

BAB II

DVB-T/H, SISTEM ANALOG PAL G DAN PARAMETER SIMULASI INTERFERENSI

DVB *Project* merupakan suatu grup industri yang terdiri lebih dari 200 organisasi anggota yang berasal lebih dari 25 negara yang berbeda, yang telah bekerjasama membangun suatu *framework* teknis untuk terobosan baru di bidang sistem penyiaran digital [2]. Organisasi-organisasi anggota dari DVB *Project* terdiri dari *broadcaster*, manufaktur, *network operator*, badan regulasi dan institusi akademik.

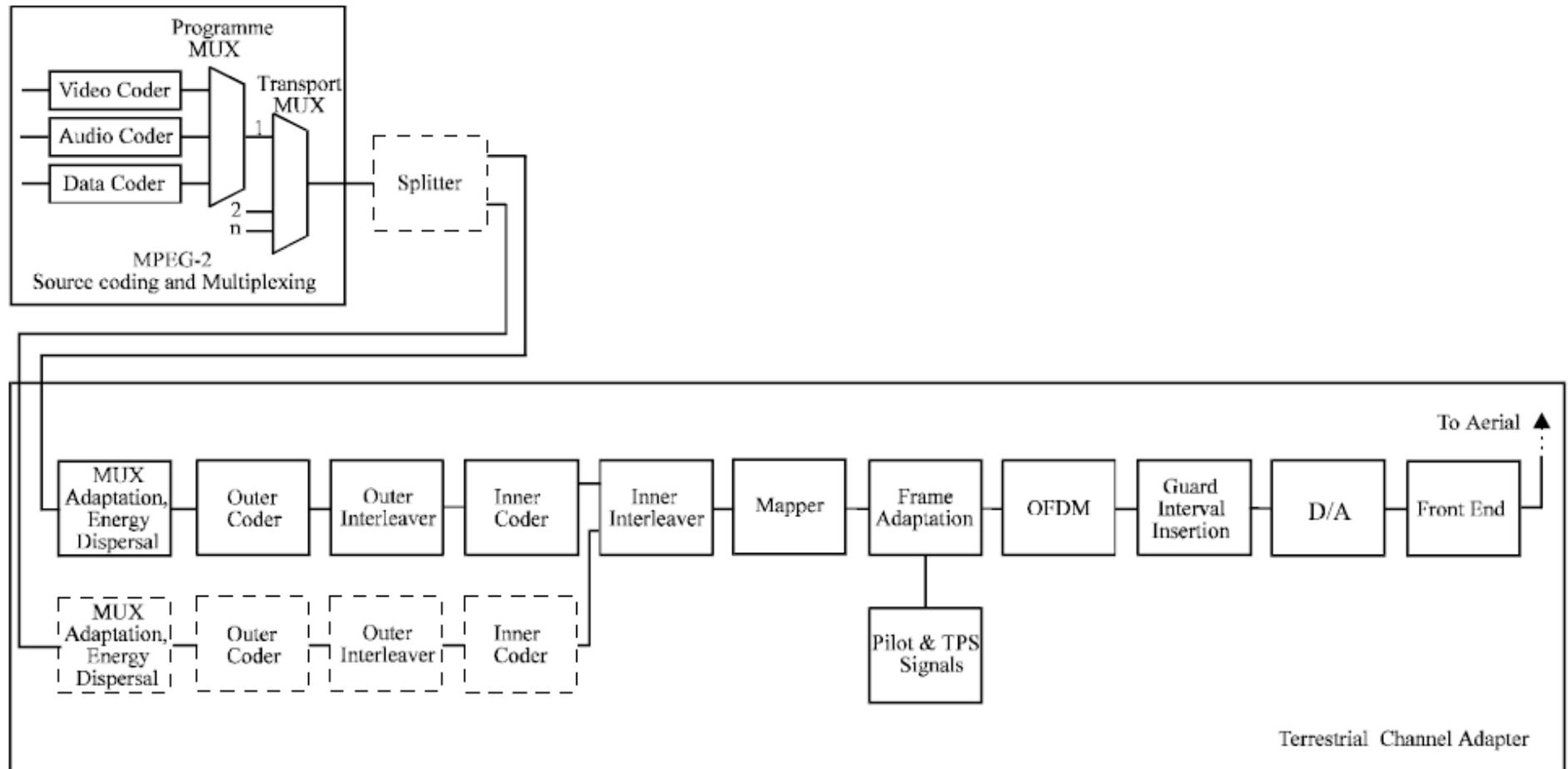
Dalam perkembangannya, DVB *Project* telah mengembangkan serangkaian spesifikasi DVB yang tidak terbatas pada *video broadcasting*, namun juga telah merambah hingga ke aplikasi dan layanan multimedia. Selain dari kemampuan interoperabilitas dan fleksibilitas, spesifikasi DVB yang dikembangkan juga ditunjang oleh aspek komersial dimana standar DVB dapat digunakan oleh para vendor untuk membuat suatu layanan inovatif yang memiliki nilai tambah, serta adanya kemudahan program digital pada spesifikasi DVB untuk ditransfer dari satu media transmisi ke media yang lainnya, sehingga para vendor dapat membuat suatu perangkat yang kompatibel satu sama lain.

2.1 DVB – T

Blok fungsional sistem DVB-T² dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini. Proses transmisi paket MPEG-2 pada DVB-T terdiri dari 6 tahapan, yaitu:

1. *Outer coding* (penyandian Reed-Solomon),
2. *Outer interleaving* (*convolutional interleaving*),
3. *Inner coding* (penyandian *punctured convolutional*),
4. *inner interleaving*,
5. *Mapping* dan modulasi,
6. Transmisi dengan sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM).

² DVB-T merupakan standar sistem transmisi penyiaran teresterial TV digital yang ditetapkan ETSI (European Telecommunication Standard Institute) dalam ETSI EN 300 744



Gambar 2.1 Blok - blok fungsional *transmitter* DVB-T [2]

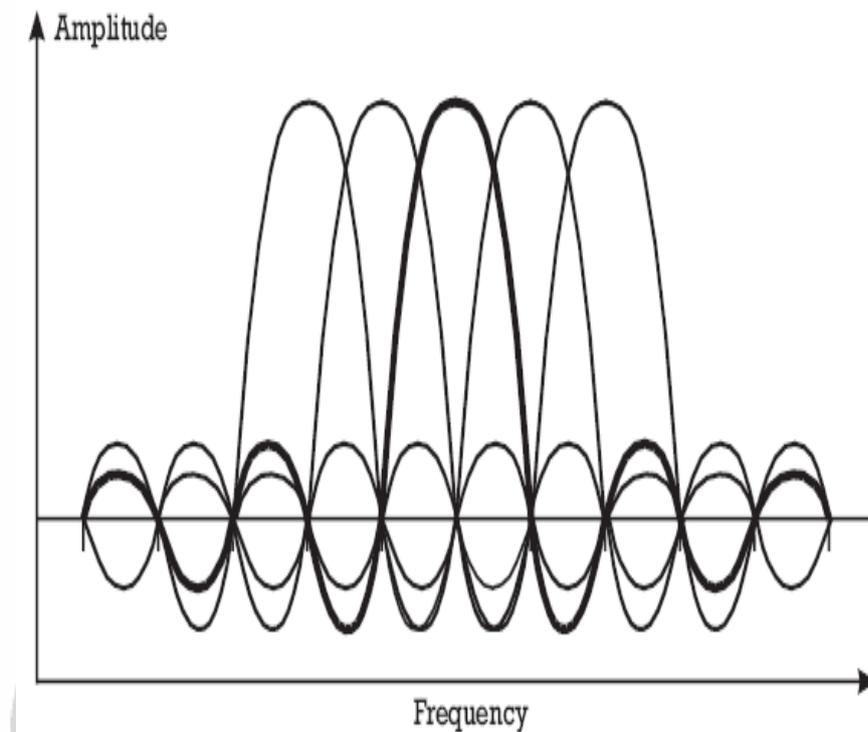
2.1.1 Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM)

COFDM merupakan metode modulasi *multicarrier* yang dibangkitkan dengan teknik IFFT pada modulatornya dan FFT pada demodulatornya. Teknik ini sangat tahan terhadap penerimaan *multipath* dan sangat berguna untuk kanal-kanal dengan distorsi linier. COFDM menggunakan banyak *carrier* yang terpisah untuk membawa sinyal data, dimana data tersebut dibagi untuk masing-masing *carrier* melalui proses *time division demultiplexing*[2]. Data yang sudah dibagi itu kemudian dimodulasi ke masing-masing *carrier* dengan modulasi QPSK atau QAM. Dengan memilih sinyal *carrier* yang tepat, memungkinkan terbentuknya paket *carrier* yang berjarak sangat dekat dan tidak membutuhkan *frequency guard band* diantaranya [2].

Pada COFDM terdapat istilah *Frequency Division Multiplexing* yang berarti terdapat banyak *carrier* yang berjarak dekat dibangkitkan oleh modulator COFDM. *Carrier-carrier* ini dipisahkan pada spasi frekuensi yang tetap, dimana spasi frekuensi ini berhubungan dengan *useful data rate*. Dengan membagi data ke sejumlah besar *carrier* maka bisa dipastikan bahwa tiap *carrier* hanya mengandung bagian yang sangat kecil dari keseluruhan sinyal data. Hal ini mengurangi *data rate* dari masing-masing *carrier* dan memperpanjang *symbol period* pada tiap *carrier*. Dan ketika terjadi *intersymbol interference*, hanya akan mempengaruhi persentasi yang kecil dari tiap simbol. Istilah *Coded* pada COFDM, berarti skema modulasi COFDM menggunakan *channel coding* untuk mengantisipasi *selective carrier fading*. Pendistribusian sinyal data ke sejumlah besar *carrier* berarti bahwa *selective carrier fading* akan menyebabkan beberapa bit diterima dengan *error*. Dengan menggunakan *error correcting code* yang menambah data bit ekstra pada *transmitter*, akan memungkinkan untuk mengoreksi banyak atau bahkan semua bit *error* yang diterima.

