

## BAB II

### RADIO FREKUENSI PADA KOMUNIKASI SELULAR

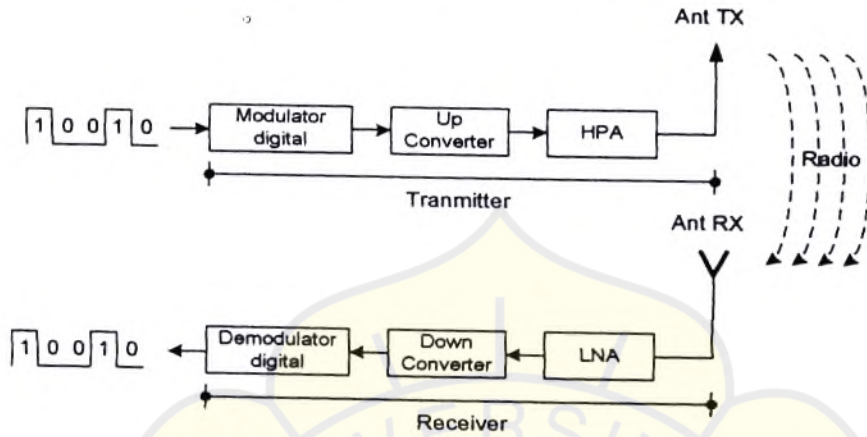
Komunikasi selular menggunakan medium udara sebagai media transmisi dengan menggunakan gelombang radio untuk menghubungkan antara pelanggan dengan sistem selular. Dalam komunikasi melalui media radio, *efisiensi spectrum* radio merupakan *resource* yang terbatas. Sehingga *bandwidth spectrum* merupakan aspek terpenting dalam sistem komunikasi radio.

Dalam sistem komunikasi radio, informasi dalam bentuk sinyal digital dirubah menjadi sinyal analog untuk ditransmisikan melalui radio. Sinyal hasil modulasi digital ini masih dalam frekuensi baseband, sehingga dibutuhkan *up converter* untuk menggeser sinyal hasil modulasi menjadi sinyal RF( Radio Frekuensi ). Sinyal RF ini kemudian di transmisikan melalui medium udara melalui sistem antenna di *transmitter*. Sinyal RF yang merambat melalui medium udara diterima oleh sistem antenna *receiver*. Sinyal tersebut kemudian di turunkan ke frekuensi *baseband* dengan *down converter*. Sinyal *baseband* yang diterima, kemudian dimasukkan ke dalam proses demodulasi digital, sehingga didapatkan sinyal informasi yang dikirimkan *transmitter*. Gambar dasar sistem komunikasi radio digital ada pada gambar 2.1.

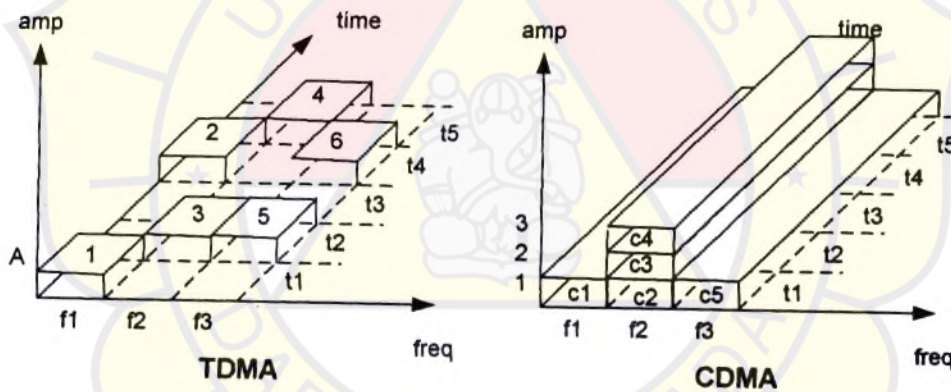
Dari aspek metoda akses pelanggan ke sistem, DCS 1800 menggunakan metoda akses TDMA (Time Divison Multiple Access) dan CDMA 2000 1x menggunakan CDMA (Code Division Multiple akses). Pada metoda akses TDMA, setiap pelanggan terbagi dalam beberapa urutan akses ke sistem.

Sedangkan pada CDMA, setiap pelanggan terbagi dalam kode-kode tertentu.

Gambar tentang metoda akses tersebut ada pada gambar 2.2.



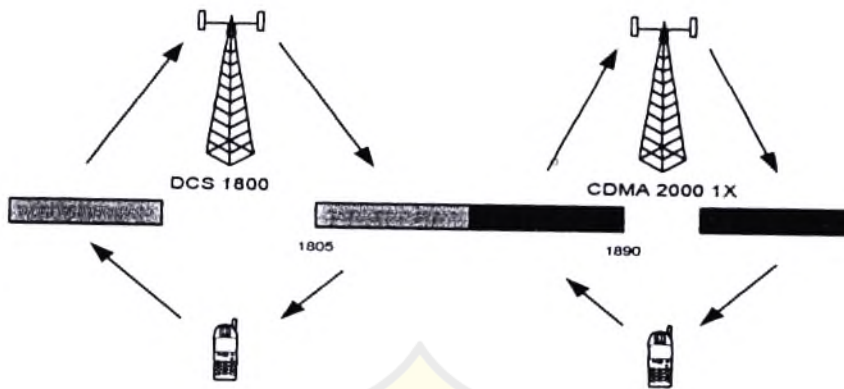
Gambar 2.1. Dasar sistem komunikasi radio digital.



