quad (12)$$

III. ANALISIS DAN SIMULASI

A. Analisis Outage Probability dan Konsumsi Daya

Berdasarkan model sistem strategi *power control* berbasis *data rate*, konsumsi daya untuk penghematan daya yang lebih baik pada jaringan komunikasi kooperatif *two-way* dengan protokol QF merupakan faktor penting yang perlu dianalisis. Ada dua faktor yang perlu dihitung, yaitu *outage probability* dan konsumsi daya pada sistem komunikasi kooperatif.

1) *Outage Probability*: Kinerja sistem komunikasi dapat diukur dari tingkat kesalahan bit dan dapat ditoleransikan pada nilai tertentu, tergantung aplikasi atau layanan yang diberikan. Namun, jika tingkat kesalahan di atas ambang batas yang telah ditentukan, maka akan menghasilkan kinerja sistem yang buruk, dengan asumsi tingkat kesalahan yang ditetapkan sesuai dengan nilai SNR minimum, yaitu ambang batas SNR (*SNR threshold*) pada sistem. Ketika SNR pada kanal di bawah *SNR threshold*, maka sistem dalam keadaan *outage*. *Outage* merupakan suatu kondisi sistem gagal mentransmisikan informasi ke tujuan (*destination*). *Outage probability* (P_{out}) adalah probabilitas terjadinya kondisi *outage* pada sistem yang menunjukkan kemungkinan sinyal informasi gagal dikirimkan ke tujuan, sehingga *outage probability* menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan kinerja jaringan *relay* nirkabel. Dengan demikian, *outage probability* sering digunakan dalam mengevaluasi kinerja sistem jaringan *relay* nirkabel. Adapun persamaan *outage probability* adalah sebagai berikut [15].

$$P_{out} = 1 - e^{-\frac{Y_{th}}{Y}} \quad (13)$$

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

2) *Konsumsi Daya*: Salah satu aspek fundamental dari sistem komunikasi kooperatif adalah konsumsi daya, karena partisipasi suatu perangkat nirkabel pada transmisi perangkat lainnya sangat penting dalam sistem komunikasi kooperatif. Dengan demikian, tingkat konsumsi daya yang dibutuhkan untuk mencapai keuntungan penuh dari sistem komunikasi kooperatif dapat ditentukan.

Konsumsi daya pada jaringan komunikasi kooperatif *two-way* dengan protokol QF dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai R_s dan jarak *source* ke *relay*. Maka, konsumsi daya pada jaringan kooperatif *two-way relay* dengan protokol QF dapat dihitung berdasarkan (12).

B. Parameter Simulasi

Model jaringan pada Gbr. 3 dan parameter-parameter jaringan tersebut pada Tabel I merupakan dasar untuk membuat simulasi komputer. Pada simulasi, jumlah maksimum bit data yang dikirimkan adalah 100.000 bit. Penggunaan jumlah bit ini termasuk relatif besar untuk disimulasikan agar dapat menghasilkan nilai *outage*

probability lebih baik. Kemudian, *bit error rate* (BER) *threshold* yang digunakan pada simulasi adalah 10^{-3} . Simulasi dilakukan hanya dalam sekali iterasi. Parameter lainnya adalah penggunaan daya transmisi berkisar antara 0 sampai 50 watt berdasarkan daya transmisi BS [16]. Poin penting yang lain dalam simulasi adalah jumlah *relay* yang digunakan. Sistem ini menggunakan *single relay*.

TABEL I
PARAMETER SIMULASI

No	Parameter	Keterangan
1	Data	100.000 bits
2	Model kanal	Rayleigh fading
3	Jumlah <i>node</i> sumber	2
4	Jumlah <i>relay</i>	1
5	Jumlah <i>node</i> tujuan	2
6	Metode modulasi	BPSK
7	Jenis protokol <i>relay</i>	QF
8	Range daya transmisi	0 – 50 Watt
9	Rasio jarak <i>node</i> A – <i>relay</i> – <i>node</i> B	2/3 dan 1/3
10	<i>Path loss exponent</i>	2,0

