

**PERANCANGAN SFN REGIONAL UNTUK LAYANAN
DVB-T VARIAN C2G PADA MODE PENERIMAAN
FIXED ANTENNA DI WILAYAH JABODETABEK**

SKRIPSI

Oleh

TITO ILYASA

04 04 03 0806



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**PERANCANGAN SFN REGIONAL UNTUK LAYANAN
DVB-T VARIAN C2G PADA MODE PENERIMAAN
FIXED ANTENNA DI WILAYAH JABODETABEK**

SKRIPSI

Oleh

TITO ILYASA
04 04 03 0806



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**PERANCANGAN SFN REGIONAL UNTUK LAYANAN DVB-T VARIAN
C2G PADA MODE PENERIMAAN *FIXED ANTENNA* DI WILAYAH
JABODETABEK**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah diduplikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 09 April 2008

Tito Ilyasa

NPM 04 03 03 0806

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**PERANCANGAN SFN REGIONAL UNTUK LAYANAN DVB-T VARIAN
C2G PADA MODE PENERIMAAN *FIXED ANTENNA* DI WILAYAH
JABODETABEK**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, 09 April 2008

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng

NIP 131 475 421

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Bapak Denny Setiawan selaku Kasubdit Penataan Frekuensi Radio Ditjen Postel Depkominfo yang memungkinkan pengerjaan skripsi ini di Ditjen Postel.
3. Saudara Adis Alifiawan yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama pengerjaan di Ditjen Postel.

Tito Ilyasa
NPM 04 04 03 080 6
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng

**PERANCANGAN SFN REGIONAL UNTUK LAYANAN DVB-T
VARIAN C2G PADA MODE PENERIMAAN *FIXED ANTENNA* DI
WILAYAH JABODETABEK**

ABSTRAK

Banyaknya permasalahan yang ditemukan pada penyiaran analog menyebabkan Ditjen Postel sebagai regulator telekomunikasi di Indonesia memutuskan sudah waktunya untuk melakukan migrasi dari penyiaran analog ke penyiaran digital. Standar penyiaran digital untuk televisi yang akan diimplementasikan di Indonesia adalah DVB-T. Dalam merencanakan jaringan yang akan digunakan untuk layanan DVB-T dapat digunakan metode SFN. Keuntungan penyiaran digital dengan menggunakan DVB-T diantaranya adalah *bandwidth* yang lebih efisien, lebih tahan terhadap *noise*, serta konsumsi energi yang lebih rendah. Perencanaan jaringan dengan menggunakan SFN akan menghasilkan efisiensi spektrum dan *location probability* yang lebih tinggi, serta adanya *network gain* yang dapat mengefisienkan penggunaan daya.

Tujuan yang ingin dicapai dengan pembuatan skripsi ini adalah mendapatkan spesifikasi jaringan SFN regional untuk layanan DVB-T dengan coverage yang optimal. Untuk mencapainya, perlu dilakukan sinkronisasi *transmitter* yang mencakup variasi parameter *time delay* dan ERP, serta penambahan *fill-in Tx* sebagai repeater. Aspek perancangan yang dipertimbangkan mencakup skema modulasi, *code rate*, mode *carrier*, *guard interval*, kanal frekuensi, *bandwidth*, mode penerimaan, *coverage probability*, serta referensi jaringan yang akan digunakan.

Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan *software* Chirplus_BC di Ditjen Postel. Penempatan Tx dilakukan berdasarkan referensi jaringan, sedangkan parameternya disesuaikan dari aspek perencanaan. Setelah dilakukan sinkronisasi, didapatkan spesifikasi jaringan yang tepat untuk *coverage* yang optimal dan bebas interferensi.

Kata Kunci :Perancangan SFN, layanan DVB-T, penerimaan *fixed antenna*

Tito Ilyasa
NPM 04 04 03 080 6
Electrical Engineering Department

Counsellor
Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng

**REGIONAL SFN DESIGNING FOR C2G VARIANT DVB-T SERVICE
AT FIXED ANTENNA RECEPTION MODE IN JABODETABEK AREA**

ABSTRACT

A lot of problems that found in analog broadcasting necessitate Ditjen Postel as the telecommunication regulator in Indonesia to promptly decides the time to migrate from analog to digital broadcasting. Digital broadcasting standard for television that will be implemented in Indonesia is DVB-T. When planning a network for DVB-T service, SFN method can be implemented. The advantages of using DVB-T as digital broadcasting are more efficient bandwidth, increased robustness from noise, and lower energy consumption. Using SFN for network planning also directs to higher spectrum efficiency and location probability, as well as network gain that leads to power efficiency.

The purpose of this final paper is to get the regional SFN specification for DVB-T service with optimal coverage. To achieve that, the transmitters need to be synchronized, that includes time delay and ERP parameters variation, and fill-in Tx as repeater addition. The designing aspects which are considered include modulation scheme, code rate, carrier mode, guard interval, frequency channel, bandwidth, reception mode, coverage probability, and network reference.

This designing will be executed using the Chirplus_BC software at Ditjen Postel. Tx placement done based on network reference, while the parameters are adjusted according to designing aspects. After synchronization is done, the result is proper network specification for optimal coverage and free from interference.

Keywords : SFN designing, DVB-T service, fixed antenna reception

DAFTAR ISI

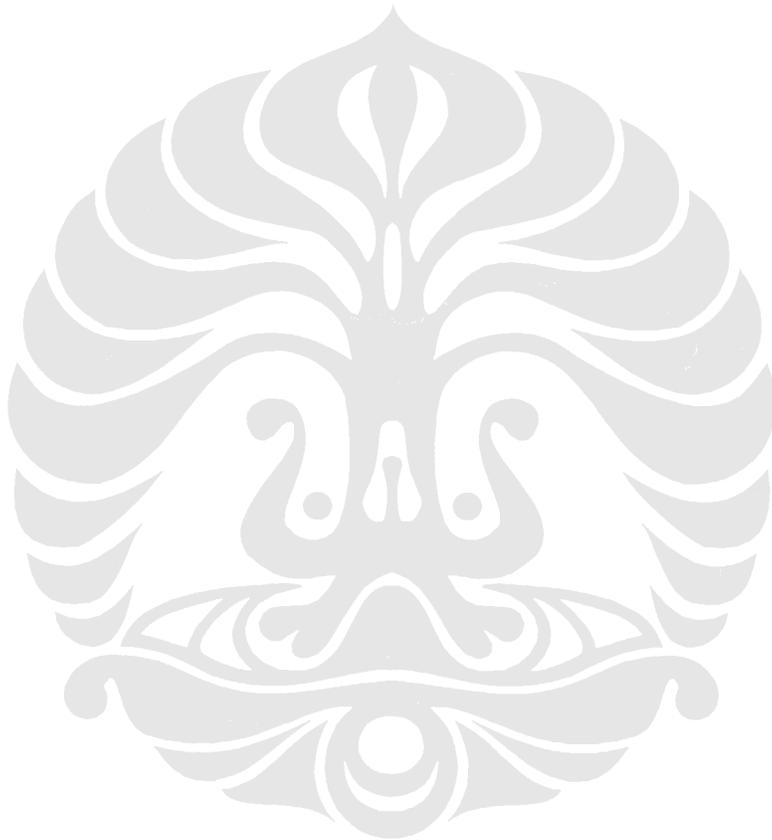
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II.....	5
<i>DIGITAL VIDEO BROADCASTING</i> DENGAN TRANSMISI TERRESTRIAL..	5
2.1 PENGENALAN PENYIARAN DIGITAL.....	5
2.2 <i>DIGITAL VIDEO BROADCASTING</i>	6
2.2.1 MPEG-2.....	7
2.2.2 Layanan.....	10
2.2.3 Standar.....	13
2.3 <i>DIGITAL VIDEO BROADCASTING TERRESTRIAL</i>	15
2.3.1 Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing.....	16
2.3.2 Skema Modulasi.....	20
2.3.3 Inner Coding.....	22
BAB III.....	24
PERANCANGAN SFN.....	24

3.1 KARAKTERISTIK DASAR SFN.....	24
3.1.1 Tipe SFN.....	25
3.1.2 Keuntungan dan Kerugian SFN.....	25
3.2 ASPEK PERANCANGAN.....	26
3.2.1 Varian DVB-T.....	27
3.2.2 <i>Bandwidth</i> dan Kanal Frekuensi.....	28
3.2.3 Mode Penerimaan dan <i>Coverage Probability</i>	29
3.2.4 Referensi Jaringan.....	30
3.3 PENEMPATAN <i>TRANSMITTER</i>	31
BAB IV.....	40
ANALISA SINKRONISASI SFN.....	40
4.1 PERHITUNGAN <i>COVERAGE</i>	40
4.2 SINKRONISASI PARAMETER <i>TRANSMITTER</i>	47
4.2.1 Variasi <i>Time Delay</i>	48
4.2.2 Variasi ERP.....	50
4.3 PENAMBAHAN TX SEBAGAI <i>REPEATER</i>	53
BAB 5.....	57
KESIMPULAN.....	57
DAFTAR ACUAN.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 MPEG-2 TS <i>multiplexer</i>	8
Gambar 2.2 Struktur paket MPEG-2 PES	9
Gambar 2.3 Struktur paket MPEG-2 TS	10
Gambar 2.4 Blok sistem enkripsi DVB.....	11
Gambar 2.5 Fasa pre-standarisasi dan standarisasi DVB Project	13
Gambar 2.6 Blok fungsional <i>transmitter</i> DVB-T	16
Gambar 2.7 Grafik fungsi gelombang orthogonal	18
Gambar 2.8 Konstelasi modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.....	21
Gambar 2.9 Perbandingan <i>code rate</i>	23
Gambar 3.1 Contoh Penggambaran SFN.....	24
Gambar 3.2 Alokasi band UHF untuk DVB-T dengan SFN	28
Gambar 3.3 Referensi jaringan SFN regional <i>small service area</i>	30
Gambar 3.4 Diagram alur penempatan Tx pada software Chirplus_BC	32
Gambar 3.5 Batas wilayah layanan Jabodetabek	33
Gambar 3.6 Penempatan heksagon pada wilayah Jabodetabek	34
Gambar 3.7 Pemberian tanda pada ujung-ujung heksagon untuk Tx	35
Gambar 3.8 Penempatan Tx pada software Chirplus_BC	36
Gambar 3.9 <i>Window</i> pengisian parameter Tx	37
Gambar 3.10 Effective antenna height.....	38
Gambar 3.11 <i>Window</i> perhitungan tinggi efektif.....	38
Gambar 4.1 Network analysis window	42
Gambar 4.2 Mekanisme <i>locking minimum delay</i>	43
Gambar 4.3 Mekanisme <i>locking maximum level</i>	44
Gambar 4.4 Mekanisme <i>locking main focus</i>	44
Gambar 4.5 Calculation window.....	45
Gambar 4.6 <i>Coverage</i> awal SFN	46
Gambar 4.7 SFN strongest interferer	47
Gambar 4.8 Propagasi <i>multipath</i>	48
Gambar 4.9 <i>Coverage</i> SFN variasi <i>time delay</i>	50

Gambar 4.10 <i>Coverage SFN</i> dengan variasi ERP.....	52
Gambar 4.11 Letak <i>repeater</i> pada <i>software</i> Chirplus_BC.....	54
Gambar 4.12 <i>Coverage SFN</i> optimal.....	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perkembangan sistem televisi digital.....	6
Tabel 2.2 Daftar spesifikasi standar DVB.....	14
Tabel 2.3 Perbandingan spesifikasi parameter mode 2k dan 8k	19
Tabel 2.4 Perbandingan implementasi mode 2k dan 8k	19
Tabel 2.5 Perbandingan durasi simbol dan <i>guard interval</i> mode 2k dan 8k	20
Tabel 2.6 Perbandingan spesifikasi parameter modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM	22
Tabel 2.7 Perbandingan implementasi modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM	22
Tabel 3.1 Kode Varian DVB-T.....	27
Tabel 3.2 Parameter referensi jaringan SFN regional <i>small service area</i>	31
Tabel 3.3 Parameter Tx awal	39
Tabel 4.1 Variasi <i>time delay</i> optimal	49
Tabel 4.2 Variasi ERP optimal	51
Tabel 4.3 Parameter <i>repeater</i>	54
Tabel 4.4 Parameter Tx optimal.....	56

DAFTAR SINGKATAN

CA	<i>Conditional Access</i>
CATV	<i>Cable Antenna Television</i>
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
DAVIC	<i>Digital Audio-Video Council</i>
Ditjen Postel	Direktorat Jendral Pos dan Telekomunikasi
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting Terrestrial</i>
ERP	<i>Emitted Radiated Power</i>
ES	<i>Elementary Stream</i>
ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transformation</i>
HP	<i>High Priority</i>
LP	<i>Low Priority</i>
MFN	<i>Multi Frequency Network</i>
MPEG	<i>Motion Picture Experts Group</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
PES	<i>Packetized Elementary Stream</i>
PID	<i>Packet Identifier</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
SFN	<i>Single Frequency Network</i>
TS	<i>Transport Stream</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pada tahun 1960-an, Marshall McLuhan pernah meramalkan bahwa kehidupan dunia akan menjadi suatu kehidupan desa yang mendunia (*global village*)[1]. Kita boleh mengatakan bahwa ramalannya menjadi kenyataan dengan melihat maraknya proses globalisasi yang sedang terjadi hingga saat ini. Era informasi pun tidak lepas dari arus globalisasi. Sejak akhir tahun 1980-an, siaran radio dan televisi dari beberapa negara sudah dapat menjangkau seluruh pelosok dunia melalui satelit.

Dengan keterbatasan teknologi saat itu, penyiaran televisi masih menggunakan teknik transmisi analog. Semakin meluasnya penggunaan teknologi penyiaran serta kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat, membuat kelemahan penyiaran dengan transmisi analog semakin terlihat. Diantaranya dari segi kualitas sinyal, dimana seiring perkembangan teknologi telekomunikasi maka semakin banyak sinyal di udara mengakibatkan sinyal analog penyiaran mudah berinterferensi. Selain itu, dengan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat mengakibatkan persediaan spektrum frekuensi semakin terbatas. Hal ini sangat merugikan penyiaran dengan teknik analog dimana satu kanal frekuensi hanya bisa memuat satu layanan saja.

Karena itu, pada dekade tahun 1990-an, para peneliti dari berbagai badan telekomunikasi dunia, mulai mencoba untuk mengembangkan penyiaran televisi dengan transmisi digital. Keuntungan penyiaran televisi dengan transmisi digital dibandingkan dengan analog diantaranya [2]:

- Penggunaan bandwidth yang lebih efisien dengan adanya teknik kompresi, dimana pada penyiaran televisi analog satu kanal frekuensi hanya dapat memuat satu program televisi, sedangkan penyiaran digital dapat memuat 2-10 program televisi dalam satu kanal frekuensi

- Kualitas sinyal lebih baik karena sinyal digital lebih tahan terhadap *noise* dengan penggunaan teknik OFDM, serta adanya teknik *error correction*
- Konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan televisi analog pada mode penerimaan yang sama
- Memungkinkan penyiaran satu sinyal dengan layanan audio, video, dan data yang berbeda
- Dapat digunakan untuk berbagai mode penerimaan, seperti *fixed antenna*, *portable*, hingga *mobile*
- Perancangan jaringan televisi digital dengan SFN dapat menghemat penggunaan spektrum frekuensi

Menjelang awal milenium ketiga, beberapa negara sudah menetapkan standar penyiaran televisi digital mereka dan sukses mengaplikasikan di negara masing-masing. Melihat ini, negara-negara lain di dunia mulai mengadopsi standar-standar penyiaran televisi digital tersebut untuk diterapkan di negara mereka, termasuk Indonesia. Permasalahan di Indonesia tidak berbeda dengan negara-negara lain, dimana stasiun penyiaran yang sudah eksis sering tidak mengikuti regulasi, mengakibatkan penggunaan spektrum frekuensi yang acak-acakan serta penggunaan infrastruktur yang tidak efisien. Ditambah lagi adanya permintaan izin untuk membangun stasiun penyiaran televisi yang baru, terutama dari daerah-daerah di luar ibukota, semakin mendesak Ditjen Postel sebagai regulator telekomunikasi utama di Indonesia untuk segera membuat alternatif master plan yang baru.

Migrasi penyiaran dari analog ke digital adalah alternatif yang dipilih oleh Ditjen Postel, dan standar televisi digital dari Eropa yaitu DVB-T akan diadopsi untuk dicoba diterapkan di Indonesia. Selama masa migrasi, Ditjen Postel perlu membuat perencanaan yang matang untuk distribusi frekuensi bagi televisi digital, serta seperti apa jaringan televisi digital yang bisa diterapkan nantinya di Indonesia. Perancangan jaringannya bisa menggunakan metode MFN ataupun SFN. Dalam skripsi ini, akan dibuat suatu perancangan SFN untuk layanan DVB-T di Jabodetabek.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dalam proses migrasi dari penyiaran televisi analog ke digital dengan teknologi DVB-T diperlukan perancangan jaringan yang tepat untuk stasiun-stasiun televisi digital tersebut. Dalam merencanakan suatu jaringan SFN, perlu adanya sinkronisasi yang tepat antara pemancar-pemancar yang berada dalam jaringan sehingga memenuhi karakteristik SFN, serta bebas dari interferensi. Untuk mendapatkan sinkronisasi yang sesuai, ada parameter-parameter yang harus dioptimalkan, mencakup *time delay* dan ERP.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk merencanakan suatu jaringan regional SFN untuk wilayah Jakarta, Banten, dan Jawa Barat, yang sinkron untuk layanan DVB-T varian C2G pada mode penerimaan *fixed antenna*.

1.4 BATASAN MASALAH

Layanan penyiaran beserta parameter-parameternya pada skripsi ini dibatasi pada DVB dengan transmisi *terrestrial* (DVB-T) varian C2G. Untuk metode perancangan jaringan yang digunakan dibatasi hanya pada SFN, sedangkan mode penerimaannya dibatasi pada penerimaan dengan *fixed antenna*. Perancangan jaringan dibatasi pada wilayah regional Jakarta, Banten, dan Jawa Barat.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dalam skripsi ini mencakup telaah pustaka untuk mengetahui karakteristik dari DVB-T dan SFN, serta untuk menentukan parameter-parameter yang akan digunakan dalam perancangan. Lalu penggunaan *software* Chirplus_BC di Ditjen Postel untuk mengambil data serta mensimulasikan perancangan jaringan. Dan yang terakhir adalah analisa untuk

optimalisasi parameter sinkronisasi sehingga memenuhi karakteristik jaringan dan bebas interferensi.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penulisan skripsi, perumusan dan batasan masalah yang digunakan, serta tujuan, metodologi perancangan yang dilakukan, dan sistematika penulisan.

BAB II *DIGITAL VIDEO BROADCASTING* DENGAN TRANSMISI *TERRESTRIAL*

Pada bab ini akan dibahas tentang pengenalan televisi digital, serta karakteristik dasar DVB secara umum dan DVB-T secara khusus.

