

Dynamic Spatial Diversity Combiner pada Berbagai Macam Kanal Fading

DWI ARYANTA¹, RIENZY PRATAMA LONDONG ALLO²,

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Email : dwiaryanta@gmail.com

Received Februari 201x | *Revised* Maret 201x | *Accepted* April 201x

ABSTRAK

Kanal transmisi radio berkontribusi pada terjadinya efek fading yang dapat berpengaruh pada terjadinya penurunan kualitas sinyal pada penerima. Salah satu solusi yang digunakan untuk menekan efek fading adalah penggunaan Spatial Diversity di sisi penerima. Pada penelitian ini digunakan suatu teknik Dynamic Spatial Diversity Combining yang mengombinasikan Selection Combining, Equal Gain Combining, dan Maximal Ratio Combining untuk mendapatkan kinerja combiner yang lebih efektif dan efisien. Simulasi dilakukan dengan menggunakan modulasi BPSK pada beberapa jenis kanal yaitu Rayleigh, Rician, Nakagami-m, Weibull, dan Suzuki. Hasil simulasi MATLAB menunjukkan bahwa secara umum kanal yang mendapatkan perbaikan kinerja penerimaan, dimana nilai terendah sebesar 2 dB terjadi pada kanal Suzuki dan tertinggi sebesar 4 dB pada kanal Weibull.

Kata kunci: *fading, spatial diversity, rayleigh, rician, weibull, nakagami, suzuki.*

ABSTRACT

Radio transmission channels contribute to the occurrence of fading effects that can affect the decrease in signal quality at the receiver. One solution that is used to suppress fading effects is the use of Spatial Diversity on the receiving side. In this research, a Dynamic Spatial Diversity Combining technique is used which combines Selection Combining, Equal Gain Combining, and Maximal Ratio Combining to get a more effective and efficient combiner performance. Simulation is done using BPSK modulation on several types of canals, namely Rayleigh, Rician, Nakagami-m, Weibull, and Suzuki. The MATLAB simulation results show that in general canals that get improved performance, where the lowest value of 2 dB occurs on the Suzuki channel and the highest is 4 dB on the Weibull canal.

Keywords: *fading, spatial diversity, rayleigh, rician, weibull, nakagami, suzuki.*

1. PENDAHULUAN

Sinyal yang melewati kanal pada transmisi gelombang radio mengalami redaman dan distorsi sehingga dapat menurunkan kualitas sinyal informasi di sisi penerima. Pengaruh kanal terhadap sinyal transmisi dapat disimulasikan menggunakan sejumlah distribusi statistik yang tersedia.

Beberapa penelitian dilakukan untuk mencoba menyimulasikan perilaku kanal sudah dilakukan, antara lain penelitian oleh Noga dan Pałczyńska yang menyimulasikan kanal *Rayleigh*, *Weibull*, dan *Nakagami-m* (Noga & Pałczyńska, 2010) dan juga penelitian dari Universitas Udayana yang mengajukan cara untuk menyimulasikan kanal *Suzuki* menggunakan distribusi *Rayleigh* dan *log-normal* (Wirastuti & Sastra, 2008).

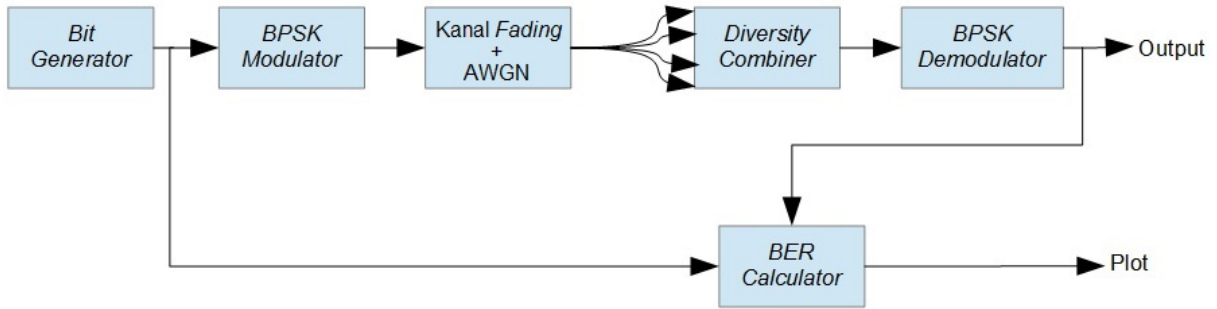
Metode *Spatial Diversity* adalah salah satu teknik yang digunakan *engineer* untuk mengurangi efek *fading* yang disebabkan oleh kanal. Suatu sistem yang menggunakan *spatial diversity* memerlukan *Spatial Diversity Combiner* untuk mengolah sinyal. Contoh *Spatial Diversity Combiner* yang lazim digunakan adalah *Selection Combiner (SC)*, *Equal Gain Combiner (EGC)*, dan *Maximal Ratio Combiner (MRC)*. Pada tahun 2013, penelitian oleh Sanjiv Kumar dan timnya mencoba untuk menyimulasikan ketiga teknik *combining* tersebut pada kanal *Rayleigh* (Kumar, Gupta, Singh, & Chauhan, 2013). Masing – masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dalam implementasinya sehingga diperlukan penelitian dan mekanisme khusus untuk mendapatkan kinerja perangkat yang efektif dan efisien.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi MATLAB penerapan teknik dinamis *Diversity Combiner* di sisi penerima untuk mengetahui perbaikan kinerja terkait dengan kualitas sinyal terima yang dinyatakan dalam nilai *gain diversity*. Beberapa teknik *Diversity Combiner* yang digunakan yaitu *Selection Combining*, *Equal Gain Combining*, dan *Maximal Ratio Combining*. Kanal *fading* yang digunakan pada simulasi ini meliputi *Rayleigh*, *Rician*, *Nakagami-m*, *Weibull*, dan *Suzuki*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan kinerja masing – masing teknik *diversity combining* pada penerapan sejumlah kanal *fading*, menentukan pengaruh parameter kanal *fading* yang berubah-ubah pada sistem komunikasi dengan skema *diversity combining*. Disamping itu, dilakukan perancangan suatu mekanisme kontrol dinamis pada *diversity combiner* yang dapat menyesuaikan diri dengan kondisi kanal *fading* untuk mendapatkan kinerja penerimaan terbaik.

2. PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM

2.1 Simulasi *Spatial Diversity Combiner* pada Kanal *Fading*

Perancangan sistem simulasi *Spatial Diversity Combiner* meliputi penentuan parameter kanal yang akan digunakan, perancangan komponen – komponen simulasi, kemudian diikuti oleh penulisan *script m-file* pada program MATLAB. Penyusunan komponen untuk proses simulasi mengikuti blok diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Simulasi *Spatial Diversity Combiner* pada Kanal *Fading*

Simulasi *Spatial Diversity Combiner* pada kanal *fading* ini menggunakan 5 jenis kanal *fading* yaitu kanal *Rayleigh*, *Rician*, *Nakagami-m*, *Weibull*, dan *Suzuki* dengan parameter yang disesuaikan masing – masing agar perbandingan kinerja antara masing – masing kanal relevan satu dengan lainnya. Simulasi dilakukan secara berulang – ulang menggunakan antenna tanpa diversity, 2 buah antenna diversitas dan 4 buah antenna diversitas. Hasil simulasi kemudian ditampilkan pada grafik BER terhadap E_b/N_0 pada masing – masing kanal, maupun untuk tiap skema *Diversity Combiner*. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk menganalisis kinerja dan juga digunakan sebagai referensi untuk simulasi *Dynamic Spatial Diversity Combiner* pada bagian berikutnya.

2.2 Kanal *Fading*

Perancangan simulasi *Spatial Diversity Combiner* ini menggunakan 5 jenis kanal *fading* yaitu kanal *Rayleigh*, *Rician*, *Nakagami-m*, *Weibull*, dan *Suzuki*. Proses simulasi kanal menggunakan *pseudorandom generator* pada program MATLAB. Mekanisme tersebut akan membangkitkan dua buah variabel acak *Gaussian* X dan Y yang akan dimanipulasi sedemikian rupa untuk membangkitkan variabel acak *Rayleigh*, *Rician*, *Nakagami-m*, *Weibull*, dan *Suzuki*. Parameter skala pada kanal akan diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan *gain* kanal *unity* untuk semua jenis kanal. Parameter bentuk yang digunakan pada kanal *Rician*, *Nakagami-m*, *Weibull*, dan *Suzuki* adalah parameter bilangan bulat terkecil setelah parameter bentuk yang ekuivalen dengan kanal *Rayleigh* untuk masing – masing kanal.

Kanal *Rayleigh* merupakan kanal yang digunakan untuk menyimulasikan kondisi NLOS yang artinya tidak ada jalur LOS antara antenna pengirim dan penerima. Kanal *Rician* merupakan kanal yang digunakan untuk menyimulasikan kondisi kanal ketika ada jalur LOS antara antenna pengirim dan penerima. Kanal *Nakagami-m* merupakan bentuk umum dari *Rayleigh* dan *Rician* dan dengan parameter tambahannya bisa secara fleksibel menggambarkan berbagai macam kondisi kanal pada keadaan empiris. Kanal *Weibull* merupakan kondisi *fading* yang secara empiris telah dibuktikan efektif untuk kondisi *outdoor* (Hashemi, 1993) maupun *indoor* (Adawi, 1988). Kanal *Suzuki* adalah kanal yang digunakan untuk menyimulasikan kondisi outdoor dengan mengombinasikan *fading* cepat dan *fading* lambat. Rumus – rumus yang digunakan untuk membangkitkan variabel acak pada setiap kanal tersebut terdapat di bawah ini.

$$R_{Rayleigh} = \sigma \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (1)$$

$$R_{Rician} = \Omega \sqrt{\frac{kX^2}{k+1} + Y^2} \quad (2)$$

$$R_{Nakagami} = \sigma \sqrt{\sum_{i=1}^m X_i^2 + Y_i^2} \quad (3)$$

$$R_{Weibull} = \lambda(X^2 + Y^2)^{\frac{1}{q}} \quad (4)$$

$$R_{Suzuki} = \sigma e^{\beta z} \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5)$$

Dimana :

- R = Variabel acak kanal *fading*
X, Y, Z = Variabel acak Gaussian dengan *mean zero* dan variansi *uniform*
 σ = Parameter skala *Rayleigh, Nakagami, Suzuki*; $\sigma = 1/\sqrt{2}$
 Ω = Parameter skala *Rician*; $\Omega = 1/\sqrt{2(k+1)}$
 λ = Parameter skala *Weibull*; $\lambda = 1$
k = Parameter bentuk *Rician*; $k = 1$; *Rayleigh* $k=0$
m = Parameter bentuk *Nakagami-m*; $m = 2$; *Rayleigh* $m=1$
q = Parameter bentuk *Weibull*; $q = 3$; *Rayleigh* $q=2$
 β = Parameter bentuk *Suzuki*; $\beta = 1$; *Rayleigh* $\beta=0$

2.3 Spatial Diversity Combiner

Spatial Diversity Combiner adalah komponen yang berfungsi untuk mengolah sinyal yang diterima oleh beberapa antena penerima yang berada pada lokasi yang berbeda – beda untuk mendapatkan sinyal yang optimal. Jenis *Spatial Diversity Combiner* yang digunakan adalah *Selection Combiner*, *Equal Gain Combiner*, dan *Maximal Ratio Combiner*. Persamaan yang menggambarkan sinyal yang dikeluarkan oleh masing – masing *Diversity Combiner* adalah berikut ini.

$$y_{Selection} = \max(y_1, \dots, y_n) \quad (6)$$

$$y_{EqualGain} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{e^{j\theta}} \quad (7)$$

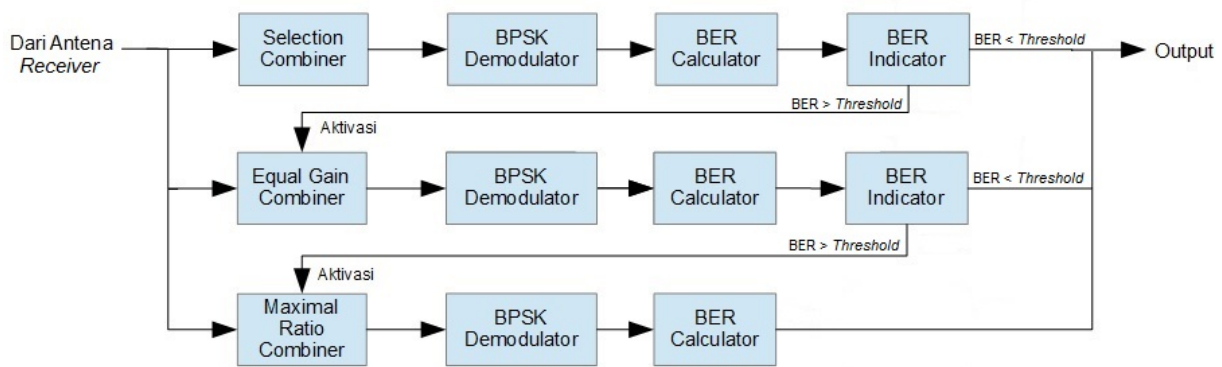
$$y_{MaximalRatio} = \frac{\sum_{i=1}^n h^* y_i}{\sum_{i=1}^n h^* h_i} \quad (8)$$

