

**ANALISIS PERFORMANSI *BER* DENGAN
PENGKODEAN *CONCATENATED VITERBI/REED-
SOLOMON* DAN *TURBO* PADA JARINGAN *VSAT*
UNTUK HUBUNGAN ANTAR *BTS* DAN *BSC***

TUGAS AKHIR

Oleh

FAJRI DARWIS
06 06 04 254 4



**PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
2007/2008**

**ANALISIS PERFORMANSI *BER* DENGAN
PENGKODEAN *CONCATENATED VITERBI/REED-
SOLOMON* DAN *TURBO* PADA JARINGAN *VSAT*
UNTUK HUBUNGAN ANTAR *BTS* DAN *BSC***

TUGAS AKHIR

Oleh

FAJRI DARWIS
06 06 04 254 4



**TUGAS AKHIR INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI
SEBAGIAN PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

**ANALISIS PERFORMANSI *BER* DENGAN PENGKODEAN
CONCATENATED VITERBI/REED-SOLOMON DAN *TURBO* PADA
JARINGAN VSAT UNTUK HUBUNGAN ANTAR *BTS* DAN *BSC***

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 tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar keserjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 8 Juli 2008

Fajri Darwis
NPM 0606042544

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.

Fajri Darwis
NPM 06 06 04 254 4
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc

**ANALISIS PERFORMANSI *BER* DENGAN PENGKODEAN
CONCATENATED VITERBI/REED-SOLOMON DAN *TURBO* PADA
JARINGAN *VSAT* UNTUK HUBUNGAN ANTAR *BTS* DAN *BSC***

ABSTRAK

Pada transmisi data, untuk mencegah hilangnya informasi karena kesalahan yang tidak terdeteksi, seperti interferensi dan *noise*, digunakan sistem *error correction codes* untuk mengatasi kesulitan tersebut dan juga untuk meningkatkan performansi pada jaringan *VSAT*. Jenis – jenis *error correction codes* yang sering digunakan pada jaringan *VSAT* antara lain seperti *reed-solomon*, *viterbi* dan *turbo*.

Dengan penggunaan *error correction codes* diharapkan performansi *BER* dapat ditingkatkan. Performansi *BER* yang bagus sangat diharapkan untuk mengurangi waktu tidak berhasilnya komunikasi antara dua stasiun bumi, atau dikenal dengan istilah *down time*. *Down time* yang sering terjadi pada jaringan *VSAT* mengakibatkan terjadinya potongan dari harga sewa sehingga mengurangi pendapatan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan pengamatan dan pengukuran yang difokuskan pada teknik pengkodean *turbo* dan *concatenated viterbi/reed-solomon* pada jaringan *VSAT* dengan sistem *SCPC* dan modulasi yang digunakan *8-PSK* dan *16-QAM*. Dengan menganalisis performansi *BER* yang digunakan untuk hubungan antar *BTS* dan *BSC* diharapkan *down time* yang terjadi bisa dikurangi.

Dari data performansi *BER*, untuk modulasi *8-PSK* performansi pengkodean *turbo* lebih baik 0,4 dB dari pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*. Sedangkan untuk modulasi *16-QAM* performansi pengkodean *turbo* lebih baik 0.4 dB dari pengkodean *concatenated viterbi/ reed-solomon*. Dari data tersebut, pengkodean *turbo* lebih baik untuk diimplementasikan pada jaringan *VSAT* untuk hubungan antar *BTS* dan *BSC*.

Kata Kunci : *VSAT, TURBO, CONCATENATED, BER*

Fajri Darwis
NPM 06 06 04 254 4
Electro Department Engineering

Supervisor
Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc

**ANALYSIS BER PERFORMANCE WITH CONCATENATED
VITERBI/REED-SOLOMON AND TURBO CODE AT VSAT NETWORK
FOR CONNECTIVITY BETWEEN THE BTS AND BSC**

ABSTRACT

To prevent loss of information at data transmission caused by error that is not detected like interference and noise, error correction codes system is applied to overcome this problem as well as to increase the performance for VSAT network. The types of errors correction codes which is often applied for VSAT network is reed-solomon, viterbi and turbo.

