

PERFORMANSI SISTEM KOMUNIKASI KOOPERATIF MENGUNAKAN TEKNIK *AMPLIFY AND FORWARD* (AF) DENGAN MODULASI *QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING* (QPSK)

Alvin Yazlin¹, Ali Mustofa, ST., MT.², M. Fauzan Edy Purnomo. ST., MT.³

Abstrak— Pada media nirkabel sinyal yang dikirimkan sering mengalami gangguan yang dapat menurunkan kinerja sistem. Hal ini dapat membuat kondisi kanal menurun, mengakibatkan kapasitas kanal dan keandalan data yang dikirimkan juga menurun. Komponen yang termasuk gangguan tersebut adalah *multipath fading*.

Salah satu cara untuk mengurangi efek *fading* adalah dengan menggunakan antena jamak pada sisi penerima, proses ini disebut sistem komunikasi kooperatif. Sistem komunikasi kooperatif digunakan untuk mengurangi data rusak pada proses pengiriman data. Pada skripsi ini akan dibahas mengenai pengaruh sistem komunikasi kooperatif pada bagian penerima. Dilakukan perbandingan antara sistem komunikasi kooperatif dengan sistem komunikasi non kooperatif. Pada sistem komunikasi kooperatif juga diterapkan teknik *amplify and forward* (AF) agar sistem menjadi lebih stabil terhadap gangguan AWGN dan *multipath fading*. Dilakukan juga perbandingan antara sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *amplify and forward* (AF) dan sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik *amplify and forward* (AF).

Dari hasil perhitungan dan analisis didapatkan bahwa sistem komunikasi kooperatif membuat sistem menjadi lebih stabil terhadap gangguan AWGN dan mengurangi *symbol error rate* (SER) sistem. Sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *amplify and forward* (AF) lebih cepat mengurangi nilai SER saat penerima memiliki E_b/N_0 tinggi. Pada *signal noise to ratio* (SNR) 30dB, sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik *amplify and forward* (AF) mencapai nilai $SER=0,001$ saat penerima memiliki $E_b/N_0=15dB$ dan sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *amplify and forward* (AF) mencapai $SER=0,001167$ saat penerima memiliki $E_b/N_0=13dB$.

Kata Kunci—QPSK, Amplify And Forward, Sistem Komunikasi Kooperatif, SER QPSK

I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi komunikasi berkembang sangat pesat. Peralatan komunikasi yang dulu menggunakan media kabel mulai beralih ke media nirkabel karena memiliki banyak keunggulan, antara lain praktis dan mempunyai mobilitas tinggi. Tetapi dalam penerapan sistem komunikasi nirkabel banyak tantangan yang harus dihadapi. Pada media nirkabel sinyal yang dikirimkan sering mengalami gangguan yang dapat menurunkan kinerja sistem. Hal ini dapat membuat kondisi kanal menurun, mengakibatkan kapasitas kanal dan keandalan dari data yang dikirimkan juga menurun.

¹ Alvin Yazlin adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya; email: alvinliebe@yahoo.com

² Ali Mustofa, ST., MT. adalah staf pengajar Teknik Elektro Universitas Brawijaya

³ M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT. adalah staf pengajar Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Gangguan pada sistem komunikasi nirkabel yang paling dominan adalah *multipath fading*. “Dapat dilakukan beberapa teknik *diversity* seperti pemberian banyak antena yang menyebar agar dapat menurunkan gangguan yang disebabkan oleh *multipath fading*. Tetapi muncul masalah baru karena beberapa perangkat nirkabel ada yang belum mendukung dengan pemberian banyak antena. Maka dikembangkan teknik baru untuk mengatasi keterbatasan tersebut, yaitu menggunakan sistem komunikasi kooperatif” (Su, Sadek, Liu, 2007).

Pada sistem komunikasi kooperatif, pengirim mengirimkan informasi secara *broadcast* ke penerima dan *relay*, *relay* merupakan pengguna lain yang berada di sekitar penerima. Sinyal yang diterima oleh *relay* akan diolah terlebih dahulu kemudian dikirimkan ke penerima. Sinyal yang diterima dari pengirim atau *relay* akan mengalami proses penggabungan di penerima. Dalam prosesnya jalur pengiriman yang terjadi saling bebas satu sama lain.

Protokol *relay* kooperatif yang digunakan adalah *amplify and forward* (AF). Pada teknik AF, ketika sinyal yang diterima dalam kondisi terkena gangguan, sinyal tetap dikuatkan dan dikirimkan ke penerima. Dari uraian latar belakang tersebut maka pada skripsi ini akan menganalisis performansi sistem komunikasi kooperatif menggunakan teknik *amplify and forward* (AF) dengan modulasi *quadrature phase shift keying* (QPSK).

II. DASAR TEORI

A. Modulasi

Modulasi adalah proses pengkodean informasi dari sumber pesan dengan cara yang sesuai dengan proses transmisi. Pada modulasi digunakan sinyal *carrier* yang memiliki nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai frekuensi sinyal pesan. Pada umumnya modulasi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah amplitudo, fasa, atau frekuensi dari sinyal *carrier* sesuai dengan amplitudo sinyal pesan. Akan tetapi pada perkembangannya teknik modulasi sudah dapat mengkombinasikan perubahan amplitudo, fasa, dan frekuensi dalam suatu teknik modulasi.

Modulasi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Perbedaan modulasi analog dan digital terletak pada sinyal informasi yang dikirimkan. Pada modulasi digital, sinyal informasinya berupa sinyal digital sedangkan pada modulasi analog, sinyal informasinya berupa sinyal analog

B. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK adalah teknik modulasi yang paling sering digunakan diantara teknik modulasi *M-ary PSK* lainnya

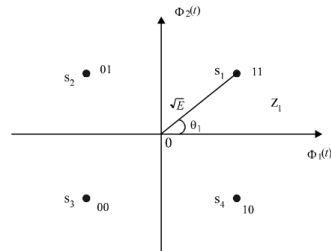
karena tidak mengalami penurunan *bit error rate* (BER) ketika efisiensi *bandwidth* ditingkatkan. Sinyal QPSK dapat dituliskan pada persamaan (2.1) :

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), 0 \leq t \leq T, i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

dengan,

$$\theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{4} \quad (2)$$

Fasa sinyal awal adalah $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$. Frekuensi pembawa dipilih sebagai kelipatan dari *symbol rate* (laju simbol). Oleh karena itu, pada setiap interval simbol ($kT, (k+1)T$), fasa sinyal awal juga merupakan salah satu dari empat fasa sinyal QPSK.