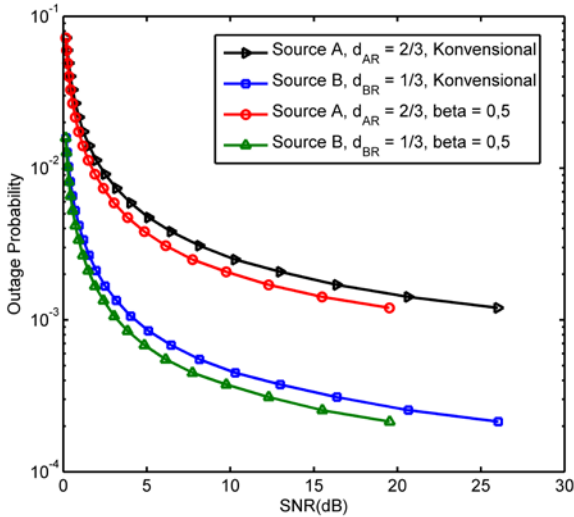
IV. HASIL

A. Outage Probability

Pada simulasi komputer, dilakukan perbandingan kinerja *outage probability*, dengan pengiriman sinyal informasi dari *source* ke *destination* dilakukan melalui *relay* yang menggunakan protokol QF pada sistem komunikasi kooperatif *two-way*. Simulasi ini mempertimbangkan jarak antara *source* ke *relay* dan *relay* ke *destination*. Kemudian, jarak tersebut dinyatakan dalam bentuk rasio yaitu 2/3 dan 1/3. Protokol QF disimulasikan pada jaringan *two-way* kooperatif dengan *single-relay* dan kondisi kanal pada simulasi ini berada pada lingkungan *non-line-of-sight* (NLOS), yaitu tidak ada lintasan langsung dalam mentransmisikan sinyal tersebut. *Outage probability* merupakan salah satu parameter untuk menentukan kinerja jaringan nirkabel. Semakin kecil nilai *outage probability*, maka kinerja sistem semakin baik. Kinerja sistem komunikasi kooperatif dapat dilihat berdasarkan perbandingan *outage probability* dan SNR.

Hasil simulasi pada Gbr. 4 menunjukkan perbandingan kinerja *outage probability* dan SNR untuk sistem komunikasi kooperatif *two-way relay* yang konvensional dengan sistem yang sudah mempunyai faktor β sebagai parameter *power control*. Grafik warna hitam dan warna biru merupakan hasil dari sistem konvensional, sedangkan grafik warna merah dan hijau merupakan hasil dari sistem usulan dengan mempertimbangkan faktor β sebagai parameter *power control* untuk rasio *data rate*. Grafik warna hitam dan merah merupakan sistem komunikasi kooperatif *two-way* dengan sumber *node* A jauh dengan *relay* dan grafik warna biru dan hijau merupakan *node* B yang dekat dengan *relay*. Pada simulasi tersebut, faktor β sebagai parameter *power control* yang digunakan adalah 0,5 karena konsumsi daya yang minimum, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 5. Kinerja *outage probability* pada sistem komunikasi kooperatif *two-way* dengan jarak *relay* yang berbeda menghasilkan nilai

outage probability yang berbeda, dengan node B mempunyai nilai outage probability yang kecil karena jarak sumber node B ke relay lebih dekat, sehingga jarak transmisi yang dekat menghasilkan tingkat kesalahan selama proses transmisi yang kecil. Tingkat kesalahan juga dapat dikurangi oleh proses kuantisasi pada sistem komunikasi kooperatif two-way menggunakan protokol QF. Dengan demikian, kinerja sistem yang mempertimbangkan nilai β lebih baik dari kinerja sistem konvensional dan daya pancar yang dibutuhkan juga akan mendapatkan penghematan karena nilai SNR lebih rendah pada nilai outage tertentu.



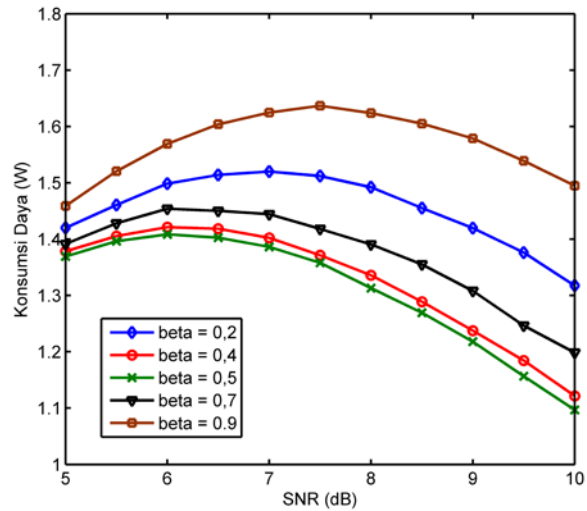
Gbr. 4 Perbandingan kinerja outage probability untuk sistem konvensional dan sistem berbasis rasio data rate.