Dimana :

- y_i = Simbol yang diterima pada antena terima ke- i
 h_i = Kanal pada antena terima ke- i
 θ = Fasa pada kanal

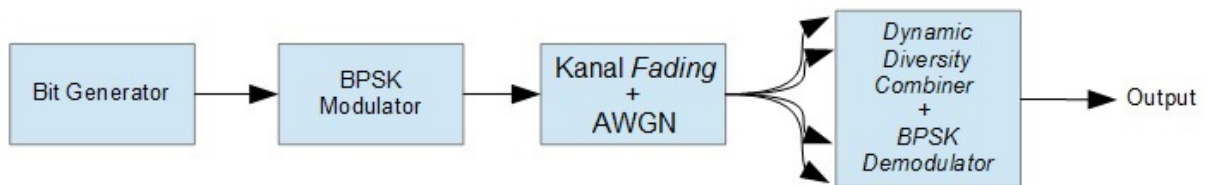
2.4 Dynamic Spatial Diversity Combiner

Perancangan *Dynamic Spatial Diversity Combiner* memanfaatkan 3 jenis *Diversity Combiner* yaitu *Selection, Combiner, Equal Gain Combiner*, dan *Maximal Ratio Combiner*. Ketiga *combiner* tersebut akan bekerja bergantian sesuai dengan kondisi kanal, dimana pada saat kondisi kanal buruk akan menggunakan *Maximal Ratio Combiner* dan pada saat kondisi kanal baik akan menggunakan *Selection Combiner*. Indikator baik buruknya suatu kanal diindikasikan pada suatu batasan nilai BER terendah di sisi penerima sebesar 10^{-3} . Blok diagram *Dynamic Spatial Diversity Combiner* terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram *Dynamic Diversity Combiner*

Blok diagram *Dynamic Spatial Diversity Combining* pada Gambar 2, memperlihatkan proses *combining* dan demodulasi sehingga output keluaran berupa sinyal digital hasil demodulasi. BER *indicator* digunakan sebagai alat untuk menentukan apakah nilai BER aktual masih di bawah *threshold*. Bilamana suatu kondisi didapatkan nilai BER yang melebihi nilai *threshold*, rangkaian akan mengaktifkan skema *Diversity Combiner* selanjutnya. Blok diagram proses simulasi *Dynamic Spatial Diversity Combining* terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Simulasi *Dynamic Spatial Diversity Combiner* pada Kanal *Fading*

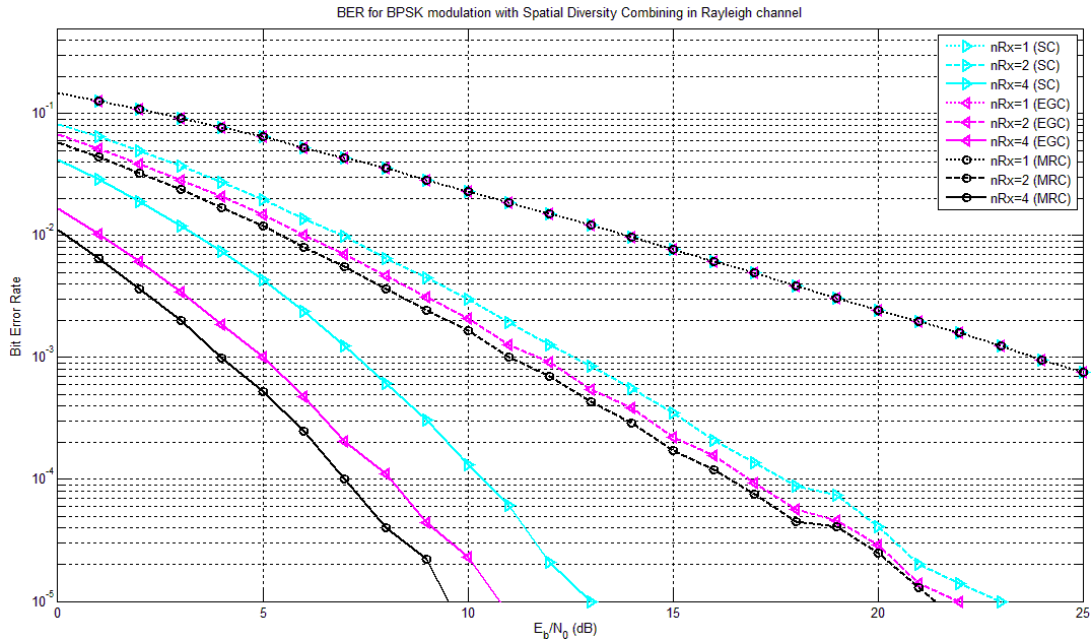
3. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM

3.1 Simulasi *Spatial Diversity Combiner* pada Kanal *Fading*

Simulasi *Spatial Diversity Combiner* dilakukan pada 5 jenis kanal yaitu *Rayleigh*, *Rician*, *Nakagami-m*, *Weibull*, dan *Suzuki*. Analisis pada hasil simulasi ini menekankan pada perbaikan kinerja penerimaan yang dinyatakan dalam nilai *gain diversity* pada tiap kanal dan skema.

3.1.1 Kanal *Rayleigh*

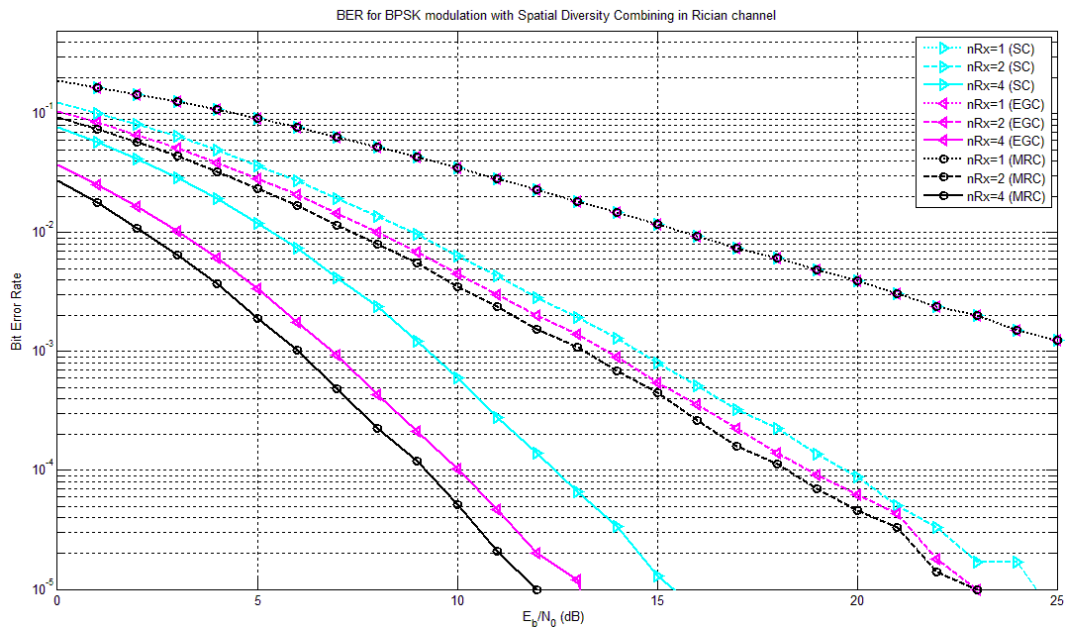
Pada kanal *Rayleigh* didapatkan bahwa nilai *gain* yang dihasilkan oleh skema *Maximal Ratio Combining* adalah yang paling besar dan *Selection Combining* adalah yang paling kecil. Pada kanal ini, *gain* yang didapatkan dari *no diversity* menuju *2 receive diversity* adalah yang paling besar yaitu 11 dB jika dibandingkan dari *2 receive diversity* menuju *4 receive diversity* yang hanya bernilai 6 dB untuk skema *Selection Combining* pada BER 10^{-3} . Semakin besar jumlah antenna penerima diversitas maka semakin besar juga perbedaan nilai *gain* antara masing – masing skema *diversity combiner*. Gambar 4 memperlihatkan fenomena tersebut.