Gambar 1. Konstelasi Sinyal QPSK

Pada QPSK, *bit* data dibagi menjadi kelompok dari dua *bit*, disebut *dibit*. Ada empat kemungkinan *dibit*, yaitu 00, 01, 10, dan 11. Masing-masing dari empat sinyal QPSK melambangkan salah satu *dibit*. Koordinat dari titik-titik sinyal ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat Sinyal QPSK

Dibit	Fasa θ_i	$s_{11} = \sqrt{E} \cos \theta_i$	$s_{12} = \sqrt{E} \sin \theta_i$
11	$\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
01	$3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
00	$-3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$
10	$-\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$

Sinyal QPSK untuk setiap saat pada sumbu t dapat ditulis sebagai :

$$s(t) = \frac{A}{\sqrt{2}} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{A}{\sqrt{2}} Q(t) \sin 2\pi f_c t, -\infty < t < \infty \quad (3)$$

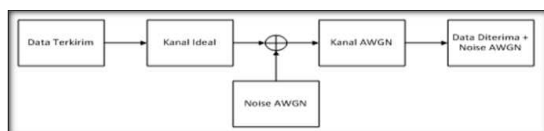
$I(t)$ dan $Q(t)$ adalah deretan pulsa yang ditentukan oleh *bit* urutan ganjil dan *bit* urutan genap secara berturut-turut.

$$I(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} I_k p(t - kT) \quad Q(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_k p(t - kT) \quad (4)$$

Dengan $I_k = \pm 1$ dan $Q_k = \pm 1$. Pemetaan diantara *logic* data dan I_k atau Q_k adalah $1 \rightarrow 1$ dan $0 \rightarrow -1$. $p(t)$ adalah fungsi pembentukan sinyal rectangular yang didefinisikan pada $(0, T)$.

C. Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim. Artinya, kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN dapat dimodelkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2. Kanal Additive White Gaussian Noise

Noise AWGN merupakan *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan nirkabel manapun, memiliki sifat-sifat *additive*, *white*, dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak bergantung pada frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*.

Besarnya daya *noise* AWGN dapat dinyatakan dalam Persamaan (5) berikut :

$$N_o = k \cdot T \cdot B \quad (5)$$

dengan :

N_o = daya *noise* saluran transmisi (J Hz atau watt)

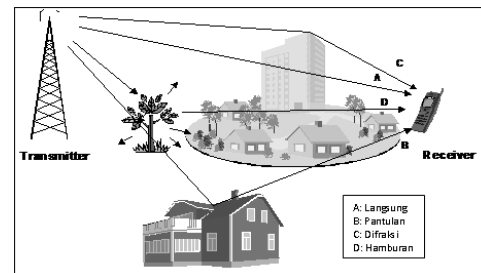
k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = temperature operasi sistem (K)

B = bandwidth (Hz)

D. Multipath Fading

Fading merupakan karakteristik utama dalam propagasi radio bergerak. *Fading* dapat didefinisikan sebagai perubahan fase, polarisasi dan level dari suatu sinyal terhadap waktu. Definisi dasar dari *fading* yang paling umum adalah yang berkaitan dengan mekanisme propagasi yang melibatkan refleksi, difraksi, hamburan dan redaman gelombang radio.



Gambar 3. Fenomena Multipath Fading

Selama pengiriman lingkungan selalu berubah, maka fasa, redaman, *delay*, dan *doppler shift* dari sinyal merupakan peubah acak. Di bagian penerima, ketika sejumlah sinyal yang diterima digabungkan, pada titik yang sama sinyal-sinyal tersebut dapat saling menjumlahkan (*konstruktif*) atau saling mengurangi (*destruktif*).

Karakteristik pertama dari medium *multipath* adalah penyebaran waktu atas sinyal yang dikirimkan melalui kanal. Karakteristik kedua adalah akibat perubahan waktu dalam struktur medium. Sebagai hasil dari perubahan waktu ini, sifat *multipath* akan berubah terhadap waktu. Sebab jika sinyal pulsa dikirimkan lagi, maka terjadi perubahan pada rentetan sinyal terima. Perubahan waktu muncul tidak dapat diprediksi terhadap pengguna kanal, sehingga kanal *multipath* berubah terhadap waktu. Suatu sinyal pengiriman pada umumnya dapat ditunjukkan dalam Persamaan (6).

$$s(t) = \text{Re}[s_1(t)e^{j2\pi f_c t}] \quad (6)$$

dengan,

$s_1(t)$: sinyal asli

f_c : frekuensi *carrier* (Hz)

t : waktu (s)

Pengaruh *fading* terhadap level sinyal terima adalah dapat menguatkan ataupun melemahkan tergantung fasa dari sinyal resultan masing-masing path. *Multipath* dalam kanal radio menyebabkan perubahan yang cepat dari amplitudo kuat sinyal, modulasi frekuensi acak berkaitan dengan efek *doppler* pada sinyal *multipath* yang berbeda-

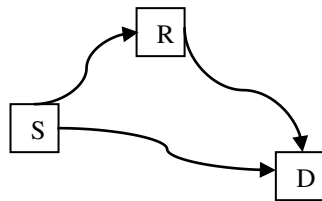
beda dan dispersi waktu (*echo*) yang disebabkan oleh *delay* propagasi *multipath*.

E. Sistem Komunikasi Kooperatif

Sistem komunikasi kooperatif diciptakan untuk mengurangi pengaruh *fading* pada kanal nirkabel, sehingga memperbaiki kinerja sistem. Sistem komunikasi kooperatif merupakan suatu metode yang memanfaatkan antenna dari pengguna lain dengan prinsip transmit diversity untuk mendapatkan suatu antenna virtual jamak dengan menggunakan lintasan yang berbeda dalam mengirimkan suatu data. Sehingga dibentuk suatu distribusi banyak antenna. Tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi tambahan yang dapat membantu proses penerjemahan informasi di sisi penerima.

Pada sistem komunikasi kooperatif, pengirim mengirimkan informasi secara broadcast ke penerima dan ke *relay* yang merupakan pengguna lain dalam area yang berdekatan. Kemudian sinyal yang diterima oleh *relay* akan diolah terlebih dahulu untuk kemudian dikirimkan ke penerima. Sinyal yang diterima dari pengirim maupun dari *relay* akan mengalami proses penggabungan di penerima. Dalam prosesnya jalur pengiriman yang terjadi saling bebas satu sama lain. Lebih lanjut diusulkan sebuah skema *diversity* kooperatif menggunakan space time code, yaitu sebuah skema *diversity* kooperatif terdiri dari dua tahap.