With the usage of error correction codes, it is expected that the BER performance can be improved. The improved BER performance is expected to decrease the down time. Down time which often happened at VSAT network decrease of revenue from the rental price of VSAT network.

To overcome this problem, observation is focused by applying turbo and concatenated viterbi/reed-solomon encoding technique for VSAT network with SCPC system and with modulation 8-PSK and 16-QAM. The BER performance will be analyzed and an decrease of down time is expected.

Analyze of BER performance data shows for modulation 8-PSK, performance of turbo encoding is better 0.4 dB than concatenated viterbi/reed-solomon encoding. For modulation 16-QAM, the performance of turbo encoding is better 0.4 dB than concatenated viterbi/reed-solomon encoding. From analyze result, turbo encoding is better to be implemented for connectivity between BTS and BSC VSAT network.

Key words : VSAT, TURBO, CONCATENATED, BER

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 METODELOGI PENULISAN	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2 SISTEM KOMUNIKASI VSAT	4
2.1 KONFIGURASI JARINGAN VSAT	4
2.2 STASIUN BUMI JARINGAN VSAT	5
2.2.1 <i>Outdoor Unit (ODU)</i>	5
2.2.1.1 <i>Antena</i>	6
2.2.2.2 <i>Radio Frequency (RF) Unit</i>	6
2.2.2 <i>Indoor Unit (IDU)</i>	6
2.3 JARINGAN <i>POINT-TO-POINT</i>	6
2.4 SISTEM AKSES JAMAK (<i>MULTIPLE ACCESS</i>)	7
2.4.1 <i>FDMA (Frequency Division Multiple Access)</i>	7
2.4.2 <i>TDMA (Time Division Multiple Access)</i>	8
2.4.3 <i>CDMA (Code Division Multiple Access)</i>	9
2.4.4 <i>SCPC (Single Carrier Per Channel)</i>	9

2.5 APLIKASI VSAT UNTUK KOMUNIKASI SELULER	10
2.6 INTERFERENSI	10
2.7 SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL	11
2.7.1 Teknik Modulasi	12
2.8 REDAMAN HUJAN	13
BAB 3 MEKANISME PENGKODEAN <i>CONCATENATED</i>	
<i>VITERBI/REED-SOLOMON DAN TURBO</i>	14
3.1 PENGKODEAN <i>CONCATENATED VITERBI/REED-SOLOMON</i>	15
3.1.1 Pengkodean <i>Reed-Solomon (RS)</i>	16
3.1.1.1 Properti Pengkodean <i>Reed-Solomon (RS)</i>	16
3.1.1.2 Bentuk Sistematis <i>RS code</i>	16
3.1.1.3 <i>Decoder Reed-Solomon</i>	17
3.1.2 Pengkodean <i>Viterbi</i>	17
3.1.2.1 <i>Viterbi Decoding</i>	18
3.2 Pengkodean Turbo	19
3.2.1 <i>Paralell Concatenation</i>	19
3.2.2 <i>Interleaver</i>	20
3.2.3 <i>Puncturing</i>	21
3.2.4 <i>Turbo Decoding</i>	21
3.3 BLOK DIAGRAM <i>MODEM COMTECH CDM 600</i>	22
BAB 4 ANALISIS PERFORMANSI JARINGAN	24
4.1 ANALISIS <i>BER</i> DENGAN PENGKODEAN <i>TURBO</i>	25
4.1.1 Modulasi <i>8-PSK</i>	25
4.1.2 Modulasi <i>16-QAM</i>	27
4.2 ANALISIS <i>BER</i> DENGAN PENGKODEAN <i>CONCATENATED</i>	
<i>VITERBI/REED-SOLOMON</i>	29
4.2.1 Modulasi <i>8-PSK</i>	29
4.2.2 Modulasi <i>16-QAM</i>	31
4.3 PERBANDINGAN PERFORMANSI <i>BER</i> PENGKODEAN <i>TURBO</i>	
DAN <i>CONCATENATED VITERBI/REED-SOLOMON</i>	32
4.3.1 Modulasi <i>8-PSK</i>	32
4.3.2 Modulasi <i>16-QAM</i>	33