Istilah *Orthogonal* pada COFDM, mengimplikasikan hubungan yang tetap dan terdefinisi diantara semua *carrier* pada rangkaian. *Carrier-carrier* tersebut diatur sedemikian rupa sehingga sehingga *sideband* dari tiap *carrier* overlap dan dapat diterima tanpa adanya *intercarrier interference*. Hal ini dimungkinkan dengan pengaturan *carrier* secara orthogonal. Orthogonalitas berarti bahwa tiap *carrier* diposisikan sedemikian rupa sehingga muncul pada *zero energy frequency*

point terhadap semua *carrier* lainnya. Penggambarannya dengan menggunakan fungsi $\sin(x)/x$ seperti ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik fungsi gelombang orthogonal[4]

Untuk memastikan kondisi orthogonal, spasi frekuensi dari *carrier-carrier* tersebut ditetapkan sebagai *inverse* dari *active symbol period* pada *carrier* OFDM. Kemudian selama *active symbol period*, tiap *carrier* akan orthogonal terhadap tiap *carrier* lainnya. Selanjutnya, jika sinyal domain waktu dari suatu *carrier* dikalikan dengan sinyal domain waktu dari *carrier* lainnya, dan hasil kalinya diintegrasikan selama *active symbol period*, maka hasilnya adalah nol. Maka dapat disimpulkan secara matematis bahwa dua gelombang disebut orthogonal jika hasil *cross correlation* antara keduanya pada interval waktu tertentu adalah nol[4].

2.1.1.1 Mode Carrier

Pada spesifikasi DVB-T untuk implementasi dengan COFDM, terdapat dua mode *carrier* yang dapat digunakan dengan jumlah *carrier* yang berbeda, yaitu mode 2k dengan 2048 *point* FFT dan mode 8k dengan 8192 *point* FFT. Ukuran FFT diberikan sebagai pangkat dari 2. Pada mode 2k, pangkatnya adalah 11 sehingga menghasilkan 2048 *point* FFT, sedangkan pada mode 8k pangkatnya

adalah 13 sehingga hasilnya adalah 8192 *point* FFT[4]. Jumlah *carrier* untuk 8k adalah 6817 dan untuk 2k adalah 1705.

Mode 2k mempunyai performa yang lebih baik pada kondisi penerimaan *mobile*. Namun, mode 8k mempunyai *guard interval* yang lebih panjang tanpa adanya pengurangan data *payload* sehingga menghasilkan *echo performance* yang lebih baik dari 2k. Selain itu, semua *receiver* mode 8k dapat *decode* sinyal 2k, tapi tidak sebaliknya. Perbedaan kedua mode tersebut dalam implementasi, secara umum dapat ditabulasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan implementasi mode 2k dan 8k[1]

8k	2k
<ul style="list-style-type: none"> • Spasi <i>carrier</i> lebih sempit • Jumlah <i>carrier</i> empat kali lebih banyak dari 2k • <i>Symbol period</i> dan <i>guard interval</i> lebih panjang • Untuk <i>large area network</i> dan penerimaan <i>fixed antenna</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Spasi <i>carrier</i> lebih lebar • Jumlah <i>carrier</i> lebih sedikit dari 8k • <i>Symbol period</i> dan <i>guard interval</i> lebih pendek • Untuk <i>small network</i> dan penerimaan <i>portable antenna</i>

2.1.1.2 Guard Interval

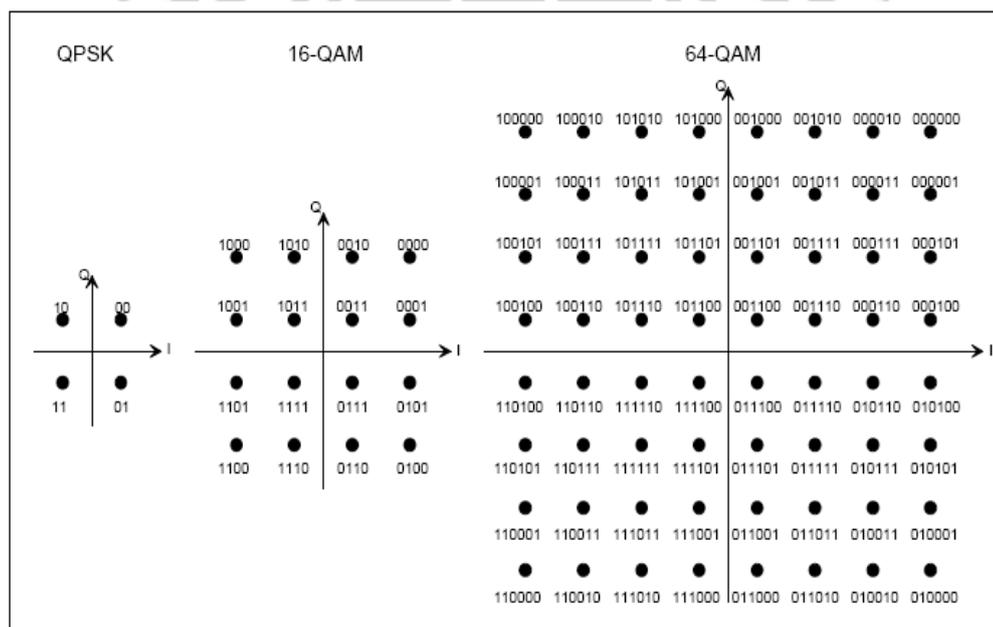
Ketika suatu modulasi dikenakan pada *carrier-carrier* di OFDM, maka periode waktunya akan terbagi menjadi *active symbol period* dan *guard interval period*. *Guard interval* didefinisikan sebagai periode waktu di dalam keseluruhan *symbol period* dimana tidak ada data baru yang dimodulasikan ke *carrier*. Dengan adanya *guard interval*, maka memungkinkan untuk penerimaan pada lingkungan *multipath*, dimana sinyal yang mengalami *time delay* ditambahkan untuk membentuk sinyal penerimaan yang utuh. Selama periode *guard interval*, sinyal yang mengalami *time delay* tersebut akan diterima dan ditambahkan ke sinyal utama tanpa menyebabkan interferensi. Tabel 2.2 berikut menunjukkan durasi simbol, termasuk *guard interval*, untuk kedua mode 2k dan 8k.

Tabel 2.2 Perbandingan durasi simbol dan *guard interval* mode 2k dan 8k[4]

Mode	8k mode				2k mode			
Duration of useful symbol part T_U	8 192*T (T is the elementary time period, and is the inverse of system clock rate 64/7 MHz) 895 ms				2,048*T 224 ms			
Duration of Guard Interval Δ	2,048*T 224 μ s	1,024*T 112 μ s	512*T 56 μ s	256*T 28 μ s	512*T 56 μ s	256*T 28 μ s	128*T 14 μ s	64*T 7 μ s
Guard interval Δ/T_U	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Total symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10,240*T 1,120 μ s	9,216*T 1,008 μ s	8,704*T 952 μ s	8,448*T 924 μ s	2,560*T 280 μ s	2,304*T 252 μ s	2,176*T 238 μ s	2,112*T 231 μ s

2.1.2 Skema Modulasi

COFDM dapat menggunakan teknik modulasi QAM atau QPSK untuk memodulasi tiap *carrier* secara terpisah. Tiga teknik modulasi yang dapat digunakan pada COFDM adalah QPSK (4-QAM), 16-QAM, 64-QAM [4]. Perancang jaringan dapat menentukan skema modulasi mana yang digunakan untuk memodulasikan bagian sinyal ke tiap-tiap *carrier*. QPSK akan memetakan 2 bit per simbol ke *carrier*, 16-QAM memetakan 4 bit, dan 64-QAM memetakan 6 bit. Proses pemetaan tersebut memungkinkan pembentukan konstelasi pada *phase space plane* dengan *Gray Mapping* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konstelasi modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM[1]

Dari gambar dapat dilihat bahwa tiap *constellation point* hanya berbeda satu bit, yang berarti bahwa jika terjadi kesalahan dekode *constellation point*, nilainya akan dekat dengan nilai *point* yang benar.

2.2 DVB-H

Pada tahun 2004, badan standar Eropa (ETSI) merilis standar baru sebagai pengembangan DVB-T, yaitu DVB-H (H=*handheld*) yang diperuntukkan bagi pelanggan bergerak dengan pesawat penerima bertenaga baterai seperti PDA atau *handphone* [3]. DVB-H dapat *men-downstream* pada *high data rates*. Teknologi *time slicing* dapat menghemat daya yang dipakai oleh terminal perangkat genggam. IP datagramnya dihantarkan lewat *data burst* dengan waktu yang sangat cepat. Setiap *burst* mengandung 2 Mbits data (termasuk *parity bits*). Terdapat 64 *parity bits* setiap 191 bit data, diproteksi dengan kode Reed-Solomon (kode untuk *error-protecting*). Penerimaannya hanya aktif untuk beberapa saat ketika data *burst* dikirimkan. Dalam waktu yang singkat data tadi diterima dan disimpan pada *buffer*. *Buffer* ini dapat menyimpan aplikasi yang di-*download* atau menampilkan *live stream*. DVB-H sudah dites oleh DVB-H *Validation Task Force* pada tahun 2004 [5].