Pertama, tahap titik sumber mengirimkan informasi ke *relay*, tahap ini disebut tahap distribusi (*direct transmission*). Dan tahap kedua, titik sumber dan *relay* bekerja sama untuk mengirim informasi ke penerima, tahap ini disebut tahap pengiriman. Karena sifat broadcast media nirkabel, tujuannya dapat mengartikan titik sumber dan pada tahap distribusi.

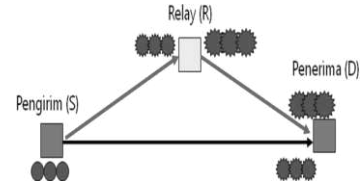


Gambar 4. Skenario Relay

Relay merupakan terminal yang hanya digunakan untuk mengirim ulang data yang diterima menuju ke penerima. Pengirim dapat mengirimkan data ke penerima melalui dua jalur yaitu jalur langsung menuju penerima atau jalur melalui relay. Jadi relay ini bukanlah sebuah penerima, yang berfungsi sebagai relay adalah pengguna lain yang berada di sekitarnya. Dalam proses pengiriman, pengguna lain harus menyediakan slot khusus untuk menampung data pengguna.

F. Amplify and Forward (AF)

Metode *amplify and forward* akan mengukur sinyal yang diterima untuk memenuhi batasan daya sendiri dan mengirimkan kembali untuk kooperatif. Setiap pengguna menerima sinyal yang terkena gangguan dari proses pengiriman sinyal, kemudian sinyal tersebut dikuatkan dan dikirimkan kembali. Meskipun gangguan dikuatkan oleh sistem kooperatif, penerima dapat membuat keputusan yang lebih baik pada bit yang dikirimkan dengan cara menggabungkan dua sinyal yang diterima dari pengguna dan *relay* yang telah terkena gangguan.



Gambar 5. Amplify and Forward

Pada metode AF ini sinyal yang diterima oleh *relay* akan dikuatkan terlebih dahulu sebelum dikirimkan ke penerima. Metode ini dinamakan dengan metode *fixed protocol* yang banyak digunakan ketika waktu pemrosesan yang dimiliki *relay* sedikit sedangkan daya yang tersedia banyak sehingga proses *decoder* dan *encoder* dikurangi dan diganti dengan penguatan.

Untuk konstanta penguatan AF menggunakan persamaan (7) Untuk konstanta penguatan AF menggunakan persamaan (2.10)

$$AF = \frac{3(M-1)}{8M} + \frac{\sin \frac{2\pi}{M}}{4\pi} - \frac{\sin \frac{4\pi}{M}}{32\pi} \quad (7)$$

dengan, $M = 4$ untuk QPSK. Setelah dimasukkan nilai $M=4$ maka $AF = \frac{9}{32} + \frac{1}{4\pi} = 0,3608$.

G. Parameter Performansi Sistem

E_b/N_0 adalah suatu parameter dalam komunikasi digital. Parameter ini berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk memenuhi laju data digital dan sebagai ukuran standar kinerja sistem komunikasi digital. Perhitungan E_b/N_0 ketika menentukan performansi bit error rate (BER) pada skema modulasi digital menggunakan persamaan (8).

$$\frac{E_b}{N_0} = 0,5 \frac{E_s}{N_0} = 0,5 SNR \quad (8)$$

Keterangan :

E_b/N_0 : energi bit terhadap *noise*

E_s/N_0 : energi symbol terhadap *noise*

SNR : *signal noise to ratio*

SER dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah error bit terhadap total bit yang diterima.

$$P_{b,QPSK} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2}{E_b/N_0}}} \right] \quad (9)$$

III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan pemodelan sistem dan algoritma dari sistem komunikasi kooperatif dengan gangguan AWGN, pembangkitan kanal, teknik modulasi pengolahan bit-bit data dan proses equalisasi. Berikut ini adalah daftar singkatan yang digunakan untuk perencanaan dan percobaan simulasi :

AF : *amplify and forward*

MRC : *Maximal Ratio Combining*

SD : *source to destination*

SR : *source to relay*

SRD : *source to relay to destination*

SKK : sistem komunikasi kooperatif

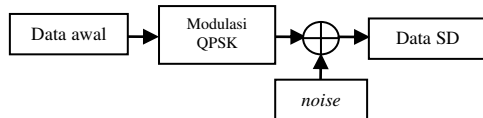
RD : *relay to destination*

Pada skripsi ini akan dilakukan simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF dan sistem komunikasi kooperatif dengan AF dengan kondisi sebagai

berikut :

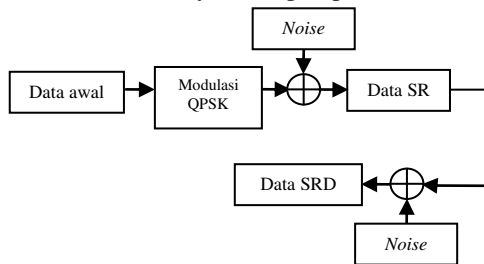
1. Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN.
2. Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan *multipath fading*.
3. Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*.
4. Simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*.

A. Blok Diagram



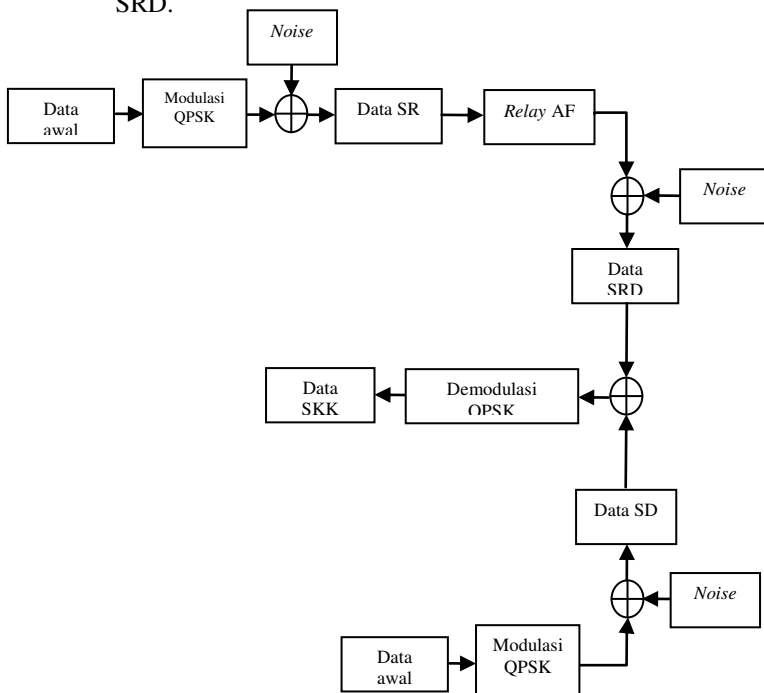
Gambar 6. Pengiriman Source to Destination

Gambar 6. masukan *source to destination* menggunakan modulasi QPSK. Lalu kanal di pengaruhi AWGN kemudian hasilnya disimpan pada data SD.



