

Analisa Kinerja Sistem Komunikasi Kooperatif Kanal Mobile to Mobile Rayleigh Fading Dengan Kanal Antar User Bernilai Tetap

Zulaeha Mabud

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik, Universitas Khairun Ternate
Email : Riset.fte@gmail.com

Abstrak—Pada sistem komunikasi *wireless* terdapat kelebihan yaitu mobilitas yang tinggi. Namun dalam mengimplementasikannya sistem komunikasi *wireless* banyak sekali gangguan yang terjadi. *Fading* merupakan salah satu gangguan yang dapat memperburuk kinerja sistem.

Pada Penelitian ini dianalisa sistem komunikasi kooperatif pada kanal *Rayleigh fading* dengan kanal antar *user* bernilai tetap. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa sistem komunikasi kooperatif kanal *rayleigh fading* dengan penggunaan E_b/N_0 antar *user* sebesar 30 dB memiliki kinerja lebih baik pada kanal AWGN, nilai BER mendekati 10^{-3} dapat dicapai ketika E_b/N_0 kanal *uplink* bernilai sekitar 16 dB. Sedangkan pada kanal antar *user* yang bernilai 0 dB dan 10 dB mengakibatkan kinerja sistem kooperatif menurun, ini disebabkan rendahnya perbandingan E_b/N_0 pada kanal antar *user*. Sehingga untuk menghasilkan BER 10^{-3} , dapat menggunakan kanal antar *user* 30 dB. Selain itu, penggunaan kanal antar *user* 0dB dan 10 dB sistem komunikasi kooperatif memiliki kinerja lebih buruk dibandingkan dengan sistem non kooperatif.

Kata Kunci: Komunikasi kooperatif, *Rayleigh Fading*, AWGN

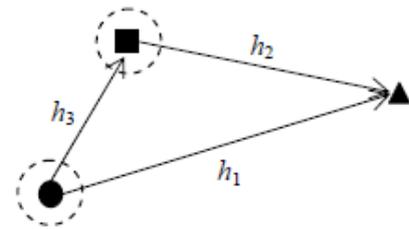
I. PENDAHULUAN

Media *wireless* merupakan media yang paling banyak digunakan. Dalam komunikasi *wireless* terdapat kelebihan yaitu mobilitas yang tinggi. Namun dengan mobilitas user yang tinggi dan ruang dalam wilayah perkotaan yang sempit sehingga gangguan dominan adalah *fading* yang berdistribusi *rayleigh*. *Fading* merupakan salah satu gangguan yang terjadi pada kanal dari sistem komunikasi *wireless* yang menyebabkan kinerja sistem menurun.

Pada *mobile communication system diversity* juga sangat diperlukan, namun dengan adanya kendala yang berkaitan dengan keterbatasan ukuran, biaya hingga *power* transmisi yang kompleks maka penggunaan antena jamak tidak dapat diterapkan. Untuk menghadapi kendala tersebut maka munculah suatu metode yang disebut komunikasi kooperatif. Dalam makalah ini permasalahan yang dibahas adalah bagaimana kinerja sistem komunikasi kooperatif kanal *rayleigh fading* dengan kanal antar user bernilai tetap.

II. PEMODELAN SISTEM

Sistem komunikasi kooperatif pada dasarnya terdiri atas *source*, *relay*, dan *destination*. Model sederhana sistem komunikasi kooperatif yang terdiri atas dua user dapat dilihat pada gambar 1.



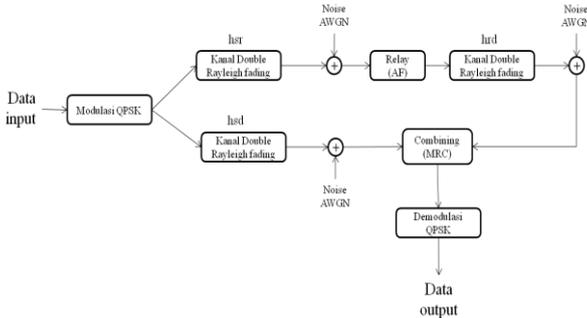
Gambar 1. Model sistem komunikasi kooperatif

Pada komunikasi ini *user* berupa *mobile station* yang bergerak dan *destination* berupa *base station* yang tidak bergerak oleh karena itu pada komunikasi ini digunakan model kanal *mobile-to-mobile* dimana pada penelitian ini menggunakan distribusi *rayleigh fading*. Sistem komunikasi ini dipengaruhi oleh kecepatan *user* yang bergerak dan frekuensi doppler.