Meskipun sistem transmisi DVB-T telah terbukti bisa melayani pengguna terminal *fixed*, portabel dan *mobile* namun pengguna terminal *handheld* (didefinisikan sebagai terminal ringan, dapat digenggam dan *battery-powered*) memerlukan fitur – fitur spesifik pada sistem transmisinya, antara lain [3]:

1. Sistem transmisinya memungkinkan penerimaan *off* dan *on* berulang kali. Hal ini akan mengurangi konsumsi daya rata-rata pada penerima.
2. Sistem transmisinya harus menjamin mobilitas penerima dari satu sel transmisi ke sel lain dan dalam waktu yang sama tetap mempertahankan penerimaan layanan DVB-H.
3. Untuk skenario *indoor*, *outdoor*, *pedestrian* dan di dalam kendaraan bergerak, sistem transmisinya harus fleksibel dan *scalable*, sehingga memungkinkan penerimaan layanan DVB-H pada beragam kecepatan namun tetap dapat mengoptimalkan cakupan *transmitter*.

4. Sistem transmisinya memiliki alat untuk mengurangi efek *man-made noise* & fading tingkat tinggi karena lingkungan penerimaan terminal DVB-H yang rentan *noise* sehingga performa sistem menjadi lebih baik.
5. Sistem transmisinya bisa digunakan pada beberapa *band* transmisi dan *bandwith channel* yang ada di dunia sehingga fleksibel digunakan di sebagian besar negara di dunia.

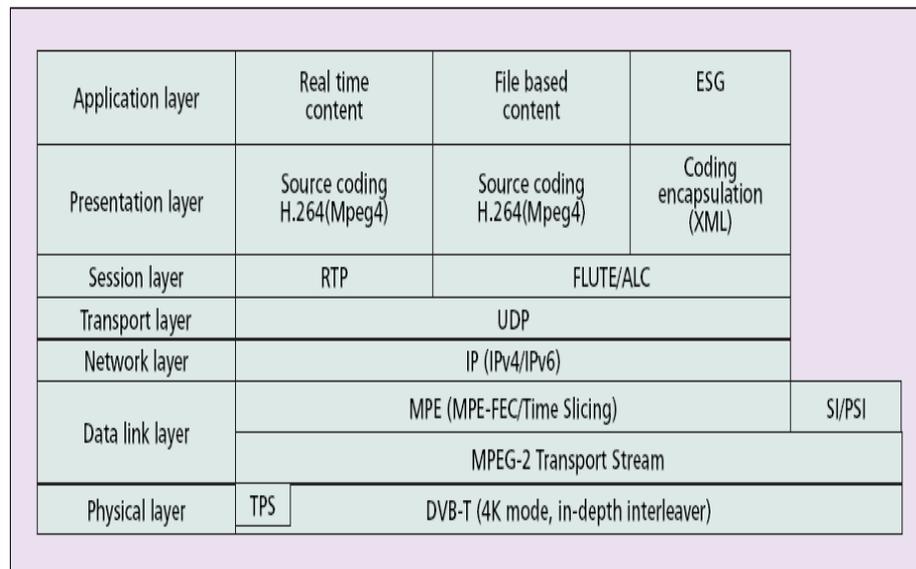
Karena memerlukan fitur – fitur spesifik yang tidak bisa ditangani DVB-T maka dibuatlah standard DVB-H dengan tetap mengacu pada standard DVB-T tetapi dengan tambahan beberapa fitur pada lapisan *link* dan *physical* . Protokol – protokol lapisan DVB-H dilihat pada Gambar 2.4. Penambahan beberapa fitur pada lapisan *link* dan fisik antara lain [3]:

i. Lapisan *Link*:

- *Time slicing*, untuk mengurangi konsumsi daya rata-rata pada terminal penerima dan memungkinkan *handover* frekuensi yang lebih *smooth* dan *seamless*.
- *Forward error correction for multiprotocol encapsulated data (MPE-FEC)* untuk meningkatkan *C/N-performance* dan *Doppler performance* pada kanal bergerak, juga untuk mengantisipasi *impulse interference*.

ii. Lapisan fisik:

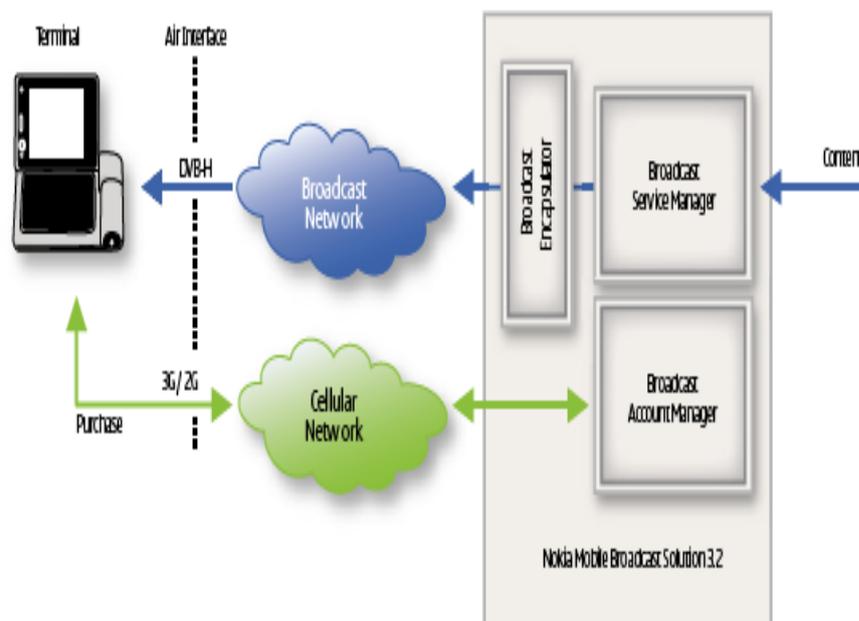
- Bit-bit TPS berisi informasi pensinyalan DVB-H untuk meningkatkan kecepatan pencarian layanan (*service discovery*). *Cell identifier* pada TPS mendukung *scanning* dan *handover* yang lebih cepat.
- Moda 4K memungkinkan penawaran antara mobilitas dan ukuran sel SFN, hal ini memungkinkan penerimaan dengan kecepatan tinggi untuk ukuran sel sedang sehingga menambah fleksibilitas desain jaringan.
- *In-depth symbol interleaver* untuk moda 2K dan 4K, untuk memperbaiki ketahanan (*robustness*) pada kondisi lingkungan dengan mobilitas dan *impulse noise*.



Gambar 2.4 Protocol stack lapisan OSI [3]

2.2.1 Arsitektur Jaringan DVB-H

Ada dua pilihan jaringan dalam penyiaran DVB-H/T yaitu melalui jaringan *broadcast* yang berdiri sendiri atau bekerjasama dengan jaringan selular seperti terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Dua pilihan jaringan DVB-H [6]

2.2.2 Proses transmisi layanan berupa deburan (*burst*) pada *time-slices*

DVB-H menggunakan enkapsulasi multi protokol (*Multi Protocol Encapsulation, MPE*) untuk menyisipkan IP datagram ke *MPEG Transport Stream (TS)* [7]. IP datagram dienkapsulasi pada bagian DSM-CC dengan menambahkan *header & CRC trail*, lalu DVB *section* ini disegmentasi untuk menyesuaikan ukuran paket *MPEG Transport Stream (TS)*. DVB *section* ini tidak langsung dikirimkan tapi diakumulasi menjadi "*record*" hingga 191 kbyte, lalu *record* ini dikirimkan dalam waktu sesingkat mungkin menggunakan semua sumber daya transmisi yang ada pada lapisan fisik.

Terminal *handheld* memiliki ukuran layar kecil sehingga memungkinkan kualitas video yang baik dari *stream* MPEG4 dengan orde beberapa ratus kbps. Misalnya, *stream* 500 kbps sudah cukup untuk layanan konten audio/video dan data. Namun, walaupun demikian, lapisan fisik DVB-H memungkinkan penerimaan bergerak hingga 10 Mbps. Ini berarti bisa menampung 20 layanan (masing-masing 500 kbps) yang bisa dikirimkan sebagai sekuensial 100 ms *burst* yang masing-masing dikirimkan tiap 2 detik [7].

Karena semua data layanan DVB-H dikirimkan dalam *timeslot* yang singkat (100 ms), penerima melakukan proses demodulasi semua sinyal dalam waktu 100 ms. Sehingga bisa menghentikan proses demodulasi selama 1900 ms dan menunggu *burst* selanjutnya. Selama waktu tunggu ini, layanan lain dikirimkan. Hal ini memungkinkan penerima menghentikan kerja penala RF dan demodulator *base-band* selama 18/20 waktu yang ada. Ini memberikan penghematan daya hingga 90%. Selama periode "*off*", *video decoder* menggunakan data yang tersimpan untuk proses demodulasi, sehingga pengguna memperoleh tontonan TV yang kontinyu. Metode transmisi *time-slicing* sangat penting untuk memperbesar *usability* terminal hingga 4 jam penerimaan kontinyu.