Gambar 2.2. Sistem akses pada DCS 1800 dan CDMA 2000 1x

Pada sistem selular, alokasi frekuensi dari sistem ke pelanggan menggunakan frekuensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan frekuensi yang dialokasikan antara pelanggan ke sistem. Semakin tinggi frekuensi, berarti semakin besar redaman udaranya. Sehingga pada frekuensi yang lebih tinggi cenderung lebih membutuhkan alokasi daya (power transmit) yang lebih besar. Daya transmit semakin besar akan berakibat pada dimensi perangkat yang lebih besar. Frekuensi untuk sistem DCS 1800 [1] dan CDMA 2000 1x – 1900 [2] ada pada gambar 2.3.





Gambar 2.3. Frekuensi DCS 1800 dan CDMA 2000 1x – 1900

Pada sistem DCS 1800 atau CDMA 2000 1x, bagian yang berfungsi untuk bertanggung jawab dalam mengolah sinyal radio disebut dengan BTS (Base Transceiver Station). BTS mempunyai fungsi utama sebagai *transmitter* ke MS (Mobile Station) dan *receiver* dari MS.

Dari gambar 2.3, *transmitter* BTS DCS 1800 menduduki alokasi frekuensi yang berdekatan dengan *receiver* BTS CDMA 2000 1x – 1900. Konfigurasi seperti ini sangat rawan terhadap kasus *interferensi*. *Interferensi* pada kasus ini adalah *spurious emission* dan *intermodulasi transmitter* BTS DCS 1800. Besarnya level *interferensi* yang diterima oleh *receiver* BTS CDMA 2000 1x – 1900 tergantung pada spesifikasi *transmitter* BTS DCS 1800 dan spesifikasi *receiver* BTS CDMA 2000 1x – 1900 serta posisi antenna sistem. Spesifikasi *transmitter* dan *receiver* sangat tergantung dengan teknik modulasi digital yang digunakan.

### 2.1 Modulasi *Transmitter* BTS DCS 1800

*Transmitter* DCS 1800 menggunakan teknik modulasi digital GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) untuk merubah sinyal digital menjadi sinyal

analog untuk ditransmisikan melalui radio. Prinsip dari modulasi digital ini adalah merubah sinyal digital yang direpresentasikan dengan perubahan fasa gelombang pembawa. Modulasi GMSK merupakan perbaikan modulasi MSK (Minimum Shift Key), sedangkan MSK merupakan perbaikan dari QPSK (Quadrature Shift Keying).

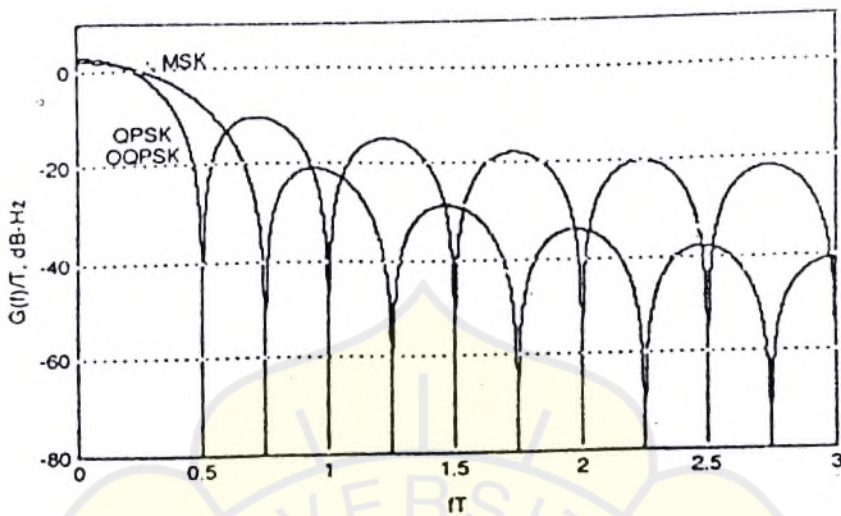
Sinyal hasil modulasi QPSK terdiri dari empat gelombang pembawa dengan fasa  $45^\circ$  (representasi bit 00),  $135^\circ$  (representasi bit 01),  $225^\circ$  (representasi bit 10) dan  $315^\circ$  (representasi bit 11). Terdapat kemungkinan terjadi perubahan fasa yang ekstrim pada sinyal hasil modulasi QPSK sebesar  $\pi$ . Modulasi MSK adalah perbaikan dari QPSK dengan mengatur sinyal hasil modulasi sehingga perubahan fasanya maksimum  $\pi/2$  dengan cara mengganti sinyal digital (dari informasi) dengan sinyal sinusoidal [3].

Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja hasil modulasi digital adalah *Power Spectral Density* (PSD). Dari pembacaan PSD dari tiap sinyal hasil modulasi akan didapatkan level sinyal digital *main lobe* dan *side lobe* dalam domain frekuensi. Dari level PSD pada *side lobe*, dapat ditentukan besarnya *efisiensi spectrum* yang digunakan. Dari referensi [3], PSD dari sinyal hasil modulasi QPSK dan MSK adalah sebagai berikut :

$$P_{QPSK}(f) = T \left[ \frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \right]^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{MSK}(f) = \frac{16T}{\pi^2} \left[ \frac{\cos 2\pi f T}{1 - 16f^2 T^2} \right]^2 \dots\dots\dots(2)$$





