



TESIS - TE142599

**IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KINERJA *HYBRID*
RELAY SELECTION SISTEM KOMUNIKASI
KOOPERATIF PADA MODUL WARP**

UMMUL KHAIR
07111650030008

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Suwadi, S.T., M.T.
Dr. Ir. Wirawan, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

**IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KINERJA *HYBRID*
RELAY SELECTION SISTEM KOMUNIKASI
KOOPERATIF PADA MODUL WARP**

UMMUL KHAIR
07111650030008

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Suwadi, S.T., M.T.
Dr. Ir. Wirawan, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Ummul Khair
NRP. 07111650030008

Tanggal Ujian : 06 Juli 2018
Periode Wisuda: September 2018

Disetujui oleh.

1. Dr. Ir. Suwadi, S.T., M.T.
NIP: 196808181993031002

(Pembimbing I)

2. Dr. Ir. Wirawan DEA
NIP: 196311091989031011

(Pembimbing II)

3. Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendranto, Ph.D.
NIP: 197011111993031002

(Penguji)

4. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
NIP: 196411301989032001

(Penguji)

5. Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP: 196605101992032002

(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

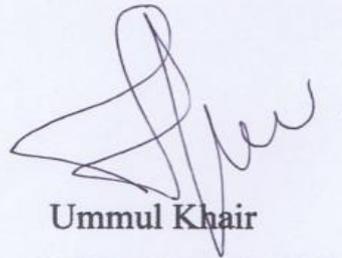
Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KINERJA HYBRID *RELAY* SELECTION SISTEM KOMUNIKASI KOOPERATIF PADA MODUL WARP**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 31 Juli 2018



Ummul Khair

NRP. 07111650030008

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KINERJA HYBRID *RELAY* SELECTION SISTEM KOMUNIKASI KOOPERATIF PADA MODUL WARP

Nama mahasiswa : Ummul Khair
NRP : 07111650030008
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Suwadi, S.T., M.T.
2. Dr. Ir. Wirawan, DEA

ABSTRAK

Komunikasi kooperatif bertujuan untuk mengurangi gangguan *multipath fading*. Terdapat dua protokol teknik *relay* pada sistem komunikasi kooperatif, yaitu *amplify and forward* (AF) dan *decode and forward* (DF). *Hybrid relay protocol* (HRP) merupakan kombinasi dari protokol AF dan DF dimana pada *relay* akan memilih salah satu protokol dengan menggunakan *hybrid relay selection* (HRS). Pemilihan node *relay* berdasarkan nilai BER yang terkecil pada node *relay*. Pada penelitian ini akan diimplementasikan kinerja dari HRS sistem komunikasi kooperatif pada modul WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*). Parameter yang diambil sebagai acuan performansi dalam pemilihan *relay* adalah *bit error rate* (BER). Setelah dilakukan pengukuran, pemilihan node *relay* tergantung dari jarak antara node *relay* dan node *source*. Saat *Relay 2* (DF) berada didekat node *source* saat jarak 5 meter, node *relay 2* (DF) sudah mendapatkan nilai BER senilai 0 ketika daya -7 dBm, sedangkan untuk *relay 1* (AF), BER pada saat daya yang dipancarkan sama sebesar -7 dBm, nilai BER adalah 0.0176.

Kata kunci: *Hybrid Relay Selection*, Sistem Komunikasi Kooperatif, WARP.

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF HYBRID RELAY SELECTION COOPERATIVE COMMUNICATION SYSTEM USING WARP MODULE

By : Ummul Khair
Student Identity Number : 07111650030008
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Suwadi, S.T., M.T.
2. Dr. Ir. Wirawan, DEA

ABSTRACT

Cooperative communication aims to reduce multipath fading interference. There are two protocol relay techniques on cooperative communication system, ie amplify and forward (AF) and decode and forward (DF). Hybrid relay protocol (HRP) is a combination of AF and DF protocols where the relay will select one protocol using hybrid relay selection (HRS). Selection of relay nodes based on the smallest BER value on relay nodes. In this research will be implemented performance of HRS cooperative communication system in WARP module (Wireless Open-Access Research Platform). The parameter taken as performance reference in relay selection is bit error rate (BER). After measurement, the selection of relay nodes depends on the distance between relay nodes and source nodes. When Relay 2 (DF) is near the source node at a distance of 5 meters, the relay 2 (DF) node has received a BER value of 0 when power is -7 dBm, while for relay 1 (AF) BER when the emitted power is equal to - 7 dBm, the value of BER is 0.0176.

Keywords: Cooperative Communication System, Hybrid Relay Selection, WARP.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan bantuan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan judul:

“Implementasi dan Analisis Kinerja Hybrid *Relay Selection* Sistem Komunikasi Kooperatif pada Modul WARP”

Tesis ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan Program Studi Magister pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam proses pengerjaan Tesis ini penulis telah terbantu oleh beberapa pihak, antara lain:

1. Kedua orang tua, Zulkarnaini dan Darmiati, Kakak-kakak penulis Dian Maulana, Suci Handani, Aulia Rahim, dan Arsyad Fathon yang selalu mendukung, mendoakan dan memberikan bantuan berupa material dan non material.
2. Bapak Dr. Ir. Suwadi, MT dan Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan teknis dan semangat ketika penulis mengalami permasalahan dalam penelitian.
3. Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, Ph.D, Dr. Ir. Titiek Suryani, MT, dan Dr. Ir. Puji Handayani, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan.
4. Bapak-bapak dan Ibu-ibu Dosen Teknik Elektro ITS atas ilmu dan bimbingannya selama proses perkuliahan.
5. Keluarga besar Laboratorium Telekomunikasi Multimedia B304.
6. Teman-teman Magister.

Surabaya, Mei 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Kontribusi	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Komunikasi Nirkabel	5
2.2 Sistem Komunikasi Kooperatif.....	6
2.3 Skenario Sistem Komunikasi Kooperatif.....	8
2.4 Protokol <i>Relay</i> pada Sistem Kooperatif.....	9
2.4.1. Protokol <i>Relay Amplify And Forward</i>	9
2.4.2. Protokol <i>Relay Decode And Forward</i>	11
2.5 <i>Hybrid Relay Selection</i>	11
2.6 Teknik Combining [9].....	14

2.7	Kode Konvolusi.....	17
2.6.1	Diagram <i>State</i>	19
2.6.2	Diagram <i>Tree</i>	19
2.6.3	Diagram Trellis.....	20
2.6.4	Algoritma Viterbi	21
2.8	Modulasi QPSK.....	22
2.9	Software Defined Radio	23
2.10	<i>Wireless Open-Access Research Platform</i> dan WARPLab.....	23
2.8.1	WARP Board.....	25
2.8.2	WARPLab	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Langkah-Langkah Perancangan	31
3.2	Alur Perancangan Sistem	32
3.3	Perancangan Sistem.....	33
3.4	Implementasi Secara Realtime pada Modul WARP	34
3.4.1	Pada Pemancar.....	37
3.4.2	Proses pengiriman melalui modul WARP.....	40
3.4.3	Pada Node <i>Relay</i>	41
3.4.4	Pada node <i>Destination</i>	42
3.4.5	Pada Kanal.....	42
3.5	Pengukuran BER Terhadap Fungsi Jarak.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		51
4.1	Analisis BER Hasil Pengukuran di Lingkungan <i>Outdoor</i>	52
4.1.1	Analisis pemilihan <i>relay</i> dengan kondisi <i>Line of Sight</i>	52
4.1.2	Analisis pemilihan <i>relay</i> dengan kondisi <i>Non Line of Sight</i>	59
4.1.3	Analisis pemilihan <i>relay</i> node <i>relay</i> yang berubah-ubah	63

4.2	Analisis BER Hasil Pengukuran di Lingkungan <i>Indoor</i>	72
4.2.1	Analisis pemilihan <i>relay</i> dengan node di tengah	72
4.2.2	Analisis pemilihan <i>relay</i> berdekatan dengan node 1.....	74
BAB V	.....	79
KESIMPULAN	.....	79
DAFTAR PUSTAKA	.....	81
LAMPIRAN	.....	83
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	.....	85

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fenomena Multipath fading [10].	6
Gambar 2. 2 Model Sistem Komunikasi Kooperatif [1].....	7
Gambar 2. 3 Skenario Komunikasi Kooperatif [1]	8
Gambar 2. 4 Amplify-and-Forward [1].....	9
Gambar 2. 5 <i>Decode-and-Forward</i>	11
Gambar 2. 6 Blok diagram sistem komunikasi kooperatif dengan HRS skema	13
Gambar 2. 7 Flowchart sistem komunikasi kooperatif dengan HRS skema.....	14
Gambar 2. 8 Encoder Kode Konvolusi dengan <i>Coderate</i> $\frac{1}{2}$	19
Gambar 2. 9 <i>Diagram State Rate</i> = $\frac{1}{2}$ dan $K = 3$ [15].....	19
Gambar 2. 10 <i>Diagram Tree Rate</i> = $\frac{1}{2}$ dan $K = 3$ [15].....	20
Gambar 2. 11 Diagram Trellis <i>Rate</i> = $\frac{1}{2}$ dan $K = 3$ [15]	21
Gambar 2. 12 Konstelasi QPSK pada Matlab	22
Gambar 2. 13 Komponen-komponen utama dari arsitektur WARP [12]	24
Gambar 2. 14 Modul WARP Versi 2.2 [12]	25
Gambar 2. 15 Diagram blok node WARP [11].....	25
Gambar 2. 16 Radio board [13]	27
Gambar 2. 17 Arsitektur radio board [13].....	28
Gambar 2. 18 TX Output vs Gain Settings pada MAX2829 [14].....	28
Gambar 2. 19 Gain Rx Baseband pada MAX2829 [14]	29
Gambar 2. 20 Penggunaan Kerangka Kerja WARPLab [11]	30
Gambar 3. 1 Model Umum sistem komunikasi kooperatif <i>hybrid relay</i>	31
Gambar 3. 2 Diagram Alur Perancangan Sistem	32
Gambar 3. 3 Simulasi <i>direct AF</i> , <i>direct DF</i> , AF, DF dan HRS	34
Gambar 3. 4 Skema perancangan sistem komunikasi kooperatif dengan HRS	36
Gambar 3. 5 Blok desain sistem komunikasi kooperatif dengan HRS	37
Gambar 3. 6 Blok <i>Modulator</i> QPSK.....	38
Gambar 3. 7 Respon impulse filter <i>square-root raised-cosine</i>	39
Gambar 3. 8 Proses Pengiriman Sinyal dan Komunikasi	41
Gambar 3. 9 Kondisi kanal <i>nirkabel</i>	43

Gambar 3. 10 Range frekuensi IEEE 802.11g	43
Gambar 3. 11 Dimensi dari penghalang	45
Gambar 3. 12 Denah ruang B406 untuk pengukuran <i>indoor</i>	45
Gambar 3. 13 Pengukuran <i>outdoor</i>	46
Gambar 3. 14 kondisi tanpa penghalang.....	46
Gambar 3. 15 Kondisi dengan penghalang.....	47
Gambar 3. 16 Sketsa Pengukuran dengan Variasi Jarak	47
Gambar 3. 17 Sketsa Pengukuran dengan Variasi Jarak	48
Gambar 3. 18 Kondisi Kanal	49
Gambar 4. 1 Random Bit Node <i>Source</i>	51
Gambar 4. 2 Bit yang diterima pada node <i>Destination</i>	52
Gambar 4. 3 Perbandingan BER pada node <i>relay</i>	57
Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node <i>destination</i>	59
Gambar 4. 5 Perbandingan BER pada node <i>relay</i>	61
Gambar 4. 6 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node <i>destination</i>	63
Gambar 4. 7 Perbandingan BER AF dan DF pada node <i>Relay</i>	64
Gambar 4. 8 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node <i>destination</i>	66
Gambar 4. 9 Perbandingan BER jalur <i>direct</i> dan Multihop	67
Gambar 4. 10 Perbandingan nilai BER AF dan DF pada node <i>relay</i>	69
Gambar 4. 11 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node <i>destination</i>	70
Gambar 4. 12 Perbandingan BER jalur <i>direct</i> dan Multihop	71
Gambar 4. 13 Perbandingan BER AF dan DF pada node <i>relay</i>	73
Gambar 4. 14 Perbandingan BER AF dan DF pada node <i>relay</i>	75
Gambar 4. 15 Perbandingan BER AF dan DF pada node <i>relay</i>	77

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Desain parameter sistem komunikasi kooperatif <i>hybrid relay</i>	33
Tabel 3. 2 <i>Mapping</i> Modulasi QPSK.....	38
Tabel 3. 3 Parameter desain <i>raised cosine filter</i> dan <i>matched filter</i>	39
Tabel 3. 4 Variasi Jarak Pengukuran Sistem.....	47
Tabel 3. 5 Variasi Jarak Pengukuran Sistem <i>di relay</i>	48
Tabel 4. 1 Perbandingan BER pada kondisi LOS	55
Tabel 4. 2 Perbandingan BER pada kondisi LOS	56
Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC	58
Tabel 4. 4 Perbandingan BER pada kondisi NLOS	60
Tabel 4. 5 Perbandingan BER pada kondisi NLOS	60
Tabel 4. 6 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC	62
Tabel 4. 7 Perbandingan BER AF dan DF pada node <i>Relay</i>	64
Tabel 4. 8 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC	65
Tabel 4. 9 Perbandingan BER jalur <i>DIRECT</i> dan Multihop.....	67
Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC	68
Tabel 4. 11 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC	69
Tabel 4. 12 Perbandingan BER jalur <i>DIRECT</i> dan Multihop.....	71
Tabel 4. 13 Perbandingan BER kondisi <i>indoor</i>	73
Tabel 4. 14 Perbandingan BER kondisi <i>indoor</i> pada node <i>relay</i>	74
Tabel 4. 15 Perbandingan BER kondisi <i>indoor</i> pada node <i>relay</i>	76

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penelitian mengenai sistem komunikasi kooperatif telah banyak dikaji pada [1]. Ide dasar dari sistem komunikasi kooperatif adalah *source* mengirimkan informasi ke node *relay* dan *destination*, *relay* mentransmisikan lagi informasi yang sama dari *source* ke node *destination*, node *destination* berfungsi untuk mengkombinasikan informasi yang diperoleh dari node *source* dan node *relay* [2]–[4]. Sistem komunikasi kooperatif berfungsi untuk mengeliminasi pengaruh *multipath fading* pada kanal nirkabel, sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem. Pada sistem komunikasi kooperatif terdapat dua protokol *relay* yang digunakan, yaitu *amplify and forward* (AF) dan *decode and forward* (DF). Fungsi *relay* protokol adalah [2], pada AF data informasi pada *relay* protokol diteruskan ke node *destination* dari *relay* dan terjadi penambahan *noise* setelah diberi penguatan, berbeda dengan protokol DF, data informasi yang diterima belum tentu di terjemahkan atau diterima dengan benar. cc [3]. *Hybrid Relay Protocol* (HRP) merupakan kombinasi dari protokol AF dan DF dimana pada *relay* akan memilih salah satu protokol dengan menggunakan *hybrid relay selection* (HRS). Jika informasi yang dikirimkan adalah benar, maka HRS akan memilih mengirimkan informasi dengan protokol DF dan sebaliknya. Pada node *relay*, pemilihan protokol apa yang akan digunakan dipilih berdasarkan nilai batas SNR nya [5], [6].

Pada penelitian sebelumnya sudah diusulkan beberapa sistem komunikasi kooperatif dan *relay selection*. Pada [3], Liu Tanxi mengusulkan analisis kinerja dari *hybrid relay selection* pada sistem komunikasi kooperatif. [4] Trung Q, mengkaji tentang performansi gain dari *hybrid decode amplify forward* pada sistem komunikasi kooperatif. Furuzan [5] menentukan batas threshold SNR yang dipilih oleh *relay* pada sistem komunikasi kooperatif. Pada [3] penulis melakukan penelitian tentang *hybrid relay selection* pada sistem komunikasi kooperatif.

Berdasarkan penelitian sebelumnya ini muncul sebuah permasalahan, apakah algoritma penelitian sebelumnya sudah dapat diimplementasikan dengan baik pada modul *software defined radio* (SDR). Bagaimana mengimplementasikannya pada modul SDR. Sehingga pada penelitian ini penulis akan mengimplementasikan kinerja *hybrid relay selection* sistem komunikasi kooperatif pada salah satu *software defined radio* (SDR) yaitu *wireless open access research platform* (WARP).

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan model simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan *hybrid relaying protokol*.
2. Mendapatkan nilai threshold BER sebagai parameter pengambilan keputusan suatu proses *relaying*.
3. Mengimplementasikan kinerja *hybrid relay selection* sistem komunikasi kooperatif pada modul WARP.
4. Mengevaluasi kinerja HRS pada sistem komunikasi kooperatif pada simulasi dan pengujian pada modul WARP.

1.3. Tujuan

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan optimasi sistem komunikasi kooperatif pada *hybrid protocol relay selection* dengan yang menghasilkan suatu model sistem komunikasi yang tahan terhadap multipath fading. Untuk mengembangkan sistem komunikasi kooperatif pada *hybrid protocol relay selection* diperlukan penelitian perencanaan model sistem, diantaranya pemilihan sistem modulasi dan demodulasi, sistem *relay*, teknik diversity, kanal propagasi, *relay selection* dan mekanisme komunikasi kooperatif antara pemancar, *relay* dan penerima.
2. Mengevaluasi kinerja dari metode *relaying* AF dan DF.

3. Membandingkan kinerja dari ketiga metode *relaying* dan mencari metode *relaying* yang terbaik.
4. Implementasi sistem komunikasi kooperatif pada *hybrid protocol relay selection* berbasis *Wireless Open Access Research Platform* (WARP). Untuk dapat mengimplementasikan diperlukan setup modul WARP, pembuatan program sistem modulasi dan demodulasi yang digunakan baik pada pemancar, penerima maupun sistem *relay*. Mekanisme koordinasi antara pemancar, penerima dan *relay* juga merupakan salah satu bagian proses yang sangat penting dalam penelitian ini.
5. Menghasilkan makalah ilmiah mengenai teknologi sistem komunikasi kooperatif pada *hybrid protocol relay selection*, yang dipublikasikan pada seminar internasional dan jurnal internasional.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tesis ini adalah sebagai berikut :

1. *Relay* yang digunakan pada sistem komunikasi kooperatif adalah *amplify and forward* (AF) dan *decode and forward* (DF).
2. Modulasi yang dipakai adalah QPSK.
3. Sistem pemilihan *relay* terbaik disini berdasarkan nilai BER.
4. Implementasi sistem pada modul WARP tidak sepenuhnya HRS, karena node-node *relay* telah ditentukan fungsinya sebagai node *relay* AF dan node *relay* DF.

1.5. Kontribusi

Hasil yang diperoleh dari tesis ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan penelitian sistem komunikasi kooperatif.
2. Menjadi referensi dalam penelitian mengenai metode *relaying* sistem komunikasi kooperatif yang belum banyak dilakukan.

3. Memberikan kontribusi dalam pengembangan penelitian sistem komunikasi kooperatif pada modul WARP.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Nirkabel

Pada sistem komunikasi nirkabel, ada dua jenis proses transmisi sinyal dalam perambatan gelombangnya yaitu *Line of Sight* (LoS) dan *Non Line of Sight* (NLoS). *Line of Sight* (LoS) merupakan perambatan gelombang radio dari antena pemancar ke antena penerima tanpa adanya halangan (*obstacle*) karena proses perambatan sinyalnya terjadi secara langsung (*direct path*) dan satu lintasan (*single path*). Sedangkan *Non Line of Sight* (NLoS) adalah perambatan gelombang radio yang mengalami proses *refleksi*, *refraksi*, *difraksi* dan *scattering* ketika merambat dari antena pemancar ke antena penerima. Berikut ini penjelasan mengenai lintasan sinyal pada selama proses transmisi *multipath* [7].

a. Jalur Pemantulan (*Refleksi Path*)

Lintasan dimana Gelombang yang dipantulkan akibat adanya halangan seperti permukaan bumi, bangunan, tembok, dan gunung.

b. Jalur Hamburan (*Scattering Path*)

Lintasan dimana gelombangnya mengalami hamburan ketika merambat melalui permukaan yang kasar seperti tanah, vegetasi, laut, atau pada permukaan dengan dimensi yang lebih kecil daripada panjang gelombang.

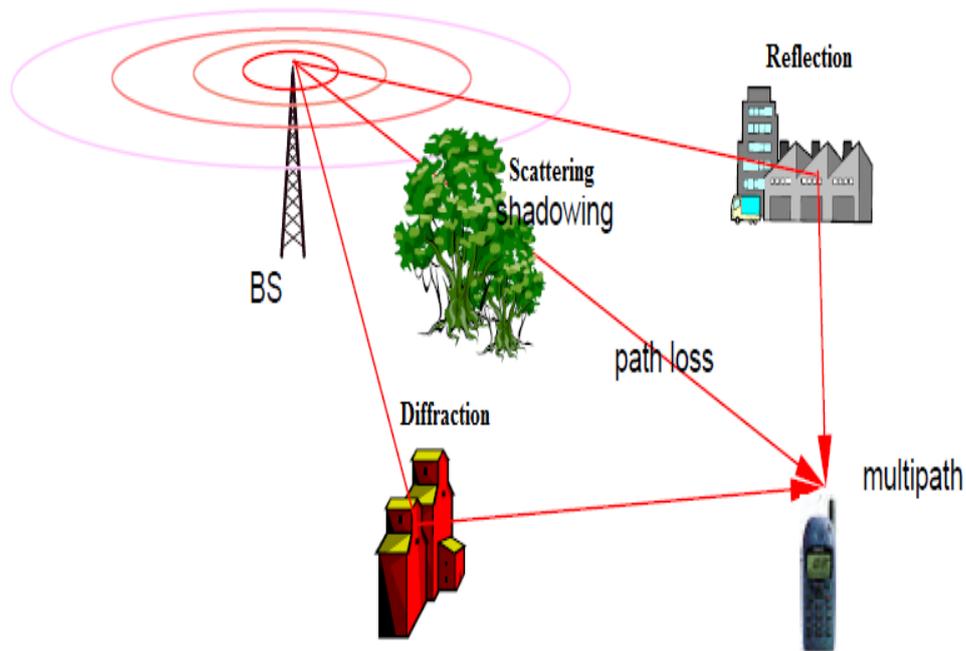
c. Jalur Pembiasan (*Refraksi Path*)

Pembiasan merupakan pembelokan gelombang radio yang melewati medium yang memiliki kepadatan yang berbeda. Ketika suatu gelombang elektromagnetik merambat dari suatu medium ke medium yang lain dengan kepadatan berbeda maka kecepatannya akan berubah. Akibatnya adalah arah gelombang pada batas ke medium yang lebih padat, maka gelombang akan membelok ke arah medium yang lebih padat.

d. Jalur *Difraksi*

Lintasan dimana gelombang yang merambat dengan cara difraksi atau menyebar seperti pada tepian gedung dan atap rumah.

Akibatnya, sinyal yang diterima merupakan resultan vektor yang dapat menguatkan atau melemahkan. Hal yang demikian biasa disebut dengan fading. Jika penerima bergerak dari satu lokasi ke lokasi lain, maka akan ada perbedaan fase dari gelombang yang diterima. Oleh karena itu, fading akan terjadi. Di samping itu, terdapat pula *noise* yang dapat menyebabkan perubahan karakteristik sinyal yang dikirim baik dalam bentuk perubahan amplitudo maupun pergeseran frekuensi *carrier*. Gambar 2.1 menunjukkan fenomena *multipath fading*. Tiap jalur memiliki panjang jalur yang berbeda.

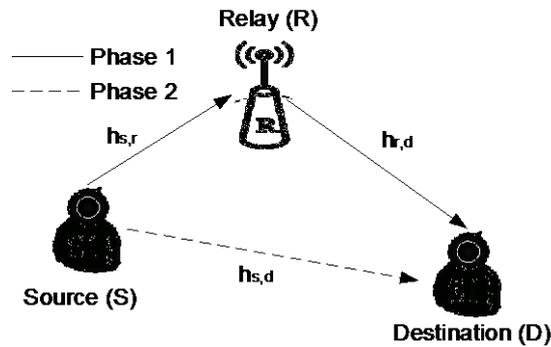


Gambar 2. 1 Fenomena Multipath fading [10].

