

Analisis Kinerja Jaringan *Hybrid* Kooperatif *Device-to-Device* 5G menggunakan Teknik Pemilihan *Relay* Reaktif

MUHAMMAD RAUDHI AZMI, MELINDA MELINDA,
NASARUDDIN NASARUDDIN*

Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Indonesia
Email: raudhiazmi@mhs.unsyiah.ac.id, *nasaruddin@unsyiah.ac.id
*corresponding Author

Received 1 November 2019 | *Revised* 13 November 2019 | *Accepted* 6 Desember 2019

ABSTRAK

Sistem komunikasi kooperatif device-to-device (D2D) merupakan salah satu strategi peningkatan kecepatan data dan efisiensi energi. Pada sistem kooperatif, mekanisme relay merupakan faktor penting dalam meneruskan informasi. Model jaringan merupakan isu penting untuk meningkatkan kecepatan, kinerja dan efisiensi energi pada sistem. Oleh sebab itu, makalah ini menganalisis kinerja jaringan hybrid kooperatif D2D pada teknologi 5G menggunakan teknik pemilihan relay reaktif atau reactive relay selection (RRS). Beberapa parameter kinerja penting telah simulasikan, seperti model jaringan, SNR, BER dan throughput. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan kooperatif hybrid-relay dengan RRS menghasilkan nilai BER yang lebih kecil dan throughput yang lebih tinggi dibandingkan model multi-relay dan multi-hop relay. Dengan demikian, jaringan hybrid-relay dengan pemilihan relay lebih efisien dibandingkan jaringan lainnya.

Kata kunci: sistem komunikasi kooperatif, pemilihan relay reaktif, multi-hop, multi-relay, hybrid-relay.

ABSTRACT

A device-to-device (D2D) cooperative communication system is one of the strategies to increase data speed and energy efficiency. In a cooperative system, the relay mechanism is an important factor in forwarding information. A network model is an important issue to increase the speed, performance and energy efficiency of the system. Therefore, this paper analyzes the performance of D2D cooperative hybrid networks on 5G technology using reactive relay selection (RRS) techniques. Some important performance parameters have been simulated, such as network models, SNR, BER and throughput. Simulation results show that hybrid-relay cooperative networks with RRS produce smaller BER values and higher throughput compared to multi-relay and multi-hop relay models. Thus, hybrid-relay networks with relay selection are more efficient than other networks.

Keywords: cooperative communication system, reactive relay selection, multi-hop, multi-relay, hybrid-relay.

1. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi kooperatif merupakan mekanisme kerjasama antar *user* yang terdistribusi untuk meningkatkan kinerja sistem dan efisiensi spektrum (Li, Hu, Qian, & Wu, 2012). Pada sistem komunikasi kooperatif, *source* (S) mengirimkan informasi secara *broadcast* langsung ke penerima (D) dan ke beberapa *relay* (R) yang merupakan *user* lain dalam area yang berada didekatnya. Dalam proses transmisi, jalur pengiriman informasi baik langsung maupun melalui *relay* saling independen satu sama lain. Komunikasi kooperatif memungkinkan pemanfaatan sumber daya komunikasi yang lebih efisien, karena pada sistem komunikasi kooperatif penggunaan *base station* (BS) dapat di kurangi.

Sistem komunikasi selular di Indonesia saat ini berada pada era 4G *Long Term Evolution Advanced* (LTE-A) yang akan berkembang menuju era 5G (Gupta, 2016). Teknologi 4G diluncurkan pada 2010 oleh Telia Sonera dari Finlandia. Hal ini memberikan solusi yang lebih baik daripada 2G dan 3G. *Third Generation Project Partnership* (3GPP) telah distandarisasi sebagai LTE-A (Ganesh R. Patil. & Prashant S.Wankhade, 2014). LTE-A merupakan perkembangan dari generasi LTE dan merupakan teknologi komunikasi yang bergerak pada *mobile system* yang menjadi dasar sistem 4G. Untuk mempertahankan atau menjaga kualitas jaringan agar tetap bekerja sesuai standarisasi kinerja, maka sebuah jaringan membutuhkan banyak BS. Pengaruh dari penambahan ini mengakibatkan konsumsi energi yang besar dan adanya pemborosan energi. Oleh karena itu, *Device-to-Device* (D2D) diperkenalkan untuk mengurangi jumlah dari *base station* (Lien, Chen, & Lin, 2011).