Pada simulasi, bit informasi akan dibangkitkan acak sebanyak 100000bit. Pada sistem komunikasi kooperatif, bit informasi tersebut akan dimodulasikan menggunakan modulasi QPSK, data yang sudah termodulasi tersebut dimasukkan ke dalam kanal *mobile-to-mobile* pada *source-relay* yang merupakan kanal SR. Kemudian data diteruskan ke *relay* kemudian dikirim ke *destination*. Data pada kanal *relay* ke *destination* terkena *noise* pada *destination*. Gangguan pada kanal tersebut dapat diatasi dengan cara melakukan penguatan terlebih dahulu pada sinyal informasi sebelum dikirim ke *destination*. Selain itu ada pengiriman informasi dilakukan juga pada kanal *source-relay* dimana data yang diinputkan pertama kali setelah dimodulasikan QPSK langsung dikirim menuju *destination*. Pada kanal h_3 juga terkena *noise*, akan tetapi data dapat langsung dikirimkan ke *destination* tanpa diberi gain (penguatan). Sebelum data dari masing-masing kanal h_1 , h_2 , dan h_3 masuk ke dalam *destination*, data diterima di MRC terlebih dahulu. Pada

Analisa Kinerja Sistem Komunikasi Kooperatif Kanal Mobile to Mobile Rayleigh Fading Dengan Kanal Antar User Bernilai Tetap

MRC dilakukan penggabungan sinyal dari kanal $h_2(t)$ dan kanal $h_3(t)$ kemudian didemodulasi menggunakan QPSK, untuk penjelasan berikutnya dapat dilihat pada blok diagram sistem pada gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram sistem

Metode relaying yang digunakan adalah metode *amplify and forward*. Pada metode ini sinyal yang diterima oleh *relay* dikuatkan terlebih dahulu kemudian dikirimkan ke *destination*. Proses ini dilakukan karena pada saat proses pengiriman daya sinyal yang diterima oleh *relay* melemah. Penguatan yang dilakukan adalah mengembalikan daya sinyal yang diterima di-*relay*. Setiap sinyal yang datang akan dikuatkan, dalam asumsi kondisi kanal dalam kondisi baik, gain penguatan dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$A_1 = \sqrt{\frac{E_2}{E_1 r_1^2}} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1 \sigma_1^2 + \sigma_n^2}} \quad (1)$$

Dimana A_1 merupakan penguatan oleh gain, E_2 merupakan daya rata-rata yang dipancarkan oleh *relay*, r_1 adalah data dari *source* ke *relay* dan σ_n^2 adalah variansi dari noise AWGN.

III. MODEL KANAL Mobile to mobile

Sistem komunikasi seluler memungkinkan kedua terminal komunikasi bergerak, maka paling tepat untuk analisa adalah menggunakan kanal *mobile to mobile*. Model kanal yang dianalisa pada jurnal ini adalah model penghambur cincin ganda dan tanpa LOS (*line of sight*) serta pengaruh noise AWGN pada saat pengiriman sinyal.

A. Kanal AWGN

Secara teoritis *noise* kanal sering dimodelkan sebagai AWGN. *Noise* ini dapat dideskripsikan sebagai proses acak yang terdistribusi *Gaussian* dengan rata-rata (*mean*) sama dengan nol. Proses acak *Gaussian* $n(t)$ merupakan fungsi acak dengan harga n pada saat t , dan dikarakteristikan secara statistik dengan fungsi rapat probabilitas pdf (*probability density function*) *Gaussian* sebagai berikut:

$$P_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

Dengan σ^2 merupakan varian dari v . Grafik pdf *Gaussian* ternormalisasi dari suatu proses acak dengan nilai rata-rata nol diperoleh dengan mengasumsikan standar deviasi (σ) = 1, sehingga nilai *normalized Gaussian density function* pada *zero-mean* process dapat diamati dari perhitungan berikut :

- 1. jika $E[x] = x = 0$

$$P_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} = 0.399$$

- 2. jika $x = 1$

$$P_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{1}\right)^2\right] = 0.242$$

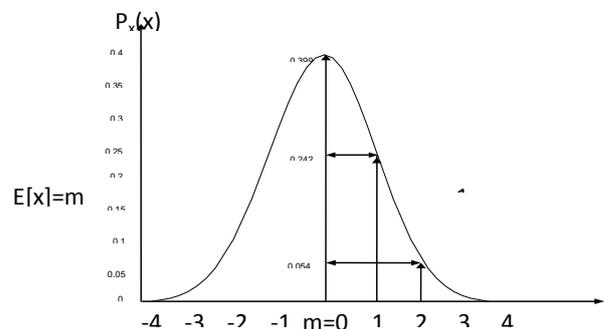
- 3. jika $x = 2$

$$P_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{2}{1}\right)^2\right] = 0.054$$