2.2 Sistem Komunikasi Kooperatif

Sistem komunikasi kooperatif merupakan mekanisme yang mengumpulkan sumber daya dari node-node yang terdistribusi untuk meningkatkan seluruh kinerja jaringan nirkabel. Pada sistem komunikasi

kooperatif, *source* (S) mengirimkan informasinya secara *broadcast* ke penerima (D) dan ke *relay* (R) yang merupakan *user* lain dalam area yang berada didekatnya. Kemudian sinyal yang diterima oleh R akan diolah terlebih dahulu untuk kemudian dikirimkan ke D. Sinyal yang diterima dari pengirim maupun dari *relay* akan mengalami proses *combining* di penerima [1]. Sistem komunikasi kooperatif ini bertujuan untuk mengurangi jumlah fading. Gambaran sederhana mengenai model komunikasi kooperatif ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Model Sistem Komunikasi Kooperatif [1]

$h_{s,r}$: redaman kanal *source-relay*

$h_{s,d}$: redaman kanal *source-destination*

$h_{r,d}$: redaman kanal *relay-destination*

Source mengirimkan informasi ke *destination* dan *relay* dalam waktu yang sama. Sinyal yang diterima pada $y_{s,d}$, $y_{s,r}$ dapat ditulis sebagai berikut :

$$y_{s,r} = \sqrt{P} h_{s,r} x + n_{s,r} \quad (2.1)$$

$$y_{s,d} = \sqrt{P} h_{s,d} x + n_{s,d} \quad (2.2)$$

Relay akan meneruskan informasi dari *source* ke *destination*. Sinyal yang diterima pada $y_{r,d}$ dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y_{r,d} = h_{r,d} q(y_{s,r}) + n_{r,d} \quad (2.3)$$

Dimana :

$y_{s,r}$: Sinyal yang diterima pada *source-relay*

$y_{s,d}$: Sinyal yang diterima pada *source-destination*

$y_{r,d}$: Sinyal yang diterima pada *relay-destination*

P : Daya yang dikirim oleh sumber

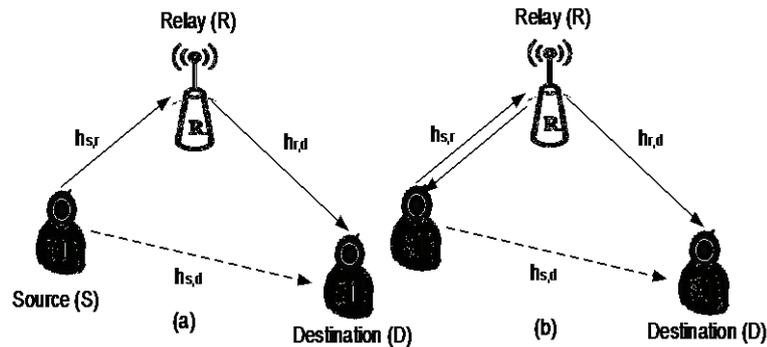
x : Simbol informasi yang dikirim

$n_{s,r}$, $n_{s,d}$, $n_{r,d}$: Noise additive

q : Fungsi $q(\cdot)$ tabel tergantung implementasi di *relay* node

2.3 Skenario Sistem Komunikasi Kooperatif

Pada sistem komunikasi kooperatif ada dua skenario yang digunakan untuk proses transmisi data, yang pertama skenario *relay* dan skenario simetri.



Gambar 2. 3 Skenario Komunikasi Kooperatif [1]

(a) Skenario *relay* ; (b) Skenario simetri

Gambar 2.3 (a) menunjukkan transmisi data pada skenario *relay*. Pada skenario *relay*, *relay* merupakan terminal yang hanya digunakan untuk mengirim ulang data yang diterima menuju ke *destination*. Pada Gambar 2.3 (a), *source* (S) dapat mengirim data ke *destination* (D) melalui dua jalur, yaitu jalur langsung menuju D dan jalur melalui *relay* (R). Jadi R ini bukanlah sebuah *source*. Sedangkan pada skenario simetri, yang berfungsi sebagai *relay* adalah *user* lain yang berada di sekitarnya. Dalam proses transmisi, *user* lain harus menyediakan *slot* khusus untuk menampung data *user* lain. Gambar 2.3 (b) menunjukkan transmisi data pada skenario simetri. Pada Gambar 2.3 (b), S dan R adalah *source* sekaligus *relay*. S dapat mengirim data melalui dua jalur, yaitu jalur langsung menuju D dan jalur melalui R. Konsep tersebut berlaku juga pada R. R dapat mengirim data melalui dua jalur, yaitu jalur langsung menuju D dan jalur melalui S. Jadi pada skenario simetri setiap *user* memiliki dua fungsi, yaitu sebagai *source* dan sebagai *relay*. Skenario yang akan digunakan pada penelitian ini adalah skenario *relay*.

2.4 Protokol Relay pada Sistem Kooperatif

Relay merupakan terminal yang berfungsi untuk mengirimkan kembali data informasi yang telah diterima menuju ke penerima. Dimana pengguna lain yang berada disekitarnya yang berfungsi sebagai relay. Pengolahan sistem kooperatif pada relay berbeda, sesuai dengan protokol yang bekerja. Teknik relay yang paling umum digunakan adalah protokol relay Amplify and forward (AF) dan protokol relay Decode and forward (DF) [1].

2.4.1. Protokol Relay Amplify And Forward

Pada protokol relay amplify and forward, sinyal yang diterima oleh relay yang terdapat noise dikuatkan terlebih dahulu untuk menormalisasi sinyal yang disebabkan oleh fading. Kemudian dikirimkan kembali ke tujuan tanpa melalui proses decoding. Ilustrasi amplify and forward [1] ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Metode ini dinamakan dengan metode fixed protocol yang mana banyak digunakan ketika waktu pemrosesan yang dimiliki relay sedikit sedangkan daya yang tersedia banyak sehingga proses decoder dan encoder harus dikurangi dan diganti dengan penguatan dengan menggunakan persamaan 2.4

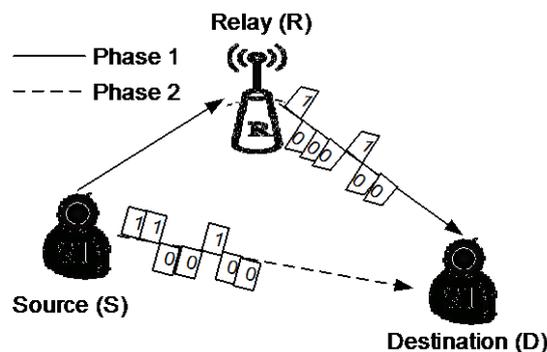
$$\beta \leq \sqrt{\frac{P}{|h_{s,r}|^2 P + N_0}} \quad (2.4)$$

keterangan :

P : power dari sinyal yang dikirimkan oleh pengirim [Watt]

$h_{s,r}$: koefisien fading antara source dan relay

N_0 : varian noise



Gambar 2. 4 Amplify-and-Forward [1]

Skema *relay basic* AF meneruskan sinyal dari sumber ke tujuan tanpa memperhatikan kualitas link *s-r*. Pada fase I, sumber mengirim blok simbol $x_s = [x_s[0], \dots, x_s[M-1]]$ ke *relay* dan tujuan, dengan sinyal yang diterima dituliskan dengan persamaan:

$$y_r[m] = h_{s,r}\sqrt{P_s}x_s[m] + w_r[m] \quad (2.5)$$

$$y_d^{(1)}[m] = h_{s,d}\sqrt{P_s}x_s[m] + w_d^{(1)}[m] \quad (2.6)$$

dengan $m = 0, \dots, M-1$.

Pada fase II, *relay* menerima sinyal untuk menghasilkan vektor transmisi dinormalisasi x_r dengan $E[|x_r[m]|^2] = 1$ untuk semua m . Jika gain kanal saat itu $|h_{s,r}|^2$ diketahui pada *relay*, *relay* dapat mengalikan sinyal terima $y_r[m]$ dengan gain dituliskan dengan persamaan:

$$G_v = \frac{1}{\sqrt{E[|y_r[m]|^2/|h_{s,r}|^2]}} = \frac{1}{\sqrt{P_s|h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan simbol transmisi di *relay*, dituliskan dengan persamaan:

$$x_r[m] = G_v y_r[m] \quad (2.8)$$

$$x_r[m] = \frac{\sqrt{P_s}}{\sqrt{P_s|h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} h_{s,r} x_s[m] + \frac{1}{\sqrt{P_s|h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} w_r[m] \quad (2.9)$$

Catatan bahwa gain G_v tergantung pada kanal $s-r$ dan bervariasi pada interval transmisi yang berbeda. Jadi, skema ini sering dihubungkan sebagai skema *relay* AF variabel-gain. Kemudian, dengan daya P_r , *relay* meneruskan sinyal x_r ke tujuan, dengan sinyal diterima dengan persamaan:

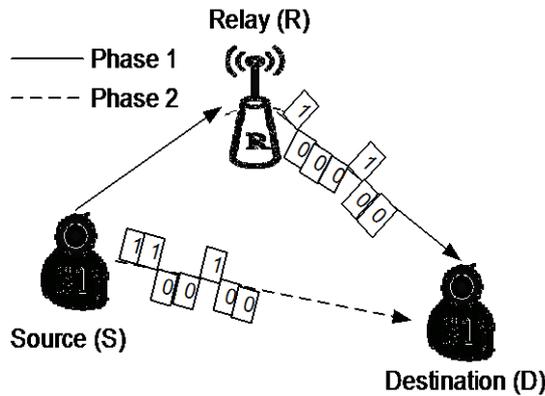
$$y_d^{(2)} = h_{r,d}\sqrt{P_r}x_r[m] + w_d^{(2)}[m] \quad (2.10)$$

$$y_d^{(2)} = \frac{\sqrt{P_s P_r}}{\sqrt{P_s|h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} h_{s,r} h_{r,d} x_s[m] + \frac{\sqrt{P_s}}{\sqrt{P_s|h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} h_{r,d} w_r[m] + w_d^{(2)}[m] \quad (2.11)$$

Dengan $m = 0, \dots, M - 1$. Sinyal tiba di tujuan dapat digunakan untuk deteksi dengan atau tanpa *diversity combining* [9].

2.4.2. Protokol *Relay Decode And Forward*

Pada Metode ini, *relay* akan mendekodekan sinyal yang diterima dari *source* sebelum dikirimkan ke *destination* dan metode ini tidak akan ada penguatan yang terjadi pada sinyal yang akan dikirm tersebut. Pada metode *decode and forward*, sinyal informasi yang diterima di *relay* akan dikodekan dengan dua cara, pertama dikodekan dengan cara mengkodekan informasi secara keseluruhan dan kedua mengkodekan sinyal informasi per simbol. Untuk ilustrasi metode *decode and forward* dapat dilihat pada Gambar 2.5 .



Gambar 2. 5 *Decode-and-Forward*

2.5 *Hybrid Relay Selection*

Pada Gambar 2.6 [3] dan Gambar 2.7 merupakan blok diagram dan flowchart dari sistem komunikasi kooperatif dengan *Hybrid Relay Selection*. Skema ini dibagi menjadi dua fase.

- a. Fasa Pertama

Source node mengirimkan sinyal (s) dengan panjang L frame pada *destination* node dan *relay* node. Sinyal yang diterima pada *destination* node dan *relay* node dengan persamaan:

$$y_0 = \sqrt{E} h_0 s + n_0 \quad (2.12)$$

$$y_{1i} = \sqrt{E} h_{1i} s + n_{1i} \quad (2.13)$$

Kemudian nilai SNR sesaat pada *destination* node dan *relay* node ke- i dapat dihitung dengan:

$$\gamma_0 = \frac{E(|\sqrt{\epsilon} h_o s|^2)}{E(|n_o|^2)} = \frac{\epsilon}{N_o} |h_o|^2 = \bar{\gamma} |h_o|^2 \quad (2.14)$$

$$\gamma_{1i} = \frac{\epsilon}{N_o} |h_{1i}|^2 = \bar{\gamma} |h_{1i}|^2 \quad (2.15)$$

Dimana $E(|s|^2) = L$, $E(|n|^2) = L N_o$, dan $\bar{\gamma} \triangleq \epsilon/N_o$.

b. Fasa Kedua

- Pada fasa kedua, masing-masing *relay* node menafsirkan sinyal yang diterima. Kemudian sinyal tersebut akan dikelompokkan kedalam group AF (G_{AF}) atau group DF (G_{DF}) berdasarkan hasil CRC (*Cyclic Redundancy Check*). Jika hasil pemeriksaan dari CRC sinyal yang diterima di node *relay* benar, maka sinyal pada node *relay* tersebut akan dikelompokkan ke grup DF, jika tidak dikodekan dengan benar akan dikelompokkan ke grup AF. Hasil dari SNR sesaat pada node *relay* ini dapat ditulis dengan persamaan:

$$\gamma_i = \begin{cases} \frac{\gamma_{1i}\gamma_{2i}}{\gamma_{1i} + \gamma_{2i} + 1}, & \text{if } i \in G_{AF} \\ \gamma_{2i}, & \text{if } i \in G_{DF} \end{cases} \quad (2.16)$$

Dimana γ_{2i} merupakan nilai SNR sesaat dari link antara node *relay* i -th dan node *destination* dengan persamaan:

$$\gamma_{2i} = \frac{\epsilon}{N_o} |h_{2i}|^2 = \bar{\gamma} |h_{2i}|^2 \quad (2.17)$$

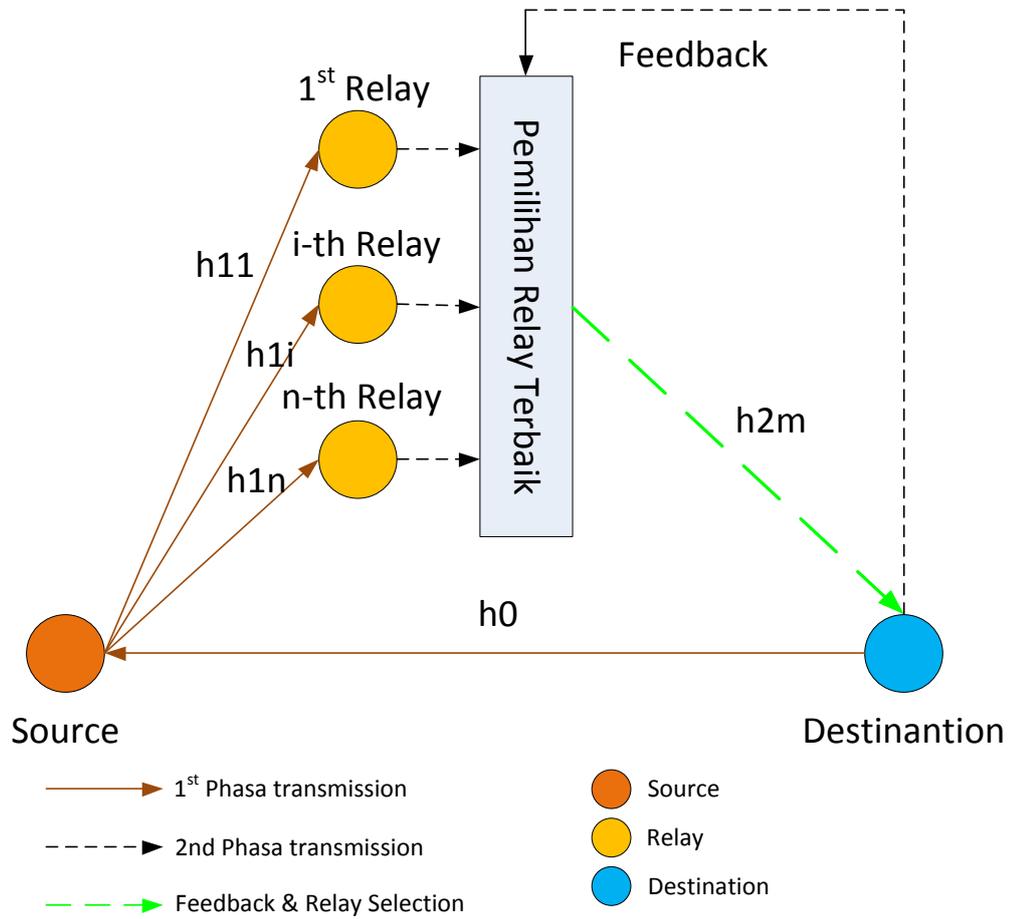
- Kemudian, *destination* node memilih node *relay* berdasarkan nilai maximum SNR γ_m .

$$\gamma_m = \max_{1 \leq i \leq n} \{\gamma_i\} \quad (2.18)$$

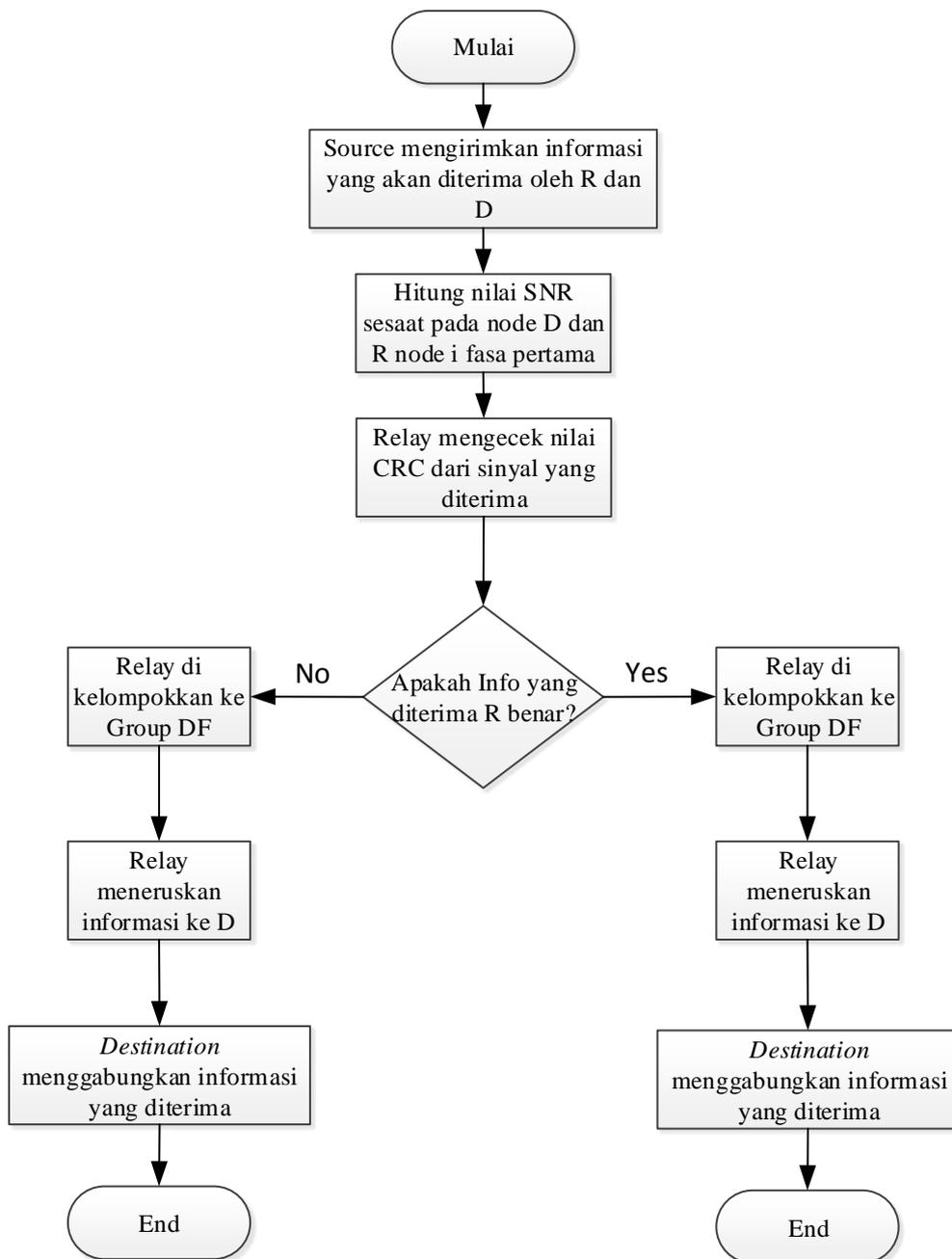
- Node *relay* yang dipilih mentransmisikan sinyal m menggunakan AF jika $m \in G_{AF}$ Dan menggunakan DF jika $m \in G_{DF}$. Pada node *destination* sinyal yang diterima dari kedua fasa di gabungan dengan teknik combining *maximal ratio combining* (MRC) dan kemudian meneruskannya ke decoder. Setelah MRC, SNR efektif dari sinyal

yang diterima, dilambangkan dengan γ_{HRS} , dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\gamma_{HRS} = \gamma_0 + \gamma_m \quad (2.19)$$



Gambar 2. 6 Blok diagram sistem komunikasi kooperatif dengan HRS skema [3]



Gambar 2. 7 Flowchart sistem komunikasi kooperatif dengan HRS skema

2.6 Teknik Combining [9]

Teknik *combining* yang biasa dipakai untuk ketiga jenis teknik *diversity* adalah *selective combining*, *equal gain combining*, dan *maximum ratio combining*.

a. Selective combining (SC)

SC merupakan teknik *combining* yang paling sederhana dan sering digunakan. Dengan menggunakan beberapa cabang antenna di mana setiap cabang antenna akan menerima sinyal yang telah mengalami *fading*, di sisi *combiner* akan dipilih satu sinyal yang terbaik dari semua sinyal yang diterima. Pemilihan ini didasarkan oleh nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang terbesar.

$$Z_{SC}[n] = \max(y_k[n]) \quad (2.20)$$

keterangan :

- $Z_{SC}[n]$: sinyal hasil SC di *destination*
 $y_k[n]$: sinyal yang diterima *destination*
 k : 1,2,3,... n

Teknik ini memang paling mudah untuk diimplementasikan karena cara kerjanya sangat sederhana. Namun teknik ini bukanlah teknik yang terbaik dan kinerjanya belum optimal. Hal ini dikarenakan pada teknik ini proses deteksi hanya berdasar satu sinyal saja, yaitu sinyal yang memiliki SNR terbesar, dan sinyal yang lain langsung dieliminasi tanpa diproses terlebih dahulu.

b. Equal gain combining (EGC)

Teknik ini merupakan teknik *combining* yang menjumlahkan semua sinyal informasi yang diterima. Setelah semua sinyal yang diterima dijumlahkan, selanjutnya hasil penjumlahan dari sinyal tersebut akan dideteksi untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan. Hasil dari *equal gain combining* dituliskan pada persamaan 2.21 :

$$Z_{EGC}[n] = \sum_{i=1}^k \alpha_k y_k[n] \quad (2.21)$$

$$\alpha_k = e^{-j\phi_k}$$

keterangan :

- $Z_{EGC}[n]$: sinyal hasil EGC di *destination*
 $y_k[n]$: sinyal yang diterima *destination*
 k : jumlah link

α_k : faktor pengali

Teknik ini lebih baik daripada teknik *selective combining* karena pada teknik ini semua sinyal yang diterima diproses secara simultan untuk mengestimasi data yang dikirimkan.

c. Maximum ratio combining (MRC)

Teknik ini hampir sama dengan teknik *equal gain combining*, yaitu menjumlahkan semua sinyal informasi yang diterima kemudian hasil penjumlahan tersebut dideteksi untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan. Perbedaan teknik ini dengan teknik *equal gain combining* yaitu pada teknik MRC setiap sinyal yang diterima akan dikalikan dengan nilai konjugasi dari koefisien kanal yang telah dilalui. Hasil dari *maximum ratio combining* dituliskan pada persamaan 2.22 .

$$Z_{MRC}[n] = \sum_{i=1}^k \alpha_k y_k[n] \quad (2.22)$$

$$\alpha_k = |h_k| e^{-j\phi_k} / \sigma_k^2$$

keterangan :

$Z_{EGC}[n]$: sinyal hasil EGC di *destination*

$y_k[n]$: sinyal yang diterima *destination*

k : jumlah link

$|h_k|$: respon kanal

σ_k^2 : *noise variance*

Teknik MRC ini merupakan teknik yang terbaik dari ketiga teknik *combining*. Hal ini dikarenakan pada teknik ini semua sinyal yang diterima diproses secara simultan, selain itu setiap sinyal dikalikan dengan konjugasi koefisien kanal masing-masing sinyal.

2.7 Kode Konvolusi

Kode konvolusi merupakan kode linear yang memiliki struktur tambahan dalam generator matriks sehingga operasi pengkodean dapat dipandang sebagai filter ataupun operasi konvolusi. Dalam prakteknya kode konvolusi banyak diimplementasikan pada *hardware* yang didalam tersedia *encoding* dan *decoding*. Konvolusi *encoder* merupakan sebuah filter digital linear, sistem time invariant dengan urutan kode menjadi *output interleaved* dari *output filter*. Kode konvolusi banyak digunakan dalam prakteknya karena memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kode blok yang sebanding. Kode konvolusi didefinisikan sebuah sistem kode yang memiliki bit informasi masukan harus lebih kecil daripada keluaran bit terkode dan yang paling penting kode konvolusi memiliki memori yang menyebabkan terciptanya sebuah aturan untuk mengkodekan setiap informasi bit masukan menjadi beberapa bit terkode berdasarkan bit-bit informasi masukan sebelumnya [15].

Kode konvolusi (n,k,m) merupakan satu set *codeword* dengan k input, n output dan m tingkat memori. Kode konvolusi ini dihasilkan dengan cara melewati urutan bit informasi melalui sejumlah tingkat *shift register*. Pada umumnya *shift register* terdiri dari N (k bit) tingkat dan m generator polynomial. Data masukan digeser sepanjang k bit *shift register* pada satu kali waktu. Jumlah bit keluaran untuk tiap k bit masukan n bit.