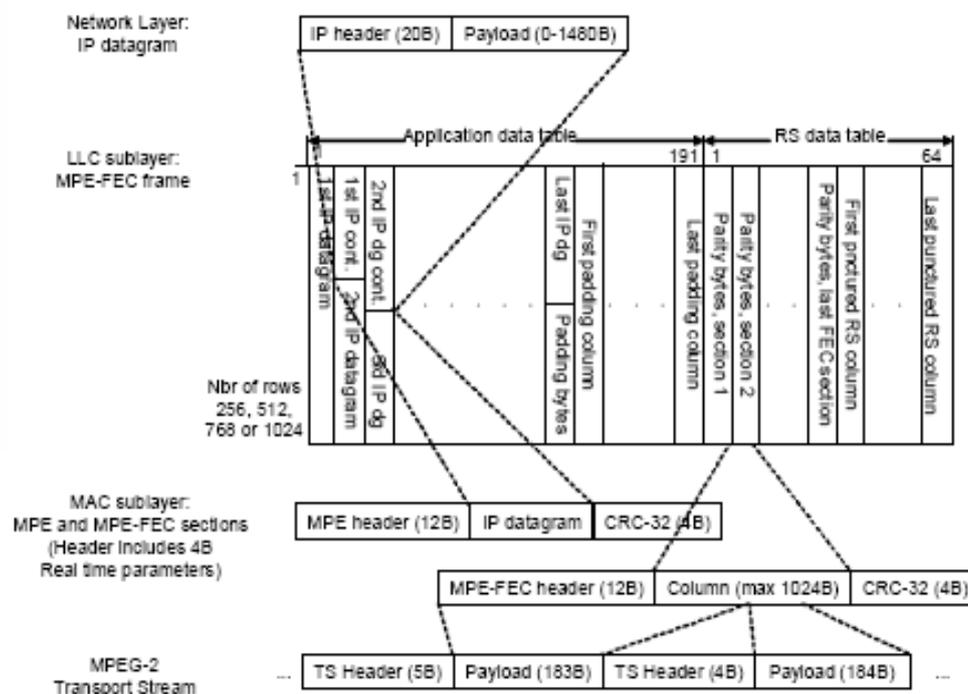
2.2.3 Teknik Proteksi menggunakan MPE *Forward Error Correction*

Terminal DVB-H menerima sinyal pada beberapa kondisi, yaitu: *indoor*, *outdoor* dan ketika pengguna *nomadic* (gerakan statik, *pedestrian* atau bergerak di dalam kendaraan). Kondisi penerimaan seperti ini merupakan tantangan yang sulit dari segi teknis yang biasanya diatasi dengan penggunaan beberapa antena

atau pembatasan layanan yang diterima. Kedua hal ini sama-sama tidak diinginkan pada sistem DVB-H. Oleh karena itu untuk memberikan amunisi untuk melawan *mobile transmission channel impairment*, DVB-H menggunakan *Reed Solomon Forward Error Protection code*, yang diterapkan pada *service data burst* [7].

Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.6, datagram-datagram IP layanan disimpan di *Application Data Table*, ADT dan *Reed Solomon encoder* RS(255,191) diterapkan pada masing-masing baris tabel untuk menghasilkan 64 byte *FEC code-word*, yang terletak pada tabel kedua, "*RS data table*" atau "*FEC table*".

Isi dari kedua tabel dikirimkan kolom per kolom menggunakan proses MPE. Selama RS *code-word* tidak dibaca dan ditransmisikan kolom per kolom, masing-masing RS *code-word byte* berdekatan dalam satu baris, dan dipisahkan oleh jarak sejauh jumlah baris pada tabel. Untuk menambah *robustness* yang diberikan RS *code*, mekanisme *time interleave* virtual ini memberikan perbaikan yang besar terhadap probabilitas keberhasilan penerimaan semua RS *codeword* sehingga meningkatkan kemampuan koreksi kesalahan.



Gambar 2.6 Array berisi *Service burst* yang diproteksi oleh RS *Forward Error Codeword* [7]

2.3. SISTEM ANALOG PAL G

Ada tiga standard sistem penyiaran analog di dunia yaitu NTSC (*National Television System Commite*) yang dikembangkan oleh Amerika, PAL (*Phase Alternating Line*) yang dikembangkan oleh Eropa, dan SECAM yang dikembangkan oleh Perancis [10]. Perbedaan masing-masing sistem terletak pada jumlah garis *scanning*, proses memproduksi sinyal warna dan penggunaan frekuensi *sub carrier* untuk sinyal warna. Indonesia menggunakan standard PAL-G untuk *band IV* dan *V* dengan karakteristik sinyal warna (*chrominance*) dimodulasikan pada frekuensi *sub carrier* 4,43 MHz. Karakteristik sinyal TV PAL analog yang diterapkan di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.3.

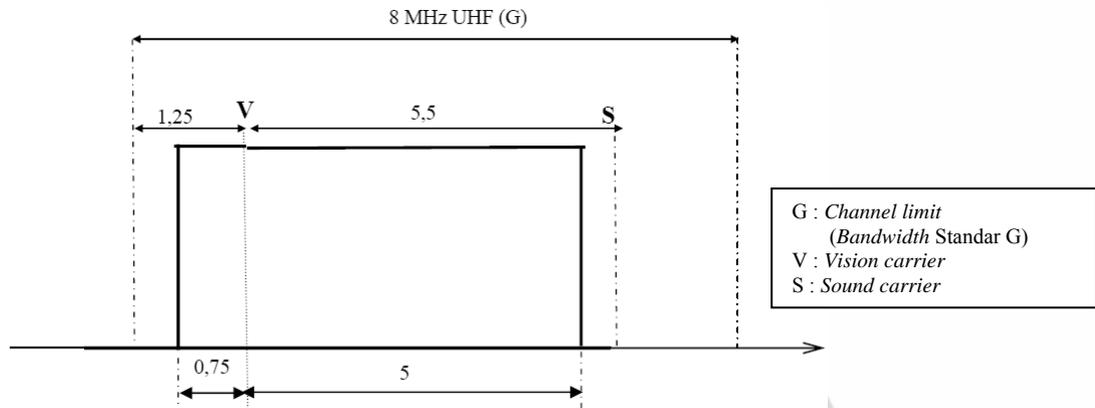
Tabel 2.3 Karakteristik sinyal sistem analog PAL G di Indonesia [10]

Item	Karakteristik	Sistem G	
1	Frequency Spacing (Gambar 2.8)	Nominal radio-frequency channel bandwidth (MHz)	8
2		Sound carrier relative to vision carrier (MHz)	+5.5 ± 0.001
3		Nearest edge of channel relative to vision carrier (MHz)	-1.25
4		Nominal width of main sideband (MHz)	5
5		Nominal width of vestigial sideband (MHz)	0.75
6	Minimum attenuation of vestigial sideband (dB at MHz)	20 (-1.25) 20 (-3) 30 (-4.43)	
7	Type and polarity of vision modulations	AM negative modulation, Vestigial Sideband (C3F neg.)	
8	Levels in the radiated signal (% of peak carrier)	Synchronizing level	100
		Blanking level	75 ± 2.5
		Difference between black level and blanking level	0 – 2 (nominal)
		Peak white-level	10 – 12.5
9	Type of sound modulation	F3E	
10	Frequency deviation (kHz)	± 50	
11	Pre-emphasis for modulation (µs)	50	
12	Ratio of effective radiated powers of vision and (primary) sound ³	20/1 to 10/1	
13	Line per picture	625	
14	Field Frequency (Hz)	50	
15	Line Frequency (Hz)	15625	
16	Intermediate Frequency for Sound TV Transmitter and Receiver (MHz)	33.4	
17	Intermediate Frequency for Video TV Transmitter and Receiver (MHz)	38.9	

³ Nilai level yang dipertimbangkan adalah :

- Nilai rms dari carrier pada puncak envelope modulasi untuk sinyal gambar.
- Nilai rms dari carrier yang tidak termodulasi untuk transmisi suara FM.

Gambar 2.7 memperlihatkan *frequency spacing* pada sistem PAL-G. *Vision carrier* terletak pada 1,25 MHz dari batas bawah frekuensi dan *sound carrier* terletak pada 5,5 MHz dari *vision carrier*.

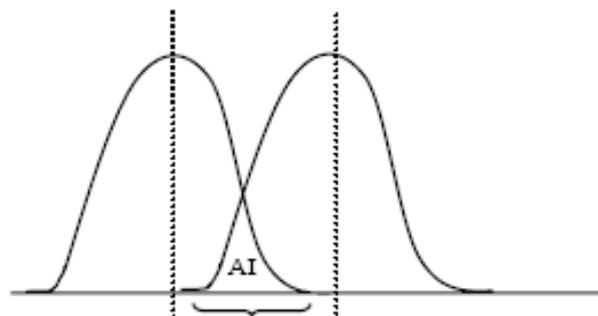


Gambar 2.7 *Frequency spacing* TV PAL-G [10]

2.4. PARAMETER SIMULASI INTERFERENSI

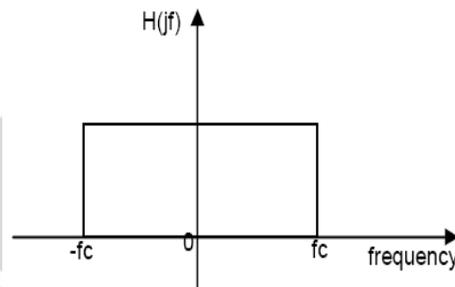
2.4.1. Interferensi kanal berdekatan

Interferensi kanal berdekatan (*Adjacent Channel Interference*) seperti yang dilihat pada Gambar 2.8 dihasilkan dari sinyal – sinyal yang frekuensinya berdekatan dengan sinyal diperlukan. Hal ini disebabkan karena ketidaksempurnaan filter penerima yang tidak memiliki *cutoff* yang tajam sehingga memungkinkan frekuensi – frekuensi disekitarnya masuk ke *passband*-nya. Akibat dari interferensi kanal berdekatan adalah adanya tumpang tindih (*overlapping*) spektrum dua frekuensi yang berdekatan yang memberikan penurunan kekuatan sinyal yang diterima oleh kedua sistem baik sistem TV PAL analog maupun DVB-H/T.