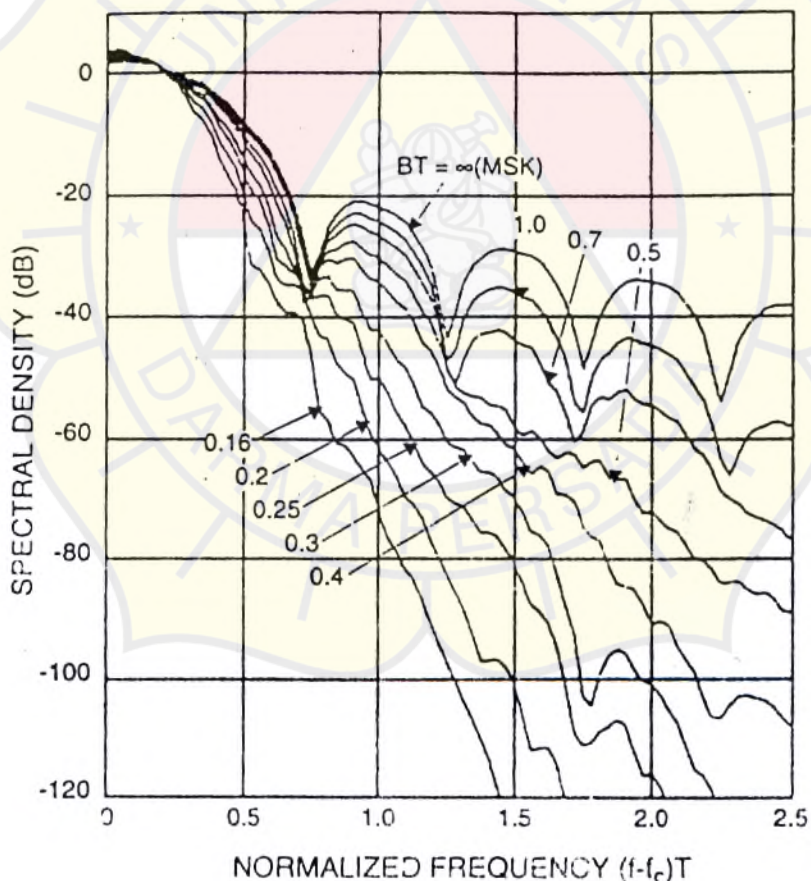
Gambar 2.4. PSD sinyal QPSK dan MSK.

Dari gambar tersebut, didapatkan bahwa sinyal QPSK mempunyai lebar *bandwidth first null* (bandwidth nol pertama) yang lebih sempit dibandingkan dengan MSK. Sedangkan level *side lobe* QPSK lebih besar dibandingkan MSK. *Side lobe* akan berpengaruh pada masalah *interferensi* dan *spurious emission*, sedangkan *main lobe* berpengaruh pada alokasi jumlah kanal *transmitter*. Maka dapat disimpulkan bahwa MSK mempunyai *efisiensi spectrum* yang cukup baik dibandingkan dengan QPSK.

Dari rekomendasi CCIR, level *side lobe* harus lebih kecil 60 dBc [4]. Maka kedua modulasi diatas tidak bisa digunakan untuk komunikasi selular.

Modulasi GMSK diimplementasikan dengan penambahan filter *base band Gaussian* pada modulasi MSK. Filter *Gaussian* ini mampu memberikan response *side lobe* yang lebih kecil dan *main lobe* lebih sempit dibandingkan dengan sinyal *rectangular*.

Hubungan antara bandwidth filter pre modulasi  $B$  dengan perioda bit  $T$  menentukan *bandwidth* dari sistem. Jika  $B > 1/T$ , maka akan menghasilkan sinyal seperti modulasi MSK dan jika  $B < 1/T$ , maka akan terjadi ISI (Inter Symbol Interference). Sehingga besarnya ISI adalah fungsi dari  $B$  dan SNR (Signal to Noise Ratio) minimum yang diperlukan dimodulator. Pada sistem GSM, diambil nilai  $BT = 0,3$  pada kecepatan data 270,8 Kbps. Spectrum sinyal GMSK yang ternormalisasi terhadap carrier ada pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Spectrum sinyal GMSK.

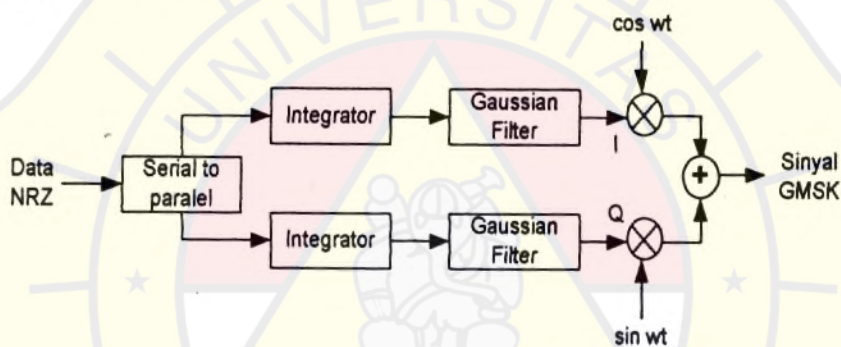


Pertama kali ditemukan, modulator GMSK diimplementasikan dengan menggunakan modulasi FM dengan input keluaran dari filter *gaussian* seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Modulator GMSK dengan modulator FM

Seiring dengan perkembangan teknologi komponen, maka telah memungkinkan implementasi GMSK dengan menggunakan modulator quadrature seperti pada gambar 2.7