B. Konsumsi Daya

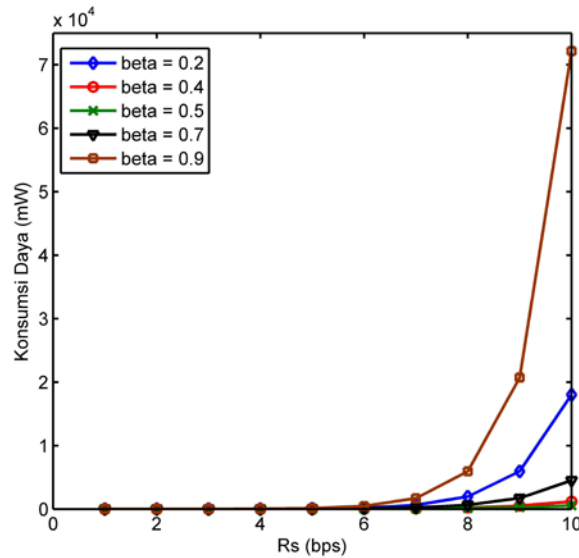
Hasil simulasi untuk mendapatkan tingkat konsumsi daya pada sistem komunikasi kooperatif two-way relay berdasarkan (12) adalah seperti pada Gbr. 5. Parameter simulasi mengacu pada Tabel I. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hubungan konsumsi daya terhadap SNR untuk jaringan two-way relay menggunakan protokol QF. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai β diatur secara acak dalam range $0 < \beta < 1$ dengan tujuan untuk mendapatkan nilai konsumsi daya minimum. Secara umum, karakteristik konsumsi daya akan berkurang dengan pertambahan nilai SNR. Setelah nilai β diuji satu per satu, maka didapatkan bahwa nilai $\beta = 0,5$ mempunyai konsumsi daya minimum. Nilai $\beta = 0,5$ mempunyai konsumsi daya minimum karena nilai data rate antara R_{AB} dan R_{BA} adalah sama, sehingga nilai β yang optimum untuk digunakan adalah 0,5.

Gbr. 6 menunjukkan hubungan konsumsi daya dengan total data rate untuk jaringan two-way relay menggunakan protokol QF. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai β diatur secara acak dalam range $0 < \beta < 1$. Dari Gbr. 6 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai data rate, maka konsumsi daya yang dibutuhkan juga semakin besar. Simulasi dilakukan dengan nilai β yang bervariasi untuk mengetahui tingkat konsumsi daya dengan pertambahan data rate. Pada saat $\beta = 0,5$, konsumsi dayanya adalah yang paling rendah

dibandingkan dengan nilai β yang lainnya. Kondisi nilai β menyatakan perbandingan data rate jalur komunikasi two-way, misalnya nilai $\beta > 0,5$ berarti nilai data rate R_{AB} lebih besar dari pada nilai data rate R_{BA} , dan sebaliknya jika nilai $\beta < 0,5$, maka nilai data rate R_{AB} lebih kecil daripada nilai data rate R_{BA} .



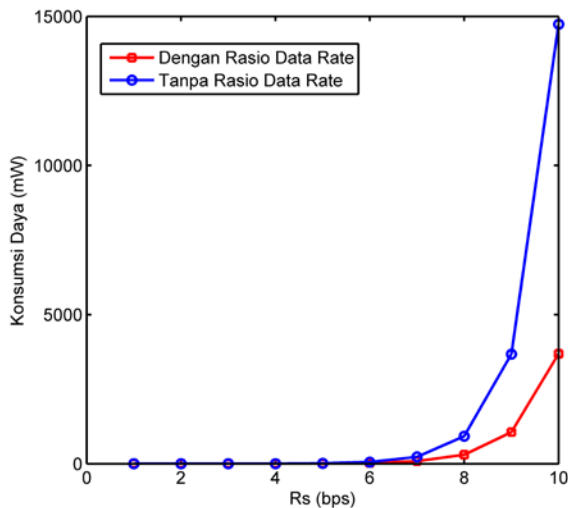
Gbr. 5 Hubungan konsumsi daya dengan SNR dengan nilai rasio data rate yang berbeda-beda.



