

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI ENERGI JARINGAN MULTI RELAY  
KOOPERATIF DEVICE TO DEVICE DENGAN JARINGAN KONVENSIONAL**

**SKRIPSI**

**Diajukan Oleh:**

**ERZA TAPIANSAH**

**NIM. 150211050**

**Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan  
Prodi Pendidikan Teknik Elektro**



**PRODI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TARBIAH  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
BANDA ACEH  
2020 M/1442 H**

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI ENERGI PADA JARINGAN  
MULTI RELAY KOOPERATIF DEVICE TO DEVICE DENGAN  
JARINGAN KONVENSIONAL**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan  
Universitas Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S1)  
Pendidikan Teknik Elektro

Oleh:

**ERZA TAPIANSAH  
NIM. 150211050**

**Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan  
Prodi Pendidikan Teknik Elektro**

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan oleh:

Pembimbing I,



**Hadi Kurniawan. S.Si. M.Si**  
NIP. 1985030420140310001

Pembimbing II



**Sri Wahyuni. M.T**  
NIP. 198905272014032002

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI ENERGI PADA JARINGAN  
MULTI RELAY KOOPERATIF DEVICE TO DEVICE DENGAN  
JARINGAN KONVENSIONAL**

**SKRIPSI**

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi  
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry  
Dan Dinyatakan Lulus Serta Diterima  
Sebagai Salah Satu Beban Studi  
Program Sarjana (S1)  
Pendidikan Teknik Elektro

Pada Hari/Tanggal : Selasa, 13 Juli 2021

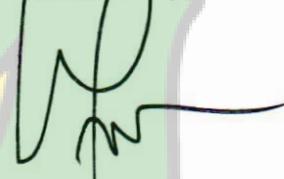
Di Darussalam, Banda Aceh  
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi :

Ketua,



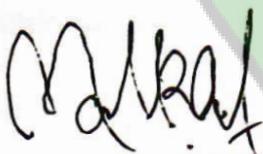
**Hadi Kurniawan. S.Si. M.Si**  
NIP. 1985030420140310001

Sekretaris,



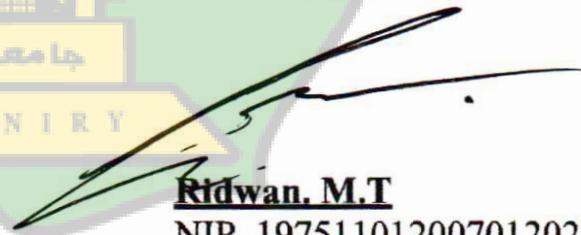
**Rahmayanti. M.Pd**  
NIP. 201801160419872082

Penguji I,



**Sri Wahyuni. M.T**  
NIP. 198905272014032002

Penguji II,



**Ridwan. M.T**  
NIP. 197511012007012027

Mengetahui

Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Uin Ar-Raniry  
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



**Dr. H. Muslim Razali. M.Ag**  
NIP. 195903091989031001



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA  
UIN AR-RANIRY BANDA ACEH**

**FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN**

Jl. Syeikh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh

Telp./ Fax. 0651-7557442 Email : fsh@ar-raniry.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Erza Tapiansah  
NIM : 150211050  
Prodi : Pendidikan Teknik Elektro  
Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

- 1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;**
- 2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;**
- 3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;**
- 4. Tidak melakukan manipulasi dan pemalsuan data;**
- 5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.**

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap untuk dicabut gelar akademik saya atau diberikan sanksi lain berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Banda Aceh, 13 Juli 2021

Yang menyatakan,



  
**Erza Tapiansah**  
NIM. 150211050

## ABSTRAK

Nama : Erza Tapiansah  
NIM : 150211050  
Fakultas/Prodi : Tarbiyah dan Keguruan/ PTE  
Judul : Analisis Perbandingan Efisiensi Energi Jaringan Multi Relay Kooperatif Device To Device Dengan Jaringan Konvensional

Kebutuhan komunikasi bergerak pada saat ini sangat tinggi dan sangat *mobile*, sehingga membutuhkan pengembangan metode untuk memaksimalkan komunikasi yang sudah ada dan dengan dengan metode – metode baru yang lebih baik. Salah satu metode baru yang dapat diusung untuk mengembangkan teknologi ini adalah metode kooperatif *device to device*. Koperative *device to device* adalah salah satu metode dari teknologi komunikasi yang menjanjikan untuk pemecahan masalah konsumsi energi dan kecepatan data yang dapat dikirimkan, penelitian ini melakukan analisis numerik komunikasi kooperatif *device to device* untuk mendapatkan metode terbaik dari komunikasi bergerak, dimana pengaruh jumlah pengguna peralatan *mobile* dan *fading* dari lingkungan sangat mempengaruhi kinerja jaringan. Dalam penelitian ini analisis komunikasi kooperatif D2D dilakukan berdasarkan kondisi *relay*, simulasi yang akan dilakukan untuk melihat bagaimana kinerja komunikasi kooperatif D2D dan pengaruh kondisi *relay* terhadap konsumsi dan efisiensi energi komunikasi kooperatif *device to device* (D2D) dengan membandingkan model jaringan *konvensional* dan *multy-relay* serta melihat nilai konsumsi energi dan efisiensi energi sebagai parameter. Sehingga kinerja jaringan *multy-relay* lebih tinggi dibandingkan *konvensional*. Beberapa parameter penting dalam efisiensi energi adalah model jaringan, SNR, dan tingkat konsumsi energi. Hasil dari parameter tersebut dapat dilihat dari simulasi pengiriman informasi antar sumber, *relay*, dan tujuan. Sehingga efisiensi energi pada jaringan *multy-relay* lebih tinggi dibandingkan *konvensional*. Pada model pertama menggunakan *multy-relay* menghasilkan tingkat konsumsi energi sebesar  $2.56 \times 10^{-7}$  dan yang kedua *konvensional* menghasilkan  $3.93 \times 10^{-7}$ . Dari perbandingan kedua

teknik yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan efisiensi energi sebesar 10.95 %, jadi model *koperatif device to device multy-relay* lebih baik dibandingkan dengan model koperatif.



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur yang tak terhingga penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan kasih sayang, rahmat, karunia dan hidayah-Nya, kepada hamba Nya. Allah adalah tempat tumpuhan harapan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Analisis Perbandingan Efisiensi Energi Jaringan Multi Relay Kooperatif Device To Device Dengan Jaringan Konvensional”.

Shalawat dan salam kepada Baginda Rasulullah SAW, karena beliau telah merubah pola pikir umat manusia dari alam jahiliyah ke masa yang penuh dengan peradaban. Shalawat dan salam juga kepada keluarga dan sahabat Beliau. Penulis menyadari bahwa bila tanpa ada bantuan-bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini, tanpa ada motivasi dan tanpa ada bimbingan maka skripsi ini tidak akan terwujud.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik dari pembaca penulis harapkan demi perbaikan dalam penulisan berikutnya. Akhirnya, semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua, khususnya bagi penulis pribadi, Amin.

Banda Aceh, 20 Januari 2021

جامعة الزاوية

AR-RANIRY

Erza Tapiansah

## DAFTAR ISI

<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 Sistem Komunikasi Kooperatif .....	6
2.2 Sistem Komunikasi Kooperatif D2D.....	9
2.3 Topologi Jaringan Komunikasi Kooperatif D2D .....	14
2.4 Efisiensi Energi .....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Alur Penelitian .....	19
3.2 Kebutuhan Simulasi.....	21
3.3 Prosedur Simulasi .....	21
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Model Sistem .....	25
4.2 Hasil dan Analisis.....	33
<b>BAB V METODE PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
5.1 Kesimpulan .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>44</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model Sistem Komunikasi Kooperatif.....	6
Gambar 2.2 Model Proses <i>relay Amplify-and-Forward</i> (AF) .....	7
Gambar 2.3 Model Proses <i>Relay Quantize and Forward</i> (QF) .....	8
Gambar 2.4 Karakteristik Garis Kuantisasi.....	9
Gambar 2.5 Model Proses <i>relay Decode and Forward</i> (DF) .....	10
Gambar 2.6 Model Sistem Komunikasi D2D.....	11
Gambar 2.7 Proses Penambahan <i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN).....	12
Gambar 2.8 <i>Propagation Model – Mechanism</i> .....	12
Gambar 2.9 Non-LOS and LOS <i>Propagation Environments</i> .....	13
Gambar 2.10 <i>Constellation Diagram QAM</i> .....	15
Gambar 2.11 <i>Single relay</i> .....	15
Gambar 2.12 <i>Multi-Relay</i> .....	17
Gambar 2.13 Skema transmisi sistem komunikasi nirkabel.....	18
Gambar 2.14 Skema transmisi sistem komunikasi kooperatif sederhana .....	18
Gambar 3.1 Alur Penelitian yang diusulkan.....	20
Gambar 4.1 Model Jaringan Simulasi Jaringan Multy <i>relay</i> .....	25
Gambar 4.2 Konsumsi Energi terhadap Jarak .....	34
Gambar 4.3 Konsumsi Energi terhadap SNR.....	35
Gambar 4.4 Effisiensi terhadap jarak.....	38
Gambar 4.5 Effisiensi terhadap SNR .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Simulasi yang diusulkan.....	22
Tabel 4.1 Hasil simulasi konsumsi energi terhadap jarak .....	36
Tabel 4.2 Hasil simulasi konsumsi energi terhadap SNR .....	36
Tabel 4.3 Hasil simulasi Efisiensi energi terhadap Jarak .....	40
Tabel 4.4 Hasil simulasi Efisiensi energi terhadap SNR.....	41



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem komunikasi kooperatif nirkabel merupakan salah satu perkembangan terbaru pada sistem komunikasi nirkabel yang terkait dengan isu *green energy*, dimana fokus penelitian mengkaji tentang strategi pengiriman informasi dengan konsumsi energi lebih efisien. Bentuk efisiensi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel adalah dengan memanfaatkan sifat alami yaitu broadcast pada sistem komunikasi nirkabel. Ide dasarnya adalah node yang ada didalam jaringan nirkabel berbagi informasi dengan memanfaatkan node yang ada disekitarnya sebagai virtual antenna (relay) sehingga dapat meningkatkan performansi pada sistem. Dalam proses transmisi pada sistem komunikasi kooperatif, relay berfungsi untuk membantu pengiriman informasi yang diterimanya kepada node tujuan (Qian Li. Dkk, 2012). Fungsi relay ini berkembang pula sebagai salah satu teknik yang digunakan untuk mengurangi tingkat konsumsi energi pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel.

Sistem komunikasi kooperatif merupakan mekanisme kerjasama antar *user* yang terdistribusi untuk meningkatkan kinerja sistem dan efisiensi spektrum. Pada sistem komunikasi kooperatif, source (S) mengirimkan informasinya 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 BTS dapat di kurangi. Sehingga teknik ini merupakan sebuah teknik menjanjikan untuk masa depan sistem komunikasi.

Abhishek Gupta dan Bhavesh Mishra (2016) Sistem komunikasi selular di Indonesia saat ini berada pada era 4G LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*) yang akan berkembang menuju era 5G. 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 [3]. Perbedaan utama antara 3G dan 4G adalah metodologi akses, kecepatan transfer data, terminologi transmisi dan keamanan. Kapan dan dimana saja pengguna ponsel dapat mengakses data multimedia seperti video dan panggilan suara dengan aman. Pengguna dapat mengakses Internet dan mengirim *e-mail* dengan menggunakan HSPA (*high-speed packet access*). 4G IMT-A sistem nirkabel terdiri dari LTE-Advanced, 3GPP dan *mobile Wi-Max*. LTE-A dan standar IEEE meningkatkan kecepatan data dan meningkatkan sistem efisiensi spektrum (Ganesh R. Patil and Prof. Prashant S. Wankhade, 2012). 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 jaringan agar tetap bekerja sesuai standarisasi kinerja sebuah jaringan membutuhkan banyak jumlah *base station*. Pengaruh dari penambahan ini mengakibatkan adanya pemborosan energi. Oleh karena itu *Device-to-Device* (D2D) diperkenalkan untuk mengurangi jumlah dari *base station* (S. Lien. Dkk, 2011).

S. Lien. Dkk, (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. Abhishek Gupta and Bhavesh Mishra (2016) Komunikasi D2D adalah salah satu pilihan untuk efisiensi perkembangan sistem komunikasi 5G. Kendala jarak D2D dalam praktiknya memungkinkan jaringan selular mengontrol kondisi saluran rata-rata antara pengguna D2D. Secara umum terdapat tiga protokol kooperatif yang digunakan untuk memproses informasi yang dikirim oleh *source* ke *relay* yaitu *Amplify and Forward* (AF), *Quantize and Forward* (QF) dan *Decode and Forward*

(DF) yang bertujuan untuk menentukan bagaimana sinyal informasi yang diterima dari *source* akan diolah sebelum diteruskan ke *destination* (Djeumou. Dkk, 2008).

