

**PENGGUNAAN TEKNIK *FREQUENCY HOPPING* UNTUK
MENGATASI *MULTIPATH FADING* PADA *GLOBAL SYSTEM FOR
MOBILE COMMUNICATION (GSM)***

Andreas Ardian Febrianto

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer – UKSW

Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

INTISARI

Ada banyak metode yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan frekuensi jaringan *GSM* dan untuk mengatasi atau mengurangi terjadinya interferensi. Misalnya adalah dengan menambah kanal-kanal baru, *frequency borrowing*, mengubah pola sel, pembelahan sel, atau dengan sektorisasi. Tetapi efektifitas berbagai metode tersebut di atas menjadi terbatas jika diterapkan pada jaringan penuh pelanggan (*congested*), dan pada kanal yang mengalami *multipath fading*. Teknik *frequency hopping* adalah solusi yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Naskah ini berisi penjelasan tentang penggunaan teknik *frequency hopping* dalam mengatasi atau setidaknya mengurangi efek *multipath fading* pada sistem *GSM*

Kata kunci : *Frequency Hopping, Multipath Fading, GSM*

1. Pendahuluan

GSM (*Global System for Mobile Communication*) adalah sebuah sistem komunikasi bergerak yang memiliki konsep dasar transmisi berupa pengiriman data *TDMA* (*Time Division Multiple Acces*). Selain itu *GSM* juga mempunyai standarisasi *interface* yaitu : terdiri dari 8 kanal per pembawa, lebar pita frekuensi pembawa 200 kHz, dan teknik *Slow Frequency Hopping*. Pertumbuhan pelanggan yang pesat dan kompetisi yang tinggi dari para penyedia jasa telekomunikasi, menuntut peningkatan kapasitas

jaringan dan kualitas pelayanan. Kedua hal tersebut sangat tergantung pada efisiensi penggunaan spektrum frekuensi yang tersedia. Terbatasnya lebar pita frekuensi yang tersedia, menyebabkan munculnya kemungkinan bahwa sejumlah unit bergerak yaitu *MS* (*Mobile Station*) 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 sinyal pada konfigurasi jaringan *GSM* dan upaya mengatasi serta mengurangi terjadinya interferensi yaitu dengan melakukan teknik ekspansi sistem seluler sebagai berikut.

a. Menambah kanal-kanal baru

Cara ini bisa dilakukan bila kanal – kanal tersebut tersedia. Mula – mula sistem ini diatur sedemikian rupa sehingga jumlah kanal yang tersedia tidak dimanfaatkan seluruhnya, sehingga dapat digunakan untuk menambah kanal-kanal yang baru. Namun diperlukan metode-metode baru untuk melakukan sistem ekspansi ini.

b. Peminjaman frekuensi kanal (*frequency borrowing*)

Kanal – kanal biasanya dialokasikan untuk sel – sel tertentu sesuai trafik yang dilayani pada saat itu. Bila trafik di jaringan meningkat dan terkonsentrasi pada area tertentu maka beberapa sel mulai *overloaded*, maka perlu untuk merealokasikan kanal dengan jalan sel yang *overloaded* meminjam frekuensi kanal sel yang belum *overloaded* dengan catatan sel yang belum *overloaded* itu masih mampu melayani trafik yang ada di area layanannya.

c. Mengubah pola sel

Yaitu dengan menambah jumlah sel / *cluster* misalnya dari 3 sel / *cluster* (kepadatan trafik tinggi) menjadi 7 sel / *cluster* atau lebih. Namun penambahan ini juga akan menambah perangkat keras (*hardware*), sehingga dianggap kurang efisien.

d. Pembelahan sel

d. Pembelahan sel

Dilakukan dengan memecah-mecah sel menjadi sel yang lebih kecil pada saat kondisi *traffic* padat. Hal ini digunakan untuk memanfaatkan spektrum frekuensi yang tersedia secara efisien.

e. Sektorisasi

Teknik ini dilakukan dengan membagi sel menjadi beberapa sektor, dengan tiap – tiap sektor dilayani oleh sekelompok kanal yang diliputi antena terarah. Biasanya ditempatkan *BTS* (*Base Transceiver Station*) di tengah – tengah sektor/sel.