Gambar 2.8 *Adjacent Interference* [8]

Masalah interferensi kanal berdekatan timbul karena dalam realita tidak ada filter ideal yang memiliki frekuensi *cutoff* yang tajam seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.9. Terdapat lebar frekuensi transisi antara daerah *passband* dan *stopband* yang menyebabkan adanya tumpang tindih spektrum frekuensi berdekatan yang menimbulkan puncak tambahan diantara pusat frekuensi - frekuensi yang berdekatan.

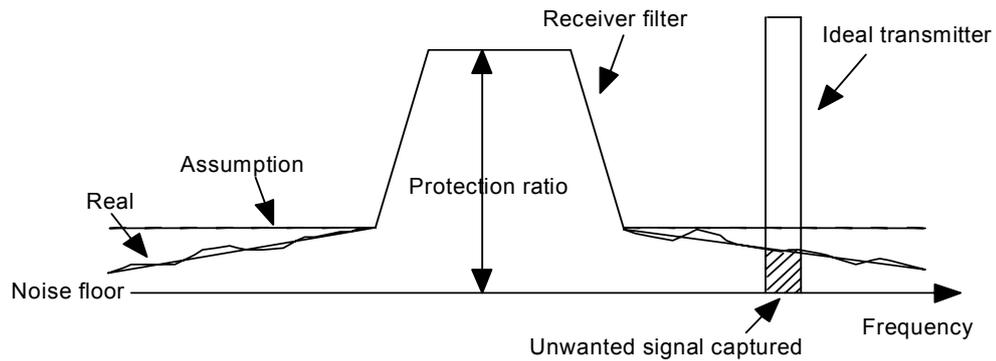


Gambar 2.9 Filter ideal

Biasanya, untuk mengurangi interferensi kanal berdekatan, diciptakan *guardband* diantara spektrum kedua frekuensi. Dengan cara ini, tumpang tindih yang terjadi pada *guardband* menjadi kecil dan tidak memberikan kontribusi yang berarti terhadap penurunan kekuatan sinyal yang diterima. Namun, pembatasan lebarpita yang tersedia untuk penyiaran TV karena adanya *guardband* akan mengurangi efisiensi sinyal. Spektrum sinyal siaran TV harus dibagi menjadi beberapa kanal sehingga tidak memungkinkan adanya *guard-interval*.

2.4.2. Blocking

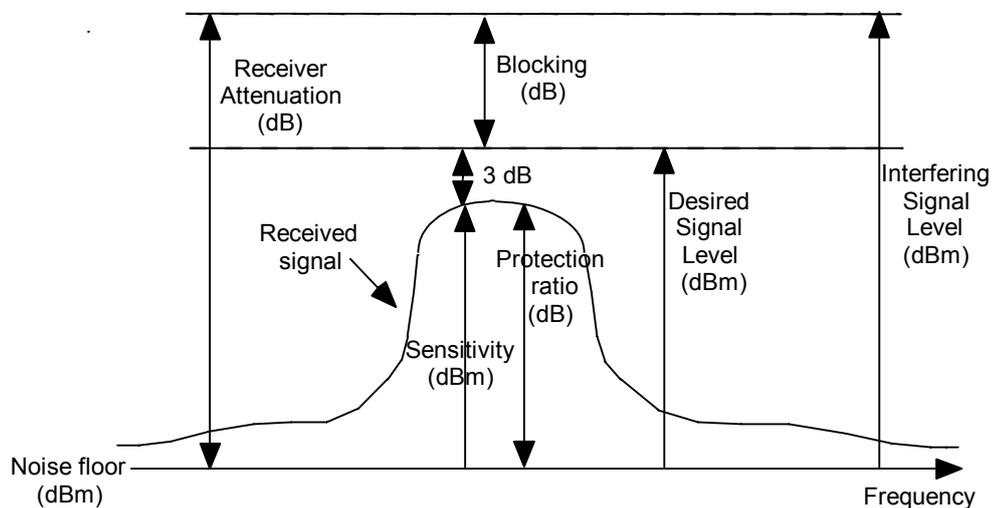
Konsep utama dari *blocking* adalah filter pada *receiver* tidak sempurna, sehingga menerima sinyal yang tidak diinginkan. Gambar 2.10 memperlihatkan filter non ideal pada penerima. Istilah *blocking* digunakan untuk menjelaskan fungsi selektivitas dari penerima, sebagai kemampuan *receiver* untuk menyaring komponen daya sinyal yang berdekatan, sehingga tidak menurunkan kualitas dari sinyal yang seharusnya diterima.



Gambar 2.10. Filter pada *receiver* non ideal

2.4.3. Protection Ratio

Protection ratio merupakan selisih daya minimum antara dua pancaran (yang diinginkan dan yang tidak diinginkan) pada suatu titik batas sehingga tidak terjadi interferensi satu dengan yang lainnya. Nilai *protection ratio* merupakan nilai yang harus dipenuhi sehingga dapat memberikan kualitas layanan yang baik. Perbandingan daya pancaran dalam perhitungan *protection ratio* dapat dilihat pada Gambar 2.11.

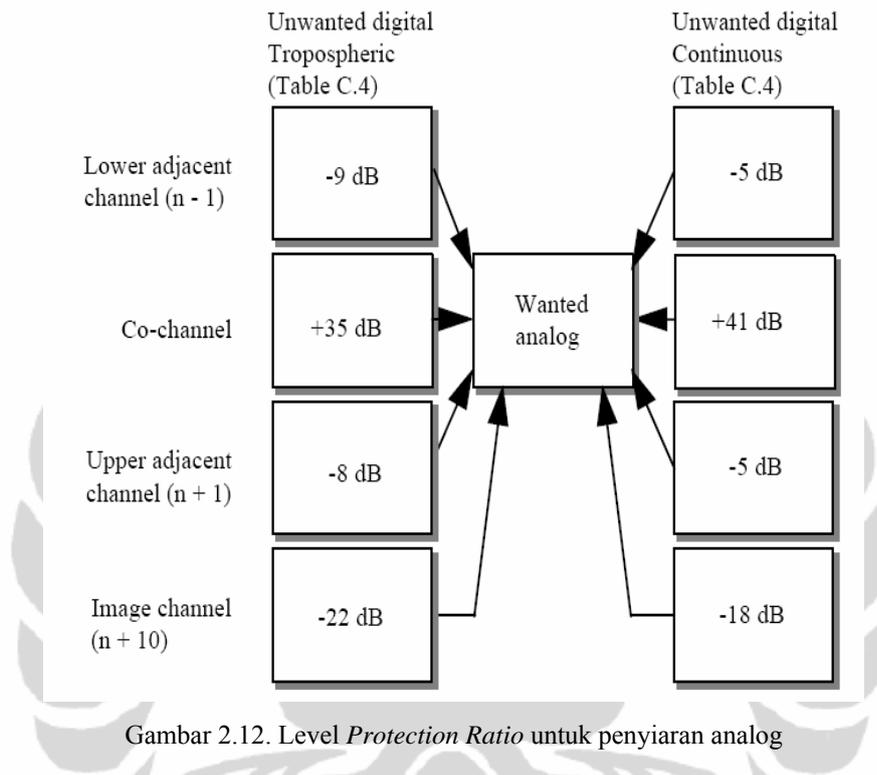


Gambar 2.11. *Protection Ratio* [8]

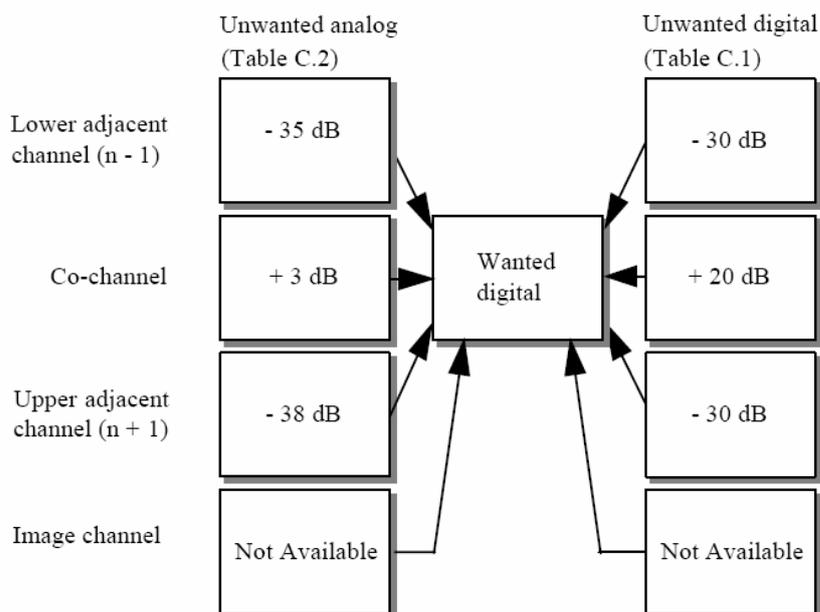
Protection ratio dapat diformulasikan dengan [8]:

$$\text{Protection ratio (PR)} = \text{Level sinyal yang diinginkan (dB)} - \text{Level sinyal yang menginterferensi (dB)} \quad (2-1)$$

Berdasarkan ITU-R BT 1368-6 [14]: *Planning criteria for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands*. Level *protection ratio* untuk penyiaran analog adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.12. Sedangkan level *protection ratio* untuk penyiaran digital adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.12. Level *Protection Ratio* untuk penyiaran analog