BAB III PERANCANGAN SFN

Bab ini berisi penjelasan karakteristik dasar SFN, parameter-parameter yang akan digunakan dalam perancangan, hingga tahap awal perancangan dengan menggunakan software Chirplus_BC.

BAB IV ANALISA SINKRONISASI SFN

Pada bab ini akan dianalisa parameter untuk sinkronisasi sehingga memenuhi karakteristik SFN dan bebas interferensi.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari perancangan dan analisa yang telah dilakukan.

BAB II

DIGITAL VIDEO BROADCASTING DENGAN TRANSMISI TERRESTRIAL

2.1 PENGENALAN PENYIARAN DIGITAL

Pada era 1980-an, teknologi televisi berwarna konvensional mulai digantikan dengan perkembangan teknologi televisi berwarna yang baru yaitu HDTV (*High Definition Television*). Selama sekitar satu dekade kemudian, penyiaran HDTV masih menggunakan sistem analog. Hingga pada tahun 1993, badan komunikasi Amerika Serikat *General Instruments* bersama dengan AT&T/Zenith, DSRC/Philips/Thomson, dan MIT membentuk *Grand Alliance* (GA) mencoba mengembangkan standar sistem penyiaran digital untuk HDTV yang sebelumnya sudah diajukan proposalnya oleh *General Instruments* pada tahun 1990[3]. GA mengadopsi standar teknologi MPEG-2 untuk *video source coding*, *system information*, dan *multiplexing*, serta standar Dolby AC-3 untuk *multichannel audio source coding*.

Perkembangan di Amerika ini memberikan imbas terhadap perkembangan *digital terrestrial broadcasting* di Eropa. Maka teretuslah berbagai macam proyek seperti HD-DIVINE dan *European Launching Group* (ELG) yang akhirnya berujung pada proyek besar Eropa *DVB Project* pada 1993[3]. Secara umum, televisi digital menyederhanakan penyiaran dari program televisi. Dengan aplikasi teknologi digital, layanan pertelevisian dapat diberikan secara lebih efisien melalui jaringan telekomunikasi yang beragam. Selain itu, diaplikasikannya teknik kompresi pada sinyal digital memungkinkan pengurangan konsumsi *bandwidth* sehingga bisa diperoleh kanal yang lebih banyak untuk *bandwidth* yang sama, serta beberapa *bit rate* dapat diseleksi untuk mendukung QoS yang dibutuhkan. Tabel 3.1 memperlihatkan perkembangan sistem televisi digital.

Tabel 2.1 Perkembangan sistem televisi digital[3]

Date	Development
1990	First proposal for a completely digital HDTV system for terrestrial broadcasting by GI
1991	Scandinavian HD-DIVINE project on digital HDTV standard for terrestrial broadcasting
1992	Formation of the ELG
1993	Formation of the GA in the United States
1993	Initiation of the European DVB Project
1994	Founding of the Digital Broadcasting Development Office in Japan by MPT
1994	First public digital satellite broadcasting in the United States by DirecTV
1994	European standard on digital <i>direct-to-home</i> (DTH) satellite broadcasting by DVB
1994	European standard on digital broadcasting via CATV networks by DVB
1995	European standard on digital <i>satellite master antenna television</i> (SMATV) by DVB
1995	ATSC DTV standard A/53 in the United States
1995	European Union television standards Directive
1995	Specification of common scrambling algorithm for CA by DVB
1995	ATSC digital audio compression (AC-3) standard A/52 in the United States
1996	Specification of common interface for CA by DVB
1996	First public digital satellite broadcasting in Europe by Canal Satellite
1996	European standard on digital <i>multipoint video distribution systems</i> (MVDS) by DVB
1996	First public digital satellite broadcasting in Japan by PerfecTV
1997	European standard on digital MMDS by DVB
1997	European standard on digital terrestrial broadcasting by DVB

2.2 DIGITAL VIDEO BROADCASTING

DVB merupakan suatu standar terbuka (*open standard*) yang dihasilkan oleh DVB *Project* pada tahun 1993 dan telah digunakan secara internasional. DVB *Project* merupakan suatu grup industri yang terdiri lebih dari 200 organisasi anggota yang berasal lebih dari 25 negara yang berbeda[4], yang telah bekerjasama membangun suatu *framework* teknis untuk terobosan baru di bidang sistem penyiaran digital. 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.

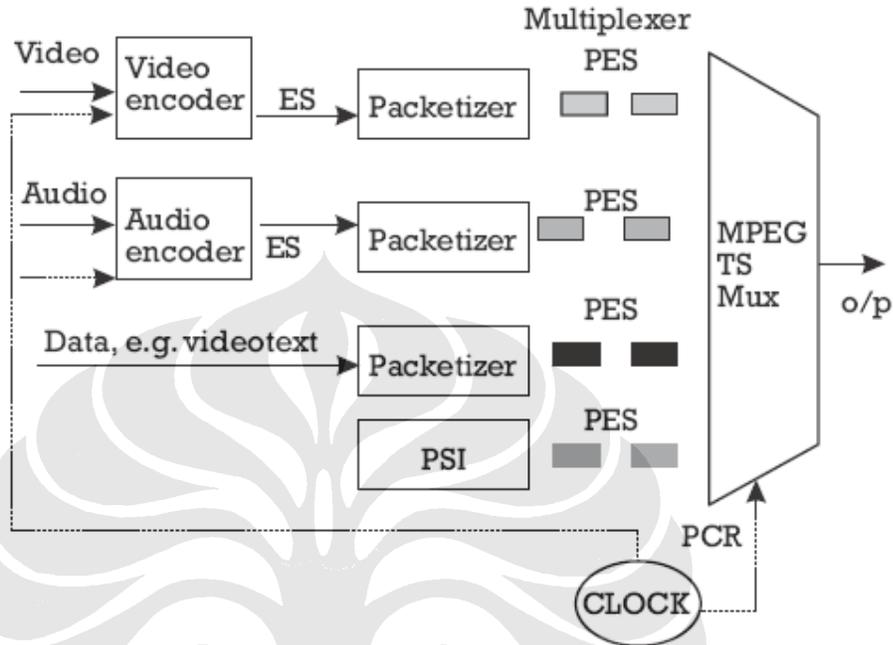
Keunggulan dari teknologi DVB diantaranya adalah transmisi data dalam jumlah besar pada kecepatan tinggi secara aman dengan kemungkinan kesalahan transmisi yang sangat kecil. Selain itu, sistem DVB menggunakan teknologi kompresi MPEG-2 yang memungkinkan pengemasan audio, video, dan data dalam format yang memungkinkan untuk berbagai keperluan multimedia.

2.2.1 MPEG-2

Berbeda dengan standar teknik kompresi yang diadopsi oleh GA, DVB mengadopsi teknik kompresi MPEG-2 sebagai "*data containers*" untuk audio dan video *source coding*, *system information*, dan *multiplexing*. Dengan konsepsi tersebut maka transmisi informasi digital dapat dilakukan secara fleksibel tanpa perlu memberikan batasan jenis informasi apa yang akan disimpan dalam "*data container*" tersebut. Pemilihan MPEG-2 untuk sistem koding dan kompresi dilakukan karena terbukti bahwa MPEG-2 mampu memberikan kualitas yang baik sesuai dengan sumber daya yang tersedia. Dari sudut pandang komersial, pengadopsian MPEG-2 sangat menguntungkan karena memungkinkan DVB untuk berkonsentrasi pada upayanya dalam menemukan cara untuk mengemas paket data MPEG-2 melalui media transmisi yang berbeda-beda termasuk satelit, kabel, SMATV, LMDS, maupun terestrial[5].

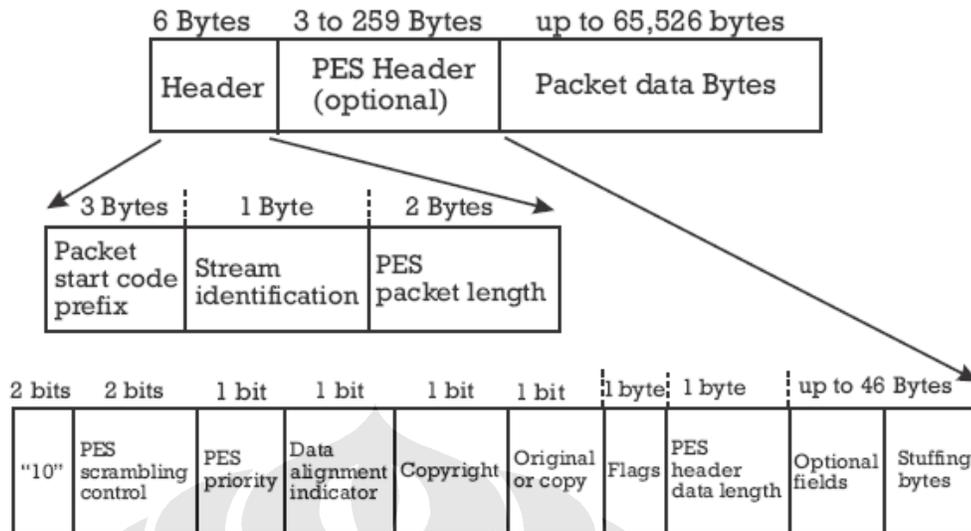
Pada bagian awal telah dijelaskan bahwa teknik kompresi digital dapat digunakan untuk menghasilkan *bit rate* yang berbeda sesuai dengan kebutuhan QoS. Namun tidak hanya itu, teknologi televisi digital juga memungkinkan untuk mengkombinasikan beberapa MPEG-2 *encoded* untuk menyiarkan beberapa layanan televisi digital pada kanal frekuensi penyiaran yang sama. Teknologi ini disebut MPEG-2 TS yang terdiri dari beberapa PES untuk audio, video, dan data

dari sumber-sumber yang berbeda. Berikut Gambar 2.1 yang menunjukkan multiplexer MPEG-2 TS.



Gambar 2.1 MPEG-2 TS multiplexer[4]

Pada gambar di atas terlihat adanya ES yang merupakan tipe dasar dari sinyal MPEG-2 dan dibangkitkan oleh *encoder*. Lalu dipaketkan oleh *packetizer* menghasilkan PES dengan *variable length* yang juga mengandung *time stamps* dan *header information*[4]. Masing-masing PES ini memisahkan aliran sinyal audio, video, dan data. Struktur PES MPEG-2 seperti ditunjukkan Gambar 3.2 di bawah ini.

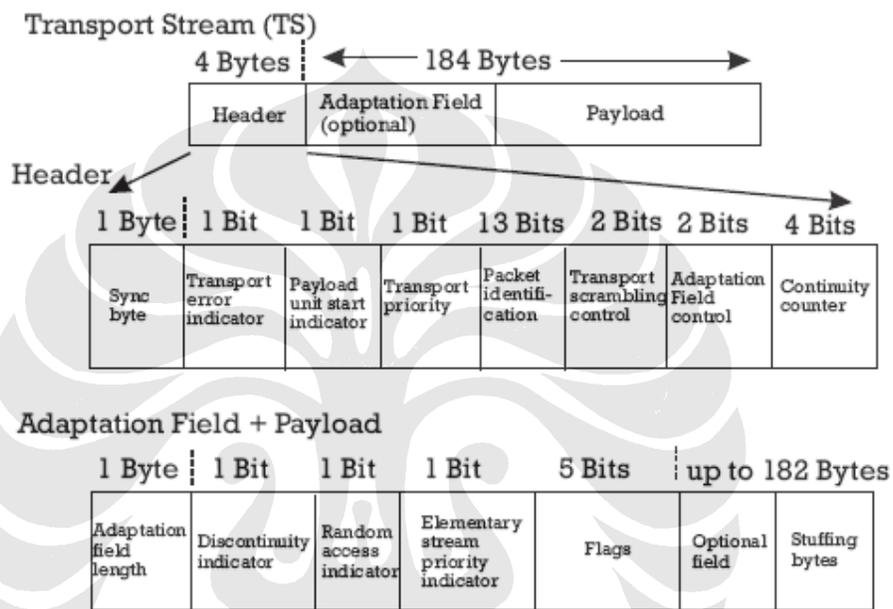


Gambar 2.2 Struktur paket MPEG-2 PES[4]

MPEG-2 *Transport Stream Packet* berjumlah 188 bytes, yang terdiri dari 4 byte *TS header* dan 184 byte *payload*[6]. *Payload* ini memuat video, audio, atau data. *Byte* pertama pada *header* adalah “*sync byte*” yang digunakan untuk menyingkronkan paket ke *transport stream*. Berdasarkan MPEG, sinkronisasi pada *decoder* terjadi setelah lima *Transport Stream Packet* diterima. Komponen penting lainnya dari *transport stream* adalah “*packet identifier*” (PID) yang panjangnya 13 bit[6]. PID menjelaskan isi saat ini dari bagian *payload* dari paket ini. Bit setelah *sync byte* adalah bit “*transport error indicator*”. Dengan bit ini, *Transport Stream Packet* ditandai sebagai *error* setelah transmisinya. Hal ini diatur oleh demodulator pada akhir *transmission link* jika misalnya terlalu banyak error yang terjadi dan tidak memungkinkan adanya koreksi oleh mekanisme *error correction* yang digunakan selama transmisi.

Pada DVB, *error protection* utama yang selalu digunakan adalah *Reed-Solomon error correction code*. *Transport Stream Packet* tersebut kemudian ditambahkan *inner coding (convolutional code)* untuk *Forward Error Correction*. Jika ditambahkan 16 byte *Reed-Solomon error protection* pada MPEG-2 *TS packet* maka *error* yang dapat diperbaiki per paket sebanyak 8 error, jika ditambahkan 20 byte *Reed-Solomon error protection* pada MPEG-2 *TS packet* maka *error* yang dapat diperbaiki per paket sebanyak 10 error. Jika terdapat *error* yang jumlahnya lebih dari 8 atau 10 pada suatu paket, maka *error protection*

gagal dan paket ditandai sebagai *error* oleh *transport error indicator* dan tidak dapat lagi di-*decoding* oleh MPEG decoder sehingga *error* ini disembunyikan[6]. Untuk meningkatkan kemampuan memperbaiki kesalahan terutama bila terjadi *burst error* maka digunakan *interleaver* yang membangun paket MPEG-2 baru dengan menggunakan *bytes* dari beberapa paket MPEG-2. Struktur paket MPEG-2 diperlihatkan pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Struktur paket MPEG-2 TS[4]

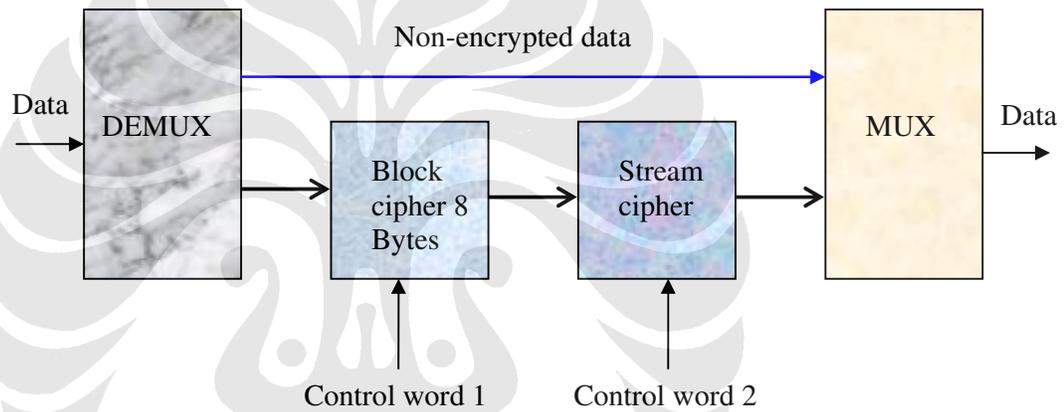
2.2.2 Layanan

2.2.2.1 Conditional Access

Pada layanan televisi digital terdapat sistem yang disebut dengan *Conditional Access* (CA) dimana akses tersedia untuk pengguna jika suatu spesifikasi syarat telah terpenuhi seperti identifikasi, autentikasi, otorisasi, registrasi, pembayaran, atau kombinasinya. Tujuannya agar selain untuk mencegah *user* yang tidak berkepentingan untuk menikmati layanan yang disediakan, juga agar konten penyiaran yang telah dienkrpsi hanya dapat didekripsi oleh perangkat yang sudah ditentukan. Ada beberapa cara yang dapat

diaplikasikan untuk CA, dan khusus untuk DVB digunakan sistem krypto yang dinamakan *Common Scrambling Algorithm*.

Algoritma dari teknologi ini digunakan untuk program yang akan melakukan proses enkripsi dan dekripsi pada sistem DVB. Sebelum melalui proses enkripsi, aliran data TS terlebih dahulu harus melewati *demultiplexer* untuk dipisahkan antara data yang harus dienkripsi dan data yang tidak boleh dienkripsi. Beberapa informasi pada header TS, seperti sinkronisasi tidak boleh dienkripsi. Selain itu, pada layanan tertentu seperti *Free-TV*, terdapat data-data yang tidak membutuhkan enkripsi[3]. Sistem enkripsi DVB ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Blok sistem enkripsi DVB

Pada proses enkripsi seperti gambar di atas, jika data yang dibutuhkan berada pada level PES, maka hal-hal berikut berlaku [3]:

- Enkripsi hanya dilakukan pada salah satu level, TS atau PES
- Header dari paket PES tidak boleh melebihi 184 *bytes*
- Paket TS yang membawa bagian paket PES yang dienkripsi, tidak mempunyai *adaption fields*

Proses enkripsi data dilakukan oleh *block cipher* dan *stream cipher* secara berurutan. Blok *cipher* mengenkripsi aliran data per 8 bytes, sedangkan *stream cipher* mengenkripsi data secara *bitwise*[3]. Kedua *cipher* dieksekusi dengan *control words* yang berbeda. *Control words* ini juga dienkripsi dengan sistem enkripsi yang sesuai dan dimasukkan ke dalam *header TS*.

2.2.2.2 Interaktivitas

Sistem DVB mempunyai kemampuan untuk memanfaatkan *return path* antara IRD dan *Service Provider* melalui modul *Subscriber Management System*. Untuk keperluan *return path* ini diperlukan modem dan jaringan telepon atau *cable TV return path* atau bahkan satelit *uplink*. *Return path* ini dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal balik dari *user* seperti pada aplikasi *televoting*, *games playing*, *tele-shopping*, *tele-banking*, dan juga untuk mengirimkan *command browsing* pada *website* internet[5]. Walaupun keterbatasan *bandwidth* untuk *return path* tersebut tidak cocok untuk mengirimkan citra video bergerak dari rumah ke *broadcaster*, pengembangan tahap berikutnya diperkirakan akan memungkinkan hal tersebut terjadi. Selain itu DVB juga menawarkan sejenis interaktifitas tanpa memerlukan *return path* yaitu penyediaan beragam program pilihan sesuai dengan pilihan *user*.