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

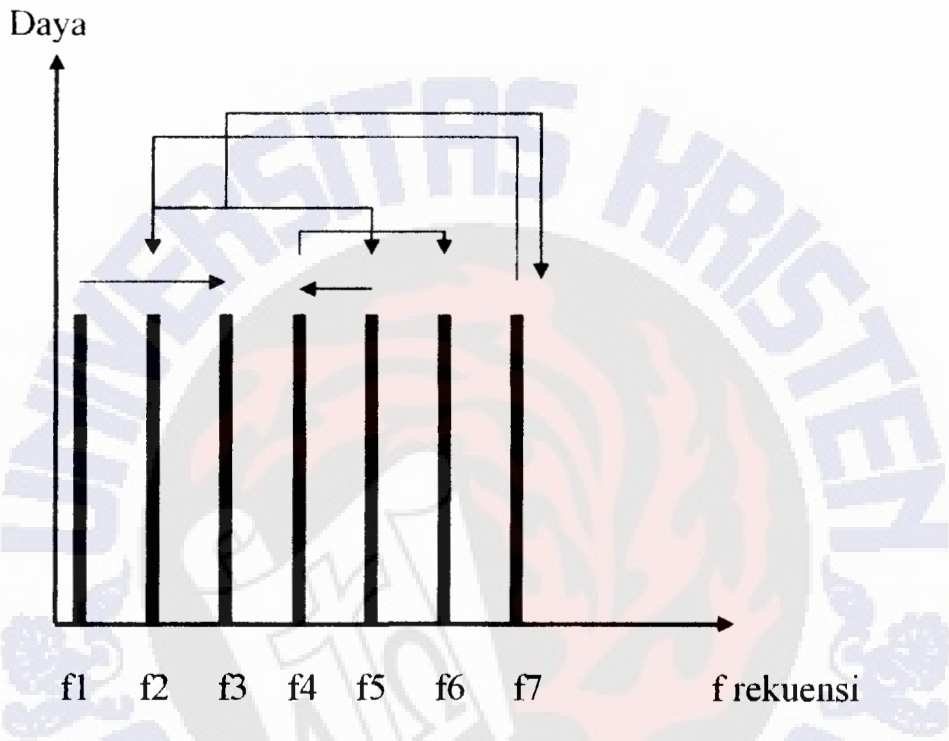
Frequency hopping adalah solusi yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah tersebut di atas. Metode *frequency hopping* ini akan melompatkan frekuensi-frekuensi sinyal pembawa secara periodik dengan diatur oleh algoritma tertentu, dalam hal ini banyaknya lompatan ditentukan dari *code generator* pada algoritma yang sudah ditentukan. Pada jaringan *GSM* peran teknik *frequency hopping* adalah *signaling traffic* *BTS*. 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 sinyal yang lebih baik.

2. *Frequency Hopping*

Frequency hopping adalah salah satu jenis sistem spektrum tersebar, yang cara penyebaran datanya dilakukan dengan cara mengubah frekuensi sinyal pembawanya secara periodik yang diatur oleh algoritma tertentu. Frekuensi ini akan membawa

sejumlah sinyal informasi data selama periode tertentu, dan berpindah dari satu frekuensi menuju frekuensi yang lain secara terus menerus.

Dalam sistem *frequency hopping* sinyal yang dikirimkan berlaku seperti pembawa termodulasi data yang melompat-lompat dari satu frekuensi menuju frekuensi lainnya. Gambar teknik dasar sistem *frequency hopping* dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Teknik *Frequency Hopping*.