Skripsi ini melakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi energi yang digunakan pada pengaruh dari penggunaan sistem komunikasi D2D dan menganalisis pengaruh jarak *relay* yang berada diantara *source* dan *destination* terhadap kinerja sistem komunikasi kooperatif menggunakan protokol AF serta membandingkan dengan model konvensional. Dengan menganalisis pengaruh jarak maka dapat memberikan efek yang besar untuk kinerja sistem komunikasi kooperatif. Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya diantaranya sudah ada yang membahas tentang efisiensi energi dengan memaksimalkan kinerja BTS. Pemaksimalan kinerja BTS ini dilakukan dengan cara melakukan *switch off* ketika tidak ada pengguna yang aktif (Hafiz Atta Ul Mustafa. Dkk, 2016). Penelitian sebelumnya juga membahas tentang penggunaan energi terbaharukan yang dapat digunakan untuk melakukan kinerja sistem. Penelitian lainnya juga sudah pernah membahas tentang efisiensi dengan menggunakan sistem komunikasi antar perangkat, dengan itu didapat peningkatan efisiensi energi yang cukup signifikan dibandingkan dengan penggunaan jaringan yang hanya melalui BTS secara langsung (Hafiz Atta Ul Mustafa. Dkk, 2016).

Berdasarkan permasalahan di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul **“Analisis Perbandingan Efisiensi Energi pada model Jaringan Multi Relay Kooperatif Device To Device Dengan model Jaringan Konvensional”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian sebelumnya maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut

1. Apakah Jarak *relay* yang berada di antara *source* dan *destination* dapat mempengaruhi kinerja sistem dalam komunikasi kooperatif.

2. Bagaimana perbandingan antara model multi relay kooperatif D2D dengan model konvensional.

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan dari masalah di atas maka dalam penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui perbandingan efisiensi energi pada model *multi relay* menggunakan protokol AF dengan model konvensional.

### 1.4 Hipotesis

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Hipotesis yang dimaksud merupakan dugaan yang mungkin benar dan mungkin salah.

Dengan mengacu pada pemikiran yang bersifat teoritis dan studi empiris yang pernah dilakukan berkaitan dengan penelitian ini, maka diajukan hipotesis sebagai berikut:

1. Konsumsi energi sistem *multi relay* kooperatif D2D lebih tinggi dibandingkan konvensional.
2. Efisiensi energi pada jaringan *multi relay* kooperatif D2D lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan *single relay*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian maka penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini dapat menambah pengetahuan, memberikan informasi dan referensi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan komunikasi kooperatif D2D.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi pilihan untuk meningkatkan efisiensi energi pada sistem telekomunikasi.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Maksud dari sistematika penulisan adalah untuk menggambarkan secara menyeluruh isi dari skripsi ini yang disusun dengan komprehensif dan sistematis. Adapun sistematika dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini memuat latar belakang masalah yang memberikan penjelasan secara ringkas, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan pengembangan hipotesis yang memuat teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori-teori tersebut dijelaskan dari yang paling umum sampai khusus berdasarkan penelitian ini yang berjudul Efisiensi Energi jaringan multi relay kooperatif device to device temuan penelitian terkait, kerangka pemikiran dan pengembangan hipotesis penelitian.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini merupakan metode penelitian yang memuat penjelasan tentang jenis penelitian, pendekatan penelitian yang digunakan, tujuan serta arah penelitian. Data dan teknik pengumpulan data, penjelasan mengenai teknik analisis data yang digunakan.

### **BAB IV : ANALISA MATEMATIS DAN HASIL SIMULASI**

Bab ini berisi tentang analisis matematis dari hasil rancangan awal yang ingin dilakukan dan menganalisis hasil simulasi berdasarkan perhitungan matematis yang dilakukan serta melakukan analisis dari perbandingan hasil simulasi yang telah dilakukan.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan kesimpulan dari hasil kerja dan penelitian yang telah dilakukan beserta rekomendasi dan saran untuk pengembangan topik yang bersangkutan.

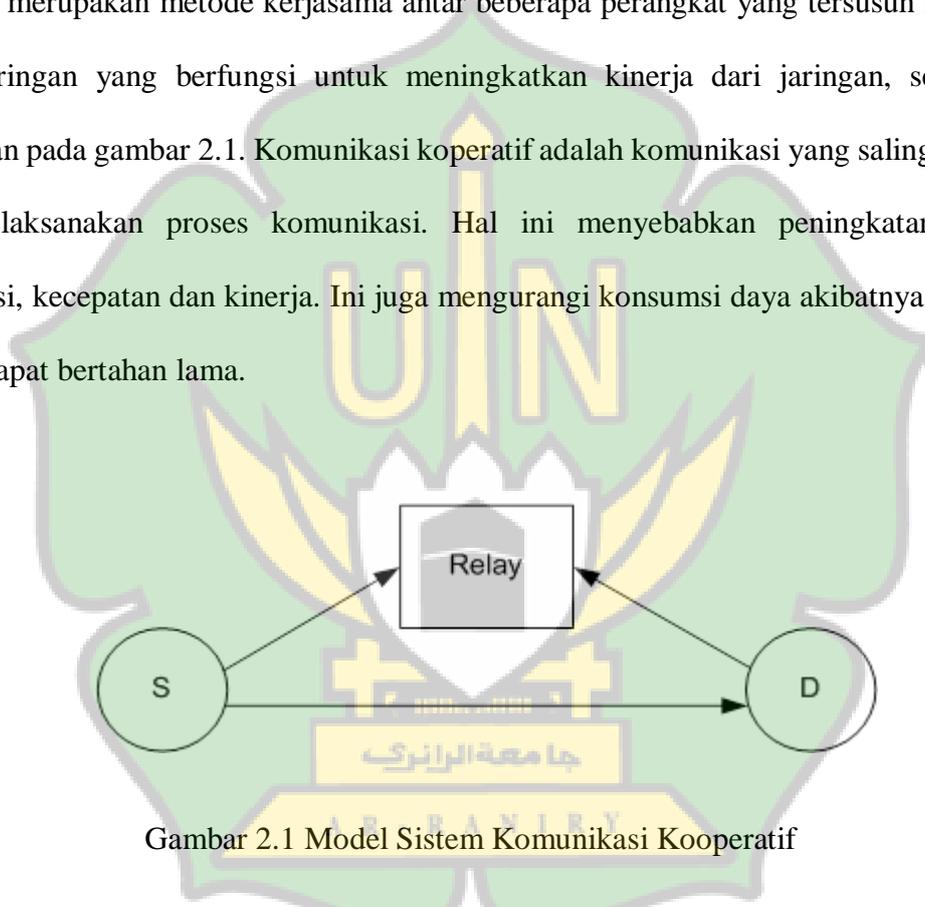
## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sistem Komunikasi Kooperatif

##### 2.1.1 Pengertian Sistem Komunikasi Kooperatif

Radwa Ahmed Osman, Xiao-Hong Peng and Zuoyin Tang (2018) Sistem komunikasi kooperatif merupakan metode kerjasama antar beberapa perangkat yang tersusun membentuk sebuah jaringan yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja dari jaringan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Komunikasi kooperatif adalah komunikasi yang saling membantu untuk melaksanakan proses komunikasi. Hal ini menyebabkan peningkatan kapasitas komunikasi, kecepatan dan kinerja. Ini juga mengurangi konsumsi daya akibatnya baterai dan jaringan dapat bertahan lama.



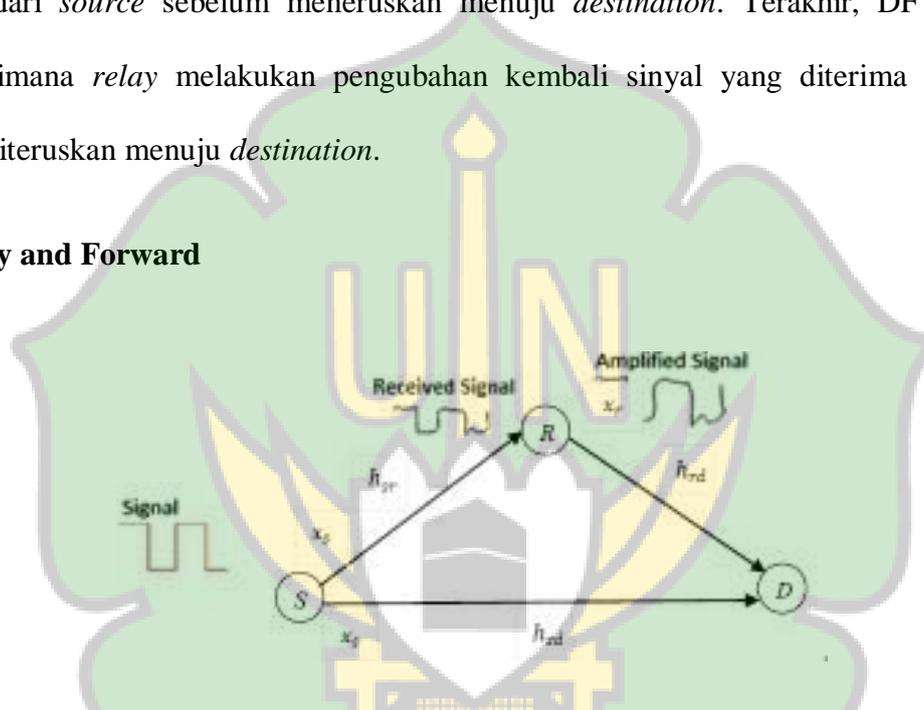
Gambar 2.1 Model Sistem Komunikasi Kooperatif

Pada Gambar 2.1 *source* (S) dapat mengirimkan informasi langsung ke *destination* (D) dan juga melalui *user* lain yang bertindak sebagai *relay* (r) dimana pada Gambar 2.1 *relay* yang digunakan adalah satu. Penggunaan *relay* pada jaringan kooperatif dibutuhkan untuk menjangkau *coverage* jaringan. Pada hal ini *destination* dapat berupa *base station* (*micro* BTS, *pico* BTS) maupun *user*. *Relay* merupakan *device* yang berada dekat dengan *node source* atau *node destination* berfungsi sebagai perantara yang membantu untuk memperpendek jarak antara *source* dan *destination* atau dapat disebut sebagai estafet antara *source* dan *destination*.

Konsep ini merupakan konsep dasar dari komunikasi kooperatif yang diterapkan pada komunikasi kooperatif D2D (Radwa Ahmed Osman. Dkk, 2018).

Ada tiga protokol yang digunakan pada sistem komunikasi kooperatif: *amplify-and-forward* (AF), *decode-and-forward* (DF), dan *quantize-and-forward* (QF). Dalam AF, informasi yang diterima oleh pengguna dari *source* diperkuat dan kemudian diteruskan ke *destination*. Dalam QF, *relay* akan melakukan proses kuantisasi pada sinyal informasi yang diterima dari *source* sebelum meneruskan menuju *destination*. Terakhir, DF merupakan metode dimana *relay* melakukan perubahan kembali sinyal yang diterima dari *source* sebelum diteruskan menuju *destination*.

#### a. Amplify and Forward



Gambar 2.2 Model Proses *relay Amplify-and-Forward* (AF).