D2D adalah sebuah sistem komunikasi antara dua perangkat selular yang berdekatan secara langsung tanpa harus melalui BS, penggunaan D2D dapat meningkatkan *data rate* disebabkan jarak yang lebih dekat (Lien et al., 2011). Komunikasi D2D adalah salah satu pilihan untuk efisiensi pada sistem komunikasi 5G (Gupta, 2016). Kekurangan dari sistem D2D ketika adanya pengguna dari D2D dengan jumlah yang banyak (*multi-hop* D2D) akan menyebabkan kinerja jaringan akan terbagi dan dapat menurunkan kualitas jaringan, jadi dibutuhkan sebuah model D2D yang dapat menjaga kualitas dari suatu jaringan. Konsep dasar dari sistem komunikasi kooperatif adalah kerja sama antar *user* yang terdistribusi untuk meningkatkan seluruh kinerja jaringan (Li et al., 2012). Dengan menerapkan sistem komunikasi kooperatif pada sistem D2D dapat mengurangi masalah yang terjadi ketika adanya penumpukan pengguna pada suatu tempat (Cao, Jiang, & Wang, 2015). Kendala jarak D2D dalam praktiknya memungkinkan jaringan selular mengontrol kondisi saluran rata-rata antara pengguna D2D (Gupta, 2016). Pemilihan *relay* (*relay-selection*) merupakan isu penting dalam sistem komunikasi kooperatif nirkabel (Cao et al., 2015). Teknik pemilihan *relay* dapat meningkatkan kinerja pada sistem dan juga menurunkan konsumsi energi. Makalah lain mengkaji strategi pemilihan *relay 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 (Mustafa, Imran, Shakir, Imran, & Tafazolli, 2016).

Berdasarkan kajian tersebut, penerapan teknik *relay-selection* dengan protokol kooperatif pada jaringan *multi-relay* dengan protokol QF (*Quantize and forward*) belum optimal dari sisi kinerja jaringan, karena penggunaan *relay* yang selalu sama ketika jarak antar sumber dan tujuan dekat dan jauh (Akhyar, Nasaruddin, & Muharar, 2017). Selanjutnya, teknik *relay-selection* dengan protokol kooperatif DF (*Decode and Forward*) pada model jaringan *multi-relay* belum efektif karena tingkat kompleksitas pada protokol DF (Ikki & Ahmed, 2010). Hingga saat ini, teknik *relay selection* belum pernah dikaji model jaringan *hybrid-relay*.

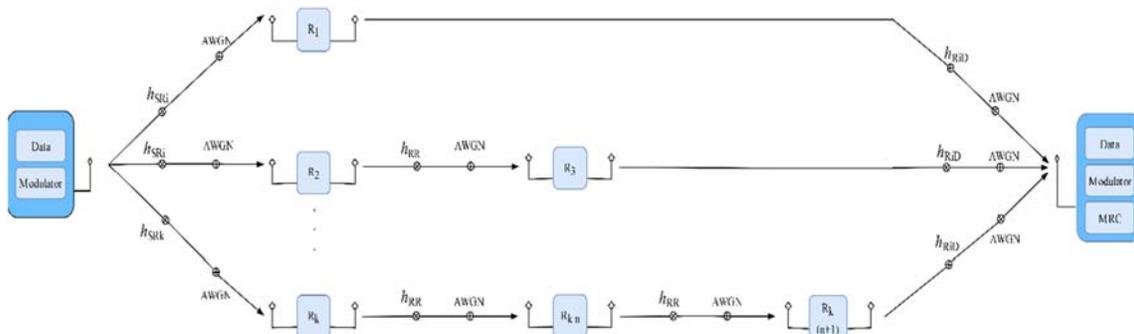
Jaringan *hybrid-relay* dengan metode *relay selection* memiliki keunggulan pada penggunaan *relay* yang berbeda ketika jarak antar sumber ke tujuan dekat dan jauh.

Makalah ini menganalisis peningkatan kinerja jaringan yang digunakan pada sistem komunikasi D2D dengan teknik pemilihan *relay* menggunakan model jaringan *hybrid-relay* dengan teknik *reactive relay selection* untuk memperoleh kinerja maksimum dengan protokol *amplify and forward* (AF). Untuk meningkatkan kinerja jaringan tersebut mempertimbangkan jumlah pengguna D2D yang berubah setiap waktu, dari yang sedang bergerak hingga terjadinya penumpukan pengguna pada suatu tempat. Dengan menerapkan proses pemilihan *relay* untuk menentukan *relay* terbaik yang akan digunakan. Makalah ini menggunakan teknik pemilihan *relay* reaktif, dinamakan *reactive relay selection* (RRS), untuk menentukan *relay* terbaik yang akan digunakan, dengan sinyal informasi yang dikirimkan secara *broadcast* oleh sumber kepada perangkat *relay* terdekat dan informasi tersebut akan dikuatkan terlebih dahulu sebelum diteruskan ke tujuan. Dengan demikian, penelitian ini dapat berkontribusi dalam meningkatkan kinerja jaringan pada sistem komunikasi nirkabel dengan teknologi 5G yang menjadi isu hangat saat ini.