Gambar 4. Grafik BER *Spatial Diversity Combining* pada Kanal *Rayleigh*

3.1.2 Kanal *Rician*

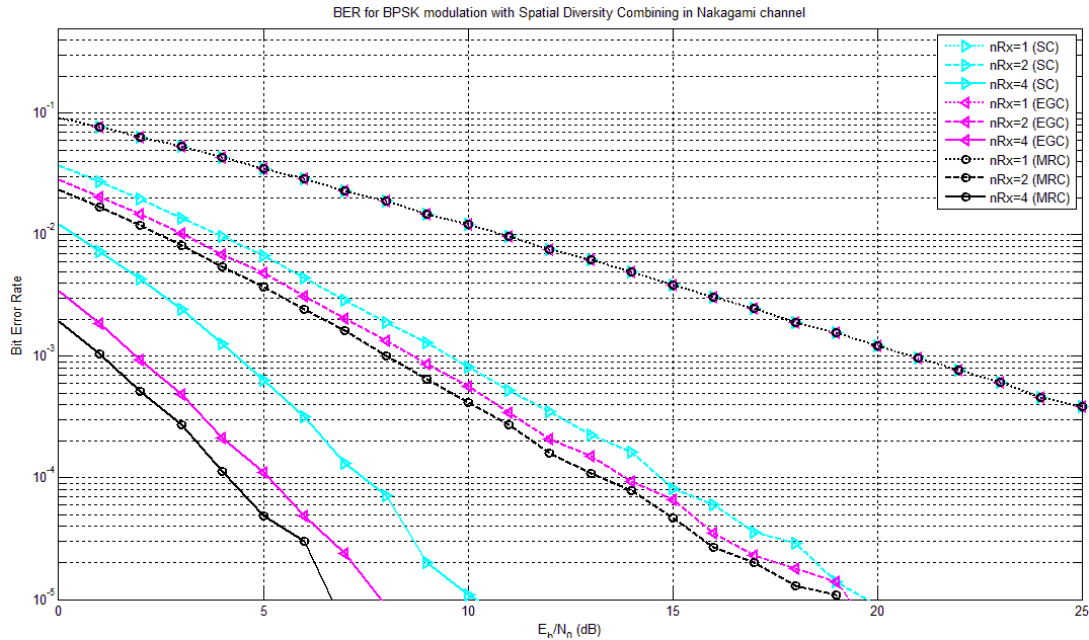
Perilaku pada kanal *Rician* terlihat hampir sama dengan kanal *Rayleigh*. Perbedaan utama dengan kanal *Rayleigh* ada pada nilai BER pada kondisi E_b/N_0 tertentu. Namun selain itu, perbedaan nilai *gain* yang didapatkan antara masing – masing skema *diversity* sama dengan yang terjadi pada kanal *Rayleigh*. Seiring bertambahnya nilai k , untuk nilai BER dan skema *diversity* yang sama, kanal *Rician* membutuhkan nilai E_b/N_0 yang lebih besar daripada kanal *Rayleigh*. Hal ini karena faktor k *Rician* membuat variabel *inphase* kanal bertambah besar, *range* distribusi sinyal menjadi tidak terbagi rata pada *threshold* dan membuat *bit error* lebih rentan terjadi. Gambar 5 menunjukkan perilaku *Spatial Diversity Combiner* pada kanal *Rician*.



Gambar 5. Grafik BER *Spatial Diversity Combining* pada Kanal *Rician*

3.1.3 Kanal Nakagami-m

Kanal *Nakagami-m* merupakan bentuk umum dari kanal *Rayleigh* maupun *Rician* sehingga perilaku *gain* pada ketiga kanal ini mendekati identik. *Spatial Diversity Combining* pada kanal ini diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik BER *Spatial Diversity Combining* pada Kanal *Nakagami-m*

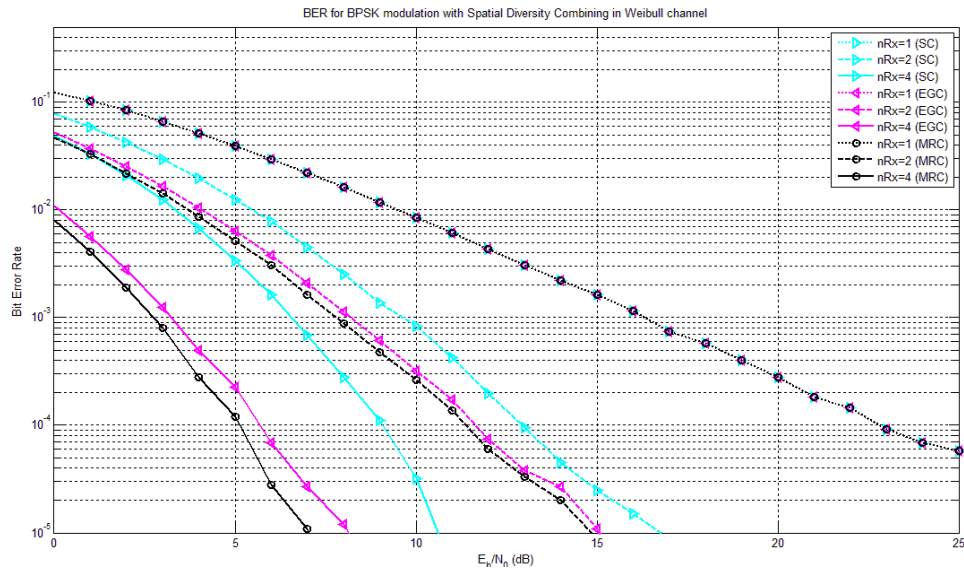
Nilai *gain* yang didapatkan dari *no diversity* menuju *2 receive diversity* maupun *4 receive diversity* sama dengan yang terjadi pada kanal *Rayleigh* dan *Rician*. Perbedaannya adalah seiring bertambahnya parameter *m* pada kanal ini, untuk skema *diversity* dan nilai BER yang sama, kanal *Nakagami-m* membutuhkan nilai E_b/N_0 yang lebih kecil dari *Rayleigh*. Hal ini terjadi karena semakin besar nilai *m*, maka *range* distribusi sinyal menjadi lebih besar dengan sebaran yang rata, fluktuasi akan lebih berkurang jika dibandingkan dengan kanal *Rayleigh*.