Limpakom, Woraniti. Yao, Yu-Dong. Man, Hong. (2009) *Amplify-and-Forward* (AF) merupakan protokol kooperatif yang paling sederhana. Prinsipnya informasi yang diterima oleh pengguna dari *source* diperkuat dan kemudian diteruskan ke *destination*. Proses AF terdiri dari beberapa tahapan, tahap pertama *source* akan mengirimkan sinyal informasi  $x_c$  secara *broadcast* ke *destination* dan *relay*, selama proses transmisi berlangsung akan terjadi gangguan *fading* dan *noise*, sehingga sinyal yang diterima *destination* dan *relay* sebagai berikut (Li, P. S. G. 2014):

$$y_{cd} = h_{cd}x_c + n_d \quad (2.1)$$

$$y_{cr} = h_{cr}x_c + n_r \quad (2.2)$$

$h_{cd}$  dan  $h_{cr}$  adalah koefisien kanal *fading* pada *link source* ke *destination* dan *destination* ke *relay*,  $n_d$  dan  $n_r$  adalah *Gaussian noise* pada *link destination* dan *relay*. Setelah terjadi penguatan pada *relay* sinyal akan dikirimkan ke *destination* dalam bentuk (Limpakom. Dkk, 2009):

$$y_{rd} = h_{rd}\beta y_{cr} + n_d \quad (2.3)$$

$h_{rd}$  adalah koefisien kanal *fading* pada *link relay* ke *destination*,  $\beta$  adalah koefisien penguatan, persamaan  $\beta$  adalah (Li, P. S. G. 2014):

$$\beta = \sqrt{\frac{P_r}{|h_{cr}|^2 + P_c + n_0}} \quad (2.4)$$

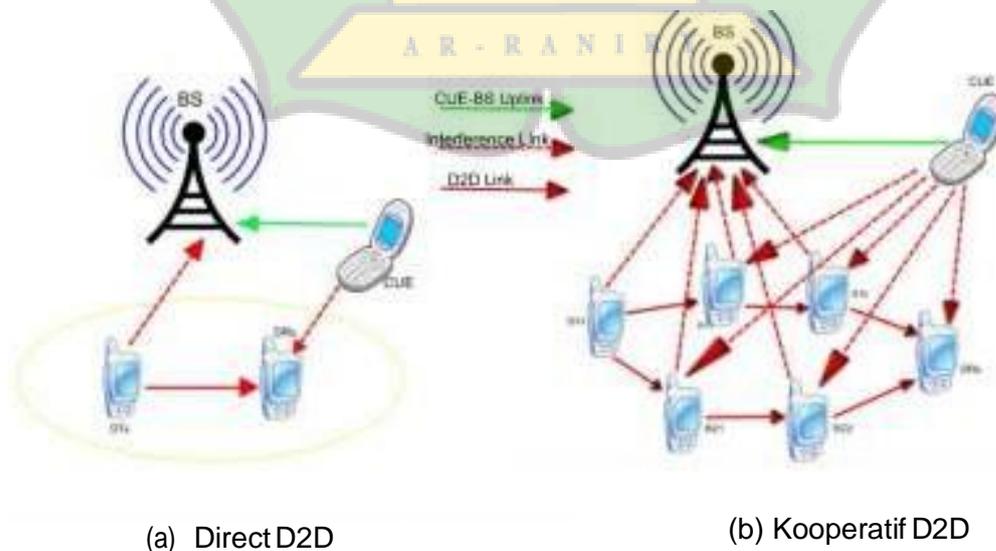
$e_r$  dan  $e_c$  adalah daya rata-rata transmisi *source* dan *relay*. Penguatan sinyal pada *relay* ber*destination* untuk mengimbangi dan juga memperbaiki sinyal yang mengalami pelemahan pada saat proses transmisi. Namun, pada proses penguatan tersebut *noise* yang terdapat pada sinyal informasi juga akan mengalami penguatan (M. A. W. Dkk, 2009).

## 2.2 Sistem Komunikasi Kooperatif D2D

### 2.2.1 Pengertian Sistem Komunikasi Kooperatif D2D

S. Lien, K. Chen, and Y. Lin (2011) Sistem komunikasi D2D adalah komunikasi langsung antara dua perangkat selular yang berada dalam satu *area base station* yang sama tanpa harus melalui *base station* sebagai perantara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (a). Secara umum terdapat dua mode untuk menggunakan kembali spektrum frekuensi selular pada D2D yaitu mode *underlay* D2D dan mode *overlay* D2D. Prinsip dari mode D2D *underlay* yaitu pengguna D2D menggunakan spektrum frekuensi yang sama dengan pengguna selular biasa pada saat yang bersamaan, sedangkan pada mode D2D *overlay* operator mengalokasikan secara khusus *source* (*channel* atau *time slots*) kepada jaringan D2D. Saat jarak pengguna D2D berjauhan sistem *direct* D2D tidak memungkinkan untuk digunakan, jadi sistem kooperatif D2D merupakan solusinya.

Gambar 2.6 (b) merupakan model komunikasi kooperatif D2D, dimana *source* akan mengirimkan informasi secara *broadcast* yang diterima oleh *destination* dan pengguna lain yang berada disekitar dan dapat berperan sebagai *relay* yang akan meneruskan informasi ke *destination*. Sehingga kinerja jaringan dapat meningkat dan kemudian konsumsi energi menjadi lebih sedikit karena jarak antar pengguna yang dekat (Liang Chen, Juan Wang, 2015).

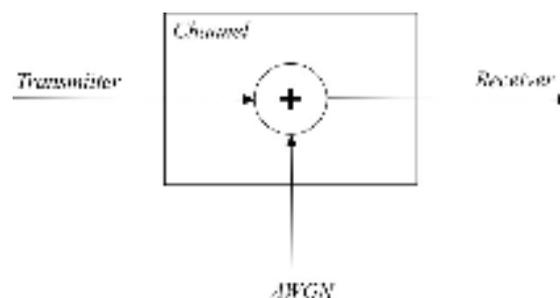


Gambar 2.6 Model Sistem Komunikasi D2D

Komunikasi kooperatif D2D memiliki kelebihan dalam segi kecepatan jaringan efisiensi energi serta dapat menciptakan sistem komunikasi yang ramah lingkungan. Pada gambar 2.6 menunjukkan skema transmisi yang berbeda satu sama lain. Pada pada gambar 2.6 (a) merupakan skema transmisi D2D tanpa menggunakan *relay* (*direct D2D*), skema ini hanya digunakan pada pengguna yang saling berdekatan jika digunakan untuk jarak yang jauh akan menurunkan tingkat jaringan dan akan mengakibatkan konsumsi energi yang berlebih. Pada gambar 2.6 (b) merupakan skema D2D yang menggunakan *relay*, skema ini merupakan perkembangan untuk mengoptimalkan kinerja jaringan D2D untuk jarak pengguna yang lain berjauhan, *relay* berfungsi estafet untuk mengirimkan informasi menuju *destination* dengan tetap menjaga tingkat kinerja jaringan dan efisiensi energi. Beberapa hal yang mempengaruhi tingkat konsumsi energy sebagai berikut:

**a. Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)**

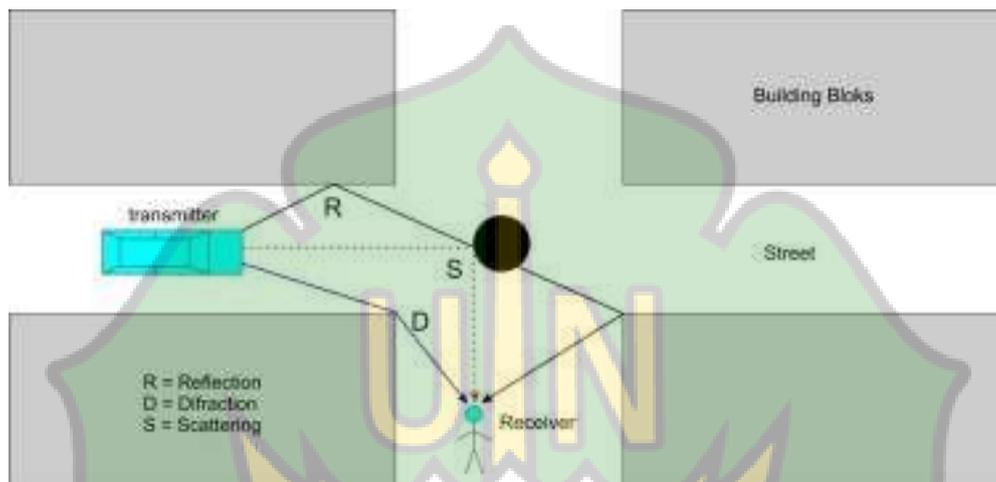
G.G. de Oliveira Brante. Dkk, (2012) Noise merupakan masalah yang selalu terjadi pada proses pengiriman sinyal informasi. *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) merupakan *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan nirkabel, memiliki sifat-sifat *additive*, *white*, dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak bergantung pada frekuensi sistem operasi dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*. Proses penambahan AWGN dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses Penambahan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

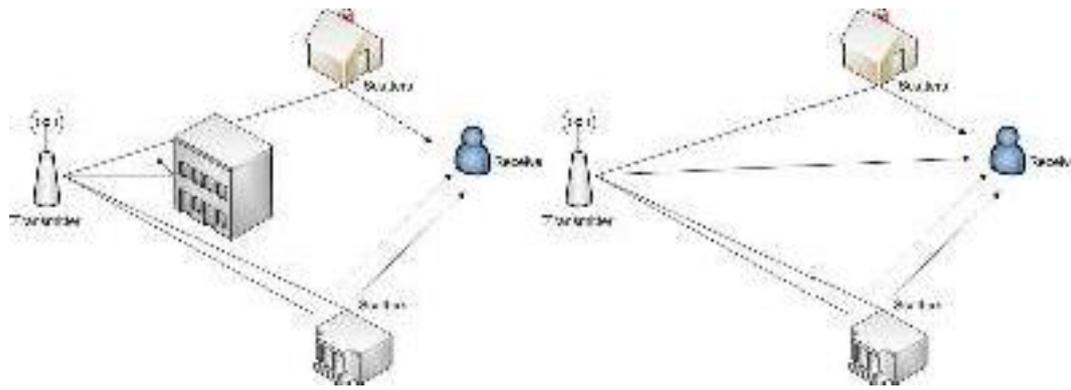
## b. Kanal Fading

Sinyal informasi yang dikirimkan pada sistem komunikasi nirkabel akan mengalami proses pemantulan atau disebut dengan propagasi. Pengaruh dari mekanisme propagasi yang disebut dengan *fading*, akan menyebabkan terjadinya fluktuasi pada sinyal informasi baik *amplitude*, *phase* dan sudut kedatangan.



Gambar2.8 Propagation Model – Mechanism

Berdasarkan jenis distribusinya *fading* dapat di modelkan kedalam dua jenis, yaitu: *rician fading* dan *rayleigh fading*. Pada saat kondisi kanal atau kondisi lingkungan antara *transmitter* dan *receiver* dalam kondisi *line of sight* (LOS) model yang digunakan adalah *rician fading*, sebaliknya pada saat kondisi kanal atau kondisi lingkungan antara *transmitter* dan *receiver* dalam kondisi *nonline of sight* (NLOS) digunakan model *rayleigh fading* (Steiner and S. Shamaï 2006)..



(a)

NLOS Environment

(b) LOS Environment

Gambar 2.9 Non-LOS and LOS Propagation Environments

Berdasarkan penjelasan diatas, model *fading* yang terdistribusi secara *rician* dan *rayleigh* dapat dituliskan dengan persamaan matematis berikut (Marchenko. Dkk, 2011):

$$Z = \sqrt{X^2 + Y^2}; \text{ untuk distribusi } \textit{rician} \quad (2.15)$$

$$Z = X^2 + jY^2; \text{ untuk distribusi } \textit{rayleigh} \quad (2.16)$$

Dimana X adalah *random* variabel dari komponen LOS dan Y adalah *random* variabel dari komponen *scatter*, dimana pada distribusi *rayleigh* diperhitungkan pula sudut kedatangan dengan notasi  $j$  yang mewakili kondisi lingkungan NLOS.

### c. Teknik Modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

Radwa Ahmed Osman. Dkk, (2015) *M-ary Quadrature Amplitudo Modulation* (M-QAM) merupakan salah satu teknik modulasi digital multi level yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. Hal ini disebabkan karena konstelasi sinyal M-QAM yang tidak begitu rapat, bila dibandingkan dengan sistem modulasi lainnya, misalnya dengan sistem *M-ary Quadrature Phase Shift Keying* (M-QPSK).

*Quadrature Amplitude Modulation (QAM)* merupakan suatu cara pentransmisi pada laju bit-bit yang lebih tinggi pada kanal dengan lebar pita yang terbatas. 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 fase sebesar  $90^{\circ}$  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 bit-bit informasi.

M adalah jumlah multilevel modulasi atau jumlah maksimum data pada M-QAM dalam bentuk untaian bit. Untuk sistem modulasi 4-QAM dapat dikirimkan 4 data dalam biner, sedangkan untuk 64-QAM dapat dikirimkan 64 data dalam biner. Jumlah untaian biner yang dapat merepresentasikan data disebut dengan ukuran konstelasi bit, disimbolkan dengan k, dan dapat dinyatakan sebagai (Radwa Ahmed Osman. Dkk, 2015):

$$k = \log_2 M \quad (2.17)$$

Dengan  $A_m$  selain sebagai *amplitudo* sinyal, juga dapat merepresentasikan jumlah maksimum data yang dikirimkan mengikuti persamaan:

$$A_m = 2^{m-1} - M \quad (2.18)$$

Misalnya, pada sistem modulasi 64-QAM, amplitudo sinyal atau jumlah data yang dapat dikirimkan sebanyak 6 data, yang dimulai dari 0 hingga mencapai nilai maksimum. contohnya :  $2^{m-1} - M = 2^{6-1} - 64 = 128 - 64 = 64$ .