Dari perhitungan nilai pdf *Gaussian* yang telah didapatkan, dapat dilihat bahwa nilai pdf tertinggi yang diperoleh yaitu pada $x = 0$. Hal ini menunjukkan rata-rata pada proses acak ini adalah nol. Dengan hasil yang diperoleh dapat digambarkan fungsi kerapatan probabilitas *Gaussian* dengan $\sigma = 1$ seperti ditunjukkan pada gambar 3. berikut.

Karakteristik dari spektral *White Gaussian Noise* adalah bahwa *power spectral density* (psd)-nya berharga konstan untuk semua nilai frekuensi pada sistem komunikasi. Atau dengan kata lain, sumber *noise* yang mempunyai psd dengan karakteristik *Gaussian* dan *white* memancarkan jumlah daya *noise* tiap satuan lebar pita yang sama besar pada tiap frekuensi. Oleh karena itu model sederhana dari *White Gaussian noise* menganggap bahwa *power spectral density*-nya *flat* untuk semua frekuensi yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$G_n(f) = \frac{N_0}{2} \text{ watt / Hz} \quad (3)$$



Gambar 2. Fungsi rapat probabilitas *Gaussian* dengan $\sigma = 1$

AWGN merupakan *thermal noise* yang terdistribusi normal dengan nilai rata-rata nol, serta bersifat menambahkan pada sinyal. Pada simulasi ini, pembangkitan AWGN secara teoritis dilakukan dengan menentukan

Analisa Kinerja Sistem Komunikasi Kooperatif Kanal Mobile to Mobile Rayleigh Fading Dengan Kanal Antar User Bernilai Tetap

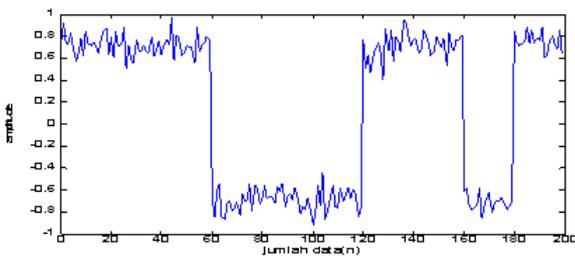
besarnya *signal to noise ratio* (SNR) dalam bentuk linier terlebih dahulu, dimana SNR ini adalah perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*. *Noise* yang ada menyebabkan munculnya varian, besarnya varian yang muncul karena nilai SNR tertentu ditulis dalam persamaan (4).

$$\text{var} = \frac{E_s}{2 \times \text{SNR}} \tag{4}$$

dengan :

- Es = energi sinyal
- SNR = signal to *noise* ratio (dalam linier)
- var = varian yang muncul

Setelah mendapatkan varian pada nilai SNR tertentu, dibangkitkan data acak terdistribusi normal untuk bagian real dan imajiner, kemudian masing-masing data acak tersebut dikalikan dengan besarnya standar deviasi yang telah dihitung, yaitu akar dari varian. *Noise* yang didapat selanjutnya dijumlahkan dengan sinyal. Karena operasi yang digunakan adalah penjumlahan antara *noise* terdistribusi normal atau *Gaussian* dengan sinyal informasi, maka dari itu *noise* ini disebut dengan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), selanjutnya Pembangkitan kanal awgn dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Kanal AWGN

B. Kanal Rayleigh Fading

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *fading* datar (*flat fading*) yang diterima, atau selubung dari satu komponen *multipath*. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau *gaussian* membentuk distribusi *Rayleigh*. Gambar 5 menunjukkan sebuah sinyal selubung yang terdistribusi secara *Rayleigh* sebagai fungsi waktu. Distribusi *Rayleigh* mempunyai fungsi kerapatan probabilitas (probability density function - pdf) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5).

$$p(r_a) = \begin{cases} \frac{r_a}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r_a^2}{2\sigma^2}\right) \\ 0 \end{cases} \tag{5}$$