Gambar 7. Pengiriman Source to Relay to Destination

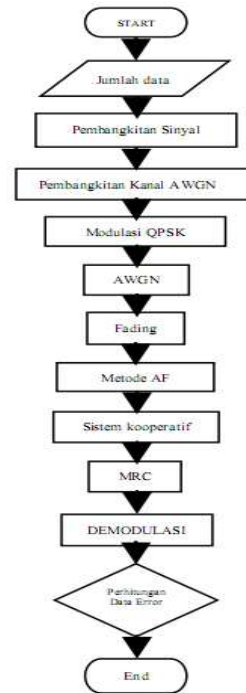
Gambar 7. menunjukan sistem SRD melalui dua tahap yaitu *source to relay* (SR) dan *relay to destination* (RD). Pada tahap SR masukan menggunakan modulasi QPSK. Lalu kanal dipengaruhi *noise* yang kemudian hasilnya ditunjukkan pada data SR. Pada tahap RD, kanal diberikan *noise*. Kemudian hasilnya disimpan pada data SRD.



Gambar 8. Sistem Komunikasi Kooperatif Dengan Teknik AF

Pada Gambar 8. sistem dibagi menjadi tiga tahap yaitu *source to relay to destination* (SRD), *source to destination* (SD) dan penggabungan SRD dengan SD. Pada sistem SD kanal dipengaruhi AWGN yang kemudian hasilnya disimpan pada data SD. Sedangkan sistem SRD sistem menggunakan *relay* dengan teknik *amplify and forward* (AF) yang hasilnya disimpan pada data SRD. Lalu tahap selanjutnya dilakukan perbandingan data SRD dengan data SD lalu dilakukan demodulasi QPSK yang hasilnya ditunjukkan pada data SKK.

Untuk sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF, komponen *relay* yang digunakan adalah *relay* biasa yang berfungsi meneruskan data informasi tanpa ada proses penguatan.



Gambar 9. Diagram Alir Kinerja Sistem

B. Prinsip Kerja

Pada *input* ditentukan jumlah data yang ingin disimulasikan lalu dilakukan pembangkitan sinyal, kemudian dilakukan pembangkitan kanal AWGN. Setelah terbentuk modulasi QPSK, modulasi dipengaruhi oleh AWGN dan *fading*. Lalu dilakukan teknik AF (*amplify and forward*) untuk sistem komunikasi kooperatif, setelah semua data diperoleh dilakukan *combining* dan demodulasi untuk mengembalikan sinyal informasi menjadi data awal.

C. Parameter Simulasi

Pembuatan skripsi ini menggunakan simulasi dengan parameter sebagai berikut :

1. Masukan data biner yang dibangkitkan sebanyak 10.000 data yang merupakan data acak. untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} maka maksimal data rusak adalah 10 bit.
2. Modulasi yang digunakan pada sistem komunikasi kooperatif adalah QPSK.
3. Perhitungan parameter kanal dianggap sempurna.
4. Sistem terdiri dari satu pengirim, satu *relay* dan satu penerima.
5. Kanal propagasi yang dipakai dalam simulasi diasumsikan berdistribusi *rayleigh*.
6. Kanal dipengaruhi oleh *noise*. *Noise* berupa AWGN, *multipath fading* atau keduanya.

7. Pada sisi penerima menggunakan *maximal ratio combining*.
8. Kondisi kanal diasumsikan sama selama satu periode pengiriman data.
9. SNR akan divariasikan dari 0 dB hingga 30 dB.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Simulasi

1. Proses Modulasi

Simulasi dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem komunikasi non kooperatif dan sistem komunikasi kooperatif. Pada sistem komunikasi non kooperatif, simulasi menggunakan satu pengirim dan satu penerima. Sedangkan pada sistem komunikasi kooperatif, simulasi menggunakan satu pengirim, satu relay dan satu penerima.

2. Pembangkitan Bit Informasi

Bit informasi dibangkitkan secara acak dengan menggunakan fungsi *randint* pada Matlab dengan *state* tertentu sehingga hasilnya akan saling bebas dan tidak mempengaruhi satu dengan yang lain serta memungkinkan untuk pengulangan atau mendapatkan data yang sama pada *state* yang sama.

Bit yang dibangkitkan harus memenuhi kriteria minimal dari perhitungan. Dalam simulasi ini dibangkitkan data acak sebanyak 10.000 bit untuk menghasilkan BER sebesar 10^{-3} (diperoleh dari persamaan 2.23). Proses pembangkitan bit data pada matlab adalah sebagai berikut :

```
jmldata=10000;
dataawal=randint(1, jmldata, [0 1]);
```

Sehingga dihasilkan bilangan acak biner 0 dan 1 sebanyak 10.000 bit.

3. Proses Modulasi

Modulasi yang digunakan oleh sistem komunikasi kooperatif adalah QPSK. Pada modulasi QPSK, setiap bit data yang masuk akan didistribusikan pada kanal *Inphase* (I) dan *Quadrature* (Q). Pada QPSK, tiap simbol mewakili dua bit data, sehingga *bit rate* simbol (*output*) sama dengan setengah *bit rate input* (bit informasi).

Pada sistem dibangkitkan sejumlah 10.000 bit data sebagai sinyal informasi kemudian data diberikan level amplitudo, dimana bit '0' diberikan level -1 dan bit '1' diberikan level 1. Untuk mendistribusikan setiap bit data yang masuk pada kanal *In Phase* (I) dan kanal *Quadrature* (Q) maka ukuran matriks data diubah menjadi 2 baris dengan bantuan perintah *reshape*. Baris pertama merupakan bilangan real (*In Phase*) sedangkan pada baris 2 dikalikan dengan 'i' sehingga menjadi bilangan imajiner.