Parameter utama yang menjadi bagian utama dari *convolutional code* antara lain [16]:

1. *Rate*

Merupakan rasio antara masukan bit informasi dengan keluaran bit terkode dan mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$R = k/n \quad (2.23)$$

Keterangan :

R = Laju kode konvolusi

k = Jumlah bit masukan kode konvolusi

n = Jumlah bit keluaran kode konvolusi

2. *Constrain Length*

Jumlah *delay* elemen dalam kode konvolusi yaitu memori dengan masukan bit sekarang pada kode konvolusi atau dapat disebut juga panjang kode dari kode konvolusi. *Constraint length* dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$K = m + 1 \quad (2.24)$$

Keterangan :

K = *Constraint length*

m = memori

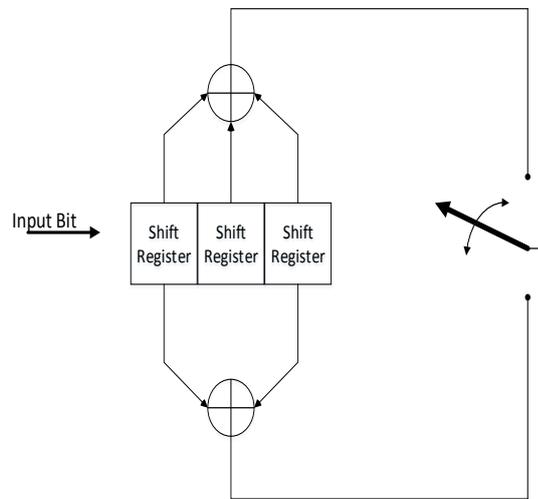
3. *Generator Polynomial*

Generator polynomial sangat dibutuhkan untuk merangkai suatu kode konvolusi berdasarkan jumlah memori yang digunakan dalam suatu kode konvolusi selain itu setiap elemen pada generator polynomial serta jumlah dari generator polynomial mempengaruhi :

- Jumlah output
- Panjang kode konvolusi
- Hubungan antara *shift register* dan modul

Generator polynomial merupakan salah satu metode untuk menggambarkan matriks yang digunakan pada kode konvolusi. Generator polynomial ini biasanya ditulis dalam bentuk oktal. Setiap vektor pada matriks generator memiliki ukuran dimensi Kk dan mengandung garis hubungan pada *encoder* menuju modulo 2 *adder*. Masukan nilai “1” pada posisi I (baris) dari vektor untuk garis hubungan pada *shift register* yang menuju modulo 2 *adder* dengan masukan “0” pada posisi vector jika tidak ada hubungan antara *shift register* dengan modulo 2 *adder*.

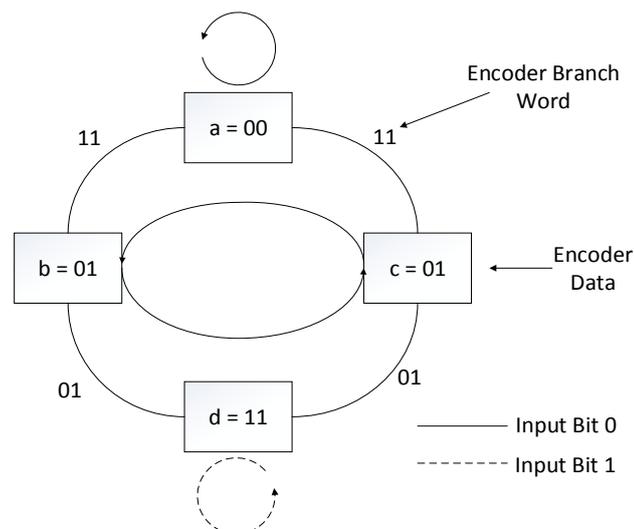
Encoder merupakan bagian kode konvolusi yang melakukan pengkodean data digital (berupa deret biner) yang diterima kode konvolusi sebelum ditransmisikan melalui saluran, sedangkan decoder kode konvolusi lebih rumit yang dimana biasanya menggunakan *Viterbi Algorithm*. Encoder kode konvolusi dengan panjang $K = 3$ dan rate $\frac{1}{2}$ dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Encoder Kode Konvolusi dengan *Coderate* $\frac{1}{2}$

2.6.1 Diagram State

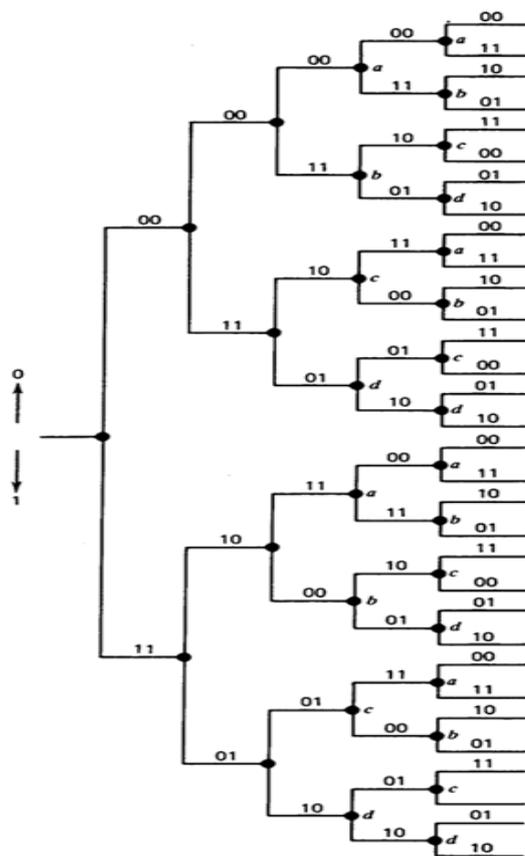
Encoder kode konvolusi dapat direpresentasikan dengan diagram state. State diagram digunakan untuk merepresentasikan proses pengkodean yang berbentuk diagram sederhana. Diagram state akan menunjukkan kemungkinan keadaan transisinya dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Diagram state ditunjukkan pada Gambar .2.9.



Gambar 2. 9 *Diagram State* Rate = $\frac{1}{2}$ dan K = 3 [15]

2.6.2 Diagram Tree

Struktur *encoder* bentuk diagram *tree* dengan cabang-cabangnya menunjukkan variasi keadaan dan keluaran yang mungkin terjadi. Jumlah cabang dalam diagram *tree* digandakan untuk tiap bit masukan yang baru. Dapat dilihat bahwa diagram *tree* berulang setelah cabang dari level kedua, karena setelah level ini hanya terdapat empat sinyal unik yang berbeda. Simpul-simpul ini disebut sebagai *state* dan diberi symbol a,b,c,d. Setiap simpul menghasilkan bit-bit keluaran dan *state* simpul baru, tanpa melihat posisi dari simpul dalam diagram *tree*. Untuk lebih jelas dapat dilihat seperti Gambar 2.10.

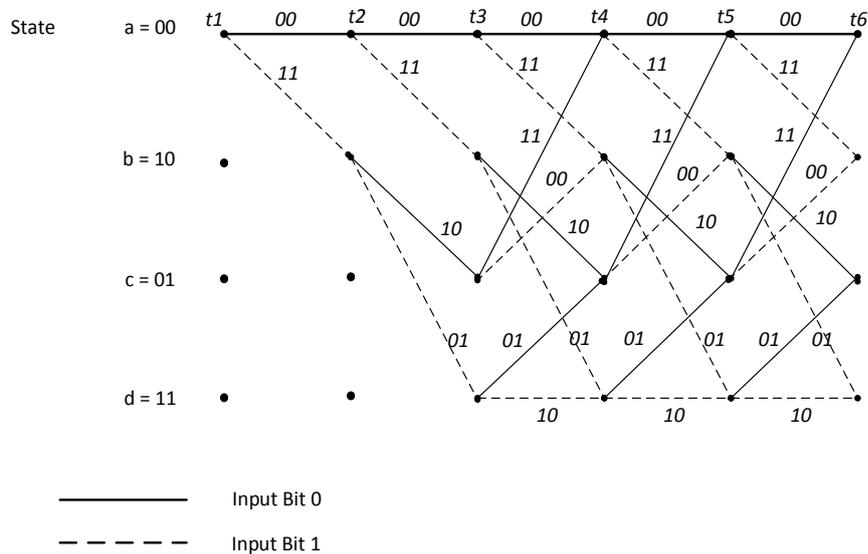


Gambar 2. 10 *Diagram Tree* Rate = $\frac{1}{2}$ dan K = 3 [15]

2.6.3 Diagram Trellis

Diagram trellis merupakan bentuk penyederhanaan dari diagram tree yang merupakan representasi dari keluaran. Ada empat keadaan yang diletakkan sepanjang sumbu vertical, sedangkan transisi diantara state-state direpresentasikan dengan garis vertical dan diagonal yang melintang (menyerupai teralis) yang bergerak ke kanan seiring pertambahan waktu. Contoh untuk diagram trellis dapat

dilihat pada Gambar 2.11. Diagram ini biasanya digunakan untuk memudahkan proses *decoding*.



Gambar 2. 11 Diagram Trellis $Rate = 1/2$ dan $K = 3$ [15]

2.6.4 Algoritma Viterbi

Algoritma Viterbi pertama kali diusulkan sebagai solusi untuk mengkodekan kode konvolusi oleh Andrew J. Viterbi pada tahun 1967. Pada pengembangannya algoritma ini digunakan dalam pemrograman dinamis dengan menggunakan prinsip *maximum likely-hood*. Algoritma Viterbi meminimalkan probabilitas error dengan membandingkan serangkaian kemungkinan *transition site* yang dapat terjadi, dan memutuskan mana yang memiliki probabilitas tertinggi. Algoritma Viterbi memiliki penggunaan yang luas dalam berbagai aplikasi. Penggunaannya tidak hanya dalam bidang telekomunikasi naum juga dalam bidang lainnya misalnya pengenalan tulisan tangan

Prinsip dasar algoritma Viterbi adalah memilih lintasan yang mempunyai node minimum menggunakan sistem *hard decision decoding*. Algoritma Viterbi dapat digambarkan dengan sebuah diagram trellis. Tiap node diagram trellis merepresentasikan suatu state dan memiliki sebuah cabang untuk setiap perpindahan state yang mungkin dalam setiap interval waktu.

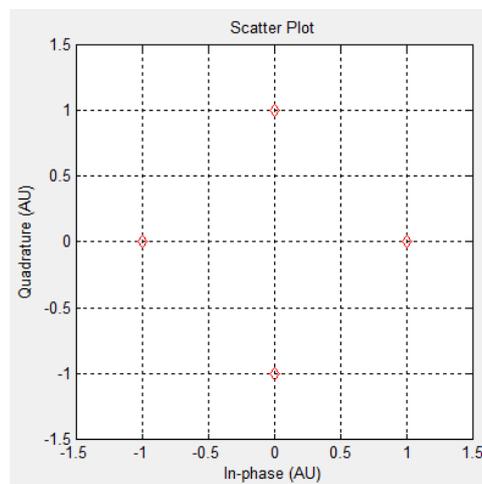
2.8 Modulasi QPSK

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) [10] memiliki dua kali efisiensi *bandwidth* jika dibandingkan dengan *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), di mana 2 bit ditransmisikan dalam satu simbol modulasi. Fase pembawa membawa 1 dari 4 spasi nilai yang sama, seperti 0 , $\pi/2$, π , dan $3\pi/2$, di mana masing-masing nilai dari fase tersebut merepresentasikan pasangan bit yang unik. Sinyal modulasi dapat ditulis sebagai

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M}(i-1)\right), 0 \leq t \leq T_s \quad (2.25)$$

dimana $E_s = (\log_2 M)E_b$ adalah energi per simbol dan $T_s = (\log_2 M)T_b$ adalah simbol periode. Dari persamaan tersebut, dapat kita tuliskan ke dalam bentuk *quadrature*

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left[i-1 \frac{2\pi}{M}\right] \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \sin\left[i-1 \frac{2\pi}{M}\right] \sin(2\pi f_c t) \quad (2.26)$$



Gambar 2. 12 Konstelasi QPSK pada Matlab

QPSK merupakan teknik pengkodean M -ary PSK dimana $M = 4$. Dalam modulasi QPSK terdapat empat *phase output* yang berbeda, maka harus ada empat kondisi input yang berbeda. Karena input digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner, maka untuk menghasilkan 4 kondisi input yang berbeda harus

dipakai bit input lebih dari 1 bit tunggal. Dalam hal ini, yaitu menggunakan 2 bit, sehingga terdapat empat kondisi yang mungkin yaitu 00, 01, 10, dan 11.

Variasi dari empat fasa QPSK, atau dapat disebut $\frac{\pi}{4}$ QPSK, dapat diperlihatkan konstelasinya pada Gambar 2.12 *Phase offset* yang digunakan pada konstelasi tersebut adalah 0^0 . Apabila diterapkan *phase offset* $\pi/4$ menyebabkan konstelasi QPSK berputar 45^0 atau serupa dengan konstelasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

2.9 Software Defined Radio

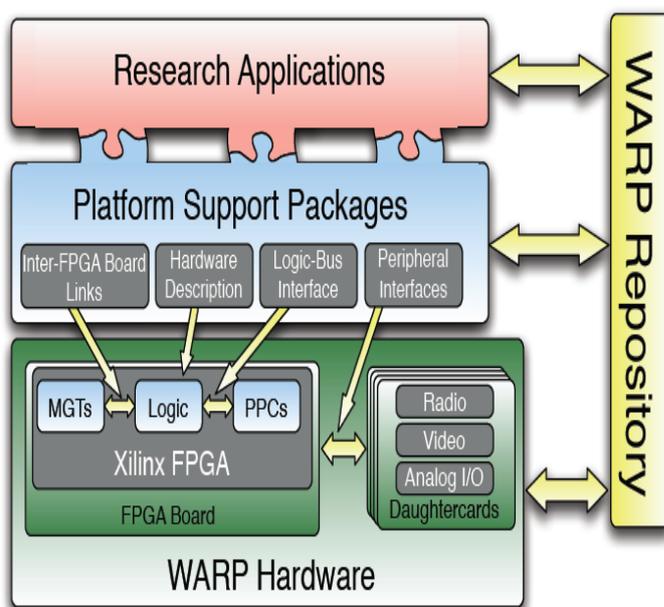
Software Defined Radio (SDR) adalah teknologi yang memungkinkan untuk mengubah parameter RF, frekuensi pembawa, jenis modulasi, atau daya output sebuah pemancar atau penerima radio menggunakan sebuah *software*. *Software Defined Radio* (SDR) menggunakan perangkat digital yang dapat diprogram untuk melakukan pemrosesan sinyal yang diperlukan untuk mengirim dan menerima informasi *baseband* pada frekuensi radio. Perangkat digital seperti *signal source processor* (DSP) dan *field programmable gate array* (FPGA) membutuhkan sebuah fungsi untuk pemrosesan sinyal. SDR dapat menyesuaikan dengan *software* terbaru jika muncul standar komunikasi nirkabel yang baru.

2.10 Wireless Open-Access Research Platform dan WARPLab

Wireless Open-Access Research Platform (WARP) adalah perangkat radio yang bisa diprogram untuk membuat *prototype* jaringan *wireless*. WARP merupakan salah satu bentuk *software* SDR sebagai modul penelitian tentang sistem komunikasi nirkabel. WARP ini juga merupakan sebuah *Field Programmable Gate Array* (FPGA) atau modul *Digital Signal Processing* (DSP) yang terhubung dengan modul radio [11].

Pengembangan platform WARP ini memiliki banyak keuntungan yaitu, dapat diimplementasikan untuk algoritma *wireless* yang lebih kompleks secara *real time*, dapat dikonfigurasi terutama di desain untuk *prototype* algoritma komunikasi nirkabel untuk aplikasi yang berorientasi pada edukasi dan *research*.

Arsitektur dari *platform* WARP didesain untuk memenuhi permintaan dari penelitian *high-performance* sistem *wireless*. Arsitektur platform WARP dengan 4 komponen utama ditunjukkan pada Gambar 2.13



Gambar 2. 13 Komponen-komponen utama dari arsitektur WARP [12]

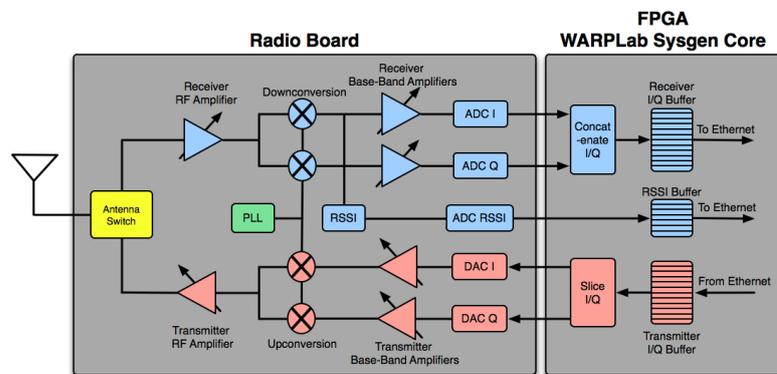
1. *Custom Hardware*: desain *Custom hardware* disesuaikan untuk kebutuhan komunikasi *wireless* dengan kinerja yang tinggi. *Hardware* menyediakan sumber daya tinggi yang mampu diimplementasikan pada kecepatan algoritma, dapat terukur interkoneksi untuk mengalokasikan lebih banyak kekuatan pemrosesan yang diperlukan, dan pilihan periferil yang diperluas untuk radio, prosesor khusus dan antarmuka ekspansi lainnya.
2. *Platform Support Packages*: perangkat-perangkat dan modul *interface* level rendah (*low-level*) yang didesain untuk memungkinkan penggunaan perangkat oleh para peneliti pada semua lapisan (*layer*) dari desain jaringan *wireless*.
3. *Open-Access Repository*: Penyimpanan untuk semua file-file *source-code*, model dan desain *hardware*.
4. *Research Application*: Implementasi dari algoritma-algoritma, dengan *custom hardware* dan paket pendukung platform.



Gambar 2. 14 Modul WARP Versi 2.2 [12]

2.8.1 WARP Board

Proses implementasi sistem komunikasi pada WARP dilakukan pada modul WARP sebagai FPGA dan modul radio sebagai interface antara sistem komunikasi dengan pengolahan sinyal digital. Secara umum, sistem WARP ditunjukkan dengan diagram blok pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Diagram blok node WARP [11]

Dalam proses pengiriman dan penerimaan sinyal informasi, pengolahan digital dilakukan dengan menggunakan FPGA dan dengan *radio board*. Dari Gambar 2.15 menunjukkan jalur pemancar dan penerima, blok pemancar ditandai dengan warna merah dan blok penerima ditandai dengan warna biru.

Blok pada bagian pemancar :

1. Tx I/Q *Buffers*: Sampel *In-Phase* yang akan ditransmisikan terlebih dahulu disimpan di dalam Tx I *Buffer* and Sampel *Quadrature* yang akan ditransmisikan terlebih dahulu disimpan di dalam Tx Q *Buffer*.
2. DAC I/Q: *Digital-to-Analog Converter* untuk sampel *In-Phase/Quadrature*.
3. Tx BB *Amplifiers*: *Transmitter Base Band Amplifiers*. Pada Tx BB terdapat dua *amplifier*, satu untuk signal I dan satu untuk signal Q. Bagian adalah *variable gain amplifier*, keduanya diset dengan nilai gain sama yang dapat dimasukkan oleh user menggunakan MATLAB.
4. *Upconversion*: mengkonversi sinyal base band ke sinyal RF. Frekuensi carrier bergantung kepada setting PLL.
5. Tx RF *Amplifiers*: *pemancar RF amplifier, variable gain amplifier*, nilai gain dapat dimasukkan oleh user menggunakan MATLAB.

Blok pada bagian penerima:

1. Rx RF *Amplifier*: *Receiver RF amplifier, variable gain amplifier*, nilai gain dapat dimasukkan oleh user menggunakan MATLAB.
2. *Downconversion*: mengkonversi signal RF ke *base band In-Phase/Quadrature* signals. *Downconversion* dari RF bergantung kepada setting PLL.
3. Rx BB *Amplifiers*: *Receiver Base Band Amplifiers*. Ada dua *amplifier*, satu untuk sinyal I dan satu untuk sinyal Q. Bagian ini adalah *variable gain amplifier*, keduanya diset dengan nilai gain sama yang dapat dimasukkan oleh user menggunakan MATLAB.
4. RSSI: *Received Signal Strength Indicator*. Blok ini mengukur RSSI.
5. ADC I/Q: *Analog-to-Digital Converters* untuk sample *In-Phase/Quadrature*.
6. ADC RSSI: *Analog-to-Digital Converter* untuk mengukur RSSI. Data RSSI tersedia di 1/4 rate dari data I/Q.
7. Rx I/Q *Buffers*: Menerima sampel *In-Phase* disimpan di Rx I *Buffer* dan Menerima sampel *Quadrature* disimpan di Rx Q *Buffer*.
8. RSSI *Buffer*: data RSSI disimpan di dalam buffer ini.
9. Blok PLL : merupakan pengaturan PLL untuk menentukan frekuensi pembawa yang dapat diatur pada salah satu dari kanal 14 Wi-Fi 2,4 GHz band

atau 23 saluran di 5 GHz. Untuk mengatur saluran pembawa dapat langsung diatur dari *workspace* Matlab.

Pada masing-masing radio board, akan terdapat dua *buffer* yaitu *In-phase* dan *Quadrature*. Proses pengiriman sinyal dari WARPLab misalnya, akan menggunakan sinyal kompleks. Komponen utama dari node WARP yaitu :

a. FPGA board

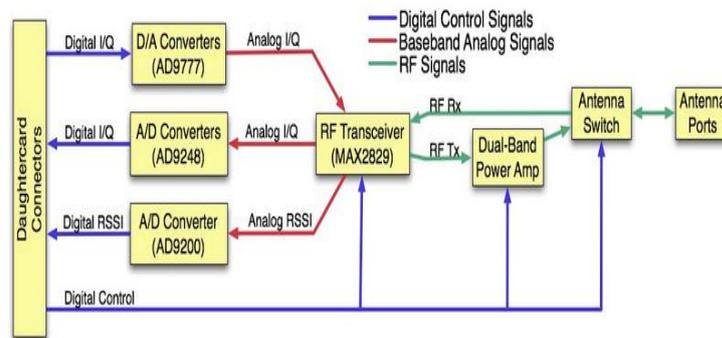
FPGA pada WARP merupakan prosesor utama karena memberikan pengolahan sumber daya yang luar biasa, blok *programmable logic* didalamnya dapat saling dihubungkan sehingga dapat membentuk unit fungsional yang kompleks. FPGA board merupakan inti dari proses SDR.

b. Radio board

Radio *board* merupakan interface dari domain digital ke domain analog. Pada proses konversi dari digital ke analog dan sebaliknya, radio *board* menggunakan A/D (*Analog-to-Digital*) dan D/A (*Digital-to-Analog*) *converter*. Radio *board* juga melakukan proses modulasi dan demodulasi *baseband*. Radio *board* pada WARP didesain menggunakan IC Maxim MAX2829. *Single-chip* MAX2829 merupakan IC RF *transceiver* yang didesain khusus untuk aplikasi OFDM 802.11 WLAN yang dapat bekerja pada frekuensi RF 2.4 GHz -2.5GHz dan 4.9GHz dan 5.875 GHz. Bentuk fisik dari radio *board* ditunjukkan pada Gambar 2.16 dan arsitektur dari radio board WARP ditunjukkan pada Gambar 2.17.



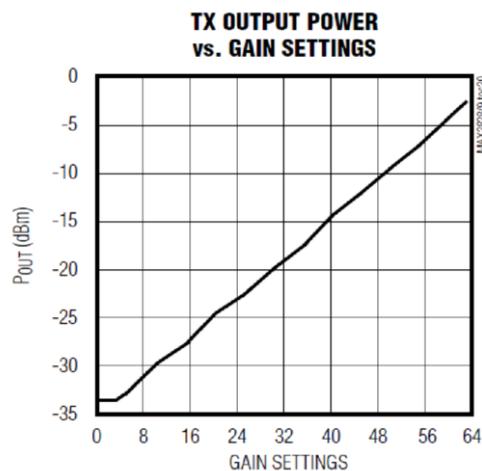
Gambar 2. 16 Radio board [13]



Gambar 2. 17 Arsitektur radio board [13]

Ketika radio board bekerja menjadi *transmitter*, sinyal digital sinyal digital dari modul WARP akan diubah menjadi analog melalui AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Ketika modul berkerja sebagai *receiver*, akan terdapat dua sinyal analog yang diproses oleh WARP. Sinyal pertama adalah sinyal informasi I/Q dan kedua adalah sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).

Pada RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) ini dapat diketahui level tegangan tertentu pada penerima. Nilai level tegangan ini dapat kita ketahui berdasarkan informasi dari datasheet. Pada gambar akan terlihat karakteristik sinyal analog RSSI pertama dihasilkan oleh MAX2829. Untuk menentukan daya pancar pada pengirim pengaturan nilai gain RF dilakukan. Pada Gambar 2.18. diperlihatkan grafik konversi untuk range gain RF terhadap nilai daya pancar dalam dBm.