Banyak layanan yang ditawarkan dalam DVB akan membutuhkan beberapa bentuk interaksi antara pengguna dan *program provider* atau *operator network*. Interaksi tersebut bisa berupa transmisi sekelumit perintah tapi mungkin juga memerlukan interaksi yang cukup intensif seperti yang terjadi pada komunikasi melalui internet. TV interaktif diidentifikasi sebagai salah satu kunci penting yang akan menguasai sistem transmisi digital di masa mendatang. Berbagai anggota DVB telah mengembangkan rencana komprehensif pengenalan TV interaktif sejak tahun 1997[5]. Terjadinya konvergensi dalam area ini memungkinkan terjadinya titik balik pada masa depan dunia *broadcasting*.

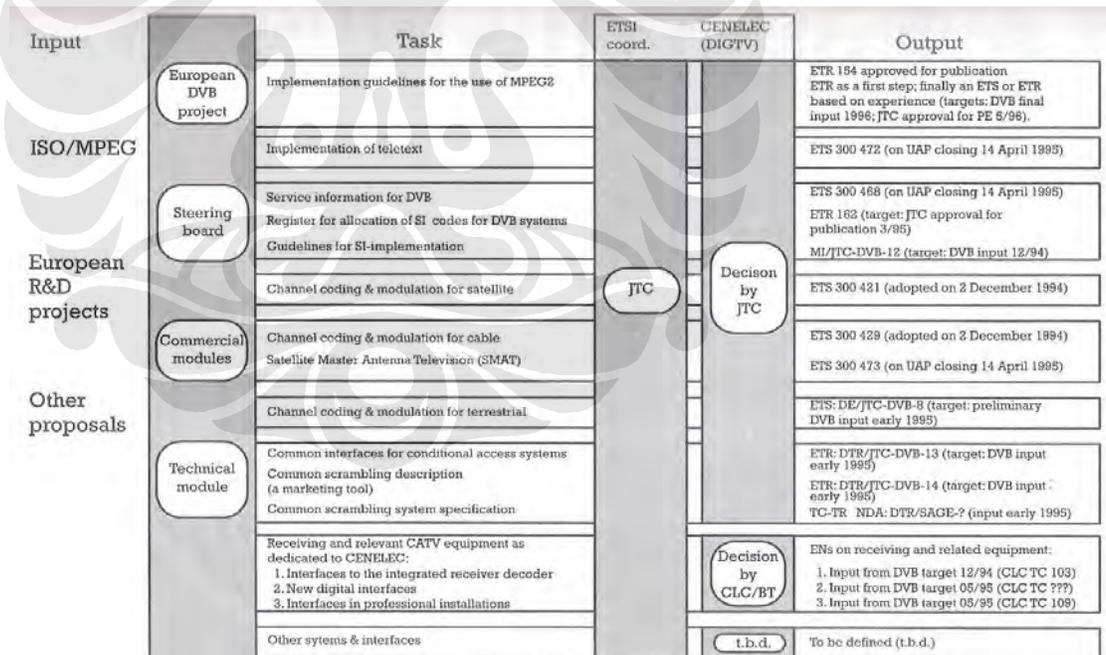
Berbagai spesifikasi *return channel* DVB telah dipublikasikan oleh ETSI termasuk didalamnya DVB *Return Channel Cable* (RCC) dan DVB *Return Channel Telephone* (RCT) yang merupakan komplemen dari DVB *Network Independent Protocols* (NIP) yang berdasarkan kepada MPEG-2 *Digital Storage Media – Command and Control* (DSM-CC)[5].

DVB memungkinkan terjadinya interaksi tersebut dan menspesifikasikan dua jenis *tools* untuk keperluan tersebut. Yang pertama adalah *tools* interaktif yang bersifat *network-independent* yang dapat dianggap sebagai layer 2 atau tiga pada *protocol stack* ISO/OSI yang diturunkan dari protokol *Digital Storage Media Command Control* (DSM-CC) dari MPEG.

Kelompok kedua yaitu berhubungan dengan layer yang lebih rendah (layer satu atau dua) dari model OSI/ISO yang berupa *tools* interaktif yang bersifat *network-dependent*. Ada beberapa spesifikasi yang telah dikembangkan antara lain melalui *Public Switched Telephone Networks* (PSTN) dan *Integrated Services Digital Networks* (ISDN). Selain itu juga dikembangkan solusi komprehensif untuk interaksi melalui jaringan CATV, *Hybrid Fibre Coaxial* (HFC), *Terrestrial Systems*, *Satellite Master Antenna Television* (SMATV), LDMS, VSAT, DECT, dan GSM.

2.2.3 Standar

Untuk mencegah DVB *Project* diambil alih oleh pengembangan teknologi yang lain, maka perlu dibuat rencana spesifikasi dan standarisasi yang matang. Gambar 2.5 berikut menunjukkan fasa standarisasi DVB Project.



Gambar 2.5 Fasa pre-standarisasi dan standarisasi DVB Project[3]

Adopsi spesifikasi DVB pada berbagai sistem transmisi oleh badan komunikasi seperti DAVIC dan ITU telah memperkuat kedudukan DVB untuk

dikenali sebagai standar dunia. Tabel berikut menunjukkan semua spesifikasi dari standar DVB, beserta aplikasinya, definisi standar ETSI yang resmi, serta tanggal spesifikasi tersebut menjadi standar resmi.

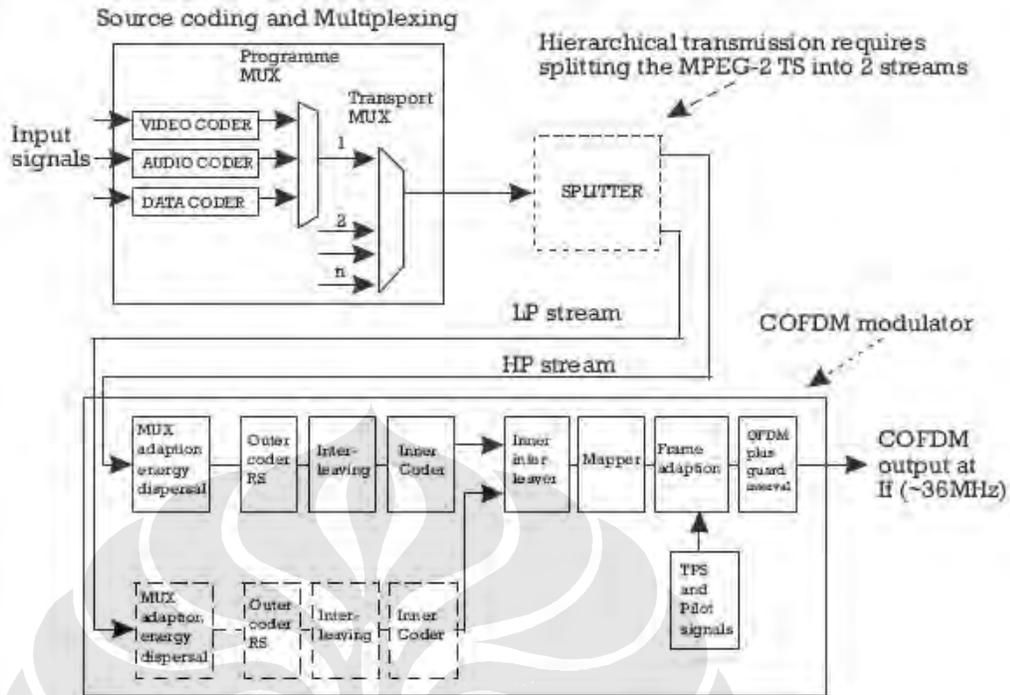
Tabel 2.2 Daftar spesifikasi standar DVB[3]

Specification	Application	Standard	Date
DVB-S	The satellite system for use in the 11/12-GHz band, suitable for transponders with various bandwidths and powers	ETS 300 421 EN 300 421	December 1994 August 1997
DVB-C	The system for CATV networks, compatible with DVB-S, for 8-MHz channels	ETS 300 429 pr EN 300 429	December 1994 to be published
DVB-CS	The system for SMATV for providing CAI	ETS 300 473 EN 300 473	May 1995 August 1997
DVB-T	The terrestrial television system, compatible with DVB-S and DVB-C, applicable to terrestrial 7-8 MHz channels	ETS 300 744 EN 300 744	February 1997 August 1997
DVB-MS	The MVDS for $f > 10$ GHz, compatible with DVB-S	ETS 300 748 EN 300 748	October 1996 August 1997
DVB-MC	The microwave multipoint distribution system for $f < 10$ GHz, compatible with DVB-C, for 8-MHz channels	ETS 300 749 EN 300 749	April 1997 August 1997
DVB-SI	The service information system for configuration and adjustment of the DVB set-top-box to DVB format bitstreams	ETS 300 468 prEN 300 468	January 1997 to be published
DVB-TXT	The teletext specification for the transport of standard teletext in DVB bitstreams	ETS 300 472 EN 300 472	May 1995 August 1997
DVB-SUB	The subtitling system for the display of graphical objects (e.g., subtitles and logos) on the television screen	ETS 300 743	September 1997
DVB-SIM	The technical specification of simulcrypt in DVB systems; part 1: head-end architecture and synchronization	TS101 197-1	June 1997
DVB-CI	The specification of the common interface for CA and other applications	EN 50221 (CENELEC)	February 1997
DVB-NIP	The specifications of network independent protocols for interactive services	ETS 300 802	November 1997
DVB-RCC	The specification of interaction channels through CATV networks	prETS 300 800	to be published
DVB-RCT	The specification of interaction channels through PSTN/ISDN	ETS 300 801	August 1997

2.3 DIGITAL VIDEO BROADCASTING TERRESTRIAL

Spesifikasi dari teknologi DVB-T menawarkan operasi dengan rentang yang lebar yang ditentukan oleh jumlah *carrier*, panjang *guard interval*, skema modulasi, serta *error correction code* dengan *code rate* berbeda-beda yang menghasilkan tingkat proteksi yang berbeda. Sistem DVB-T menyiarkan sinyal TV yang dikodekan dengan MPEG-2 secara *terrestrial*. Oleh karena itu, diperlukan adanya adaptasi yang sesuai dari aliran kode digital ke dalam kanal *terrestrial* dengan karakteristik yang berbeda. Alasan inilah yang menyebabkan digunakannya sistem transmisi dengan modulasi *multicarrier* yang disebut dengan teknik OFDM yang dikombinasikan dengan *error correction*. Teknik OFDM juga dapat menggunakan jumlah *carrier*, skema modulasi, dan *guard interval* yang berbeda untuk memaksimalkan efisiensi spektrum sehingga dapat beroperasi pada SFN.

Bagian *error correction* dapat dibagi ke dalam dua blok, yaitu *outer coding* dan *outer interleaving*, dan pada DVB-T terdapat level selanjutnya untuk *error correction* yaitu *inner coding* dan *inner interleaving*. Untuk skema modulasi, DVB-T dapat menggunakan tiga skema modulasi yang berbeda untuk mengakomodasi *transmission rate* yang berbeda-beda, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Salah satu fitur unik pada standar DVB-T adalah hierarki transmisi, dimana aliran *multiplex* MPEG-2 yang masuk dibagi ke dalam dua aliran yang terpisah, yaitu aliran LP dan HP aplikasi modulasi dan *channel coding* yang berbeda.



Gambar 2.6 Blok fungsional *transmitter* DVB-T[4]

Gambar 2.6 di atas menunjukkan blok fungsional *transmitter* DVB-T yang menggunakan *hierarchical transmission*. Berikut akan dijelaskan aspek teknis dari DVB-T secara lebih spesifik.

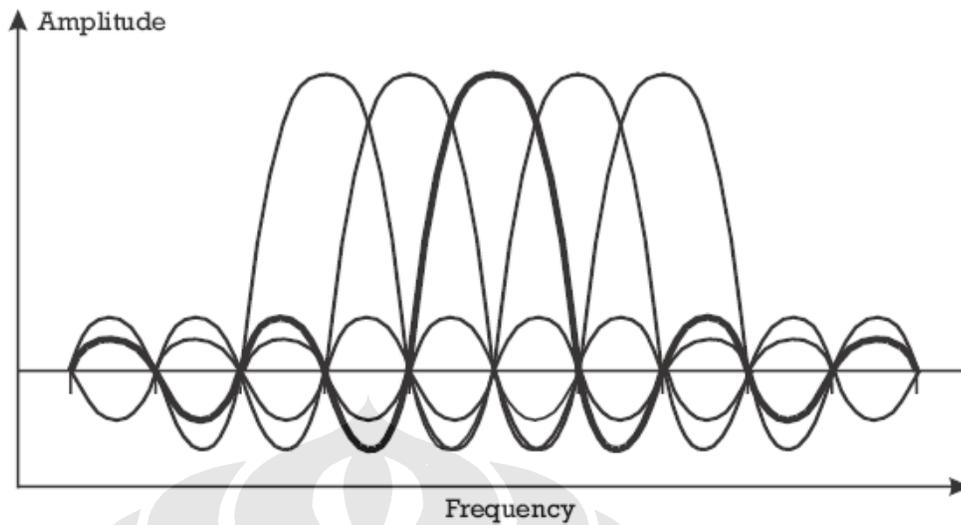
2.3.1 Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

COFDM merupakan metode modulasi *multicarrier* yang dibangkitkan dengan teknik IFFT pada modulatnya dan FFT pada demodulatnya. Teknik ini sangat tahan terhadap penerimaan *multipath* dan sangat berguna untuk kanal-kanal dengan distorsi linier. COFDM menggunakan ribuan *carrier* yang terpisah untuk membawa sinyal data, dimana data tersebut dibagi untuk masing-masing *carrier* melalui proses *time division demultiplexing*. 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.

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 presentasi yang kecil dari tiap simbol.

Untuk 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 yang diterima dengan tidak benar. Informasi yang dibawa oleh salah satu *carrier* yang rusak akan dikoreksi karena informasi lain, yang berhubungan dengannya menggunakan *error protection code*, dibawa pada bagian lain dari rangkaian *carrier* dan diterima dengan benar. COFDM secara khusus menggunakan sistem *Viterbi Convolutional Encoding* sebagai *channel error protection code*[4].

Sedangkan untuk 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[4]. Penggambarannya dengan menggunakan fungsi $\sin(x)/x$ seperti ditunjukkan Gambar 2.7.



Gambar 2.7 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].

2.3.1.1 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]. Spesifikasi parameter dari kedua mode tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Perbandingan spesifikasi parameter mode 2k dan 8k[4]

Parameter	8k mode	2k mode
Number of carriers K	6,817	1,705
Value of carrier number K_{\min}	0	0
Value of carrier number K_{\max}	6,816	1,704
Duration T_U	896 μ s	224 μ s
Carrier spacing $1/T_U$	1,116 Hz	4,464 Hz
Spacing between carriers	7.61 MHz	7.61 MHz
K_{\min} and $K_{\max} (K - 1)/T_U$	(8 MHz channel)	(8 MHz channel)

Berdasarkan tabel diatas, jumlah *carrier* untuk 8k adalah 6817 dan untuk 2k adalah 1705. Namun, banyak dari *carrier* ini yang digunakan untuk *signalling* sehingga jumlah *carrier* yang tersedia untuk transmisi data adalah 6048 untuk 8k dan 1512 untuk 2k[4].

Dari implementasi yang sudah ada, banyak stasiun penyiaran yang lebih memilih untuk mengadopsi mode 2k karena lebih murah dan lebih mudah untuk diimplementasikan. Mode 2k juga mempunyai performa yang lebih baik pada kondisi penerimaan *mobile antenna*. 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 men-*decode* sinyal 2k, tapi tidak sebaliknya. Perbedaan kedua mode tersebut dalam implementasi, secara umum dapat dibuat menjadi Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Perbandingan implementasi mode 2k dan 8k[2]

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>

2.3.1.2 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 2.5 berikut menunjukkan durasi simbol, termasuk *guard interval*, untuk kedua mode 2k dan 8k.

Tabel 2.5 Perbandingan durasi simbol dan *guard interval* mode 2k dan 8k[4]

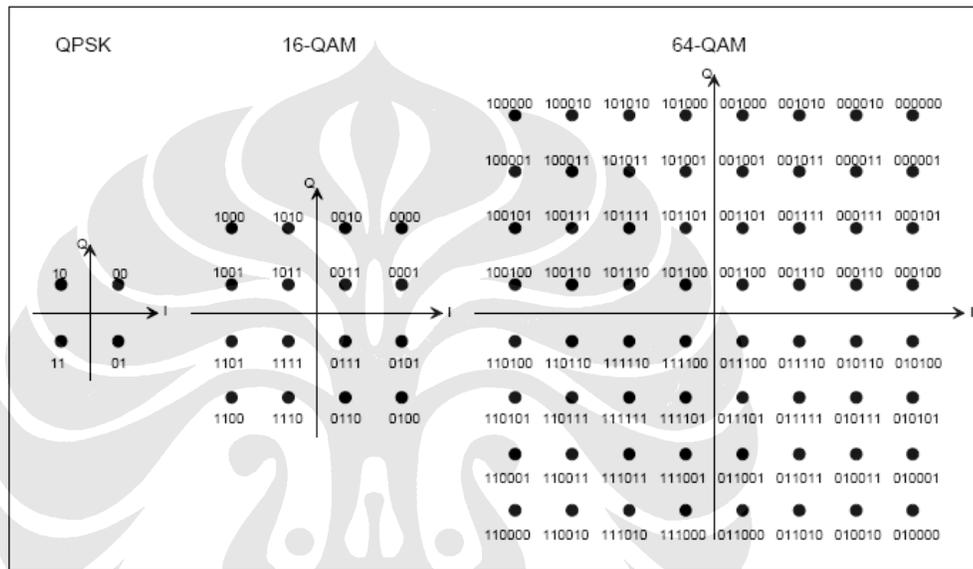
Mode	8k mode				2k mode			
Duration of useful symbol part T_U	8 192* T (T is the elementary time period, and is the inverse of the system clock rate 64/7 MHz) 896 ms				2 048* T 224 ms			
Duration of guard Interval Δ	2,048* T 224 μ s	1,024* T 112 μ s	512* T 56 μ s	256* T 28 μ s	512* T 56 μ s	256* T 28 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

Nilai *guard interval* nantinya juga akan berpengaruh terhadap total *bit rate* dan jarak maksimum antar pemancar DVB pada SFN.

2.3.2 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. 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.[4] Proses pemetaan tersebut memungkinkan pembentukan konstelasi pada *phase space plane* dengan *Gray Mapping* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Konstelasi modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM[7]

Dari gambar di atas terlihat bahwa tiap *constellation point* hanya berbeda satu bit, yang berarti bahwa jika terjadi kesalahan decode *constellation point*, nilainya akan dekat dengan nilai *point* yang benar.