Jumlah dari bilangan *real* (*In Phase*) dan imajiner (*Quadrature*) ini merupakan sinyal informasi yang sudah dimodulasi QPSK. Pada konstelasi modulasi QPSK diasumsikan energi total adalah satu, sehingga amplitudo sebesar $E_t = A^2 + A^2$, maka $2A^2 = 1$, $A^2 = 1/2$ lalu amplitudo dikalikan $A = \sqrt{1/2}$. Besarnya amplitudo pada kanal I dan kanal Q yaitu $\sqrt{1/2}$ atau 0.707.

Pada simulasi matlab, modulasi QPSK disimulasikan dengan menggunakan perintah berikut :

```
nr_data_bits=10000;
nr_symbols=nr_data_bits/2;
```

```
b_data = (randn(1, nr_data_bits) > .5);
b = [b_data];
d=zeros(1,length(b)/2);
```

B. Nilai Acuan E_b/N_0 Pada Penerima

Variasi masukan SNR dilakukan untuk mendapatkan nilai BER terbaik yaitu 10^{-3} . Sebelum melakukan simulasi terlebih dahulu menentukan nilai E_b/N_0 menggunakan persamaan (2.18).

Untuk masukan SNR 0dB :

$$\frac{E_b}{N_0} = 0,5 \times SNR$$

$$= 0,5 \times 0$$

$$= 0\text{dB}$$

Untuk masukan SNR 10dB :

$$\frac{E_b}{N_0} = 0,5 \times SNR$$

$$= 0,5 \times 10$$

$$= 5\text{dB}$$

Untuk masukan SNR 20dB :

$$\frac{E_b}{N_0} = 0,5 \times SNR$$

$$= 0,5 \times 20$$

$$= 10\text{dB}$$

Untuk masukan SNR 30dB :

$$\frac{E_b}{N_0} = 0,5 \times SNR$$

$$= 0,5 \times 30$$

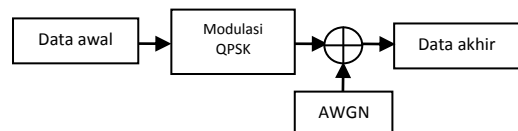
$$= 15\text{dB}$$

Masukan 0dB hanya dilakukan pada simulasi modulasi QPSK saat dipengaruhi AWGN pada sistem komunikasi non kooperatif untuk melihat nilai *noise* saat tidak ada SNR, sedangkan untuk sistem komunikasi kooperatif digunakan masukan SNR 10dB, 20dB dan 30dB.

Nilai E_b/N_0 yang telah dihitung merupakan nilai acuan pada sisi penerima. Untuk SNR 10dB didapatkan nilai $E_b/N_0 = 5\text{dB}$, SNR 20 dB didapatkan nilai $E_b/N_0 = 10\text{dB}$ dan SNR 30dB didapatkan nilai $E_b/N_0 = 15\text{dB}$. Setelah diberikan variasi masukan SNR maka dilihat hasil BER pada setiap E_b/N_0 yang telah ditentukan. Lalu dilakukan perbandingan pada hasil data simulasi dengan tujuan mendapatkan nilai minimal BER = 10^{-3} .

C. Sistem Komunikasi Non Kooperatif

Pada sistem komunikasi non kooperatif diberikan variasi masukan SNR untuk melihat nilai BER pada penerima dan selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai BER pada sistem komunikasi kooperatif. Blok diagram sistem komunikasi non kooperatif ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Gambar Sistem Komunikasi Non Kooperatif

Sistem komunikasi non kooperatif terdiri dari satu pengirim dan satu penerima. Sistem akan dipengaruhi gangguan AWGN.

1. Pembangkitan AWGN

AWGN merupakan *thermal noise* yang memiliki karakteristik statistik distribusi *gaussian* dan memiliki kerapatan spektral yang membentang datar pada hampir keseluruhan spektrum frekuensi.

```
for n=1:length(EbNodB)
    si=2*(round(rand(1,1))-0.5);
```



```
sq=2*(round(rand(1,1))-0.5);
s=si+j*sq;
w=(1/sqrt(2*EbNo(n)))*(randn(1,1)+j*randn(1,1));
r=s+w;
si_=sign(real(r));
sq_=sign(imag(r));
ber1=(1-sum(si==si_))/1;
ber2=(1-sum(sq==sq_))/1;
ber(n)=mean([ber1 ber2]);
```

2. Variasi Masukan SNR

Skrip dibawah ini merupakan skrip dalam simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan teknik *amplify dan forward* proses pemberian variasi dari nilai SNR (*Signal Noise Ratio*). Skrip “SNR” dirubah dengan nilai masukan SNR yang akan disimulasikan.

```
EbNo=SNR.^(EbNodB/10);
```

Nilai SNR divariasikan antara 0-30dB. Apabila SNR diberikan nilai 0 maka pada skrip angka “10” diganti “0”. Selebihnya tetap menggunakan

D. Sistem Komunikasi Kooperatif

Sistem komunikasi kooperatif terdiri dari satu pengirim, satu *relay* dan satu penerima. Pada simulasi sistem komunikasi kooperatif ada beberapa kondisi sebagai berikut :

- Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN.
- Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan *multipath fading*.
- Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*.
- Simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*.

1. Pembangkitan Kanal

AWGN merupakan *thermal noise* yang memiliki karakteristik statistik distribusi *gaussian* dan memiliki kerapatan spektral yang membentang datar pada hampir keseluruhan spektrum frekuensi. Pada simulasi ini, pembangkitan AWGN secara teoritis dilakukan dengan menentukan besarnya *signal to noise ratio* (SNR) dalam bentuk linier terlebih dahulu, sehingga SNR ini merupakan perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*. Inisialisasi data perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi untuk *generate* pada kanal (Pada MATLAB, inisialisasi data adalah sebagai berikut :

```
N= 10^4;
Pt=1;
Pb=Pt/2;
Pr=Pt/2;
snr_db=[0:40];
data_BS1 = ((2*(rand(1,N)>0.5)-1) +
j*(2*(rand(1,N)>0.5)-1));
data=zeros(1,N);
```