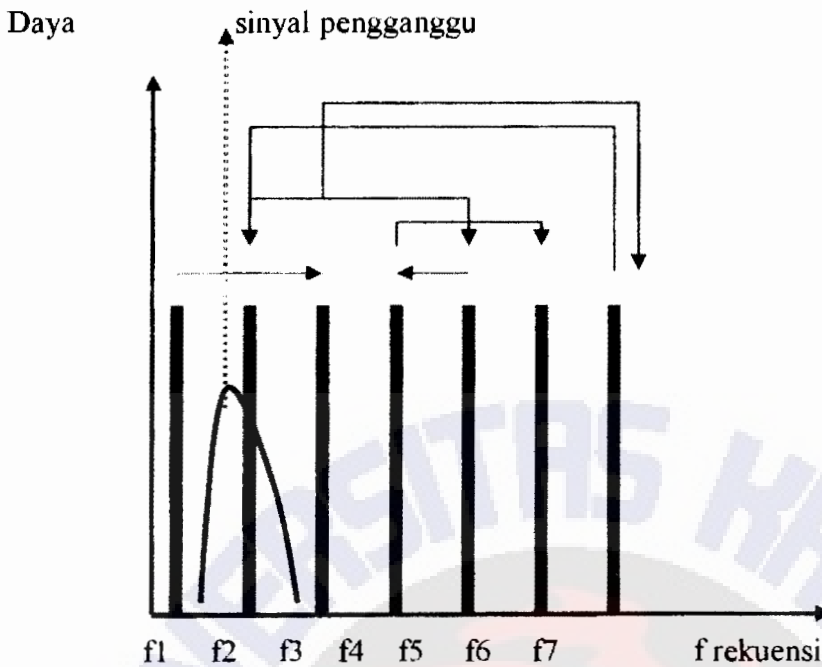
Anak panah pada Gambar 1 menunjukkan urutan lompatan (*hop*) frekuensi secara acak (*random*). Dapat dilihat bahwa frekuensi melompat dengan pola urutan lompatan sebagai berikut : f1 --- f3 --- f7 --- f2 --- f5 --- f4 --- f6. Lompatan frekuensi tersebut dilakukan secara berulang-ulang. Selama komunikasi antar *MS* (*Mobile Station*) 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. Dapat diartikan bahwa stasiun penerima harus melakukan perpindahan frekuensi dengan lompatan yang sama supaya terjadi sinkronisasi, sehingga informasi yang dikirimkan dapat diperoleh kembali.

**PENGGUNAAN TEKNIK FREQUENCY HOPPING UNTUK MENGATASI
MULTIPATH FADING PADA GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE
COMMUNICATION (GSM)**

Andreas Ardian Febrianto

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. *Frequency hopping* memiliki periode lompatan antara $400\mu\text{s}$ - $577\mu\text{s}$, dan periode antar lompatan ini disebut *chip* atau *time slot*.

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 periodis dalam waktu yang cukup lama. Pengacakan pola lompatan frekuensi dimaksudkan untuk menghindari sinyal pengganggu (*interfering signal*), sehingga akan dihasilkan kinerja yang lebih baik selama komunikasi antar *MS* berlangsung dan jika interferensi muncul, tidak semua kanal akan terkena interferensi, melainkan hanya terjadi pada salah satu kanal saja. Misalnya pada saat interferensi muncul dan mengganggu salah satu kanal, yaitu pada frekuensi 2 (f_2), maka sinyal pembawa akan selalu mengalami gangguan tetapi hanya pada saat berada pada frekuensi 2 (f_2) saja. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, yaitu gambar yang menunjukkan interferensi yang terjadi pada proses transmisi *frequency hopping*.



Gambar 2. Interferensi pada Transmisi *Frequency Hopping*.

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. Pemancar harus selalu melakukan sinkronisasi dengan penerima. Untuk sinkronisasi awal, pemancar akan berada pada frekuensi tertentu (*parking frequency*) sebelum komunikasi dimulai. *Parking* frekuensi ini sangat penting untuk memulai melakukan teknik *frequency hopping* pada pemancar, sehingga jika interferensi muncul pada frekuensi ini maka akan mempersulit untuk melakukan teknik *frekuensi hopping*.