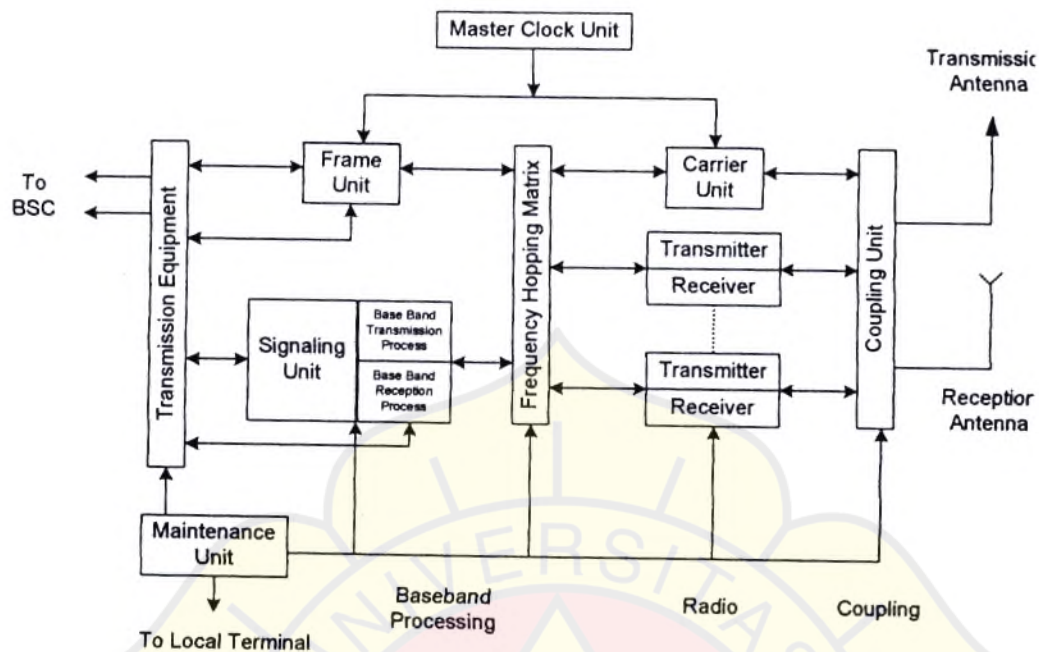


Gambar 2.7 Modulator GMSK dengan Phasa modulator.

## 2.2 Konfigurasi BTS DCS 1800

BTS DCS 1800 terdiri dari beberapa komponen, sebagai contoh konfigurasi fungsional adalah BTS Alcatel 900 yang ada di gambar 2.8. dengan 4 komponen utama, yaitu [3] :

- Coupling network
- Radio part
- Proses baseband
- Maintenance Unit.



Gambar 2.8 Konfigurasi BTS DCS 1800.

Unit antenna coupling umumnya terdiri dari *receiver multicoupler*, *transmitter filter* dan *combiner*. *Receiver multicoupler* berfungsi untuk distribusi sinyal RX (dari MS) ke setiap *receiver* BTS untuk memenuhi konfigurasi diversity RX pada BTS DCS 1800. *Transmitter filter* berfungsi untuk menghilangkan *spurious emission* dari TRX (transceiver) yang tidak diinginkan. Implementasi *receiver multicoupler* dan *transmitter filter* biasanya dalam satu device perangkat yang disebut *duplexer*. *Combiner* berfungsi untuk menggabungkan beberapa *transmitter* ke dalam satu antenna sistem.

Jumlah *transmitter* yang boleh digabungkan ke antenna sistem tergantung tingkat power daya maksimum dari antenna yang digunakan. Jika jumlah *transmitter* > 4, maka implementasi *combiner* disarankan menggunakan RTC (Radio Tune Combiner) yang bekerja berdasarkan *cavity*. Keuntungan *combiner*



tipe ini adalah nilai loss yang lebih kecil dibandingkan dengan *hybrid combiner*. Jika jumlah  $TRX \leq 4$ , maka loss dari *hybrid combiner* masih dapat dipergunakan.

Ada pertimbangan lain yang memaksa penggunaan *hybrid combiner* walaupun nilai lossnya tinggi, yaitu jika pada sistem DCS 1800 menggunakan SFH (Synthesizer Frequency Hopping). SFH ini bekerja dengan cara merubah-ubah frekuensi (kanal RF) di TRX pada suatu urutan tertentu. Sehingga RTC tidak perlu digunakan, karena *cavity* sudah di tune pada satu kanal RF saja [3].

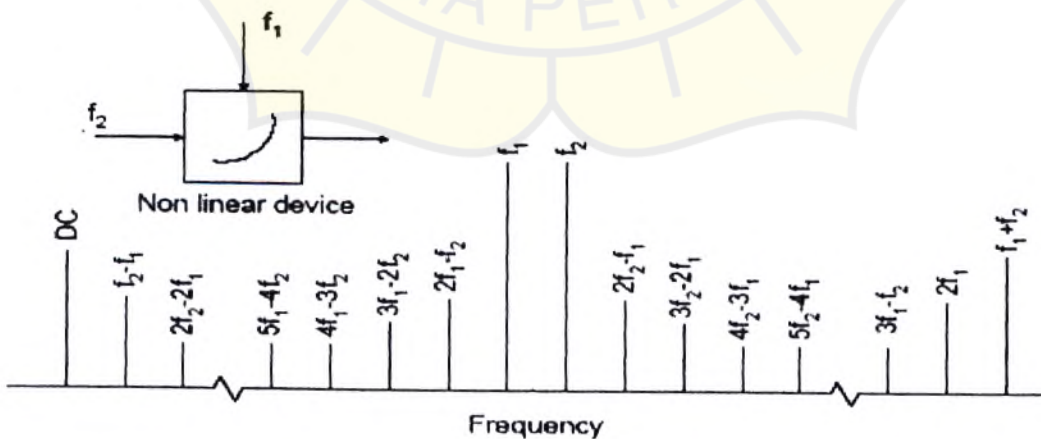
### 2.3 Intermodulasi BTS DCS 1800

*Intermodulasi* pada BTS DCS 1800 terjadi karena penggabungan beberapa TRX (*transmitter*) ke dalam satu device yang tidak linear. Sinyal hasil *intermodulasi* akan mengikuti pola rumus berikut [5]:

$$f_{intermodulasi} = mf_1 - nf_2 \dots\dots\dots(3)$$

Dengan m dan n adalah integer.

Plot spectrum untuk *intermodulasi* ada di gambar 2.9



Gambar 2.9 Spectrum sinyal *intermodulasi*.

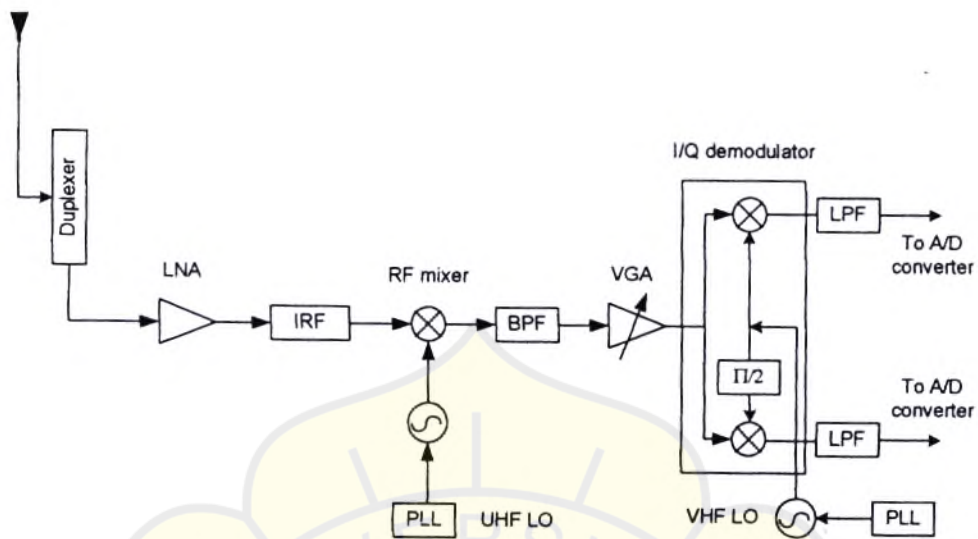
Pada konfigurasi BTS DCS 1800, penggabungan *transmitter* dilakukan di combiner (di dalam rack BTS). Kemudian sinyal tersebut dilewatkan pada antenna sistem untuk ditransmisikan melalui udara. Antenna sistem yang dimaksud adalah saluran transmisi (*feeder*) dan antenna. *Intermodulasi* yang terjadi pada *feeder* adalah *pasive intermodulasi*. *Pasive intermodulasi* terjadi karena miss-match antar bagian dalam *feeder* (connector-cable). Sedangkan *intermodulasi* pada antenna adalah *active intermodulasi* yang terjadi karena proses penguatan (*gain*) pada antenna.

Besarnya level *intermodulasi* pada BTS DCS 1800 sudah diatur dalam rekomendasi 3GPP TS 05.05 V8.20 (3rd Generation Partnership Project) [1]. Sedangkan *intermodulasi* pada antenna sistem sangat tergantung dari kualitas pemasangan antenna sistem.

#### 2.4 Demodulasi *Receiver* BTS CDMA 2000 1x – 1900

CDMA 2000 1x menggunakan teknik modulasi QPSK. Maka pada sisi *receiver* juga menggunakan demodulasi QPSK. Teknologi *spread spectrum* dilakukan pada proses baseband, sehingga demodulator QPSK menempati fungsi yang cukup penting karena berfungsi untuk merubah sinyal analog menjadi digital. Diagram blok sistem *receiver* CDMA 2000 1x ada pada gambar 2.10 [6].