Ket. ($0 \leq r \leq ; (r \leq 0)$)

dengan σ adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima sebelum detektor. Probabilitas yang menunjukkan selubung dari sinyal yang diterima tidak melebihi suatu harga R tertentu, dimana diperoleh dengan

melakukan integrasi terhadap fungsi kerapatan probabilitas $p(r_a)$ yang spesifik ditunjukkan dengan *cumulative distribution function* (CDF) atau fungsi distribusi kumulatif :

$$P(R) = P_r(r \leq R) = \int_0^R p(r)dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \tag{6}$$

Nilai rata-rata r_{mean} dari distribusi *Rayleigh* adalah :

$$r_{\text{mean}} = E[r] = \int_0^\infty rp(r)dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.2533\sigma \tag{7}$$

σ_r^2 merupakan varian dari distribusi *Rayleigh* yang mewakili daya ac pada selubung sinyal.

$$\sigma_r^2 = E[r_a^2] - E^2[r_a] = \int_0^\infty r_a^2 p(r_a)dr_a - \frac{\sigma^2}{2} \tag{8}$$

$$= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) = 0.4292\sigma^2 \tag{9}$$

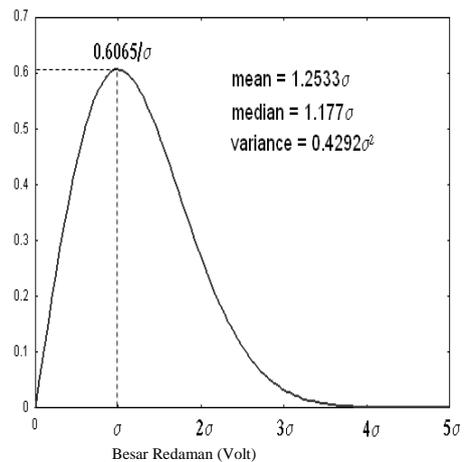
Nilai rms dari selubung adalah akar dari rata-rata kuadrat, atau $\sqrt{2} \sigma$ Untuk menghitung nilai tengah r_a dapat digunakan persamaan (10) berikut ini:

$$\frac{1}{2} = \int_0^{r_{\text{median}}} p(r)dr$$

dan

$$r_{\text{median}} = 1.177\sigma \tag{10}$$

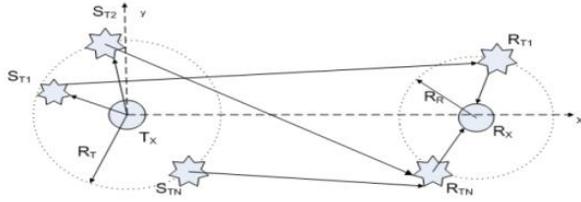
Dari persamaan (7) dan (10) dapat diketahui bahwa mean dan median hanya berbeda 0.55 dB dalam sinyal *Rayleigh Fading*. Median sering digunakan dalam prakteknya, data *fading* biasanya didapat dari percobaan dan distribusi yang teliti tidak bisa diasumsikan. Dengan menggunakan median sebagai nilai rata-rata, dapat dengan mudah membandingkan distribusi *fading* yang berbeda yang mungkin mempunyai variasi rata-rata yang besar. Gambar 5. Menunjukkan pdf *Rayleigh*.



Gambar 5. Fungsi kerapatan probabilitas *rayleigh*

C. Kanal Mobile To Mobile Rayleigh Fading

Gambar 6, memperlihatkan skenario *mobile-to-mobile*. Dimana N merupakan jumlah scatter sekeliling *transmitter* dan *receiver*, disimbolkan S_m dan R_m . Radius scattering R_t dan R_r dianggap besar sehingga proses fading yang dikarenakan pergerakan *mobile* dapat dianggap *stationer*. Asumsi terpenting pada model ini adalah jarak antara 2 *mobile station* maupun kendaraan harus cukup besar, sehingga *scattering* pada tiap terminal dibagi menjadi dua grup *scatter* yang tidak saling mempengaruhi.



Gambar 6. Mobile-to-mobile scattering

Total signal yang terjadi pada *scatter* yang ke n^{th} pada *receiver*, $S_n(t)$ adalah penjumlahan dari beberapa sinyal dari *scatter* di sekeliling *transmitter*. Dapat dituliskan sebagai berikut:

$$s_n \Leftarrow \sum_{n=1}^N A_n \exp \left[j \left(\omega_{Tn} t + \phi_{Tn} \right) \right] \exp \left(-j \frac{2\pi}{\lambda} d_{TxRx} \right) \quad (11)$$