Spesifikasi parameter dari masing-masing modulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 Perbandingan spesifikasi parameter modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM[2]

Jenis modulasi	QPSK	16-QAM	64-QAM
Nilai amplitudo	1	3	9
Nilai fasa	4	12	52
Komponen bit per <i>carrier</i>	1	2	3
Bit per simbol	2	4	6
Efisiensi spektrum (bit)/(s)(Hz)	2	4	6
Minimum C/N untuk BER=10 ⁻⁶ dB	13.7	20.5	27

Untuk implementasi, karakteristik ketiga modulasi tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

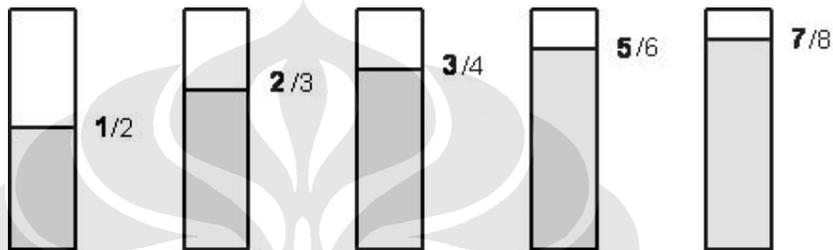
Tabel 2.7 Perbandingan implementasi modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM[2]

QPSK	16-QAM	64-QAM
➤ <i>Bit rate</i> rendah	➤ <i>Bit rate</i> sedang	➤ <i>Bit rate</i> tinggi
➤ Kuat medan minimum rendah	➤ Kuat medan minimum sedang	➤ Kuat medan minimum tinggi

2.3.3 Inner Coding

Selain mode *carrier*, *guard interval*, dan skema modulasi, *inner coding* adalah salah satu parameter yang dipertimbangkan dalam merencanakan jaringan untuk DVB-T. *Inner coding* yang digunakan dalam sistem DVB-T adalah *Rate Compatible Punctured Convolutional (RCPC) code*[4]. Pada *convolutional code*, satu atau beberapa bit informasi yang menjadi input akan menghasilkan output dengan tambahan satu bit sebagai bit proteksi. Contohnya jika kita meng-*input* satu bit, maka akan menghasilkan *output* dua bit. Ini berarti digunakan *coding rate* sebesar 1/2. *Coding rate* bisa didefinisikan sebagai perbandingan bit informasi dengan total bit.

Pada sistem DVB-T, terdapat lima *code rate* yang dapat dipilih, yaitu $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, dan $7/8$. Seseorang yang ingin merencanakan jaringan dapat memilih *code rate* yang berbeda untuk disesuaikan dengan level *error correction* layanan yang digunakan. *Code rate* yang memiliki *error protection* tertinggi adalah $1/2$ dimana satu bit dipasangkan dengan satu bit proteksi. Namun imbasnya, semakin tinggi *error protection* maka *data rate* akan semakin berkurang. Perbandingan *code rate* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



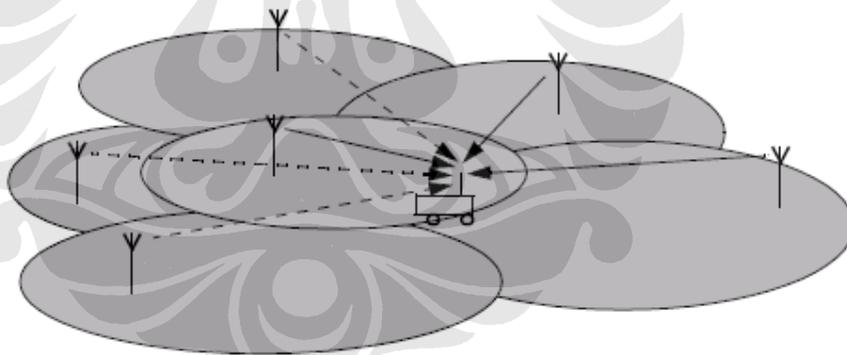
Gambar 2.9 Perbandingan *code rate*[2]

BAB III

PERANCANGAN SFN

3.1 KARAKTERISTIK DASAR SFN

Kemampuan dari COFDM untuk mengatasi interferensi *multipath*, memungkinkan teknologi DVB-T untuk mendistribusikan program ke seluruh *transmitter* dalam suatu jaringan menggunakan frekuensi yang sama. Dari sini lahirlah konsep *Single Frequency Network* (SFN), dimana seluruh *transmitter* dalam sebuah jaringan beroperasi pada kanal frekuensi yang sama, dimodulasi secara sinkron dengan sinyal data yang sama, serta ditransmisikan pada waktu yang sama. Pada SFN, sinyal yang diterima di *receiver* merupakan superposisi dari seluruh sinyal yang datang dari semua *transmitter* di jaringan yang mendistribusikan program yang dibutuhkan. Penggambaran SFN ditunjukkan Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Contoh Penggambaran SFN[8]

Prinsip kerja SFN ini sangat bergantung pada sinkronisasi yang tepat dari *transmitter-transmitter* yang ada di jaringan. Sinkronisasi dilakukan dengan mendistribusikan sumber frekuensi yang stabil dan pulsa referensi *timing* ke stasiun-stasiun utama. Hal yang juga penting adalah semua transmisi harus mempunyai bit yang identik terhadap sinyal data yang sebenarnya. Karakteristik jaringan SFN diatur sedemikian rupa untuk memastikan semua sinyal yang tiba di *receiver* secara simultan akan saling merekonstruksi tanpa adanya interferensi.

Pengaturan ini dapat dilakukan dengan memilih mode sistem (2k atau 8k) secara cermat dan memvariasikan durasi *guard interval* yang tepat untuk *delay* transmisi yang diharapkan pada jaringan.

3.1.1 Tipe SFN

Tipe-tipe SFN yang berbeda dapat digunakan tergantung dari kebutuhan jaringan serta kondisi regulasi yang ada di suatu daerah. Dilihat dari fungsi serta cakupannya, tipe-tipe SFN mencakup [4]:

- SFN Nasional, dimana terdapat banyak *transmitter* dengan daya tinggi serta jarak antar *transmitter* yang besar. Tipe ini mempunyai cakupan area yang sangat luas seperti satu negara, dan sangat cocok diaplikasikan untuk layanan penyiaran nasional.
- SFN Regional, dimana terdapat beberapa *transmitter* dengan daya tinggi dan jarak antar *transmitter* yang cukup besar. Tipe ini mempunyai cakupan area yang cukup luas, walau tidak seluas SFN Nasional.
- SFN Lokal, dimana *transmitter* dengan daya tinggi sebagai stasiun utama beroperasi pada kanal yang berbeda tetapi mempunyai kumpulan *transmitter* SFN lokal dengan jarak yang dekat dengan stasiun utama.
- *Gap Filler* SFN, dimana *transmitter co-channel* dengan daya rendah menerima sinyal *off-air* dari stasiun utama dan biasanya digunakan untuk mengisi celah yang kosong pada area cakupan.
- SFN Lokal-*Hybrid*, dimana masing-masing stasiun utama dengan daya tinggi beroperasi pada kanal yang berbeda tapi seluruh *transposer* beroperasi pada kanal yang sama. *Tranposer* ini bisa dimodulasikan baik secara sinkron maupun tidak.

3.1.2 Keuntungan dan Kerugian SFN

Keuntungan utama dari implementasi SFN dibandingkan dengan Multi *Frequency Network* yang konvensional mencakup [8]:

- Efisiensi spektrum yang tinggi. Pada sistem penyiaran digital dengan MFN, suatu cakupan jaringan dapat memuat 12 hingga 24 program per kanal. Sedangkan pada kasus SFN, jumlah ini meningkat tiga kali lipat yaitu 36 hingga 72 program per kanal frekuensi.
- Pada SFN, sinyal yang diterima merupakan superposisi dari sinyal-sinyal yang datang dari beberapa *transmitter*. Hal ini menghasilkan probabilitas lokasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *transmitter* tunggal. Fenomena ini biasanya disebut *network gain* atau *diversity gain*.
- Karena adanya *network gain*, SFN dapat beroperasi pada daya yang lebih rendah dan distribusi kuat medan terhadap total area layanan lebih homogen dibanding MFN.
- SFN memungkinkan pengaturan *transmitter gap filler* pada daerah dengan kualitas penerimaan rendah secara mudah tanpa menggunakan frekuensi baru.
- Meningkatkan ketahanan, dimana kegagalan dari satu *transmitter* tidak merusak cakupan untuk keseluruhan jaringan

Walaupun begitu, terdapat juga beberapa kerugian dari SFN, diantaranya [8]:

- Tidak memungkinkan *network splitting* (pemecahan jaringan)
- Membutuhkan sinkronisasi waktu diantara *transmitter-transmitter* pada SFN
- Sinkronisasi frekuensi yang tepat dibutuhkan baik pada *transmitter* maupun *receiver*, karena *error* yang terjadi dapat menghilangkan orthogonalitas pada sinyal yang diterima.

3.2 ASPEK PERANCANGAN

Banyak aspek yang harus dipertimbangkan dalam merancang suatu SFN untuk layanan DVB-T. Aspek perancangan tersebut dilihat dari segi teknologi DVB-T itu sendiri, segi regulasi penyiarannya, serta dari segi jaringannya (SFN). Yang menjadi pertimbangan untuk perancangan dalam skripsi ini mencakup

varian dari DVB-T, kanal frekuensi serta *bandwidth* yang digunakan, mode penerimaan, *coverage probability*, serta referensi jaringan.

3.2.1 Varian DVB-T

Seperti telah dijelaskan pada bab 2, teknologi DVB-T dapat menggunakan teknik modulasi, *code rate*, serta *guard interval* yang berbeda-beda. Penggunaan salah satu teknik modulasi dapat dikombinasikan dengan *code rate* dan *guard interval* yang berbeda-beda, begitu juga sebaliknya. Karena itu, dalam implementasinya DVB-T mempunyai banyak varian tergantung dari kombinasi teknik modulasi, *code rate*, dan *guard interval* yang digunakan. Kode untuk masing-masing varian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Kode Varian DVB-T[2][4]

Tipe Modulasi	Kode Varian	Tipe Code Rate	Kode Varian	Mode Carrier	Tipe Guard Interval (μ s)	Kode Varian
QPSK	A	1/2	1	2k	7	A
		2/3	2		14	B
16-QAM	B	3/4	3		28	C
		5/6	4		56	D
64-QAM	C	7/8	5	8k	28	E
					56	F
		112	G			
					256	H

Dalam memilih tipe modulasi, yang perlu dipertimbangkan adalah *bit rate* dan ketahanan terhadap *noise*. Karena perancangan ini adalah perancangan yang ideal, maka modulasi yang dipilih adalah yang memiliki *bit rate* terbesar. Selain itu, dalam perancangan ideal juga diambil kondisi *worst case*, dengan kata lain dipilih modulasi yang paling rentan terhadap *noise* sehingga ketika dianalisa *coveragenya*, bisa didapatkan potensi interferensi yang paling maksimal. Tipe modulasi yang memiliki *bit rate* terbesar serta yang paling rentan terhadap *noise* adalah 64-QAM (kode varian C).

Code rate yang dianjurkan dan telah banyak diimplementasikan di negara lain adalah *code rate* 2/3 (kode varian 2). Pertimbangannya adalah proteksi dan *bit rate*, dimana semakin besar bit proteksinya semakin bagus proteksinya, namun

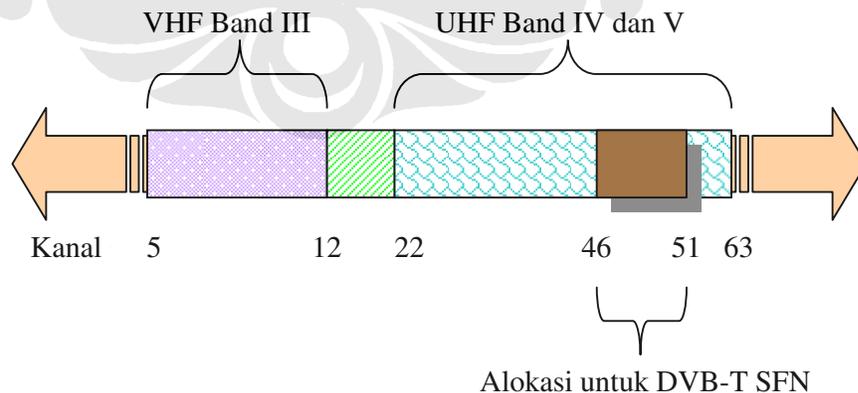
semakin menurunkan *bit rate*. Karena itu, dipilih *code rate* dengan bit proteksi yang tidak terlalu besar ($2/3$ dari keseluruhan bit per simbol), sehingga menghasilkan proteksi yang cukup baik tapi tidak terlalu menurunkan *bit rate*.

Aspek varian yang terakhir adalah *guard interval*. Seleksi pertama adalah memilih mode *carrier* 8k, karena selain memiliki *guard interval* yang lebih panjang juga cocok digunakan pada penerimaan *fixed antenna*. Dari 4 varian *guard interval* pada mode 8k, dipilih *guard interval* sebesar 112 μ s karena sesuai dengan referensi jaringan yang digunakan pada perancangan SFN regional ini.

Dari ketiga pertimbangan di atas, maka varian teknologi DVB-T yang digunakan dalam perancangan ini adalah varian dengan tipe modulasi 64-QAM, *code rate* $2/3$, mode *carrier* 8k, serta *guard interval* 112 μ s, atau dengan kata lain DVB-T varian C2G.

3.2.2 Bandwidth dan Kanal Frekuensi

Pemilihan *bandwidth* didasarkan pada *bandwidth* yang digunakan pada penyiaran analog yang telah eksis yaitu sebesar 8 MHz. Berdasarkan pembagian yang sudah ditetapkan oleh Ditjen Postel, penyiaran digital akan menempati pita frekuensi VHF dan UHF. Untuk pita VHF (174 – 230 MHz) akan dialokasikan untuk layanan *Digital Audio Broadcasting*, sedangkan DVB akan menempati pita UHF (470 – 806 MHz)[9]. Alokasi kanal DVB-T dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alokasi band UHF untuk DVB-T dengan SFN

Dari 42 kanal frekuensi yang ada di UHF, kanal 46-51 (674 – 714 MHz) dialokasikan untuk DVB-T dengan SFN[9]. Kanal yang digunakan pada perancangan ini adalah kanal 51 (714 MHz).

3.2.3 Mode Penerimaan dan *Coverage Probability*

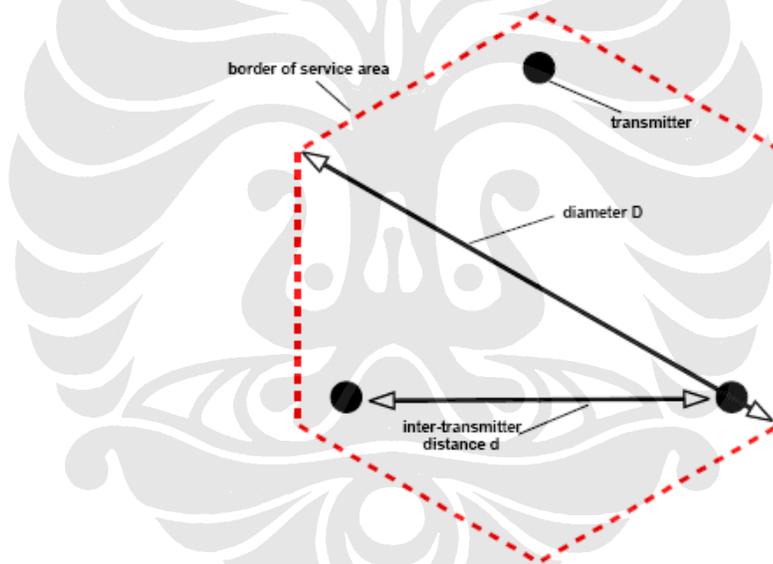
Dalam implementasi DVB-T untuk layanan *broadcasting*, analisa *coverage area* dapat dilakukan untuk beberapa mode penerimaan antena yang berbeda, mencakup *fixed*, *portable indoor*, *portable outdoor*, dan *mobile*. Mode penerimaan yang digunakan pada perancangan ini adalah mode penerimaan *fixed antenna*.

Mode penerimaan *fixed antenna* dapat didefinisikan sebagai mode penerimaan dimana representasi antena yang digunakan pada daerah penerimaan diasumsikan sebagai antena *directional* yang dipasang pada *roof level*. Ketika perhitungan kuat medan ekuivalen dilakukan, tinggi antena penerima pada mode ini diasumsikan setinggi 10 m[7]. Sedangkan kanal transmisi yang berlaku pada mode ini adalah tipe Ricean atau Rayleigh.

Sistem penyiaran digital mempunyai sifat degradasi yang drastis ketika melewati dari kondisi penerimaan dengan kualitas gambar dan suara yang sempurna ke kondisi tanpa ada penerimaan sama sekali. Karena itu, untuk memastikan didapatnya *coverage* yang diinginkan perlu adanya jaminan kondisi penerimaan yang baik dengan probabilitas yang tinggi. Variasi statistik natural dari kuat medan pada suatu lokasi digambarkan oleh kuantitas probabilitas *coverage* untuk ukuran kualitas *coverage*. Suatu daerah dapat dikatakan sudah terlingkupi oleh *coverage* dari suatu pemancar jika kuat medan dari pemancar pada daerah tersebut lebih besar atau sama dengan kuat medan minimum. Pada umumnya, untuk mendapatkan *coverage* yang sesuai, dibutuhkan *coverage probability* 95% untuk mode penerimaan *fixed* dan *portable*, serta 99% untuk penerimaan *mobile*. Kadang-kadang nilai probabilitas 70% digunakan untuk target *coverage* dengan kualitas tidak terlalu tinggi.