2. MODEL SISTEM

2.1 Topologi Jaringan

Model jaringan kooperatif *hybrid-relay* dengan teknik pemilihan *relay* yang diusulkan pada makalah ini yang dapat dilihat pada Gambar 1. Model jaringan ini dirancang sesuai dengan kondisi lingkungan yang memungkinkan terdapat banyak *device* yang berkumpul pada suatu tempat. Model jaringan *hybrid* merupakan gabungan dari dua model jaringan komunikasi D2D yaitu *multi-relay* dan *multi-hop*. Komponen jaringan terdiri dari beberapa *node*, yaitu: sumber (S), *relay* (R_1, \dots, R_k), dan tujuan (D).



Gambar 1. Jaringan Kooperatif *Hybrid-relay*

Pada proses jaringan kooperatif *hybrid relay* sinyal informasi dikirim secara *broadcast*, sinyal yang dikirim secara *broadcast* dari sumber akan diterima oleh *relay*. Pada *relay* informasi yang diterima akan dikirimkan menuju *relay* berikutnya dan juga bisa langsung mengirimkan ke tujuan dengan $y_{S,D}$ merupakan sinyal informasi yang dikirimkan dari sumber ke tujuan, $h_{S,D}$ merupakan koefisien *fading* dari sumber ke tujuan, x_s adalah informasi yang dikirimkan dan $n_{S,D}$ merupakan *noise* AWGN dari sumber ke tujuan dan dituliskan dengan persamaan berikut:

$$y_{S,D} = h_{S,D}x_s + n_{S,D} \quad (1)$$

Pengiriman sinyal informasi dari *node* atau perangkat sumber ke tujuan baik secara langsung dan melalui perangkat *relay*. Proses kerja sistem kooperatif *hybrid relay* pada makalah ini

dibagi menjadi beberapa fase atau tahap. Tahap pertama sumber mengirimkan sinyal informasi secara *broadcast* dalam bentuk data bit yang dinotasikan dengan (x_s) kepada *relay* ke i (S, R_i) dengan $i = 1, 2, \dots, k$, kepada *relay berikutnya* (R_i, R) dan (R_i, D) merupakan pengiriman dari *relay* ke tujuan. Informasi yang diterima pada tujuan dan *relay* dipengaruhi oleh koefisien *fading* (h) dan penambahan (n) (*Adaptive White Gaussian Noise*) AWGN. Pada tahap kedua, *relay* akan mengirimkan bit informasi menuju *relay* lain yang berada didekatnya ($y_{R,R}$) dan juga bisa mengirimkan langsung ke tujuan ($y_{R,D}$). Berdasarkan penelitian A.Ali dan Arshad (Ali, Shah, & Arshad, 2016) persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut:

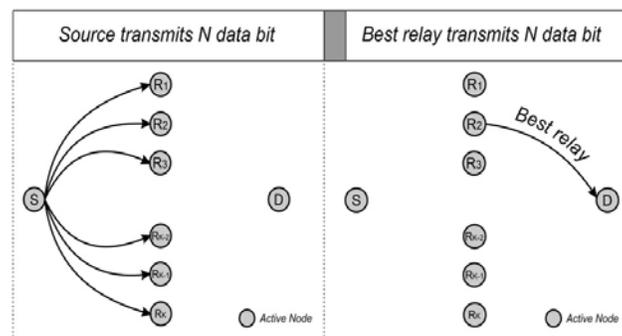
$$y_{S,R_i} = h_{S,R_i}x_s + n_{S,R} \quad (2)$$

$$y_{R,R} = h_{R_i,R}x_r + n_{R_i,R} \quad (3)$$

$$y_{R,D} = h_{R_i,D}x_r + n_{R_i,D} \quad (4)$$

2.2 Metode Pemilihan *Relay*

Pada makalah ini menggunakan metode pemilihan *relay*: reactive *relay* selection (RRS). Metode RRS merupakan salah satu sistem pemilihan *relay* yang dilakukan ketika informasi yang dikirimkan langsung ke tujuan mengalami kegagalan. Mekanismenya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Strategi Pemilihan *Relay*

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pemilihan *relay* dengan metode RRS sebagai berikut:

- 1) Tahap pertama sumber mengirimkan informasi secara *broadcast* berupa bit data (keseluruhan data) kepada beberapa *relay* yang berada didekatnya. Sinyal informasi yang dikirimkan secara *broadcast*, selanjutnya sinyal informasi yang dikirimkan dari sumber ke *relay* dinotasikan dengan (y_{S,R_i}) , dengan h_{S,R_i} merupakan koefisien *fading* dari sumber ke *relay* i dan n_{S,R_i} merupakan *noise* AWGN dari sumber ke *relay* i , ($i: 1, \dots, k$). Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut (Akhyar et al., 2017):

$$y_{S,R_i} = h_{S,R_i} + n_{S,R_i}; \text{ dengan } i = 1, \dots, n \quad (5)$$

- 2) Pada tahap kedua semua *relay* yang menerima *broadcast* informasi tersebut akan dipilih. Pemilihan *relay* terbaik atau *best relay* (b) dilakukan menggunakan metode CSI (*Channel State Information*). Metode ini akan memilih *relay* terbaik berdasarkan nilai SNR terbaiknya,

perhitungan SNR untuk memilih *node relay* terbaik yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Akhyar et al., 2017):

$$b = \arg \max \{ \text{SNR}_{R_i,d} \} ; b = \text{best relay} ; i = 1, \dots, k \quad (6)$$

- 3) Tahap ketiga sumber akan melakukan *request* informasi kepada *best relay* (b).
- 4) Langkah terakhir adalah *best relay* meneruskan informasi kepada *relay* lain yang berada lebih dekat ke tujuan ($y_{R,R}$) dan juga dapat mengirimkan langsung ke tujuan ($y_{R,D}$) dan β_i merupakan koefisien penguat dari *relay* i , $y_{R,R}$ adalah sinyal informasi yang diterima di lainnya, $h_{R_i,R}$ merupakan koefisien *fading* dari *relay* ke *relay* dan $n_{R_i,R}$ merupakan *noise* AWGN dari *relay* ke *relay*, $y_{R,D}$ adalah sinyal informasi yang diterima di tujuan, $h_{R_i,d}$ merupakan koefisien *fading* dari *relay* ke tujuan dan $n_{R_i,d}$ merupakan *noise* AWGN dari *relay* ke tujuan. Dapat dirumuskan sebagai berikut (Akhyar et al., 2017):

$$y_{R,R} = (\beta_i h_{R_i,R} x_s + n_{R_i,R}) \quad (7)$$

$$y_{R,D} = (\beta_i h_{R_i,d} x_s + n_{R_i,d}) \quad (8)$$

Sebelum informasi dari *relay* diteruskan informasi tersebut akan dikuatkan terlebih dahulu, dengan P_i merupakan daya yang digunakan pada *relay* i , P_0 adalah daya yang digunakan untuk mengirimkan informasi pada sumber dan N_0 adalah pengaruh *noise* saluran dan secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Nasaruddin, Melinda, & Elizar, 2014):

$$\beta_i = \sqrt{\frac{P_i}{(P_0 |h_{s,r_i}|^2 N_0)}} \quad (9)$$

2.3 Modulasi Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM)

M-QAM merupakan salah satu teknik modulasi *digital multy level* yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. QAM merupakan salah satu modulasi *digital* yang dapat menumpangkan sinyal informasi berupa data biner ke sinyal pembawa berupa sinyal sinusoidal. Modulasi QAM memanfaatkan perubahan fasa dan amplitudo sinyal pembawa dengan saling berbeda fasa sebesar 90 derajat atau dapat dikatakan modulasi QAM adalah modulasi yang merupakan gabungan dari modulasi ASK dan PSK. QAM menggunakan dua pembawa kuadratur yaitu $\cos 2\pi f_c t$ dan $\sin 2\pi f_c t$ masing-masing dimodulasikan oleh beberapa *bit* informasi (Mohamad, Mahmud, & Awang, 2011). Pada makalah ini menggunakan beberapa modulasi QAM. Bentuk-bentuk modulasi yang digunakan adalah 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, dan 64-QAM.

3. SKEMA PENGUJIAN

3.1 Parameter Simulasi

Simulasi yang dilakukan didalam makalah ini menggunakan beberapa parameter, diantaranya adalah jumlah *bit* data yang dikirimkan adalah 100000 *bit*. Pengiriman dengan jumlah *bit* yang besar dilakukan dengan pertimbangan pertukaran informasi yang besar pada sistem komunikasi. Hal yang penting juga menjadi parameter dalam simulasi adalah jumlah *node relay* lebih dari satu dan juga *data rate* pada parameter mempengaruhi hasil *throughput*. Parameter lainnya adalah penggunaan jangkauan SNR 0-20 dB yang menjadi acuan dalam

transmisi informasi. Keterangan lengkap dari parameter yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