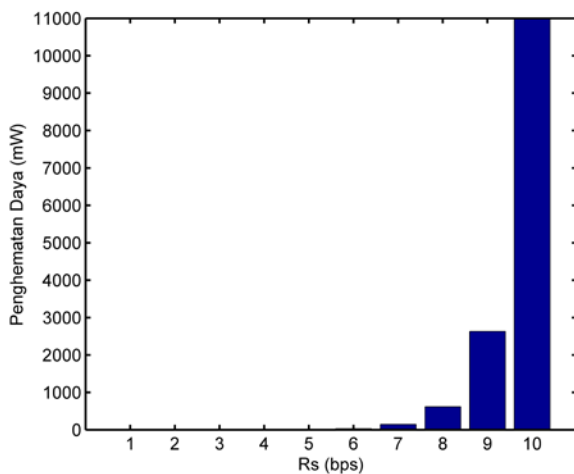
Gbr. 6 Hubungan konsumsi daya dengan total data rate.

Gbr. 7 menunjukkan perbandingan hubungan konsumsi daya sistem komunikasi kooperatif dengan dan tanpa menggunakan rasio data rate untuk jaringan two-way relay dengan protokol QF. Grafik warna merah merupakan grafik konsumsi daya dengan menggunakan rasio data rate dan grafik warna biru merupakan grafik konsumsi daya tanpa menggunakan rasio data rate. Pada sistem komunikasi kooperatif dengan rasio data rate, nilai β yang digunakan adalah 0,1. Konsumsi daya ketika data rate bertambah pada sistem komunikasi yaitu semakin meningkatnya data rate, maka konsumsi daya juga semakin besar. Dari Gbr. 7 terlihat

bahwa konsumsi daya dengan menggunakan rasio *data rate* lebih kecil dibandingkan dengan konsumsi daya tanpa menggunakan rasio *data rate*. Hal ini disebabkan proses pengaturan daya yang dilakukan pada *relay* dengan menggunakan parameter rasio *data rate* dapat meminimalkan konsumsi daya pada sistem. Selisih konsumsi daya antara sistem tanpa dan dengan menggunakan rasio *data rate* menjadi acuan untuk mendapatkan nilai penghematan daya pada sistem komunikasi kooperatif. Hasil simulasi penghematan daya yang didapatkan ditunjukkan pada Gbr. 8.



Gbr. 7 Perbandingan konsumsi daya sistem kooperatif dengan dan tanpa rasio *data rate*.



Gbr. 8 Penghematan daya sistem kooperatif *two-way* berbasis *data rate*.

Gbr. 8 memperlihatkan grafik tingkat penghematan daya yang dihasilkan terhadap *data rate*, yaitu semakin besar *data rate* yang digunakan pada sistem, maka semakin besar penghematan daya yang didapatkan. Pada saat *data rate* < 5 bps, tingkat penghematan daya dengan metode *power control* berbasis rasio *data rate* tidak signifikan. Akan tetapi, penghematan daya akan sangat signifikan ketika *data rate* > 8 bps. Namun, tingkat *data rate* secara praktis akan jauh lebih besar yang digunakan, sehingga metode *power control* berbasis rasio *data rate* sangat efektif untuk mencapai sistem

komunikasi kooperatif yang ramah lingkungan dengan tingkat efisiensi energi yang tinggi.

V. KESIMPULAN

Makalah ini telah menganalisis tingkat penghematan daya pada sistem komunikasi kooperatif *two-way* dengan protokol QF berbasis rasio *data rate*. Kemudian, analisis matematis yang sesuai dengan model jaringan sistem komunikasi kooperatif *two-way* telah dijabarkan. Selanjutnya, simulasi komputer dilakukan untuk mendapatkan perbandingan kinerja yang meliputi *outage probability* dan tingkat penghematan daya. Kondisi kanal komunikasi yang digunakan adalah kondisi kanal NLOS, dengan model kanal yang terdistribusi secara tidak langsung. Pada sistem, daya pancar dari sumber dan daya pada *relay* diasumsikan sama untuk dapat menentukan nilai daya minimum dan mengurangi pengaruh interferens antar *link* pada sistem kooperatif *two-way*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan *power control* berbasis metode rasio *data rate* memiliki nilai *outage probability* yang lebih kecil dan penghematan daya yang lebih besar dibandingkan dengan sistem komunikasi kooperatif tanpa menggunakan rasio *data rate*. Faktor β sangat memengaruhi tingkat konsumsi daya pada sistem, dengan nilai β menyatakan perbandingan *data rate* jalur komunikasi *two-way*. Nilai $\beta = 0,5$ merupakan rasio *data rate* yang menghasilkan nilai konsumsi daya minimum dengan tingkat kinerja yang tinggi, sehingga penghematan daya yang dapat diberikan juga semakin besar. Penghematan daya juga dipengaruhi oleh jumlah *data rate* yang digunakan pada sistem, yaitu semakin besar *data rate* yang digunakan, penghematan daya yang dapat diberikan juga semakin signifikan dengan menggunakan metode rasio *data rate*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan bagian hasil penelitian Hibah Tim Pascasarjana dengan judul “*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 2018.