Pada sistem kerja modulasi QAM, sistem QAM diberikan dengan cara memasukkan sinyal I yang didemodulasikan ke dalam input *horizontal* dan sinyal Q ke dalam input *vertikal*. Pada QAM fase dan amplitudo dari sinyal *carrier* diubah-ubah untuk melambangkan data. Sinyal QAM dapat dituliskan sebagai berikut :

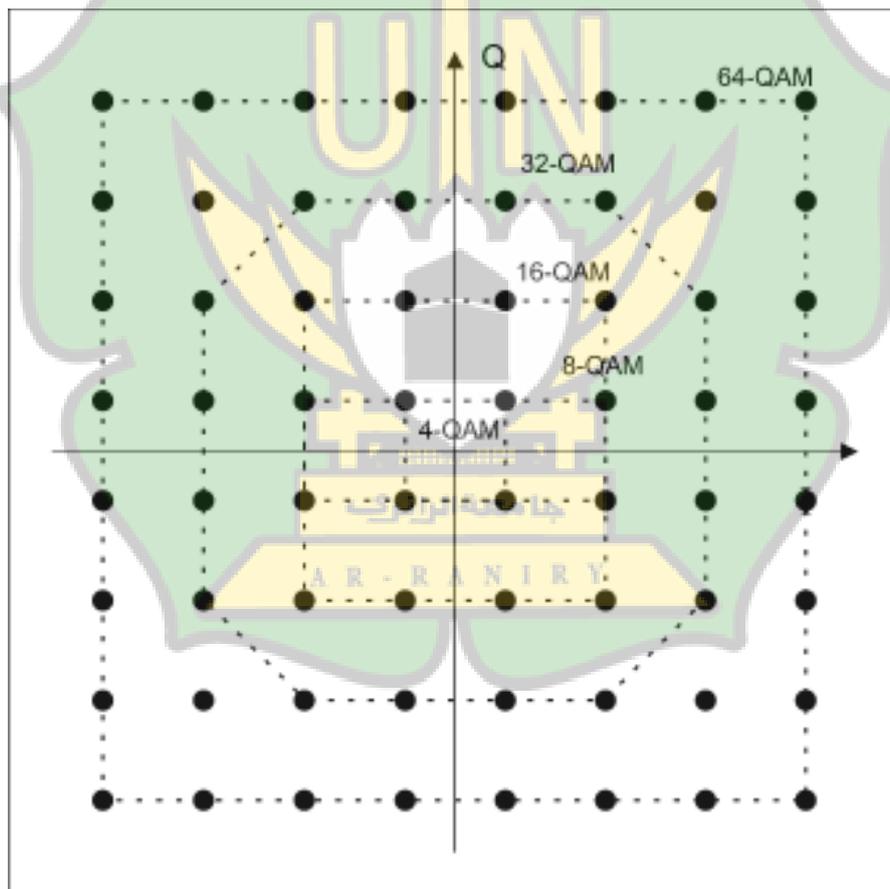
$$s(t) = I(t) \cdot \cos \omega c t + Q(t) \cdot -\sin \omega c t \quad (2.19)$$

Dengan:

$$I(t) = A \cdot \cos \Theta \quad (2.20)$$

$$Q(t) = A \cdot \sin \Theta \quad (2.21)$$

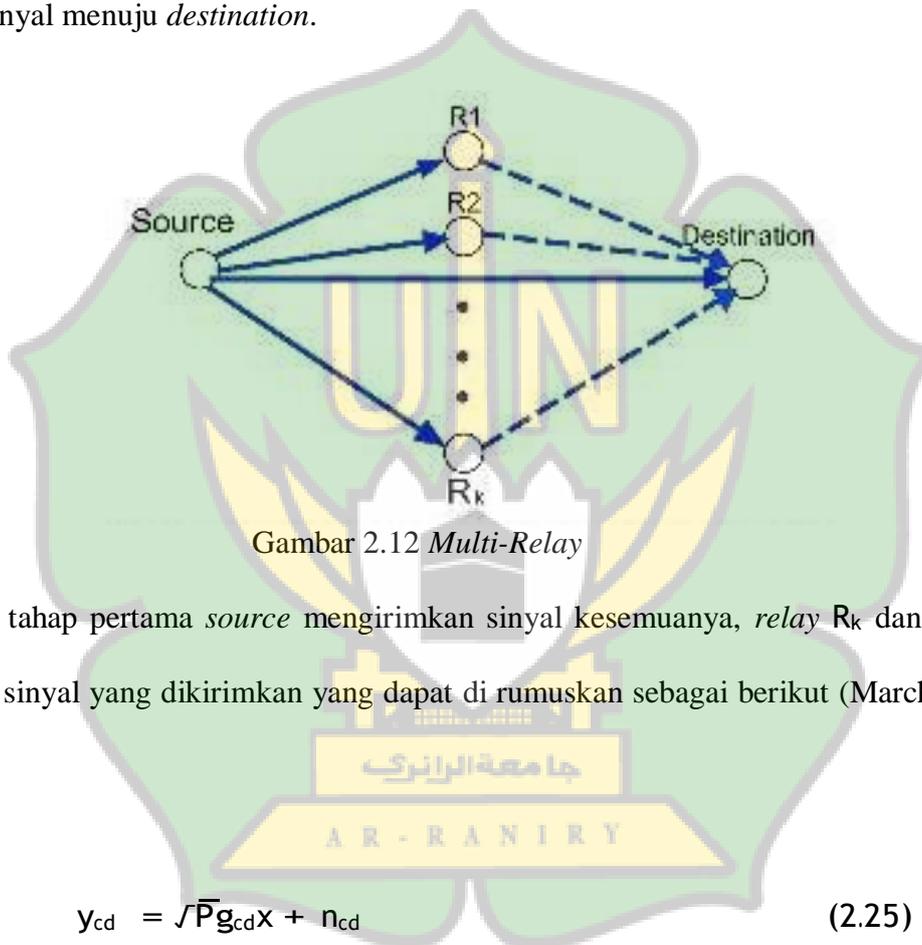
Dari persamaan (1) dapat dilihat bahwa sinyal QAM dapat dibentuk dengan menjumlahkan sinyal kosinus dengan amplitudo  $I(t)$  dan sinyal sinus dengan amplitudo  $Q(t)$ . QAM juga memiliki bentuk-bentuk yang di antaranya adalah 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 254-QAM.



Gambar 2.10 Constellation Diagram QAM

### 2.3 Topologi Jaringan *Multi-relay* Komunikasi Kooperatif D2D

Marchenko. Dkk, (2011) *Multi relay* merupakan sistem yang terdiri dari satu sumber (*source*), n jumlah *relay* (seperti dilambangkan ( $R_k$ ,  $K= 1, 2, \dots, n$ ) dan satu tujuan (*destination*), ditunjukkan pada Gambar 2.12. Sistem ini terdiri dari dua tahapan sama seperti *single relay*, tahap pertama *source* mengirim informasi kesemuanya, *relay* dan *destination* menerima informasi yang dikirimkan dari *source*. Tahap kedua, *relay* ( $R_k$ ) mengirimkan kembali sinyal menuju *destination*.



Gambar 2.12 *Multi-Relay*

Pada tahap pertama *source* mengirimkan sinyal kesemuanya, *relay*  $R_k$  dan *destination* menerima sinyal yang dikirimkan yang dapat di rumuskan sebagai berikut (Marchenko. Dkk, 2011):

$$y_{cd} = \sqrt{P}g_{cd}x + n_{cd} \quad (2.25)$$

$$y_{cr_k} = \sqrt{P}g_{cr_k}x + n_{cr_k} \quad (2.26)$$

Dimana  $g_{cd}$ ,  $g_{cr_k}$  merupakan koefisien saluran dari *source-destination* dan *source-relay* ( $R_k$ ).  $n_{cr}$  adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) di *link source-relay* dan  $n_{cd}$  adalah AWGN di *link source destination*. Pada tahap kedua *relay* menambah dan mengirimkan

kembali sinyal yang diterima pada tahap pertama, sinyal yang diterima pada tahap kedua dapat dirumuskan menjadi (Marchenko. Dkk, 2011):

$$y_{cd} = f\overline{\alpha}_k g_{r_k d} y_{cr_k} + n_{r_k d} \quad (2.27)$$

Dimana,  $f\overline{\alpha}_k$  merupakan koefisien peningkatan dari  $R_k$ , dan  $f\overline{\alpha}_k$  dapat di rincikan sebagai berikut (Ahan Kak. Dkk, 2016):

$$f\overline{\alpha}_k = f\overline{q_k / y_{cr_k}} \quad (2.28)$$

Dimana  $q_k$  merupakan *power* yang digunakan pada  $R_k$ . Ahan Kak. Dkk, (2016) Pada sistem *multi-relay* salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan nilai *signal-to-noise-ratio* (SNR) adalah *relay-selection*. Pada sistem *relay selection*, pemilihan *relay* terbaik akan meningkatkan kinerja jaringan yang bermanfaat untuk mengefisiensikan energi.

## 2.4 Efisiensi Energy

Hafiz Atta Ul Mustafa. Dkk, (2016) Pada sistem komunikasi nirkabel, efisiensi energi dapat dihitung dari total konsumsi energi per bit yang ditransmisikan. Untuk menghitung efisiensi energi membutuhkan beberapa aspek penting sebagai berikut:



Gambar 2.13 Skema transmisi sistem komunikasi nirkabel

Sehingga total konsumsi energi per bit yang di transmisikan dari sumber (S) kepada tujuan

(D) dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{\text{konvensional}} = \frac{P_{CB} + P_{BD}}{R_B} \text{ Joule/bit} \quad (2.29)$$

- $E_{\text{konvensional}}$  adalah total konsumsi energi untuk mengirimkan data bit dari *source* kepada *destination* dalam satuan *Joule/bit*.
- $P_{SB}$  adalah daya untuk mengirimkan data bit dari *source* kepada *bts* dalam satuan *W*.
- $P_{BD}$  adalah daya untuk mengirimkan data bit dari *bts* kepada *destination* dalam satuan *W*.
- Kecepatan bit  $R_B$  sistem komunikasi dalam bit/s.

Pada sistem komunikasi kooperatif terdapat perbedaan skema dalam konsumsi energi, hal ini disebabkan adanya penempatan *relay* R diantara sumber S dan tujuan D. Dengan demikian skema konsumsi energi per bit yang ditransmisikan pada jaringan kooperatif secara umum dapat digambarkan sebagai berikut (Hafiz Atta Ul Mustafa. Dkk, 2016):



Gambar 2.14 Skema transmisi sistem komunikasi kooperatif sederhana

$$E_{\text{Nusty-relay}} = \frac{P_{CR} + P_{RD} + P_{CD}}{R_B} \quad (2.30)$$

Dimana:

- $P_{SR}$  adalah daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber S kepada *relay*

R dalam satuan *Watts*.

- $P_{RD}$  adalah daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari *relay* R kepada tujuan D dalam satuan *Watts*.

Dari kedua skema konsumsi energi diatas dapat disimpulkan untuk memperoleh besarnya efisiensi energi pada sistem komunikasi kooperatif adalah:

$$E_{\text{efisiensi energi}} = \frac{E_{\text{konvensional}} - E_{\text{Nully-relay}}}{E_{\text{konvensional}}} \times 100\% \quad (2.31)$$