No	Parameter	Keterangan
1	Jumlah <i>Bit</i> Data	100.000 <i>bit</i>
2	Model kanal	Rayleigh <i>fading</i>
3	Jumlah sumber	1
4	Jumlah <i>relay</i>	6
5	Jumlah tujuan	1
6	Teknik Modulasi	m-QAM (m = 16, 32 dan 64)
7	Protokol <i>relay</i>	AF
8	Jarak sumber – <i>relay</i> – tujuan	Tetap dan Bergerak
9	Rasio Jarak	0.1 – 0.9
10	<i>Data Rate</i>	1 Gbps
11	SNR (dB)	0-20 dB

3.2 Kinerja Jaringan

Berdasarkan model topologi dan strategi pemilihan *relay*, kinerja jaringan pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *hybrid-relay* AF merupakan faktor penting yang perlu dianalisis pada artikel ini. Ada beberapa faktor yang perlu dihitung untuk mengukur tingkat kinerja jaringan.

1) *BER* adalah pengukuran kinerja yang menentukan Jumlah *bit* rusak atau hancur sebagaimana adanya ditransmisikan dari sumbernya ke tujuannya (**Nasaruddin et al., 2014**). Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi BER termasuk *bandwidth*, *signal-to-noise ratio* (SNR), kecepatan transmisi dan transmisi medium. Dengan x_s adalah informasi yang dikirimkan dan *jumlah error* adalah kesalahan yang terjadi ketika pengiriman yang dilakukan dari sumber ke tujuan dengan $y_{Ri,D}$ merupakan informasi yang diterima pada tujuan. Definisi laju kesalahan *bit* dapat diterjemahkan menjadi formula sederhana (**Sadinov, 2017**):

$$BER = \frac{\text{jumlah error}}{x_s} \quad (10)$$

$$\text{Jumlah error} = y_{Ri,D} - x_s \quad (11)$$

2) *Throughput* adalah banyaknya ukuran data informasi yang dapat dilewatkan dan diterima dari *source* menuju *destination* untuk setiap satuan waktu atau dapat diartikan banyaknya paket data yang berhasil dikirimkan ke penerima dari sejumlah usaha pengiriman informasi setiap detik. Persamaan *throughput* dapat dirumuskan sebagai berikut, dengan E (r) adalah *throughput* (Gbps) dan r adalah *bit rate* (Gbps) (**Ikki & Ahmed, 2010**).

$$E(r) = (1 - BER) r \quad (12)$$

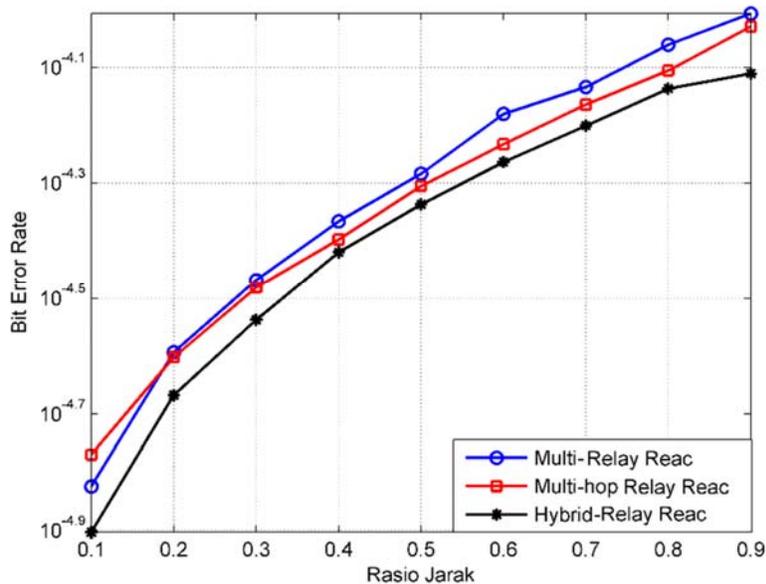
BER adalah kemungkinan terjadinya *outage* yaitu kemungkinan terjadinya kegagalan pengiriman informasi yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (**Marchenko & Bettstetter, 2011**).