3.1.4 Kanal Weibull

Pada kanal *Weibull*, perilaku BER vs E_b/N_0 berbeda dibandingkan kanal – kanal sebelumnya. Untuk jumlah antenna penerima yang sama, perbedaan nilai *gain* antar skema *diversity* lebih besar daripada yang terjadi pada kanal sebelumnya. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 7.

Untuk skema *Selection Combining*, *gain* yang didapatkan dari *no diversity* menuju *2 receive diversity* sebesar 7 dB, dan dari *2 receive diversity* menuju *4 receive diversity* bernilai 10 dB. Nilai tersebut lebih kecil daripada nilai *gain* yang didapatkan pada kanal *Rayleigh*, *Rician*, maupun *Nakagami-m*.

Disparitas *gain* antar skema *Diversity Combiner* pada *2 receive diversity* dan *4 receive diversity* lebih besar daripada kanal *Rayleigh*, *Rician*, dan *Nakagami-m*. Hal ini disebabkan karena pada kanal *Weibull*, faktor akar dengan derajat lebih tinggi pada persamaan menyebabkan hasil konvolusi sinyal dengan variabel acak kanal lebih kecil daripada jenis kanal lainnya sehingga lebih rentan terhadap perubahan fasa yang disebabkan oleh AWGN.

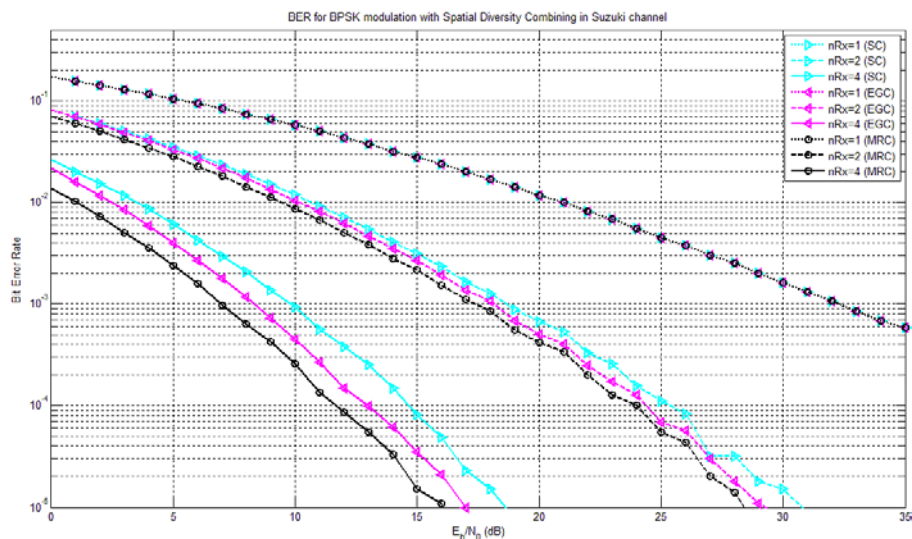


Gambar 7. Grafik BER *Spatial Diversity Combining* pada Kanal *Weibull*

3.1.5 Kanal *Suzuki*

Pada kanal *Suzuki*, nilai *gain diversity* yang didapatkan lebih besar daripada kanal – kanal sebelumnya. Untuk skema *Selection Combining*, nilai *gain* yang didapatkan dari *no diversity* menuju 2 *receive diversity* sebesar 13.5 dB, dan dari 2 *receive diversity* menuju 4 *receive diversity* bernilai 22 dB. Nilai tersebut lebih besar daripada nilai *gain* yang didapatkan pada kanal *Rayleigh*, *Rician*, maupun *Nakagami-m*.

Pada kanal ini disparitas *gain diversity* antara skema *Diversity Combiner* pada tiap 2 *receive diversity* maupun 4 *receive diversity* lebih kecil daripada disparitas *gain* pada kanal *Rayleigh*, *Rician*, *Nakagami-m*, dan *Weibull*. Hal ini terjadi karena pada kanal ini terdapat faktor eksponensial yang menyebabkan konvolusi antara kanal dan sinyal input memiliki deviasi tinggi dan tersebar jauh. Namun di sisi lain juga efek tersebut mengakibatkan pergeseran fasa yang diakibatkan oleh *noise* tidak berpengaruh terlalu banyak sehingga kanal ini lebih tahan terhadap deviasi dan pergeseran fasa yang disebabkan oleh AWGN. Hal ini dapat terlihat pada grafik BER kanal *Suzuki* pada Gambar 8.



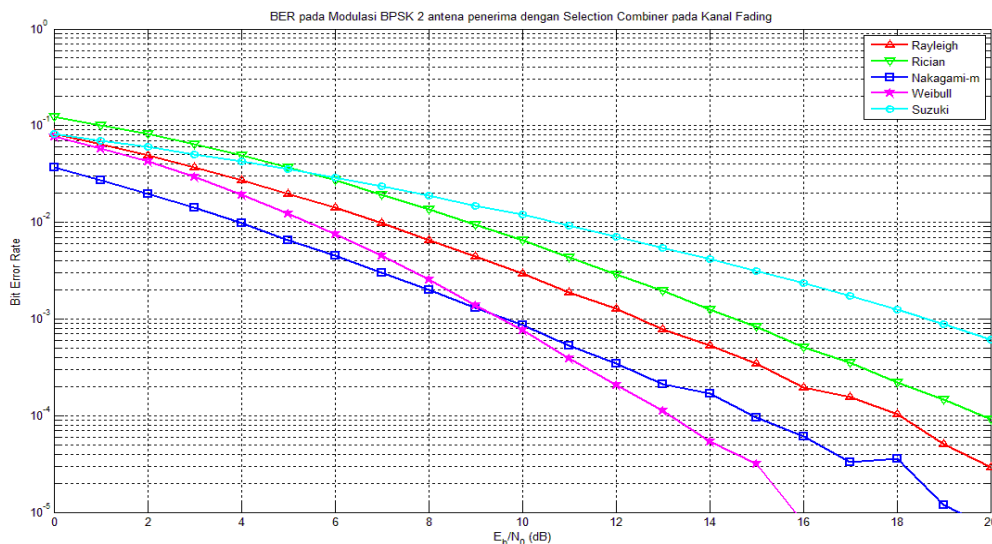
Gambar 8. Grafik BER *Spatial Diversity Combining* pada Kanal *Suzuki*

3.2 Perbandingan Kinerja *Spatial Diversity Combiner* pada Kanal *Fading*

Perbandingan kinerja *Spatial Diversity Combiner* ini akan membandingkan skema *Selection Combining*, *Equal Gain Combining*, dan *Maximal Ratio Combining* pada kanal *fading*. Analisis pada bagian ini menekankan pada kinerja masing – masing *Diversity Combiner* pada sejumlah kanal *fading* yang digunakan.