4.4 ANALISIS <i>BANDWIDTH</i>	34
4.4.1 Modulasi <i>8-PSK</i>	34
4.4.3 Modulasi <i>16-QAM</i>	34
4.5 ANALISIS REDAMAN HUJAN	35
BAB 5 KESIMPULAN	38
DAFTAR ACUAN	39
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 1.1	Konfigurasi jaringan VSAT untuk seluler <i>backhaul</i>	2
Gambar 2.1	Definisi <i>Uplink</i> dan <i>Downlink</i>	4
Gambar 2.2	Satelit geostasioner	4
Gambar 2.3	<i>Equipment</i> stasiun VSAT	5
Gambar 2.4	<i>Full two way</i>	7
Gambar 2.5	Konsep <i>FDMA</i>	8
Gambar 2.6	Konsep <i>TDMA</i>	8
Gambar 2.7	Konsep <i>CDMA</i>	9
Gambar 2.8	<i>Point-to-point SCPC</i> topologi	10
Gambar 2.9	Blok diagram sistem komunikasi digital	11
Gambar 3.1	<i>VSAT station equipment</i>	14
Gambar 3.2	<i>Serial concatenated viterbi/reed-solomon</i>	15
Gambar 3.3	Diagram <i>reed-solomon</i>	16
Gambar 3.4	Arsitektur umum <i>decoder RS</i>	17
Gambar 3.5	Sinyal <i>constellation</i> untuk diteksi <i>symbol by symbol</i>	18
Gambar 3.6	<i>Parallel concatenation</i>	20
Gambar 3.7	<i>Turbo decoder</i>	21
Gambar 3.8	Blok diagram <i>modem Comtech CDM 600</i>	23
Gambar 4.1	Grafik <i>BER</i> terhadap <i>Eb/No</i> modulasi <i>8-PSK</i> pengkodean <i>turbo</i>	26
Gambar 4.2	Grafik <i>BER</i> terhadap <i>Eb/No</i> modulasi <i>16-QAM</i> pengkodean <i>turbo</i>	28
Gambar 4.3	Grafik <i>BER</i> terhadap <i>Eb/No</i> modulasi <i>8-PSK</i> pengkodean <i>concatenated viterbi/reed-solomon</i>	30
Gambar 4.4	Grafik <i>BER</i> terhadap <i>Eb/No</i> modulasi <i>16-QAM</i> pengkodean <i>concatenated viterbi/reed-solomon</i>	31

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 4.1	Spesifikasi <i>modem</i> Comtech CDM 600	24
Tabel 4.2	Spesifikasi <i>Up/Down Converter</i>	25
Tabel 4.3	Data <i>BER</i> dan <i>Eb/No</i> dengan modulasi <i>8-PSK</i> pengkodean <i>turbo</i>	25
Tabel 4.4	Data <i>BER</i> dan <i>Eb/No</i> dengan modulasi <i>16-QAM</i> pengkodean <i>turbo</i>	27
Tabel 4.5	Data <i>BER</i> dan <i>Eb/No</i> dengan modulasi <i>8-PSK</i> pengkodean <i>concatenated viterbi/reed-solomon</i>	29
Tabel 4.6	Data <i>BER</i> dan <i>Eb/No</i> dengan modulasi <i>8-PSK</i> pengkodean <i>concatenated viterbi/reed-solomon</i>	31

DAFTAR SINGKATAN

VSAT	Very Small Aperture Terminal
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Control
SCPC	Single Carrier Per Channel
ODU	Outdoor Unit
IDU	Indoor Unit
LAN	Local Area Network
RF	Radio Frequency
IF	Intermediate Frequency
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
LNA	Low Noise Amplifier
HPA	High Power Amplifier
SSPA	Solid-State Power Amplifier
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
BER	Bit Error Rate
MAP	Maximum A posteriori Probability
LLR	Log Likelihood Ratio
FIFO	First In First Out
FEC	Forward Error Correction
CPI	Cross Polarization Isolation
EDMAC	Embedded Distant-end Monitor And Control
LOS	Line of Sight
RS	Reed-Solomon
GF	Galois Field

