

## UNJUK KERJA *FREQUENCY HOPPING* PADA KANAL SISTEM KOMUNIKASI BERGERAK YANG MENGALAMI *RAYLEIGH FADING*

Andreas Ardian Febrianto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – UKSW  
Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711  
Email : [andreas\\_ardian@yahoo.com](mailto:andreas_ardian@yahoo.com)

### INTISARI

Penelitian ini akan menunjukkan perbandingan unjuk kerja sistem komunikasi bergerak dengan menggunakan teknik *frequency hopping* dan tanpa teknik *frequency hopping*. Grafik hasil simulasi yang dihasilkan adalah grafik hubungan *BER* (*Bit Error Rate*) terhadap *Eb/No* (*Energi Bit per Rate*). Modulasi yang digunakan adalah modulasi *BPSK* dan *FSK*. Jalur jamak dimodelkan dengan distribusi *Rayleigh* dan penambahan derau dimodelkan sebagai derau *Gaussian*. Hasil yang didapatkan adalah bahwa teknik *frequency hopping* mampu menekan besarnya *BER* pada setiap titik *SNR* yang berarti peningkatan kualitas *link* pada sistem komunikasi bergerak

**Kata kunci :** *frequency hopping*, sistem komunikasi bergerak, *rayleigh fading*

### PENDAHULUAN

*Global System for Mobile Communication (GSM)* adalah sebuah sistem komunikasi bergerak yang memiliki konsep dasar transmisi data *Time Division Multiple Access (TDMA)*, yaitu mempunyai 8 kanal per pembawa, dengan lebar pita 200 kHz. Pertumbuhan pelanggan yang pesat dan kompetisi yang tinggi antar para penyedia jasa telekomunikasi, menuntut peningkatan kapasitas jaringan dan kualitas pelayanan yang sangat tergantung pada efisiensi penggunaan spektrum frekuensi yang tersedia. Terbatasnya lebar pita frekuensi yang tersedia, menyebabkan munculnya kemungkinan bahwa sejumlah unit bergerak yaitu *Mobile Station (MS)* menggunakan frekuensi kanal yang sama dalam waktu yang bersamaan sehingga akan menyebabkan interferensi antar kanal.

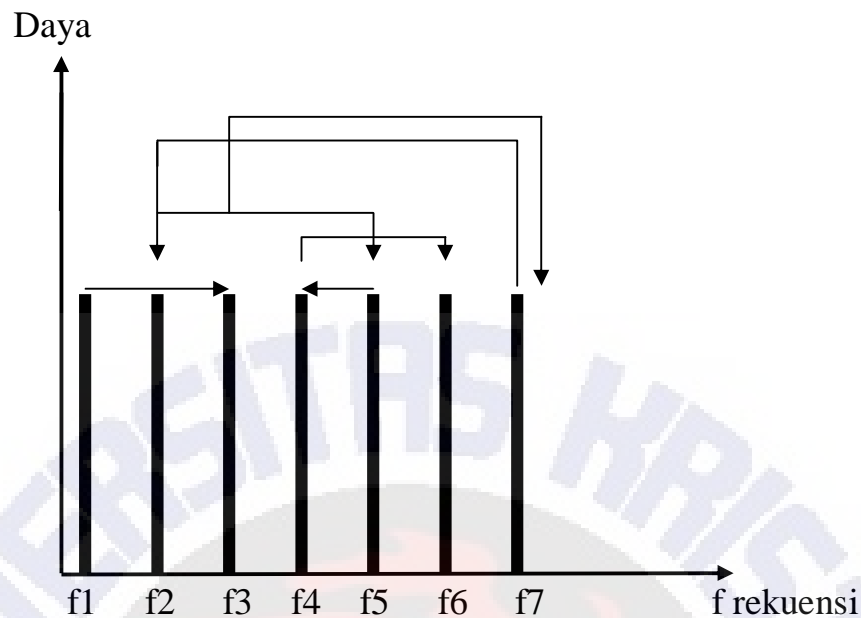
Banyak metode yang telah digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan frekuensi dalam meningkatkan kualitas isyarat pada konfigurasi jaringan *GSM* dan upaya mengatasi terjadinya interferensi yaitu dengan melakukan teknik ekspansi sistem seluler antara lain dengan menambah kanal-kanal baru, peminjaman frekuensi kanal (*frequency borrowing*), mengubah pola sel, pembelahan sel dan sektorisasi.

Tetapi efektifitas berbagai metode tersebut di atas menjadi terbatas jika diterapkan pada jaringan yang *congestion*-nya tinggi, dan pada kanal yang mengalami *rayleigh fading*, karena alokasi frekuensi yang digunakan kanal pada jaringan tersebut sama. Artinya pada saat *MS* melakukan panggilan secara bersamaan menggunakan frekuensi yang sama, akan menyebabkan interferensi selama komunikasi berlangsung, atau biasa disebut dengan interferensi *co-channel*.