3.2.4 Referensi Jaringan

Pemilihan referensi jaringan didasarkan pada pertimbangan tipe SFN yang digunakan. Perancangan ini menggunakan tipe SFN regional yang mencakup wilayah Jabodetabek. Dengan pertimbangan luas wilayah, relief permukaan bumi yang beragam, serta jenis daerah di dalam wilayah layanan yang berbeda-beda, maka tipe jaringan yang tepat untuk digunakan pada perancangan ini adalah tipe jaringan SFN untuk *small service area* dengan peletakan *transmitter* yang bersifat *dense*. Tipe jaringan ini terdiri dari enam bentuk heksagon, dimana masing-masing heksagon mempunyai 3 *transmitter* yang terletak pada 3 tepi heksagon membentuk suatu segitiga. Heksagon individualnya dapat digambarkan seperti Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Referensi jaringan SFN regional *small service area*[10]

Spesifikasi parameter dari tipe jaringan ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter referensi jaringan SFN regional *small service area*[10]

Reference planning configuration	RPC 1	RPC 2	RPC 3
Type of network	Open	Open	Open
Geometry of service area	Hexagon	Hexagon	Hexagon
Number of transmitters	3	3	3
Geometry of transmitter lattice	Triangle	Triangle	Triangle
Inter-transmitter distance d(km)	40	25	25
Service area diameter D(km)	53	33	33
Tx antenna height(m)	150	150	150
Tx antenna pattern	non-directional	non-directional	non-directional

Untuk menentukan *power budget* dari tipe jaringan ini, digunakan ERP dari frekuensi referensi 650 MHz sebesar 31.8 dBW dengan persamaan (3.1)[11]:

$$(ERP)_D = (ERP)_R + 20 \log \frac{f_D}{f_R} \quad (3.1)$$

Keterangan : $(ERP)_D$ = nilai ERP yang diinginkan (dBW)

$(ERP)_R$ = nilai ERP referensi (dBW)

f_D = nilai frekuensi yang diinginkan (MHz)

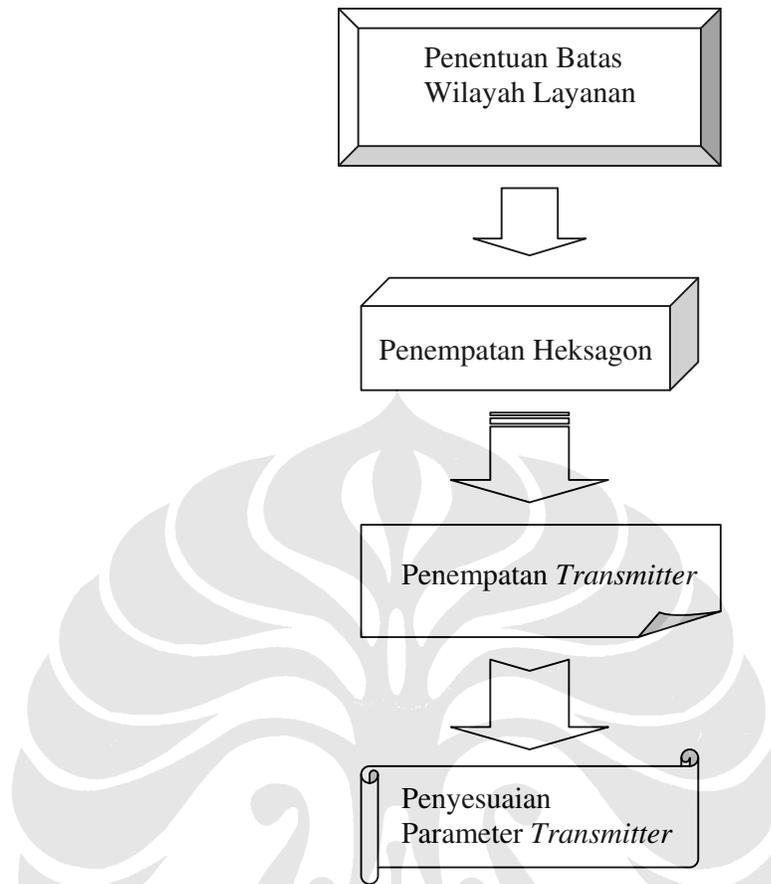
f_R = nilai frekuensi referensi (MHz)

karena yang digunakan pada perancangan ini adalah kanal frekuensi 51 (714 MHz), maka nilai ERP nya dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (ERP)_{714} &= (ERP)_{650} + 20 \log \frac{714}{650} \\ &= 31.8 + 20 \log (1.0985) \\ &= 31.8 + 0.82 \\ &= 32.62 \text{ dBW} \end{aligned}$$

3.3 PENEMPATAN TRANSMITTER

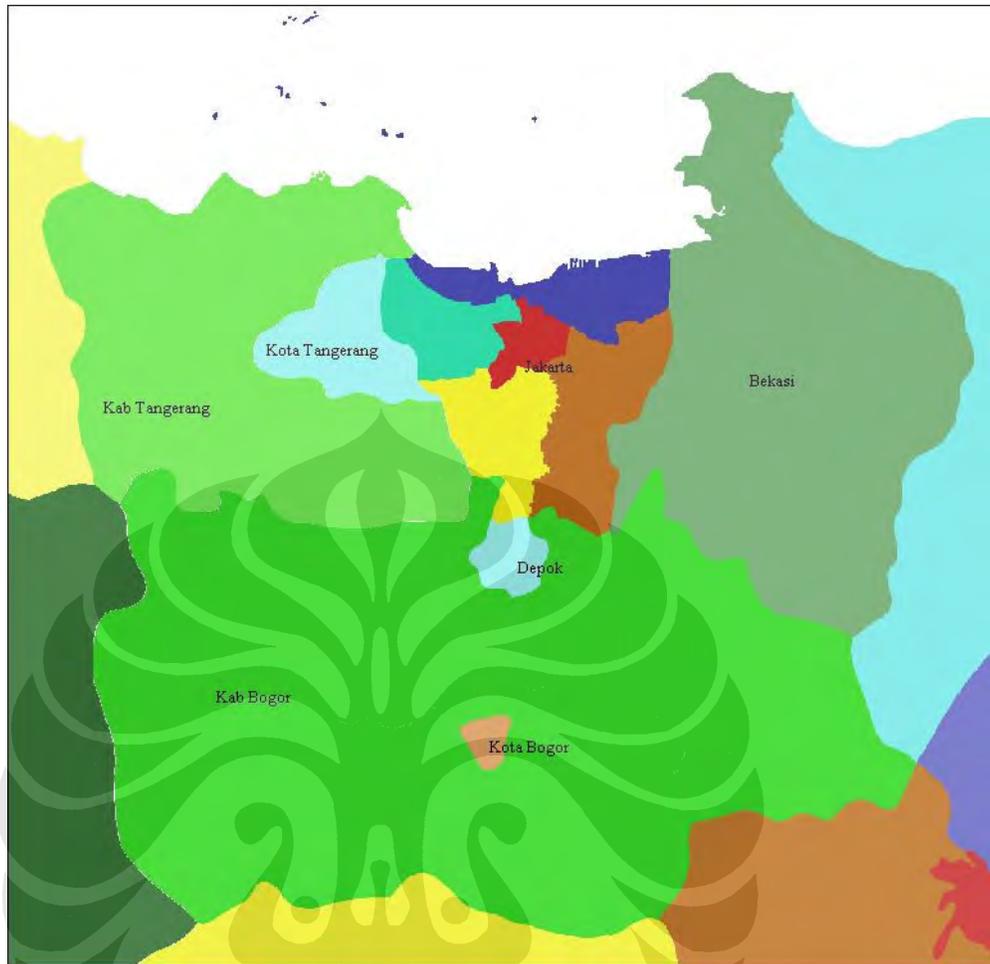
Pada sub bab ini akan dibahas tentang langkah-langkah penempatan *transmitter* pada wilayah Jabodetabek dengan menggunakan *software* Chirplus_BC. Langkah-langkahnya dapat dibuat dalam *flowchart* seperti Gambar 3.4 sebagai berikut :



Gambar 3.4 Diagram alur penempatan Tx pada software Chirplus_BC

1. Penentuan batas wilayah layanan Jabodetabek

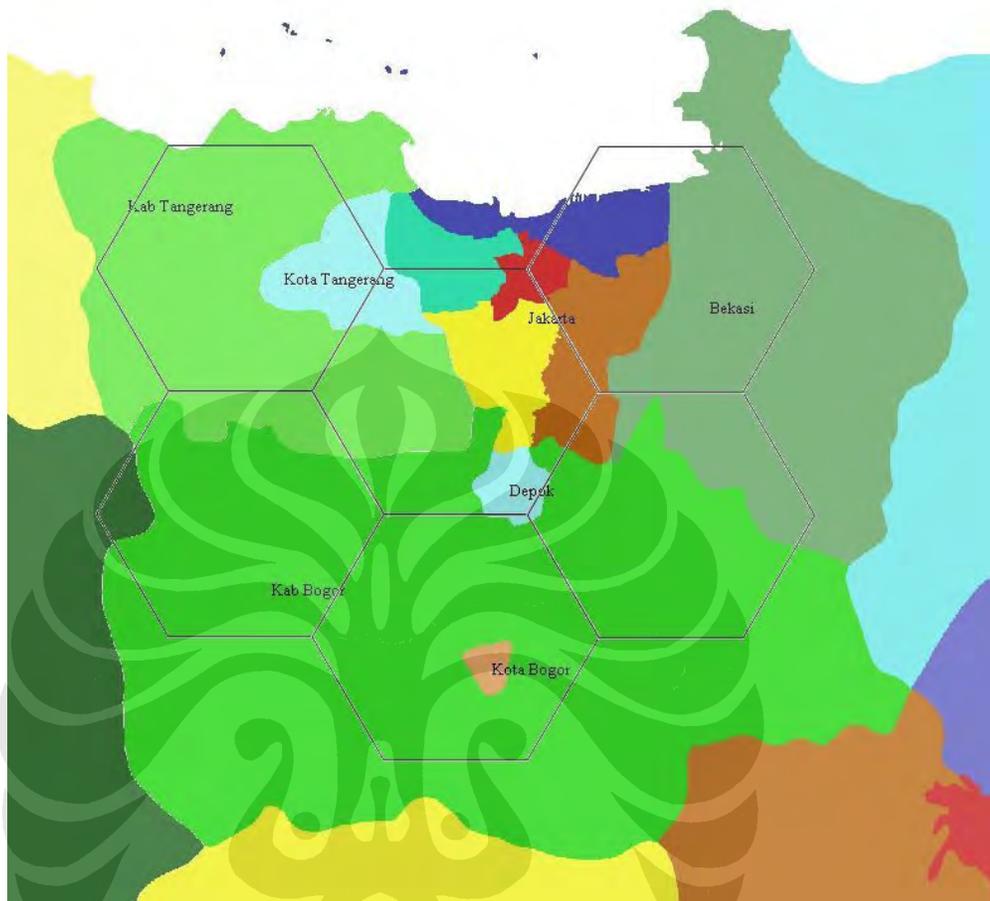
Untuk menentukan batas layanan wilayah Jabodetabek, pada *software* Chirplus_BC dipilih peta tipe District-100 m untuk di-load dari *software* MapInfo seperti terlihat pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5 Batas wilayah layanan Jabodetabek

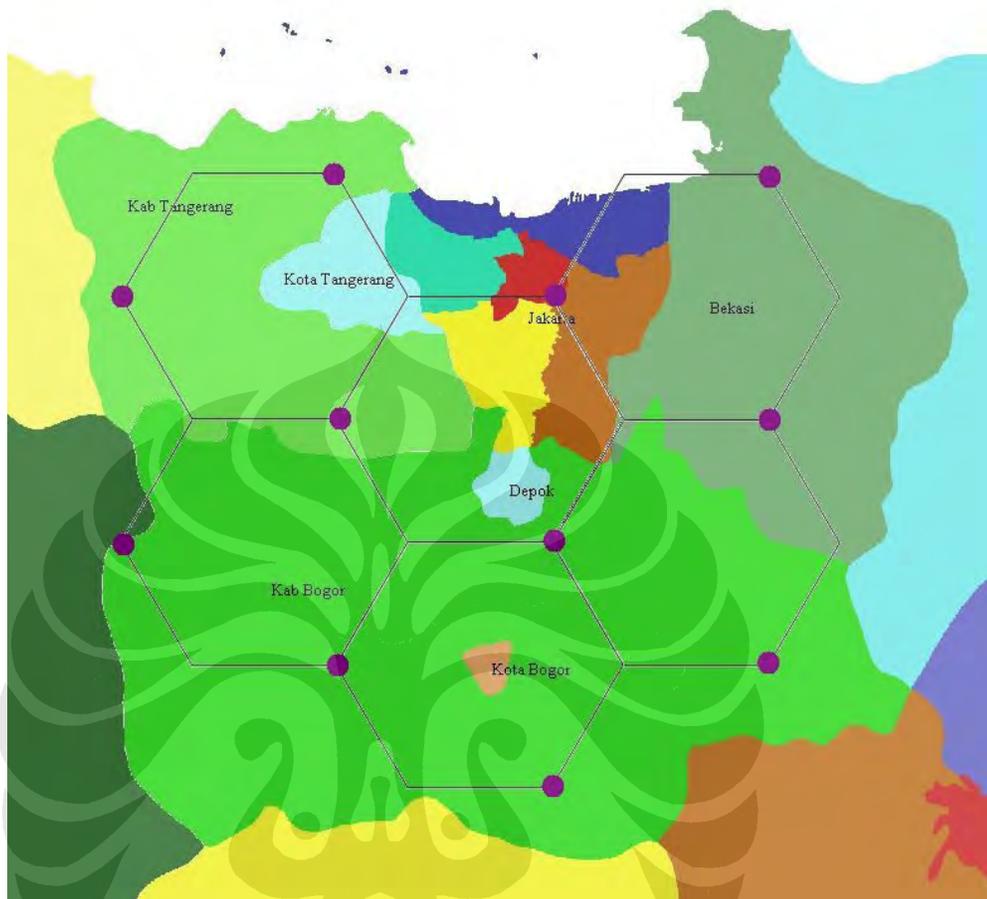
2. Penempatan 6 heksagon dari referensi jaringan

Langkah selanjutnya adalah menempatkan keenam heksagon sesuai referensi jaringan pada peta di Chirplus_BC tersebut, ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Penempatan heksagon pada wilayah Jabodetabek

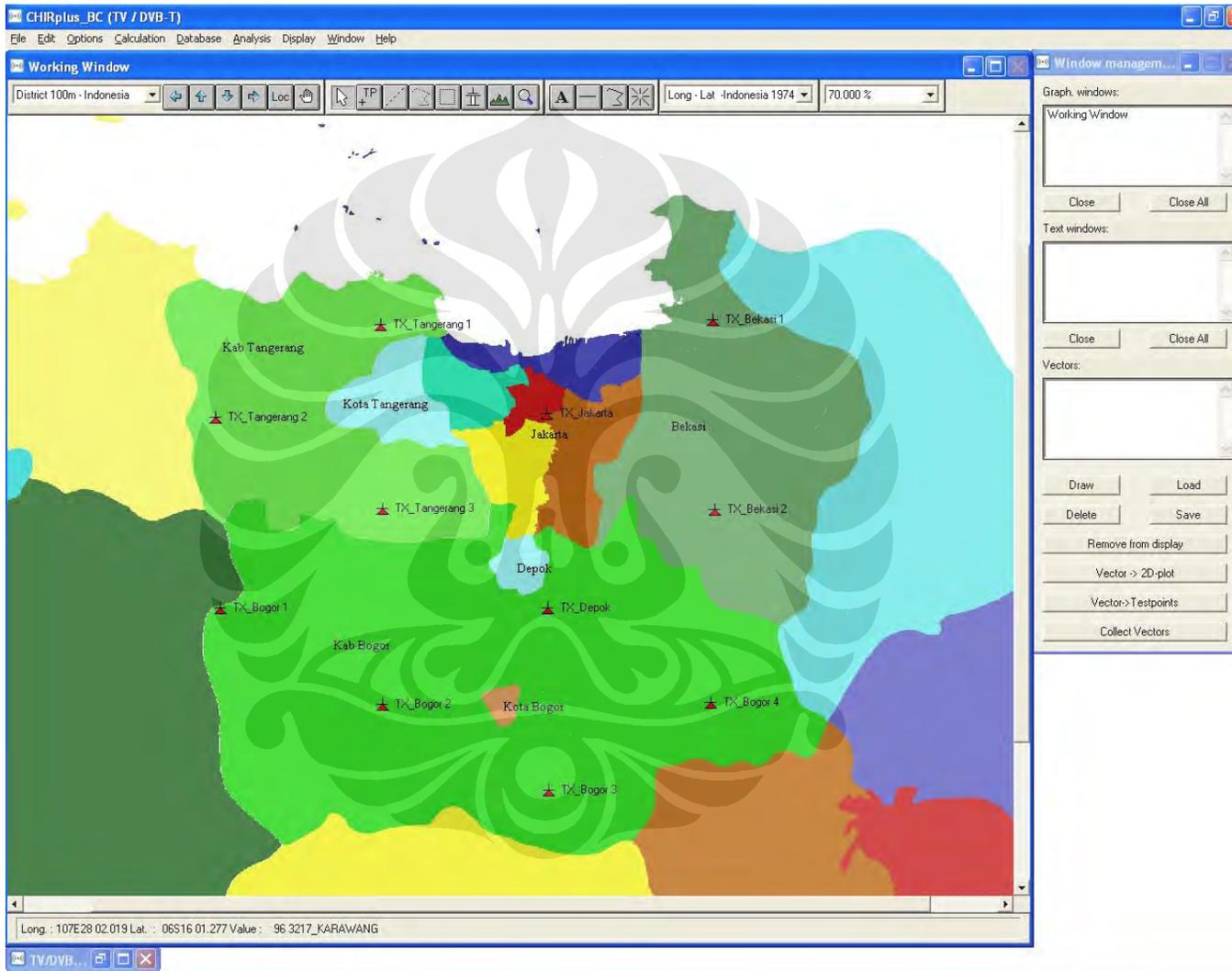
Seperti terlihat pada gambar di atas, keenam heksagon ditempatkan sedemikian rupa sehingga diperkirakan bisa mewakili keseluruhan daerah layanan. Setelah didapatkan penempatan heksagon yang sesuai, ujung-ujung heksagon tempat *transmitter* akan diletakkan diberi tanda seperti Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7 Pemberian tanda pada ujung-ujung heksagon untuk Tx

3. Penempatan *transmitter* pada software Chirplus_BC

Dengan menggunakan *transmitter-button* pada Chirplus_BC, penulis meletakkan *transmitter* sesuai dengan titik-titik yang telah diberi tanda seperti Gambar 3.8 berikut :



Gambar 3.8 Penempatan Tx pada software Chirplus_BC

4. Penyesuaian parameter *transmitter*

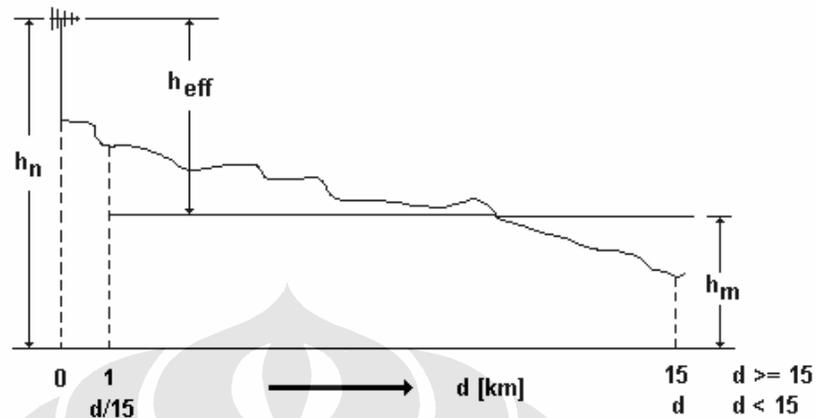
Setelah menempatkan masing-masing *transmitter* pada titik-titik yang telah ditentukan, selanjutnya parameter-parameter *transmitter* tersebut disesuaikan dengan aspek perancangan yang sudah dibahas sebelumnya. Parameter yang disesuaikan mencakup tinggi *transmitter*, tinggi efektif *transmitter*, frekuensi, varian DVB-T, ERP, pola radiasi dan polarisasi, serta SFN-Id. Fungsi dari SFN-Id untuk menandakan *transmitter-transmitter* mana saja yang berada dalam jaringan SFN yang sama. Contoh *window* pengisian parameter *transmitter* dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut:

Tx_Jakarta 674.000000 (46)			
Site	Page 1 2 3 4 5 6		
Name	Tx_Jakarta	Country	INS
Site Name		Province	
Long./East	106E51 00.770	Ant. hght [m]	150.0
Lat./North	06S13 48.133	Height asl [m]	20.0
		Permittivity	30.00
		Conduct. [mS/m]	10.00
		Heffmax [m]	166.0
		Heff	
Electr. Params.			
Freq. [MHz]	674.000000	Channel	46
Offset	0	Off.Freq. [Hz]	0.0
ERP [dBW]	32.120	System	C2G
ERP H [dBW]	32.120	Polarisation	H
ERP V [dBW]		AZM	ND
		Desig. of Emiss.	
		Offset Type	normal
		SFN Id	1
		Time Del. [us]	0.00
		Use File	Pattern
Info			
Date	15/03/2008	User	sysadmi
Remarks		Service	DVB-T
		DS	
1 of 1			
Allow Edit			
Close			
Save			