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
BW	Bandwidth	Hz
E_b/N_0	Energi Bit Per Noise	dB
I	in-phase	
Q	quadrature	
G/T	Figure of Merit	dB/K
R	Rate	
A	Redaman hujan	dB/Km
R	Curah hujan	mm/h
a_v	Koefisien regresi vertikal	
b_v	Koefisien regresi vertical	
a_H	Koefisien regresi horizontal	
b_H	Koefisien regresi horizontal	
C_{RS}	RS code	
GF (q)	Galois Field	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia telekomunikasi yang sudah sedemikian canggih, mempengaruhi berbagai kebutuhan masyarakat akan layanan hidup yang semakin meningkat, termasuk dalam bidang telekomunikasi. Fungsi dari telekomunikasi sebagai sarana pertukaran informasi antara dua tempat dengan media tertentu.

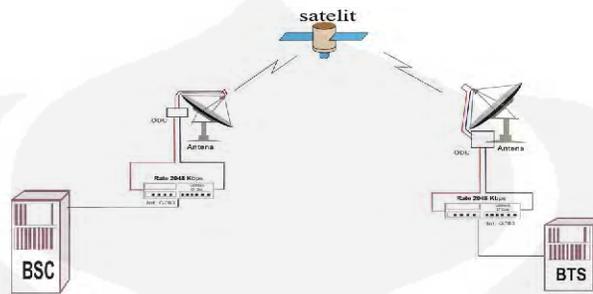
Teknologi *VSAT (Very Small Aperture Terminal)* merupakan salah satu solusi untuk menjangkau wilayah Indonesia yang berbentuk kepulauan. *VSAT* memiliki dua unit bagian, yaitu *Indoor Unit* dan *Outdoor Unit*. *Indoor Unit* terdiri dari *modem* dan *interface* yang menghubungkan ke peralatan pelanggan. Sedangkan *Outdoor Unit* terdiri dari antena, *up/down converter*, *SSPA*, dan *LNA*. Salah satu aplikasi pada jaringan *VSAT* adalah untuk komunikasi data.

Pada transmisi data, untuk mencegah hilangnya informasi karena kesalahan yang tidak terdeteksi, seperti interferensi dan *noise*, digunakan sistem *error correction codes* untuk mengatasi kesulitan tersebut dan juga untuk meningkatkan performansi pada jaringan *VSAT*. Jenis – jenis *error correction codes* yang sering digunakan pada jaringan *VSAT* antara lain seperti *reed-solomon*, *viterbi* dan *turbo*.

Dengan penggunaan *error correction codes* diharapkan performansi *BER* dapat ditingkatkan. Performansi *BER* yang bagus sangat diharapkan untuk mengurangi waktu tidak berhasilnya komunikasi antara dua stasiun bumi, atau dikenal dengan istilah *down time*. *Down time* yang sering terjadi pada jaringan *VSAT* mengakibatkan terjadinya potongan dari harga sewa sehingga mengurangi pendapatan.

Jaringan *VSAT* untuk komunikasi seluler digunakan sebagai jaringan utama yang menghubungkan antar *Base Transceiver Station (BTS)* dan *Base Station Control (BSC)*. Untuk menghubungkan jaringan *VSAT* dengan jaringan seluler digunakan *interface G 703 B* yang terdapat pada *modem*. Konfigurasi

jaringan VSAT untuk menghubungkan antar BTS dan BSC dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Konfigurasi jaringan VSAT antara BTS ke BSC [1].

Untuk mendapatkan performansi yang baik pada komunikasi seluler, maka *BER* yang diharapkan pada jaringan VSAT 1×10^{-8} . Dengan *BER* 1×10^{-8} , *power* yang dibutuhkan juga harus diperhatikan. Selain itu, pemilihan jenis modulasi juga digunakan untuk efisiensi *bandwidth* yang diberikan oleh *transponder*.

Dengan menganalisis performansi *BER* yang difokuskan pada teknik pengkodean *turbo* dan *concatenated viterbilreed-solomon* pada jaringan VSAT dengan sistem *SCPC* (*Single Carrier Per Channel*) yang digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* diharapkan *down time* yang terjadi bisa dikurangi.