Gambar 2. 18 TX Output vs Gain Settings pada MAX2829 [14]

Berdasarkan referensi dari data sheet MAX2829 [14] karakteristik RF gain memiliki kaitan sebagai berikut :

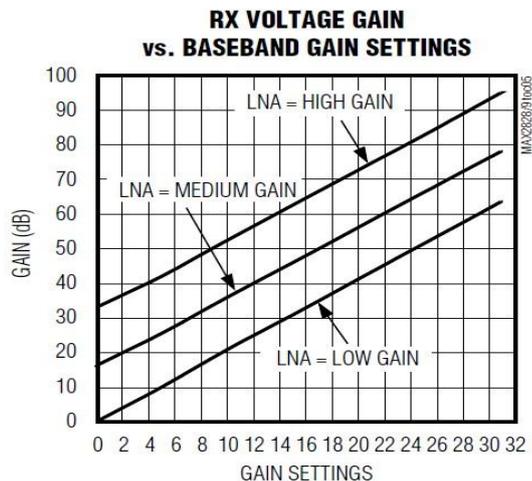
- Nilai gain linear pada range 4 hingga 63.
- Daya output dinyatakan dalam persamaan 2.27 terhadap gain setting sebagai berikut :

$$P_{out} = 0.5252x - 36.1017 \quad (2.27)$$

Dimana x adalah gain setting dengan range 4 hingga 63

Sedangkan pada *receiver baseband gain*, terdapat 32 level pengaturan [0:31] berdasarkan referensi pada data sheet MAX2829 [Maxim] grafik level pengaturan *baseband* terhadap nilai gain penerima ditunjukkan pada gambar

Untuk pengaturan RF gain di penerima, node WARP memiliki tiga level LNA, masing – masing sebagai *Low Gain*, *Medium Gain* dan *High Gain*. Besar penguatan LNA sekitar 0 dB untuk *low gain*, 15 dB untuk *medium gain* dan 30 dB untuk *high gain*. Besarnya penguatan baik RF Gain maupun BB gain pada Rx mengacu pada gambar 2.19 yang memperlihatkan peningkatan gain untuk setiap perubahan level LNA dan juga Baseband Gain.



Gambar 2. 19 Gain Rx Baseband pada MAX2829 [14]

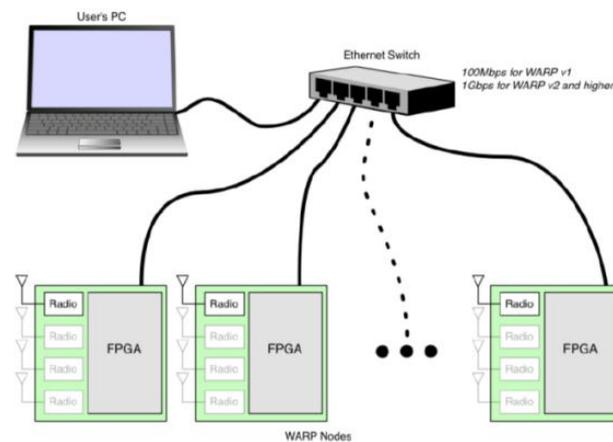
RSSI juga digunakan untuk mendapatkan nilai daya terima. Pembacaan RSSI menggunakan 10-bit linear dalam dB yang dapat dikonversi menjadi daya terima dalam dBm. RSSI diukur setelah RF amplifier, sehingga konversi nilai RSSI menjadi daya terima bergantung pada pengaturan Gain RX_RF [Maxim].

- a. Untuk High Gain ($RX_RF = 3$), nilai RSSI = 0 adalah -100 dBm dan RSSI = 1023 adalah -30 dBm.
- b. Untuk High Gain ($RX_RF = 2$), nilai RSSI = 0 adalah -85 dBm dan RSSI = 1023 adalah -15 dBm.

2.8.2 WARPLab

WARPLab merupakan sebuah kerangka kerja yang merupakan digunakan untuk desain purwarupa *physical layer*. Penggunaan dari WARPLab memungkinkan kombinasi dari beberapa sistem multi-antena pada pemancar dan penerima. Kerangka kerja yang digunakan memiliki fleksibilitas untuk pengembangan sistem dengan banyak node. Logika dari kerangka kerja WARPLab ditunjukkan pada Gambar 2.20.

Masing-masing node yang diprogram melalui WARPLab terhubung dengan komputer melalui *switch ethernet*. Dengan menggunakan sistem ini, node dapat diprogram untuk mengirim data dan menerima data melalui MATLAB.



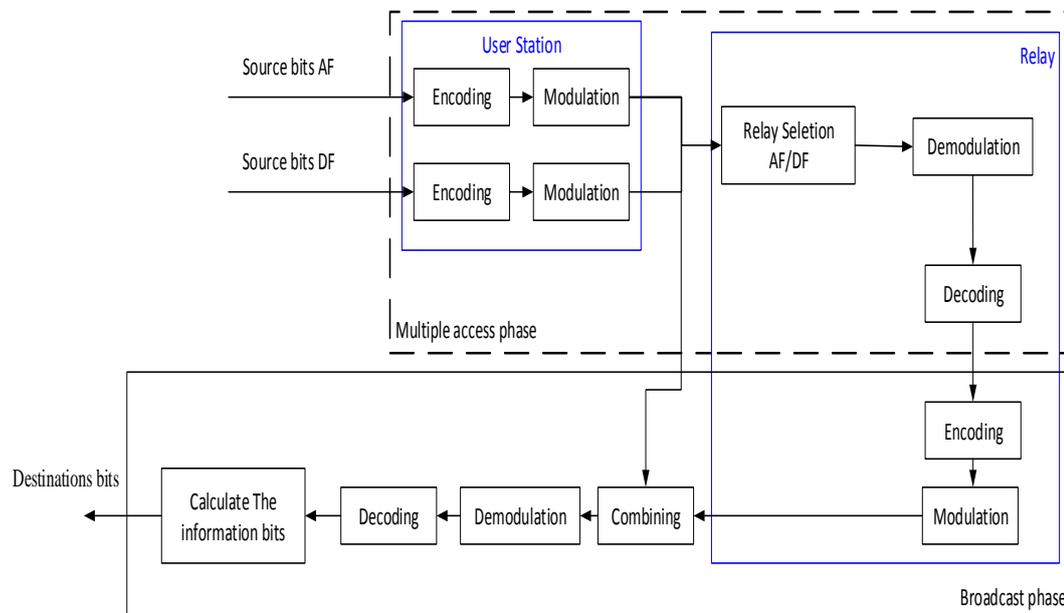
Gambar 2. 20 Penggunaan Kerangka Kerja WARPLab [11]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah-Langkah Perancangan

Bab ini membahas tentang proses perancangan dan implementasi sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection* pada modul WARP. Proses perancangan sistem menggunakan WARP dan model umum sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay* dapat dilihat ada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Model Umum sistem komunikasi kooperatif *hybrid relay*

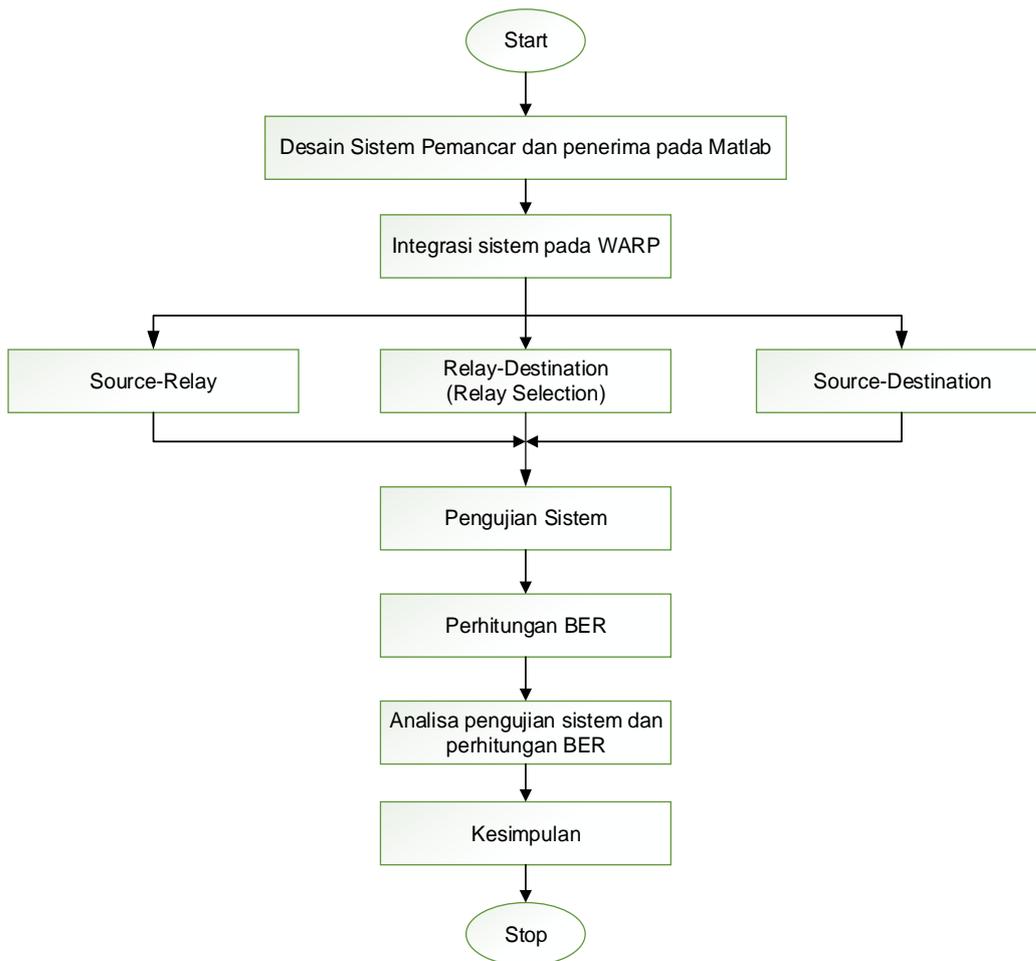
Dalam perancangan sistem komunikasi kooperatif protokol *hybrid relay selection* dilakukan 4 proses:

1. Membuat diagram alir sistem sistem komunikasi kooperatif protokol *hybrid relay selection*
2. Membuat sistem komunikasi kooperatif protokol *hybrid relay selection* pada setiap blok yang dibutuhkan dalam perancangan sistem secara nyata.
3. Merancang sistem *modulator* dan *demodulator*.

4. Implementasi sistem sistem komunikasi kooperatif protokol *hybrid relay selection* pada MATLAB yang terhubung dengan WARP.

3.2 Alur Perancangan Sistem

Pada bagian ini adalah bagian awal dari sistem yang akan dirancang, perlu dilakukan tahapan seperti perencanaan dan implementasi sistem. Perencanaan dibuat untuk memudahkan pengerjaan dari implementasi yang akan dirancang, sehingga analisa terhadap implementasi dapat dipahami. Untuk itu dalam mempermudah implementasi yang akan dibuat dibutuhkan diagram alir seperti pada gambar 3.2. Untuk mengetahui seberapa besar bit yang dikirim dan bagaimana parameter sistem komunikasi kooperatif protokol *hybrid relay selection* akan dijelaskan pada tabel 3.1.



Gambar 3. 2 Diagram Alur Perancangan Sistem

Tabel 3. 1 Desain parameter sistem komunikasi kooperatif *hybrid relay*

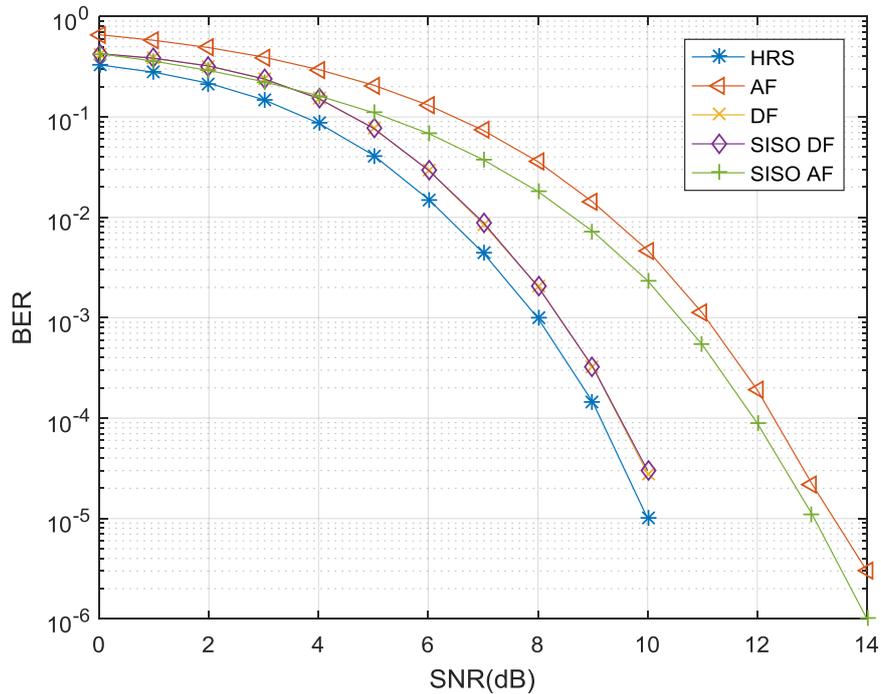
Parameter	Keterangan
Bit Informasi	38.400 bit
Modulasi	QPSK
Kanal	<i>Wireless</i>
Lokasi Pengukuran	<i>Outdoor, Indoor</i>

3.3 Perancangan Sistem

Pada perancangan ini akan dibuat sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection* menggunakan MATLAB. MATLAB dirancang agar terhubung dengan WARP, sehingga dapat mempermudah implementasi yang dilakukan pada kanal yang nyata. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses ini seperti :

1. Pembuatan encoder , dalam hal ini dilakukan proses pembangkitan bit pada bagian informasi.
2. Modulasi, pada bagian ini sistem akan melakukan pergeseran frekuensi dengan frekuensi sinyal pembawa.
3. *Relay Selection*, disini akan memilih jenis protokol *relay* apa yang akan digunakan, AF atau DF protokol *relay*
4. Combining, menggabungkan sinyal informasi dari *direct* dan Multihop.
5. Demodulasi, mengubah sinyal modulasi ke bentuk seperti aslinya dari suatu gelombang pembawa yang termodulasi oleh rangkaian
6. Decoder, menkonversi ke bit semula.
7. Dilakukan perhitungan BER, dimana pada bagian ini ditampilkan variasi daya pengirim pada kanal udara, serta akan ditampilkan berapa banyak bit yang eror dari seluruh bit yang dikirimkan.

Untuk simulasi sistem komunikasi kooperatif, akan dibandingkan kinerja masing-masing jalur yaitu *direct* AF dan DF, AF, DF dan HRS. Gambar 3.3 menunjukkan perbandingan *direct* AF dan DF, AF, DF dan HRS.



Gambar 3. 3 Simulasi *direct* AF, *direct* DF, AF, DF dan HRS

Dari hasil simulasi perbandingan sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan protokol AF, DF dan HRS membuktikan bahwa protokol *relay* yang dipilih pada node *relay* adalah DF, hal ini dikarenakan protokol *relay* DF memiliki nilai SNR yang besar di bandingkan dengan protokol AF, dapat dilihat pada gambar 3.3. Sehingga sinyal yang dikirimkan pada node 3 adalah sinyal yang menggunakan protokol *relay* DF. Dan pada saat *combining*, terbukti bahwa jalur multihop lebih baik dibandingkan jalur langsung. Teknik combining SC memilih antara sinyal yang diterima yaitu *direct* dan sinyal multihop (protokol *relay* DF). Pemilihan sinyal ini berdasarkan parameter SNR juga. Dari hasil simulasi dapat dilihat output hasil akhir dari sistem komunikasi kooperatif sama dengan protokol DF. Saat SNR 10 dB BER untuk HRS sudah 0, sedangkan jalur lain masih terjadi kesalahan bit saat SNR 10 dB.

3.4 Implementasi Secara Realtime pada Modul WARP

Pada bagian ini Node 1 berfungsi sebagai *source*, Node 2 untuk protokol *relay* AF, Node 3 untuk protokol *relay* DF dan node 4 adalah sebagai *destination*.

Pada tahap pertama, node 1 mengirimkan sinyal informasi ke node 2, node 3 dan node 4. Sinyal yang diterima pada node 2, 3 dan 4 adalah:

$$y_{SD} = h_{SD}\sqrt{P_s}s1 + w \quad (3.1)$$

$$y_{SRn} = h_{SRn}\sqrt{P_s}s1 + w \quad (3.2)$$

Dimana h_{SD} dan h_{SRn} adalah koefisien kanal dari jalur S-D dan S-R, w adalah noise, $s1$ adalah sinyal yang dikirimkan dari *source*, dan P_s adalah daya untuk transmisi dari node *source*.

Untuk tahap kedua, pada node 2 dan 3 (*relay*) sinyal yang diterima dari node 1 akan memilih protokol *relay* yang dipakai yaitu antara protokol AF atau DF. Pemilihan ini menggunakan skema *Hybrid Relay Selection*, yaitu berdasarkan nilai BER masing-masing protokol. Parameter pemilihan protokol *hybrid relay* ini adalah dengan menggunakan persamaan

$$X_{RD} = \left\{ \begin{array}{l} y_{SR1}, \text{ If } BER_{y_{SR1}} < SNR_{y_{SR2}} \\ y_{SR2}, \text{ other} \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

Sinyal yang diterima pada node 4 jika menggunakan protokol DF adalah:

$$y_{RDDF} = h_{RD}X_{RD} + w \quad (3.4)$$

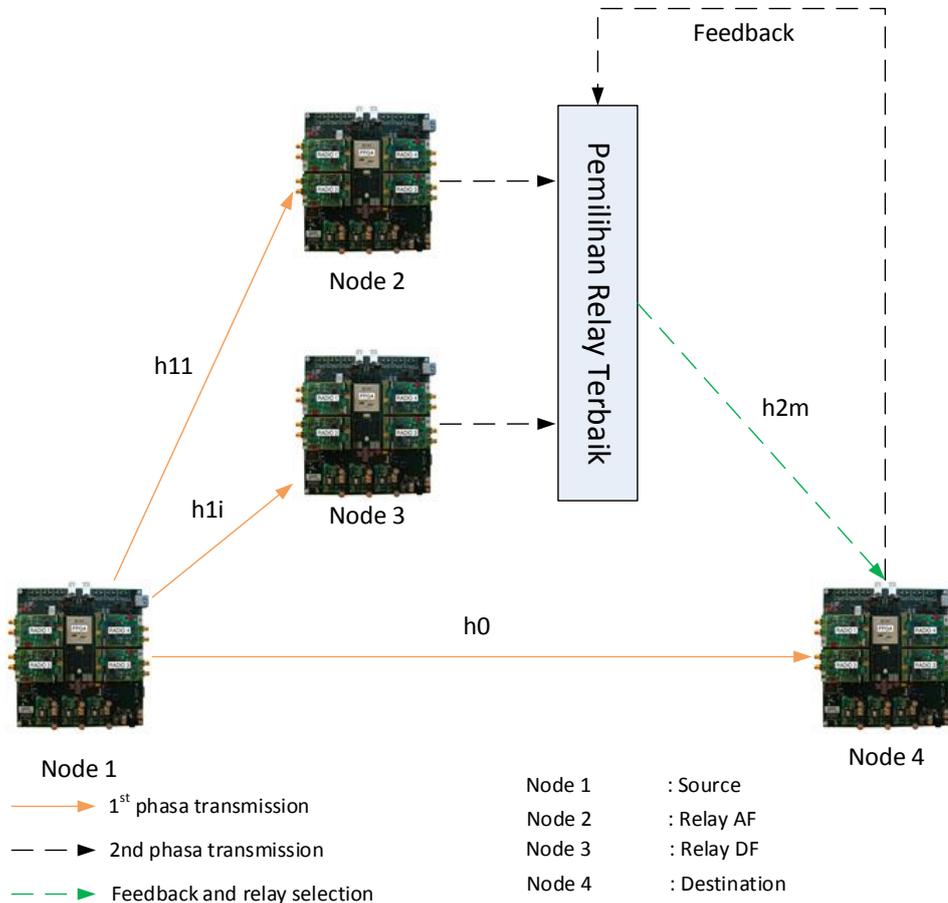
Jika protokol *relay* yang digunakan adalah AF untuk mengirimkan sinyal ke node 4 (*destination*), maka sinyal tersebut akan mengalami penguatan terlebih dahulu sebelum dikirim. Sehingga sinyal yang diterima pada node 4 adalah:

$$y_{RDAF} = h_{RD}X_{RD}\beta + w \quad (3.5)$$

Dimana β merupakan koefisien penguatan pada AF $\beta = \frac{\sqrt{P_R}}{\sqrt{P_S} h_{SR} + n}$

Sinyal yang terpilih dipersiapkan untuk dikirimkan ke node 4. Node 4 (*destination*) menerima dua sinyal yaitu sinyal yang dikirimkan dari *source* dan sinyal yang dikirimkan dari *relay*. Kedua sinyal tersebut akan mengalami proses *combining*. Setelah melakukan combining tahap terakhir adalah mendemodulasi sinyal yang diterima dengan demodulasi QPSK sehingga didapatkan estimasi sinyal yang diterima. Selanjutnya sinyal yang diterima dibandingkan dengan sinyal yang dikirim untuk dihitung nilai *Bit Error Rate* .

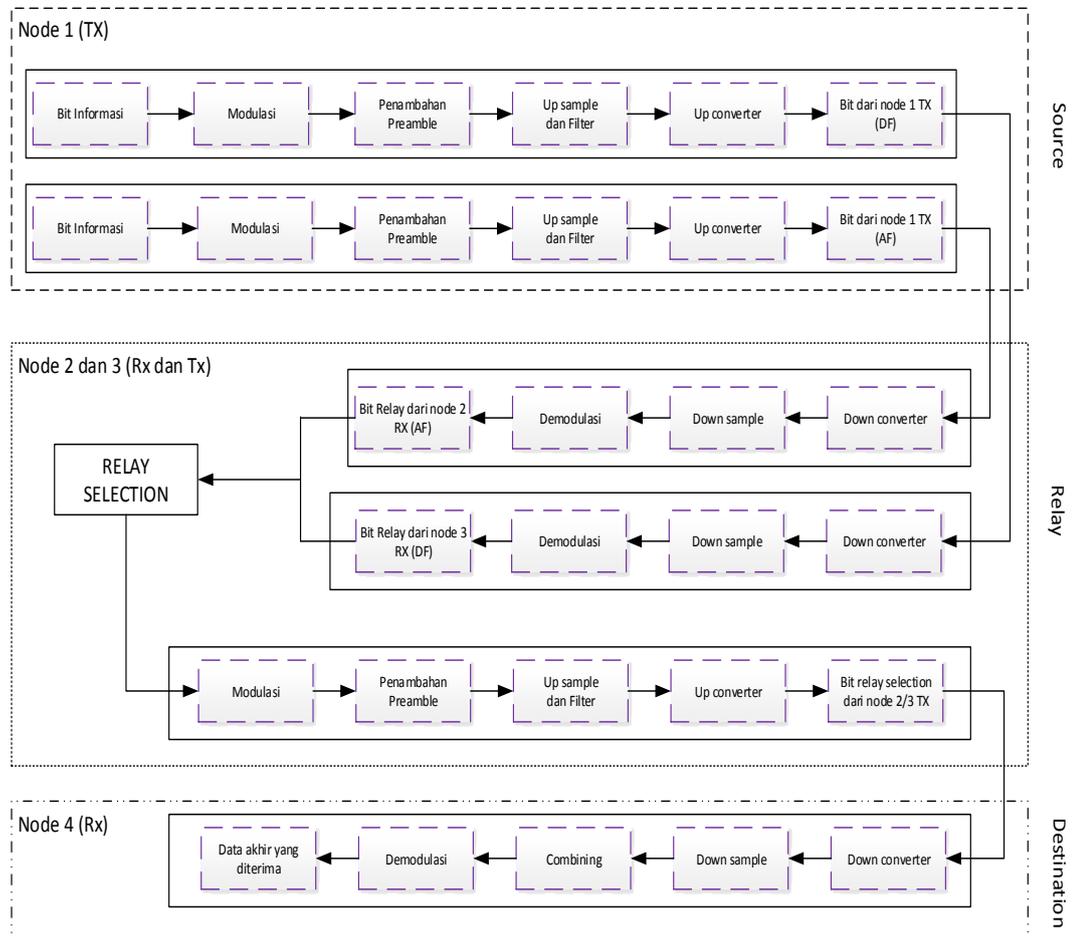
Blok desain implementasi sistem komunikasi kooperatif *hybrid relay selection* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 4 Skema perancangan sistem komunikasi kooperatif dengan HRS

Secara umum blok diagram sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection* terdiri dari *source*, *relay*, dan *destination*. Jenis protokol *hybrid relay* yang dipakai pada penelitian ini adalah *amplify and forward* (AF) dan *decode and forward* (DF). Transmisi pada sistem terbagi menjadi dua jalur, yaitu jalur langsung (*source to destination*) dan jalur multihop (*source-relay-destination*). Terdapat dua jalur multihop, yaitu dari protokol *relay* AF dan DF. Setelah informasi diterima dari node 1, masing-masing node *relay* akan mengolah informasi dan memilih node *relay* yang akan digunakan untuk kemudian informasi tersebut dikirimkan ke node *destination*. setelah sampai tujuan informasi tersebut akan diolah dengan menggunakan teknik *selective combining*

lalu didemodulasi dan decoder setelah itu informasi yang telah dikombinasikan akan diolah untuk mendapatkan data akhir.