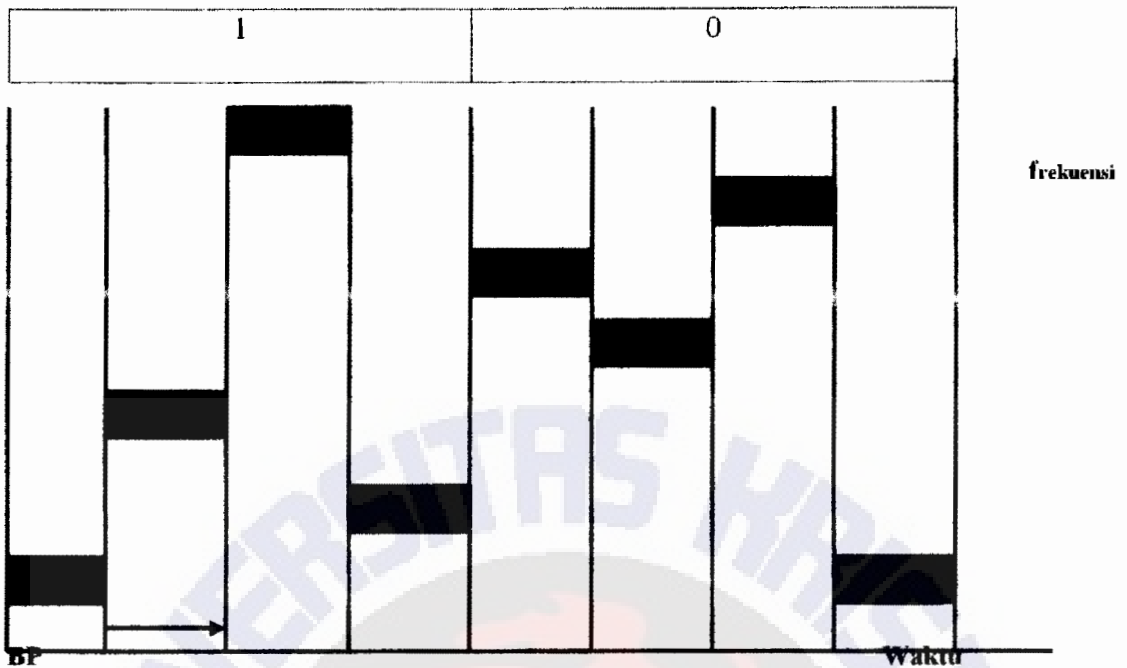
Sistem *frequency hopping* berdasarkan laju lompatannya atau berdasarkan kecepatan perubahan frekuensi dibedakan dalam dua jenis lompatan frekuensi yaitu, lompatan frekuensi cepat atau *fast frequency hopping* (*FFH*), dan lompatan frekuensi lambat atau *slow frequency hopping* (*SFH*). *FFH* adalah *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.

2.1. Fast Frequency Hopping (FFH)

Sistem *FFH* mempunyai perubahan frekuensi yang lebih cepat daripada laju *bit* pemodulasinya atau bisa dikatakan *frequency hopping* yang mempunyai beberapa lompatan (*hop*) frekuensi per *bit* pemodulasi. *FFH* melakukan lompatan tiap waktu $T_c = T/n$, dengan T_c adalah lama waktu tiap *chip*, n adalah banyaknya frekuensi yang digunakan, dan T adalah lama waktu tiap *bit*. *FFH* digunakan untuk mengirimkan informasi yang sama pada kanal yang berbeda dengan waktu pendudukan tiap kanal T_c . Sinyal keluaran yang dihasilkan modulator data akan dibagi dalam L lompatan, dengan tiap bagian mempunyai durasi $T_c = T_s / L$. T_s merupakan lama waktu tiap simbol.

Cara yang digunakan sistem *FFH* untuk menghasilkan lompatan frekuensi adalah dengan mencampur keluaran modulator data dengan keluaran penyintesa frekuensi yang akan memilih frekuensi baru tiap waktu T_c . Energi yang dikirimkan pada tiap kanal adalah E_s / L , dengan E_s merupakan energi tiap simbol dan L merupakan jumlah lompatan yang digunakan untuk mengirimkan tiap simbol informasi. Dengan semakin banyaknya lompatan frekuensi pada tiap waktu pendudukan (T_c), maka akan dihasilkan kinerja yang memiliki daya tahan terhadap ketidaksempurnaan atau daya tahan terhadap interferensi, terutama interferensi *co-channel*.

Selain digunakan untuk mengatasi terjadinya interferensi *co-channel*, *FFH* juga biasa digunakan untuk mengatasi penindas. Penindas ini biasa disebut dengan penindas pengikut (*follower jammer*). Penindas pengikut ini bekerja dengan mengirimkan sinyal interferensi pada frekuensi tempat sinyal informasi berada. Dengan teknik *FFH* ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan penindas pengikut, karena penggunaan *FFH* ini akan mempersulit sinyal pengganggu untuk memperoleh waktu yang cukup untuk mengetahui keberadaan frekuensi tempat sinyal informasi dikirimkan. Di bawah ini adalah contoh gambar *FFH* dengan urutan lompatan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh FFH : 4 hop / bit.