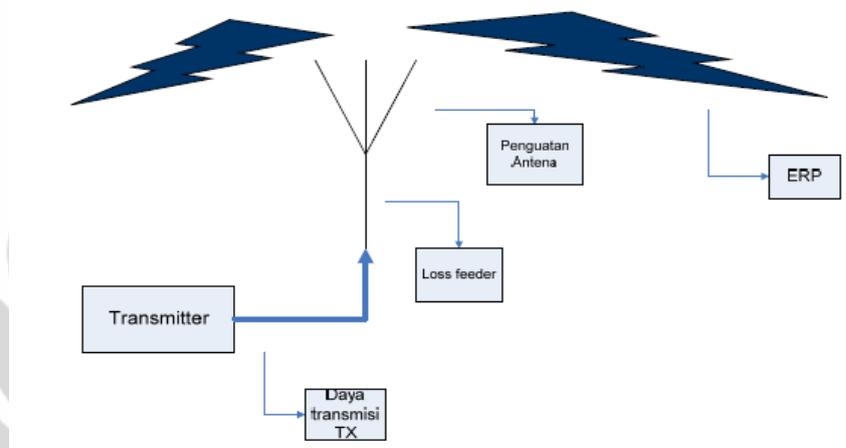
Gambar 2.13. Level *Protection Ratio* untuk penyiaran digital

2.4.4. Minimum Field Strength

Kuat medan minimum (E_{min}) adalah pancaran kuat medan yang harus dipenuhi oleh sebuah pemancar untuk mencukupi wilayah layanannya. Satuan untuk kuat medan adalah $dB\mu V/m$.

2.4.5. ERP (Effective Radiated Power)

ERP merupakan daya yang dipancarkan antenna setelah dikurangi *loss feeder*. ERP dinyatakan dalam satuan $dBkW$. Perhitungan ERP dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan dirumuskan pada persamaan (2-2) [11].



Gambar 2.14. Perhitungan ERP [11]

$$ERP \text{ (dBkW)} = P_{tx} - L_{feeder} + G_{antenna}, \text{ dengan } dBkW = 10 \text{ Log}(kW) \quad (2-2)$$

2.4.6. Nuisance field

Nuisance field adalah kuat medan pemancar yang menginterferensi pada ERP tertentu ditambah dengan *protection ratio* yang relevan. *Nuisance field* dirumuskan pada persamaan (2-3) [11]:

$$E_n = E_i + PR + L_{cm} + A_d + A_p \quad (2-3)$$

dimana: E_n = nuisance field strength ($dB\mu V/m$)

E_i = predicted field strength of the interfering transmitter ($dB\mu V/m$)

PR = applicable protection ratio (dB)

L_{cm} = location correction margin (dB)

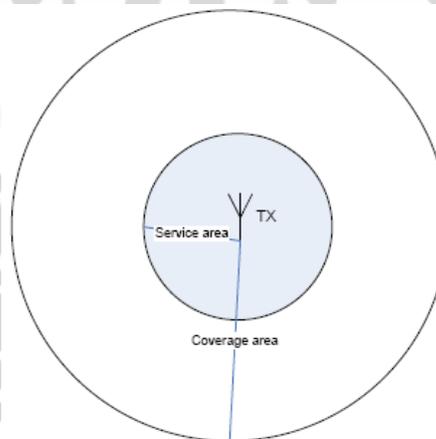
A_d = antenna directivity discrimination (dB)

A_p = antenna polarisation discrimination (dB)

2.4.7. *Service area* dan *coverage area*

Service Area adalah wilayah cakupan layanan oleh sebuah *transmitter* tertentu dimana didalam wilayah tersebut sinyal yang dikirim dijamin dapat diterima dengan baik. Nilai *minimum field strength* pada ujung batas *service area* harus melebihi *nuisance field*. Sedangkan *coverage area* adalah wilayah cakupan yang dapat dijangkau oleh sebuah *transmitter* dimana sinyal masih dapat diterima dengan baik, tetapi tanpa memperhatikan pengaruh interferensi dari pemancar lainnya. *Coverage area* adalah wilayah dimana masih diperbolehkan adanya *nuisance field* akibat pemancar lain.

Semakin besar jarak antara pemancar dan penerima, maka semakin berkurang pula nilai kuat medan pemancar tersebut. Jika suatu pemancar tidak mengalami gangguan dari pemancar lain, maka *service area* akan sama dengan *coverage area*. Apabila terdapat pemancar lain dalam wilayah yang bertetangga, dengan selisih frekuensi tertentu, maka akan timbul *nuisance field* di daerah *coverage area*. Luasan *service area* dan *coverage area* dapat dilihat pada Gambar 2.15.



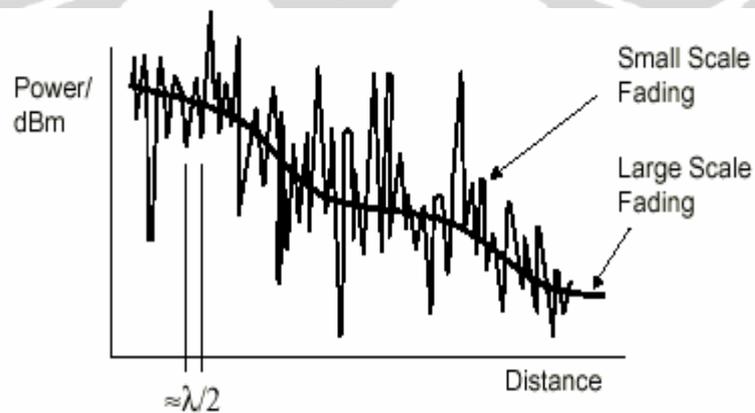
Gambar 2.15. *Service Area* dan *Coverage Area*

2.5. PROPAGASI

Kanal propagasi adalah semua medium fisik diantara antenna pengirim dan penerima dimana gelombang elektromagnetik merambat. Jalur dimana gelombang tersebut merambat bervariasi, mulai dari lingkungan yang *line-of-sight* (LOS), dimana tidak ada penghalang di antara antenna pengirim dan penerima, hingga lingkungan *non line-of-sight*, dimana terdapat penghalang di antara antenna

pengirim dan penerima. Tidak seperti propagasi pada media terbimbing, kanal propagasi radio sulit diprediksi karena sifat random dan banyaknya faktor yang mempengaruhinya, seperti ukuran dan densitas bangunan atau penghalang lainnya, kondisi lingkungan, kecepatan pergerakan penghalang dan lain-lain.

Dalam perambatannya, gelombang elektromagnetik mengalami degradasi level sinyal karena *loss* propagasi. Berdasarkan skalanya *loss* propagasi dapat dibagi menjadi propagasi skala besar (*large-scale propagation*) dan propagasi skala kecil (*small-scale propagation*). Propagasi skala besar menyatakan rata-rata *loss* yang dialami gelombang ketika merambat dari *transmitter* ke *receiver*. Sedangkan propagasi skala kecil menyatakan variasi *loss* propagasi atau sering disebut *variance path loss*. *Variance path loss* terjadi akibat dalam perambatannya, sinyal menempuh beberapa jalur (*path*) yang berbeda-beda sebelum diterima *receiver*. Akibatnya, pada jarak pemisahan antenna *transmitter* dan *receiver* yang sama, dapat terjadi perbedaan level sinyal yang diterima. *Loss* propagasi skala besar dan kecil dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. *Loss* propagasi skala besar dan kecil

Loss propagasi skala besar dikalkulasi dengan menggunakan model propagasi tertentu. Secara umum, pada semua model propagasi, *loss* propagasi berbanding lurus dengan jarak *transmitter-receiver* dan frekuensi transmit yang digunakan. Model propagasi yang lazim digunakan dalam sistem komunikasi LOS adalah model *free-space loss*. Berikut adalah kalkulasi *loss* propagasi pada model *free space loss* [12].

$$PL \text{ (dB)} = 32.5 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (2-4)$$

2.5.1. Model Propagasi Okumura-Hatta

Dalam sistem komunikasi radio, hampir semua gelombang menempuh jalur yang non-LOS. Oleh sebab itu, model propagasi yang digunakan harus mempertimbangkan dimensi dari penghalang, tinggi antena *transmitter* dan *receiver*, dan lingkungan propagasi. Salah satu model propagasi yang mempertimbangkan faktor-faktor tersebut adalah model Okumura-Hata.

Model propagasi Okumura-Hata, mulanya dikembangkan oleh Okumura dengan mengembangkan kurva fungsi redaman *free space* untuk daerah urban di kota Tokyo. Kemudian, Hata memformulasikan secara empiris kurva Okumura menjadi sebuah persamaan matematis. Berikut ini adalah *median path loss* dari model Okumura-Hata [12]:

$$L = 69.55 + 26.16 \log f_C - 13.82 \log h_{BS} - a(h_{BS}) + (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \log d \text{ dB} \quad (2-5)$$

dengan:

h_{MS} = tinggi antena *mobile station*, 1-10 m

h_{BS} = tinggi antena *base station*. 30-200 m

f_C = frekuensi *carrier*, MHz

d = jarak antara *base station* dan *mobile station*, km

$a(h_{MS}) = (1.1 \log f_C - 0.7) h_{MS} - (1.56 \log f_C - 0.8) \text{ dB}$ (Untuk lingkungan propagasi berupa kota berskala kecil hingga menengah)

dan

$$a(h_{MS}) = 8.29 (\log 1.54 h_{MS})^2 - 1.1 \text{ dB} \quad \text{untuk } f_C \leq 300 \text{ MHz}$$

$$a(h_{MS}) = 3.2 (\log 11.75 h_{MS})^2 - 4.97 \text{ dB} \quad \text{untuk } f_C \geq 300 \text{ MHz}$$

(Untuk kota berskala besar)

model propagasi Okumura-Hata akan digunakan untuk memodelkan propagasi DVB-H.