Gambar 3. 5 Blok desain implementasi sistem komunikasi kooperatif dengan HRS

3.4.1 Pada Pemancar

Informasi setiap blok untuk pemancar pada gambar 3.4 dijelaskan sebagai berikut:

a. Bit Informasi

Bit informasi akan dibangkitkan secara acak, bit informasi dibangkitkan dalam bentuk biner, dimana kemungkinan kemunculan bit 1 dan 0.

b. *Convolutional Encoder*

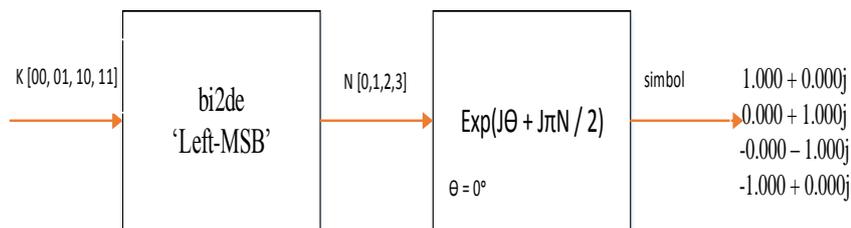
Untuk protokol *relay* DF, bit informasi yang telah dibangkitkan dikodekan dengan kode konvolusi, dengan *constrain length* nya adalah 3, matriks generator dalam bentuk oktal adalah (5,7) dan laju pengkodean data adalah $\frac{1}{2}$.

c. Modulasi

Untuk protokol *relay* AF, bit informasi akan langsung dimodulasi, sedangkan untuk protokol DF setelah bit informasi dikodekan bit informasi akan di modulasi. bit yang dibangkitkan tersebut di *mapping* ke dalam simbol-simbol menggunakan teknik modulasi QPSK dengan $M = 4$ sehingga jumlah bit per simbol (k) yaitu 2. Pada modulasi QPSK setiap dua bit informasi di *mapping* menjadi satu symbol, *mapping* bit informasi menjadi symbol-simbol dapat dilihat pada Gambar 3.8. Sementara untuk ketentuan urutan bit yaitu ‘*Left-MSB*’ seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 *Mapping* Modulasi QPSK

Bit Info (left-msb)	Simbol	Nilai Simbol
00	S_1	$1.000 + 0.000j$
01	S_2	$0.000 + 1.000j$
10	S_3	$-0.000 - 1.000j$
11	S_4	$-1.000 + 0.000j$



Gambar 3. 6 Blok *Modulator* QPSK

d. Preamble

Untuk mengetahui letak dari deretan symbol informasi pertama kali dibagian penerima maka dibutuhkan deretan symbol yang telah diketahui disisi pengirim,

daretan symbol tersebut disebut *preamble*. Deretan symbol yang digunakan pada implementasi sistem terdiri dari 19 simbol ditunjukkan pada persamaan 3.6.

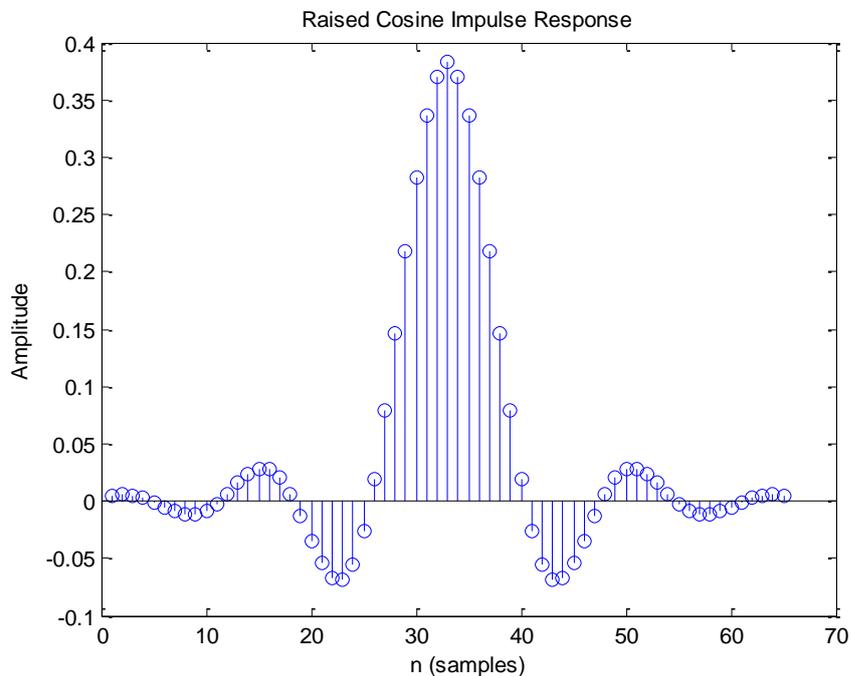
$$\text{preamble} : [0;0;0;0;-1+1i;1-1i;-1+1i;-1+1i;-1+1i;1-1i;-1+1i;0;0;0;0;0;0;0;0;0] \quad (3.6)$$

e. Upsample dan Filter

Dalam perancangan ini digunakan filter *raised cosine* karena lebih praktis dalam penggunaan. Pada implementasinya digunakan fungsi *rrcfilter* dan *rcosflt*. Parameter desain filter pulse shaping dengan filter raised-cosine ditunjukkan pada tabel 3.7

Tabel 3. 3 Parameter desain *raised cosine filter* dan *matched filter*

Parameter	Nilai	Keterangan
Nsamp	8	Sample/symbol
Filt_order	64	Filter Order
Roll_off	0,9	Rolloff factor filter



Gambar 3. 7 Respon impulse filter *square-root raised-cosine*

f. Upconvert

Proses terakhir pada sisi pengirim sebelumnya sinyal dikirim ke penerima maka sinyal *base-band* tersebut di *Up converter*, ini dilakukan utk menghindari terjadinya redaman DC pada radio. *Up convert* ini dilakukan dengan cara menggeser frekuensi tengah dari sinyal baseband dari 0 ke 5 Mhz.

3.4.2 Proses pengiriman melalui modul WARP

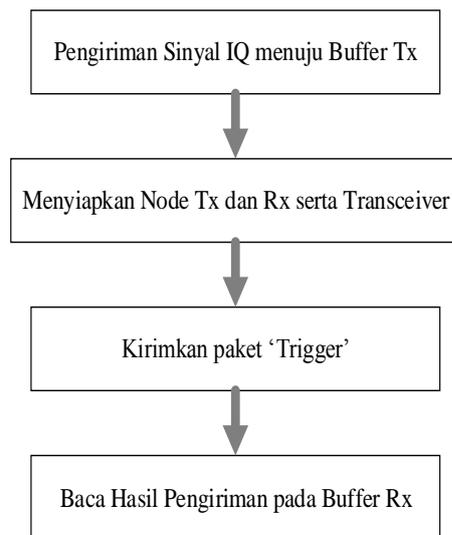
Gambar 3.8 menunjukkan proses pengiriman sinyal dan komunikasi pada WARP. Pada tahap awal, sinyal yang akan dikirim dalam bentuk kompleks IQ (*Inphase Quadrature*) dimana sinyal *inphase* merupakan bagian *real* sementara sinyal *quadrature* merupakan bagian *imaginer*. Sinyal yang akan dikirim disimpan pada *buffer Tx* dengan ukuran 2^{14} .

Setelah proses penyimpanan sinyal pada buffer Tx selesai, maka dilakukan persiapan pengiriman dan penerimaan data dengan mengaktifkan radio pada node pengirim dan penerima.

Proses komunikasi dilakukan dengan mengirimkan sebuah paket '*trigger*' kepada semua *node* secara bersamaan. Ketika sebuah *node* milik *transmitter* dalam kondisi *enable*, maka *node* tersebut akan memancarkan sinyal yang tadi terdapat pada *buffer*. Jika sebuah *node* milik *receiver* dalam kondisi *enable*, maka *node* tersebut akan menerima sinyal yang dipancarkan oleh *node transmitter*.

Ketika proses komunikasi selesai, data yang dikirimkan oleh *transmitter* akan diterima oleh *node Rx*. Proses pengambilan data dilakukan dengan membaca data yang terdapat pada *buffer node Rx*.

Pada penelitian sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection*, berdasarkan gambar 3.5 dijelaskan proses sistem komunikasi pada sistem ini yang dipakai adalah sistem komunikasi SISO dan MISO. SISO dipakai untuk jalur dari *relay* ke *destination*, sedangkan MISO dipakai untuk jalur dari *source* ke *relay* dan *source* ke *destination*.



Gambar 3. 8 Proses Pengiriman Sinyal dan Komunikasi

3.4.3 Pada Node Relay

Sinyal analog yang diterima pada node 2 dan 3 (*relay*) akan diubah ke digital kembali menggunakan ADC pada *daughtercard* radio yang terdapat pada test-bed WARP dan kemudian diteruskan ke *buffer*. Proses dipenerima pada node *relay* adalah sebagai berikut:

a. *Downconvert*

Pada proses ini sinyal akan dikembalikan ke frekuensi *baseband* semula. Pada proses ini sinyal akan dikalikan dengan frekuensi *upconvert* tanpa melakukan sinkronisasi fasa.

b. *Match Filter*

Setelah dilakukan proses *downconvert* maka proses selanjutnya Sinyal di *matched filter* agar sesuai dengan bentuk pulsa *raised cosine* di transmitter.

c. *Downsample*

Sebelum dilakukan proses proses *downsample*, dilakukan sinkronisasi *preamble* dengan mengkorelasikan *sample preamble* yang telah diketahui sebelumnya dengan sample sinyal yang diterima sehingga akan diperoleh korelasi tertinggi antara *sample* tersebut. Sinyal *downsample* dengan jumlah sample sama dengan jumlah *upsample* yaitu 8 *sample*.

d. Proses demodulasi

Demodulasi adalah proses pengembalian dari symbol menjadi bit kembali. Dan setelah itu dibandingkan antara bit-bit yang dikirimkan dengan bit-bit yang diterima untuk mendapatkan nilai Bit Error Rate (BER).

e. *Relay Selection*

Pemilihan node *relay* yang akan digunakan berdasarkan nilai BER dari masing-masing node. Node *relay* yang dipilih akan mengirimkan informasi yang diterima dari node *relay* ke node *destination*. Node *relay* 2 dan node *relay* 3 menerima sinyal dari node *source*, pada masing-masing node *relay* akan dihitung nilai BER, tujuannya adalah untuk mengetahui node *relay* mana yang memiliki nilai BER kecil sehingga untuk mengirimkan informasi ke node *destination* dipilih node *relay* yang memiliki nilai BER terkecil.

3.4.4 Pada node *Destination*

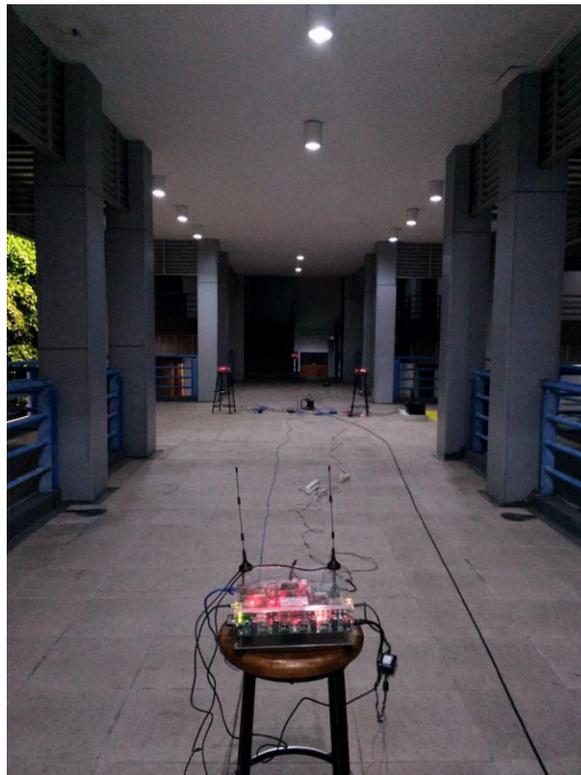
Proses penerima pada node 4 (*destination*) adalah sama dengan penerima pada node *relay*. Sebelum demodulasi sinyal akan di combining. Di penerima pada sistem komunikasi kooperatif telah dijelaskan bahwa ada dua sinyal yang diterima, yang pertama pada jalur langsung(*source-destination*) dan yang kedua jalur multihop (*source-relay-destination*). Sehingga di penerima akan terjadi proses combining yang disebabkan ada dua jalur proses tranmisi yang diterima dari radio yang berbeda. Pada penelitian ada dua teknik *combining* yang digunakan yaitu *Selection Combining* (SC) dan *Maximum Ratio Combining* (MRC). Pada teknik *Selection Combining* (SC) dipilih satu yang terbaik dari sinyal yang diterima. Tahap berikutnya mendemodulasi sinyal yang telah di-combining dengan demodulasi QPSK dan tahapan terakhir mengdecode sinyal tersebut menggunakan algoritma viterbi. Dan setelah baru dibandingkan antara bit-bit yang dikirimkan dengan bit-bit yang diterima untuk mendapatkan nilai Bit Error Rate (BER).

3.4.5 Pada Kanal

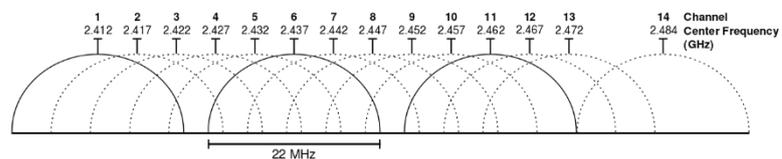
Kanal yang digunakan dalam perancangan sistem komunikasi kooperatif protokol *hybrid relay selection* ini adalah kanal yang real, artinya dalam metode

ini menggunakan kanal udara yang sesungguhnya. Hal ini dilakukan sebagai pendekatan sistem komunikasi sesungguhnya, sehingga kita dapat menganalisa dan dapat menentukan parameter dalam perancangan ini.

Dapat dilihat pada gambar 3.9 bahwa pada perancangan ini menggunakan kanal nirkabel pada jarak 20m yang mempunyai pendekatan dengan sistem komunikasi yang real. Pembagian kanal pada sistem ini menggunakan IEEE 802.11g, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3. 9 Kondisi kanal *nirkabel*



Gambar 3. 10 Range frekuensi IEEE 802.11g

Pada pengukuran digunakan kanal 13 karena pada kanal tersebut terhindar dari interferensi yang ada pada lingkungan..

3.5 Pengukuran BER Terhadap Fungsi Jarak

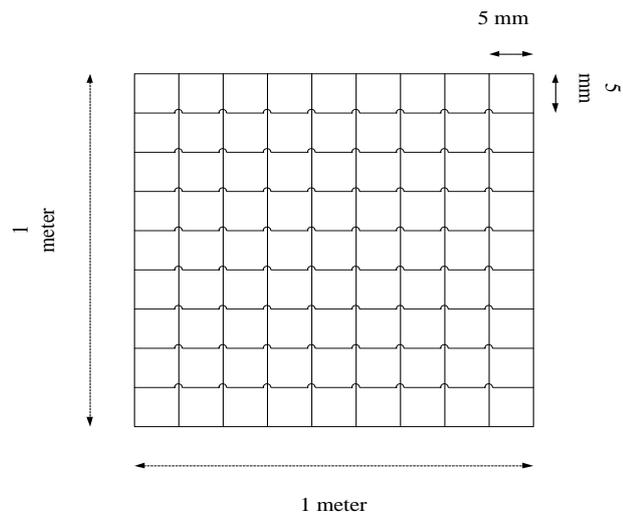
Pengukuran *Bit Error Rate* (BER) terhadap fungsi jarak skenarionya adalah yang pertama dengan mengubah-ubah jarak antara *source-destination* sedangkan posisi *relay* selalu berada diantara *source* dan *destination*, misalkan jarak *source* dan *destination* sejauh 10 meter maka jarak *relay* dari *source* sejauh 5 meter artinya *relay* tepat berada ditengah antara *source* dan *destination* dan yang kedua mengubah jarak masing-masing *relay*. Adapun pada penelitian ini variasi jarak antara 8 meter sampai 20 meter.

Pada kondisi menggunakan penghalang, penghalang dikondisikan sedemikian rupa agar jalur langsung dari pengirim dan penerima terdapat obstacle. Dalam hal ini memperhitungkan jari – jari fresnel pertama dari pengirim dan penerima, wilayah fresnel pertama ini akan akan dihalangi oleh penghalang yang telah dibuat. Untuk mempermudah memperlihatkan jari – jari fresnel dalam setiap pengukuran, maka dapat diperhitungkan menggunakan persamaan (3.7).

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D \text{ (km)}}{4f \text{ (Ghz)}}} \quad (3.7)$$

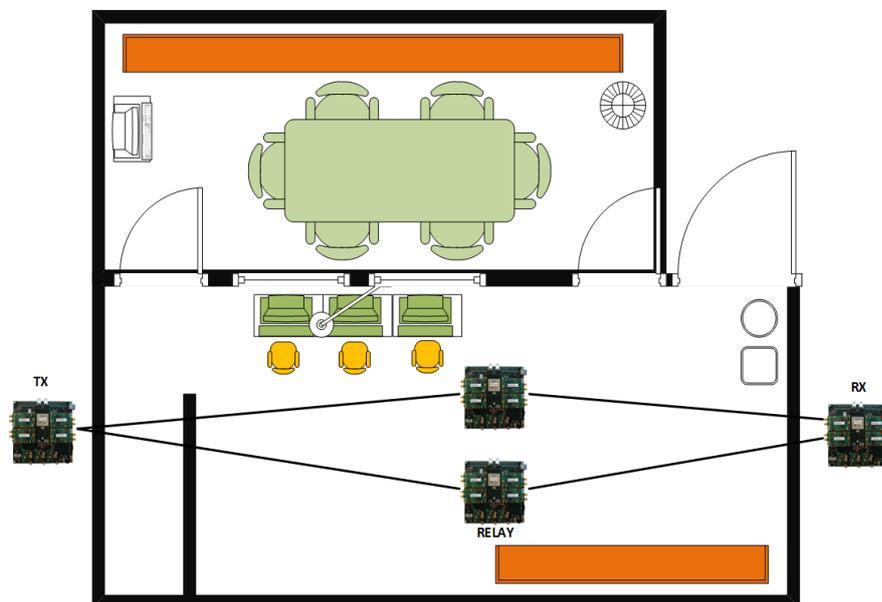
Dimana, r (dalam satuan meter) adalah radius terjauh yang tidak diperbolehkan adanya *obstacle*, D adalah jarak antena antara *receiver* dan *transmitter*, dan f adalah band frekuensi *carrier* yang digunakan. Dari Persamaan 3.7 didapat radius r sejauh 77 cm dalam pengukuran dengan jarak 20 meter.

Kemudian setelah dimensi dari fresnel diketahui maka dimensi dari penghalang yang akan digunakan dapat dibuat. Pada pengukuran ini menggunakan penghalang dengan dimensi 1x1 meter dapat dilihat seperti pada Gambar 3.11 untuk lingkungan *outdoor* dan dinding sebagai penghalang di lingkungan *indoor*.

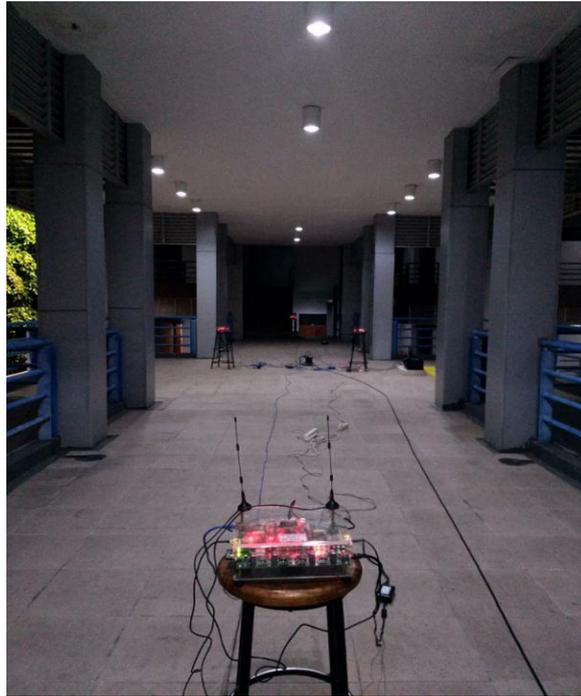


Gambar 3. 11 Dimensi dari penghalang

Pengukuran lingkungan *indoor* dilakukan di ruang B406 jurusan Teknik Elektro dan untuk *outdoor* dilakukan di jembatan antara gedung B dan gedung AJ jurusan Teknik Elektro. Denah pengukuran *indoor* dan *outdoor* dapat dilihat pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.

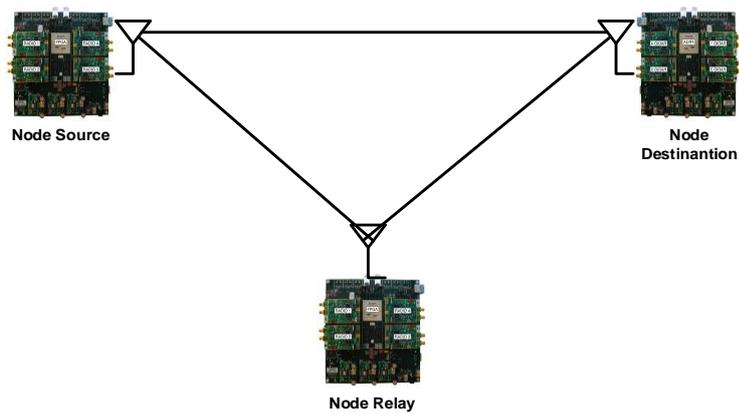


Gambar 3. 12 Denah ruang B406 untuk pengukuran *indoor*

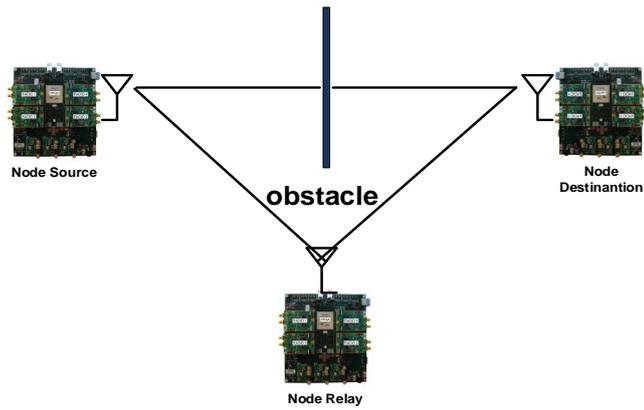


Gambar 3. 13 Pengukuran *outdoor*

Untuk lingkungan *outdoor* dan *indoor* pengukuran masing-masing memiliki dua kondisi yang berbeda yaitu *line of sight* seperti pada **Error! Reference source not found.** 3.14 dan *non line of sight* Gambar 3.15.

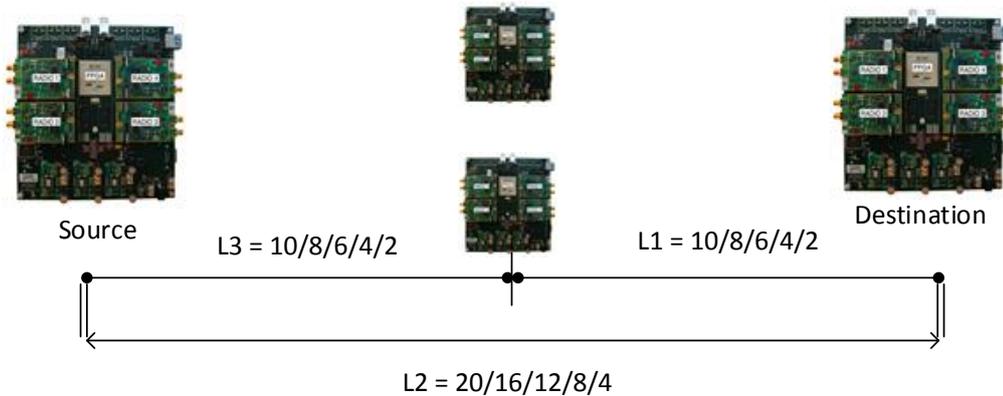


Gambar 3. 14 kondisi tanpa penghalang



Gambar 3. 15 Kondisi dengan pengahalang

Seperti yang telah dijelaskan bahwa penelitian ini menggunakan 4 modul WARP terdiri atas modul WARP 1 sebagai *source*, modul WARP 2 dan 3 sebagai *relay AF* dan *DF*, dan modul WARP 4 sebagai *destination*. Untuk variasi jarak kondisi *relay* tetap, dan jarak *source* dan *destination* berubah dapat dilihat pada Gambar 3.16 dan Tabel 3.4.