Konsep dasar transmisi GSM adalah pengiriman data TDMA (*Time Division Multiple Acces*) yang dilakukan dalam satu *burst* tiap pengiriman. Burst sendiri merupakan deretan 156 *bit* pemodulasi. Dan pengiriman satu burst membutuhkan waktu 0,577 ms yang disebut dengan *Burst Period* (BP) atau *time slot* (T_s).

Dari contoh Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa dalam satu *bit* pemodulasi sistem FFH mampu melakukan 4 kali lompatan (*hop*). Hal ini sesuai dengan definisi FFH merupakan *frequency hopping* dengan beberapa lompatan (*hop*) per *bit* pemodulasinya.

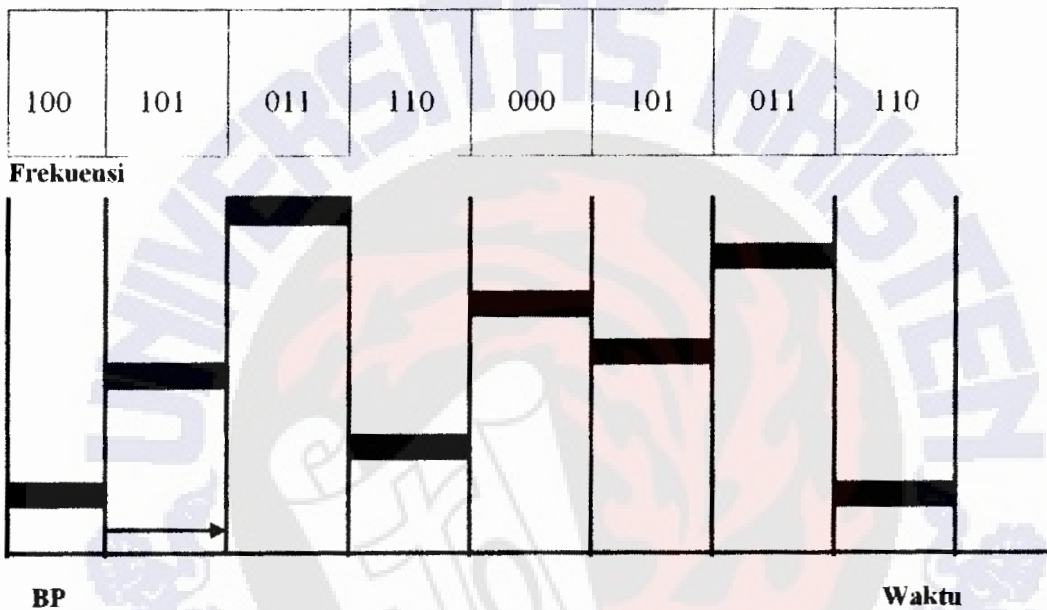
2.2. Slow Frequency Hopping (SFH)

Slow Frequency Hopping (SFH) merupakan *frequency hopping* yang mempunyai beberapa *bit* pemodulasi dalam satu kali lompatan frekuensi. SFH mengirimkan beberapa simbol informasi pada tiap lompatan frekuensi yang dilakukan. Laju simbol (R_s) merupakan hasil perkalian suatu bilangan bulat (b) dengan laju lompatan (R_c), sehingga dapat dirumuskan $R_s = b R_c$. Bila durasi tiap simbol informasi disimbolkan dengan T_s , maka lompatan akan dilakukan tiap waktu $T_c \leq T_s$.

**PENGGUNAAN TEKNIK FREQUENCY HOPPING UNTUK MENGATASI
MULTIPATH FADING PADA GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE
COMMUNICATION (GSM)**

Andreas Ardian Febrianto

Pada *SFH*, frekuensi pembawa akan dilompatkan sesuai dengan keluaran penyintesa frekuensi. Penyintesa frekuensi ini akan menghasilkan banyaknya frekuensi sebesar 2^n frekuensi. Sebagai contoh, digunakan $n = 2$, maka keluaran penyintesa frekuensi akan menghasilkan frekuensi sebanyak 4 frekuensi. Gambar 4 menunjukkan representasi bergambar untuk contoh teknik *SFH*.



Gambar 4. Contoh *SFH* 3 bit / hop .

