

Efisiensi Energi Sistem Komunikasi Kooperatif *Multi-relay Quantize and Forward* Berdasarkan Pemilihan Relay

Fityanul Akhyar¹, Nasaruddin², Rusdha Muharar³

Abstract— Currently, the increasing energy consumption is a global issue. Information technology and telecommunication industry is one of the areas with the largest energy consumption. The growth of mobile data users is an issue and the biggest challenge for the future. The cooperative wireless communication system has been the focus of research as one of the information delivery strategy with more efficient energy consumption. Energy efficiency in the cooperative wireless communication system can be improved by using a relay between base station and user device, where the distance between base station and user can be shortened, thus, the energy transmission can be minimized. Relay mechanism can be built by utilizing the protocol in the cooperative communication system, such as amplify and forward (AF), decode and forward (DF), and quantize and forward (QF). Relay-selection is an important issue in a cooperative wireless communication system that can reduce energy consumption at the system level. This study analyzes energy efficiency of multi-relay QF cooperative communication for line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) environment based on relay selection strategies: reactive and proactive relay selection. A computer simulation is conducted based on a system model and mathematical analysis. Energy efficiency is calculated based on power consumption of signal transmission and observed in the distance between the source, relay, and destination. Simulation result shows that multi-relay QF networks with relay selection consume lower energy than without relay selection, hence, the energy usage in the relay selection networks is more efficient. Moreover, the strategy of proactive relay selection provides low energy consumption and high energy efficiency compared to the reactive relay selection strategy.

Intisari— Saat ini, peningkatan konsumsi energi merupakan isu global. Industri teknologi informasi dan telekomunikasi merupakan salah satu bidang dengan konsumsi energi terbesar. Pertumbuhan pengguna data bergerak merupakan tantangan terbesar yang akan dihadapi pada masa mendatang. Sistem komunikasi kooperatif nirkabel telah menjadi fokus penelitian sebagai salah satu strategi pengiriman informasi dengan konsumsi energi yang lebih efisien. Efisiensi energi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel dapat ditingkatkan dengan menggunakan relay antara base station dengan perangkat pengguna, dengan jarak link dapat diperpendek, sehingga energi transmisi dapat diminimalkan. Mekanisme relay dilakukan dengan memanfaatkan protokol-protokol yang ada dalam sistem

komunikasi kooperatif seperti *amplify and forward* (AF), *decode and forward* (DF), dan *quantize and forward* (QF). Pemilihan relay merupakan isu penting dalam sistem komunikasi kooperatif nirkabel yang dapat menurunkan tingkat konsumsi energi pada sistem. Oleh sebab itu, makalah ini menganalisis efisiensi energi sistem komunikasi kooperatif *multi-relay* QF untuk lingkungan *line-of-sight* (LOS) dan *non-line-of-sight* (NLOS) berdasarkan strategi pemilihan relay; *reactive* dan *proactive relay selection*. Metode yang digunakan adalah simulasi komputer dengan pemodelan sistem dan analisis matematis. Efisiensi energi merupakan parameter penting yang dihitung berdasarkan konsumsi daya yang dibutuhkan pada pengiriman sinyal informasi dan jarak antara sumber, relay, dan tujuan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan kooperatif *multi-relay* dengan strategi pemilihan relay mengonsumsi energi lebih rendah dibandingkan tanpa pemilihan relay, sehingga penggunaan energi pada jaringan dengan pemilihan relay lebih efisien. Selanjutnya, strategi *proactive relay-selection* menghasilkan tingkat konsumsi energi yang rendah dan efisiensi energi yang tinggi dibandingkan dengan strategi *reactive relay-selection*.

Kata Kunci— Efisiensi energi, komunikasi kooperatif, *multi-relay*, *quantize and forward* (QF), strategi pemilihan relay.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sistem komunikasi nirkabel yang begitu pesat membutuhkan ketersediaan layanan multimedia yang merupakan gabungan dari teks, audio, dan video yang mempengaruhi peningkatan konsumsi energi pada sebuah sistem [1]. Oleh sebab itu, efisiensi energi pada sistem komunikasi nirkabel telah menjadi fokus penelitian untuk mendapatkan sistem komunikasi yang ramah lingkungan dan hemat energi (*green communications*) [2], [3]. Sistem komunikasi kooperatif nirkabel merupakan salah satu metode baru pada sistem komunikasi nirkabel yang dapat mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan efisiensi [4]. Bentuk efisiensi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel adalah dengan memanfaatkan sifat alami yaitu *broadcast* pada sistem komunikasi nirkabel. Ide dasarnya adalah *node* dalam jaringan nirkabel berbagi informasi dengan memanfaatkan *node* yang ada di sekitarnya sebagai antena virtual (*relay*) untuk diteruskan ke tujuan sehingga unjuk kerja sistem dapat ditingkatkan. Pada proses transmisi sistem komunikasi kooperatif, relay berfungsi untuk membantu pengiriman informasi yang diterimanya kepada *node* tujuan [5]. Fungsi relay ini juga sebagai salah satu teknik untuk mengurangi tingkat konsumsi energi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel.