2.5.2. Model Propagasi ITU-R Recommendation P.1546

Model propagasi P.1546 digunakan untuk memodelkan kuat medan *point-to-area* untuk layanan penyiaran (*broadcasting*), *land mobile*, *maritime mobile* dan beberapa *fixed services (point-to-multipoint system)* pada *range* frekuensi 30 hingga 3000 MHz dan untuk *range* jarak 1 km hingga 1000 km [12]. Model

propagasi ini digunakan untuk memodelkan *loss* propagasi pada TV siaran analog dan DVB-T untuk penerimaan tetap.

Model prediksi dasar ITU-R *Recommendation* P.1546 adalah [12]:

$$E_R = -\gamma \cdot \log(R) + K(P_{BS}, f, h_{BS}, h_{MS}, \dots) \dots \dots \dots (2-6)$$

dimana:

E_R = Kuat medan yang diterima (dB(μ V/m) terhadap 1 kW e.r.p

$\gamma \cdot \log(R)$ = fungsi logaritmik dari jarak (R) dengan parameter *slope* γ

K = parameter offset yang merupakan fungsi $P_{BS}, f, h_{BS}, h_{MS}$, dan lain - lain

P_{BS} = Daya *transmitter*

f = frekuensi operasi

h_{BS} dan h_{MS} = tinggi antena *base station* dan *mobile station*

2.5.3. *Multipath fading*

Fading adalah fenomena yang menunjukkan fluktuasi amplituda, fasa dan *delay* waktu dari sinyal yang diterima receiver [12]. *Fading* disebabkan oleh dua atau lebih versi sinyal transmisi yang diterima receiver dalam jangka waktu yang sangat singkat. Terjadinya versi-versi tersebut dikarenakan dalam perambatannya, sinyal tidak hanya menempuh satu jalur propagasi, tetapi menempuh beberapa jalur baik yang *line-of-sight*, pantulan dari tanah, pantulan bangunan, pantulan dari benda bergerak dan lain-lain. Peristiwa ini disebut *multipath fading* atau sering disebut *fading* saja.

Berdasarkan kecepatan fluktuasi amplituda, fasa dan *delay* waktu dari sinyal yang diterima receiver bila dibandingkan kecepatan fluktuasi kanal, *fading* dapat dikategorikan menjadi:

1. *Fast fading*, bila waktu fluktuasi kanal lebih lambat dibandingkan dengan waktu fluktuasi sinyal ($T_S > T_C$) dan frekuensi sinyal lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi Doppler ($f_S > f_D$). Peristiwa ini dapat menyebabkan SNR loss, distorsi pulsa dan masalah sinkronisasi. *Fast fading* dapat diatasi dengan menggunakan *error control* dan *interleaving*.
2. *Slow fading*, bila waktu fluktuasi kanal lebih cepat dibandingkan dengan waktu fluktuasi sinyal ($T_S < T_C$) dan frekuensi sinyal lebih besar dibandingkan dengan frekuensi Doppler ($f_S > f_D$). Peristiwa ini dapat menyebabkan SNR loss.

Frekuensi Doppler pada bahasan di atas menunjukkan seberapa besar variasi kanal akibat objek bergerak pada lingkungan propagasi per satuan waktu. Sedangkan waktu fluktuasi kanal atau sering disebut *time coherence channel* menunjukkan durasi antara dua sinyal yang diterima yang mempunyai potensi korelasi ampiltuda.

2.6. PEMODELAN MENGGUNAKAN SEAMCAT

SEAMCAT® (*Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool*) dikembangkan sebagai *software tool* untuk *sharing & interference studies* pada sistem – sistem radio dengan pita frekuensi yang berdekatan (*adjacent frequency band*) oleh CEPT⁴ Working Group Spectrum Engineering. Model simulasi statistik SEAMCAT menggunakan metode *Monte-Carlo*. ITU⁵ TG1/5 merekomendasikan metode Monte-Carlo dalam pemodelan interferensi karena efisien dan cocok untuk mempelajari masalah yang kompleks dan probabilistik. Sistem komunikasi radio yang bisa dimodelkan menggunakan SEAMCAT adalah:

1. *Mobile Services* seperti *Land Mobile Systems*, *Short Range Devices* dan komponen *Earth based* pada sistem satelit.
2. *Fixed Services* seperti *Point-to-Point* dan *Point-to-Multipoint fixed systems*.
3. *Broadcasting* seperti sistem terestrial dan stasiun bumi (*DTH receivers*) pada sistem satelit.

2.6.1. Metodologi simulasi Monte-Carlo

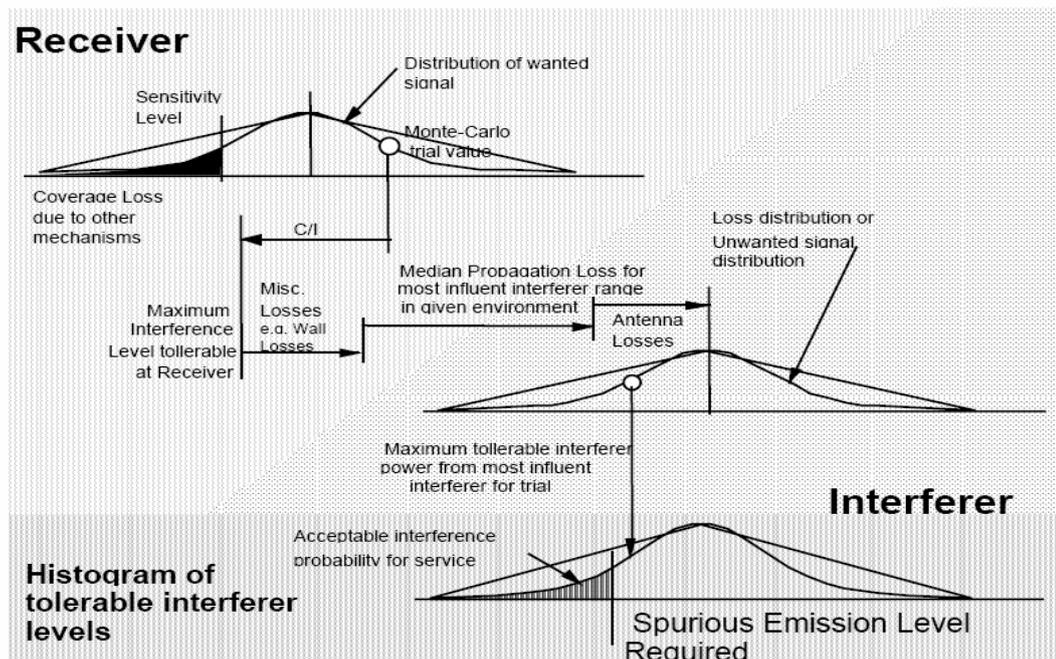
Istilah "Monte-Carlo" diadopsi oleh von Neumann dan Ulan pada perang dunia kedua sebagai nama kode untuk pekerjaan rahasia (*secret work*) dalam menyelesaikan problem – problem statistik berkaitan dengan desain bom atom [8]. Sejak saat itu, metode Monte-Carlo digunakan untuk mensimulasikan proses acak yang berdasarkan prinsip mengambil sampel dari variabel acak *probability density function*-nya.

⁴ CEPT adalah singkatan dari *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*

⁵ ITU adalah singkatan dari *International Telecommunication Union*

Metode ini merupakan teknik yang paling *powerful* dan umumnya digunakan untuk menganalisis problem statistik. Pendekatan Monte-Carlo cocok digunakan untuk menganalisis *unwanted emission interference* yang bersifat acak.

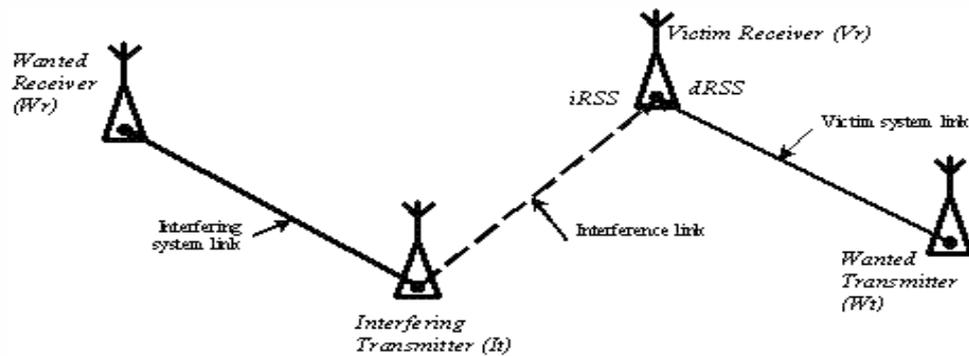
Pada Gambar 2.17 dapat dilihat contoh proses evaluasi menggunakan metode Monte-Carlo. Level *wanted signal* diambil secara acak dari distribusi yang telah ditentukan terlebih dahulu. Level *unwanted signal* maksimum yang bisa diterima oleh *receiver* diperoleh dari *C/I figure*.