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa dalam satu kali lompatan *SFH* menggunakan lebih dari satu *bit*, dalam contoh di atas digunakan tiga *bit* pemodulasi untuk melakukan satu kali lompatan. Dengan *SFH*, pengiriman secara simultan pada beberapa kanal dapat dilakukan karena *SFH* menggunakan sebagian kecil pita frekuensinya. Dalam jaringan *GSM*, digunakan teknik *SFH* untuk mengatasi serta mengurangi terjadinya interferensi *co-channel*.

3. GSM (Global Sistem for Mobile Communication)

Konsep dasar transmisi *GSM* adalah pengiriman data *TDMA* (*Time Division Multiple Acces*). Sedangkan sinyal yang dipancarkan stasiun pusat akan dipancarulangkan berkali-kali oleh banyak sekali antena *BTS* (*Base Transceiver Station*). Sistem *GSM* mempunyai lebar pita total sebesar 25 MHz yang terbagi atas 124 kanal dengan masing-masing mempunyai lebar pita sebesar 200 KHz.

Jaringan *GSM* memiliki keistimewaan yaitu adanya standarisasi antar muka (*interface*) antar masing – masing subsistem. Sehingga *GSM* tidak tergantung hanya pada satu merk dalam menempatkan perangkat-perangkatnya di dalam sebuah konfigurasi jaringan. *GSM* mempunyai standarisasi *interface* sebagai berikut.

- a. Terdiri dari 8 kanal per pembawa.
- b. Lebar pita frekuensi pembawa 200 kHz.
- c. *Slow Frequency Hopping* (*SFH*).

Selain standarisasi *interface*, *GSM* juga memiliki konfigurasi arsitektur jaringan yang dirancang berdasarkan konsep *open interface* yang artinya kemampuan – kemampuan baru dapat ditambahkan pada *layer* atau lapisan dan *interface* antar jaringan tanpa mengubah arsitektur jaringannya sendiri.

4. Teknik *Frequency Hopping* pada Jaringan *GSM*

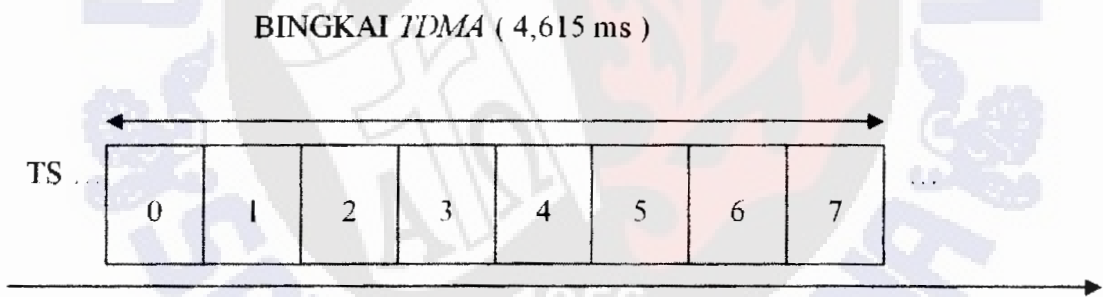
Teknik *frequency hopping* merupakan salah satu teknik yang digunakan pada jaringan *GSM* untuk mengatasi terjadinya interferensi, terutama interferensi *co-channel* akibat pemakaian frekuensi yang sama pada kanal yang sama selama komunikasi berlangsung. Aplikasi *frequency hopping* pada jaringan *GSM* adalah pada teknik pengiriman datanya, yaitu teknik pengiriman data *TDMA* (*Time Division Multiple Acces*).

Aplikasi teknik *frequency hopping* pada jaringan *GSM* terdapat pada bagian *BTS*. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa teknik dasar transmisi pada jaringan *GSM* adalah pengiriman data *TDMA* yang dilakukan dalam satu *burst* tiap pengiriman. *Burst* sendiri adalah deretan 156 *bit* pemodulasi. Setiap pengiriman satu *burst* membutuhkan waktu 0,577 ms dan disebut *burst period* (*BP*) atau *time slot* (*TS*). Sedangkan penerapan *frequency hopping* pada jaringan *GSM* ditentukan oleh *BP* atau *TS*. Telah disebutkan

**PENGUNAAN TEKNIK FREQUENCY HOPPING UNTUK MENGATASI
MULTIPATH FADING PADA GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE
COMMUNICATION (GSM)**