Setelah sinyal dimodulasi, sinyal dikirim melalui kanal komunikasi. Perintah pada Matlab yang digunakan untuk *generate* kanal adalah sebagai berikut:

```
channel_BS1_RS1=(1/sqrt(2)).*[randn(1,N)+
j*randn(1,N)];
```

```
a11=sum((abs(channel_BS1_RS1)))/N;
channel_RS1_MS1=(1/sqrt(2)).*[randn(1,N)+j*
randn(1,N)];
b11=sum((abs(channel_RS1_MS1)))/N;
channel_BS1_MS1=(1/sqrt(2)).*[randn(1,N)+j*
randn(1,N)];
c11=sum((abs(channel_BS1_MS1)))/N;
```

2. Pembangkitan kanal AWGN

Untuk pembangkitan kanal AWGN pada sistem komunikasi kooperatif menggunakan skrip sebagai berikut:

```
nbr=(1/sqrt(2)).*(randn(1,N)+j*randn(1,N));
nrm=(1/sqrt(2)).*(randn(1,N)+j*randn(1,N));
nbm=(1/sqrt(2)).*(randn(1,N)+j*randn(1,N));
```

Skrip baris pertama merupakan baris pemberian AWGN pada sisi *relay* yang dari jalur *source to relay*. Baris kedua pemberian AWGN pada sisi penerima dari jalur *relay to desination* dan baris ketiga pemberian AWGN pada sisi penerima dari jalur *source to desination*.

3. Pemberian Multipath Fading

Untuk pemberian *multipath fading* pada sistem komunikasi kooperatif menggunakan skrip sebagai berikut :

```
channel_BS1_RS1=(1/sqrt(2)).*[randn(1,N)+j*randn(1,N)];
a11=sum((abs(channel_BS1_RS1)))/N;
channel_RS1_MS1=(1/sqrt(2)).*[randn(1,N)+j*randn(1,N)];
b11=sum((abs(channel_RS1_MS1)))/N;
channel_BS1_MS1=(1/sqrt(2)).*[randn(1,N)+j*randn(1,N)];
c11=sum((abs(channel_BS1_MS1)))/N;
```

4. Variasi Masukan SNR

Skrip dibawah ini merupakan skrip dalam simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan teknik *amplify dan forward* proses pemberian variasi dari nilai SNR (*Signal Noise Ratio*). Skrip “SNR” dirubah dengan nilai masukan SNR yang akan disimulasikan.

```
for i=1:length(snr_db)
snr_linear(i)=SNR.^(snr_db(i)/10);
No(i)=Pt./snr_linear(i);
```

5. Teknik Amplify and Forward (AF)

Setelah penulisan skrip untuk simulasi sistem komunikasi kooperatif, dilakukan penambahan teknik *relay* AF dengan skrip sebagai berikut :

```
p_th=((
0.3608*No.^2)/0.25).*(1/Pb).*((1/Pb)+(1/Pr));
```

Nilai 0.3608 merupakan konstanta AF yang diperoleh dari persamaan 7.

6. Penerima Sistem Kooperatif

Pemodelan penerima pada sistem komunikasi kooperatif dibedakan menjadi dua, yaitu penerima pada transmisi SRD (*source to relay to destination*) dan penerima pada kanal SD (*source to destination*). Pada sistem komunikasi kooperatif akan dilakukan *equalisasi* dengan *maximal ratio combining* (MRC). MRC bertujuan untuk mendapatkan hasil data yang dikirimkan dengan menjumlahkan semua sinyal informasi yang diterima kemudian hasil penjumlahan tersebut dideteksi. Sedangkan *equalizer* bertujuan untuk menekan sinyal (memperkuat) sehingga *error* dapat diperkecil. Penguatan pada kanal dilakukan dalam sistem komunikasi kooperatif setelah diberikan *noise* AWGN atau setelah dilakukan proses pembangkitan kanal AWGN. Dalam simulasi menggunakan matlab dapat dilakukan penulisan skrip seperti yang ada dibawah ini.

```
Betal=sqrt(Pr./(a11^2.*Pb+No(i)));
```

Pada skrip dibawah ini merupakan skrip simulasi yang dijalankan pada jalur *source to relay* saat sinyal yang telah bangkitkan pada proses *amplification* lalu diteruskan ke *relay*. Hal ini merupakan tahap pertama dari SRD (*Source to Relay to Destination*), yaitu *source* menuju ke *relay*.

```
%%Penerimaan data pada relay dari BS
data_BS1_RS1=sqrt(Pb/2).*data_BS1.*channel_BS1_RS1+sqrt(No(i))*nrm;
```

Tahapan selanjutnya adalah tahapan kedua dari proses SRD, proses tersebut merupakan proses *relay* meneruskan pengiriman ke *destination*. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya bahwa dalam sistem kooperatif dibedakan menjadi dua yaitu SRD dan SD tanpa *Relay*. Simulasi tersebut dapat dilakukan dengan skrip dibawah ini :

```
%% Penerimaan data pada MS dari RS
data_RS1_MS1=Betal.*data_BS1_RS1.*channel_RS1_MS1+sqrt(No(i))*nrm;%( 5.7712e-014 -1.8746e-014i);
```

Penggunaan sistem kooperatif dengan menggunakan sistem SD dilakukan dengan langsung menuju *relay* atau dengan kata lain *relay* yang dimaksud menjadi *source* dalam sistem ini, jadi *relay* berfungsi sebagai penerima bukan sebagai *relay*. Sehingga proses tersebut menjadi lebih singkat.skrip yang dipakai dapat dijelaskan yang ada dibawah ini.

```
%% Penerimaan data pada MS dari BS
data_BS1_MS1=sqrt(Pb/2).*data_BS1.*channel_BS1_MS1+sqrt(No(i))*nrm;%( 5.8496e-008 +4.9957e-007i);
```

```
%% MRC AT RECEIVER
data_rd=data_RS1_MS1.*conj(channel_BS1_RS1.*channel_RS1_MS1)+
data_BS1_MS1.*conj(channel_BS1_MS1);
```

Setelah penerimaan pada MRC maka selanjutnya adalah proses penerimaan sinyal kembali dengan yang biasa dinamakan proses demodulasi. Proses pengembalian sinyal setelah mengalami beberapa tahapan proses dan dikembalikan kembali. Setelah proses demodulasi baru dilakukan proses penghitungan *error* dalam (dB).