Pemilihan relay (*relay-selection*) merupakan isu penting dalam sistem komunikasi kooperatif nirkabel [5]. Teknik pemilihan relay dapat menurunkan tingkat konsumsi energi

¹ Mahasiswa, Magister Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala dan Dosen Program Studi D3 Teknik Informatika, Politeknik Aceh, Jl. Politeknik Aceh, Desa Pango Raya, Kec. Ulee Kareng, Kota Banda Aceh 23118, INDONESIA (telp: 0651-31855; fax: 0651-31852; e-mail: fityanul@politeknikaceh.ac.id)

^{2, 3} Dosen, 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@unsyiah.ac.id, r.muhaarar@unsyiah.ac.id)

pada sistem. Salah satu teknik pemilihan *relay* adalah *optimal relay-selection*, dengan pemilihan perangkat *relay* yang dapat memaksimalkan *signal-to-noise-ratio* (SNR) pada perangkat tujuan [5]. Namun, teknik tersebut tidak mempertimbangkan informasi dari perangkat *relay*. Teknik lainnya adalah *geometry-based*, dengan perangkat *relay* yang dipilih adalah yang terdekat dengan perangkat sumber [6]. Teknik ini digunakan pada topologi jaringan statis. *Relay* dipilih secara acak oleh sumber pada area spesifik atau lingkup area dengan batasan tertentu. Penelitian lain mengkaji dua strategi pemilihan *relay*, yaitu: (i) *reactive relay-selection* (RRS), dengan mengirimkan informasi pada semua *node relay* yang tersedia dan *relay* dengan SNR terbaik yang akan meneruskan informasi ke tujuan pada saat proses pengiriman informasi dari sumber ke tujuan (*direct*) dinyatakan gagal; dan (ii) *proactive relay-selection* (PRS) yaitu sumber mengirimkan informasi pada *node relay* yang telah dipilih terlebih dahulu berdasarkan estimasi kualitas penerimaan informasi pada kandidat *relay* tersebut [7]. Pemilihan *relay* dengan teknik *optimal relay-selection* untuk memperoleh daya transmisi minimum pada jaringan komunikasi kooperatif dengan protokol *amplify and forward* (AF) juga telah dikaji, dengan sinyal informasi dari perangkat sumber dikirimkan kepada perangkat tujuan melalui proses penguatan pada perangkat *relay* sebagai perantara [8], [9]. Penelitian lain juga mengkaji tentang teknik *relay-selection* dengan protokol kooperatif *decode and forward* (DF), dengan sinyal informasi yang dikirimkan oleh perangkat sumber diterima oleh perangkat *relay*, didekodekan, dan dikodekan kembali sebelum dikirimkan ke perangkat tujuan [10]. Teknik *relay-selection* yang digunakan adalah *random relay-selection*.

Berdasarkan kajian tersebut, penerapan teknik *relay-selection* pada jaringan kooperatif *multi-relay* dengan protokol AF belum optimal dari sisi konsumsi energi, karena adanya faktor penguatan daya pada setiap *relay*. Selanjutnya, implementasi teknik *relay-selection* dengan protokol kooperatif DF pada jaringan *multi-relay* belum efektif karena tingkat kompleksitas penerapan protokol DF tersebut yang tinggi. Hingga saat ini, teknik *relay-selection* belum pernah dikaji pada protokol kooperatif *quantize and forward* (QF). Protokol QF memiliki keunggulan pada proses kuantisasi yang dilakukan oleh perangkat *relay* [11]. Fungsi kuantisasi ini sendiri adalah untuk mengurangi efek gangguan (derau) yang terjadi pada sinyal informasi yang dikirimkan [12].

Makalah ini menganalisis efisiensi energi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel *multi-relay* QF untuk lingkungan *line-of-sight* (LOS) dan *non-line-of-sight* (NLOS) dengan strategi pemilihan *relay*, dengan sinyal informasi yang dikirimkan oleh perangkat sumber kepada perangkat *relay* dikuantisasi terlebih dahulu sebelum diteruskan ke perangkat tujuan. Untuk memodelkan efisiensi energi, digunakan strategi pemilihan *relay reactive* dan *proactive relay-selection* pada jaringan kooperatif nirkabel *multi-relay* dengan protokol QF [13]. Model tersebut kemudian disimulasikan dengan komputer menggunakan perangkat lunak MATLAB. Dengan penerapan dua teknik pemilihan *relay* pada jaringan *multi-relay* QF, konsumsi energi lebih efisien. Kemudian, dilakukan

perbandingan tingkat konsumsi energi atau efisiensi energi pada jaringan *multi-relay* QF *non-relay-selection*, RRS dan PRS. Dengan demikian, makalah ini dapat berkontribusi dalam mengurangi tingginya konsumsi energi pada sistem komunikasi nirkabel yang menjadi isu hangat saat ini dan juga di masa yang akan datang.

II. MODEL SISTEM

A. Topologi Jaringan

Model topologi jaringan kooperatif *multi-relay* berbasis protokol *Quantize and Forward* (QF) untuk pemilihan *relay* terbaik adalah seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1. Model jaringan ini terdiri atas beberapa bagian, yaitu sumber (*S*), beberapa (*k*) *relay* (R_1, \dots, R_k), dan tujuan (*D*). Prinsip kerja sistem kooperatif *multi-relay* QF dibagi menjadi dua tahap. Pada tahap pertama, sumber mengirimkan sinyal informasi dalam bentuk bit data yang dinotasikan dengan (x_s) secara langsung ke tujuan (*S, D*) dan ke *relay* *i* (*S, R_i*), dengan $i = 1, 2, \dots, k$. Informasi langsung dan dari *relay* yang diterima pada tujuan dipengaruhi oleh koefisien pudaran (*fading*) ($h_{S,R}$) dan penambahan derau *Adaptive White Gaussian Noise* (AWGN). Pada tahap kedua, sinyal informasi yang diterima *relay* y_{S,R_i} , akan dikenai proses kuantisasi $Q(\cdot)$ dan hasilnya adalah sinyal terkuantisasi $y_{R_i,D}$, yang kemudian diteruskan ke tujuan. Masing-masing sinyal tersebut dapat dinyatakan dalam (1) dan (2).