1.2 Tujuan

Tujuan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah menganalisis performansi *BER* pada jaringan VSAT dengan membandingkan pengkodean *turbo* dan *concatenated viterbilreed-solomon* yang digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC*. Hasil yang didapat diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan untuk meningkatkan performansi dari jaringan VSAT.

1.3 Batasan Masalah

Tugas akhir ini dibatasi pada analisis performansi *BER* pada jaringan VSAT dengan sistem *SCPC*. Di mana pengukuran difokuskan pada sisi *demodulator* dan modulasi yang digunakan *8-PSK* dan *16-QAM* untuk kedua jenis pengkodean yang digunakan. Sedangkan untuk parameter lainnya diambil data dari stasiun bumi PT. Patrakom.

1.4 Metodologi Penulisan

Pembahasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini menggunakan metode studi kepustakaan untuk teori – teori pendukung dan studi kasus/lapangan dengan cara meninjau kelapangan, melakukan pengukuran – pengukuran yang diperlukan serta wawancara dan diskusi dengan petugas di lapangan.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi serta sistematika penulisan.

BAB 2 SISTEM KOMUNIKASI VSAT

Bab ini berisi penjelasan tentang konsep dasar jaringan *VSAT* serta teori – teori yang mendukung.

BAB 3 MEKANISME PENGKODEAN *CONCATENATED VITERBI/REED-SOLOMON* DAN *TURBO*

Pada bab ini dibahas tentang sistem model pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* dan *turbo*, serta teori – teori yang mendukung.

BAB 4 ANALISIS PERFORMANSI JARINGAN

Bab ini berisis tentang hasil pengukuran dan pengamatan di lapangan serta analisisnya.

BAB 5 KESIMPULAN

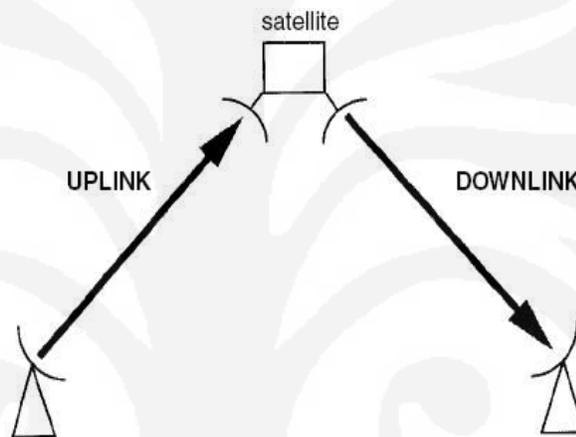
Bab ini berisi kesimpulan dari uraian bab – bab yang telah dibahas sebelumnya.

BAB 2

SISTEM KOMUNIKASI VSAT

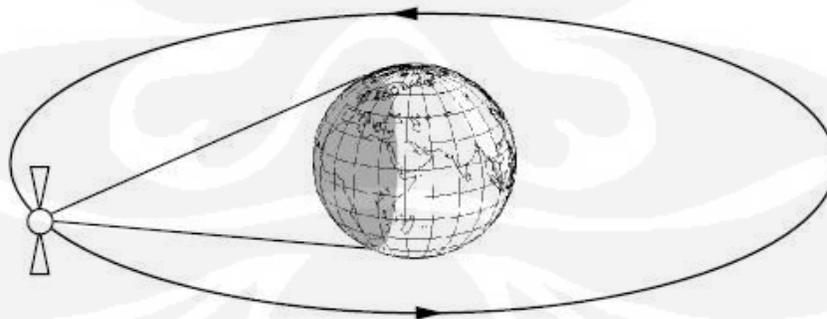
2.1 Konfigurasi Jaringan VSAT

Antar stasiun VSAT terhubung dengan satelit melalui *Radio Frequency (RF)*. Hubungan (*link*) dari stasiun VSAT ke satelit disebut *uplink*, sedangkan *link* dari satelit ke stasiun VSAT disebut *downlink*, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Definisi *Uplink* dan *Downlink* [2] .

Jaringan VSAT menggunakan satelit geostasioner, yang memiliki orbit pada bidang *equator* dengan ketinggian ± 35786 km di atas permukaan bumi.