3.2.1 *Selection Combining*

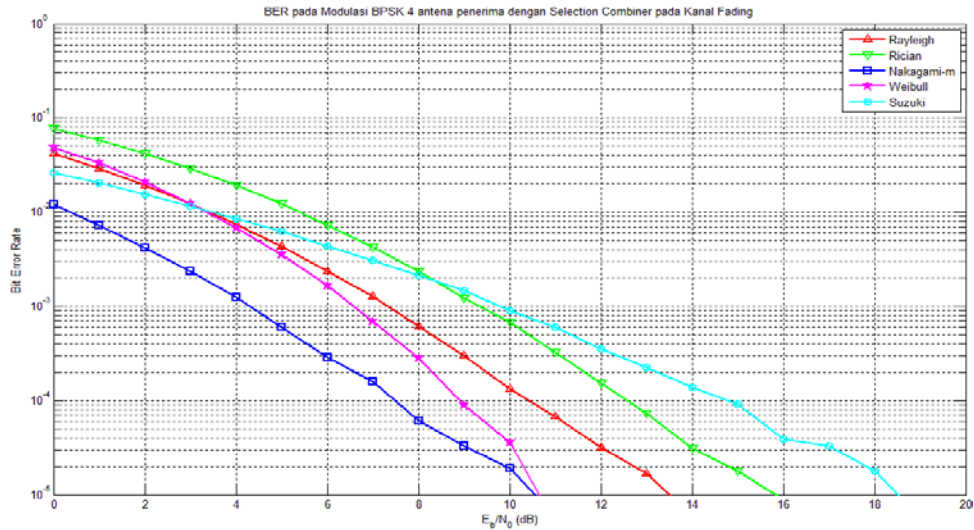
Pada skema *Selection Combining*, didapatkan hasil bahwa pada nilai BER 10^{-3} skema *Selection Combining* memiliki kinerja terburuk pada kanal *Suzuki*. Sedangkan kinerja terbaik ada pada kanal *Weibull*, dengan kanal *Nakagami-m* yang hanya berbeda sedikit nilai E_b/N_0 nya. Hasil simulasi *Selection Combining* pada 2 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik BER *Selection Combining* dengan 2 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

Pada BER 10^{-3} , kanal *Weibull* adalah kanal yang paling bagus dengan E_b/N_0 sebesar 9,4 dB. Hal ini terjadi karena faktor akar dengan derajat yang lebih tinggi pada persamaan kanal *Weibull*. Sebaliknya *Suzuki* menjadi kanal yang paling buruk dengan E_b/N_0 sebesar 18,8 dB karena faktor adanya perkalian dengan bilangan eksponensial (proses *lognormal*) pada persamaan kanal *Suzuki*.

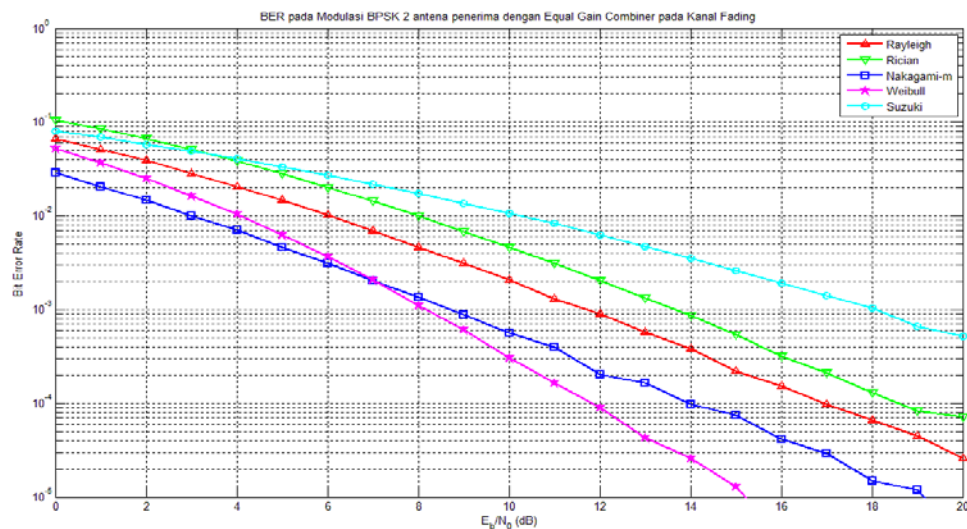
Sedangkan pada 4 *receive diversity* dan nilai BER 10^{-3} , skema *Selection Combining* memiliki kinerja terburuk pada kanal *Suzuki* dengan E_b/N_0 sebesar 9,8 dB dan kanal *Rician* memiliki sedikit perbedaan nilai E_b/N_0 yaitu 9.3 dB. Sedangkan kinerja terbaik ada pada kanal *Nakagami-m*. Kanal Nakagami-m lebih bagus daripada kanal *Weibull* karena pada daerah E_b/N_0 rendah kanal ini lebih tahan terhadap pergeseran fasa akibat AWGN. Hasil simulasi *Selection Combining* pada 4 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik BER *Selection Combining* dengan 4 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

3.2.2 Equal Gain Combining

Hasil simulasi pada skema *Equal Gain Combining* dengan 2 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil yang didapatkan secara kuantitatif sama dengan *Selection Combining* terkait dengan kanal yang memiliki kinerja yang paling baik maupun paling buruk.