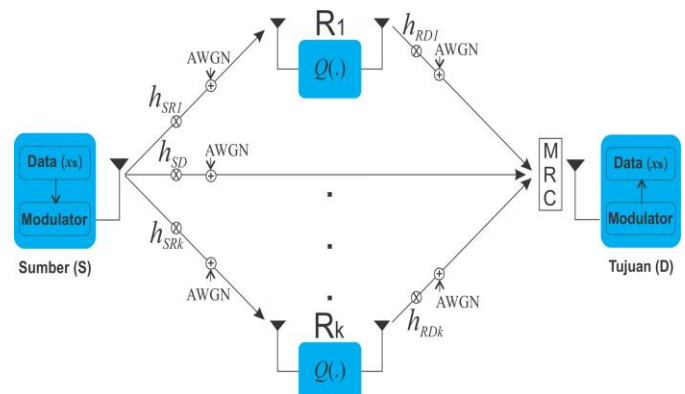
$$y_{S,R_i} = h_{S,R_i}x_s + n_{S,R} \tag{1}$$

$$y_{R_i,D} = Q(y_{S,R_i}) = h_{R_i,D}x_r + n_{R_i,D} \tag{2}$$

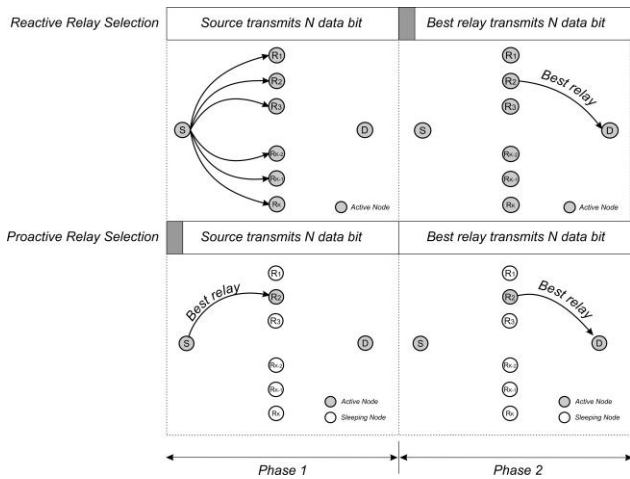
Sinyal informasi yang dikirimkan secara langsung, $y_{S,D}$, dari sumber ke tujuan (*direct*) dan sinyal terkuantisasi melalui *relay* akan digabungkan pada tujuan menggunakan teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC), sehingga pada jaringan komunikasi kooperatif QF, secara matematis sinyal langsung dan sinyal *relay* yang diterima pada tujuan (y_D) dapat dituliskan melalui (3) dan (4) [14].

$$y_{S,D} = h_{S,D}x_s + n_{S,D} \tag{3}$$

$$y_D = y_{R,D} + y_{S,D} \tag{4}$$



Gbr. 1 Jaringan kooperatif *multi relay* *Quantize and Forward*.



Gbr. 2 Strategi pemilihan relay.

B. Pemilihan Relay

Tahapan proses pemilihan relay terbaik (*best relay*) dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu RRS dan PRS, seperti pada Gbr. 2, dan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1) *Reactive Relay Selection (RRS)*: Metode RRS dilakukan pada saat transmisi langsung atau transmisi dari sumber ke tujuan gagal dilakukan [15]. Pemilihan relay terbaik dilakukan dengan cara menghitung kualitas berdasarkan nilai SNR antara kandidat *node relay* dengan tujuan [16]. Langkah-langkah proses pemilihan relay dengan metode RRS adalah sebagai berikut.

- Sumber mengirimkan informasi berupa bit data (x_s) kepada kandidat relay dan tujuan. Sinyal informasi yang dikirimkan dari sumber ke tujuan dinotasikan sebagai ($y_{S,D}$) dan sinyal informasi yang dikirimkan dari sumber ke relay dinotasikan dengan ($y_{S,Ri}$), sehingga secara matematis dapat dinyatakan sebagai (5).

$$y_{S,Ri} = h_{S,Ri} x_s + n_{S,Ri}, \quad i = 1, \dots, k \quad (5)$$

dengan $h_{S,Ri}$ merupakan koefisien pudaran dan $n_{S,Ri}$ merupakan derau AWGN pada relay ke- i .

- Sinyal informasi dari sumber melalui *link* langsung diasumsikan gagal diterima di tujuan.
- Setelah status sinyal informasi langsung dinyatakan gagal, tujuan memancarkan bit *training* kepada kandidat relay, untuk memperoleh informasi SNR antara relay dan tujuan. Bit *training* merupakan informasi dengan ukuran data yang lebih kecil sebagai strategi efisiensi energi pada proses transmisi atau pengiriman informasi. Bit data dinyatakan dengan simbol ($x_t = x_1, \dots, x_n$) yang dikirimkan dalam bentuk sinyal informasi (y_t), sehingga dapat dituliskan sebagai (6).

$$y_t = H_{xt} + n_t. \quad (6)$$

- Setelah menerima bit *training* dari tujuan, kandidat relay mengirimkan *feedback* kepada tujuan. Metode ini mirip dengan metode *Request-to-Send (RTS)* dan *Clear-to-Send (CTS)* pada jaringan komputer.

- Pemilihan relay terbaik (b) dilakukan menggunakan metode *channel state information (CSI)* yaitu dengan mempertimbangkan SNR maksimal dari kandidat relay ke tujuan, kemudian tujuan melakukan perhitungan SNR untuk memilih *node relay* terbaik yang secara matematis ditunjukkan oleh (7).

$$b = \arg \max_{i \in R} \{SNR_{Ri,D}\};$$

$$i \in R$$

$$b = \text{best relay}; \quad i = 1, \dots, k. \quad (7)$$

- Tujuan mengirimkan *request* informasi kepada relay terbaik (b).
- Langkah terakhir adalah relay terbaik meneruskan informasi terkuantisasi kepada tujuan yang dilambangkan dengan simbol ($y_{R,D}$) dan secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$y_{R,D} = Q(h_{S,Ri} x_s + n_{S,Ri}). \quad (8)$$

$$\Delta = \frac{(y_{R,D \max} - y_{R,D \min})}{L}. \quad (9)$$

$$L = 2^b. \quad (10)$$

$$j = \text{round}(y_{R,D} - \frac{y_{R,D \min}}{\Delta}). \quad (11)$$

$$\hat{y}_{R,D} = y_{R,D \min} + j \Delta; \quad j = 0, 1, \dots, L-1. \quad (12)$$

2) *Proactive Relay Selection (PRS)*: Metode pemilihan relay dengan PRS dilakukan dengan cara mengestimasi kualitas kanal atau CSI [15], [17]. Berbeda halnya dengan RRS, proses estimasi dilakukan sebelum informasi dikirimkan, yaitu dengan cara mengirimkan bit *training* terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas SNR antara sumber-relay-tujuan, yang menjadi dasar pemilihan relay terbaik.