Dengan A_n dan Φ_{Tn} adalah variable acak, ω_{Tn} adalah pergeseran doppler ke-n pada *scatter* di daerah *transmitter*, d_{TxRx} adalah jarak antara *scatter* pada *transmitter* dan *receiver* dan λ adalah panjang gelombang. Total sinyal yang diterima di *receiver* $r(t)$ diberikan oleh penjumlahan kontribusi dari semua M *scatter* di sekeliling *receiver*.

$$r \Leftarrow \exp \left(-j \frac{2\pi}{\lambda} d_{TxRx} \right) \left(\sum_{n=1}^N A_n \exp \left[j \left(\omega_{Tn} t + \phi_n + \frac{2\pi}{\lambda} d_{TxRx} \right) \right] \right) \times \left(\sum_{n=1}^N B_n \exp \left[j \left(\omega_{Rn} t + \phi_n + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta_n \right) \right] \right) \quad (12)$$

menggunakan rumus 12, suatu transfer *function narrow band, time varying channel* di dalam lingkungan 3 dimensi dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$H_D \Leftarrow \left(\sum_{n=1}^N A_n G_T \left[\omega_{Tn} \right] \exp \left[j \left(\omega_{Tn} t + \phi_{Tn} \right) \right] \right) \left(\sum_{m=1}^N B_m G_R \left[\omega_{Rm} \right] \exp \left[j \left(\omega_{Rm} t + \phi_m \right) \right] \right) \quad (13)$$

IV. MODEL COMBINEN

Dalam teknik *diversity* terdapat beberapa macam teknik combining antara lain *Selective Combining* (SC), *Equal Gain Combining* (EGC) dan *Maximum Ratio Combining* (MRC). *Selective combining* merupakan teknik *combining* yang

paling sederhana. Pada teknik ini, *destination* akan memilih satu sinyal terbaik dari semua sinyal yang diterima yang didasarkan oleh nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang terbesar. Teknik ini merupakan teknik yang paling mudah untuk diimplementasikan karena cara kerjanya yang sangat sederhana. Namun, teknik ini bukanlah teknik yang terbaik dikarenakan proses deteksi hanya berdasar satu sinyal saja, yaitu sinyal yang memiliki SNR terbesar, tanpa memproses sinyal yang lain terlebih dahulu, sinyal-sinyal yang memiliki SNR kecil langsung dieliminasi.

Equal gain combining (EGC) merupakan teknik *combining* yang menjumlahkan semua sinyal informasi yang diterima. Selanjutnya hasil penjumlahan dari sinyal tersebut akan dideteksi untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan. Sinyal yang diterima oleh *receiver* dapat dituliskan pada persamaan 14.

$$y_d[n] = \sum_{i=1}^k y_{i,d}[n] \quad (14)$$

dengan

$y_d[n]$ = sinyal hasil EGC di *destination*
 $y_{i,d}[n]$ = sinyal yang diterima *destination*

EGC lebih baik daripada SC karena pada teknik ini semua sinyal diterima dan diproses secara simultan untuk mengestimasi data yang dikirimkan.

Berikutnya adalah teknik *combining* dengan teknik *Maximum ratio combining* (MRC) yang merupakan teknik *combining* yang menjumlahkan sinyal informasi yang diterima kemudian hasil dari penjumlahan tersebut dideteksi untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan. MRC hampir sama dengan *Equal gain combining* namun perbedaannya yaitu pada MRC setiap sinyal yang diterima akan dikalikan dengan nilai konjugasi dari koefisien kanal tiap sinyal. Persamaan sinyal yang diterima pada *destination* dapat dituliskan pada persamaan 15.

$$y_d = \sum_{i=1}^k h_{i,d}^* [n] \cdot y_{i,d}[n] \quad (15)$$

dengan

$y_d[n]$ = sinyal hasil MRC di *destination*
 $y_{i,d}[n]$ = sinyal yang diterima *destination*
 $h_{i,d}^* [n]$ = konjugasi koefisien kanal sinyal $y_{i,d}[n]$

untuk system komunikasi yang hanya menggunakan sebuah *relay* dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$y_d = h_{s,d}^* [n] \cdot y_{s,d}[n] + h_{r,d}^* [n] \cdot y_{r,d}[n] \quad (16)$$

dengan

$y_d[n]$ = sinyal yang diterima di *destination* dari *source*
 $h_{s,d}^* [n]$ = konjugasi koefisien kanal sinyal $y_{s,d}[n]$
 $y_{s,d}[n]$ = sinyal informasi yang diterima *destination* dari *relay*
 $h_{r,d}^* [n]$ = konjugasi koefisien kanal sinyal $y_{r,d}[n]$