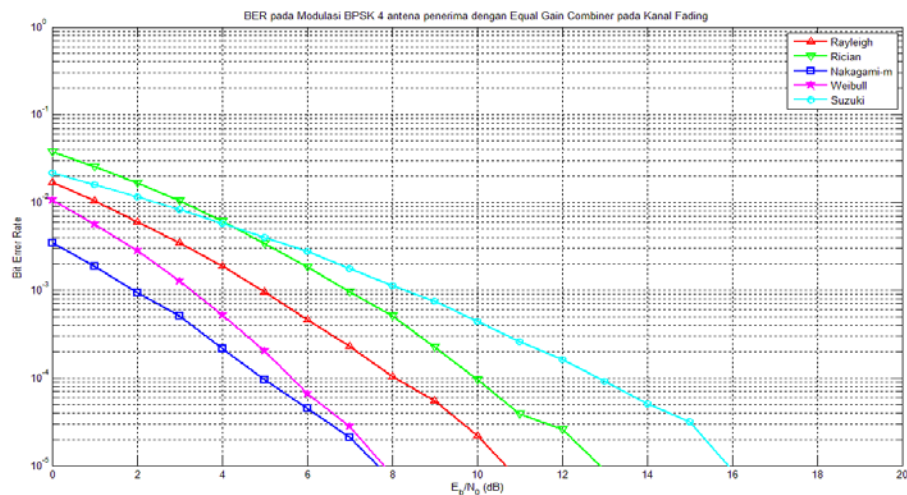


Gambar 11. Grafik BER *Equal Gain Combining* dengan 2 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

Kanal *Weibull* menjadi kanal dengan kinerja paling baik pada BER 10^{-3} dengan nilai E_b/N_0 sebesar 8,2 dB yang diakibatkan oleh faktor akar dengan derajat lebih tinggi pada persamaan kanal. Kanal *Suzuki* menjadi kanal dengan kinerja terburuk dengan E_b/N_0 sebesar 18 dB karena faktor adanya perkalian dengan bilangan eksponensial (proses *lognormal*).

Pada kondisi 4 *receive diversity* dan nilai BER 10^{-3} , skema *Selection Combining* memiliki kinerja terburuk pada kanal *Suzuki* dengan E_b/N_0 sebesar 8,2 dB. Sedangkan kinerja terbaik ada pada kanal *Nakagami-m* dengan E_b/N_0 sebesar 1,9 dB. Pada skema ini terlihat perbedaan kurva *Weibull* dan *Nakagami-m* lebih kecil daripada skema *Selection Combining*. Hal ini karena pada skema *Equal Gain Combining*, terdapat *phase shifter* yang mengompensasi efek pergeseran

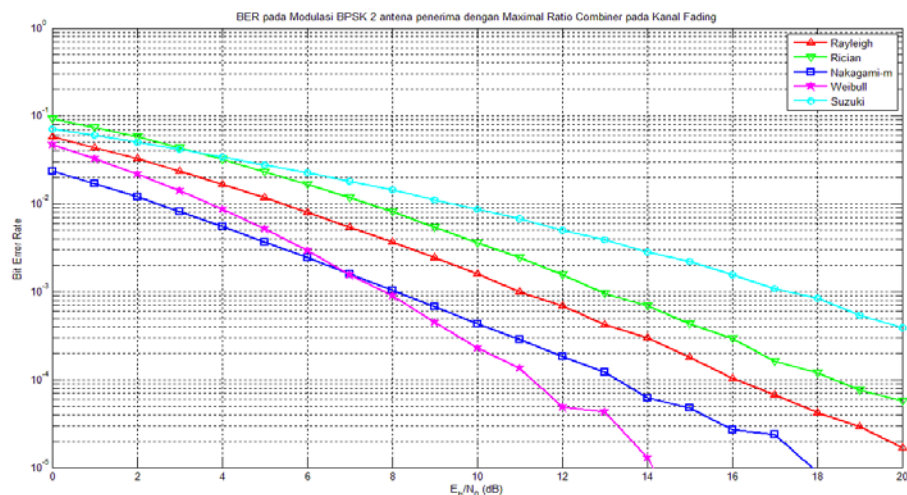
fasa oleh kanal. Hasil simulasi *Selection Combining* pada 4 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik BER *Equal Gain Combining* dengan 4 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

3.2.3 Maximal Ratio Combining

Pada skema *Maximal Ratio Combining* dan kondisi 2 *receive diversity* didapatkan hasil bahwa pada nilai BER 10^{-3} kanal *Weibull* memiliki kualitas transmisi paling baik dan kanal *Suzuki* memiliki kualitas transmisi yang paling buruk. Grafik BER pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 13.

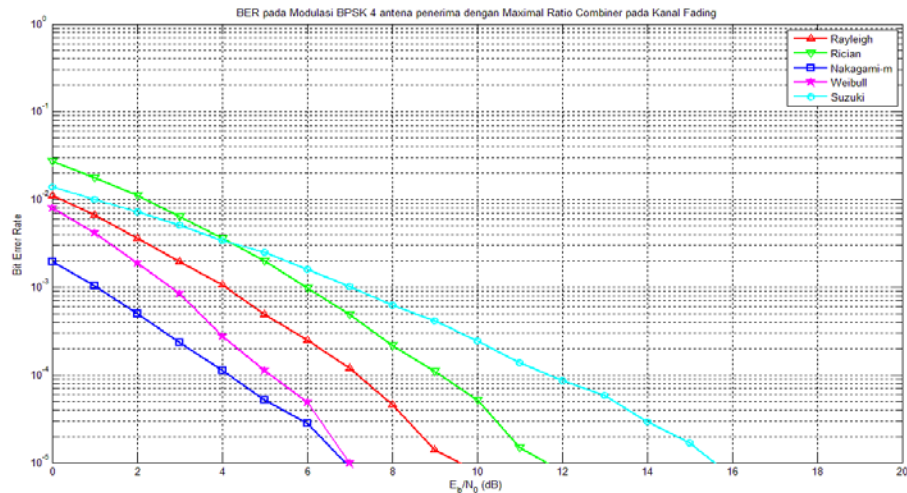


Gambar 13. Grafik BER *Maximal Ratio Combining* dengan 2 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

Pada nilai BER 10^{-3} , kanal *Weibull* memiliki E_b/N_0 sebesar 7,8 dB dan kanal *Suzuki* memiliki E_b/N_0 sebesar 17,1 dB. Penyebab fenomena ini sama dengan skema sebelumnya hanya saja *Maximal Ratio Combining* memiliki kurva BER yang lebih bagus karena adanya faktor *proportioned weighting* yang ada pada skema ini.