4. HASIL DAN ANALISIS

Proses simulasi pengiriman informasi dari sumber ke tujuan dilakukan dengan metode sistem komunikasi kooperatif *reactive relay-selection* (RRS) dan model-model jaringan kooperatif D2D. Kemudian, makalah ini membandingkan nilai BER dan *throughput* berdasarkan perubahan nilai SNR dan rasio jarak. Hasil pada makalah ini sebagai berikut:

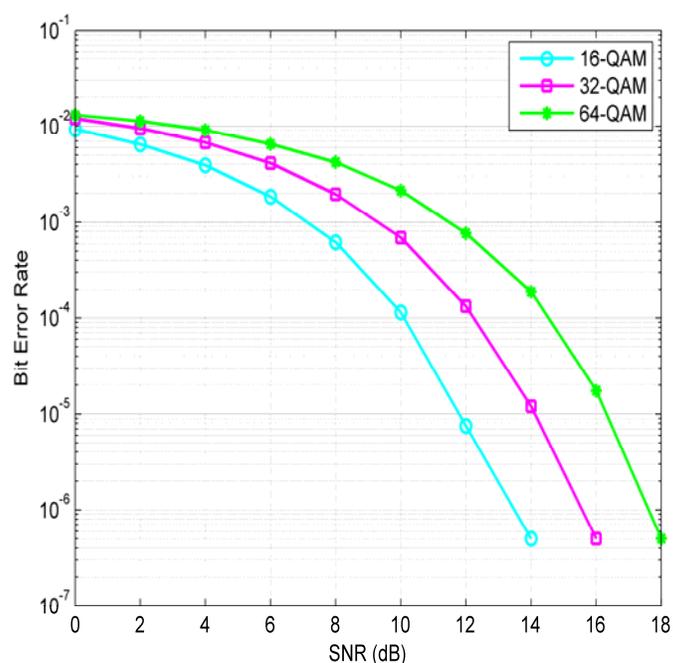
4.1 Bit Error Rate

Proses simulasi BER berdasarkan jarak dengan membandingkan antara tiga model jaringan, yaitu model *multi-relay*, *multi-hop relay* dan model *hybrid-relay*. Untuk BER yang dihasilkan dari ketiga model jaringan tersebut nilai *hybrid-relay* menjadi model dengan nilai BER terbaik diantara kedua model lain yaitu *multi-hop relay* dan *multi-relay*. Dari kedua hasil simulasi BER berdasarkan rasio jarak pada proses pemilihan *relay* dengan metode *reactive relay-selection* (RRS) dihasilkan $4,61 \times 10^{-5}$ bit untuk model *hybrid-relay*, $5,15 \times 10^{-5}$ bit pada model *multi-hop relay* dan $5,49 \times 10^{-5}$ bit pada model *multi-relay*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. BER Terhadap Jarak Pada Tiga Model Jaringan

Berdasarkan hasil simulasi ini menunjukkan bahwa tingkat kesalahan transmisi pada jaringan *hybrid* lebih kecil dibandingkan dengan kedua model jaringan lainnya yaitu *multi-relay* dan *multi-hop relay*. Dengan kata lain, jaringan *hybrid* memberi banyak pilihan bagi sumber untuk memilih *relay* yang terbaik dengan SNR yang kuat, sehingga tingkat kesuksesan dalam mentransmisikan informasi ke tujuan semakin tinggi.



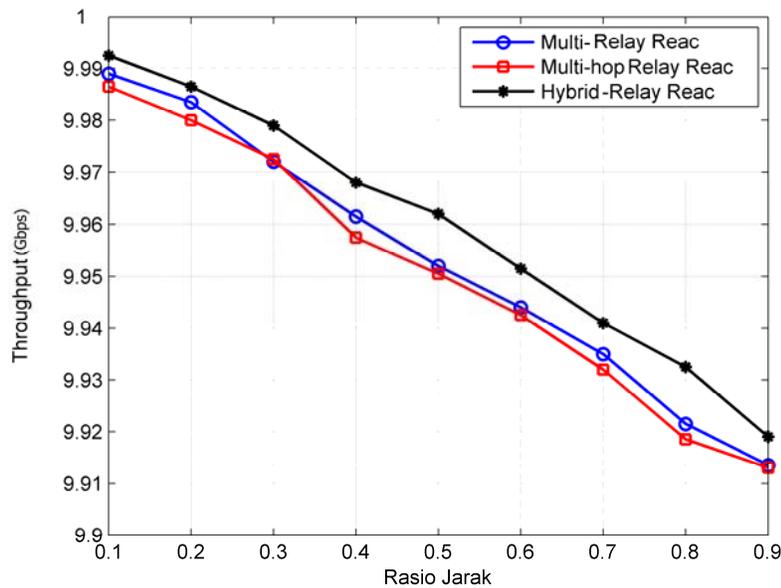
Gambar 4. BER Terhadap SNR Pada Tiga Tipe Modulasi Untuk Jaringan *hybrid-relay*