- Pada tahap awal sumber memancarkan bit *training* kepada relay dan tujuan untuk mengetahui kualitas SNR antara sumber ke relay dan sumber ke tujuan. Bit *training* telah dijelaskan pada (6).
- Relay kemudian meneruskan bit *training* yang telah dikuantisasi ke tujuan dan dapat dijabarkan seperti pada (13) sampai (17).

$$\hat{y}_t = Q(H_{xt}) + n_t. \quad (13)$$

$$\Delta = \frac{(y_t \max - y_t \min)}{L}. \quad (14)$$

$$L = 2^b. \quad (15)$$

$$j = \text{round}(y_t - \frac{y_t \min}{\Delta}). \quad (16)$$

$$\hat{y}_t = y_t \min + j \Delta; \quad j = 0, 1, \dots, L-1. \quad (17)$$

- Tujuan mengirimkan *feedback* kepada sumber berupa data SNR antara sumber-relay-tujuan, yang menjadi data masukan untuk proses berikutnya.
- Berdasarkan *feedback* tersebut, sumber melakukan perhitungan SNR untuk menentukan relay terbaik melalui (18).

$$b = \arg \max \min \{SNR_{S,Ri}, SNR_{Ri,D}\}. \quad (18)$$

- Setelah proses pemilihan *relay* terbaik selesai dilakukan, sumber mengirimkan informasi kepada *relay* terbaik (R_b) dalam bentuk

$$y_{S,Rb} = h_{S,Rb}x_S + n_{S,Rb}. \quad (19)$$

- *Relay* terbaik (R_b) meneruskan informasi yang telah dikuantisasikan ke tujuan dan dinyatakan dalam (20) sampai (24).

$$y_{Rb,D} = h_{Rb,D}x_r + n_{Rb,D}. \quad (20)$$

$$\Delta = \frac{(y_{Rb,D} \max - y_{Rb,D} \min)}{L}. \quad (21)$$

$$L = 2^b. \quad (22)$$

$$j = \text{round}(y_{Rb,D} - \frac{y_{Rb,D} \min}{\Delta}). \quad (23)$$

$$\hat{y}_{Rb,D} = y_{R,D} \min + j \Delta; j = 0, 1, \dots, L-1. \quad (24)$$

III. ANALISIS DAN SIMULASI

A. Analisis Konsumsi dan Efisiensi Energi

Berdasarkan model topologi dan strategi pemilihan *relay*, konsumsi energi yang lebih rendah (efisiensi energi) pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *multi-relay* QF merupakan faktor penting yang perlu dianalisis makalah ini. Ada beberapa faktor yang perlu dihitung untuk mengukur tingkat efisiensi energi.

1) *Konsumsi Energi*: Konsumsi energi pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *multi-relay* QF dapat dihitung dengan mempertimbangkan jumlah *node relay* di antara sumber dan tujuan [10]. Maka, skema konsumsi energi bit data yang ditransmisikan pada jaringan kooperatif nirkabel *multi-relay* QF adalah sebagai berikut.

$$E_c = \frac{\sum_{i=1}^k P_{S,Ri} + \sum_{i=1}^k P_{Ri,D} + P_{S,D}}{R_B} \text{ Joule/bit}. \quad (25)$$

Berikut keterangan dari parameter-parameter yang disebutkan pada (25).

- E_c adalah konsumsi energi pada jaringan komunikasi nirkabel *multi-relay* QF.
- $P_{S,Ri}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari sumber kepada *relay* ke- i dalam satuan W dan dinyatakan dengan (26).

$$P_{S,Ri} = \frac{P_s |h_{S,Ri}|^2}{d_{S,Ri}^\alpha N} \quad (26)$$

dengan P_s adalah daya transmisi atau daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan informasi dari sumber, $d_{S,Ri}$ adalah jarak antara sumber dengan *relay* ke- i , dan $h_{S,Ri}$ adalah pengaruh pudaran antara sumber dengan *relay* ke- i , serta N adalah pengaruh derau.

- $P_{Ri,D}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari *relay* ke- i ke tujuan dalam satuan W dan dinyatakan dengan (27).

$$P_{Ri,D} = \frac{P_r |h_{Ri,D}|^2}{d_{Ri,D}^\alpha N} \quad (27)$$

dengan P_r adalah daya transmisi atau daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan informasi dari *relay*,

$d_{Ri,D}$ adalah jarak antara *relay* ke- i dengan tujuan, dan $h_{Ri,D}$ adalah pengaruh pudaran antara *relay* ke- i dan tujuan.

- $P_{S,D}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari sumber ke tujuan dalam satuan W dan dinyatakan dengan (28).

$$P_{S,D} = \frac{P_s |h_{S,D}|^2}{d_{S,D}^\alpha N} \quad (28)$$

dengan $d_{S,D}$ adalah jarak antara sumber dengan tujuan dan $h_{S,D}$ adalah pengaruh pudaran pada pengiriman informasi dari sumber ke tujuan.

- R_b adalah kecepatan bit dari sumber ke tujuan dalam satuan bit/s.