*Frequency hopping* adalah solusi yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Metode *frequency hopping* melompatkan frekuensi-frekuensi isyarat pembawa secara periodik diatur oleh algoritma tertentu, dalam hal ini banyaknya lompatan ditentukan dari *code generator* pada algoritma yang sudah ditentukan. Penggunaan metode *frequency hopping* ini diharapkan mampu mengatasi efisiensi penggunaan frekuensi dan mengatasi interferensi akibat penggunaan frekuensi yang sama pada kanal yang sama (interferensi *co-channel*), sehingga dihasilkan kualitas sistem dan isyarat yang lebih baik.

### ***FREQUENCY HOPPING***

*Frequency hopping* adalah salah satu jenis sistem spektrum tersebar, yang cara penyebaran datanya dilakukan dengan mengubah frekuensi isyarat pembawanya secara periodik yang diatur oleh algoritma tertentu. Frekuensi ini akan membawa sejumlah isyarat informasi data selama periode tertentu, dan berpindah dari satu frekuensi menuju frekuensi yang lain secara terus menerus.

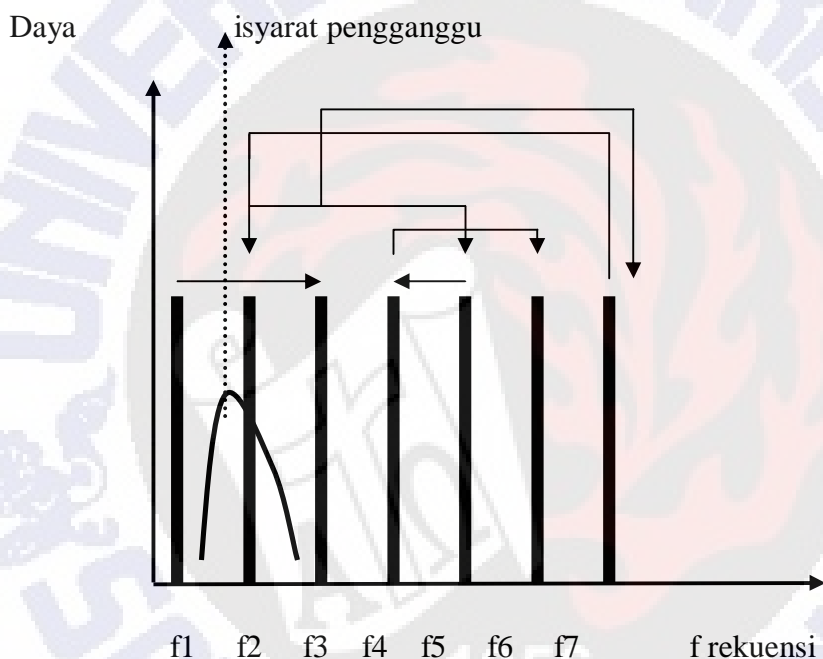


**Gambar 1. Teknik *Frequency Hopping*.**

Anak panah pada Gambar 1 menunjukkan urutan lompatan (*hop*) frekuensi secara acak. Frekuensi melompat dengan pola urutan lompatan  $f1 \rightarrow f3 \rightarrow f7 \rightarrow f2 \rightarrow f5 \rightarrow f4 \rightarrow f6$ . Lompatan frekuensi tersebut dilakukan secara berulang-ulang, selama komunikasi antar *MS* berlangsung dapat terjadi perpindahan frekuensi secara terus menerus dalam jumlah yang banyak sampai komunikasi antar *MS* tersebut berakhir. Kondisi di atas membutuhkan kesepadanan atau *match* lompatan frekuensi pada stasiun penerima yaitu bahwa stasiun penerima harus melakukan perpindahan frekuensi dengan lompatan yang sama supaya terjadi sinkronisasi, sehingga informasi yang dikirimkan dapat diperoleh kembali.

*Frequency hopping* merupakan salah satu jenis spektrum tersebar dengan lebar pita yang digunakan lebih lebar dari lebar pita minimum yang diperlukan untuk mengirimkan informasi yang sama jika digunakan frekuensi pembawa tunggal. Aplikasi teknik *frequency hopping* pada jaringan *GSM* membutuhkan perangkat pengirim dan penerima yang digunakan untuk pengiriman ataupun penerimaan data. Dalam hal ini data yang dikirimkan pada setiap frekuensi sangat terbatas, karena teknik *frequency hopping* memiliki periode antar lompatan yang sangat singkat yaitu antara  $400\mu s$  -  $577\mu s$ , biasa disebut *chip*.

Sistem *frequency hopping* menggunakan sandi *pseudorandom*, untuk mengatur pola lompatannya dari satu frekuensi menuju frekuensi lainnya. Sandi *pseudorandom* adalah sandi acak yang mempunyai deretan sandi yang akan terulang secara periodik dalam waktu yang cukup lama. Pengacakan pola lompatan frekuensi dimaksudkan untuk menghindari isyarat pengganggu, sehingga akan menghasilkan kinerja yang lebih baik selama komunikasi antar *MS* berlangsung. Jika interferensi muncul, tidak semua kanal akan terkena interferensi, melainkan hanya terjadi pada salah satu kanal saja. Gambar 2 menunjukkan interferensi yang terjadi pada proses transmisi *frequency hopping*.