Makalah ini juga mensimulasi beberapa tipe modulasi QAM pada jaringan *hybrid* D2D yang merupakan modulasi yang akan digunakan pada teknologi 5G. Hasil simulasi BER berdasarkan SNR membandingkan antara tiga model modulasi, yaitu 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM, seperti pada Gambar 4. Pada simulasi, jarak *relay* dalam jaringan diasumsikan pada posisi tetap atau perangkat *relay* dengan jarak tertentu. Hasil simulasi BER menggunakan metode RRS untuk modulasi 16-QAM adalah 0,002019 *bit*, kemudian dibandingkan dengan modulasi 32-QAM sebesar 0,003211 *bit* dan dengan 64-QAM menghasilkan 0,004309 *bit*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi orde dari QAM yang digunakan, maka tingkat kesalahan informasi waktu transmisi akan semakin besar. Secara teori, hal ini adalah valid karena semakin banyak *bit* dalam suatu *symbol* maka peluang kegagalan (kesalahan) akan semakin tinggi.

4.2 Throughput

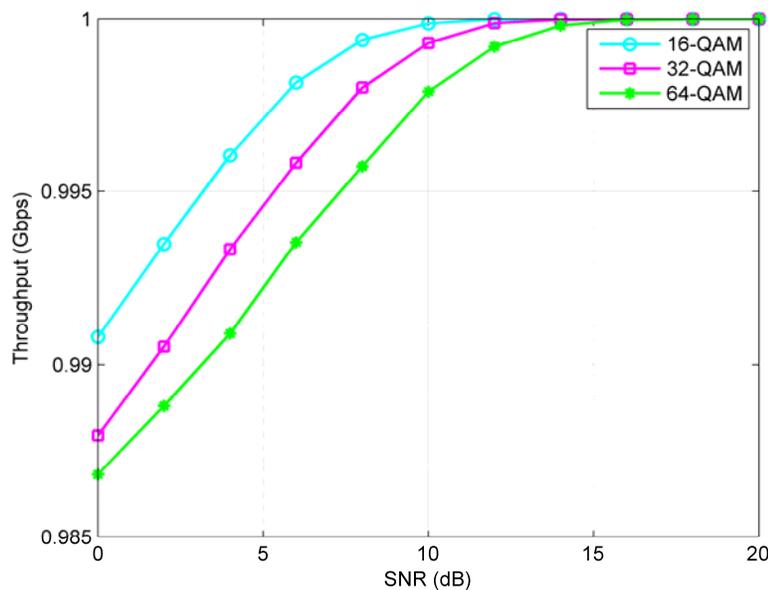
Simulasi *throughput* dilakukan untuk ketiga model jaringan. Parameter perbandingannya adalah variasi jarak *relay* dan variasi nilai SNR. Disamping itu, *throughput* jaringan juga disimulasikan dengan tipe modulasi QAM yang berbeda.

Hasil simulasi *throughput* berdasarkan jarak dengan metode pemilihan *relay* RRS dapat dilihat pada Gambar 5. Secara umum, *throughput* yang dihasilkan pada jaringan *hybrid* lebih tinggi dibandingkan dua model jaringan lainnya.



Gambar 5. Throughput Terhadap Jarak Pada Tiga Model Jaringan

Pada hasil *throughput* untuk jaringan *multi-relay* adalah sebesar 0,999944 Gbps, 0,999948 Gbps pada *multi-hop relay*, dan 0,999953 Gbps pada *hybrid-relay*. Kemudian, *throughput* akan semakin kecil ketika jarak *relay* bertambah dan tingkat kuat sinyal akan berkurang dan kegagalan transmisi *bit* juga bertambah, maka *throughput* yang dihasilkan akan menurun.



Gambar 6. Throughput Terhadap SNR Pada Tiga Modulasi Untuk Jaringan Hybrid-relay

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi *throughput* berdasarkan SNR untuk tiga tipe modulasi QAM yaitu 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM pada jaringan *hybrid-relay* menggunakan metode pemilihan *relay* RRS. Pada simulasi, *throughput* yang dihasilkan sebesar 0,997983 Gbps untuk modulasi 16-QAM, 0,996793 Gbps pada modulasi 32-QAM dan 0,995694 Gbps