Perhitungan konsumsi energi pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *multi-relay* dengan metode pemilihan *relay* terbaik merujuk pada (25), tetapi terdapat beberapa perbedaan karena adanya proses seleksi satu *node* di sekitar sumber atau di antara sumber dan tujuan yang berfungsi sebagai *relay*. Dengan demikian, berdasarkan metode pemilihan *relay* terbaik, perhitungan konsumsi energi dibagi menjadi dua, yaitu konsumsi energi dengan metode RRS dan PRS, dan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$E_{RRS} = \frac{(\sum_{i=1}^k P_{S,Ri} + P_{Rb,D} + P_{S,D}) + (\sum_{i=1}^k P_{bRi,D} + P_{bD,Rb})}{R_B + R_{Bp}} \text{ Joule/bit}. \quad (29)$$

$$E_{PRS} = \frac{(\sum_{i=1}^k P_{bS,Ri} + \sum_{i=1}^k P_{bRi,D}) + (P_{bD,S} + P_{S,Rb} + P_{Rb,D} + P_{S,D})}{R_{Bp} + R_B} \text{ Joule/bit} \quad (30)$$

dengan

- E_{RRS} adalah konsumsi energi pada RRS.
- E_{PRS} adalah konsumsi energi pada PRS.
- $P_{S,Rb}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari sumber kepada *relay* terbaik dalam satuan W dan dinyatakan dengan (31).

$$P_{S,Rb} = \frac{P_s |h_{S,Rb}|^2}{d_{S,Rb}^\alpha N} \quad (31)$$

dengan $d_{S,Rb}$ adalah jarak antara sumber dengan *relay* terbaik, dan $h_{S,Rb}$ adalah pengaruh pudaran dari sumber ke *relay* terbaik.

- $P_{Rb,D}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari *relay* terbaik ke tujuan dalam satuan W dan dinyatakan dengan (32).

$$P_{Rb,D} = \frac{P_r |h_{Rb,D}|^2}{d_{Rb,D}^\alpha N} \quad (32)$$

dengan $d_{Rb,D}$ adalah jarak antara *best relay* dengan tujuan, dan $h_{Rb,D}$ adalah pengaruh *fading* dari *best relay* ke tujuan.

- $P_{bRi,D}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit pilot dari *relay* ke- i ke tujuan dalam satuan W dan dinyatakan dengan (33).

$$P_{bRi,D} = \frac{P_{br} |h_{bRi,D}|^2}{d_{Ri,D}^\alpha N} \quad (33)$$

dengan P_{br} adalah daya transmisi atau daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan bit pilot dari *relay* ke- i

ke tujuan dan $h_{bRi,D}$ adalah pengaruh pudaran dari *relay* ke-*i* ke tujuan pada saat pengiriman bit pilot.

- $P_{bD,Rb}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit pilot dari tujuan ke *relay* terbaik dalam satuan W dan dinyatakan dengan (34).

$$P_{bD,Rb} = \frac{P_b |h_{bD,Rb}|^2}{d_{D,Rb}^{\alpha} N} \quad (34)$$

dengan P_b adalah daya transmisi atau daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan bit pilot, $h_{bD,Rb}$ adalah pengaruh pudaran antara tujuan dan *relay* terbaik pada saat pengiriman bit pilot, dan $d_{D,Rb}$ adalah jarak antara tujuan dan *relay* terbaik.

- $P_{bS,Ri}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit pilot dari sumber ke *relay* ke-*i* dalam satuan W dan dinyatakan dengan (35).

$$P_{bS,Ri} = \frac{P_b |h_{bS,Ri}|^2}{d_{S,Ri}^{\alpha} N} \quad (35)$$

dengan $h_{bS,Ri}$ adalah pengaruh pudaran antara sumber dan *relay* ke-*i* pada saat pengiriman bit pilot.

- $P_{bD,S}$ adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit pilot dari tujuan kepada sumber dalam satuan W.

$$P_{bD,S} = \frac{P_b |h_{bD,S}|^2}{d_{S,D}^{\alpha} N} \quad (36)$$

dengan $h_{bS,Ri}$ adalah pengaruh pudaran antara tujuan dan sumber pada saat pengiriman bit pilot.

- R_{Bp} adalah kecepatan bit pilot dari sumber ke tujuan dalam satuan bit/s.

2) *Efisiensi Energi*: Dari kedua strategi pemilihan *relay*, efisiensi energi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel dapat diukur dengan mempertimbangkan tingkat konsumsi energi dari masing-masing strategi dengan menggunakan (37) berikut [12].

$$E_{efficiency\ selection} = \frac{E_{multi\ relay} - E_{relay\ selection}}{E_{multi\ relay}} \times 100\% \quad (37)$$

dengan $E_{multi\ relay}$ dihitung dengan menggunakan (25) yang disimbolkan dengan E_c , kemudian $E_{relay\ selection}$ dapat dihitung menggunakan (29) untuk RRS yang disimbolkan dengan E_{RRS} dan (30) untuk PRS yang disimbolkan dengan E_{PRS} .

B. Parameter Simulasi

Simulasi komputer dilakukan berdasarkan analisis konsumsi dan efisiensi energi di atas. Kemudian, simulasi komputer dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti pada Tabel I, yang salah satunya adalah jumlah bit data yang dikirimkan adalah 100.000 bit. Pengiriman dengan jumlah bit yang besar dilakukan dengan pertimbangan pertukaran informasi yang besar pada sistem komunikasi multimedia. Faktor penting yang juga menjadi parameter dalam simulasi adalah jumlah *node relay* lebih dari satu atau *multi-relay*. Parameter lainnya adalah penggunaan jangkauan SNR 0-25

dB yang menjadi acuan dalam transmisi informasi. Parameter-parameter simulasi yang lengkap dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
PARAMETER SIMULASI

No	Parameter	Keterangan
1	Data	100.000 bits
2	Model kanal	<i>Rician</i> dan <i>Rayleigh fading</i>
3	Jumlah sumber	1
4	Jumlah <i>relay</i>	3
5	Jumlah tujuan	1
6	Teknik Modulasi	BPSK
7	Protokol relay	<i>Quantize-and-Forward (QF)</i>
8	Penggabungan informasi	MRC
9	Range SNR	0 – 25 dB
10	Jarak sumber-relay-tujuan	Rasio (0,1 – 1,0)
11	Kecepatan bit	100 Mbps