Listing program pada Matlab untuk demodulasi adalah sebagai berikut:

```
%% DEMODULATION
g=data_rd;
c=real(g);
d=imag(g);
data(find(c>=0 & d>=0))=1+1*j;
data(find(c>=0 & d<0))=1-1*j;
data(find(c<0 & d>=0))=-1+1*j;
data(find(c<0 & d<0))=-1-1*j;
```

Proses untuk menghitung data *error* berupa *frame* diubah kembali ke dalam deretan bit yang terdiri atas satu baris. Proses tersebut dilakukan dengan mengurangi proses keluaran data dengan masukan data sehingga didapatkan data *error*. Akan tetapi sebelum dilakukan itu data dilakukan demodulasi terlebih dahulu agar data *error* bisa diperoleh. *Listing* program pada Matlab untuk simulasi tersebut adalah sebagai berikut :

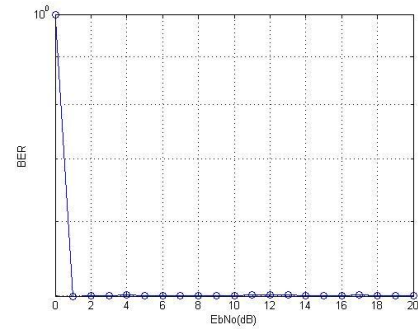
```
error_af(i)=size(find((data_BS1- data)),2);
```

E. Analisa Data

Setelah dilakukan proses simulasi dengan variasi masukan SNR, hasil data dituliskan dalam bentuk grafik dan tabel data.

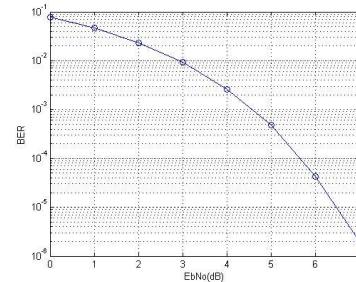
1. Sistem Komunikasi Non Kooperatif

Pada simulasi sitem komunikasi non kooperatif diberikan masukan SNR 0dB, dan 30dB. Grafik simulasi ditunjukkan pada Gambar 11. dan Gambar 12.



Gambar 11. Sinyal Modulasi QPSK Dipengaruhi AWGN Pada SNR 0dB

Saat sinyal modulasi QPSK dipengaruhi AWGN tanpa diberikan masukan SNR (SNR=0dB) terlihat *noise* terus terjadi dan tidak menurun.



Gambar 12. Sinyal Modulasi QPSK Dipengaruhi AWGN Pada SNR 30dB

Setelah diberikan masukan SNR 30dB, *noise* AWGN terlihat menurun dan sudah mencapai nilai BER=0 saat $E_b/N_0=8\text{dB}$.

Tabel 2. Nilai BER Modulasi QPSK Dipengaruhi AWGN

Eb/N ₀ (dB)	BER	
	SNR=0dB	SNR=30dB
0	1	0,07844
1	0,49994	0,046945
2	0,50033	0,023515
3	0,49955	0,009322
4	0,50053	0,002566
5	0,49974	0,000477
6	0,50004	4,25e-005
7	0,50051	2e-006
8	0,50065	0
9	0,49985	0
10	0,49951	0

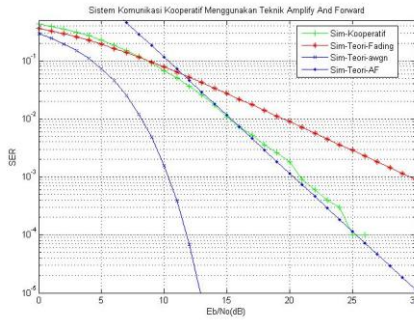
2. Sistem Komunikasi Kooperatif

Pada setiap gambar simulasi terdapat 4 simulasi dengan kondisi sistem komunikasi kooperatif yang berbeda. Hal ini dilakukan agar bias dilakukan perbandingan nilai SER pada setiap kondisi tersebut. Kondisi 4 simulasi adalah sebagai berikut :

- Simulasi kooperatif : Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*.
- Simulasi teori AWGN : Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN.
- Simulasi teori *fading* : Simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan *multipath fading*.

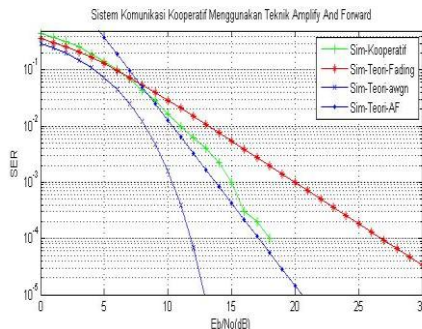
- Simulasi teori AF : Simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*

Setelah diberikan masukan SNR 10dB dan SNR 30dB. Grafik simulasi ditunjukkan pada Gambar 13. dan Gambar 14.



Gambar 13. Sistem Komunikasi Kooperatif Pada SNR 10dB

Pada Gambar 13. saat $E_b/N_0=5\text{dB}$, nilai SER AWGN= 0,073938 dan teori *fading* mempunyai nilai SER=0,19322. Sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF mempunyai nilai SER=0,2286 dan sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF mempunyai nilai SER=1,15456. Data hasil simulasi akan ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 14. Sistem Komunikasi Kooperatif Pada SNR 30dB

Pada Gambar 14. saat $E_b/N_0=15\text{dB}$, nilai SER AWGN=1,87E-08 dan teori *fading* mempunyai nilai SER=0,00548. Sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF mempunyai nilai SER=0,001 dan Sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF mempunyai nilai SER=0,000428. Data hasil simulasi akan ditunjukkan pada Tabel 4.

Pada sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan teknik AF (*amplify and forward*) semakin besar nilai SNR yang diberikan maka nilai SER *fading* semakin menurun dan nilai SER sistem komunikasi kooperatif pada saat E_b/N_0 yang diinginkan juga menurun. Akan tetapi nilai masukan SNR tidak mempengaruhi nilai SER AWGN yang merupakan sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang hanya menerima gangguan AWGN.

F. Data Simulasi

Hasil data diperoleh dari masukan SNR yang berbeda sehingga hal pertama yang perlu diketahui adalah bahwa seberapa besar SNR yang diberikan pada sistem komunikasi kooperatif ini tidak memberikan dampak pada sistem kooperatif AWGN murni tanpa tambahan *fading* ataupun yang lainnya

Tabel 3. Nilai SER AWGN Dengan Variasi Masukan SNR

E_b/N_0 (dB)	SER	E_b/N_0 (dB)	SER
0	0,292139	11	0,000388
1	0,244713	12	6,86e-05
2	0,197235	13	7,94e-06
3	0,151567	14	5,39e-07
4	0,109799	15	1,87e-08
5	0,073938	16	2,8e-10
6	0,045485	17	1,45e-12
7	0,025016	18	1,97e-15
8	0,011973	19	4,99e-19
9	0,004821	20	1,52e-23
10	0,001565	21	3,25e-29

SER merupakan perbandingan data rusak yang terjadi terhadap 10.000 data masukan selama proses simulasi.