Gambar 2.17 Contoh proses evaluasi Monte-Carlo [9]

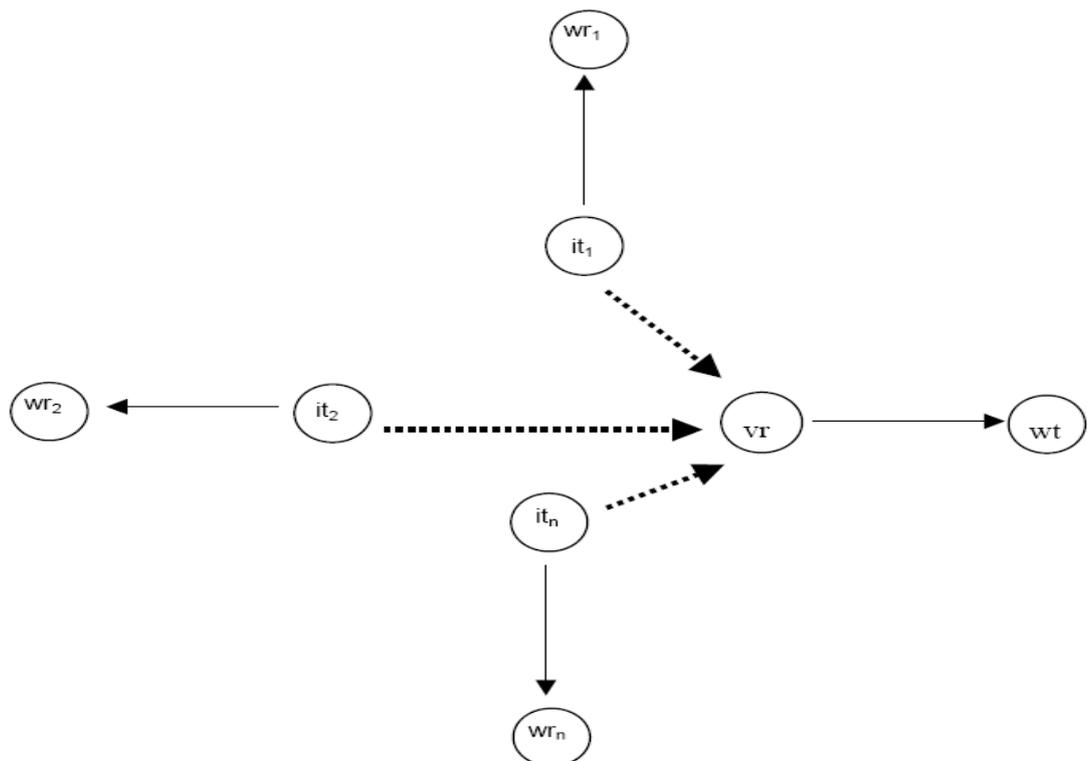
Untuk beberapa *interferer* disekitar *victim*, komputasi dilakukan untuk menghitung nilai isolasi karena posisi, rugi – rugi propagasi dan rugi – rugi antenna. Nilai isolasi terendah menentukan level maksimum *unwanted signal* yang dipancarkan oleh *transmitter* selama ujicoba (*trial/snapshot*). Dari banyak ujicoba, dimungkinkan untuk mendapatkan histogram *unwanted level* dan probabilitas interferensi dan dengan memberikan variasi nilai yang berbeda pada parameter masukan model dan pdf *interferer* yang sesuai, dimungkinkan untuk melakukan analisis spektrum frekuensi yang luas pada skenario interferensi.

Dalam simulasi *Victim receiver* (V_r) menerima *interfering Received Signal Strength* (iRSS) dari *Interfering transmitter* (I_t) dan *desired Received Signal Strength* (dRSS) dari *Wanted Transmitter* (W_t). *Interference link*-nya dapat dilihat pada Gambar 2.18 berikut ini.



Gambar 2.18 *Interference link, Victim system link dan Interfering system link* [8]

Dalam simulasi digunakan huruf kapital untuk menyatakan fungsi distribusi, misalnya P dan huruf kecil untuk menyatakan variabel yang merupakan hasil kalkulasi atau *trial*. Serta indeks tiap huruf mengacu pada *Victim receiver* (V_r), *Wanted receiver* (W_r), *Interfering transmitter* (I_t), dan *Wanted Transmitter* (W_t). *Victim receiver* adalah penerima yang terkena interferensi, *Wanted Transmitter* adalah *transmitter* sistem *Victim receiver*. *Interfering transmitter* adalah *transmitter* yang menginterferensi *Victim receiver*, *Wanted receiver* adalah penerima pada sistem *Interfering transmitter*. Gambar jalur interferensi dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Jalur interferensi dari beberapa I_t ke V_r [9]

Parameter – parameter untuk *Wanted Transmitter* (W_t) :

- = sampel distribusi level daya *transmitter* (dBm)
- = *gain* maksimum antena *transmitter* (dBi)
- = *directivity* antena *transmitter* (dB)
- = fungsi distribusi tinggi antena *transmitter* (1/m)
- = radius cakupan *wanted transmitter* (km)

Parameter – parameter untuk *Victim receiver* (V_r):

- = *Protection ratio* (dB)
- = *gain* maksimum antena *receiver* (dBi)
- = *directivity* antena *receiver* (dB)
- = distribusi tinggi antena *receiver* (1/m)
- = respon frekuensi *receiver* (dB)
- a_{vr} = *receiver susceptibility* yang merupakan rasio antara level sinyal interferensi dengan fungsi sensitifitas *receiver* dalam memisahkan dua sinyal
- f_{vr} = frekuensi kerja *receiver* (MHz)
- SNS_{vr} = sensitifitas *receiver* (dBm)
- b = *bandwith receiver* (dalam kHz)

Parameter – parameter untuk *Interfering transmitter* (I_t):

- = sampel distribusi daya *transmitter* (dBm)
- = *gain* maksimum antena *transmitter* (dBi)
- = *directivity* antena *transmitter* (dB)
- = *relative emission mask*
- = *absolute emission floor*

= radius cakupan *interfering transmitter* (km)

Parameter – parameter untuk *Wanted Receiver* (W_r) :

= *gain* maksimum antena *receiver* (dBi)

= *directivity* antena *receiver* (dB)

= distribusi tinggi antena *receiver* (1/m)

= sensitifitas *receiver* (dBm)

Parameter – parameter propagasi dan lingkungan (*environment*):

f_{propag} = *propagation law* (*median loss + variation*)

f_{median} = *propagation law* (*median loss only*)

env = *environment type* (*indoor/outdoor, urban/suburban/open area*)

$dRSS$ = *desired Received Signal Strength* (*in dBm*)

$iRSS_{spur}$ = *interfering Received Signal Strength due to unwanted emissions*

$iRSS_{block}$ = *interfering Received Signal Strength due to blocking* (dBm)

$iRSS_{intermod}$ = *interfering Received Signal Strength due to intermodulation*

Untuk menghitung *desired Receive Signal Strength* ($dRSS$) dapat diperoleh dengan persamaan (2-7) [8]:

$$dRSS \text{ (dB)} = p_{wrc}^{supplied} + g_{wrc-ur}(f_{ur}) - p_{wrc-ur}^{l}(f_{ur}) + g_{ur-wrc}(f_{ur}) \dots (2-7)$$

dimana:

$p_{wrc}^{supplied}$ = sampel distribusi level daya maksimum *Wanted Transmitter* (dB)

g_{wrc-ur} = *gain* antena *Wanted Transmitter* pada arah ke *Victim Receiver* (dB), yang merupakan fungsi dari f_{ur} , dimana f_{ur} = frekuensi yang diterima oleh *Victim receiver*

p_{wrc-ur}^{l} = *path loss* antara *Wanted Transmitter* dan *Victim Receiver* (dB), berupa *loss* propagasi, *fading*, kondisi lingkungan, dan lain – lain sesuai dengan skenario interferensi, dan merupakan fungsi dari f_{ur}

g_{ur-wrc} = *gain* antena *Victim Receiver* pada arah ke *Wanted Transmitter* (dB), yang merupakan fungsi dari f_{ur}

Untuk menghitung *interfering Received Signal Strength* dikarenakan *blocking* ($iRSS_{block}$) dapat diperoleh dengan persamaan (2-8) [8]:

$$iRSS_{block} (dB) = 10 \log \sum_{j=1}^{n_{interfer}} \dots\dots\dots (2-8)$$

8)
dimana:

$$i_{blockj} = (P_{it}^{supplied} + g_{it-vr}(f_{it}) - P_{it-br} - a_{vr} + g_{vr-it}(f_{it}))_j \dots\dots\dots (2-9)$$

i_{blockj} = Level interferensi dikarenakan *blocking* (dB) oleh interferer j, dimana notasi j menunjukkan *interferer* ke-1 hingga ke-n
= level daya maksimum *Interfering Transmitter* (dB)

= *gain* antenna *Interfering Transmitter* pada arah ke *Victim Receiver* (dB), yang merupakan fungsi dari f_{it} , dimana f_{it} = frekuensi transmisi *interferer*

P_{it-br} = *path loss* antara *Interfering Transmitter* dan *Victim Receiver* (dB), berupa *loss* propagasi, *fading*, kondisi lingkungan, dan lain – lain sesuai dengan skenario interferensi, dan merupakan fungsi dari f_{it}

= besarnya atenuasi yang diterima oleh *Victim Receiver* (dB)

= *gain* antenna *Victim Receiver* pada arah ke *Interfering Transmitter* (dB), yang merupakan fungsi dari f_{it}

berdasarkan persamaan (2-7) dan (2-8) maka dapat diperoleh besarnya rasio sinyal yang diinginkan dan sinyal interferensi dengan persamaan (2-10), yaitu:

$$C/I = \dots\dots\dots(2-10)$$