pada modulasi 64-QAM. Hal ini sinkron dengan hasil BER untuk masing-masing tipe modulasi, dengan orde modulasi rendah menghasilkan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan order modulasi yang lebih tinggi karena tingkat BER pada modulasi orde tinggi lebih besar dibandingkan dengan modulasi orde rendah. Dengan demikian, jaringan *hybrid-relay* D2D dengan modulasi orde rendah QAM lebih cocok digunakan pada teknologi 5G untuk menghasilkan *throughput* maksimal terutama pada saat jarak *relay* dengan sumber relatif pendek.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menganalisis kinerja jaringan pada sistem komunikasi kooperatif *hybrid-relay* AF menggunakan teknik pemilihan *relay* RRS yang digunakan untuk komunikasi kooperatif *device to device* (D2D) untuk teknologi 5G. Model jaringan *hybrid-relay* telah dikaji dengan beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja. Simulasi komputer telah dilakukan untuk mendapatkan kinerja BER dan *throughput* untuk jaringan *multi-relay*, *multi-hop relay* dan usulan makalah jaringan *hybrid-relay*. Selanjutnya penelitian ini juga membandingkan beberapa modulasi signal, yaitu: 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM. Hasil simulasi model *hybrid-relay* AF dengan strategi pemilihan *relay* RRS menunjukkan bahwa kinerja BERnya lebih rendah dibandingkan dengan jaringan *multi-relay* dan *multi-hop relay*. Kinerja modulasi QAM pada jaringan *hybrid-relay* menunjukkan bahwa orde modulasi yang rendah menghasilkan kinerja BER yang baik dan tingkat kesalahan transmisi semakin kecil dibandingkan dengan modulasi orde tinggi. Selanjutnya, kinerja *throughput* juga telah disimulasikan, *throughput* jaringan *hybrid-relay* menghasilkan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jaringan lainnya. Hasil simulasi berdasarkan tipe modulasi juga telah dilakukan yang menunjukkan 16-QAM menghasilkan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua tipe modulasi lainnya. Dengan demikian, jaringan *hybrid-relay* lebih sesuai untuk diimplementasikan pada komunikasi D2D teknologi 5G dengan kinerja yang tinggi. Untuk memaksimalkan *throughput* jaringan, modulasi QAM orde rendah (16-QAM) lebih tepat untuk diterapkan pada kooperatif D2D teknologi 5G.

UCAPAN TERIMAKASIH

Makalah ini merupakan salah satu bagian dari penelitian dasar yang dibiayai oleh Kemenristekdikti Tahun 2019 No. 51/UN11.2/PP/SP3/2019.

DAFTAR RUJUKAN

- Akhyar, F., Nasaruddin, N., & Muharar, R. (2017). Efisiensi Energi Sistem Komunikasi Kooperatif *Multi-relay* Quantize and Forward Berdasarkan Pemilihan *Relay*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 6(1), 66-73.
- Ali, A., Shah, G. A., & Arshad, J. (2016). Energy efficient techniques for M2M communication: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 68, 42-55.
- Cao, Y., Jiang, T., & Wang, C. (2015). Cooperative device-to-device communications in cellular networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(3), 124–129.
- Ganesh R. Patil., & Prashant S.Wankhade. (2014). 5G Wireless Technology. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(10), 203–207.

- Gupta, A. B. M. (2016). A Survey on Wireless Technology 5G. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 4(9), 16330–16337.
- Ikki, S. S., & Ahmed, M. H. (2010). Performance analysis of adaptive decode-and-forward cooperative diversity networks with best-relay selection. *IEEE Transactions on Communications*, 58(1), 22–29.
- Li, Q., Hu, R. Q., Qian, Y., & Wu, G. (2012). Cooperative communications for wireless networks: Techniques and applications in LTE-advanced systems. *IEEE Wireless Communications*, 19(2), 16330–16337.
- Lien, S. Y., Chen, K. C., & Lin, Y. (2011). Toward ubiquitous massive accesses in 3GPP machine-to-machine communications. *IEEE Communications Magazine*, 49(4), 66–74.
- Marchenko, N., & Bettstetter, C. (2011). Throughput and energy efficiency of cooperative diversity with relay selection. *17th European Wireless Conference 2011*, (pp. 1-6).
- Mohamad, R., Mahmud, R., & Awang, R. A. (2011). Prototype of Quadrature Amplitude Modulation (QAM) baseband modem for a digital baseband signal processor. *2011 IEEE International RF and Microwave Conference, RFM 2011 - Proceedings*, (pp. 407- 411).
- Mustafa, H. A. U., Imran, M. A., Shakir, M. Z., Imran, A., & Tafazolli, R. (2016). Separation framework: An enabler for cooperative and D2D communication for future 5G networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 18(1), 419–445.
- Nasaruddin, N., Melinda, M., & Elizar, E. (2014). Optimized Power Allocation for Cooperative Amplify-and-Forward with Convolutional Codes. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(8), 6243–6253.
- Sadinov, S. M. (2017). Simulation study of M-ARY QAM modulation techniques using Matlab/Simulink. *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2017 - Proceedings*, (pp. 547–554).