Dari ketiga teknik *combining*, teknik MRC merupakan teknik yang terbaik, dikarenakan pada teknik ini semua sinyal yang

Analisa Kinerja Sistem Komunikasi Kooperatif Kanal Mobile to Mobile Rayleigh Fading Dengan Kanal Antar User Bernilai Tetap

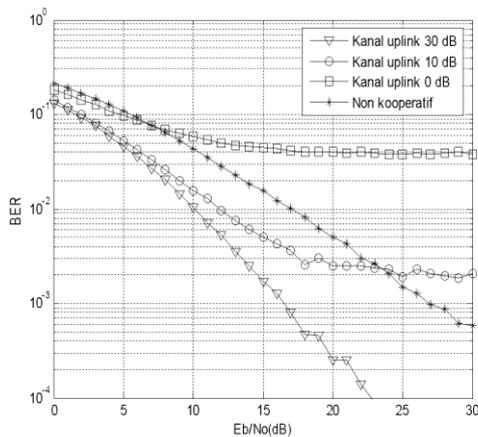
diterima diproses secara keseluruhan, selain itu setiap sinyal dikalikan dengan konjugasi koefisien kanal tiap sinyal.

V. ANALISA SISTEM

Besarnya jumlah kesalahan *bit* yang diterima akan mempengaruhi unjuk kerja sistem komunikasi digital, oleh karena itu untuk mengetahui unjuk kerja sistem yang disimulasikan dilakukan perhitungan BER pada *bit-bit* hasil deteksi penerima. Perhitungan BER dilakukan dengan metode *Monte Carlo* dengan membandingkan *bit user* yang dikirim dengan *bit user* yang dideteksi pada penerima. Perhitungan BER ini dilakukan pada semua sistem komunikasi kooperatif yang melewati tiap kanal. Data diambil dengan melakukan percobaan masing-masing titik SNR pada grafik sebanyak 10 kali. Selanjutnya data hasil percobaan diolah kedalam bentuk grafik-grafik perbandingan BER terhadap besarnya perubahan SNR. Dalam simulasi tugas akhir ini akan dibandingkan variasi kecepatan yang berbeda-beda dari tiap user dan Eb/No antar kanal dibuat tetap dengan nilai 0, 10, 20, 30.

Untuk melihat unjuk kerja dari sistem komunikasi kooperatif pada kanal *rayleigh fading* dan AWGN yang disebabkan oleh pengaruh Eb/No kanal *antar user*, dengan simulasi sistem dengan keadaan Eb/No kanal *antar user* dibuat tetap dengan nilai 0, 10, dan 30 dB.

Pada kanal *Rayleigh fading* dan AWGN didapatkan data yang kemudian dapat diilustrasikan dalam bentuk grafik pada gambar 6.



Gambar 6.

Grafik BER sistem komunikasi kooperatif dengan Rayleigh fading untuk kanal *antar user* tetap

Pada gambar 6. diperlihatkan nilai BER terhadap perubahan Eb/No, pada grafik terlihat bahwa kanal *rayleigh fading* dengan penggunaan Eb/No *antar user* sebesar 30 dB memiliki kinerja lebih baik pada kanal AWGN, nilai BER mendekati 10^{-3} dapat dicapai ketika Eb/No bernilai sekitar 16 dB. Sedangkan pada kanal *antar user* yang bernilai 0 dB dan 10 dB mengakibatkan kinerja sistem kooperatif menurun, ini disebabkan rendahnya perbandingan Eb/No pada kanal *antar user*. Sehingga untuk menghasilkan BER 10^{-3} , dapat menggunakan kanal *antar user* 30 dB.

VI. KESIMPULAN

Kinerja sistem komunikasi kooperatif akan memiliki kinerja yang baik bila dibandingkan dengan komunikasi non kooperatif apabila nilai Eb/No pada kanal *antar user* bernilai lebih besar 30 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hussain, M. J., "Cooperative Diversity for Inter Vehicular Communications", Canada.
- [2] Glover, Ian and Grant Peter, Digital Communication, Prentice Hall, 1998.
- [3] Proakis, John G., "Digital Communications", 4th edition, McGraw-Hill, (international), 2001.
- [4] Rappaport, Theodore S., "Wireless Communication Principle and Practice", Edisi ke-2, Prentice Hall, 2002.
- [5] Sklar, Bernard, "Digital Communications : Fundamentals and Applications," 2nd edition, Prentice Hall International Inc, 2001.
- [6] Simon, Marvin K., "Digital Communication over Fading Channel", 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, 205.