IV. HASIL

A. Konsumsi Energi

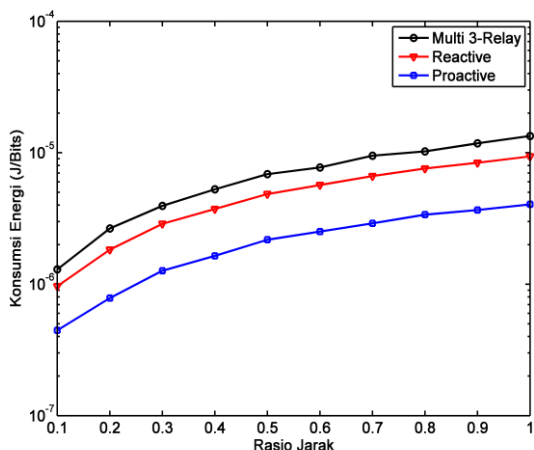
Pada proses simulasi konsumsi energi, pengiriman informasi dari sumber ke tujuan dilakukan dengan tiga metode sistem komunikasi kooperatif QF yaitu secara konvensional atau tanpa menggunakan teknik pemilihan *relay*, metode RRS, dan metode PRS. Masing-masing metode tersebut disimulasikan pada jaringan kooperatif tiga *relay*. Sedangkan kondisi kanal pada simulasi ini dibagi dalam dua lingkungan yaitu LOS dan NLOS.

Hasil simulasi komputer untuk konsumsi energi pada kondisi kanal LOS dapat dilihat pada Gbr. 3. Hasil simulasi untuk jaringan komunikasi kooperatif QF konvensional atau *multi-relay* tanpa proses pemilihan *relay* menunjukkan bahwa konsumsi energi yang dihasilkan sebesar 0,0000267 J/Bits atau $2,67 \times 10^{-5}$ J/Bits. Setelah diterapkan metode RRS, terjadi penurunan konsumsi energi menjadi menjadi 0,0000135 J/Bits atau $1,35 \times 10^{-5}$ J/Bits. Hal ini disebabkan oleh proses pengiriman informasi dari *relay* ke tujuan tidak diteruskan ke semua *node relay*, tetapi diteruskan hanya ke *node relay* terbaik yang telah dipilih sebelumnya, dan informasi tersebut diteruskan ke tujuan. Penurunan jumlah konsumsi energi lebih signifikan pada proses simulasi dengan menggunakan PRS, yaitu 0,00000847 J/Bits atau $8,47 \times 10^{-6}$ J/Bits. Penurunan konsumsi energi pada metode ini dikarenakan proses seleksi dilakukan terlebih dahulu terhadap *node relay* sebelum bit data atau informasi dikirimkan, kemudian dilanjutkan pengiriman informasi hanya melalui *relay* terbaik yang telah dipilih sebelumnya.

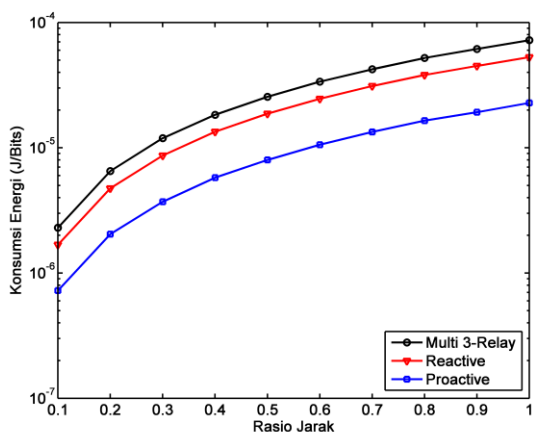
Hasil simulasi konsumsi energi untuk kondisi kanal NLOS dapat dilihat pada Gbr. 4. Pada simulasi ini juga dihasilkan tingkat konsumsi energi paling rendah dengan diterapkannya teknik pemilihan *relay* dengan cara PRS.

Namun yang perlu dicermati adalah skenario perubahan model kanal dari LOS menjadi NLOS ikut mempengaruhi besarnya konsumsi energi. Sebagai contoh, konsumsi energi dengan teknik PRS pada saat kondisi kanal LOS adalah sebesar 0,00000847 J/Bits atau $8,47 \times 10^{-6}$ J/Bits dan dengan PRS pada saat *random-relay* adalah sebesar 0,0000136 J/Bits

atau $1,36 \times 10^{-5}$ J/Bits. Dari hasil ini terlihat bahwa perubahan kondisi lingkungan ikut berpengaruh dalam meningkatkan konsumsi energi.



Gbr. 3 Konsumsi energi terhadap jarak pada kondisi LOS.



Gbr. 4 Konsumsi energi terhadap jarak pada kondisi NLOS.

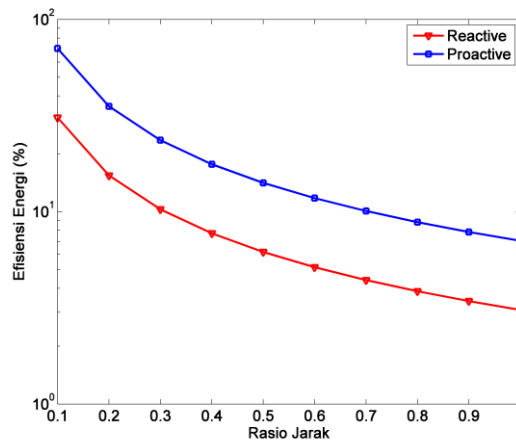
B. Efisiensi Energi

Hasil simulasi tingkat efisiensi energi dengan penerapan metode pemilihan *relay* pada jaringan komunikasi kooperatif *multi-relay* QF adalah seperti pada Gbr. 5 dan Gbr. 6, masing-masing untuk kondisi LOS dan NLOS.