Gambar 2.10. Diagram blok *receiver* CDMA 2000 1x

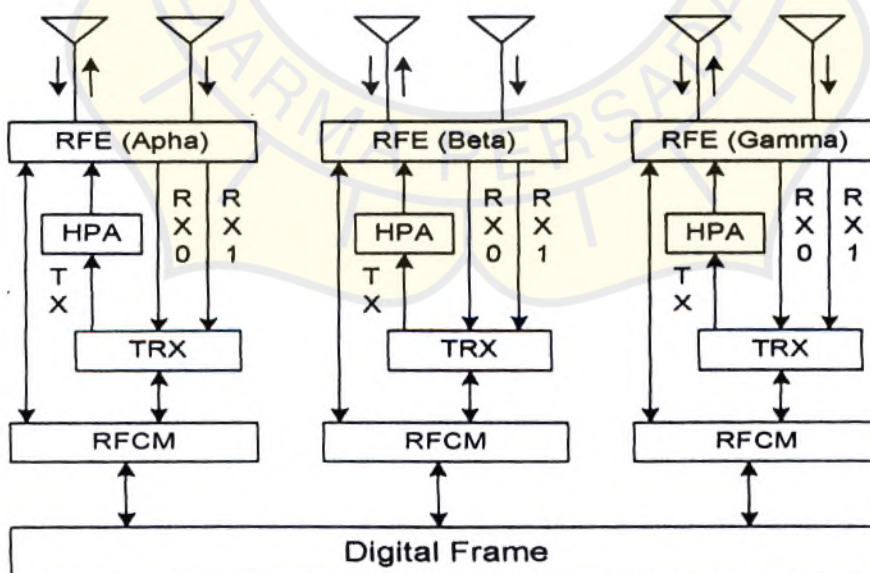
Sistem *receiver* menggunakan dua *receiver superhydrodyne*. *Super hydrodyne* yang pertama yang terdiri dari LNA (Low Noise Amplifier), IRF (Image Rejection Filter), RF mixer, UHF LO (UHF Local Oscilator). LNA berisi amplifier dengan penguatan yang tinggi untuk sinyal lemah. LNA berfungsi untuk meminimisasi noise figure akibat tingkatan pada proses *receive*. IRF berfungsi untuk meminimisasi *image noise*. RF mixer berfungsi untuk mengeser ke frekuensi Intermedite Frekuensi (IF). RF mixer membutuhkan UHF Local Oscilator yang berbasis pada PLL. Keluaran RF mixer dimasukkan ke dalam BPF untuk mendapatkan sinyal IF saja.

*Superhydrodyne* yang kedua adalah demodulator I/Q yang juga merupakan demodulator QPSK. Sinyal IF hasil BPF dilewatkan ke VGA (Variable Gain Amplifier) untuk menyesuaikan level input demodulator QPSK. I/Q demodulator berfungsi untuk mengeser ke frekuensi baseband. I/Q demodulator membutuhkan 2 VHF LO yang mempunyai beda fasa  $90^\circ$ . Hasil keluaran I/Q demodulator

dimasukkan ke LPF untuk menghilangkan bagian frekuensi tinggi, sehingga didapatkan sinyal baseband yang berisi informasi. Proses berikutnya adalah mengirimkan sinyal tersebut pada Analog to Digital Converter sehingga didapatkan sinyal digital.

### 2.5 Konfigurasi BTS CDMA 2000 1x – 1900

BTS sistem CDMA agak berbeda dengan BTS DCS 1800. Pada BTS CDMA setiap sektor menggunakan frekuensi yang sama. Satu block kanal CDMA mempunyai bandwidth RF 1,25 MHz. Maximum code yang digunakan pada bandwidth 1,25 MHz adalah 64 code. Konfigurasi BTS CDMA berdasarkan jumlah carrier untuk 3 sektor. Konfigurasi yang sering digunakan adalah 1-2-3 carrier untuk tiga sektor. Contoh konfigurasi 1 carrier tiga sektor untuk BTS CDMA ZTE ada pada gambar 2.11 [7].



Gambar 2.11. Konfigurasi BTS CDMA 2000 1x 1 carrier untuk 3 sektor



Digital frame merupakan interface ke BSC. RFCM (Radio Frequency Control Module) berfungsi untuk interface ke sistem RF dari digital frame. Informasi yang akan dikirim masuk ke TRX untuk dilakukan base band processing (*spread spectrum*) dan modulasi QPSK. Sinyal RF keluaran TRX di kuatkan oleh HPA (High Power Amplifier). Keluaran HPA dihubungkan ke RFE (Radio Frequency End) yang berisi duplexer untuk disalurkan ke antenna sistem.

Sinyal CDMA yang diterima dari MS oleh dua antenna dimasukkan ke RFE untuk dikuatkan oleh LNA (Low Noise Amplifier). Karena sistem *receiver* menggunakan diversity, maka sistem *receiver* membutuhkan dua sinyal RX untuk melakukan proses demodulasi QPSK sehingga didapatkan sinyal informasi yang dikirim.

**2.6 Sensitivitas BTS CDMA 2000 1x – 1900**

Sensitivitas adalah sinyal terlemah sehingga *receiver* BTS CDMA 2000 1x masih mampu melakukan demodulasi. Syarat agar dapat dideteksi adalah dipenuhinya SNR minimum yang diterima. Perhitungan sensitivitas untuk single user CDMA adalah sebagai berikut [8]:

$$SNR_{reg} = \left( \frac{Eb}{No} \right)_{reg} = \frac{P's}{NoRb} = \frac{P's}{NoW} \cdot \frac{W}{Rb} = \frac{P's}{NoW} \cdot PG \dots\dots\dots(3a)$$

$$P's = SNR_{REG} \cdot No \cdot W / PG \dots\dots\dots(3b)$$

$$P's (dBm) = SNR_{REG} (dB) + No (dBm / Hz) + W (dBHz) - PG (dB) \dots\dots\dots(4)$$

Jika  $E_b/N_o$  minimum = 7 dB,  $N_o$  untuk 5 dB noise figure = -169 dBm/Hz, Bandwidth = 60,9 dBHz, dan processing gain = 21,1 dB, maka didapatkan  $P'_s$  (dBm) adalah :

$$P'_s(\text{dBm}) = \frac{E_b}{N_o_{REG}} (\text{dB}) + N_o(\text{dBm / Hz}) + W(\text{dBHz}) - PG(\text{dB})$$

$$P'_s(\text{dBm}) = 7(\text{dB}) + (-169)(\text{dBm / Hz}) + 60,9(\text{dBHz}) - 21,1(\text{dB})$$

$$P'_s(\text{dBm}) = -122,2 \text{ dBm}$$

sehingga sensitivitas BTS CDMA 2000 1x adalah -122,2 dBm.