Gambar 3.9 *Window* pengisian parameter Tx

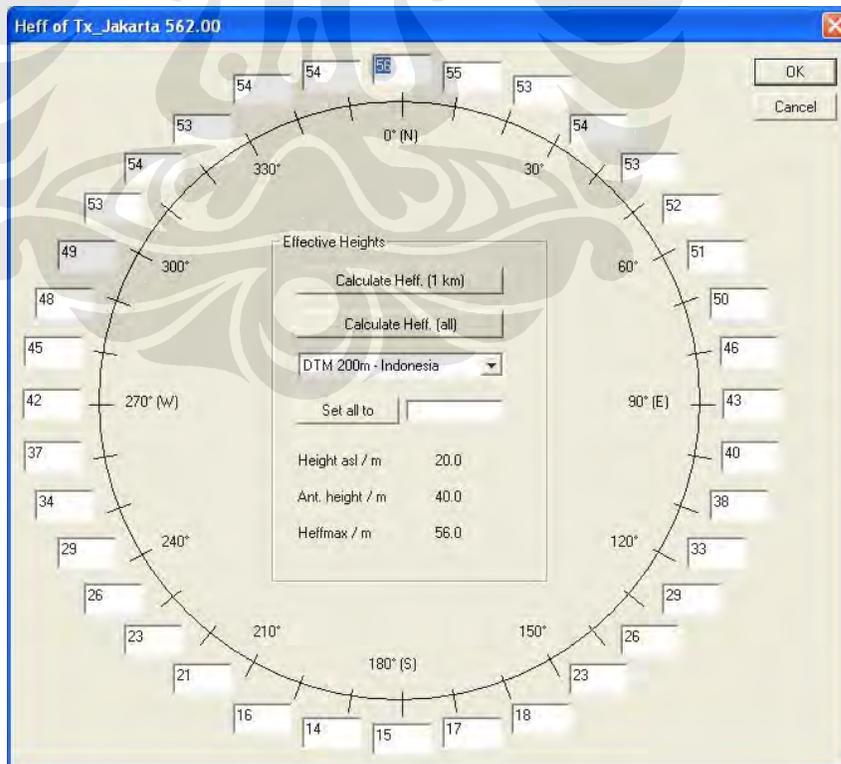
Tinggi antenna sebesar 150 m yang dimasukkan merupakan tinggi aktual antenna dari tanah tempatnya berdiri. Pada *software* Chirplus_BC ini kondisi geografis dari wilayah layanan juga diperhitungkan berdasarkan *database* dari ITU. Karena itu dalam melakukan perhitungan untuk melihat *coverage area*, tinggi *transmitter* yang digunakan adalah tinggi efektif. Berdasarkan ITU-R[12], tinggi efektif suatu *transmitter* didefinisikan sebagai tinggi di atas level *terrain*

rata-rata pada jarak 1- 15 km dari *starting point* ke arah *ending point*. Gambar 3.10 memperlihatkan penggambaran dari tinggi efektif.



Gambar 3.10 Effective antenna height[12]

Pada *software* Chirplus_BC, penghitungan tinggi efektif dapat dilakukan secara otomatis karena sudah memiliki *database* ITU. *Window* untuk perhitungan tinggi efektif dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut:



Gambar 3.11 *Window* perhitungan tinggi efektif

Setelah dilakukan penyesuaian parameter dan perhitungan tinggi efektif, maka didapatkan data parameter awal Tx pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Parameter Tx awal

Nama Tx	Kanal	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	Tinggi Antena (m)	ERP (dBW)	<i>Time Delay</i> (μ s)
TX_Tangerang 1	51	106E38 04	06S04 55	150	32,62	0
TX_Tangerang 2	51	106E24 58	06S12 15	150	32,62	0
TX_Tangerang 3	51	106E38 13	06S19 25	150	32,62	0
TX_Jakarta	51	106E51 14	06S11 56	150	32,62	0
TX_Depok	51	106E51 18	06S27 16	150	32,62	0
TX_Bekasi 1	51	107E04 24	06S04 32	150	32,62	0
TX_Bekasi 2	51	107E04 33	06S19 29	150	32,62	0
TX_Bogor 3	51	106E51 23	06S41 40	150	32,62	0
TX_Bogor 4	51	107E04 14	06S34 44	150	32,62	0
TX_Bogor 2	51	106E38 13	06S34 54	150	32,62	0
TX_Bogor 1	51	106E25 21	06S27 16	150	32,62	0

BAB IV

ANALISA SINKRONISASI SFN

4.1 PERHITUNGAN *COVERAGE*

Setelah meletakkan pemancar-pemancar pada tempat yang telah ditentukan dalam jaringan SFN, serta penyesuaian parameternya, selanjutnya dilakukan perhitungan *coverage* di *software* Chirplus_BC untuk melihat apakah *coverage* SFN telah memenuhi seluruh daerah layanan, juga untuk melihat potensi interferensi yang terjadi.

Langkah pertama adalah menentukan besarnya kuat medan ekuivalen minimum yang dibutuhkan untuk penerimaan yang baik dalam wilayah layanan. Perhitungan kuat medan ekuivalen tersebut dilakukan secara matematis menggunakan persamaan-persamaan (4.1) hingga (4.8) [7][10] berikut :

$$P_n = F + 10 \log (k.T_o.B) \quad (4.1)$$

$$P_{s \min} = C/N + P_n \quad (4.2)$$

$$G_D = G_R + 10 \log \left(\frac{f_D}{f_R} \right) \quad (4.3)$$

$$A_a = G_D + 10 \log \left(1.64 \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad (4.4)$$

$$\Phi_{\min} = P_{s \min} - A_a + L_f \quad (4.5)$$

$$E_{\min} = \Phi_{\min} + 120 + 10 \log (120\pi) \quad (4.6)$$

$$C_1 = \mu.\sigma \quad (4.7)$$

$$E_{\text{med}} = E_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_1 \quad (4.8)$$

Keterangan : P_n = Daya input *noise* penerima (dBW)
 F = Figur *noise* penerima (dB)
 K = Konstanta Boltzmann (Ws/K)
 T_o = Suhu absolut (K)
 B = *Bandwidth noise* penerima (Hz)

- $P_{s \min}$ = Daya input minimum penerima (dBW)
 C/N = *Required* RF signal to noise ratio pada input penerima (dB)
 G_D = *Gain* antena untuk frekuensi yang diinginkan (dB)
 G_R = *Gain* antena dari frekuensi referensi (dB)
 f_D = Frekuensi yang diinginkan (MHz)
 f_R = Frekuensi referensi (MHz)
 A_a = *Effective antenna aperture* (dBm²)
 λ = Panjang gelombang sinyal (m)
 Φ_{\min} = *Power flux density* minimum pada penerima (dBW/m²)
 L_f = *Feeder loss* (dB)
 E_{\min} = Kuat medan ekuivalen minimum (dB μ V/m)
 C_1 = Faktor koreksi lokasi (dB)
 μ = Faktor distribusi (dB)
 σ = Standar deviasi (dB)
 P_{mnm} = Batasan man made *noise* (dB)
 E_{med} = Kuat medan ekuivalen median minimum, nilai yang digunakan untuk perancangan (dB μ V/m)

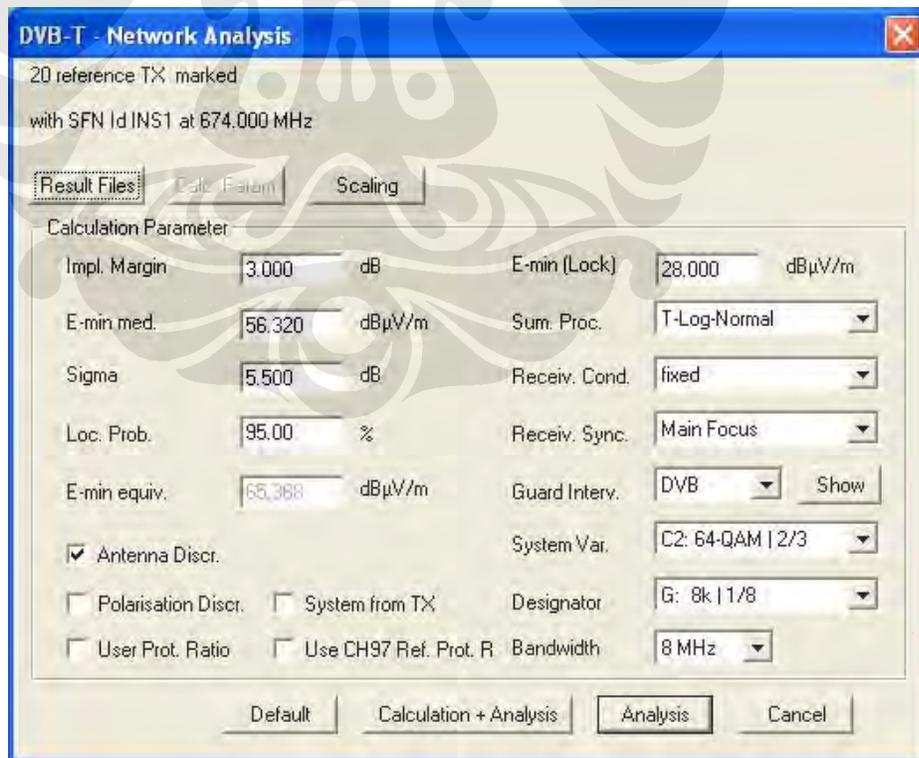
Sebelum dilakukan perhitungan, terdapat variabel-variabel yang memang berupa konstanta tetap atau diasumsikan nilainya terlebih dahulu sebagai berikut :

- $K = 1,38 \times 10^{-23}$ Ws/K
- $T_o = 290$ K
- $B = 7,61 \times 10^6$ Hz
- $C/N = 20,1$ dB untuk varian C2 pada penerimaan *fixed*
- $G_R = 10$ dB
- $f_R = 500$ MHz
- $L_f = 3$ dB untuk 95% penerimaan *fixed*
- $\mu = 1,64$ dB untuk probabilitas *coverage* 95%
- $\sigma = 5,5$ dB untuk penerimaan *outdoor*
- $P_{\text{mnm}} = 0$ dB untuk penerimaan *fixed* band UHF

Dengan menggunakan persamaan (4.1) hingga (4.8), didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

- $P_n = -130,2 \text{ dBW}$
- $P_{s \text{ min}} = -110,1 \text{ dBW}$
- $G_D = 11,55 \text{ dB}$
- $A_a = -4,825 \text{ dBm}^2$
- $\Phi_{\text{min}} = -102,275 \text{ dBW/m}^2$
- $E_{\text{min}} = 43,525 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
- $C_1 = 9,02 \text{ dB}$
- $E_{\text{med}} = 52,545 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

Nilai kuat medan yang telah didapatkan ini nantinya akan dimasukkan sebagai nilai kuat medan minimum pada *software* Chirplus_BC untuk perhitungan dan analisa *coverage*. Untuk melakukan perhitungan dengan *coverage* dengan *software* ini, terlebih dahulu penulis mengaktifkan seluruh pemancar yang ada di dalam jaringan SFN. Selanjutnya, memasukkan parameter perhitungan *coverage* ke *window Network Analysis* seperti ditunjukkan Gambar 4.1 berikut.



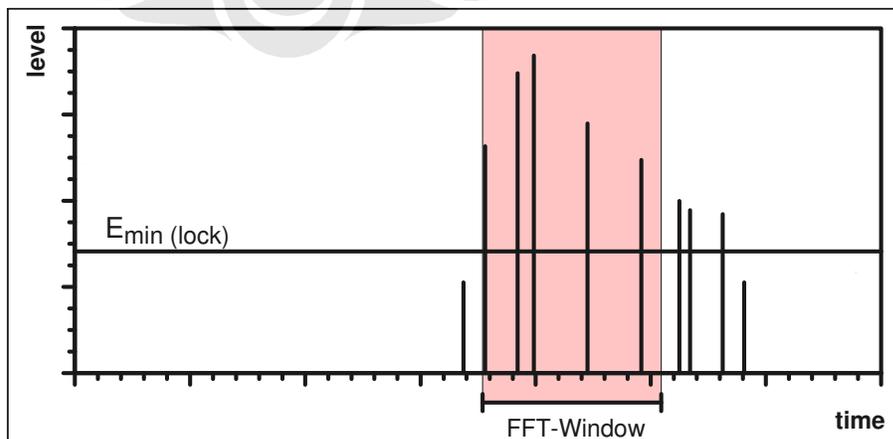
Gambar 4.1 Network analysis window

Parameter-parameter *location probability*, *antenna discrimination*, *receiver condition*, *guard interval*, *system variant dan designator*, serta *bandwidth* semuanya disesuaikan dengan aspek perancangan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Untuk *implementation margin*, nilai 3 dB merupakan *default* [10] untuk perancangan DVB-T sebagai *additional C/I* untuk batas toleransi adanya *noise* pada penerima[2].

Nilai kuat medan median dimasukkan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Dengan nilai standar deviasi (sigma) 5.5 dB yang merupakan *default* [10] untuk penerimaan *fixed*, maka nilai kuat medan ekuivalen otomatis akan menyesuaikan. Sedangkan untuk kuat medan minimum untuk mekanisme *locking* (*E-min lock*), digunakan nilai 28 dB μ V/m yang sudah menjadi *default* [2] untuk seluruh metode mekanisme *locking receiver*. Mekanisme *locking* menetapkan bagaimana penerima DVB-T memilih *transmitter* tertentu sebagai *transmitter* referensi atau *locking*. Mekanisme *locking*, bersama dengan karakteristik *guard interval*, akan menetapkan *transmitter* mana saja yang sinyalnya sampai di penerima dalam *guard interval* dan berkontribusi untuk *network gain* dari SFN. Terdapat tiga metode yang dapat dipilih untuk mekanisme *locking receiver* ini, yaitu [13]:

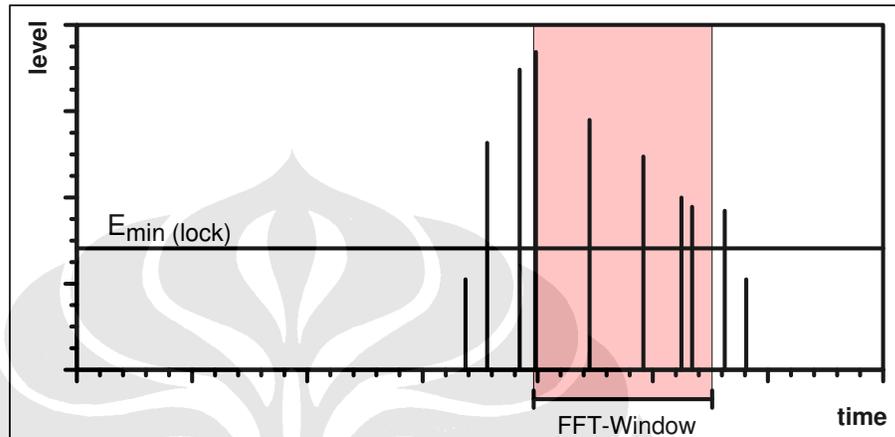
➤ Mekanisme *locking minimum delay*

Pada mekanisme ini digunakan kriteria *time delay* terpendek bersama dengan kuat medan minimum untuk *locking* dalam memilih referensi *transmitter*. Gambar 4.2 berikut menunjukkan mekanisme *locking minimum delay*.



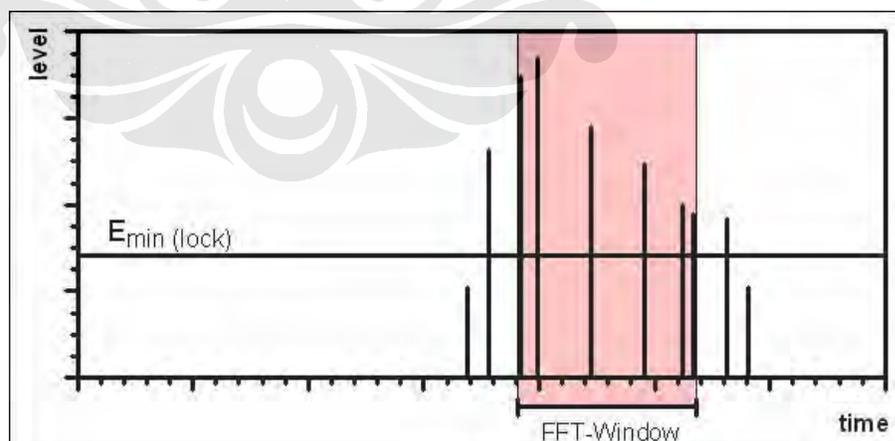
Gambar 4.2 Mekanisme *locking minimum delay*[13]

- Mekanisme *locking maximum level*
Transmitter dengan sinyal level yang tertinggi digunakan sebagai referensi untuk perhitungan *time delay* pada mekanisme *locking* ini, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Mekanisme *locking maximum level*[13]

- Mekanisme *locking main focus*
 Untuk metode mekanisme *locking* ini, beberapa *transmitter* dengan total kuat medan tertinggi digunakan sebagai referensi. Selain itu, pada metode ini masing-masing *transmitter* dapat diberikan *time delay* referensi. Penggambaran mekanisme ini terlihat pada gambar 4.4.

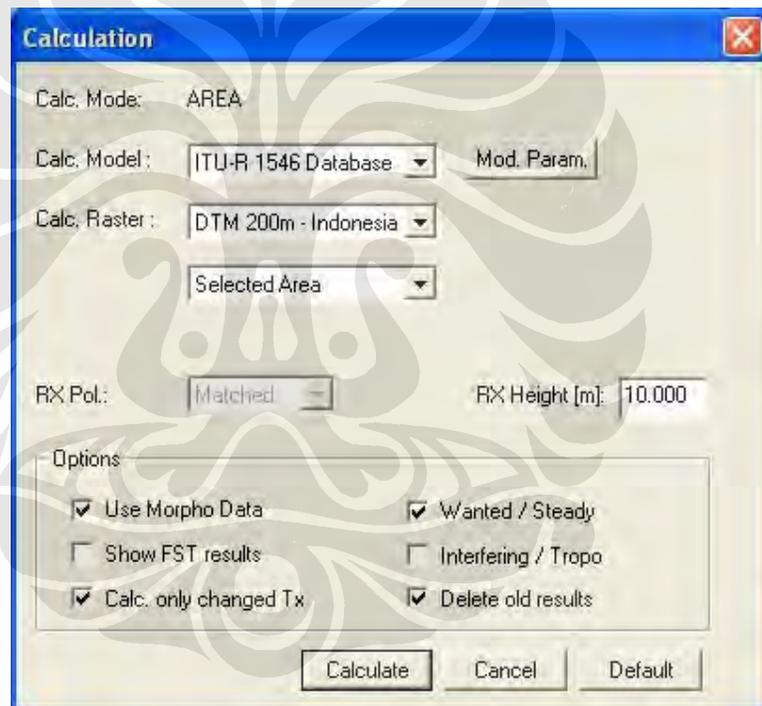


Gambar 4.4 Mekanisme *locking main focus*[13]

Mekanisme *locking* yang dipilih adalah *main focus*, karena selain dianjurkan dalam perancangan, juga karena karakteristik metode ini yang menggunakan *time delay* referensi sesuai dengan perancangan ini.