Tingkat efisiensi energi meningkat dengan penurunan konsumsi energi karena pengaruh penurunan jumlah konsumsi daya yang digunakan dalam pengiriman informasi terhadap jarak antara sumber, *relay* dan tujuan. Hasil perhitungan persentase efisiensi energi disimulasikan berdasarkan (37), dengan hasil simulasi seperti pada Gbr. 5 untuk kondisi LOS dan Gbr. 6 untuk kondisi NLOS. Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa efisiensi energi berkurang sejalan dengan pertambahan rasio jarak *relay*. Tingkat efisiensi energi dengan strategi PRS lebih tinggi dibandingkan dengan strategi RRS untuk kedua kondisi, LOS dan NLOS.

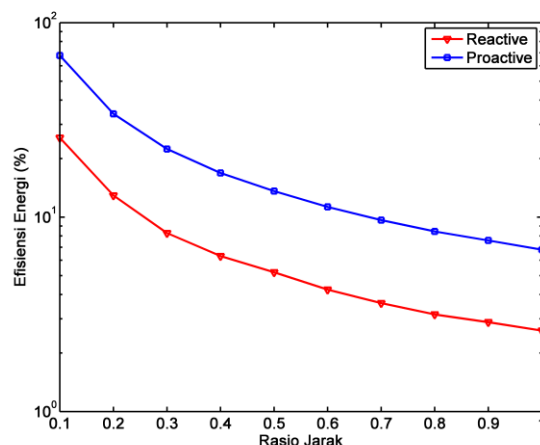
Simulasi perhitungan efisiensi energi untuk skenario kondisi kanal NLOS pada Gbr. 6 menunjukkan bahwa teknik pemilihan *relay* secara PRS memiliki tingkat efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan dengan RRS. Hasil ini mempunyai karakteristik yang sama dengan simulasi

sebelumnya yaitu tingkat konsumsi energi dari *proactive* lebih kecil dibandingkan dengan strategi *reactive*. Pada pemilihan *relay* dengan teknik *proactive*, *relay* telah dipilih sebelumnya melalui mekanisme CSI, yaitu dengan pengiriman bit *training* atau bit pilot dengan ukuran 100 bit. Setelah *relay* terbaik dipilih maka *node relay* lainnya yang tidak terpilih sebagai *relay* terbaik akan berada dalam kondisi *idle*. Mekanisme ini merupakan salah satu keunggulan dari strategi pemilihan *relay* dengan teknik *proactive*.

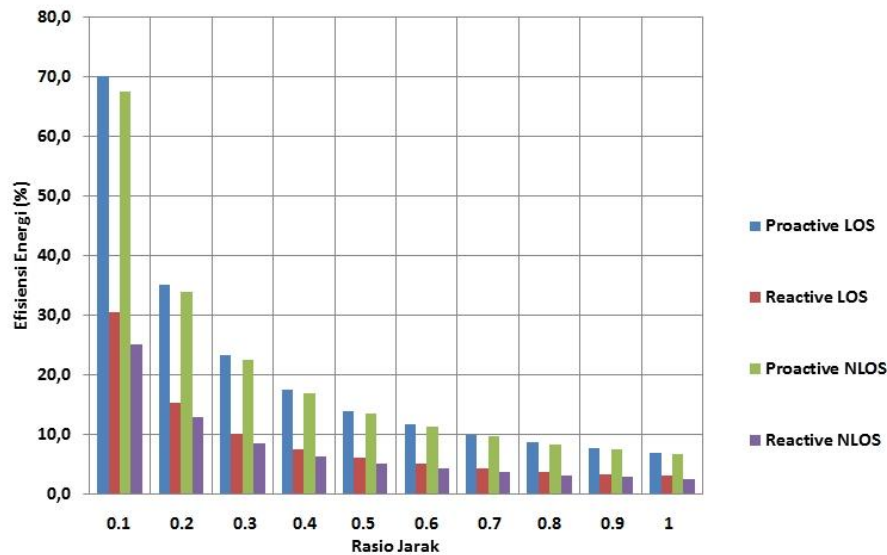


Gbr. 5 Efisiensi energi terhadap jarak pada kondisi LOS.

Gbr. 7 menunjukkan hasil simulasi perbandingan efisiensi energi untuk kedua strategi pemilihan *relay* pada lingkungan LOS dan NLOS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jarak antara sumber dan *relay* merupakan faktor penting untuk mendapat efisiensi yang baik. Efisiensi energi tertinggi didapatkan pada saat posisi *relay* dengan sumber yaitu pada rasio jarak 0,1 untuk LOS dan NLOS. Sebaliknya, efisiensi energi akan berkurang ketika rasio jarak bertambah atau jarak *relay* semakin jauh dari sumber. Sama dengan indikasi pada hasil simulasi sebelumnya, strategi PRS mempunyai tingkat efisiensi lebih baik dibandingkan dengan strategi RRS pada kedua lingkungan. Akan tetapi, efisiensi energi PRS pada LOS lebih tinggi dibandingkan dengan PRS pada NLOS, karena adanya pengaruh pudaran lintasan-jarak pada lingkungan NLOS yang mengonsumsi energi lebih besar.



Gbr. 6 Efisiensi energi terhadap jarak pada kondisi NLOS.



Gbr. 7 Efisiensi energi dengan strategi pemilihan *relay* untuk kondisi NLOS dan LOS.