**Gambar 2. Interferensi pada Transmisi *Frequency Hopping*.**

Pada gambar tersebut interferensi muncul dan mengganggu pada kanal dengan frekuensi  $f_2$ , maka isyarat pembawa akan mengalami gangguan tetapi hanya pada saat berada pada frekuensi  $f_2$  saja.

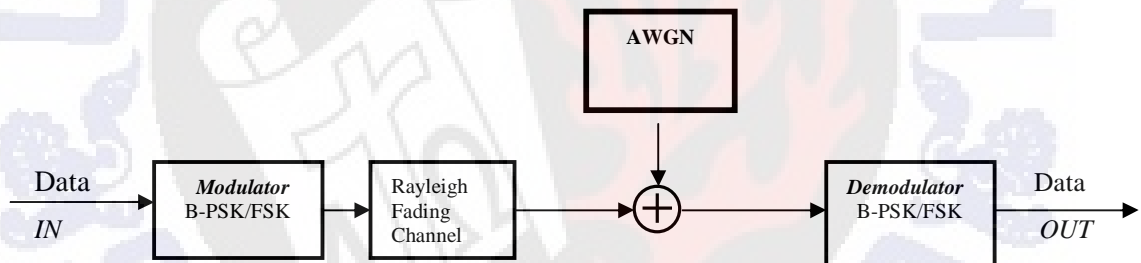
Sinkronisasi merupakan hal yang sangat penting dalam aplikasi *frequency hopping* pada jaringan *GSM*, terutama sinkronisasi antar *BTS* (*Base Transceiver Station*). Sinkronisasi diperlukan agar waktu dan frekuensi dapat terdeteksi secara benar dan tepat pada penerima. Untuk sinkronisasi awal, pemancar akan berada pada frekuensi tertentu (*parking frequency*) sebelum komunikasi dimulai.

Sistem *frequency hopping* berdasarkan laju lompatannya atau berdasarkan kecepatan perubahan frekuensi dibedakan dalam dua jenis lompatan frekuensi yaitu,

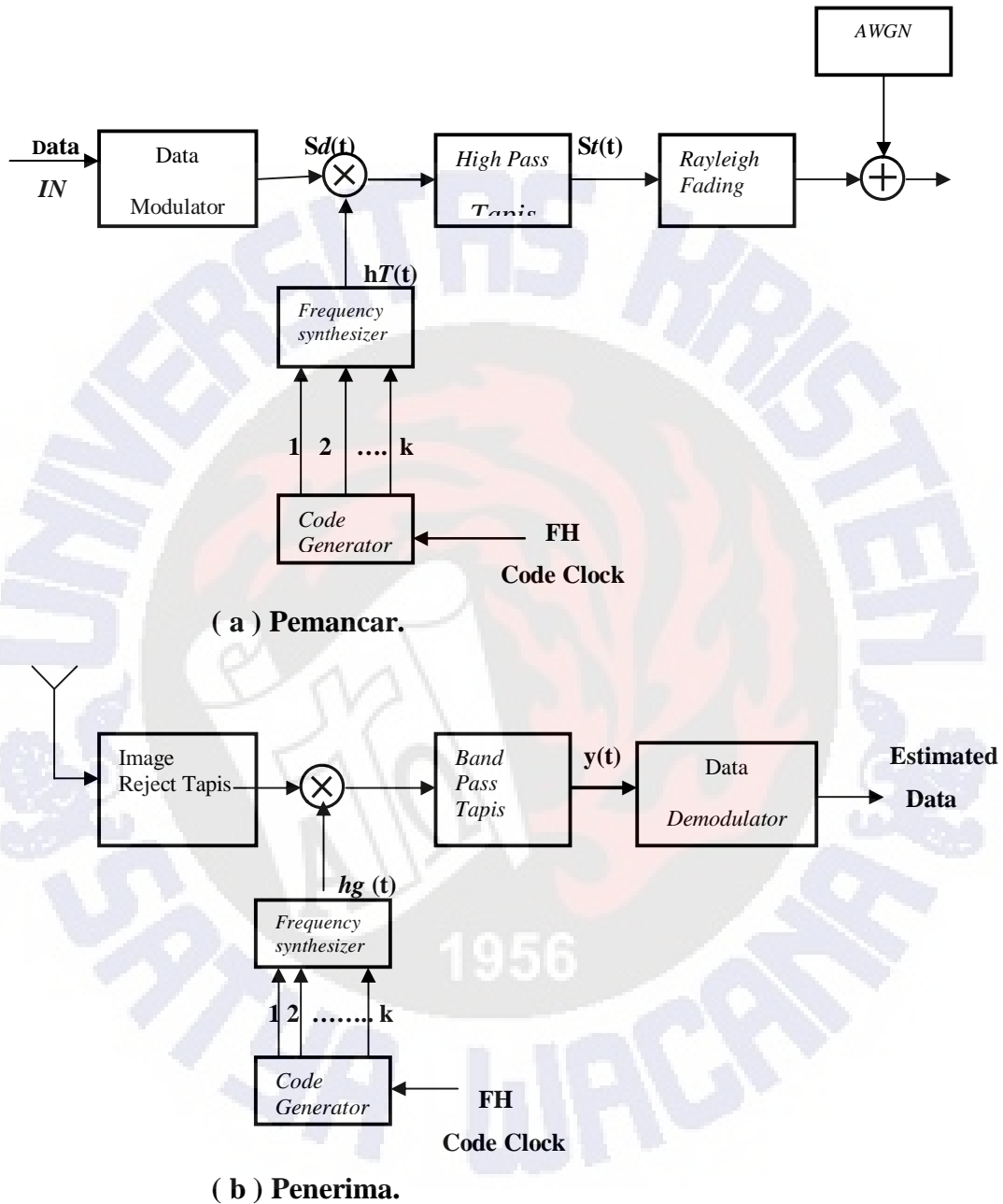
lompatan frekuensi cepat atau *fast frequency hopping (FFH)*, danlompatan frekuensi lambat atau *slow frequency hopping (SFH)*. *FFH* adalah *frequency hopping* dengan perubahan frekuensi lebih cepat daripada laju *bit* pemodulasinya. Sedangkan *SFH* adalah *frequency hopping* yang mempunyai beberapa *bit* pemodulasi dalam satu kali lompatan (*hop*) frekuensi.

## PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM

Penelitian ini akan membandingkan hasil keluaran grafik yang berupa hubungan *BER* terhadap *Eb/No* antara sistem yang menggunakan metode *frequency hopping* dengan sistem yang tidak menggunakan *frequency hopping*, Di bawah ini adalah gambar pemodelan sistem antara blok yang menggunakan teknik *frequency hopping* dan blok yang tidak menggunakan *frequency hopping*.



Gambar 3. Diagram Kotak Sistem tanpa Teknik *Frequency Hopping* .



**Gambar 4. Diagram Kotak Sistem dengan Teknik *Frequency Hopping* .**

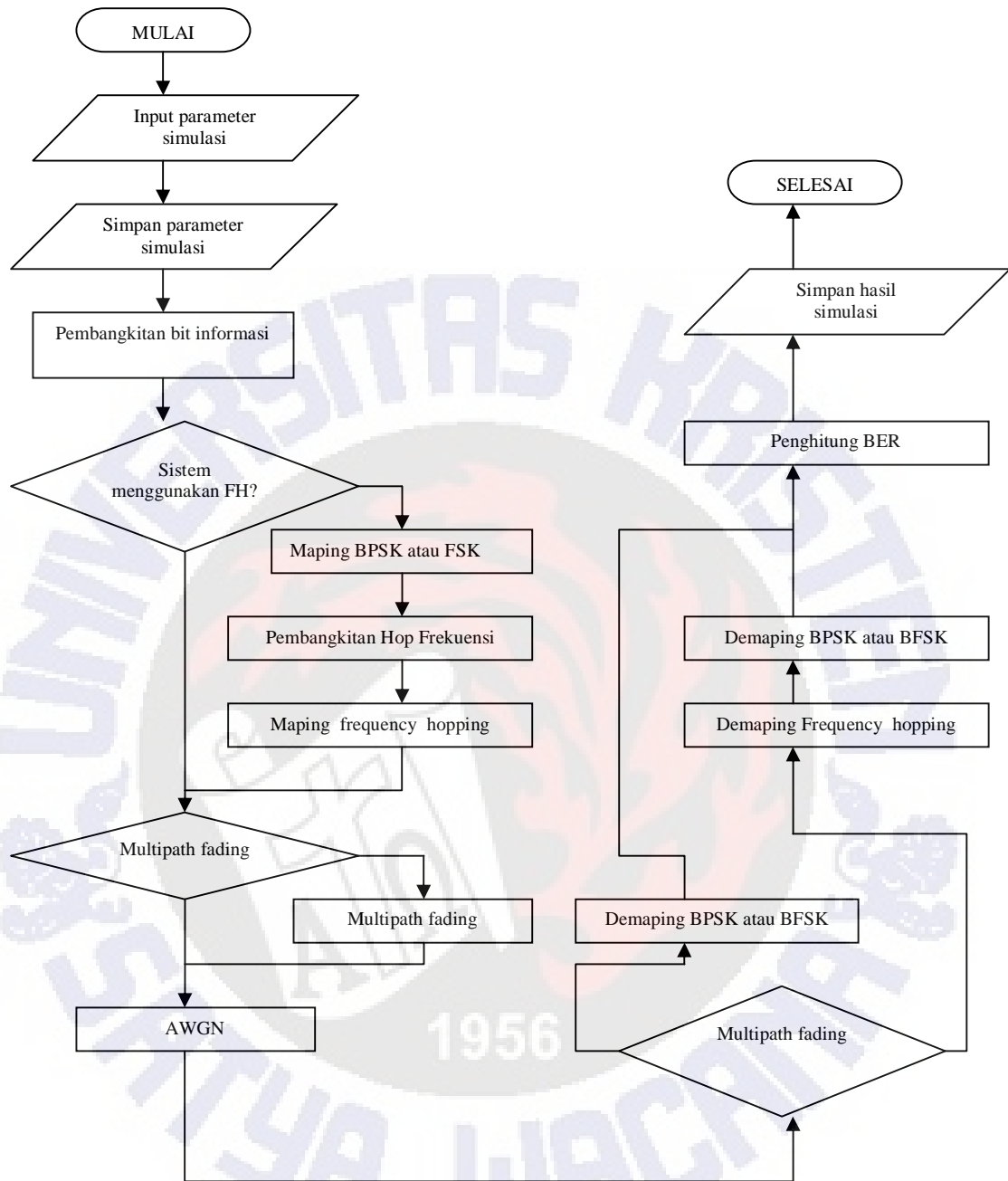
Gambar 3 merupakan diagram kotak sistem tanpa tanpa *frequency hopping*. Data digital terdistribusi seragam dibangkitkan pada modul pengirim. Data yang telah dibangkitkan tersebut akan diteruskan pada bagian *modulator* untuk dimodulasi secara *BPSK* ataupun *FSK*. Data termodulasi tersebut akan dikonvolusikan dengan kanal *rayleigh fading*, dan kemudian akan ditambahkan derau (*noise*) dengan nilai