Untuk *summation procedure*, yang merupakan metode penerima dalam mengkombinasikan sinyal yang berbeda-beda, digunakan T-Log Normal. Metode *summation* dengan pendekatan Log Normal merupakan rekomendasi ITU-R Rep.945, dan T-Log Normal merupakan pengembangan terbaru dari Log Normal yang terdapat pada EBU BPN 005.

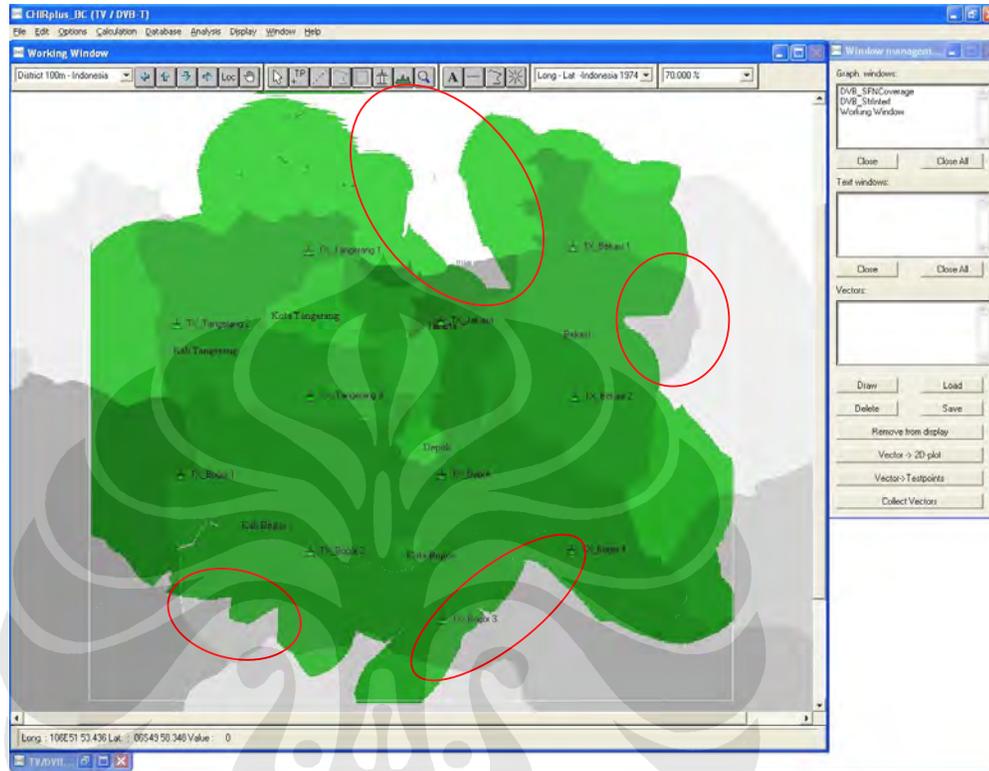
Setelah memastikan semua parameter yang dimasukkan sesuai, maka selanjutnya adalah menyesuaikan parameter dari *receiver* pada *window calculation* seperti terlihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Calculation window

Tinggi penerima yang dimasukkan pada *window* di atas disesuaikan dengan mode penerimaan *fixed antenna* yang sudah dijelaskan pada aspek perancangan. Untuk sisa parameternya sudah merupakan *default* dari Ditjen Postel. Proses perhitungan oleh *software* ini menghasilkan dua buah gambar yang

sebelumnya sudah ditentukan, yaitu SFN *coverage* dan SFN *strongest interferer*. Gambar 4.6 berikut menunjukkan hasil perhitungan untuk SFN *coverage*.

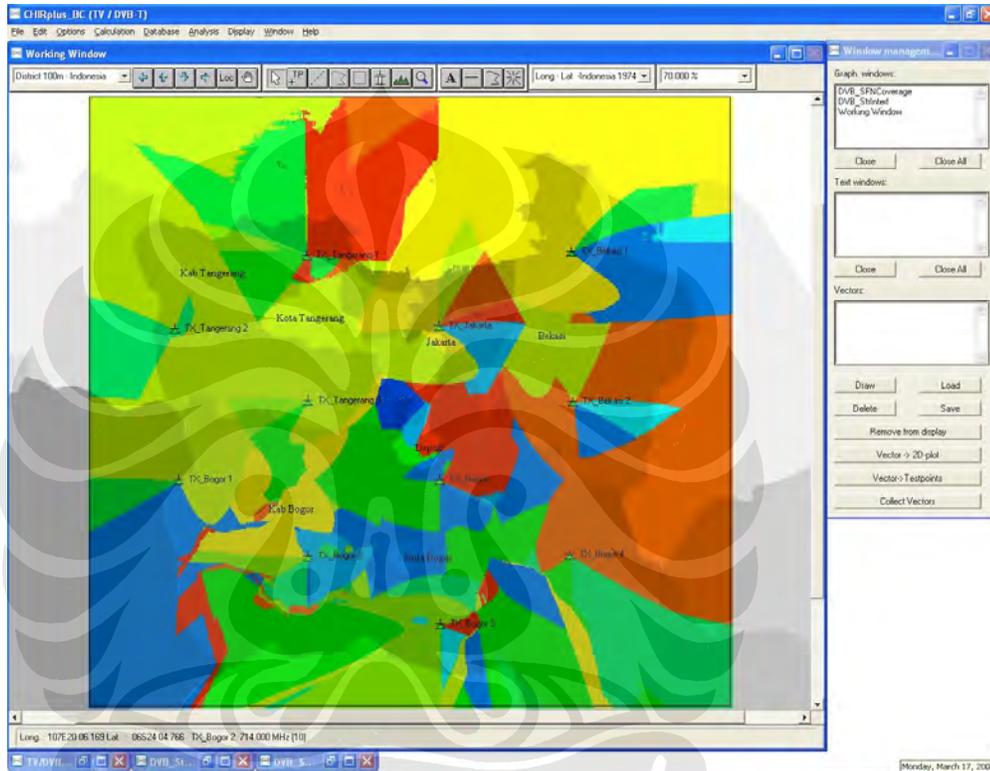


Gambar 4.6 Coverage awal SFN

Pada Gambar 4.6 di atas, terlihat bahwa wilayah yang tertutupi oleh warna hijau adalah wilayah yang telah terlingkupi oleh *coverage* SFN. Sedangkan yang terlihat pada bagian yang dilingkari merah, terdapat beberapa daerah pada wilayah layanan Jabodetabek yang belum terlingkupi oleh layanan DVB-T. Penyebabnya adalah *self-interference* yang terjadi pada jaringan SFN akibat sinyal-sinyal *multipath* yang tiba di penerima di luar *guard interval* sistem DVB-T yang sebelumnya sudah ditentukan. Karena itu, untuk mendapatkan *coverage* optimal yang melingkupi seluruh daerah layanan, perlu dilakukan sinkronisasi antara *transmitter* yang berada di dalam jaringan. Sinkronisasi ini mencakup penyesuaian parameter *time delay* dan ERP, serta penambahan *repeater* sebagai alternatif.

4.2 SINKRONISASI PARAMETER *TRANSMITTER*

Sebelum melakukan variasi parameter *transmitter* untuk sinkronisasi, terlebih dahulu dianalisis gambar hasil perhitungan kedua, yaitu SFN *strongest interferer* seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.7 berikut.



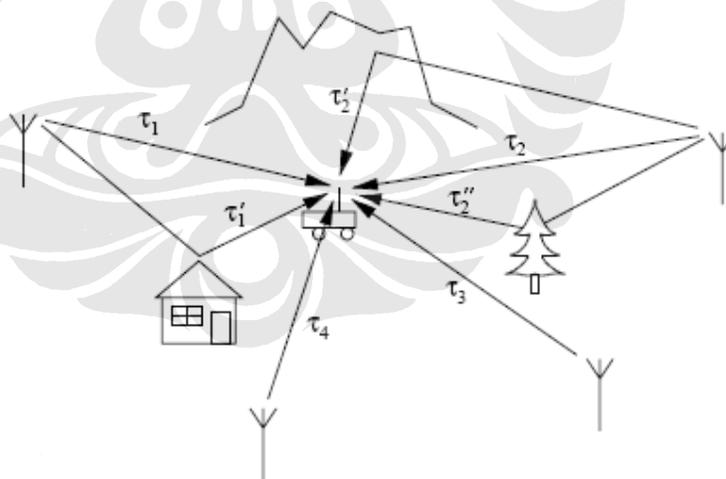
Gambar 4.7 SFN strongest interferer

Masing-masing warna yang berbeda pada gambar di atas mewakili satu *transmitter*. Daerah yang tertutup oleh warna dari suatu *transmitter* menandakan bahwa pada daerah itu pengaruh *self-interference* terbesar disebabkan oleh *transmitter* yang bersangkutan. Sebagai contoh, bagian yang tertutupi oleh warna biru menandakan bahwa pada daerah itu, pengaruh interferensi terbesar disebabkan oleh *transmitter* Tangerang 1. Dengan menganalisis gambar ini, dapat diperkirakan pemancar mana saja yang mempunyai potensi besar untuk menghasilkan *self-interference* pada daerah yang belum terlingkupi *coverage* SFN, dan perlu untuk divariasikan parameternya. Dari hasil analisa gambar,

pemancar-pemancar yang diperkirakan memberikan pengaruh kuat untuk *self-interference* adalah Tx Bekasi 1, Bekasi 2, Bogor 1, Bogor 2, Jakarta, dan Tangerang 1. Tapi hal ini tidak menutup kemungkinan *transmitter* lainnya untuk divariasikan parameternya karena hasil yang ingin didapatkan adalah *coverage* yang paling optimal.

4.2.1 Variasi *Time Delay*

Pada set awal perancangan, semua pemancar tidak diberikan *time delay* tertentu. Pemberian *time delay* pada suatu pemancar hanya dilakukan ketika terjadi *self-interference* pada SFN walaupun jarak antar pemancar tidak melebihi jarak maksimal *guard interval* dari varian DVB-T yang sudah ditentukan. *Self-interference* pada kasus ini biasanya disebabkan karena relief permukaan bumi yang mengakibatkan beberapa sinyal *multipath* mempunyai *arrival time* yang lebih lama daripada umumnya sehingga akhirnya tiba di luar *guard interval* dan menyebabkan interferensi. Penggambaran propagasi *multipath* terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Propagasi *multipath*

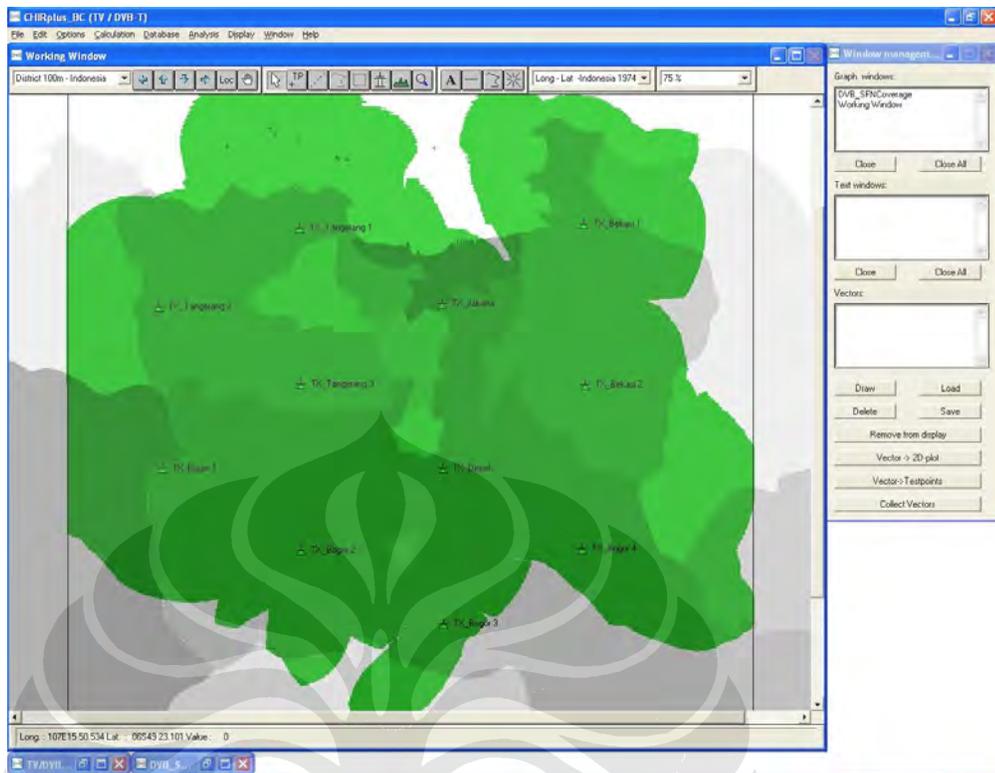
Karena itu, pemancar yang bersangkutan perlu diberi *time delay* tambahan sehingga sinyalnya dapat tiba di dalam *guard interval*.

Penentuan variasi *time delay* dilakukan dengan terlebih dahulu mengitung *time delay* maksimum dengan cara mengurangi besar *delay* transmisi (dilihat dari *software* Chirplus_BC) dengan nilai *guard interval* yang digunakan. Dari nilai *time delay* maksimum, kemudian diturunkan nilainya hingga didapat *coverage* yang paling baik. Setelah melakukan berbagai variasi *time delay* pada pemancar-pemancar yang mempunyai potensi *self-interference* kuat, didapatkan hasil variasi *time delay* yang paling optimal seperti ditunjukkan Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Variasi *time delay* optimal

Nama Tx	<i>Time delay</i> (μ s)
TX_Tangerang 1	20
TX_Tangerang 2	0
TX_Tangerang 3	0
TX_Jakarta	20
TX_Depok	0
TX_Bekasi 1	20
TX_Bekasi 2	20
TX_Bogor 3	0
TX_Bogor 4	0
TX_Bogor 2	0
TX_Bogor 1	20

Dari variasi *time delay* di atas, didapatkan hasil *coverage* baru seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Coverage SFN variasi *time delay*

Pada Gambar 4.9 di atas terlihat bahwa hasil *coverage* lebih baik jika dibandingkan dengan *coverage* sebelumnya yang tanpa variasi *time delay*. Namun, tetap masih ada daerah yang belum terlingkupi *coverage* SFN. Karena itu perlu ada variasi parameter lainnya untuk mendapatkan *coverage* yang lebih baik.

4.2.2 Variasi ERP

Parameter selanjutnya yang akan divariasikan adalah ERP. Besar kecilnya ERP sangat mempengaruhi *coverage* karena semakin besar ERP maka sinyal dapat diterima dengan baik untuk jarak yang lebih jauh. Pada awal perancangan, nilai ERP masing-masing pemancar sudah ditentukan sama besarnya sesuai dengan referensi jaringan yang digunakan. Namun, karena perancangan ini diimplementasikan dengan memperhitungkan relief permukaan bumi, ada kalanya nilai ERP ideal tidak sesuai untuk mendapatkan *coverage* yang paling baik.

Dengan memvariasikan ERP, dapat diminimalkan potensi *self-interference* yang disebabkan oleh sinyal-sinyal *multipath*.

Berbeda dengan penentuan variasi *time delay* yang berpatokan pada nilai *time delay* maksimum, variasi ERP berpatokan pada nilai awal ERP. Pengurangan atau penambahan nilai ERP awal dilihat dari perubahan *coverage* yang terjadi. Jika pengurangan menghasilkan *coverage* yang lebih baik, maka penentuan nilai optimal dicari dengan variasi nilai yang lebih rendah, begitu juga sebaliknya. Dengan mengkombinasikan beberapa variasi ERP, penulis mendapatkan kombinasi nilai ERP yang paling optimal seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut (nilai awal ERP adalah 32.62 dBW).

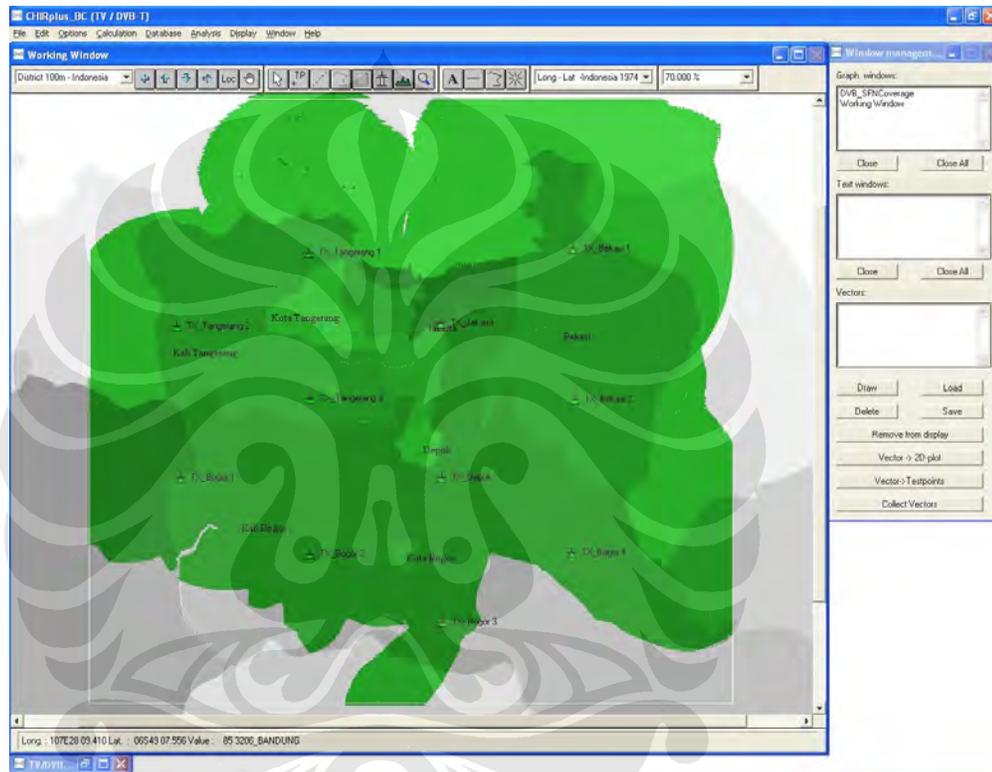
Tabel 4.2 Variasi ERP optimal

Nama Tx	ERP (dBW)
TX_Tangerang 1	32,62
TX_Tangerang 2	32,62
TX_Tangerang 3	32,62
TX_Jakarta	32,62
TX_Depok	32,62
TX_Bekasi 1	40
TX_Bekasi 2	35
TX_Bogor 3	35
TX_Bogor 4	32,62
TX_Bogor 2	28
TX_Bogor 1	35

Mengacu pada Tabel 4.2, terdapat pemancar yang nilai ERPnya menjadi lebih besar dan lebih kecil. Karena pemancar-pemancar pada SFN merupakan suatu kesatuan dimana perubahan parameter dari salah satu pemancar dapat mempengaruhi *coverage* secara keseluruhan, maka ketika ERP dari salah satu pemancar diubah, terdapat kemungkinan daerah yang sebelumnya tidak terlingkupi menjadi terlingkupi, namun daerah yang sebelumnya terlingkupi

menjadi tidak terlingkupi. Untuk mengantisipasi hal ini, saat ERP salah satu pemancar diubah dan mengakibatkan daerah yang sebelumnya terlingkupi menjadi tidak terlingkupi, ERP pemancar lain harus disesuaikan sedemikian rupa sehingga daerah tersebut menjadi terlingkupi kembali. Hal ini yang menyebabkan terdapat ERP yang menjadi lebih besar dan lebih kecil dari nilai ideal awal.