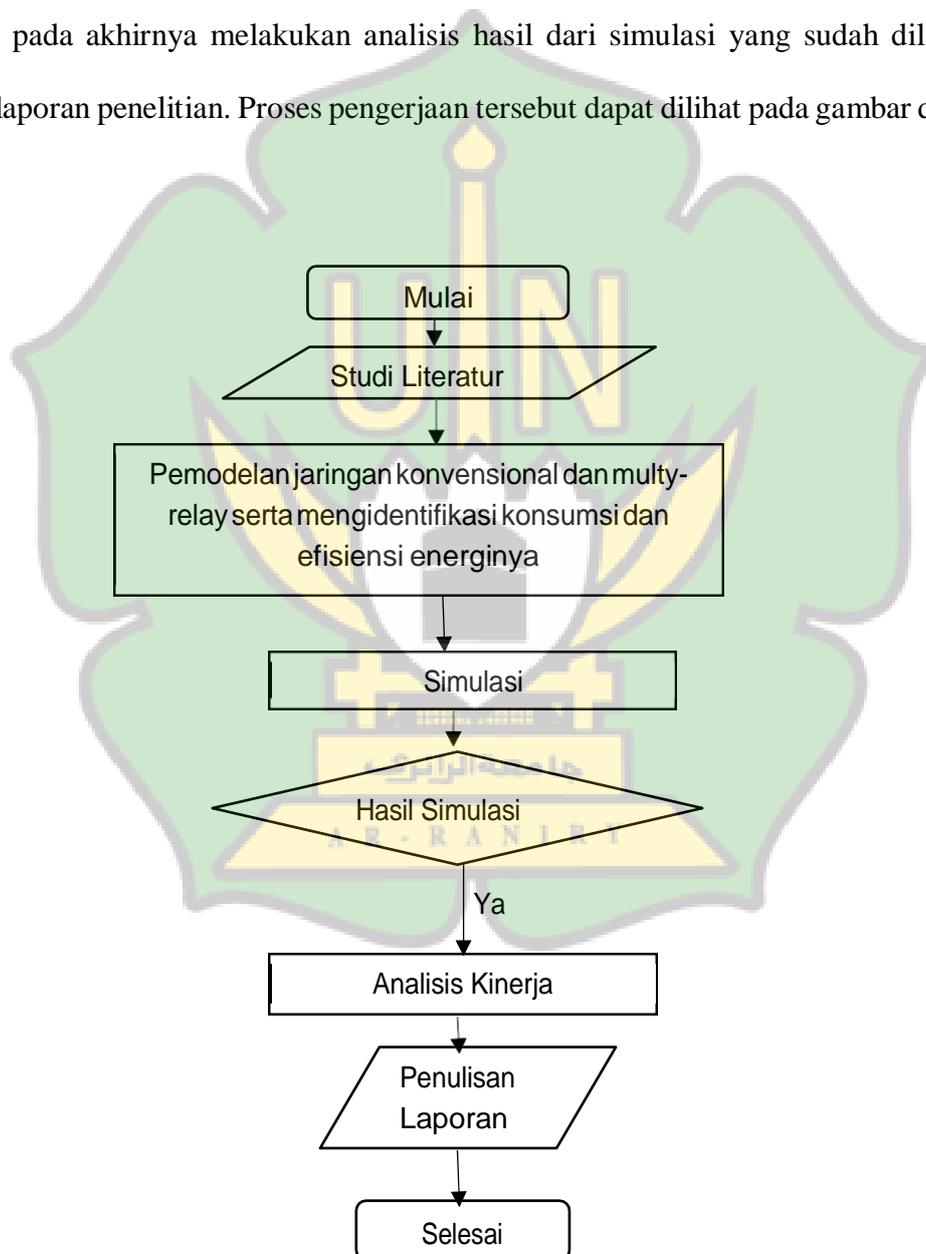


## BAB III

### METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Alur Penelitian

Tahap-tahap dalam melakukan proses pengerjaan penelitian. Pada alur penelitian ini dimulai dengan tahap studi literatur, setelah ini melakukan pemodelan yang dimulai dari model jaringan berdasarkan teori, selanjutnya melakukan analisis matematis dan melakukan simulasi komputer, pada akhirnya melakukan analisis hasil dari simulasi yang sudah dilakukan dan membuat laporan penelitian. Proses pengerjaan tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

## **A. Studi Literatur**

Tahap studi literatur merupakan tahapan pencarian dan juga pengumpulan literatur-literatur serta kajian-kajian yang berkaitan dengan masalah yang berhubungan dengan penelitian ini, baik berupa artikel, buku, referensi, sumber dari internet dan juga sumber-sumber lain yang berhubungan dengan masalah pada penelitian.

## **B. Identifikasi Parameter**

Selanjutnya tahapan yang dilakukan adalah identifikasi parameter pengaruh model kanal yang digunakan. Pada tahapan ini analisa faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi kinerja jaringan kooperatif D2D pada model jaringan *multy-relay* dan *konvensional*, dengan identifikasi kinerja berdasarkan nilai *konsumsi energi dan efisiensi energi*, dengan menggunakan protokol *Amplify and Forward*.

## **C. Pemodelan dan Simulasi**

### a) Model Sistem

Model sistem adalah perancangan atau pemodelan dari parameter yang telah ditentukan untuk memperoleh hasil yang nantinya diterapkan pada simulasi menggunakan aplikasi *Matlab*. Pada tugas akhir ini terdapat empat model kanal yang dimodelkan untuk komunikasi kooperatif D2D, untuk menggambarkan beberapa ketika *relay* diletakkan pada beberapa posisi jarak untuk melihat hasil konsumsi dan efisiensi energi yang dihasilkan dari beberapa posisi *relay* pada kedua model skenario jaringan yang digunakan.

### b) Simulasi Numerik

Setelah melakukan pemodelan sistem, tahap selanjutnya adalah simulasi numerik, pada tahap ini berupa memasukkan nilai yang sebelumnya telah dirumuskan dengan menggunakan aplikasi *Matlab* untuk melihat pengaruh letak relay yang digunakan pada proses pentransmisian

informasi dari *source* ke *destination* dan *relay* serta dari *relay* ke *destination* terhadap kinerja komunikasi kooperatif D2D.

#### **D. Hasil Simulasi**

Jika tahapan simulasi numerik telah dilakukan, maka akan dilanjutkan pada tahapan hasil simulasi, pada tahapan ini hasil yang didapatkan dari simulasi kinerja apabila terdapat program yang *error* maka proses simulasi akan di ulangi kembali.

#### **E. Analisis Kinerja**

Pada tahapan ini hasil yang didapatkan dari simulasi akan dianalisa sehingga dapat ditarik kesimpulan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari jaringan kooperatif D2D berdasarkan hasil konsumsi dan efisiensi energi dari masing-masing model jaringan yang digunakan.

#### **F. Penyusunan Laporan**

Tahapan terakhir adalah penyusunan laporan, pada tahap ini diharapkan peneliti mampu menjelaskan hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan pemodelan simulasi dan analisa kinerja.

### **3.2 Kebutuhan Simulasi**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sistem operasi. *Operating System* (OS) yang digunakan adalah *Windows*
- b. Aplikasi *Matlab*. Aplikasi yang digunakan untuk melakukan simulasi

### **3.3 Prosedur Penelitian**

#### **a. Parameter Simulasi**

Simulasi yang dilakukan didalam penelitian ini menggunakan beberapa parameter, diantaranya 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. Point penting yang juga menjadi parameter dalam simulasi adalah jumlah *node relay* lebih dari satu dan juga data rate pada parameter mempengaruhi hasil throughput. Keterangan lengkap dari parameter yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat dalam table 3.1:

Tabel 3.1 Parameter Simulasi yang diusulkan

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

## b. Pembuatan *Source Code*

*Source code* ditulis berdasarkan kajian pada berbagai macam referensi dan tutorial baik berupa buku elektronik (*e-Book*), jurnal, artikel, khususnya yang ada pada portal dan forum matlab yang dapat diakses melalui situs: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com) serta mengembangkan hasil simulasi dari peneliti sebelumnya. Penulisan *source code* dilakukan secara bertahap yang dimulai dengan memodelkan jaringan konvensional, kemudian dikembangkan menjadi jaringan kooperatif, selanjutnya membuat model *multi-relay*, dan kemudian dilakukan penerapan teknik pemilihan *relay* pada jaringan tersebut. *Source code* model jaringan yang dihasilkan juga mempertimbangkan parameter simulasi yang ada pada Tabel 3.1, yaitu: model kanal *rayleigh fading*, penambahan *noise* (AWGN), teknik modulasi digital yang digunakan dalam pengiriman data bit merupakan modulasi QAM, sampai kepada jarak antara sumber, *relay*, dan tujuan yang di skenarioikan secara tetap dan acak. Dari *source code* yang telah ditulis inilah proses simulasi kemudian dilakukan.

## c. Prosedur Simulasi

Pada proses simulasi akan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. *Source* akan mengirimkan bit data yang telah termodulasi dengan teknik QAM secara broadcast kepada *node relay* ( $R_1, \dots, R_k$ ) yang berada didekatnya dan tujuan, data yang diterima oleh *relay* akan dipengaruhi oleh *noise* (AWGN) dan *fading*.
2. Pada tahap berikutnya proses penguatan pada signal yang diterima oleh *relay* untuk mengurangi kerusakan. Kemudian data yang sudah dikuatkan akan diteruskan oleh *relay* langsung ketujuan.
3. Tahap terakhir combiner akan melakukan penggabungan data yang diterima oleh *relay*, kemudian dilakukan proses demodulasi sehingga data asli bisa dibaca oleh tujuan.

Dari tiga tahapan diatas, prosedur simulasi pada jaringan *multy-relay* akan menggunakan metode *relay selection*. Dimana *relay selection* adalah suatu sistem yang bekerja dengan cara sumber mengirimkan data kepada perangkat *relay* terbaik untuk diteruskan kepada tujuan, artinya sebelum atau pada saat data dikirimkan terdapat proses seleksi untuk memilih *node relay* terbaik (*best relay*). Sehingga melalui proses simulasi yang dilakukan bisa diukur tingkat efisiensi energi dan kinerja sistem dengan adanya penerapan teknik *relay-selection*.

#### **d. Analisis Hasil Simulasi**

Analisis yang dilakukan adalah pada kinerja dan tingkat efisiensi energi pada jaringan kooperatif *multy-relay*. Berdasarkan grafik perbandingan *energy bit* (Eb), berikut point – point kinerja yang di analisis pada penelitian ini:

- a. Perbandingan tingkat konsumsi energi berdasarkan jumlah *energy bit* (Eb) terhadap jarak dan SNR yang dihasilkan pada jaringan kooperatif *multy-relay* dan model konvensional.
- b. Perbandingan tingkat efisiensi energi yang dihasilkan berdasarkan rasio jarak dan SNR pada jaringan kooperatif *multi-relay* dan model konvensional.

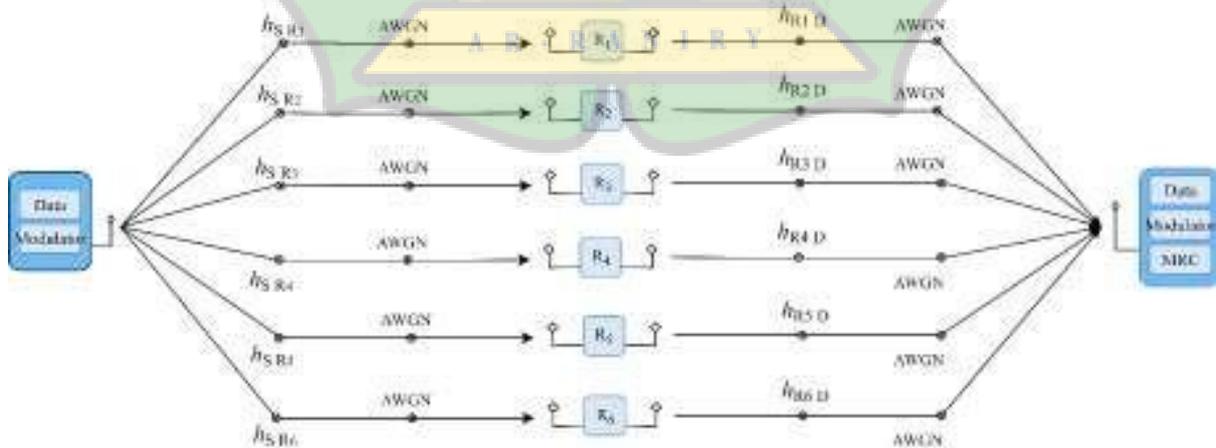
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Model Sistem

##### A. Model Topologi Jaringan

Penelitian ini mengkaji model jaringan kooperatif *multy-relay* dengan teknik pemilihan *relay* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Model jaringan *multy-relay* merupakan perkembangan dari model *single-relay* yang hanya memiliki 1 *relay* pada system pengiriman informasinya. Model jaringan ini dirancang sesuai dengan kondisi lingkungan yang memungkinkan terdapat banyak device yang berkumpul pada suatu tempat. Komponen jaringan terdiri dari beberapa *node*, yaitu: sumber (S), *relay* ( $R_1, \dots, R_k$ ), dan tujuan (D). Pada proses jaringan kooperatif *multy-relay* sinyal informasi dikirim secara *broadcast*, sinyal yang dikirim secara *broadcast* dari sumber akan diterima oleh *relay*. Pada *relay* akan terjadi pemilihan *relay* terbaik berdasarkan nilai SINR yang paling baik, *relay* terbaik akan melanjutkan informasi yang diterima menuju *relay* berikutnya dan juga bisa langsung mengirimkan ke tujuan.