tertentu. Data yang telah mengalami penambahan derau tersebut kemudian akan didemodulasi dalam *demodulator* secara *BPSK* ataupun *FSK* untuk menghasilkan isyarat keluaran. Data keluaran demodulator kemudian akan masuk dalam proses perhitungan *BER* (*Bit Error Rate*) yang akan dilihat pada hasil keluaran grafik berupa hubungan *BER* terhadap  $E_b/N_0$ .

Gambar 4 adalah diagram kotak sistem dengan teknik *frequency hopping*. Data terdistribusi seragam akan dibangkitkan pada modul pengirim kemudian akan dimodulasi oleh modulator *BPSK* atau *FSK*. Kemudian data akan dikonvolusikan dengan keluaran penyintesa frekuensi (*frequency synthesizer*) dan *code generator*. Selanjutnya diteruskan ke dalam *highpass tapis* atau tapis lolos atas. Data tersebut kemudian akan diteruskan dalam kanal *Rayleigh fading* dan mendapatkan tambahan derau sebelum masuk ke dalam *image reject tapis*. Data kemudian kembali akan dikonvolusikan dengan keluaran penyintesis frekuensi dan *code generator*, sebelum masuk ke dalam *bandpass tapis*. Data pada akhirnya akan didemodulasi dengan teknik *BPSK* ataupun *FSK* melalui *demodulator* sebelum menjadi data keluaran. Data keluaran demodulator tersebut kemudian diproses untuk menghasilkan tampilan grafik berupa hubungan antara *BER* terhadap  $E_b/N_0$ .

Di bawah ini adalah gambar gaftar alir program simulasi dengan menggunakan teknik *frequency hopping* dan tanpa menggunakan teknik *frequency hopping*.





**Gambar 5. Gaftar Alir Program Simulasi dengan Teknik *Frequency Hopping* dan tanpa Teknik *Frequency Hopping*.**

Perancangan bagian –bagian yang digunakan dalam proses simulasi dijelaskan sebagai berikut.



### Modul Pengirim

Pada program simulasi ini, data digital terdistribusi seragam dibangkitkan secara acak sebesar 1250 data.

### Modulator dan Demodulator

Blok modulator adalah blok tempat data yang telah dibangkitkan mengalami proses modulasi. Pada penelitian ini modulator yang digunakan adalah modulator *BPSK* dan *FSK*. Modulasi *BPSK* membutuhkan 1 bit/symbol untuk masukan data, sehingga mempunyai 2 aras simbol (0,1) dengan fase transisi antar aras simbol sebesar  $180^\circ$  ( $\pi$  radian). Sedangkan *M-ary* yang digunakan pada kedua modulasi di atas adalah 2. Fungsi demodulator adalah mendemodulasikan isyarat agar diperoleh hasil yang sama dengan masukan.

### *Frequency Synthesizer dan Code generator*

*Frequency synthesizer* dan *code generator* merupakan komponen utama dalam proses pembangkitan *frequency hopping*. Karena dari kedua komponen ini data dilompatkan sesuai dengan keluaran *code generator* dan keluaran penyintesa frekuensi (*frequency synthesizer*). *Code generator* berfungsi memberikan jumlah frekuensi yang akan digunakan yaitu sebesar  $2^n$  ( $n = 2,3,4,\dots$ ), yang kemudian akan dikalikan dengan keluaran penyintesis frekuensi. Rumus keluaran penyintesis frekuensi adalah

$$h\Gamma(t) = \sqrt{2P} \cos 2\pi (f_0 + f_i) \dots\dots\dots(1)$$

- $h\Gamma$  = Keluaran penyintesa frekuensi
- $P$  = Daya rata-rata isyarat.
- $f_0$  = Frekuensi isyarat termodulasi sebelum proses FH.
- $f_i$  = Lompatan frekuensi ke - i.
- $i$  = 1,2,3,.....,M.