Andreas Ardian Febrianto

bahwa aplikasi *frequency hopping* pada jaringan *GSM* terdapat pada bagian *BTS* – nya. Dalam sistem selular *GSM*, setiap *BTS* dapat terdiri dari satu sampai tiga sel, dengan setiap selnya mempunyai satu atau lebih perangkat pemancar atau penerima yang disebut *Transceiver* (*TRX*). Setiap *TRX* ini terbagi dalam bingkai *TDMA*, dengan tiap – tiap bingkai *TDMA* terbagi dalam delapan *time slot* (*TS*) yang terbagi dari *TS0* sampai *TS7*. Setiap *TS* akan terulang setiap 4,615 ms. Jika *MS* mendapatkan kanal pada *TS1*, maka ia akan berada pada *TS 1* selama komunikasi berlangsung. Lompatan frekuensi pada *GSM* terjadi setelah satu bingkai *TDMA* selesai dan *frequency hopping* terjadi dalam 217 kali tiap detik ($1 / 4,615 \text{ ms}$), dengan tujuan agar tidak terjadi interferensi *co-channel* akibat penggunaan frekuensi yang sama. Karena dengan *frequency hopping* maka frekuensi pembawa akan berubah secara periodik, sehingga penggunaan frekuensi yang sama dalam satu kanal selama komunikasi berlangsung dapat dihindari. Berikut ini adalah gambar *bingkai TDMA* pada jaringan *GSM*.



Gambar 5. Bingkai *TDMA* pada *GSM*.

Dari gambar bingkai *TDMA* di atas, terdapat delapan *time slot* dalam satu bingkai. *Time slot* pertama (*TS0*) dari *TRX* pertama dalam sel digunakan sebagai kanal fisik yang disebut *BCCH* (*Broadcast Control Channel*). *BCCH* adalah kanal yang berisi semua informasi tentang jaringan yang diperlukan *MS*. Sedangkan untuk *TS1* sampai *TS7* digunakan untuk kanal fisik yang disebut sebagai *TCH* (*Traffic Channel*). *TCH* inilah yang digunakan pada jaringan *GSM* sebagai kanal untuk berkomunikasi. Untuk lebih

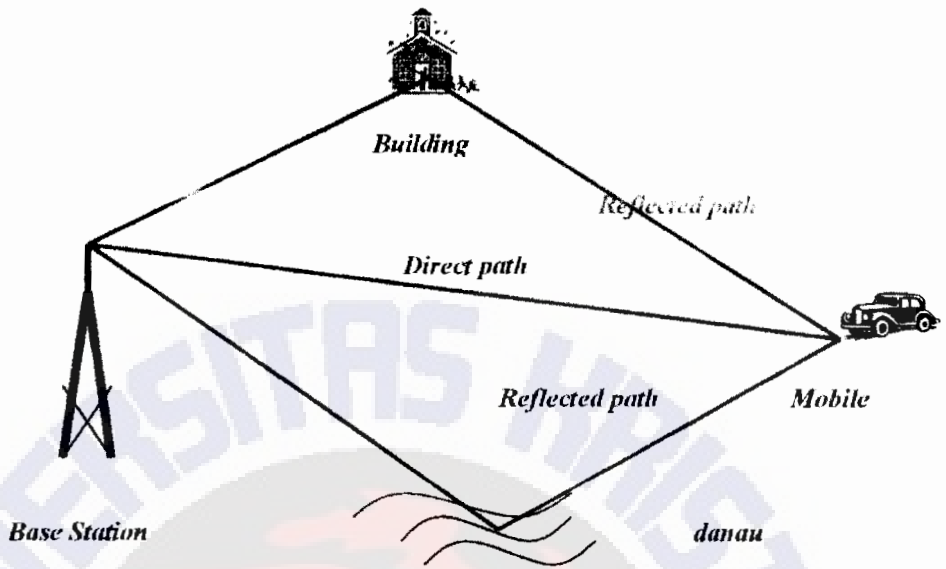
jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan konfigurasi *TS* pada sel *GSM* yang mempunyai empat *TRX*.

	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7	
TRX1	B	T	T	T	T	T	T	T	f1
TRX2	T	T	T	T	T	T	T	T	f2
TRX3	T	T	T	T	T	T	T	T	f3
TRX4	T	T	T	T	T	T	T	T	f4

Gambar 6. Konfigurasi *TS* pada Sel *GSM* yang Mempunyai 4 *TRX*
 B : *TS* untuk *BCCH*, T : *TS* untuk *TCH* .