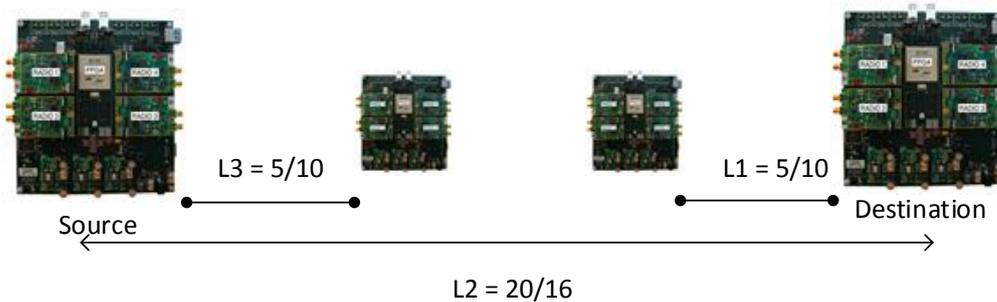
Gambar 3. 16 Sketsa Pengukuran dengan Variasi Jarak

Tabel 3. 4 Variasi Jarak Pengukuran Sistem Komunikasi Kooperatif *hybrid relay selection*

Jarak <i>Source-Destination</i>	Jarak <i>Source-Relay</i>	Jarak <i>Relay-Destination</i>
20 meter	10 meter	10 meter
16 meter	8 meter	8 meter
12 meter	6 meter	6 meter

8 meter	4 meter	4 meter
4 meter	2 meter	2 meter

Sedangkan untuk variasi jarak kondisi *source* dan *destination* tetap, dengan *relay* yang berubah-ubah berubah dapat dilihat pada Gambar 3.11 dan Tabel 3.5

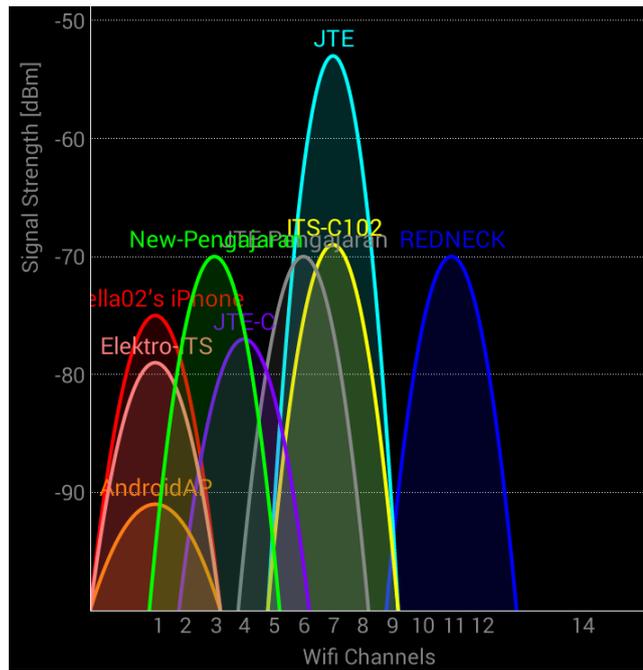


Gambar 3. 17 Sketsa Pengukuran dengan Variasi Jarak

Tabel 3. 5 Variasi Jarak Pengukuran Sistem Komunikasi Kooperatif *hybrid relay selection*

Jarak <i>Source-Destination</i>	Jarak <i>Source-Relay 1</i>	Jarak <i>Destination-Relay 2</i>
20 meter	5 meter	10 meter
20 meter	10 meter	5 meter
16 meter	5 meter	5 meter
16 meter	5 meter	5 meter

Pengukuran yang dilakukan dari node *source*, node *relay 1*, node *relay 2* dan node *destination* dilakukan pada kanal 13 dan tidak berubah, hal ini karena pada kanal tersebut terhindar dari interferensi yang ada pada lingkungan.



Gambar 3. 18 Kondisi Kanal

Halaman ini sengaja dikosongkan

perubahan jarak pada node *source* dan *destination*. Pada kondisi ini akan dilakukan perhitungan BER pada node *relay* dan node *destination*. Perhitungan BER pada node *relay* bertujuan untuk mengetahui kinerja masing-masing node *relay* sehingga bisa dipilih node *relay* mana yang akan dipilih untuk meneruskan informasi ke node *destination*. Sedangkan perhitungan BER pada node *destination* bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan.

1. Verifikasi pemilihan node *relay* dengan teori komunikasi *relay*

Pada tahap ini akan dilakukan verifikasi pemilihan *relay* pada pengukuran dengan menggunakan teori komunikasi *relay*. Pada tahap verifikasi ini node *relay* berada di tengah-tengah antara node *source* dan node *destination*. Berikut parameter-parameter yang digunakan dalam pengukuran.

Tabel 4. 1 Parameter verifikasi pemilihan node *relay*

Parameter	Nilai
Frekuensi	2.4 GHz
Bandwidth	20 MHz
Transmit power (P _{tx})	-27 dBm
G _t	1
G _r	1
Jarak S-R dan R-D	10 meter
Suhu	25 ⁰ C
Modulasi	QPSK

- Menghitung nilai (λ)

$$\lambda = \frac{c}{F} = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125$$

- Menghitung nilai Loss

$$L = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = \left(\frac{0.125}{4 \times \pi \times 10} \right)^2 = 9.89 \times 10^{-7}$$

- Menghitung nilai *signal power*

$$\begin{aligned}
S &= P_{tx} \cdot G_t \cdot G_r \cdot L \\
&= 1.995 \times 10^{-6} \times 1 \times 1 \times 9.89 \times 10^{-7} \\
&= 1.973 \times 10^{-12} \text{ watt}
\end{aligned}$$

- Mengitung nilai *noise level*

$$\begin{aligned}
N &= KTB \\
&= 1.374 \times 10^{-23} \left(\frac{J}{K} \right) \times 298.15 \text{ K} \times 20 \times 10^6 \\
&= 8.19 \times 10^{-14} \text{ watt}
\end{aligned}$$

- Mengitung nilai $\frac{S}{N}$ atau $\frac{E}{N_0}$

Menghitung nilai S/N dari masing-masing node S-R dan node R-D. Karena untuk protokol *relay* AF dan DF memiliki jarak yang sama antara node S-R-D. maka nilai masing-masing S/N adalah

$$\begin{aligned}
\left(\frac{S}{N} \right)_{s-r} &= \frac{1.973 \times 10^{-12}}{8.19 \times 10^{-14}} = 24.09 \\
\left(\frac{S}{N} \right)_{s-r} &= \left(\frac{S}{N} \right)_{r-d} = 24.09
\end{aligned}$$

- Berdasarkan teori komunikasi relay, untuk protokol AF

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{tot} = \left(\left(\frac{S}{N} \right)_{s-r} + \left(\frac{S}{N} \right)_{r-d} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{24.09} + \frac{1}{24.09} \right)^{-1} = 12.045$$

Sehingga probabilitas error bit untuk protokol AF menggunakan modulasi QPSK adalah

$$P_b = Q \sqrt{\frac{2E}{N_0}} = Q \sqrt{2 (12.045)} = Q (4.91) = 4.5538 \times 10^{-7}$$

- Sedangkan untuk protokol DF probabilitas error bit menggunakan modulasi QPSK adalah

$$P_{b_{s-r}} = Q \sqrt{\frac{2E}{N_0}} = Q \sqrt{2 (24.09)} = Q (6.94) = 1.9605 \times 10^{-12}$$

$$P_{b_{s-r}} = P_{b_{r-d}} = 1.9605 \times 10^{-12}$$

$$\begin{aligned}
P_b &= P_{b_{s-r}} + P_{b_{r-d}} \\
&= 1.9605 \times 10^{-12} + 1.9605 \times 10^{-12} \\
&= 3.93 \times 10^{-12}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan teori komunikasi *relay*, *relay* yang terbaik adalah protokol *relay* DF dengan nilai P_b lebih kecil dibandingkan dengan protokol *relay* AF. Langkah selanjutnya adalah proses pengukuran, dan membandingkan hasil teori dengan hasil pengukuran.

2. Analisis BER pemilihan *relay* dengan kondisi S-D yang berubah-ubah

Analisis pengukuran di lingkungan *outdoor* dengan kondisi LOS dilakukan pada jarak 4m, 8m, 12m, 16m dan 20m. Hasil dari pengukuran dengan mengubah level daya pancar (P_{Tx_Rf}) di lingkungan *outdoor* dengan kondisi LOS ditunjukkan pada Gambar 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. BER yang di ukur disini adalah nilai BER pada node *relay*, yang di jadikan acuan untuk pemilihan pada node *relay*.

Tabel 4. 2 Perbandingan BER pada node *relay* pada jarak 4, 8, 12, 16 dan 20 meter

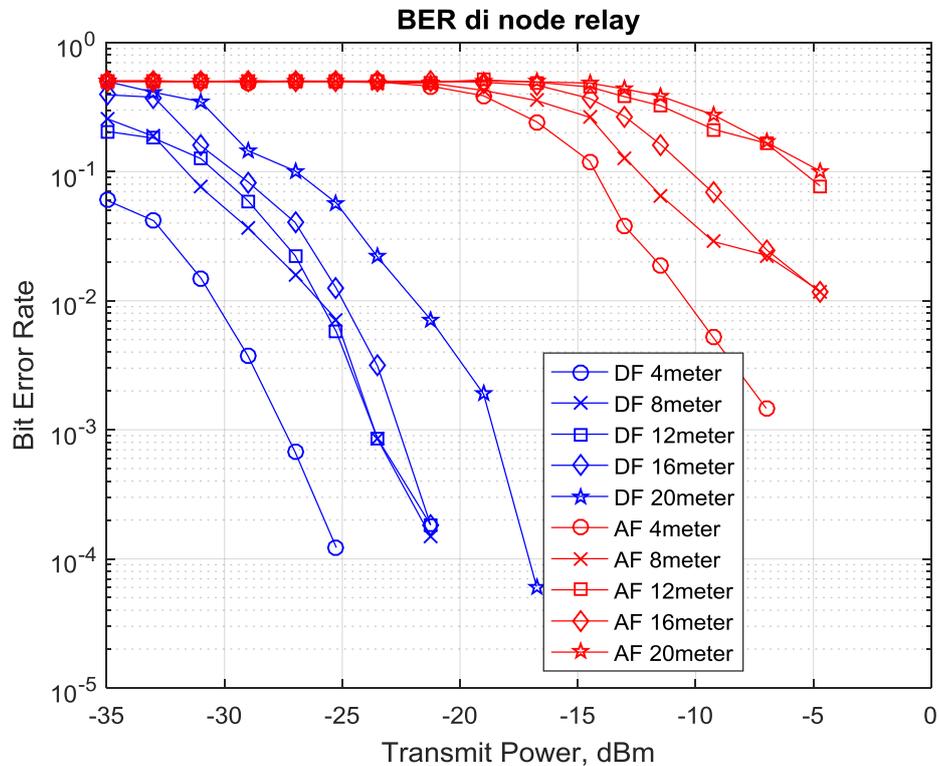
Ptx (dBm)	Jarak node source - destination					
	4 Meter		8 Meter		12 Meter	
	DF	AF	DF	AF	DF	AF
-35	0.0601	0.502	0.2578	0.5026	0.2051	0.5059
-33	0.0416	0.5018	0.1875	0.4977	0.1817	0.5072
-31	0.015	0.5003	0.0754	0.4957	0.1260	0.4966
-29	0.0037	0.4909	0.0365	0.5097	0.0593	0.4996
-27	0.0007	0.4991	0.0160	0.4961	0.0223	0.4957
-25.25	0.0001	0.4988	0.0071	0.4959	0.0057	0.5049
-23.5	0	0.4953	0.0008	0.4913	0.0009	0.5023
-21.25	0	0.4596	0.0001	0.4841	0.0001	0.4934
-19	0	0.387	0	0.4259	0	0.5137
-16.75	0	0.2432	0	0.3549	0	0.4921
-14.5	0	0.1207	0	0.2637	0	0.4532
-13	0	0.0375	0	0.1279	0	0.3802
-11.5	0	0.0188	0	0.0658	0	0.3248
-9.25	0	0.0052	0	0.0287	0	0.2130
-7	0	0.0015	0	0.0224	0	0.1660
-4.7143	0	0	0	0.0118	0	0.0775

Tabel 4. 3 Perbandingan BER pada node *relay* pada jarak 4, 8, 12, 16 dan 20 meter

Ptx (dBm)	Jarak node <i>source</i> - <i>destination</i>			
	16 Meter		20 Meter	
	DF	AF	DF	AF
-35	0.3939	0.5040	0.5001	0.5006
-33	0.3772	0.4984	0.4116	0.5002
-31	0.1583	0.4971	0.3479	0.4943
-29	0.0831	0.4984	0.1453	0.5029
-27	0.0404	0.5054	0.1012	0.4982
-25.25	0.0124	0.5021	0.0571	0.4973
-23.5	0.0031	0.5008	0.0217	0.4940
-21.25	0.0002	0.5039	0.0071	0.4909
-19	0	0.4920	0.0018	0.5046
-16.75	0	0.4680	6.10E-05	0.4958
-14.5	0	0.3690	0	0.4853
-13	0	0.2669	0	0.4362
-11.5	0	0.1630	0	0.3853
-9.25	0	0.0684	0	0.2753
-7	0	0.0249	0	0.1690
-4.7143	0	0.0115	0	0.1010

Berdasarkan Gambar 4.3, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dapat dianalisis bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection* dengan kondisi jarak S-D berubah-ubah dan node *relay* berada ditengah-tengah node S-D, dengan jarak antar node *relay* adalah 2 meter, bahwa untuk node *relay* yang dipilih untuk meneruskan informasi ke node *destination* adalah menggunakan protokol DF atau node *relay* 2. Berdasarkan Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Gambar 4.3, nilai BER untuk protokol DF lebih kecil dibandingkan protokol AF. Contoh pada jarak 20 meter, untuk protokol DF pada node *relay*, BER bernilai nol saat diberikan daya pancar -23.5 dBm, sedangkan untuk protokol AF pada saat daya pancar yang diberikan -4.7143 dBm nilai BER yang diterima baru 0. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa protokol *relay* DF lebih baik dibandingkan dengan protokol *relay* AF saat kondisi ini untuk meneruskan informasi ke node *destination*. Hal ini juga dibuktikan dengan hasil verifikasi berdasarkan teori komunikasi relay, bahwa node relay yang dipilih adalah protokol relay DF yang memiliki nilai P_b yang

lebih kecil dari protokol relay AF pada saat jarak 20 meter dengan nilai P_{tx} -27 dBm. Selain itu, nilai BER yang dihasilkan pada masing-masing protokol node *relay* juga dipengaruhi oleh kondisi saat pengukuran dan kanal yang digunakan.



Gambar 4. 3 Perbandingan BER pada node *relay* pada jarak 4, 8, 12, 16 dan 20 meter

3. Analisis BER untuk combining LOS

Setelah menganalisis kinerja dari pemilihan node *relay* dengan kondisi S-D yang berubah-ubah, langkah selanjutnya adalah menganalisis kinerja dari sistem kooperatif pada node *destination*. Sistem komunikasi kooperatif merupakan gabungan dari sistem komunikasi *direct* (jalur langsung) dan sistem komunikasi multihop (jalur *relay*).

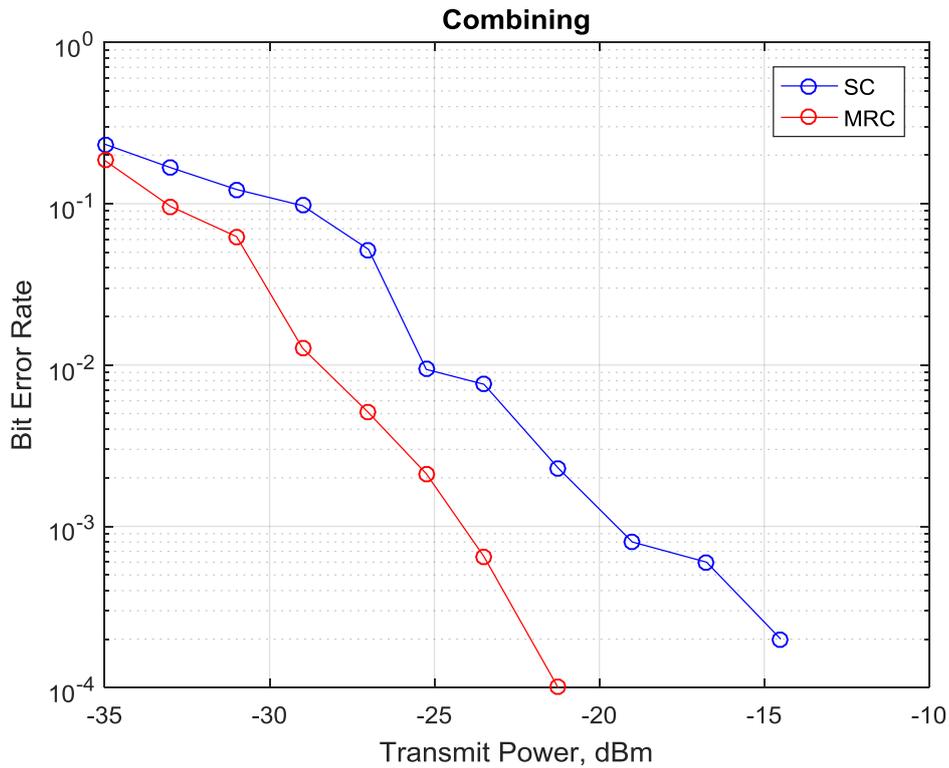
Pada penelitian ini digunakan dua teknik combining antara lain *Selection Combining* (SC) dan *Maximum Ratio Combining* (MRC). Seperti dijelaskan sebelumnya untuk teknik *Selection Combining* (SC) dipilih sinyal yang memiliki *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang terbesar dari jalur yang ada yaitu sinyal yang

melalui jalur langsung atau melewati *relay*. Sedangkan untuk teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC) kedua sinyal akan dijumlahkan. Setelah itu akan dibandingkan kinerja sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan *Selection Combining* (SC) dan *Maximum Ratio Combining* (MRC). Parameter yang akan dianalisis pada penelitian ini antara nilai BER terhadap daya pancar. Untuk hasil implementasi nilai BER terhadap daya pancar dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4.

Tabel 4. 4 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		MRC	SC
0	-35	0.1856	0.234
4	-33	0.0962	0.1673
8	-31	0.0625	0.1225
12	-29	0.0127	0.0972
16	-27	0.0051	0.0521
20	-25.25	0.0021	0.0094
24	-23.5	0.0006	0.0076
28	-21.25	0.0001	0.0023
32	-19	0	0.0008
36	-16.75	0	0.0006
40	-14.5	0	0.0002
44	-13	0	0
48	-11.5	0	0
52	-9.25	0	0
56	-7	0	0
60	-4.7143	0	0

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 hasil pengukuran merupakan saat kondisi jarak S-D adalah 4 meter. Berdasarkan tabel dan gambar dilihat bahwa pada implementasi kinerja sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC) lebih baik daripada sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *Selection Combining* (SC). Misalnya saat daya yang pancar -19 dBm, nilai BER untuk teknik MRC sebesar 0, sedangkan untuk teknik SC membutuhkan daya pancar sebesar -13 dBm untuk mendapatkan nilai BER 0.



Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

4.1.2 Analisis pemilihan *relay* dengan kondisi *Non Line of Sight*

Analisis Pengukuran di lingkungan *outdoor* dengan kondisi NLOS atau terdapat penghalang antara node *source* dan node *destination* dilakukan dengan mengubah fungsi level daya pancar (T_x_{Rf}) dari 0 sampai 60. Hasil dari pengukuran untuk pemilihan node *relay* di lingkungan *outdoor* dengan kondisi NLOS dilakukan dengan kondisi perubahan jarak pada node *source* dan *destination*. Pada kondisi ini juga akan dilakukan perhitungan BER pada node *relay* dan node *destination*.

1. Analisis BER pemilihan *relay* dengan kondisi S-D yang berubah-ubah

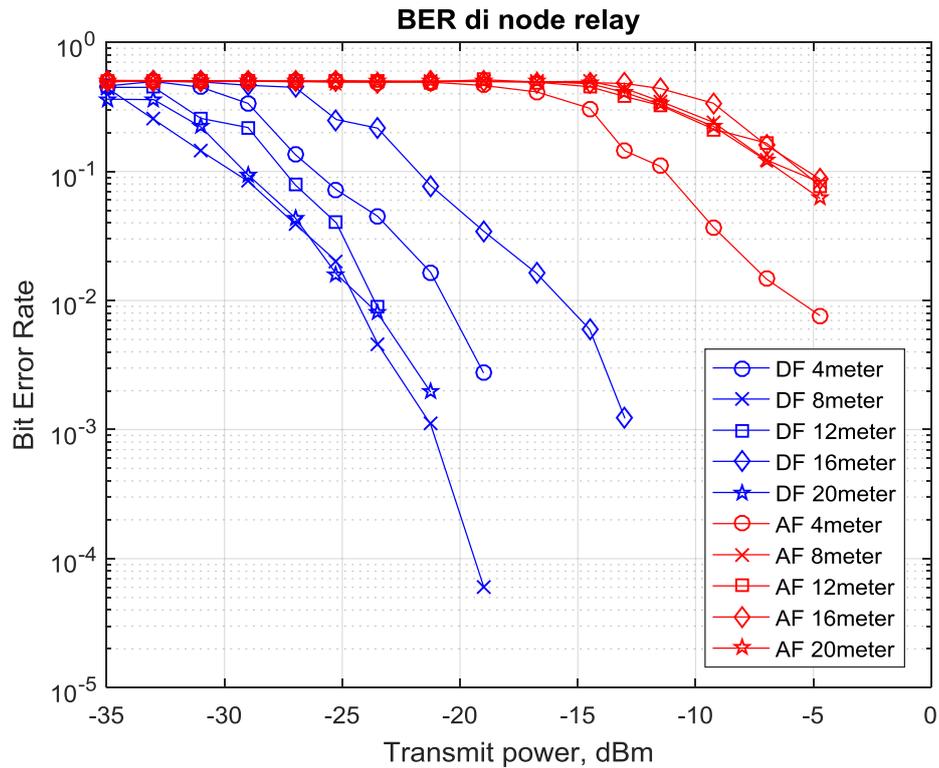
Analisis Pengukuran dengan kondisi NLOS dilakukan pada jarak 4m, 8m, 12m, 16m dan 20m dan posisi *obstacle* berada tidak jauh dari node *source* dan node *destination*. Hasil dari pengukuran dengan kondisi NLOS ditunjukkan pada Gambar 4.5, Tabel 4.4 dan Tabel 4.5. BER yang di ukur disini adalah nilai BER pada node *relay*, yang di jadikan acuan untuk pemilihan pada node *relay*.

Tabel 4. 5 Perbandingan BER pada jarak 4 meter, 8 meter dan 12 meter (*outdoor*) kondisi NLOS

Ptx (dBm)	Jarak node source - destination					
	4 Meter		8 Meter		12 Meter	
	DF	AF	DF	AF	DF	AF
-35	0.4592	0.4995	0.4592	0.4934	0.4481	0.506
-33	0.4975	0.4975	0.4975	0.5044	0.4485	0.5072
-31	0.4492	0.5044	0.4492	0.5047	0.2576	0.4966
-29	0.337	0.4983	0.337	0.5032	0.2189	0.4997
-27	0.1356	0.4995	0.1356	0.496	0.0789	0.4958
-25.25	0.0722	0.5004	0.0722	0.4951	0.0399	0.5049
-23.5	0.045	0.493	0.045	0.4993	0.0089	0.5024
-21.25	0.0165	0.4919	0.0165	0.5023	0	0.4935
-19	0.0027	0.4636	0.0027	0.4958	0	0.5138
-16.75	0	0.4134	0	0.4948	0	0.4922
-14.5	0	0.3088	0	0.4992	0	0.4532
-13	0	0.1444	0	0.4391	0	0.3802
-11.5	0	0.1095	0	0.3495	0	0.3249
-9.25	0	0.0371	0	0.2405	0	0.2131
-7	0	0.0147	0	0.1229	0	0.166
-4.7143	0	0.0076	0	0.0822	0	0.0776

Tabel 4. 6 Perbandingan BER pada jarak 16 meter dan 20 meter (*outdoor*) kondisi NLOS

Ptx (dBm)	Jarak node source - destination			
	16 Meter		20 Meter	
	DF	AF	DF	AF
-35	0.4991	0.5079	0.3633	0.5025
-33	0.4991	0.5026	0.36	0.5006
-31	0.4943	0.4951	0.2211	0.4974
-29	0.465	0.5006	0.0941	0.498
-27	0.4484	0.5035	0.0438	0.5013
-25.25	0.2524	0.4975	0.0161	0.4921
-23.5	0.2165	0.4929	0.008	0.4951
-21.25	0.0778	0.4993	0.002	0.496
-19	0.0345	0.5013	0	0.4986
-16.75	0.0162	0.4921	0	0.4971
-14.5	0.006	0.4871	0	0.4794
-13	0.0012	0.4807	0	0.4084
-11.5	0	0.4389	0	0.3309
-9.25	0	0.3379	0	0.2236
-7	0	0.1597	0	0.1214
-4.7143	0	0.087	0	0.0618



Gambar 4. 5 Perbandingan BER pada node *relay* pada jarak 4, 8, 12, 16 dan 20 meter

Berdasarkan Gambar 4.5, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 dapat dianalisis bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection* dengan kondisi NLOS, bahwa untuk node *relay* yang dipilih untuk meneruskan informasi ke node *destination* adalah menggunakan protokol DF. Berdasarkan tabel dan gambar diatas, nilai BER untuk protokol DF lebih kecil dibandingkan protokol AF untuk semua kondisi jarak. Contoh pada jarak 4 meter, untuk protokol DF pada node *relay*, BER bernilai nol saat diberikan daya pancar -16.75 dBm, sedangkan untuk protokol AF pada saat daya pancar -16.75 dBm nilai BER yang diterima adalah 0.4134, artinya masih terjadi kesalahan. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa kondisi NLOS dan LOS memilih protokol DF pada node *relay* untuk meneruskan informasi ke node *destination*, hal ini juga dibuktikan berdasarkan verifikasi pemilihan node *relay* berdasarkan teori komunikasi *relay*.