V. KESIMPULAN

Makalah ini telah menganalisis tingkat efisiensi energi sistem komunikasi kooperatif *multi-relay* QF menggunakan strategi pemilihan *relay*. Dua strategi pemilihan *relay* telah dipertimbangkan pada model jaringan *multi-relay* QF, yaitu RRS dan PRS. Selanjutnya, analisis matematis sesuai dengan model jaringan *multi-relay* dan simulasi komputer telah dilakukan untuk mendapatkan tingkat konsumsi dan efisiensi energi dari strategi RRS dan PRS. Pada makalah ini, kondisi kanal komunikasi telah diskenariokan dalam dua kategori yaitu LOS dan NLOS. Kondisi LOS menggunakan model kanal pudaran yang terdistribusi secara Rician, dan pada NLOS digunakan model kanal yang terdistribusi secara Rayleigh. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konsumsi energi pada jaringan *multi-relay* QF dengan strategi pemilihan *relay* lebih rendah dibandingkan dengan jaringan tanpa menggunakan strategi pemilihan *relay*. Selanjutnya, dari dua strategi yang diterapkan pada jaringan *multi-relay* QF, konsumsi energi dengan strategi PRS lebih rendah dibandingkan dengan strategi RRS. Faktor jarak atau letak posisi *relay* juga memiliki pengaruh terhadap konsumsi energi pada jaringan *multi-relay*. *Relay* dengan posisi yang berbeda satu sama lain mengonsumsi energi yang lebih besar dibandingkan dengan *relay* di tengah antara sumber dan tujuan. Tingkat efisiensi energi untuk kedua strategi *relay selection* tertinggi didapatkan ketika *relay* lebih dekat dengan sumber, baik pada kondisi LOS maupun NLOS. Sebaliknya efisiensi energi akan berkurang ketika jarak *relay* terhadap sumber bertambah. Pengaruh pudaran lintasan-jarak pada lingkungan NLOS mengakibatkan tingkat konsumsi energi yang lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan LOS, sehingga dapat dikatakan pula, kedua strategi pemilihan *relay* mampu menyediakan tingkat efisiensi energi yang lebih baik pada lingkungan LOS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian dalam makalah ini merupakan bagian dari hibah penelitian Tim Pascasarjana yang didanai oleh Kemenristekdikti Tahun 2016.

REFERENSI

- [1] I. W. Mustika, B. M. S. Nirmala, S. Sulisty, "Pendekatan Teori Permainan Potensial untuk Manajemen Interferensi pada Jaringan Makro-Femto," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 5, No. 1, Februari 2016.
- [2] Nasaruddin, M. Andriani, Melinda and M. Irhamsyah, "Analysis of energy efficiency for Wi-Fi 802.11b multi-hop networks," *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, pp. 64-68, 2013.
- [3] Nasaruddin, S. Muchallil and M. Oktiana, "Energy efficiency of mobile peer-to-peer network based on channel condition and bandwidth," *International Electronics Symposium (IES)*, pp. 157-162, 2015.
- [4] A.K. Sadek, W. Yu, K.J.R. Liu, "On the Energy Efficiency for Cooperative Communications in Wireless Sensor Networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 6, No. 1, Article 5, 2009.
- [5] H. Zhu, K.J.R. Liu, *Resource Allocation for Wireless Networks: Basics, Techniques, and Applications*, Cambridge University Press, 2008.
- [6] F. Etezadi, K. Zariifi, A. Ghayeb, S. Affes, "Decentralized Relay Selection Schemes in Uniformly Distributed Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.11, no.3, pp.938-951, March 2012.
- [7] A. Bletsas, Hyundong Shin, M.Z. Win, "Cooperative Communications with Outage-Optimal Opportunistic Relaying," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.6, no.9, pp.3450-3460, September 2007.
- [8] Yang Jie; Cao Xue-hong; Chen Rui; Rui Xiong-li, "Minimum transmit power under/considering relay selection for asymmetric two-way relaying networks," *IET Communications*, vol.8, no.18, pp.3254-3258, 2014.
- [9] Nasaruddin, Melinda, and Elizar. "Optimized Power Allocation for Cooperative Amplify-and-Forward with Convolutional Codes." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 12, No. 8, pp. 6243-6253, 2014.
- [10] S.S Ikki, Ahmed, M.H., "Performance analysis of adaptive decode-and-forward cooperative diversity networks with best-relay selection," *IEEE Transactions on Communications*, vol.58, no.1, pp.68-72, January 2010.

- [11] M.R. Souryal, Huiqing You, "Quantize-and-Forward Relaying with M-ary Phase Shift Keying," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, WCNC, March 31 2008-April 3 2008, pp.42-47.
- [12] Zhiqiang Wang; Wenbo Xu; Jiaru Lin; Jing Zhai, "A quantize-and-forward scheme for systems with two cognitive relays," *International Symposium Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 7-10 Sept. 2014, pp.663-667.
- [13] G.G. de Oliveira Brante, M.T. Kakitani, R. Demo Souza, *Energy Efficiency in Cooperative Wireless Sensor Networks, Energy Efficiency - The Innovative Ways for Smart Energy, the Future Towards Modern Utilities*, Dr. Moustafa Eissa (Ed.), ISBN: 978-953-51-800-9, InTech, DOI: 10.5772/47780, 2012.
- [14] A. Steiner and S. Shamai, "Single-User Broadcasting Protocols over a Two-Hop Relay Fading Channel," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 11, pp. 4821-4838, 2006.
- [15] Marchenko, Nikolaj; Bettstetter, Christian; Bettstetter, Christian, "Throughput and Energy Efficiency of Cooperative Diversity with Relay Selection," *Wireless Conference 2011 - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, 11th European, 27-29 April 2011, pp.1-6.
- [16] D. T. Tran, S. Sun and E. Kurniawan, "A Low-Complexity Practical Quantize-and-Forward Scheme for Two-Hop Relay Systems," *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75th*, Yokohama, 2012, pp. 1-5.
- [17] K. Woradit, T.Q.S Quek, W. Suwansantisuk, H. Wymeersch, Wuttisittikulij, Lunchakorn, M.Z. Win, "Outage behavior of selective relaying schemes," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.8, no.8, pp.3890-3895, August 2009.