Dalam simulasi ini, *frequency synthesizer* yang digunakan 8 dan 16 frekuensi, dengan *interval* frekuensi sebesar 960 kHz. Dengan frekuensi terendah adalah 1,92 MHz, dan frekuensi tertinggi adalah 8,64 MHz untuk 8 frekuensi dan 16,32 MHz untuk 16 frekuensi.

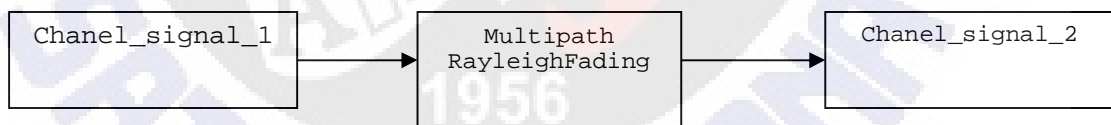
## Tapis

*Tapis* merupakan salah satu bagian yang digunakan sebagai alat untuk menapis frekuensi sebelum diteruskan menuju kanal berikutnya. Simulasi ini menggunakan dua jenis tapis yaitu tapis lolos atas dan tapis lolos pita. Kedua jenis tapis di atas direalisasikan menggunakan tapis jenis *Butterworth tapiss*.

## Multipath Fading

Isyarat informasi yang dikirimkan dari *BS* ( *Base Station* ) menuju *MS* ( *Mobile Station* ) akan melewati banyak lintasan karena terjadi pemantulan dan pembiasan akibat gedung- gedung, bukit-bukit dan halangan lainnya yang berada diantara pengirim dan penerima. Simulasi ini akan menggunakan jalur jamak sebanyak 2-4 jalur. Kanal *multipath fading* disimulasikan dengan menggunakan *blockset multipath Rayleigh fading*. *Blockset* yang dibutuhkan pada *simulink* disusun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 Parameter-parameter yang dibutuhkan pada *blockset multipath rayleigh fading* adalah sebagai berikut.

1. Frekuensi *doppler*  
Parameter ini menunjukkan nilai maksimum pergeseran *doppler*
2. *Delay vector*  
Parameter ini menunjukkan nilai *delay* yang dialami oleh setiap lintasan isyarat.



**Gambar 6. Pemodelan Kanal Rayleigh dengan Simulink.**

## Modul Derau

Modul derau yang digunakan dalam simulasi ini adalah modul derau *gaussian*. Modul derau ini diimplementasikan dengan menggunakan masukan *SNR\_dB* sebesar 2 – 10 dB. Masukan *SNR\_dB* pada simulasi ini adalah :

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} ( E_b / N_o ) + 10 \log_{10} ( \log_2 ( M ) ) - 10 \log_{10} ( F_s / F_{dl} )$$

*M* = jumlah *M-ary* yang digunakan

*F<sub>s</sub>* = frekuensi cuplik isyarat yang akan dimodulasi atau didemodulasi

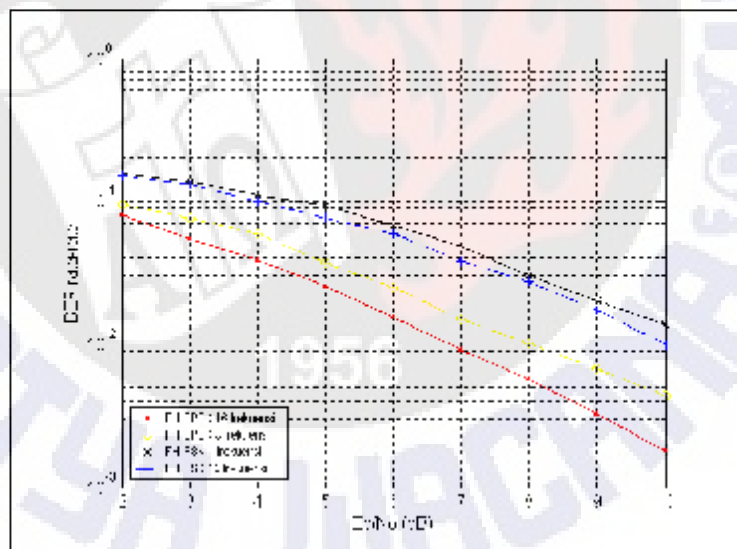
*F<sub>dl</sub>* = frekuensi cuplik data yang akan dikirim

Dengan menggunakan variable-variabel seperti kecepatan data, jumlah kanal jamak, besar *SNR*, dan banyaknya frekuensi pada teknik *frequency hopping* ataupun tanpa teknik *frequency hopping* yang akan disimulasikan sesuai dengan blok yang telah dirancang, maka akan dihasilkan keluaran program berupa grafik hubungan *BER* terhadap  $E_b/N_0$ , yang akan menunjukkan perbandingan unjuk kerja sistem dengan teknik *frequency hopping* dan sistem tanpa menggunakan teknik *frequency hopping*.