REFERENSI

- [1] Y.-W.P. Hong, W.J. Huang, dan C.-C.J. Kuo, *Cooperative Communication and Networking: Technologies and System Design*, London, UK: Springer, 2010.
- [2] D.W. Bliss, K.W. Forsythe, A. M. Chan, “MIMO Wireless Communication,” *Lincoln Laboratory Journal*, Vol 15, No. 1, hal. 97-126, 2005.
- [3] A. F. Molisch, M. Steinbaeru, M. Toeltsch, E. Bonek, R.S. Thoma, “Capacity of MIMO Systems based on Measured Wireless Channels,” *IEEE J. Select. Areas Commun*, Vol. 20, No. 3, hal. 561-569, 2002.
- [4] A. H. Mohammed, B. Bai, B. Huang, M. Azhar, “A Survey and Tutorial of Wireless Relay Network Protocols based on Network Coding,” *Elsevier Journal Network and Computer Applications*, Vol. 36, No. 2, hal. 593-610, 2013.
- [5] A. Sendonaris, E. Erkip, B. Aazhang, “User Cooperation Diversity—Part I: System Description,” *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 51, No. 11, hal. 1927-1938, Nov. 2003.
- [6] Y. Song, “Two-way Channel in Information Theory,” University of Illinois at Chicago, Chicago, Ill, Technical Report, hal. 1-9, 2009.

- [7] S. Shahbazpanahi dan Y. Jing, "Power Control for Two-Way Relay Networks Under Per-Node Power Constraint," *IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2012, hal. 547-551.
- [8] X. Ji, W. P. Zhu, D. Massicotte, "Transmit Power Minimization for Two-Way Amplify-and-Forward Relaying with Asymmetric Traffic Requirement," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 12, hal. 9687 - 9702, 2016.
- [9] C. Sun dan C. Yang, "Is Two-Way Relay More Energy Efficient?," *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011)*, 2011, hal. 1-6.
- [10] Q. Cui, T. Yuan, X. Tao, A.A. Dwuzsko, R. Jantti, "Energy Efficiency Analysis of Two-Way DF Relay System With Non-Ideal Power Amplifiers," *Communications Letters, IEEE*, Vol. 18, No. 7, hal. 1254-1257, Juli 2014.
- [11] Z. Zhou, S. Zhou, S. Cui, J.-H. Cui, "Energy Efficient Cooperative Communication Based On Power Control and Selective Relay In Wireless Sensor Network," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 7, No. 8, hal. 3066-3078, August 2008.
- [12] Fityanul Ahyar, Nasaruddin, Rusdha Muharrar, "Efisiensi Energi Sistem Komunikasi Kooperatif Multi-relay Quantize and Forward Berdasarkan Pemilihan Relay," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNETETI)*, Vol. 6, No. 1, hal. 66-73, 2017.
- [13] S. Buzzi, I. Chih-Lin, E.K. Thierry, H. Vincent, Y. Chenyang, Z. Alessio, "A Survey of Energy-Efficient Techniques for 5G Networks and Challenges Ahead," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 34, No. 4, hal. 697-709, 2016.
- [14] I.W. McKeague, "On the Capacity of Channels with Gaussian and Non-Gaussian Noise," *Information and Control*, Vol. 51, No. 2, hal. 153-173, 1981.
- [15] M. K. Siomon dan M. S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*, New Jersey, USA: Wiley-IEEE Press, 2005.
- [16] J. Hamalainen. Lecture, Topic: "Cellular Network Planning and Optimization Part V: GSM," Communications and Networking Department, TKK, Helsinki University of Technology, 18-Jan-2008.