Gambar 4.1 Model Jaringan Simulasi Jaringan Multy relay

Pengiriman sinyal informasi dari *node* atau perangkat sumber ke tujuan baik secara langsung dan melalui perangkat *relay* dapat dituliskan dengan persamaan matematis berikut :

$$y_{S,D} = h_{S,D}x_c + n_{S,D} \quad (4.1)$$

$$y_{S,R_i} = h_{S,R_i}x_c + n_{S,R} \quad (4.2)$$

$$y_{R,D} = h_{R_i,D}x_r + n_{R_i,D} \quad (4.3)$$

$$y_D = y_{R,D} + y_{R,R} + y_{S,D} \quad (4.4)$$

Proses kerja sistem kooperatif *multy relay* pada penelitian 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 tujuan ( $S, D$ ) dan *relay* ke  $i$  ( $S, R_i$ ) dimana  $i = 1, 2, \dots, k$ . Informasi yang diterima pada tujuan dan *relay* dipengaruhi oleh koefisien fading ( $h_{S,R}$ ) dan penambahan (*Adaptive White Gaussian Noise*) AWGN. Pada tahap kedua, *relay* akan mengirimkan bit informasi langsung ke tujuan ( $y_{R,D}$ ). Sinyal informasi yang dikirimkan secara langsung  $y_{S,D}$  dari sumber ke tujuan (*direct*) dan sinyal terkuantisasi melalui *relay* akan digabungkan ditujuan menggunakan teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC).

## **B. Analisis Matematis Pemilihan Relay**

Pada penelitian ini menggunakan metode pemilihan *relay* terbaik (*best relay*). Pada metode pemilihan relay terbagi atas 2 metode yaitu *Reactive Relay-Selection* dan *Proactive Relay-Selection*. Pada penelitian ini berfokus pada metode *Proactive Relay-Selection*. Adapun beberapa tahapan dari kedua metode tersebut dengan cara sebagai berikut:

### a. Reactive Relay Selection

Metode *reactive relay selection* (RRS) merupakan metode pemilihan *relay* yang dilakukan pada saat transmisi *direct* atau transmisi dari sumber ke tujuan gagal dilakukan. Pada metode ini dilakukan dengan cara memilih *relay* terbaik (*best relay*) yang dilakukan dengan cara memperhitungkan kualitas SNR antara kandidat *node relay* dengan tujuan. Berikut langkah – langkah proses pemilihan *relay* dengan metode *reactive relay selection*:

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  $(y_{S,R_i})$ , sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y_{S,R_i} = h_{S,R_i} + n_{S,R_i}; \text{ dimana } i = 1, \dots, n \quad (4.5)$$

Dimana  $h$  merupakan koefisien fading dan  $n$  merupakan noise AWGN.

2. Pada tahap berikutnya 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 :

$$b_{\text{reSay}} = \arg \text{Max} \{ \text{SNR}_{R_i,d} \}; \text{ b = best relay ; } i = 1, \dots, k \quad (4.6)$$

3. Tahap selanjutnya sumber akan melakukan request informasi kepada *best relay* (**b**).
4. Langkah terakhir adalah *best relay* meneruskan informasi kepada tujuan ( $y_{R,D}$ ) dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y_{R,D} = (h_{Ri,d}x_c + n_{Ri,d}) \quad (4.7)$$

Dimana  $y_{R,D}$  adalah sinyal informasi yang diterima di tujuan,  $h_{Ri,d}$  merupakan koefisien fading dari *relay* ke tujuan dan  $n_{Ri,d}$  merupakan noise AWGN dari *relay* ke tujuan.

#### **b. Proactive Relay Selection**

Metode pemilihan *relay* selanjutnya yaitu dengan metode *proactive relay selection* (PRS) dilakukan dengan cara mengestimasi kualitas kanal atau *channel state information* (CSI), yang membedakan dengan *reactive relay selection* (RRS), sebelum informasi dikirimkan akan dilakukan proses estimasi terlebih dahulu. Proses estimasi berfungsi untuk menentukan *relay* terbaik yang akan digunakan yang akan dilakukan dengan cara mengirimkan bit *training* terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas SNR antara sumber – *relay* – tujuan. Fungsi dari pengiriman bit *training* ini digunakan untuk meminimalkan tingkat konsumsi energi yang berlebih. Langkah-langkah proses pemilihan *relay* dengan metode *proactive relay selection* sebagai berikut:

1. Pertama sumber akan melakukan broadcast berupa bit training kepada *relay* dan tujuan untuk mengetahui nilai SNR dari beberapa *relay* yang berada didekatnya yang berfungsi untuk menentukan *relay* terbaik. Sehingga dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\hat{y}_t = (h_{st}) + n_t \quad (4.8)$$

Dimana  $\hat{y}_t$  sinyal *bit training* yang diterima pada *relay*,  $h_{st}$  merupakan koefisien fading dari pengiriman *bit training* dan  $n_t$  merupakan noise AWGN saat *broadcast bit training*.

2. *Relay* mengirimkan feedback kepada sumber berupa data SNR antara sumber – *relay*, yang menjadi data masukan untuk proses berikutnya. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$b = \arg \max_{i \in \{1, \dots, k\}} \{SNR_{S,R_i}, SNR_{R_i,D}\}; b = \text{best relay}; i = 1, \dots, k \quad (4.9)$$

3. Berdasarkan feedback yang diperoleh dari *relay*, proses selanjutnya sinyal informasi akan langsung dikirimkan oleh sumber kepada *Relay* terbaik ( $R_b$ ) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y_{S,R_b} = h_{S,R_b}x_S + n_{S,R_b} \quad (4.10)$$

4. *Best relay* ( $R_b$ ) akan meneruskan informasi kepada *relay* berikutnya dan juga dapat langsung mengirimkan informasi ke tujuan dalam bentuk :

$$y_{R_b,D} = h_{R_b,D}x_r + n_{R_b,D} \quad (4.11)$$

Dimana  $y_{R_b,D}$  adalah sinyal informasi yang diterima di tujuan,  $h_{R_b,D}$  merupakan koefisien fading dari *relay* ke tujuan dan  $n_{R_b,D}$  merupakan noise AWGN dari *relay* ke tujuan.

### C. Analisis Efisiensi Energi

Motivasi dari penelitian ini adalah mengkaji model jaringan *hybrid* untuk menghasilkan konsumsi energi lebih baik pada jaringan komunikasi kooperatif. Efisiensi energi menjadi satu faktor penting pada penelitian ini untuk di analisa. Terdapat beberapa faktor penting untuk mengukur tingkat efisiensi energi, yaitu:

#### a. Konsumsi energi

Konsumsi energi pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *hybrid-relay* dapat dihitung dengan mempertimbangkan jumlah *node relay* yang berapa di antara sumber dan tujuan. Jadi, konsumsi energi dari bit data yang ditransmisikan pada jaringan kooperatif nirkabel *hybrid-relay* adalah sebagai berikut.

$$E_c = \frac{\sum_{i=1}^k P_{C,R_i} + \sum_{i=1}^k P_{R_i,D} + P_{C,D}}{R_B} \text{ Joule/bit.} \quad (4.12)$$

Berikut keterangan dari parameter-parameter yang disebutkan pada (4.15).

- $E_c$  adalah konsumsi energi pada jaringan komunikasi nirkabel *hybrid-relay* QF.
- $P_{S,D}$  adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari sumber ke tujuan dalam satuan W.

$$P_{S,D} = \frac{P_c |h_{c,D}|^2}{d_{c,D}^{\alpha}} \quad (4.13)$$

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

- $P_{S,Ri}$  adalah konsumsi daya untuk mengirimkan bit data dari sumber kepada *relay* ke- $i$  dalam satuan W.

$$P_{S,Ri} = \frac{P_C |h_{C,Ri}|^2}{d_{C,Ri}^{\alpha} N} \quad (4.14)$$

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 *fading* antara sumber dengan *relay* ke- $i$ , serta  $N$  adalah pengaruh *noise*.

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

$$P_{Ri,D} = \frac{P_r |h_{Ri,D}|^2}{d_{Ri,D}^{\alpha} N} \quad (4.15)$$

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 *fading* antara *relay* ke- $i$  dan tujuan.

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

Perhitungan konsumsi energi pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *hybrid-relay* dengan metode pemilihan *relay* terbaik merujuk pada persamaan (4.15), namun terdapat beberapa perbedaan karena adanya proses seleksi satu *node* disekitar sumber atau diantara sumber dan tujuan yang berfungsi sebagai *relay*. Dengan demikian, berdasarkan metode pemilihan *relay* terbaik, perhitungan konsumsi energi pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu konsumsi energi dengan metode *Reactive Relay Selection* (RRS) dan *Proactive Relay Selection* (PRS), dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_{RRS} = \frac{P_{C,D} + P_{C,Ri} + P_{Ri,R} + P_{Rb,D}}{R_B} \quad \text{Joule/bit} \quad (4.16)$$

$$E_{PRS} = \frac{P_{C,D} + P_{C,Rb} + P_{Rb,R} + P_{Rb,D}}{R_B} \quad \text{Joule/bit} \quad (4.17)$$

Dimana:

- $E_{RRS}$  adalah konsumsi energi pada *Reactive Relay Selection*.
- $E_{PRS}$  adalah konsumsi energi pada *Proactive Relay Selection*.
- $P_{S,D}$  adalah konsumsi daya untuk mengirimkan data bit dari *source* kepada *destination* dalam satuan W digunakan persamaan.
- $P_{S,Rb}$  adalah konsumsi daya untuk mengirimkan data bit dari sumber kepada *best relay* dalam satuan W digunakan persamaan.
- $P_{Rb,R}$  adalah konsumsi daya untuk mengirimkan data bit dari *best relay* kepada *relay* yang berada didekatnya dalam satuan W digunakan persamaan.
- $P_{Rb,D}$  adalah konsumsi daya untuk mengirimkan data bit dari *best relay* kepada tujuan dalam satuan W digunakan persamaan.

## b. Efisiensi energi

Efisiensi energi pada jaringan komunikasi kooperatif nirkabel *multy-relay* dapat dihitung dengan mempertimbangkan tingkat konsumsi energi dari model jaringan konvensional sebagai pembandingnya. Maka, skema efisiensi energi jaringan kooperatif nirkabel *multy-relay* adalah sebagai berikut.

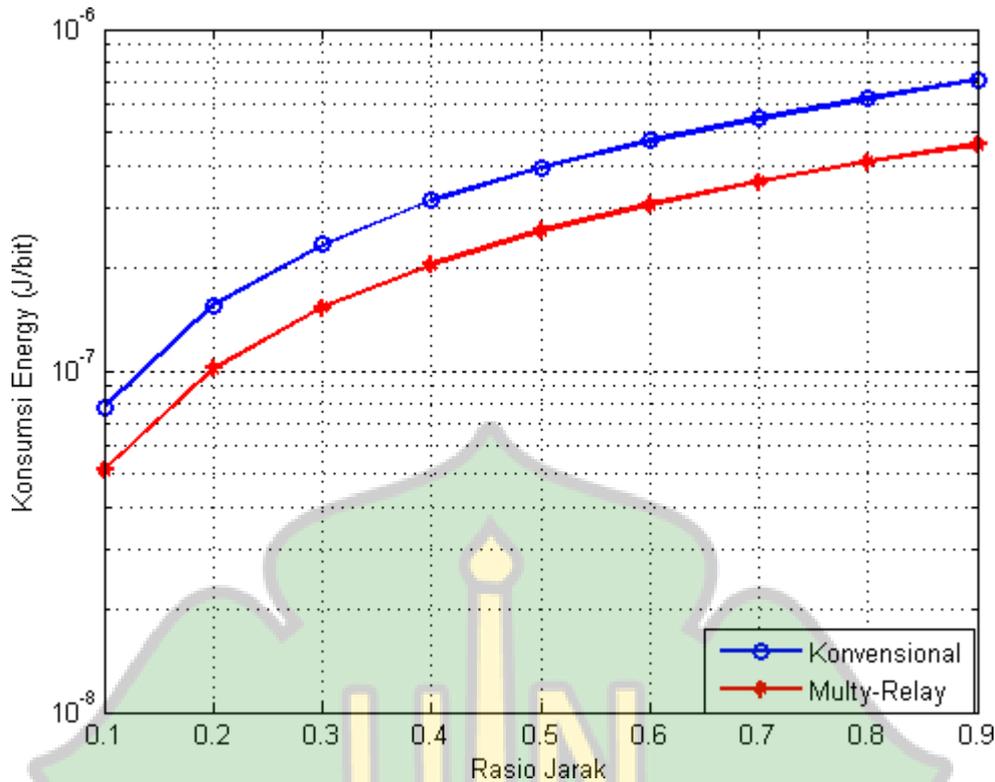
$$E_{\text{efficiency ceSection}} = \frac{E_{\text{konvensional}} - E_{\text{Nulty-relay}}}{E_{\text{konvensional}}} \times 100\% \quad (4.18)$$

Dari skema efisiensi energi diatas dapat disimpulkan untuk memperoleh besarnya efisiensi energi model jaringan *multy-relay* pada sistem komunikasi kooperatif nirkabel berbanding dengan model jaringan *konvensional*, dimana  $E_{\text{Nulty-relay}}$  merupakan konsumsi energi pada model *multy-relay*,  $E_{\text{konvensional}}$  merupakan konsumsi energi pada model jaringan *konvensional*. Jadi pada penelitian ini dapat disimpulkan berapa persen tingkat efisiensi energi dari model jaringan *multy-relay* dibandingkan dengan model *konvensional*.