### 2.7 Antenna Sistem

BTS DCS 1800 dan CDMA 2000 1x -1900 menggunakan antenna sektoral untuk meng-cover area. Antenna sektoral berarti antenna hanya menguatkan pada arah atau sektor tertentu. Beberapa parameter penting tentang antenna adalah :

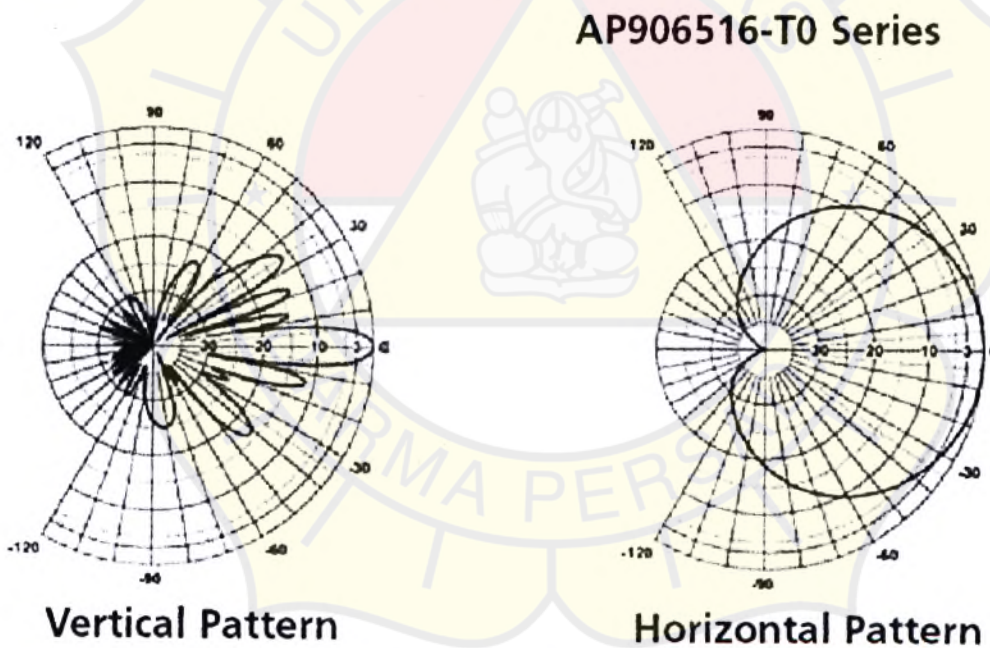
- Gain antenna
- Pola radiasi vertical dan horizontal
- Polarisasi antenna

Gain antenna adalah penguatan antenna dalam dB pada arah tertentu yang didapatkan dari pengukuran dengan membandingkan level daya terima antara antenna yang diukur dengan antenna referensi. Pada umumnya antenna referensi yang digunakan adalah dipole  $\lambda/2$ . Antenna sektoral pada BTS merupakan antenna susunan (array) dari beberapa antenna dipole  $\lambda/2$ . Dengan menyusun beberapa antenna dalam satu sistem, maka akan didapatkan gain total antenna yang lebih tinggi. Sebagai contoh antenna ALGON dengan gain 18 dBi, yang berarti antenna



tersebut lebih kuat 18 dB jika dibandingkan dengan antenna isotropis pada arah yang sama.

Pola radiasi antenna menunjukkan pattern atau pola penyebaran daya oleh antenna. Untuk mempermudah visualisasi, pola radiasi dibagi menjadi dua pattern yaitu horizontal dan vertical. Besarnya gain antenna pada arah tertentu dapat ditentukan dari grafik pola radiasi. Parameter pola radiasi adalah HPBW (Half Power Beam Width), yaitu lebar berkas dalam derajat yang menyatakan radiasi daya antenna berkurang hingga maksimum  $\frac{1}{2}$ . Gambar 2.12 adalah contoh pola radiasi antenna sektoral RFS AP906516-T0.

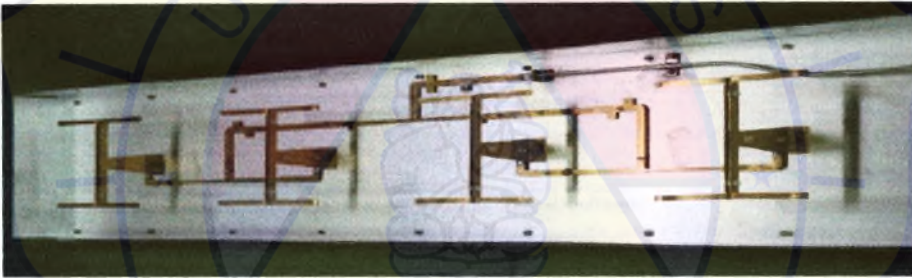


Gambar 2.12. Pola radiasi antenna sektoral kathrein 741 326.