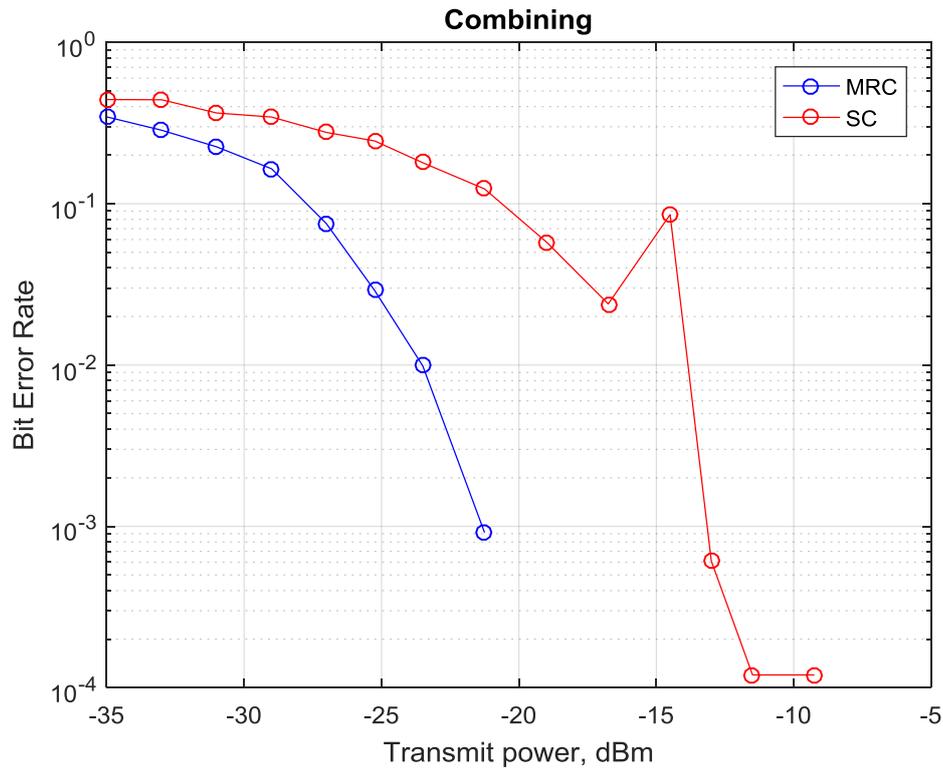
2. Analisis BER untuk combining NLOS

Berdasarkan analisis sebelumnya, untuk kondisi NLOS pada semua jarak, node *relay* yang dipilih adalah node *Relay 2* atau menggunakan protokol *relay* DF. Langkah selanjutnya adalah mengirimkan informasi ke node *destination* dan pada node *destination* informasi yang diterima ada dua, yaitu jalur multihop dan jalur *direct*. Kedua informasi ini akan diolah dengan teknik *combining* SC dan MRC. Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.6. Pada hasil pengukuran ini dianalisis pada jarak 8 meter.

Tabel 4. 7 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		SC	MRC
0	-35	0.44232	0.34546
4	-33	0.4408	0.28546
8	-31	0.36511	0.22528
12	-29	0.34454	0.16461
16	-27	0.27655	0.075012
20	-25.25	0.24506	0.028992
24	-23.5	0.1795	0.009887
28	-21.25	0.12347	0.000915
32	-19	0.057922	0
36	-16.75	0.023926	0
40	-14.5	0.085632	0
44	-13	0.0006103	0
48	-11.5	0.0001220	0
52	-9.25	0.0001220	0
56	-7	0	0
60	-4.7143	0	0

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Gambar 4.6 hasil pengukuran dilakukan saat kondisi jarak S-D adalah 8 meter. Berdasarkan tabel dan gambar dilihat bahwa pada implementasi kinerja sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC) lebih baik dari pada sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *Selective Combining* (SC). Saat daya yang dipancar sebesar -19 dBm, nilai BER untuk teknik MRC sudah 0, artinya sudah tidak terjadi kesalahan bit, sedangkan untuk teknik SC nilai BER-nya sebesar 0.0579 saat daya yang dipancarkan -19 dBm.



Gambar 4. 6 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

4.1.3 Analisis pemilihan *relay* dengan kondisi jarak node *relay* yang berubah-ubah

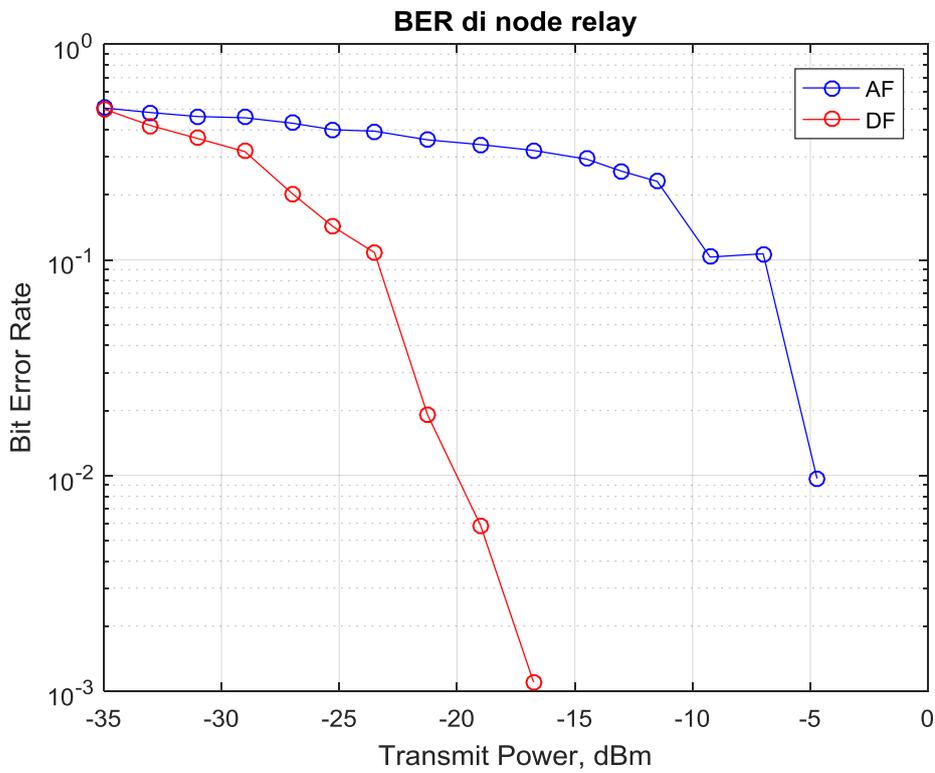
Pada pengukuran sebelumnya node *relay* selalu berada di tengah-tengah antara node *source* dan node *destination*. Pada analisis sub bab ini, node *relay* di ubah jaraknya berdasarkan Tabel 3.5.

1. Analisis Jarak *Relay 2* ke *source* 5 meter dan *Relay 1* ke *destination* 10 meter

Pada analisis ini, jarak antara node *source* dan *destination* adalah 20 meter, sedangkan untuk posisi jarak node *relay 2* ke node *source* adalah 5 meter dan jarak node *relay 1* ke node *destination* adalah 10 meter. Pada perancangan, *relay 1* adalah proses untuk pengiriman jika menggunakan protokol AF, sedangkan *relay 2* untuk protokol DF. Hasil pengukuran dilakukan dengan kondisi LOS dan dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.7.

Tabel 4. 8 Perbandingan BER AF dan DF pada node *Relay*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		AF	DF
0	-35	0.5067	0.5010
4	-33	0.4824	0.4196
8	-31	0.4622	0.3655
12	-29	0.4561	0.3177
16	-27	0.4307	0.2031
20	-25.25	0.4013	0.1423
24	-23.5	0.3953	0.1080
28	-21.25	0.3604	0.0191
32	-19	0.3425	0.0059
36	-16.75	0.3217	0.0011
40	-14.5	0.2933	0
44	-13	0.2575	0
48	-11.5	0.2312	0
52	-9.25	0.103	0
56	-7	0.1067	0
60	-4.7143	0.0097	0



Gambar 4. 7 Perbandingan BER AF dan DF pada node *Relay*

Berdasarkan Tabel 4.8 dan Gambar 4.7, dapat disimpulkan bahwa protokol yang dipilih untuk mengirimkan informasi selanjutnya ke node *destination* adalah protokol *relay* DF. Hal ini dikarenakan nilai BER untuk protokol DF lebih kecil dari protokol AF. Selain itu faktor jarak dengan node *source* berpengaruh terhadap pemilihan node *relay*. *Relay* 2 (DF) memiliki jarak yang lebih dekat dengan node *source* dibandingkan dengan *relay* 1 (AF). Saat daya yang dipancarkan sebesar -14.5 dBm, pada node *relay* 2 (DF) sudah mendapatkan nilai BER senilai 0, sedangkan *relay* 1 BER pada saat daya yang dipancarkan sebesar -14.5 dBm, nilai BER adalah 0.2933.

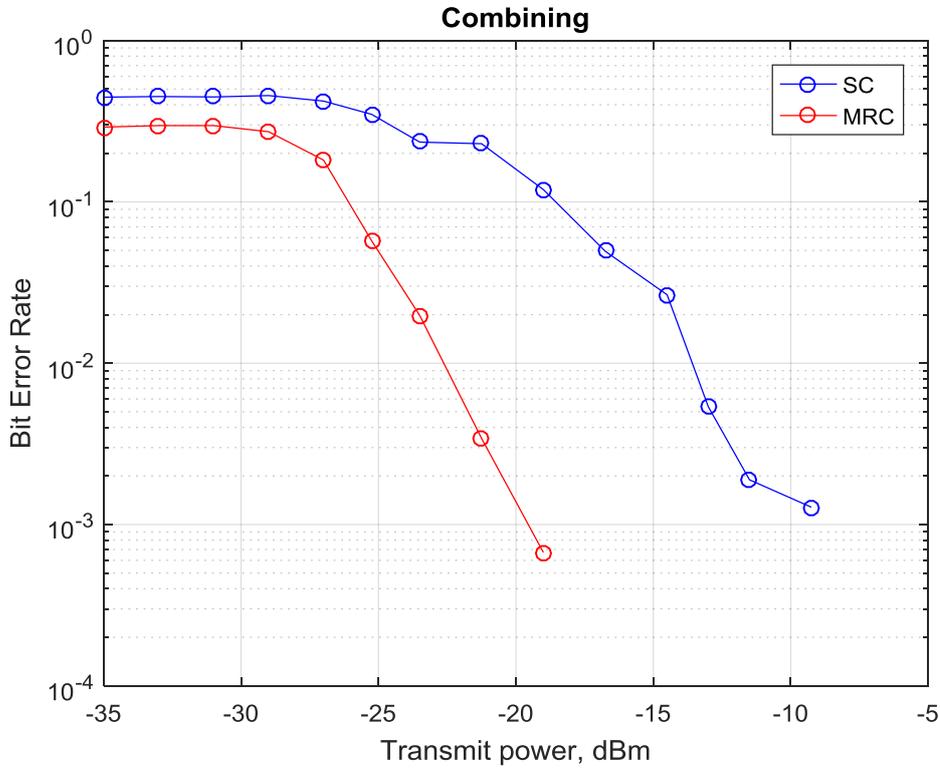
Selanjutnya informasi dikirim melalui node 2 dengan menggunakan protokol DF ke node *destination*. Pada node *destination*, informasi yang diterima dari jalur *direct* dan multihop akan di *combining*. Berikut BER untuk masing-masing teknik *combining*.

Tabel 4. 9 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		SC	MRC
0	-35	0.4455	0.29071
4	-33	0.44971	0.297
8	-31	0.44696	0.29706
12	-29	0.45587	0.27216
16	-27	0.42157	0.18146
20	-25.25	0.34882	0.057373
24	-23.5	0.23468	0.019775
28	-21.25	0.22937	0.003418
32	-19	0.11908	0.000671
36	-16.75	0.049438	0
40	-14.5	0.02655	0
44	-13	0.005371	0
48	-11.5	0.001892	0
52	-9.25	0.001282	0
56	-7	0	0
60	-4.7143	0	0

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Gambar 4.8, kinerja sistem komunikasi kooperatif dengan teknik MRC lebih baik daripada sistem komunikasi kooperatif dengan teknik SC. Misalnya saat daya yang dipancar sebesar -16.75 dBm, nilai

BER untuk teknik MRC sudah mendapatkan nilai 0 sedangkan untuk teknik SC nilai BER-nya ketika dengan daya pancar yang sama adalah sebesar 0.049438.



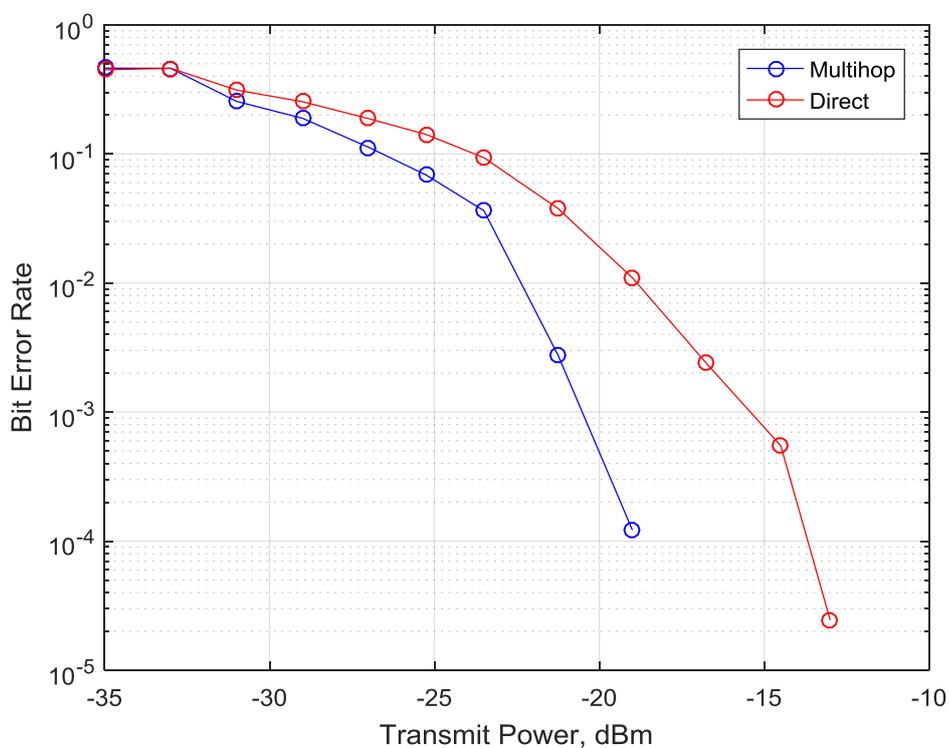
Gambar 4. 8 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

Perbandingan sistem komunikasi jalur langsung (*direct*) dengan jalur dengan melewati *relay* (multihop) dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Dari Gambar 4.9 nilai BER untuk jalur *direct* dan multihop semakin kecil seiring dengan kenaikan level gain daya pancar. Hal ini disebabkan semakin besar daya yang dipancarkan dengan noise yang sama, maka lebih tahan terhadap noise dan informasi yang dikirim semakin sedikit terjadi kesalahannya. Analisis sistem komunikasi kooperatif HRS untuk jalur Mutihop bernilai BER 0.0001221 pada level gain 24, ketika level gain dinaikkan menjadi 28 nilai dari BER Multihop menjadi 0. Sedangkan untuk jalur *direct* ketika level gain 48 nilai BER yang didapatkan sudah 0.

Tabel 4. 10 Perbandingan BER jalur *direct* dan Multihop pada node *destination*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		<i>direct</i>	Multihop
0	-35	0.48444	0.36304
4	-33	0.4613	0.34094
8	-31	0.31281	0.10773
12	-29	0.25397	0.059387
16	-27	0.18799	0.01062
20	-25.25	0.14148	0.0016479
24	-23.5	0.093567	0.0001221
28	-21.25	0.03772	0
32	-19	0.010986	0
36	-16.75	0.002380	0
40	-14.5	0.000549	0
44	-13	0.000244	0
48	-11.5	0	0
52	-9.25	0	0
56	-7	0	0
60	-4.7143	0	0



Gambar 4. 9 Perbandingan BER jalur *direct* dan Multihop pada node *destination*

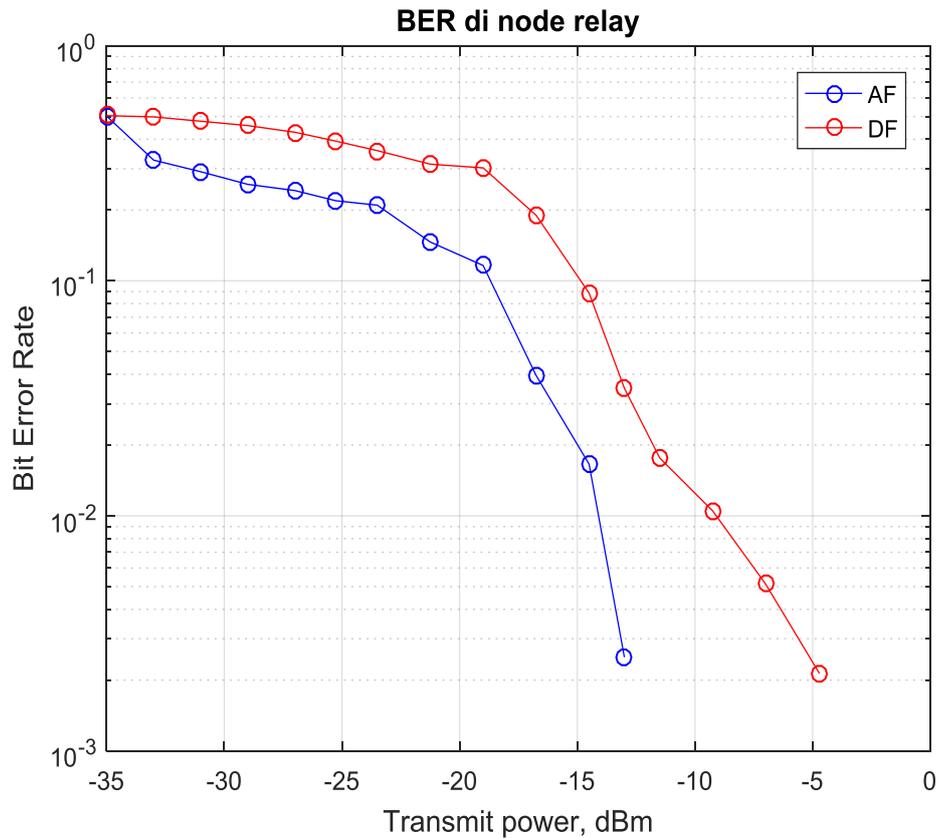
2. Analisis Jarak *Relay 1* ke *source* 5 meter dan *Relay 2* ke *destination* 10 meter

Pada analisis ini, jarak antara node *source* dan *destination* masih 20 meter, sedangkan untuk posisi jarak node *relay 1* ke node *source* adalah 5 meter dan jarak node *relay 2* ke node *destination* adalah 10 meter. Hasil pengukuran dilakukan dengan kondisi LOS dan dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.10.

Tabel 4. 11 Perbandingan Nilai BER AF dan DF pada node *relay*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		AF	DF
0	-35	0.5024	0.5044
4	-33	0.3262	0.4983
8	-31	0.2912	0.4775
12	-29	0.2572	0.4577
16	-27	0.2422	0.4287
20	-25.25	0.219	0.3929
24	-23.5	0.2098	0.358
28	-21.25	0.1463	0.3135
32	-19	0.1162	0.3024
36	-16.75	0.0396	0.19
40	-14.5	0.0166	0.0887
44	-13	0.0025	0.0349
48	-11.5	0	0.0176
52	-9.25	0	0.0105
56	-7	0	0.0051
60	-4.7143	0	0.0021

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Gambar 4.10, dapat disimpulkan bahwa protokol yang dipilih untuk mengirimkan informasi selanjutnya ke node *destination* adalah protokol *relay* AF. Hal ini dikarenakan nilai BER untuk protokol AF lebih kecil dari protokol DF dan *relay 1* (AF) memiliki jarak yang lebih dekat dengan node *source* dibandingkan dengan *relay 2* (DF). Saat daya yang dipancarkan sebesar -11.5 dBm, pada node *relay 1* (AF) sudah mendapatkan nilai BER senilai 0, sedangkan *relay 2* BER pada saat daya yang dipancarkan sebesar -11.5 dBm, nilai BER adalah 0.0176.



Gambar 4. 10 Perbandingan nilai BER AF dan DF pada node *relay*

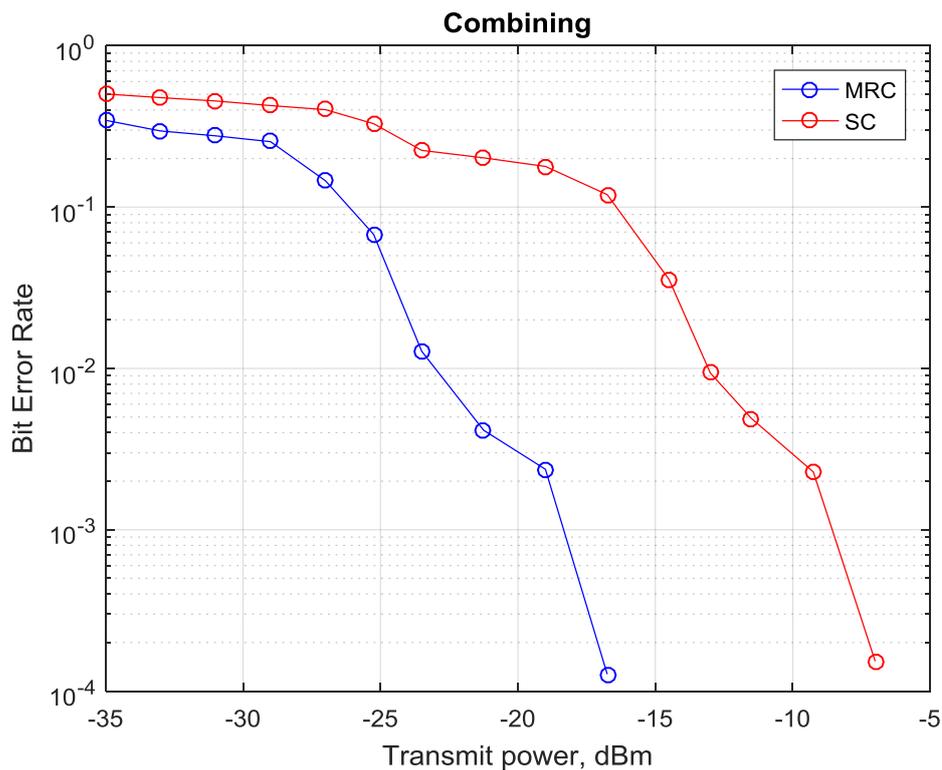
Selanjutnya informasi dikirim melalui node 1 dengan menggunakan protokol AF ke node *destination*. Pada node *destination*, informasi yang diterima dari jalur *direct* dan multihop akan di *combining*. Berikut BER untuk masing-masing teknik *combining*.

Berdasarkan Tabel 4.12 dan Gambar 4.11, kinerja sistem komunikasi kooperatif dengan teknik MRC lebih baik daripada sistem komunikasi kooperatif dengan tekni SC. Saat daya yang dipancarkan sebesar -14.5 dBm, nilai BER untuk teknik MRC sudah mendapatkan nilai 0, sedangkan untuk teknik SC nilai BER ketika dengan daya pancar yang sama adalah 0.0355.