## 4.2 Hasil dan analisis

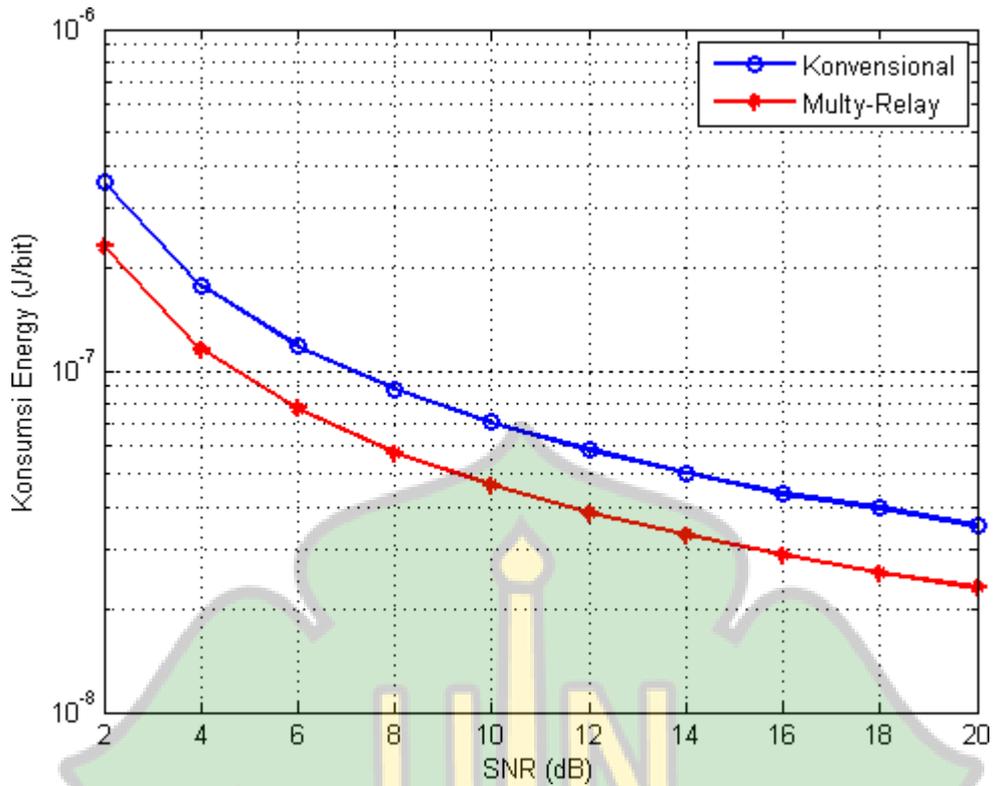
### A. Konsumsi Energi

Proses simulasi pengiriman informasi dari sumber ke tujuan dilakukan dengan metode sistem komunikasi kooperatif, tahap pertama adalah dengan metode *proactive relay-selection* (PRS) berdasarkan rasio jarak. Merujuk pada simulasi sebelumnya, untuk mengukur konsumsi energi pada simulasi ini dengan pengaruh *fading* yang terdistribusi secara rician terhadap rasio jarak.



Gambar 4.2 Konsumsi Energi terhadap Jarak

Hasil simulasi yang pertama pada jaringan komunikasi kooperatif *multi-relay* berdasarkan rasio jarak dengan metode *proactive relay-selection* (PRS) dihasilkan konsumsi energi sebesar  $2.56 \times 10^{-7}$  J/Bits, dibandingkan dengan menggunakan *konvensional* didapatkan  $3.93 \times 10^{-7}$  J/Bits, hal ini disebabkan proses pengiriman informasi dari *relay* ke tujuan tidak diteruskan oleh semua *node relay* akan tetapi diteruskan oleh *node relay* terbaik yang telah dipilih terlebih dahulu sebelum informasi diteruskan ke tujuan, bentuk jaringan juga berpengaruh dengan konsumsi energi dari sistem. Sesuai dengan teori yang berlaku semakin jauh jarak antar *source* menuju *destination* maka konsumsi energi yang digunakan akan semakin tinggi pula sebaliknya semakin dekat jarak antar *source* dan *destination* maka semakin kecil pula energy yang digunakan untuk mengirimkan bit informasi ketujuan.



Gambar 4.3 Konsumsi Energi terhadap SNR

Pada simulasi kedua konsumsi energi akan semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya jumlah SNR sesuai dengan teori yang berlaku. Pada simulai kedua ini tingkat konsumsi energi pada model *multi-relay* dihasilkan  $6.76 \times 10^{-8}$  J/Bits, sedangkan pada model *konvensional* menghasilkan  $1.04 \times 10^{-7}$  J/Bits hasil ini lebih kecil dibandingkan pada simulai pertama hal ini disebabkan, pada simulasi ini dilakukan proses pengiriman informasi berdasarkan SNR, dimana berdasarkan teori yang berlaku semakin besar SNR makan akan semakin kecil konsumsi energi yang akan digunakan.

Hasil lengkap dari simulasi konsumsi energi terhadap jarak dirincikan pada table dibawah ini:

Tabel 4.1 Hasil simulasi konsumsi energi terhadap jarak

Rasio Jarak		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Konsumsi Energi	Konvensional	$7.83 \times 10^{-8}$	$1.55 \times 10^{-7}$	$3.34 \times 10^{-7}$	$3.16 \times 10^{-7}$	$3.92 \times 10^{-7}$	$4.72 \times 10^{-7}$	$5.47 \times 10^{-7}$	$6.25 \times 10^{-7}$	$7.13 \times 10^{-7}$
	Multy-relay	$5.12 \times 10^{-8}$	$1.02 \times 10^{-7}$	$1.53 \times 10^{-7}$	$2.05 \times 10^{-7}$	$2.57 \times 10^{-7}$	$3.06 \times 10^{-7}$	$3.58 \times 10^{-7}$	$4.10 \times 10^{-7}$	$4.60 \times 10^{-7}$

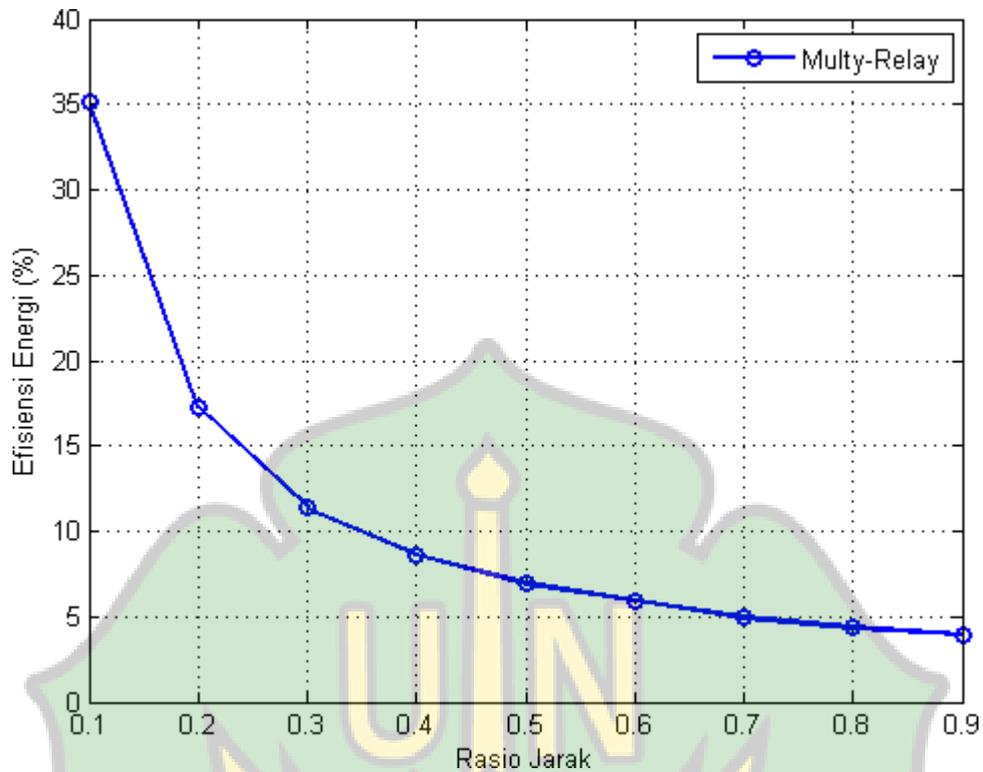
Tabel 4.2 Hasil simulasi konsumsi energi terhadap SNR

SNR		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Konsumsi Energi	Konvensional	$3.55 \times 10^{-7}$	$1.77 \times 10^{-7}$	$1.18 \times 10^{-7}$	$8.84 \times 10^{-8}$	$7.05 \times 10^{-8}$	$5.86 \times 10^{-8}$	$5.02 \times 10^{-8}$	$4.36 \times 10^{-8}$	$3.95 \times 10^{-8}$	$3.51 \times 10^{-8}$
	Multy-relay	$2.31 \times 10^{-7}$	$1.15 \times 10^{-7}$	$7.75 \times 10^{-8}$	$5.74 \times 10^{-8}$	$4.62 \times 10^{-8}$	$3.82 \times 10^{-8}$	$3.30 \times 10^{-8}$	$2.89 \times 10^{-8}$	$2.57 \times 10^{-8}$	$2.32 \times 10^{-8}$

Dari hasil ini terlihat bahwa model komunikasi *multy-relay* kooperatif *device to device* lebih baik dibandingkan model *konvensional*. Sesuai teori yang sudah di analisis pada model *multy-relay* akan mendapatkan hasil yang lebih baik, karena sistem pada model *multy-relay* pemilihan *relay* digunakan akan sangat membantu untuk memperpendek jarak antar sumber dan tujuan sedangkan pada model *konvensional* sumber harus mencari BTS dan akan bertukar informasi terlebih dahulu sebelum melakukan pengiriman informasi yang mengakibatkan konsumsi energy yang berlebihan terjadi.

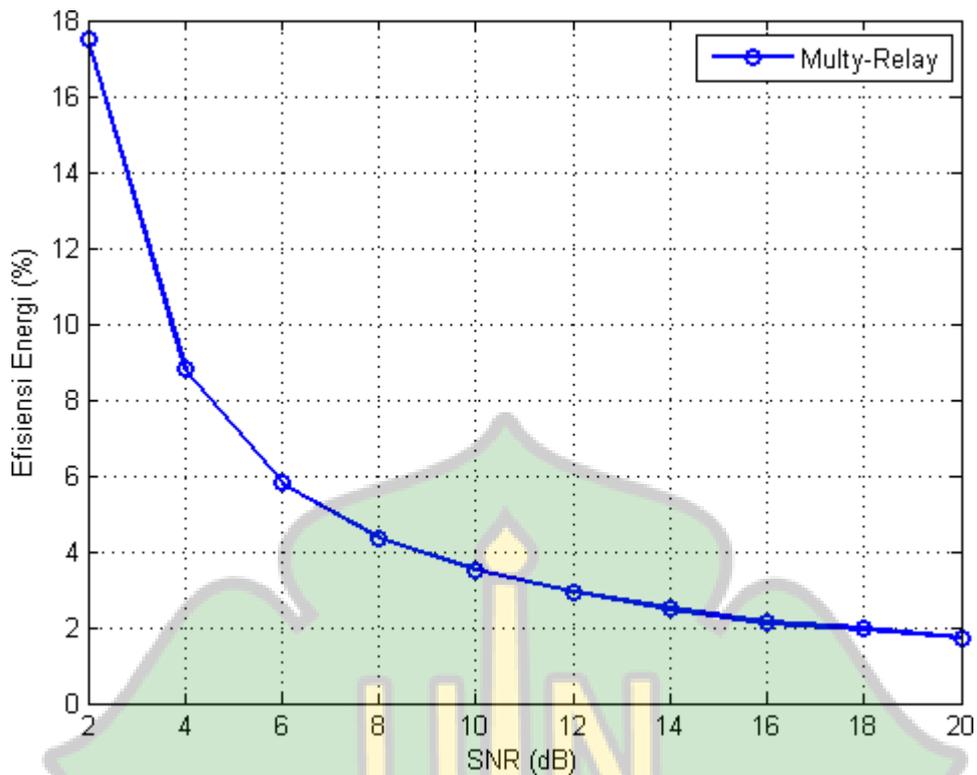
## **B. Efisiensi Energi**

Proses simulasi efisiensi energi dengan dua landasan yang pertama terhadap jarak dan yang kedua terhadap SNR. Pada simulasi ini nilai efisiensi energi yang lihat dengan menbandingkan tingkat konsumsi energi yang terjadi pada model jaringan *multy-relay*, dimana model jaringan *konvensional* menjadi patokan tingkan efisiensi energi dari model jaringan *multy-relay*. Maka berdasarkan persamaan (4.18), diperoleh hasil perhitungan presentase penghematan energi atau efisiensi energi yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.4 berdasarkan jarak, serta pada Gambar 4.6 berdasarkan SNR.