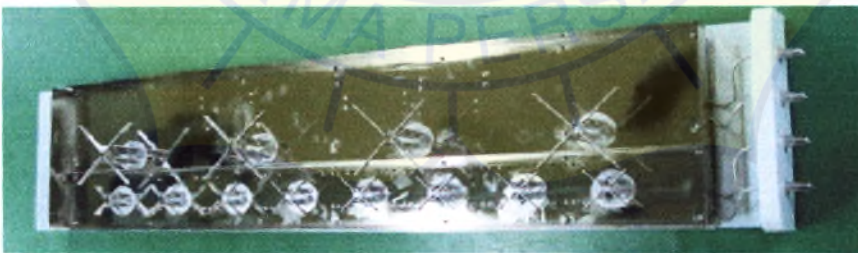
Dari gambar 2.12, antenna tersebut mempunyai HPBW horizontal pattern sebesar  $60^\circ$  dan HPBW vertical pattern sebesar  $10^\circ$ . Jika antenna tersebut mempunyai gain = 17 dBi, maka pada arah  $30^\circ$  untuk horizontal pattern gain antenna turun menjadi 14 dBi. Sedangkan arah  $270^\circ$  pada vertical pattern

(dibawah antenna), maka gain akan turun menjadi  $17 - 28 = - 11$  dB (antenna meredam).

Parameter polarisasi antenna menerangkan tentang pola perambatan dari kuat medan listrik E. Arah vector kuat medan listrik E pada antenna sektoral ada dua macam yaitu polarisasi vertical dan polarisasi cross. Karena komponen utama antenna sektoral adalah antenna dipole  $\lambda/2$ , maka polarisasi antenna sektoral ditentukan dengan posisi antenna dipole tersebut. Posisi dipole  $\lambda/2$  pada polarisasi vertical adalah vertical (gambar 2.13). Pada polarisasi cross disusun dari dua antenna dipole  $\lambda/2$  (gambar 2.14).



Gambar 2.13. Posisi dipole  $\lambda/2$  untuk polarisasi vertikal.



Gambar 2.14. Posisi dipole  $\lambda/2$  untuk polarisasi cross.

Penggunaan jenis polarisasi pada sistem selular tergantung pada coveragennya, jika untuk coverage luas (pedesaan/road) maka akan menggunakan polarisasi vertical. Jika untuk coverage perkotaan, maka akan menggunakan polarisasi cross.



**2.8 Isolasi Antenna**

Isolasi antenna adalah nilai redaman dalam dB dari dua antenna dengan jarak dan arah tertentu. Pada umumnya jarak antar antenanya < 6m, karena kedua antenna tersebut berada dalam satu tower. Besar nilai isolasi antenna merupakan hasil pengukuran. Hal ini dikarenakan jarak antar antenna yang terlalu dekat, sehingga redaman udara dengan jarak antar dua antenna tidak bisa menggunakan rumus free space loss yang dipergunakan untuk space jarak jauh. Rumus free space loss sbb :

$$FSL = 32,5 + 10 \log d(km) + 10 \log f(MHz) \dots\dots\dots(5)$$

Jika kita masukkan parameter  $f = 1800$  MHz dan space antara antenna adalah 3 meter, maka nilai FSL adalah

$$FSL = 32,5 + 10 \log 3 \cdot 10^{-3}(km) + 10 \log 1800(MHz)$$

$$FSL = 32,5 + (-25,2) dBKm + 32,6 dBMHz$$

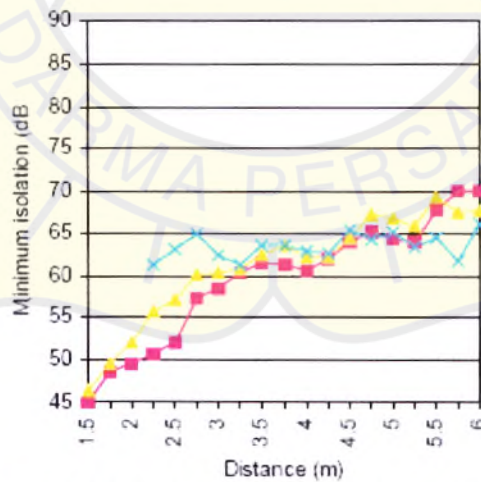
$$FSL = 39,8 dB$$

Hasil tersebut dibandingkan dengan salah satu hasil pengukuran isolasi antenna pada gambar 2.15. Maka pada grafik untuk jarak 3 meter nilai loss isolasinya sekitar 57 dB. Begitu juga untuk jarak antara 1 s/d 6 m dengan resolusi 0,5 meter, maka didapat FSL seperti pada tabel 2.1. Maka didapatkan nilai selisih  $FSL_L$  pada jarak 1,5 m dan 6 m adalah 6 dB (42,8 – 36,8).

Tabel 2.1 FSL untuk jarak antar antenna 1m s/d 6m pada frekuensi 1800 MHz

Jarak			Frekuensi		FSL
m	Km	dBKm	MHz	dBMHz	dB
1,0	0,0010	-30,0	1800	32,6	35,1
1,5	0,0015	-28,2	1800	32,6	36,8
2,0	0,0020	-27,0	1800	32,6	38,1
2,5	0,0025	-26,0	1800	32,6	39,0
3,0	0,0030	-25,2	1800	32,6	39,8
3,5	0,0035	-24,6	1800	32,6	40,5
4,0	0,0040	-24,0	1800	32,6	41,1
4,5	0,0045	-23,5	1800	32,6	41,6
5,0	0,0050	-23,0	1800	32,6	42,0
5,5	0,0055	-22,6	1800	32,6	42,5
6,0	0,0060	-22,2	1800	32,6	42,8

Dan hasil tersebut juga dibandingkan dengan salah satu hasil pengukuran isolasi antenna pada gambar 2.15. Maka didapatkan selisih isolasi antenna pada jarak 1,5 m s/d 6 m adalah 25 dB ( 70 – 45 ). Sehingga disimpulkan isolasi antenna hanya bisa diketahui melalui pengukuran.



Gambar 2.15 Isolasi Antenna pada frek 1800 MHz.