Jika dilihat dari nilai SER pada AWGN tidak ada perubahan, hal ini disebabkan pada sistem gangguan yang dialami oleh sistem hanya berasal dari AWGN itu sendiri seperti panas dan lainnya. Tapi apabila dilihat dari jumlah data *error* pada sistem komunikasi kooperatif yang dipengaruhi gangguan AWGN dan *multipath fading* dengan teknik AF dan tanpa teknik AF menunjukkan data yang berbeda dari setiap masukan SNR. Dalam proses simulasi yang dilakukan secara perulangan dengan jumlah 10.000 data. Didapatkan hasil data sebagai berikut :

Tabel 4. Sistem Komunikasi Kooperatif Dengan Masukan SNR 10 dB

E_b/N_0 (dB)	SER		
	<i>Fading</i>	SKK	AF
0	0,3651	0,4377	11,5456
1	0,329216	0,3951	7,284781
2	0,293355	0,3551	4,596386
3	0,25827	0,3118	2,900124
4	0,224683	0,2697	1,829854
5	0,19322	0,2286	1,15456
6	0,164359	0,1858	0,728478
7	0,138406	0,1508	0,459639
8	0,115493	0,1184	0,290012
9	0,095597	0,0917	0,182985
10	0,078573	0,068	0,115456

- *fading* : hasil data dari simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan *multipath fading*.
- SKK: hasil data dari simulasi sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*.
- AF: hasil data simulasi sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF yang menerima gangguan AWGN dan *multipath fading*

Pada Tabel 4. dengan masukan SNR 10dB mempunyai nilai acuan $E_b/N_0=5\text{dB}$. Pada $E_b/N_0=5\text{dB}$ nilai SER *fading*=0,19322, nilai SER SKK=0,2286 dan nilai SER AF=1,15456. Dari data tersebut terlihat bahwa pada saat penerima $E_b/N_0=5\text{dB}$ masih terdapat nilai SER yang cukup tinggi dan teknik AF tidak dapat berfungsi. Karena pada teknik AF, data yang diterima oleh *relay* langsung dikuatkan bersama dengan *noise* yang tercampur dengan data.

Tabel 5. Sistem Komunikasi Kooperatif Dengan Masukan SNR 30 dB

E_b/N_0 (dB)	SER		
	<i>Fading</i>	SKK	AF
0	0,3651	0,4429	11,5456
1	0,312057	0,3831	5,847797
2	0,259848	0,3186	2,961884
3	0,210819	0,2564	1,500181
4	0,166882	0,196	0,759835
5	0,129209	0,1438	0,384853
6	0,098154	0,101	0,194927
7	0,073402	0,0694	0,098729
8	0,05421	0,0431	0,050006
9	0,039649	0,0283	0,025328
10	0,028787	0,0167	0,012828
11	0,020787	0,0098	0,006498
12	0,01495	0,0062	0,003291
13	0,01072	0,0041	0,001167
14	0,00767	0,0022	0,000844
15	0,00548	0,001	0,000428

Pada Tabel 4.5 dengan masukan SNR 30dB mempunyai nilai acuan $E_b/N_0=15$ dB. Pada $E_b/N_0=15$ dB, nilai SER *fading*=0,00548, nilai SER SKK= 0,001 dan nilai SER AF=0,000428. Sistem sudah mencapai target $SER=10^{-3}$ atau 0,001 pada saat E_b/N_0 15dB. Sistem komunikasi kooperatif dengan tanpa teknik AF dan sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF dapat mencapai minimal $SER=10^{-3}$ pada saat E_b/N_0 15dB. Pada data hasil simulasi ini setelah E_b/N_0 11dB menunjukkan bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF lebih baik daripada tanpa teknik AF.

V. KESIMPULAN

Pada proses pengiriman data dengan sistem komunikasi non kooperatif semakin tinggi nilai SNR maka BER semakin kecil. Apabila pada penerima hanya mendapatkan $E_b/N_0=1$ dB maka SNR dengan masukan SNR 10dB menghasilkan BER =0,056304, SNR 20dB menghasilkan BER=0,050208 dan SNR 20dB menghasilkan BER=0,046945.

Pada proses pengiriman data dengan sistem komunikasi kooperatif variasi masukan SNR tidak merubah nilai SER pada AWGN. Apabila pada penerima hanya mendapatkan $E_b/N_0=1$ dB maka menghasilkan SER=0,244713 dengan variasi masukan SNR 0-30dB.

Pada proses pengiriman data dengan sistem komunikasi kooperatif yang dipengaruhi AWGN dan *multipath fading*, semakin tinggi nilai SNR maka nilai SER sistem semakin kecil.

Teknik AF tidak berfungsi dengan baik apabila nilai E_b/N_0 pada penerima rendah, pada SNR=20dB teknik AF berfungsi dengan baik saat $E_b/N_0=19$ dB dengan nilai SER=0,001155 dan pada SNR=30dB saat $E_b/N_0=14$ dB dengan nilai SER=0,000844.

Sistem mencapai SER terbaik saat diberikan masukan SNR 30dB. Sistem komunikasi kooperatif tanpa teknik AF mencapai nilai SER=0,001 saat penerima mendapatkan $E_b/N_0=15$ dB dan sistem komunikasi kooperatif dengan teknik AF mencapai SER=0,001167 ketika $E_b/N_0=13$ dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ender, Bolat. 2003. Study of OFDM Performancy Over AWGN Channels.
- [2] Glisic, Savo. 2004. "Advanced Wireless Communications 4G Technologies", John Wiley &

Sons Ltd, Finland

- [3] Frenzel. Ptinciples of Electronic Communications Systems 3rd ed., McGraw, Hill. 2008
- [4] Jawad, Husain Muhammad. "Cooperative Diversity for Inter-Vehicular Communication" Waterloo, Ontario, Canada. 2008
- [5] Meghdadi, Vahid. 2008 "Wireless Communication"
- [6] Rappaport, Theodore S. 2002. "Wireless Communication Principle and Practice", Edisi ke-2, Prentice Hall.
- [7] Simon, K.M. 1995. "Digital Communication Techniques: Signal Design and Detection" Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [8] Su, W., Sadek, A.K., and Liu, K.J.R., 2007. "Cooperative Communication Protocols in Wireless Network", New Orleans.