Gambar 4.4 Efisiensi terhadap jarak

Pada simulasi efisiensi terhadap jarak ini digunakan perbandingan terhadap model *konvensional*. Pada model *multy-relay* terhadap jarak ini dihasilkan efisiensi energi sebesar 10.95 % hasil ini merupakan rata-rata dari efisiensi energi berdasarkan rasio jaraknya, sedangkan pada model *multy-relay* terhadap SNR dihasilkan efisiensi energi sebesar 5.2 % ini merupakan hasil rata-rata dari nilai yang terdapat pada grafik. Jadi model jaringan *multy-relay* terhadap jarak sudah meningkatkan efisiensi energi dibandingkan dengan model konvensional.

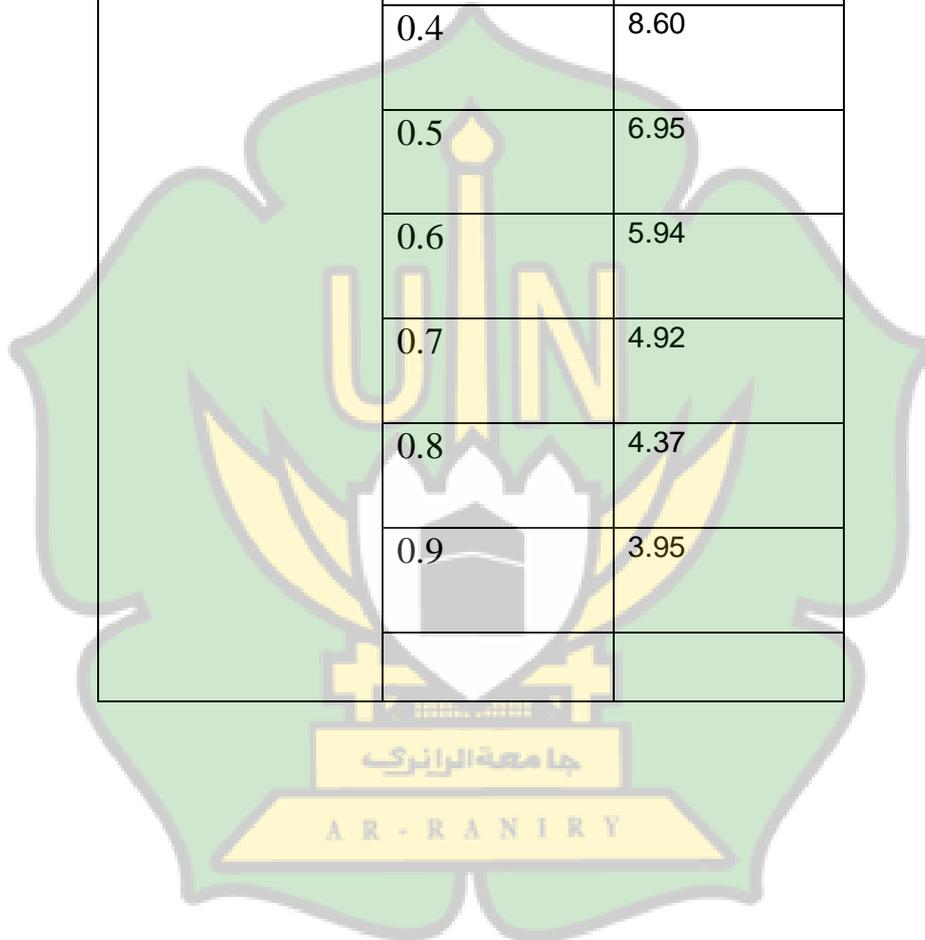


Gambar 4.5 Effisiensi terhadap SNR

Dari hasil ini terlihat bahwa model komunikasi kooperatif sangat berpengaruh dalam tingkat efisiensi energi. Pada model jaringan *multy-relay* terhadap jarak dan model *multy-relay* terhadap SNR memiliki tingkat efisiensi yang sudah sangat baik untuk digunakan karena sudah meningkatkan efisiensi energi dibandingkan dengan model *konvensional*. Jadi dapat disimpulkan bahwa model jaringan *multy-relay* dapat digunakan pada jarak yang dekat maupun jarak yang jauh.

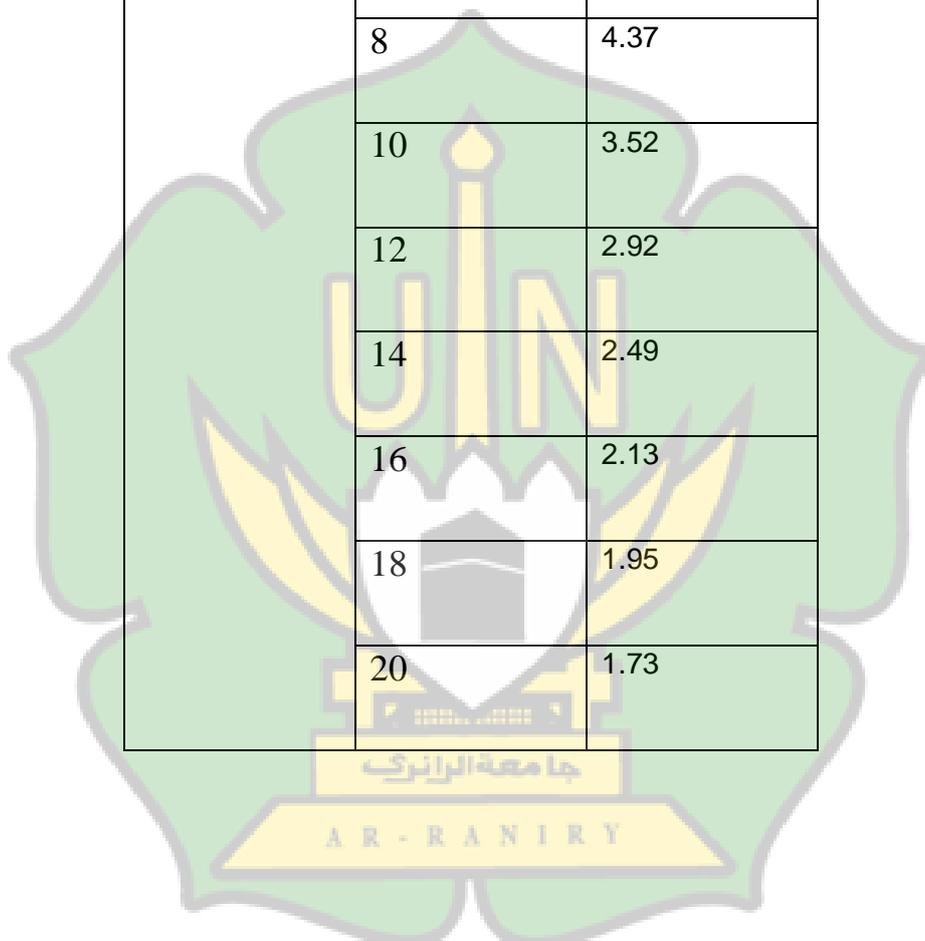
**Tabel 4.3** Hasil simulasi Efisiensi energi terhadap Jarak

Variasi	Jarak	Eff Jarak
Multy Relay	0.1	35.17
	0.2	17.24
	0.3	11.39
	0.4	8.60
	0.5	6.95
	0.6	5.94
	0.7	4.92
	0.8	4.37
	0.9	3.95



**Tabel 4.4** Hasil simulasi Efisiensi energi terhadap SNR

Variasi	SNR	Eff SNR
Multy Relay	2	17.51
	4	8.80
	6	5.79
	8	4.37
	10	3.52
	12	2.92
	14	2.49
	16	2.13
	18	1.95
	20	1.73



## BAB V

### Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji mengenai model *multy-relay* dan model *konvensional* dengan protokol *Amplify and Forward* (AF) untuk mengurangi tingkat konsumsi energi atau meningkatkan efisiensi energi. Adapun hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah:

1. Model *multy-relay* merupakan perkembangan dari model system komunikasi kooperatif *single-relay*.
2. Tingkat konsumsi energi pada model *multy-relay* lebih baik dibandingkan model *konvensional*. Pada model *multy-relay* relay yang berada diantara sumber dan tujuan membantu memperpendek jarak antara keduanya sedangkan pada model konvensional sumber akan langsung menghubungi tujuan tanpa bantuan, efek dari bantuan pada model *multy-relay* dapat memperpendek jarak saat pengiriman informasi dilakukan yang berakibat menurunnya konsumsi energi yang dibutuhkan.
3. Konsumsi energi dan efisiensi energi model jaringan *multy-relay* dengan protocol *Amplify and Forward* (AF) menghasilkan tingkat konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan model jaringan *konvensional*. Dari dua dasar yang digunakan yaitu jarak dan SNR terdapat perbedaan tingkat konsumsi energi, dimana *multy-relay* memiliki konsumsi energi yang lebih efisien dibandingkan dengan *konvensional*.

## DAFTAR PUSTAKA

Abhishek Gupta and Bhavesh Mishra (2016). A Survey on Wireless Technology 5G, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering  
September

Anum Ali, Ghalib A. Shah, Junaid Arshad (2016). Energy efficient techniques for M2M communication, Journal of Network and Computer Applications

Ahan Kak, Mohit Srinivasan, Chirag Warty (2016). Cooperative Communication *Relaying* in *Hybrid* Heterogeneous Networks, Aerospace Conference, 2016 IEEE

B. Widrow and I. Kollar (2008). Quantization Noise Roundoff Error in Digital Computation, Signal Processing, Control and Communication, Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York

Djeumou, B. Lasaulce, Samson. Klein, Andrew G. (2008). *Practical Quantize-and-Forward Scheme For The Frequency Relay Channel*. Laboratoire des Signaux et Systemes, CNRS, Spelec, Universitaire Paris Sud, 91191 Gif-sur-Yvette, France.

Efazati, Sara. Paeiz, Azmi. (2010). A Novel *Rayleigh* Protocol in a Cooperative Network with Decode and Forward *Relays*. Department of Electrical Engineering. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Ganesh R. Patil and Prof. Prashant S. Wankhade (2012). 5G Wireless Technology, International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)

G.G. de Oliveira Brante, M.T. Kakitani, R. Demo Souza (2012). Energy Efficiency in Cooperative Wireless Sensor Networks, Energy Efficiency - The Innovative Ways for Smart Energy, the Future Towards Modern Utilities, Dr. Moustafa Eissa (Ed.)

Hafiz Atta Ul Mustafa, Muhammad Ali Imran, Muhammad Zeeshan Shakir, Ali Imran, and Rahim Tafazolli (2016). Separation Framework: An Enabler for Cooperative and D2D Communication for Future 5G Networks, IEEE Communication surveys & tutorials

Limpakom, Woraniti. Yao, Yu-Dong. Man, Hong. (2009). *Outage probability Analysis of Wireless Relay and Cooperative Networks in Rician Fading Channels with Different K-Factors*. Department of Electrical and Computer Engineering, Stevens Institute of Technology Hoboken, USA.

Li, P. S. G. (2014). *Cooperative Device-to-Device Communication in Cognitive Radio Cellular Networks*, Springer Briefs in Computer Science

Liang Chen, Juan Wang (2015). Energy Efficiency Optimization For Multi-relay Cooperative Network Based On Node Fairness, IEEE Transactions on Wireless Communications

M. A. W. Torabi, dan D. Haccoun (2009). Performance Analysis of Amplify-and-Forward Cooperative Networks with Relay Selection over Rayleigh Fading Channels, IEEE, Vehicular Technology Conference (VTC)

Marchenko, Nikolaj; Bettstetter, Christian; Bettstetter, Christian (2011). Throughput and Energy Efficiency of Cooperative Diversity with Relay Selection, *Wireless Conference 2011 – Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, 11<sup>th</sup> European

Qian Li, and Rose Qingyang Hu (2012). Cooperative Communications For Wireless Network: Techniques And Applications In LTE-Advanced Systems, *IEEE Wireless Communications*

Radwa Ahmed Osman, Xiao-Hong Peng and Zuoyin Tang (2018). Energy Efficiency and Achievable Data Rate of Device-to-Device Communications in Cellular Networks, IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom

S. Lien, K. Chen, and Y. Lin (2011). Toward ubiquitous massive accesses in 3GPP machine-to-machine communications[J], *IEEE Communications Magazine*)

Steiner and S. Shamai (2006). Single-User Broadcasting Protocols over a Two-Hop Relay Fading Channel, *IEEE Transactions on Information Theory*