Sedangkan pada kondisi 4 *receive diversity* pada nilai BER 10^{-3} , kualitas transmisi *Maximal Ratio Combining* terbaik ada pada kanal *Nakagami-m* dengan E_b/N_0 sebesar 1 dB, dan yang terburuk pada kanal *Suzuki* dengan E_b/N_0 7 dB. Pada keadaan E_b/N_0 buruk, kanal *Nakagami-m* lebih tahan daripada kanal *Weibull* yang lebih rentan terhadap pergeseran fasa akibat distorsi

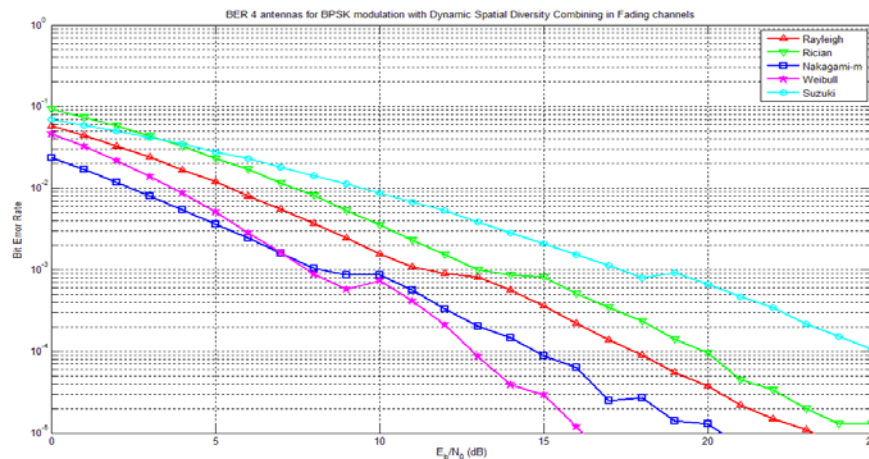
dari *noise* AWGN. Pada skema ini terlihat perbedaan kurva *Weibull* dan *Nakagami-m* lebih kecil daripada skema *Selection Combining*. Hal ini karena pada skema *Maximal Ratio Combining*, terdapat *phase shifter* yang mengompensasi efek pergeseran fasa oleh kanal. Hasil simulasi *Maximal Ratio Combining* pada 4 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik BER *Maximal Ratio Combining* dengan 4 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

3.3 Simulasi *Dynamic Spatial Diversity Combiner* pada Kanal *Fading*

Pada kondisi 2 *receive diversity*, kanal *Weibull* dan *Rician* mendapatkan perbaikan *gain* sebesar 2 dB dan nilainya lebih tinggi daripada kanal – kanal lainnya yang hanya sebesar 1 dB. Hasil simulasi *Dynamic Diversity Combining* pada 2 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 15.

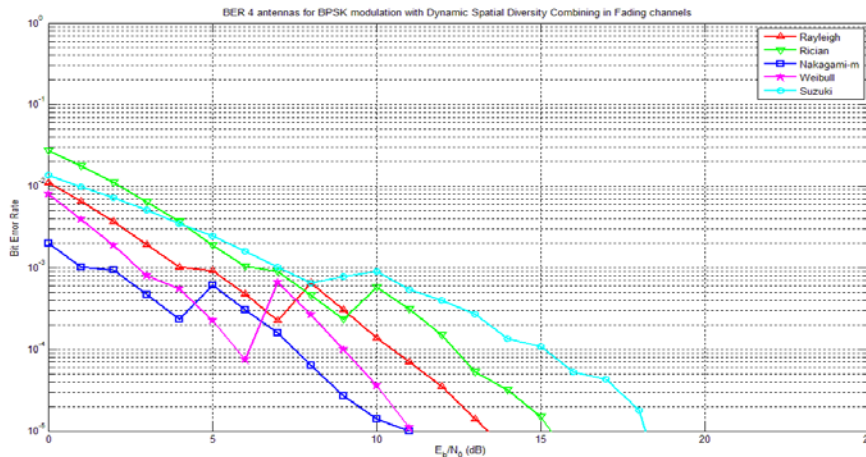


Gambar 15. Grafik BER *Dynamic Diversity Combining* dengan 2 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

Perbedaan perbaikan *gain* yang terjadi disebabkan oleh perbedaan disparitas *gain* antar masing – masing skema *diversity combiner* yang besar pada kedua kanal ini dibandingkan dengan kanal lainnya.

Sedangkan pada kondisi 4 *receive diversity*, kanal *Weibull* mendapatkan perbaikan *gain* terbesar yaitu 4 dB. Sedangkan perbaikan *gain* terkecil dimiliki oleh kanal *Suzuki* yang hanya sebesar 2 dB. Kanal lainnya mendapatkan keuntungan *gain* sebesar 3 dB. Hal ini disebabkan karena disparitas *gain* antar masing – masing skema *Diversity Combiner* pada kondisi ini

memiliki nilai terbesar pada kanal *Weibull* dan terkecil pada kanal *Suzuki*. Selain itu hal ini menunjukkan bahwa skema ini sangat menguntungkan untuk kanal yang tidak tahan terhadap *noise*. Hasil simulasi *Dynamic Diversity Combining* pada 4 *receive diversity* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik BER *Dynamic Diversity Combining* dengan 4 *Receive Diversity* pada Kanal *Fading*

4. KESIMPULAN

Penerapan teknik *Dynamic Spatial Diversity Combining* secara umum telah memberikan dampak peningkatan kualitas sinyal dan perbaikan BER pada sisi penerima. Pada penerapan semua kondisi kanal *fading*, skema *Maximal Ratio Combining* memiliki *gain diversity* paling tinggi dan *Selection Combining* memiliki *gain diversity* paling rendah.

Pada pengujian *Spatial Diversity Combiner* untuk nilai BER 10^{-3} dan dibandingkan dengan keadaan *no diversity*, skema *Maximal Ratio Combining* dengan 4 *receive diversity* pada kanal *Suzuki* memiliki *gain diversity* tertinggi sebesar 25 dB. Skema *Selection Combining* dengan 2 *receive diversity* pada kanal *Weibull* memiliki *gain diversity* terendah sebesar 7 dB sedangkan untuk kondisi yang sama pada kanal *Rayleigh*, *Rician*, dan *Nakagami-m* memiliki *gain diversity* yang sama dan nilainya berada diantara kedua kanal lainnya yaitu diantara 11 – 20 dB.

Untuk semua skema *Diversity Combiner* dengan nilai BER 10^{-3} pada kondisi 2 *receive diversity* dan 4 *receive diversity*, kanal *Suzuki* memiliki kinerja terburuk dengan E_b/N_0 sebesar 18.8 dB dan 9.8 dB. Sedangkan kinerja terbaik untuk kondisi 2 *receive diversity* dimiliki oleh kanal *Weibull* dengan E_b/N_0 sebesar 7.8 dB dan untuk kondisi 4 *receive diversity* adalah kanal *Nakagami-m* dengan E_b/N_0 sebesar 1 dB.

Pada skema *Dynamic Diversity Combiner* dan BER *threshold* 10^{-3} , kanal *Weibull* memiliki perbaikan *gain* tertinggi yaitu sebesar 4 dB dan kanal *Suzuki* memiliki perbaikan *gain* terendah yaitu sebesar 2 dB.