## HASIL PENELITIAN

### Pengaruh Banyaknya Frekuensi yang Digunakan terhadap Unjuk Kerja Sistem dengan Teknik *Frequency Hopping*

Gambar 7 adalah hasil grafik simulasi dengan menggunakan 4 jalur jamak dengan modulasi *BPSK* dengan kecepatan data 960 kbps dan lompatan frekuensi sebesar 8, dan 16 untuk sistem dengan teknik *frequency hopping*.



**Gambar 7.** Modulasi *BPSK* dan *FSK*; jalur jamak = 3 ; banyaknya frekuensi = 8 dan 16 ; kecepatan data = 960 kbps ; dengan Teknik *Frequency Hopping*.

Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan unjuk kerja *frequency hopping* dengan pengaruh banyaknya frekuensi yang digunakan dalam proses pengiriman data. Dapat dilihat penggunaan frekuensi yang lebih banyak menunjukkan unjuk kerja yang lebih baik. Hal ini dikarenakan dengan pemakaian frekuensi yang lebih

banyak akan mampu mengurangi terjadinya *interferensi* antar kanal akibat penggunaan frekuensi yang sama.

Perbandingan nilai *BER* dengan pengaruh banyaknya frekuensi yang digunakan, dapat dihitung melalui peningkatan *BER* pada penggunaan 8 frekuensi terhadap penggunaan 16 frekuensi. Sebagai contoh adalah perbandingan *BER* BPSK dengan kecepatan data 960 kbps pada titik *SNR* ( *Signal to Noise Ratio* ) = 9 dB, dengan jumlah jalur jamak = 3, dengan metode *frequency hopping*.

$$BER \text{ BPSK } 8 \text{ frekuensi} = 0,0052$$

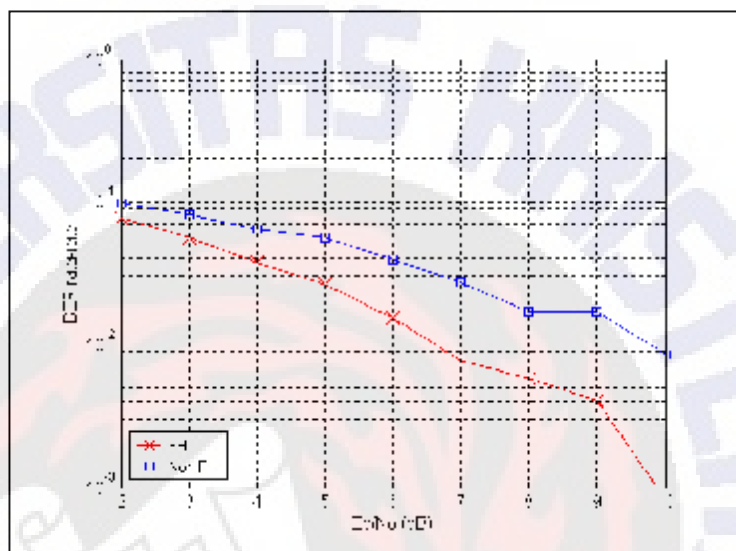
$$BER \text{ BPSK } 16 \text{ frekuensi} = 0,0033$$

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan } BER &= 10 \log \left( \frac{BER \text{ BPSK } 8f}{BER \text{ BPSK } 16f} \right) \quad (2) \\ &= 10 \log ( 0,0052 / 0,0033 ) \\ &= 1,97 \text{ dB} \end{aligned}$$

Jadi, *BER* BPSK dengan 8 frekuensi mempunyai nilai *BER* 1,97 dB lebih besar daripada *BER* dengan 16 frekuensi pada titik *SNR* 9 dB. Penggunaan frekuensi sebanyak 8 dan 16 pada metode *frequency hopping* dengan modulasi BPSK, mampu menghasilkan nilai *BER* sebesar 1,8% sampai 10% pada tiap-tiap titik *SNR* 2-10 dB. Sedangkan simulasi *frequency hopping* dengan modulasi FSK dengan 8 dan 16 frekuensi mampu menghasilkan *BER* sebesar 9,8% sampai 15% pada tiap-tiap titik *SNR* 2-10 dB.

### Pengaruh Penggunaan Metode *Frequency Hopping* dan Metode tanpa Teknik *Frequency Hopping*

Gambar 8 merupakan grafik perbandingan unjuk kerja metode *frequency hopping* dengan metode tanpa *frequency hopping* dengan parameter kecepatan data 240 kbps, jumlah jalur jamak = 2.



**Gambar 8.** Perbandingan Unjuk Kerja Teknik *Frequency Hopping* dan tanpa Teknik *Frequency Hopping* dengan Modulasi BPSK; kecepatan data 240 kbps; 2 jalur jamak.