Dengan melakukan rekalkulasi untuk variasi ERP ini, didapatkan *coverage* SFN yang baru seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 *Coverage* SFN dengan variasi ERP

Dengan mengacu pada Gambar 4.10 di atas, beberapa daerah yang sebelumnya tidak terlingkupi oleh *coverage* dari SFN sekarang telah terlingkupi. *Coverage* yang didapat sekarang ini sudah mendekati optimal, hanya saja beberapa daerah di bagian Tenggara dan Barat Daya dari Kabupaten Bogor masih saja belum terlingkupi oleh *coverage* SFN walaupun sudah didapatkan variasi dari *time delay* dan ERP yang optimal.

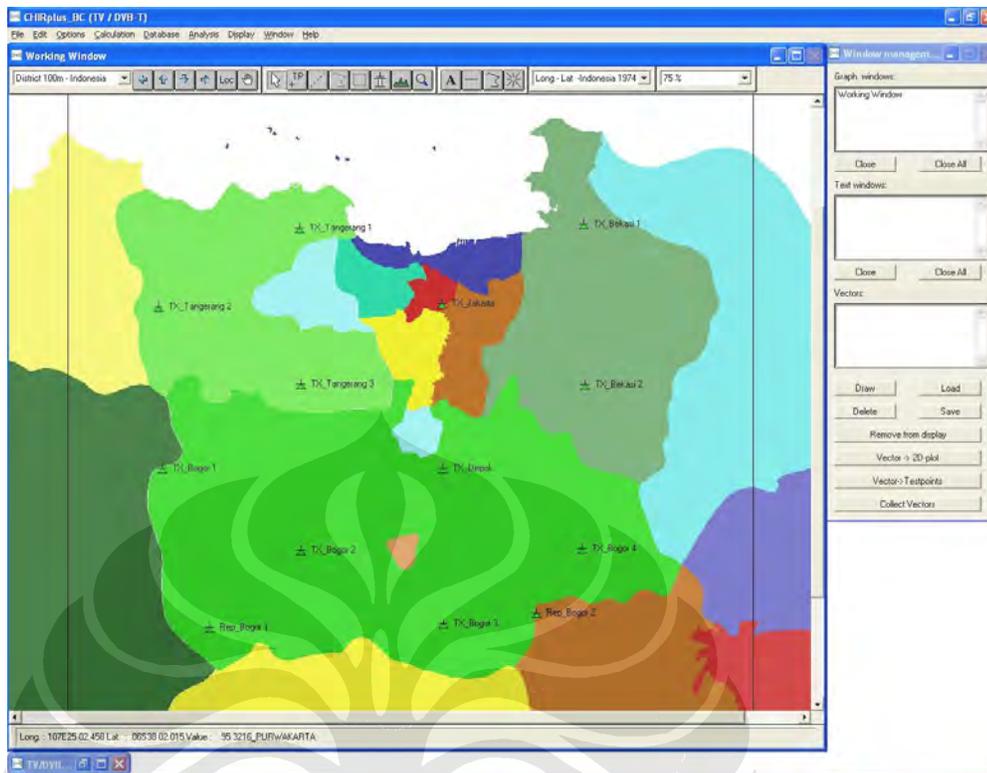
Setelah mempelajari bentuk relief permukaan bumi dari Kabupaten Bogor, didapatkan bahwa bagian Tenggara dan Barat Daya dari Kabupaten Bogor sebagian besar tertutupi oleh relief pegunungan. Hal ini dapat menyebabkan

pengaruh *multipath* menjadi sangat besar, dan pemancar-pemancar yang berada di sekitar daerah ini mempunyai potensi menghasilkan *self-interference* yang besar. Dari dua parameter yang sudah dioptimalkan, termasuk pada pemancar-pemancar di sekitar relief pegunungan itu, ternyata tidak menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap kekosongan *coverage* pada daerah itu. Parameter lainnya yang juga mempengaruhi *coverage* seperti tinggi antena sudah tidak dapat divariasikan karena memang sudah menggunakan asumsi yang besar (150 m).

Maka, alternatif lain yang dapat digunakan adalah dengan menambah Tx yang berfungsi sebagai *repeater* dan diletakkan pada daerah pegunungan tersebut.

4.3 PENAMBAHAN TX SEBAGAI REPEATER

Penambahan Tx sebagai *repeater* dilakukan jika setelah dilakukan sinkronisasi dengan variasi parameter *transmitter*, ternyata *coverage* yang didapatkan masih belum optimal. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, relief pegunungan yang terdapat pada daerah Tenggara dan Barat Daya Kabupaten Bogor menyebabkan daerah ini tidak terlingkupi *coverage* SFN. Maka, *repeater* akan diletakkan pada daerah pegunungan ini. Peletakan Tx pada *software* Chirplus_BC untuk *repeater* tersebut, dilakukan dengan memperkirakan titik tengah dari daerah pegunungan itu yang belum terlingkupi *coverage*. Gambar 4.11 menunjukkan letak *repeater* pada *software* Chirplus_BC.



Gambar 4.11 Letak *repeater* pada *software* Chirplus_BC

Untuk parameter *repeater*, karena tidak berfungsi sebagai Tx utama, maka tinggi antenna dan ERP yang digunakan tidak sebesar Tx utama. Selain itu, pengurangan tinggi antenna juga dipertimbangkan dengan letak *repeater* ini yang berada di daerah pegunungan. Parameter lain seperti *time delay* juga harus disesuaikan karena walaupun berfungsi sebagai *repeater*, tapi juga dapat memberi potensi *self-interference*. Parameter sisanya dibuat sama dengan Tx utama.

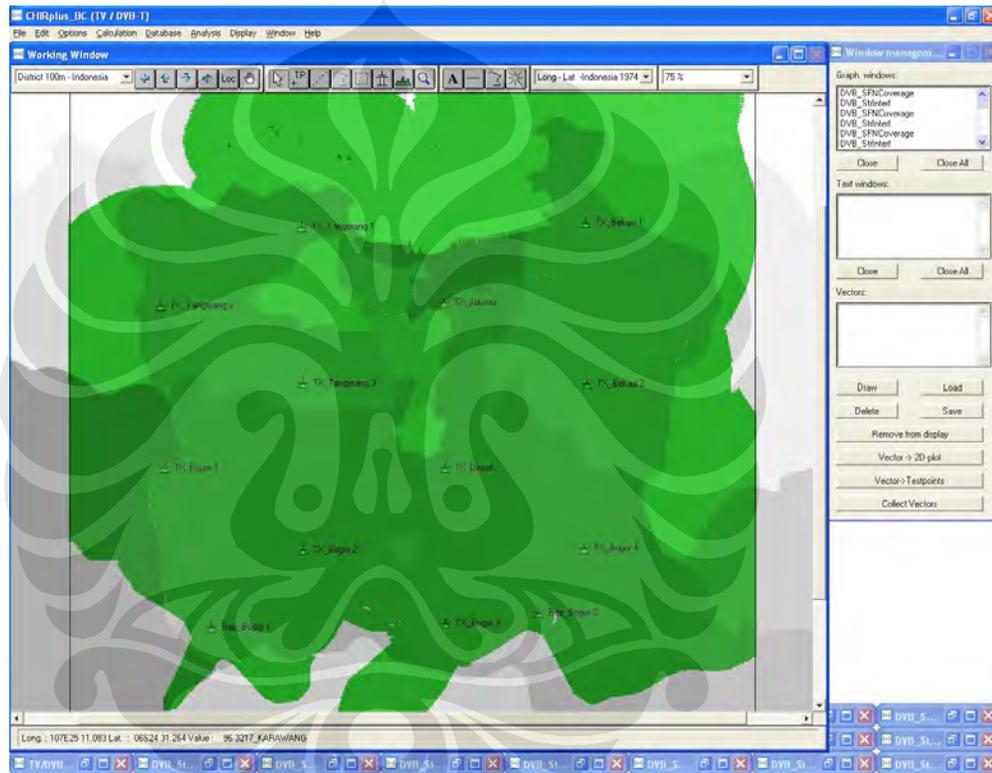
Setelah melakukan penyesuaian, didapat parameter yang optimal untuk *repeater* seperti ditunjukkan Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter *repeater*

Nama Tx	Kanal	Longitude	Latitude	Tinggi Antena (m)	ERP (dBW)	Time Delay (μ s)
Rep_Bogor_2	51	107E00 02	06S40 44	40	20	0
Rep_Bogor_1	51	106E29 42	06S42 06	40	18	10

Dalam menentukan parameter ERP dan time delay yang tepat untuk kedua repeater tersebut, hal yang sama seperti Tx utama juga berlaku. Penyesuaian kedua parameter tersebut terus dilakukan hingga coverage SFN menjadi lebih optimal tanpa menyebabkan daerah yang sebelumnya terlingkupi menjadi tidak terlingkupi.

Selanjutnya, dilakukan rekalkulasi dengan mengikutkan *repeater* tersebut sehingga didapatkan *coverage* SFN yang paling optimal untuk wilayah Jabodetabek seperti yang terlihat pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Coverage SFN optimal

Jika Gambar 4.12 *coverage* SFN final di atas diperhatikan dengan seksama, maka terlihat bahwa daerah Selatan Kabupaten Bogor dekat perbatasan masih belum 100% terlingkupi oleh *coverage* dari SFN. Tapi, ini merupakan hasil paling optimal yang bisa didapat dari perancangan ini. Yang harus diperhatikan disini adalah bahwa pada perancangan ini digunakan asumsi *coverage probability* untuk mode penerimaan *fixed antenna* yang ideal, yaitu sebesar 95%. Daerah Selatan yang belum terlingkupi *coverage* sebesar 95% sebenarnya masih

terlingkupi oleh SFN hanya saja *coverage probability* nya tidak mencapai 95%(kualitas sangat baik). Pada implementasi lapangan, layanan DVB-T masih dapat diterima dengan kualitas cukup baik hingga batas toleransi 70%. Karena itu, pada perancangan kali ini, walaupun terdapat sebagian kecil daerah sekitar perbatasan Selatan Bogor yang belum terlingkupi, sudah mendapatkan hasil yang paling optimal.

Dari hasil sinkronisasi hingga penambahan *repeater* yang telah dilakukan di bab ini, bisa didapatkan Tabel 4.4 yang merangkum semua parameter Tx, baik yang utama maupun tambahan.

Tabel 4.4 Parameter Tx optimal

Nama Tx	Kanal	Longitude	Latitude	Tinggi Antena (m)	ERP (dBW)	Time Delay (μ s)
TX_Tangerang 1	51	106E38 04	06S04 55	150	32,62	20
TX_Tangerang 2	51	106E24 58	06S12 15	150	32,62	0
TX_Tangerang 3	51	106E38 13	06S19 25	150	32,62	0
TX_Jakarta	51	106E51 14	06S11 56	150	32,62	20
TX_Depok	51	106E51 18	06S27 16	150	32,62	0
TX_Bekasi 1	51	107E04 24	06S04 32	150	40	20
TX_Bekasi 2	51	107E04 33	06S19 29	150	35	20
TX_Bogor 3	51	106E51 23	06S41 40	150	35	0
TX_Bogor 4	51	107E04 14	06S34 44	150	32,62	0
TX_Bogor 2	51	106E38 13	06S34 54	150	28	0
TX_Bogor 1	51	106E25 21	06S27 16	150	35	20
Rep_Bogor 2	51	107E00 02	06S40 44	40	20	0
Rep_Bogor 1	51	106E29 42	06S42 06	40	18	10

BAB 5

KESIMPULAN

Dari nilai awal ideal parameter yang diberikan sama untuk setiap pemancar, belum didapatkan *coverage* yang optimal dimana masih terdapat daerah-daerah yang belum terlingkupi SFN. Karena itu dilakukan sinkronisasi hingga didapatkan spesifikasi baru sebagai berikut :

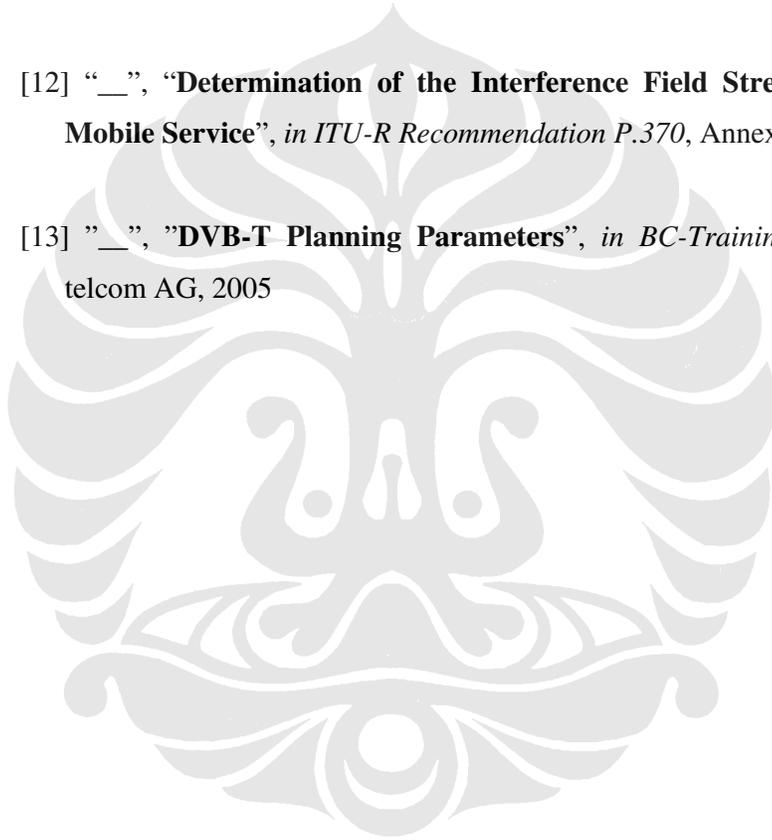
- Pemancar-pemancar yang mendapat perubahan *time delay* dari nilai awal 0 μs adalah Bogor 1, Bekasi 1, Bekasi 2, Jakarta, dan Tangerang 1 masing-masing sebesar 20 μs .
- Pemancar-pemancar yang mendapat perubahan ERP dari nilai awal 32.62 dBW adalah Bogor 1, Bogor 3, Bekasi 2 masing-masing sebesar 35 dBW, Bekasi 1 sebesar 40 dBW, dan Bogor 2 sebesar 28 dBW.
- Variasi *time delay* dan ERP belum menghasilkan *coverage* yang optimal, karena itu digunakan alternatif penambahan dua Tx sebagai *repeater*, yaitu *repeater* Bogor 1 dengan tinggi antenna 40 m , ERP 18 dBW, serta *time delay* 10 μs , dan *repeater* Bogor 2 dengan tinggi antenna 40 m, ERP 20 dBW, serta *time delay* 0 μs .

Dengan spesifikasi baru seperti di atas, didapatkan *coverage* SFN yang paling optimal untuk layanan DVB-T di wilayah Jabodetabek.

DAFTAR ACUAN

- [1] “_”, “**Migrasi Sistem Penyiaran Analog ke Sistem Penyiaran Digital**”, *Buku Putih*, pp. 4, Ditjen Postel, Jakarta, 2006
- [2] ”_”, ”**DVB-T Overview**”, in *BC-Training 07a*, pp.6, 9-13, 20, LS telcom AG, 2005
- [3] de Bruin, R., Smits, J., “*Digital Video Broadcasting : Technology, Standards, and Regulations*”, Digital Audio and Video Series, pp.13-14, 16, 135-136, 209-210, Artech House, Inc., Norwood, 1999
- [4] O’Leary, S., “*Understanding Digital Terrestrial Broadcasting*”, Digital Audio and Video Series, pp.7, 61-63, 103-106, 109-110, 113-114, 118, 168, Artech House, Inc., Norwood, 2000
- [5] Dudy, E., “**Mengenal Standar DVB**”, *ASSI Newsletter*, No.6, Vol.I, Juli, 2000
- [6] Wijanarko, J.H., “*Analisis Link Availability DVB-S satelit Ka-Band di Indonesia*”, Skripsi, pp.6, Universitas Indonesia, Depok, 2007
- [7] “_”, “**Implementation Guidelines for DVB-T Transmission Aspects**”, in *DVB Document A037*, pp.9, 35, 38, 42, DVB Project Office, 1998
- [8] Ligeti, A., “*Single Frequency Network Planning*”, Dissertation, pp.4-5, Royal Institute of Technology, 1999
- [9] “_”, “**Konsep Draft Peraturan Perencanaan Frekuensi Untuk Keperluan Penyiaran**”, pp.3, 15, 20, Ditjen Postel, 2007

- [10] “_”, **”Technical Criteria of DVB-T and T-DAB Allotment Planning”**, in *ECC Report 49*, pp.28, Electronic Communication Committee, Copenhagen, 2004
- [11] “_”, **”Requirements for DTT Service Operating in the Frequency Bands 174-230 MHz and 470-742 MHz”**, in *MCMC SRSP-521 DTT*, Appendix J, Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia, Selangor Darul Ehsan, 2007
- [12] “_”, **”Determination of the Interference Field Strength in the Land Mobile Service”**, in *ITU-R Recommendation P.370*, Annex 5, 1999
- [13] “_”, **”DVB-T Planning Parameters”**, in *BC-Training 07b*, pp.3-8, LS telcom AG, 2005



DAFTAR PUSTAKA

Faria, G., “**New Operative Modes for Digital Terrestrial TV**”, BCA, Singapore, June 2002

Bigeni, J., “**The Magic of DVB-T : A Technology Overview**”, Seminar Venezuela, DVB Project, August 2005

Doeven, J., “**Planning of Single Frequency Network**”, ITU/EBU Workshop on Digital Broadcasting, Sofia, 8-10 June 2004

“**—**”, “**Digital Video Broadcasting (DVB); Measurements Guidelines for DVB Systems**”, ETSI Technical Report 290, ETSI, Valbonne, May 1997

“**—**”, “**Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding, and Modulation for Digital Terrestrial Television**”, ETSI EN 300 744, Vol 1.5.1, ETSI, Valbonne, November 2004

“**—**”, “**Digital Terrestrial Television – Planning**”, Kordia