5. Penerapan Teknik *Frequency Hopping* pada Jaringan *GSM* untuk Mengatasi *Multipath Fading*

Pada area yang mempunyai banyak halangan untuk perambatan (daerah padat penduduk dan banyak bangunan), maka isyarat yang diterima oleh *MS* merupakan jumlah isyarat-isyarat radio yang terdiri dari beberapa jalur (*multipath propagation*). Penjumlahan ini dapat bersifat *konstruktif* ataupun *destruktif*. Pada kasus *destruktif*, jumlah isyarat tersebut mempunyai daya yang lebih kecil dari aras rata-ratanya, dan akan menyebabkan variasi amplitudo sinyal yang akan menyebabkan pemudaran, *fading* tersebut disebut sebagai *multipath fading*. Di bawah ini adalah gambar yang menunjukkan peristiwa *multipath fading*.



Gambar 7. Multipath Fading.

Dalam komunikasi bergerak dikenal dengan adanya *fading* cepat dan *fading* lambat. *Fading* cepat adalah *fading* yang terjadi dalam situasi ketika penerima ditempatkan di antara bangunan- bangunan, kendaraan-kendaraan, dan benda – benda lain yang memantulkan dan membaurkan gelombang radio. *Fading* ini dapat diamati dengan meletakkan penerima pada tempat yang tetap yang dioperasikan pada frekuensi yang tetap, akibat penghambur seperti kendaraan- kendaraan, orang-orang , dan pohon-pohon. Sedangkan *fading* lambat terjadi akibat variasi pembayangan penerima akibat gerakan di sekitar lingkungan, atau sekitar *BS* yang melingkupinya. Misalnya adalah gerakan penerima pada bangunan-bangunan yang berbeda tingginya. Dari kedua jenis *fading* ini dapat dirumuskan

$$r(t) = m(t) \times r_o(t) \dots\dots\dots(1)$$

dengan

- $r(t)$ = rerata *fading* ;
- $m(t)$ = *fading* lambat ; dan
- $r_o(t)$ = *fading* cepat.

Pada jaringan *GSM* biasanya antara antena pemancar dan penerima tidak berada pada satu garis lurus, dan sinyal yang diterima merupakan penjumlahan sejumlah sinyal yang merupakan tiruan sinyal asli dengan amplitudo berbeda-beda dan fase tergeser. Jadi jika bangunan pemantul berbentuk tidak teratur, maka sinyal yang akan dihasilkan akan mengalami pantulan yang semakin banyak. Kondisi tersebut akan menghasilkan sinyal dengan fase acak dengan amplitudo sesuai dengan distribusi *Rayleigh*.

$$p(r) = (r / \sigma^2) \exp [-r^2 / 2\sigma^2] \quad , \text{ untuk } r > 0 , \dots\dots\dots (2)$$

Dengan r adalah amplitudo yang diterima, σ^2 adalah daya rata-rata sinyal yang diterima.

Semakin besar pemudaran dan semakin lemah amplitudo, maka menyebabkan informasi yang dibawa terdistorsi. Dalam komunikasi suara, pembicaraan akan tidak jelas, sedangkan pada proses *SMS* (*Short Message Service*) akan menyebabkan terjadinya keterlambatan pengiriman dari satu *MS* menuju *MS* lain, bahkan terkadang akan menyebabkan kegagalan pengiriman. Sinyal dengan frekuensi yang berbeda akan mempunyai variasi amplitudo yang berbeda, walaupun pada area yang sama. Oleh karena itu kekebalan informasi terhadap pemudaran sinyal dapat ditingkatkan dengan memperbanyak penggunaan frekuensi pembawa dengan teknik *frequency hopping*.

6. Kesimpulan

Dalam mengatasi efek *multipath fading* teknik *frequency hopping* bekerja pada saat *MS* bergerak dengan kecepatan rendah (orang berjalan, lalu-lintas padat, dan sebagainya), karena pada kondisi ini sinyal dapat mengalami pemudaran dalam waktu yang cukup lama dan informasi sangat terdistorsi. Dengan teknik *frequency hopping* diharapkan akan menjaga kualitas sinyal yang lebih baik.

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 Commnications 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.