Tabel 4. 12 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		MRC	SC
0	-35	0.5026	0.3451
4	-33	0.477	0.2964

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		MRC	SC
8	-31	0.4547	0.2765
12	-29	0.4259	0.2543
16	-27	0.4016	0.1455
20	-25.25	0.3288	0.0677
24	-23.5	0.2247	0.0128
28	-21.25	0.2019	0.0041
32	-19	0.1787	0.0024
36	-16.75	0.1194	0.0001
40	-14.5	0.0355	0
44	-13	0.0094	0
48	-11.5	0.0049	0
52	-9.25	0.0023	0
56	-7	0.0002	0
60	-4.7143	0	0

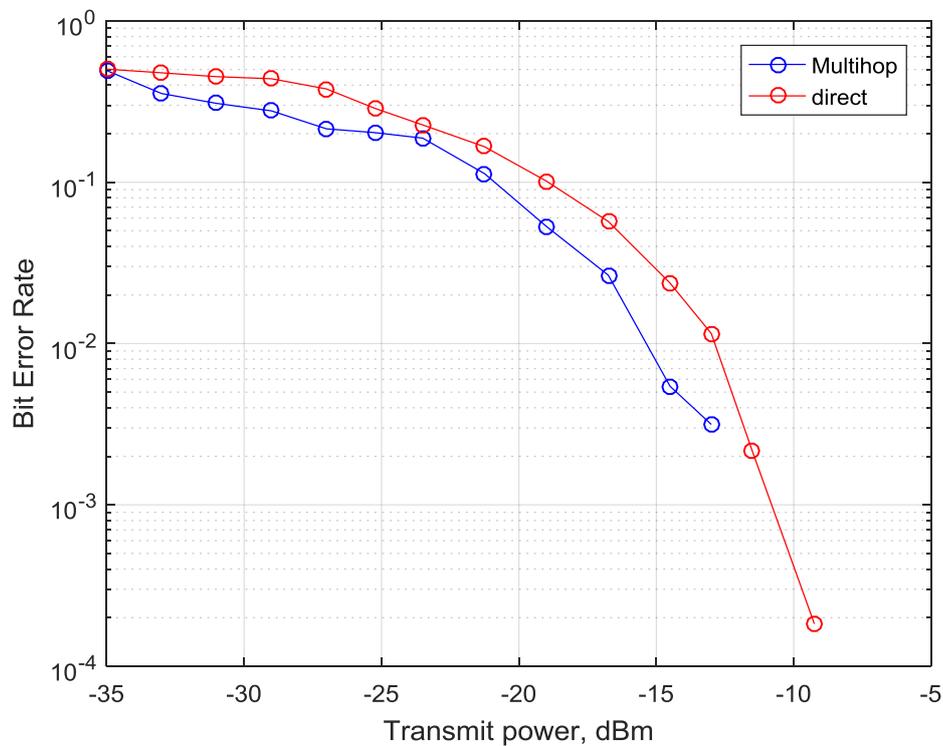


Gambar 4. 11 Perbandingan Nilai BER MRC dan SC pada node *destination*

Perbandingan sistem komunikasi jalur langsung (*direct*) dengan jalur dengan melewati *relay* (multihop) dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Perbandingan BER jalur *direct* dan Multihop pada node *destination*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		<i>Direct</i>	Multihop
0	-35	0.5023	0.4924
4	-33	0.4768	0.3546
8	-31	0.4512	0.3081
12	-29	0.4380	0.2767
16	-27	0.3785	0.2142
20	-25.25	0.2874	0.203
24	-23.5	0.2266	0.1876
28	-21.25	0.1659	0.113
32	-19	0.1016	0.0532
36	-16.75	0.0571	0.0266
40	-14.5	0.0237	0.0054
44	-13	0.0115	0.0032
48	-11.5	0.0021	0
52	-9.25	0.0002	0
56	-7	0	0
60	-4.7143	0	0



Gambar 4. 12 Perbandingan BER jalur *direct* dan Multihop pada node *destination*

Dari Gambar 4.12 nilai BER untuk jalur *direct* dan multihop semakin kecil seiring dengan kenaikan level gain daya pancar. Hal ini disebabkan semakin besar daya yang dipancarkan dengan noise yang sama, maka lebih tahan terhadap noise dan informasi yang dikirim semakin sedikit terjadi kesalahannya. Analisis sistem komunikasi kooperatif HRS untuk jalur Mutihop bernilai BER 0 pada level gain 48, sedangkan untuk jalur *direct* ketika level gain 56 nilai BER yang didapatkan baru 0.

4.2 Analisis BER Hasil Pengukuran di Lingkungan *Indoor*

Pengukuran di lingkungan *indoor* ini dilakukan dengan kondisi mengubah jarak node relay dan obstacle yang dipakai adalah dinding. Pengukuran dilakukan di ruang B406 Teknik Elektro. Jumlah bit yang dikirimkan yaitu 16384 dan parameter yang digunakan untuk pengukuran yaitu:

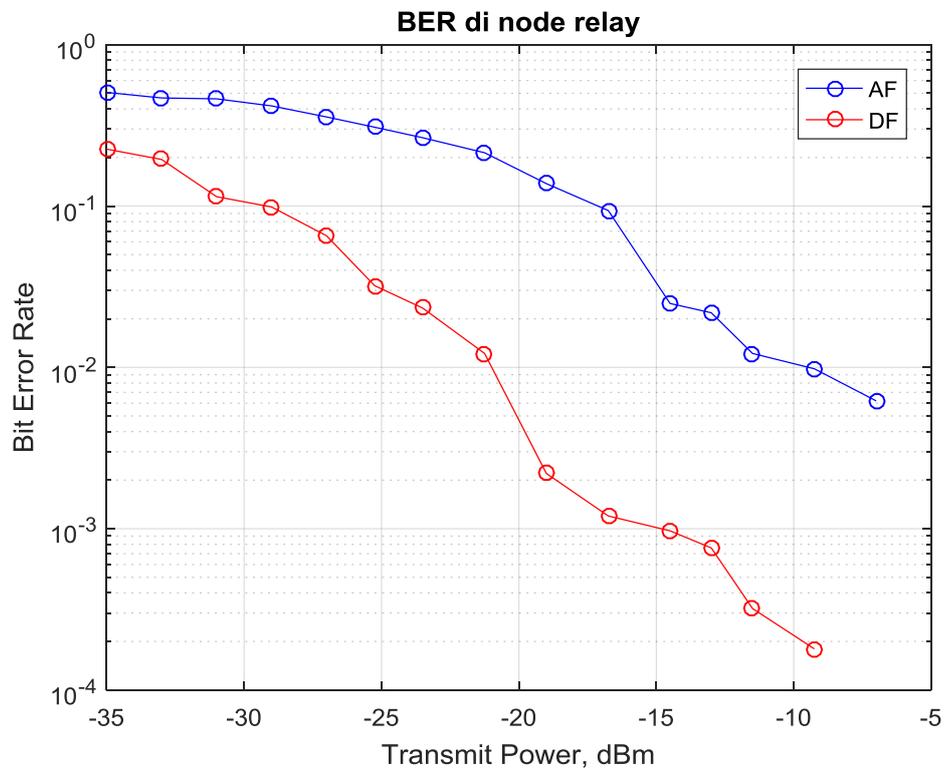
- Tx Baseband gain (Tx_BB) : 2
- Tx Baseband gain (Tx_BB) relay : 3
- Tx Radio Frequency gain (Tx_Rf) : 0:4:64
- Rx Baseband gain (Rx_BB) : 1
- Rx Radio Frekuensi gian (Rx_Rf) : 1

4.2.1 Analisis pemilihan *relay* dengan node di tengah

Analisis Pengukuran di lingkungan *indoor* dilakukan dengan kondisi ada penghalang. Node-node *relayi* ditempatkan ditengah-tengah antara node *source* dan node *destination*. Jarak antara node *source* dan node *destination* adalah 10 meter. Pemilihan *relay* didasarkan pada nilai BER masing-masing dua node *relay*. Hasil dari pengukuran dengan mengubah level daya pancar (Tx_Rf) di lingkungan *indoor* ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.13.

Tabel 4. 14 Perbandingan BER AF dan DF kondisi *indoor* pada node *relay*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		AF	DF
0	-35	0.5064	0.2254
4	-33	0.4678	0.1944
8	-31	0.4618	0.1143
12	-29	0.4176	0.0987
16	-27	0.3568	0.0654
20	-25.25	0.3082	0.0321
24	-23.5	0.2651	0.0233
28	-21.25	0.214	0.0122
32	-19	0.1377	0.0022
36	-16.75	0.0938	0.0012
40	-14.5	0.0249	0.001
44	-13	0.0218	0.0008
48	-11.5	0.0122	0.0003
52	-9.25	0.0098	0.0002
56	-7	0.0062	0
60	-4.7143	0	0



Gambar 4. 13 Perbandingan BER AF dan DF pada node *relay*

Berdasarkan Tabel 4.14 dan Gambar 4.13, dapat disimpulkan bahwa protokol yang dipilih untuk mengirimkan informasi selanjutnya ke node *destination* adalah protokol *relay* DF karena memiliki nilai BER yang kecil. Berdasarkan tabel 4.13 dan gambar 4.13 Saat daya yang dipancarkan sebesar -7 dBm, pada node *relay* 3 (DF) sudah mendapatkan nilai BER senilai 0, sedangkan node *relay* 2 (AF) BER pada saat daya yang dipancarkan juga sama, yaitu sebesar -7 dBm, nilai BER adalah 0.0062. Selanjutnya informasi dikirim ke node *destination* dan dilakukan proses *combining* dari dua jalur, yaitu jalur *direct* dan Multihop.

4.2.2 Analisis pemilihan *relay* berdekatan dengan node 1

Pada kondisi ini node 2 dan 3 akan didekatkan dengan node1 (source). Tujuannya untuk melihat kondisi jika node-node *relay* berdekatan dengan node *source* atau node 1. Parameter yang digunakan dan jumlah bit yang digunakan adalah sama dengan parameter pengukuran sebelumnya. Jarak node *source* dan node *relay* yang berdekatan adalah 5 meter. Sedangkan jarak antara node *source* dan node *destination* adalah 10 meter

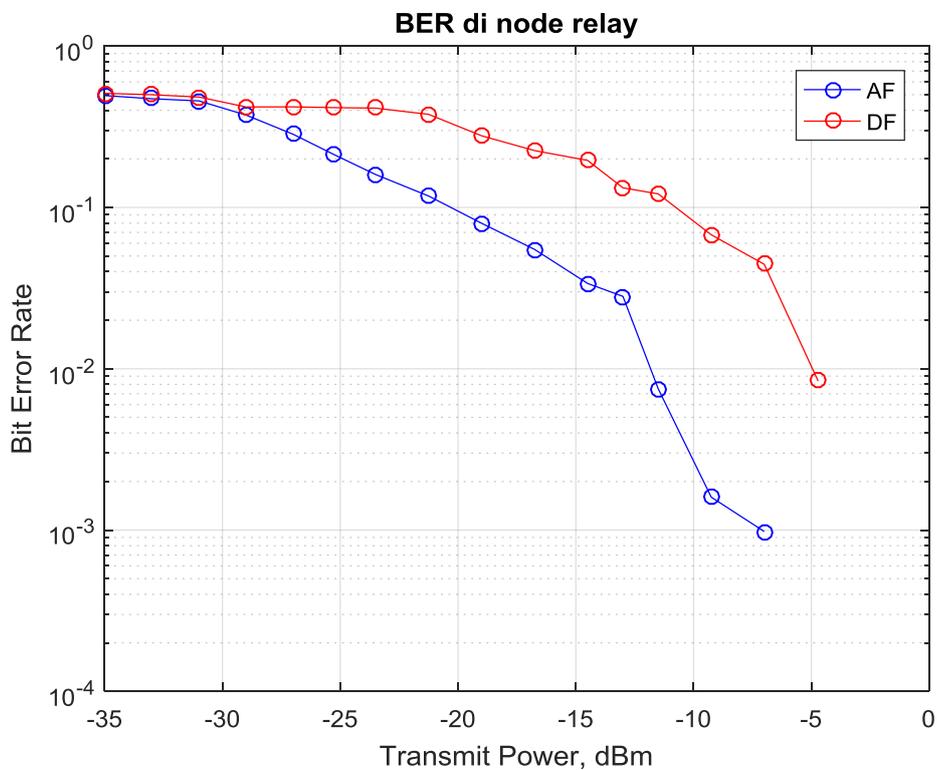
1. Analisis BER pemilihan *relay* dengan kondisi node 2 berdekatan dengan node 1

Pada pengukuran ini, node 2 (AF) dikondisikan berada di dekat dengan node 1 (*source*). Pada pengukuran *outdoor*, pemilihan *relay* berdasarkan jarak yang terdekat dengan node *source*. Hasil pengukuran kondisi *indoor* dan *outdoor* adalah sama. Dapat dilihat pada tabel 4.15 dan gambar 4.16.

Tabel 4. 15 Perbandingan BER AF dan DF kondisi *indoor* pada node *relay*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		AF	DF
0	-35	0.4936	0.5097
4	-33	0.4718	0.4997
8	-31	0.4576	0.4834
12	-29	0.3738	0.4195
16	-27	0.2842	0.4202
20	-25.25	0.2121	0.4155
24	-23.5	0.16	0.4126

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		AF	DF
28	-21.25	0.1177	0.3777
32	-19	0.0798	0.2781
36	-16.75	0.0549	0.225
40	-14.5	0.0338	0.1956
44	-13	0.0281	0.1323
48	-11.5	0.0075	0.1213
52	-9.25	0.0016	0.0677
56	-7	0.001	0.0444
60	-4.7143	0	0.0084



Gambar 4. 14 Perbandingan BER AF dan DF pada node *relay*

Dari Gambar 4.14 nilai BER untuk jalur protokol AF dan DF semakin kecil seiring dengan kenaikan level gain daya pancar. Saat daya yang dipancarkan sebesar -4.7143 dBm, pada node *relay* 1 (AF) mendapatkan nilai BER senilai 0, sedangkan nilai BER pada *relay* 2 (DF) pada saat daya yang dipancarkan sebesar -4.7143 dBm, nilai BER adalah 0.0084. Berdasarkan pengukuran protokol yang dipilih untuk mengirimkan informasi selanjutnya ke node *destination* adalah protokol *relay* AF.

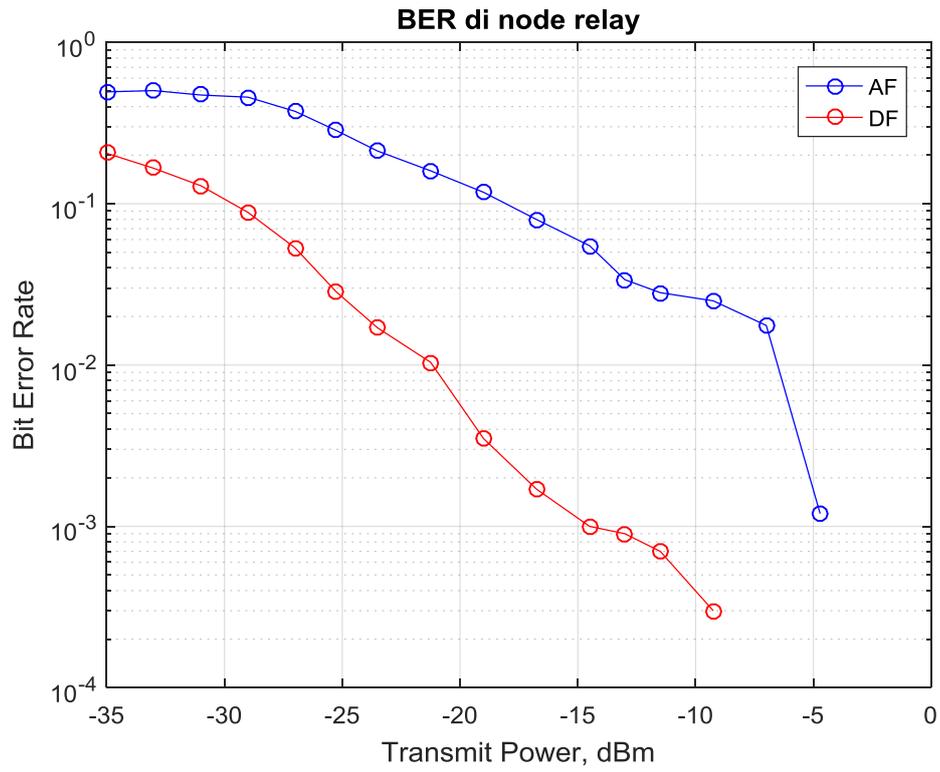
2. Analisis BER pemilihan *relay* dengan kondisi node 3 berdekatan dengan node 1

Pada pengukuran ini, node 3 (DF) dikondisikan berada di dekat dengan node 1 (*source*). Pengukuran dilakukan dengan kondisi LOS (ada penghalang) di ruangan B406. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.15.

Tabel 4. 16 Perbandingan BER AF dan DF kondisi *indoor* pada node *relay*

Gain	Ptx (dBm)	BER (Bit Error Rate)	
		AF	DF
0	-35	0.4936	0.2054
4	-33	0.5029	0.1658
8	-31	0.4718	0.1292
12	-29	0.4576	0.0883
16	-27	0.3738	0.0532
20	-25.25	0.2842	0.0284
24	-23.5	0.2121	0.0170
28	-21.25	0.1600	0.0104
32	-19	0.1177	0.0035
36	-16.75	0.0798	0.0017
40	-14.5	0.0549	0.0010
44	-13	0.0338	0.0009
48	-11.5	0.0281	0.0007
52	-9.25	0.0250	0.0003
56	-7	0.0176	0
60	-4.7143	0.0138	0

Dari Gambar 4.15 dan Tabel 4.16 dapat disimpulkan protokol yang dipilih untuk meneruskan informasi ke node *destination* adalah protokol DF. Nilai BER DF ketika daya pancar sebesar -7 dBm sudah mendapatkan nilai 0, sedangkan untuk protokol AF BER pada saat daya pancar sama sebesar -7 dBm, nilai BER adalah 0.0176. Selain itu faktor jarak dari node antara node-node *relay* dan node *source* juga memiliki pengaruh.



Gambar 4. 15 Perbandingan BER AF dan DF pada node *relay*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

Setelah dilakukan serangkaian tinjauan pustaka, perencanaan, implementasi, pengukuran dan analisis sistem, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Hasil implementasi sistem komunikasi kooperatif dengan protokol *hybrid relay selection* menunjukkan bahwa node *relay* yang dipilih adalah node *relay* yang posisinya berada di dekat node *source*.
2. Hasil implementasi sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *combining* membuktikan bahwa teknik combining MRC lebih baik dari teknik SC. Contoh saat kondisi node *relay* 1 berdekatan dengan node *source*, Saat daya yang dipancarkan sebesar -14.5 dBm, nilai BER untuk teknik MRC sudah mendapatkan nilai 0, sedangkan untuk teknik SC nilai BER ketika dengan daya pancar yang sama adalah 0.0355.
3. Hasil Implementasi menunjukkan bahwa kinerja untuk jalur multihop lebih baik dibandingkan untuk jalur *direct*. jalur multihop ketika level gain 28 nilai dari BER Multihop menjadi 0. Sedangkan untuk jalur *direct* ketika level gain dinaikkan menjadi 48 nilai BER yang didapatkan baru 0.
4. Implementasi dengan menggunakan modul SDR yaitu WARP, dapat diamati performa sistem terhadap pengaruh jarak antara node *source*, *relay*, dan *destination*. Kanal yang digunakan pada modul WARP adalah kanal *real*.
5. Implementasi sistem komunikasi kooperatif menggunakan *framework* Warplab yang mengintegrasikan antara matlab dengan modul WARP. Modul WARP yang digunakan sebanyak 4 modul yang berfungsi sebagai *source*, *relay* dan *destination*. Pada implementasinya dianalisa kinerja dari masing-masing sistem komunikasi baik itu sistem komunikasi *direct*, Multihop dan Kooperatif. Untuk sistem komunikasi kooperatif menggunakan dua metode *combining* diantaranya *selection combining* dan *maximum ratio combining*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. J. R. Liu, A. K. Sadek, W. Su, and A. Kwasinski, *Cooperative Communications and Networking*, vol. 53, no. 9, 2008.
- [2] A. S. Ibrahim, A. K. Sadek, W. Su, and K. J. R. Liu, "Cooperative Communications with *relay* Selection: When to Cooperate and Whom to Cooperate With?," *IEEE Transactions Wireless Communication.*, vol. 7, no. 7, pp. 2814–2827, 2008.
- [3] T. Liu, L. Song, Y. Li, Q. Huo, and B. Jiao, "Performance Analysis of Hybrid *Relay* Selection in Cooperative Wireless Systems," *IEEE Transactions On Communication.*, vol. 60, no. 3, pp. 779–788, 2011.
- [4] T. Q. Duong and H. J. Zepernick, "On the performance gain of hybrid decode-amplify-forward cooperative communications," *Eurasip Journal Wireless On Communication Network.*, vol. 2009, 2009.
- [5] F. A. Onat, A. Adinoyi, Y. Fan, H. Yanikomeroglu, J. S. Thompson, and I. D. Marsland, "Threshold selection for SNR-based selective digital *relaying* in cooperative wireless networks," *IEEE Transaction Wireless Communication.*, vol. 7, no. 11, pp. 4226–4237, 2008.
- [6] X. Song, M. Zhang, W. Liu, and F. Liu, "Threshold-based hybrid *relay* selection scheme," *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA.*, vol. 2016–Septe, pp. 222–227, 2016.
- [7] Nosratinia, T. E. Hunter, and a Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *Communications Magazine IEEE*, vol. 42, no. 10, pp. 74–80, 2004.
- [8] Rappaport, T.S., "*Wireless Communications: Principles and Practice 2/E*", Prentice Hall, 2001.
- [9] C. . J. K. W Peter Hong, Wan Jen Huang, *Cooperative Communications and Networking*. New York Dordrecht Heidelberg London, 2010.
- [10] Proakis, John G., Masoud Salehi., "*Digital Communications*", The McGraw-Hill Companies, Inc., USA, 2008.
- [11] WARP Project – Wireless Open Access Research Platform. <http://warp.rice.edu/trac>.

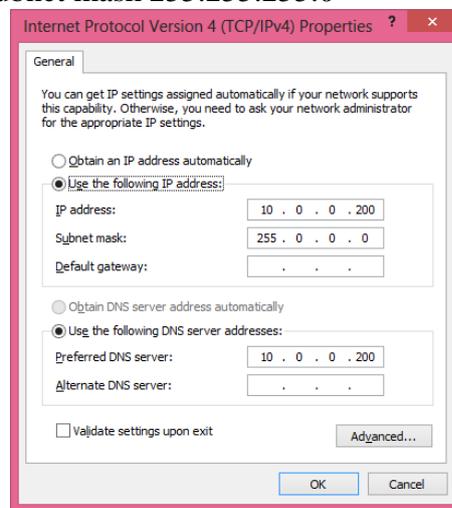
- [12] Patrick Murphy, Ashu Sabharwal, and Behnaam Aazhang, “Design of WARP: a Wireless Open-Access Research Platform,” 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, Italy, September 4-8, 2006.
- [13] WARP Radio Board Overview - Wireless Open Access Research Platform. WARP Project - Wireless Open Access Research Platform.http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard_v1.4.
- [14] Maxim Integrated Product Inc. MAX2829/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver Ics Datasheet.2004.
- [15] Rhee, Man Young. “ Error Correctiong Coding Theory”, McGraw-Hill, 1989.
- [16] Lin, Shu. Daniel j. Costello, JR., “ Error Control Coding Fundamentals and Applications”. Prentice-Hall.1983.
- [17] Khair. U, Suwadi, and Wirawan, “Performance of hybrid *relay* selection in cooperative communications system,” 2017 2nd International conferences on ICITISEE., 2017.

LAMPIRAN

PENGINTEGRASIAN ANTARA PC DENGAN WARP

Langkah – langkah pengintegrasian antara PC dengan WARP

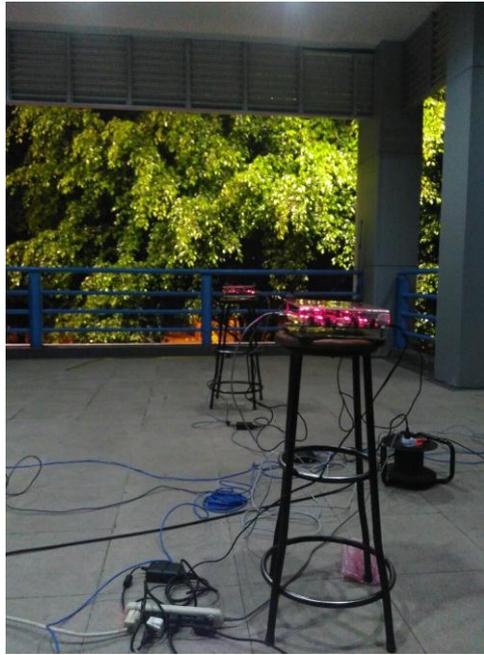
1. Menghubungkan PC dan modul WARP menggunakan kabel LAN yang terhubung pada *switch gigabit ethernet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.
2. Mengatur IP pada PC sesuai dengan IP ketentuan perangkat WARP yaitu 10.0.0.xx dengan subnet mask 255.255.255.0



3. Mengkonfigurasi *Address Resolution Protocol* (ARP) dengan *command prompt* dan masuk sebagai administrator dengan mengetikkan *comment* :
arp -a : Mengecek tabel ARP
arp -s 10.0.0.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff : Mengeset ARP
4. Mengatur nomor IP pada perangkat WARP menjadi 10.0.0.1 untuk node 1 (pengirim), 10.0.0.2 untuk node 2 (relay), 10.0.0.3 untuk node 3 (relay) dan 10.0.0.4 untuk node 4 (penerima). Pengeturan dilakukan dengan cara mengatur *dipswitch* seperti gambar 3.7.
5. Memeriksa koneksi antara PC dengan perangkat WARP. Pemeriksaan koneksi antara PC dan WARP dapat dilakukan melalui *command prompt* dengan melakukan ping pada masing-masing IP node atau melalui matlab, jika menggunakan matlab maka pada *comanad window* diketikkan “ *wl_setup* “ untuk pengesetan interkoneksi antara PC dengan perangkat kemudian memasukkan IP PC yang digunakan, setelah pengesetan *wl_setup* langkah selanjutnya yaitu dengan mengetikkan “*wl_initNodes(4)*”. Angka (4) dari perintah *wl_initNodes(4)* mengartikan bahwa terdapat empat buah WARP yang terkoneksi.

LAMPIRAN PENGUKURAN

Kondisi relay



Kondisi S-R-D



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ummul Khair, anak kelima dari lima bersaudara yang lahir di Padang Ganting pada tanggal 7 Maret 1993. Penulis memulai pendidikan tingkat SD pada tahun 1998 di SDN 08 Padang Ganting, Sumatera Barat. Lulus dari SMPN 1 Padang Ganting pada tahun 2007, dan SMAN 3 Batusangkar pada tahun 2010. Gelar Ahli Madya (D3) diperoleh pada tahun 2013 dari Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan tingkat Sarjana di Bidang Studi Teknik Telekomunikasi dan Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan lulus pada tahun 2016. Penulis melanjutkan ke tingkat Magister pada tahun 2016. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: ummkha7@gmail.com.