Grafik hasil simulasi antara metode *frequency hopping* dengan metode tanpa *frequency hopping*., memperlihatkan metode *frequency hopping* memberikan unjuk kerja yang lebih baik dibanding metode tanpa *frequency hopping* dalam menekan nilai BER pada tiap-tiap titik SNR.

Hal ini terjadi karena dengan metode *frequency hopping* dapat mengurangi terjadinya interferensi antar kanal akibat penggunaan frekuensi yang sama. Sehingga dengan penggunaan frekuensi yang lebih banyak memungkinkan MS untuk tidak hanya menggunakan satu frekuensi. Selain itu metode *frequency hopping* juga memberikan unjuk kerja yang lebih baik pada kondisi kanal *multipath fading*, hal ini disebabkan isyarat dengan frekuensi berbeda akan mempunyai variasi amplitudo yang berbeda, walau pada area yang sama. Hal ini menyebabkan kekebalan informasi terhadap pemudaran isyarat dapat ditingkatkan dengan memperbanyak penggunaan frekuensi pembawa dengan teknik *frequency hopping*. *Frequency hopping* dapat

memberikan penurunan pemudaran yang kontinyu sehingga kualitas transmisi dapat ditingkatkan.

Perbandingan nilai *BER* antara metode *frequency hopping* dan metode tanpa *frequency hopping*, dapat dihitung melalui peningkatan *BER* pada tiap-tiap titik *SNR* 2-10 dB. Sebagai contoh adalah perbandingan *BER BPSK* metode *frequency hopping* terhadap metode tanpa *frequency hopping* pada titik *SNR* (*Signal to Noise Ratio*) = 8 dB, dengan kecepatan data 240 kbps dan jumlah jalur jamak = 2

$$BER \text{ BPSK } frequency \text{ hopping ( fh ) } = 0,0058$$

$$BER \text{ BPSK tanpa } frequency \text{ hopping ( fh ) } = 0,0171$$

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan } BER &= 10 \log \left( \frac{BER \text{ BPSK tanpa fh}}{BER \text{ BPSK (fh)}} \right) \quad (3) \\ &= 10 \log ( 0,0171 / 0,0058 ) \\ &= 4,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Jadi, nilai *BER* pada metode tanpa *frequency hopping* 4,7 dB lebih besar daripada metode *frequency hopping* pada titik *SNR* 8 dB. Dengan Persamaan ( 3 ) maka dapat dicari nilai *BER* pada tiap-tiap titik *SNR* 2-10 dB. Dari hasil keseluruhan simulasi dengan menggunakan metode *frequency hopping* dan metode tanpa *frequency hopping* dengan perubahan parameter simulasi yang sama menunjukkan bahwa untuk metode *frequency hopping* mampu menghasilkan nilai *BER* pada tiap-tiap titik *SNR* 2-10 dB sebesar 0,08% sampai 15%, sedangkan untuk metode tanpa *frequency hopping* menghasilkan nilai *BER* pada tiap-tiap titik *SNR* 2-10 dB sebesar 8,6% sampai 30%.

Dengan demikian metode *frequency hopping* mampu memberikan unjuk kerja yang lebih baik dalam mengatasi *interferensi* antar kanal, pada kanal *multipath fading* dibanding penggunaan metode tanpa *frequency hopping*.

## KESIMPULAN

Semakin banyak frekuensi yang digunakan maka akan mengurangi nilai *BER* pada tiap tiap titik *SNR* 2-10 dB. Pada titik *SNR* (*Signal to Noise Ratio*) = 9 dB, dengan jumlah jalur jamak = 3, dengan metode *frequency hopping*, metode *frequency hopping* yang menggunakan 8 frekuensi memiliki nilai *BER* 1,97 dB lebih besar daripada nilai *BER* yang menggunakan 16 frekuensi.



Penggunaan metode *frequency hopping* memberikan unjuk kerja yang lebih baik dalam menekan nilai *BER* pada kanal *multipath fading*. Pada titik *SNR* ( *Signal to Noise Ratio* ) = 8 dB, dengan kecepatan data 240 kbps dan jumlah jalur jamak = 2, metode tanpa *frequency hopping* memiliki nilai *BER* 4,7 dB lebih besar daripada nilai *BER* metode *frequency hopping*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lee, J. S., and L. E. Miller, “ *CDMA System Engineering Hand Book*”, Arctect House, Boston .London, 1998.
- [2] Roden, Martin S , ”*Digital Communication System Design*” , Prentice Hall, United States of America, 1998.
- [3] R, Theodore. S., “*Wireless Commnications*”, Prentice Hall, United States of America, 2002.
- [4] Stremler, F.G, “ *Introduction To Communication* “, 3 rd edition, Addison Publishing Company, Wisconsin – Medison, 1990.
- [5] Proakis , John G, “ *Digital Communication* “, McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [6] Sklar, Bernard, ” *Digital Communications Fundamentals and Applications*”, Prentice Hall, 1998.
- [7] Peterson, R.L, R.E Ziemer, dan D.E. Borth, ”*Introduction to Spread Spectrum*”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.