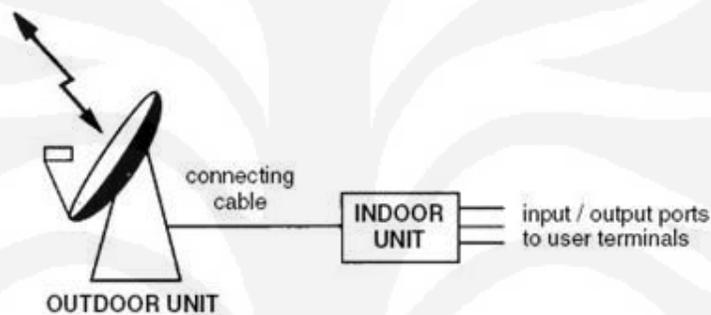
Gambar 2.2. Satelit geostasioner [2].

Digunakan satelit geostasioner menyebabkan jaringan komunikasi VSAT mempunyai daerah jangkauan yang luas dan tidak perlu melacak arah pergerakan satelit sehingga biaya operasional dan perawatan menjadi rendah. Dengan

berbagai kelebihan jaringan komunikasi VSAT dapat memberikan solusi pada kebutuhan komunikasi data yang semakin meningkat.

2.2 Stasiun Bumi Jaringan VSAT

Gambar 2.3 mengilustrasikan arsitektur dari stasiun VSAT. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, sebuah stasiun VSAT terdiri dari dua bagian yaitu *Outdoor Unit (ODU)* dan *Indoor Unit (IDU)*. *Outdoor Unit* adalah *interface* ke satelit, sedangkan *Indoor Unit* adalah *interface* ke terminal pelanggan atau *local area network (LAN)*.



Gambar 2.3. *Equipment* stasiun VSAT [2].

2.2.1 Outdoor Unit (ODU)

Outdoor Unit terdiri dari antena dan *Radio Frequency (RF)* unit yang terdiri dari transmit *amplifier*, *Low Noise Amplifier* dan *up/down converter*.

Parameter – parameter penting pada *Outdoor Unit (ODU)* :

- Band frekuensi transmit dan *receive*;
- *Step size* pengaturan frekuensi untuk frekuensi transmit dan *tuning* untuk frekuensi *receive*;
- *EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)* yang menunjukkan performansi dari radio frekuensi *uplink*. *EIRP* tergantung pada *gain* antena dan *power* transmit;
- *G/T (Figure of Merit)* : parameter *RF* pada arah *downlink* yaitu perbandingan antara *gain* antena terhadap temperatur *noise* di *receiver*;
- Variasi *gain sidelobe* antena.

2.2.1.1 Antena

Antena yang digunakan pada jaringan *VSAT* adalah antena parabola yang mudah dipasang dan dipindahkan sesuai dengan keinginan pemakai. Pada antena terdapat *primary feed horn* yang terbuat dari *bean synthesized horn* dan *two port orthomode transducer*. Peralatan ini diletakkan pada titik fokus dari pemantul dan dihubungkan dengan *Low Noise Amplifier (LNA)* yang berfungsi untuk transmisi simultan dan penerimaan sinyal.

2.2.1.2 Radio Frequency (RF) Unit

Pada *Radio Frequency (RF)*, selain antena terdapat *Low Noise Amplifier (LNA)* yang dipasang pada antena yang berfungsi untuk mengubah sinyal *RF* menjadi *Intermediate Frequency (IF)* (*downconverter*). Selain itu pada subsistem *RF* terdapat *upconverter* yang mengubah sinyal *IF* menjadi sinyal *RF* dan *High Power Amplifier (HPA)* atau *Solid-State Power Amplifier (SSPA)* untuk memperkuat sinyal *RF* sehingga dapat ditransmisikan. Dilihat dari penggunaannya, *LNA* merupakan perangkat penerima (*downlink*), sedangkan *upconverter* dan *HPA* merupakan perangkat pengirim (*uplink*).

2.2.2 Indoor Unit (IDU)

Indoor Unit merupakan *interface* ke terminal pelanggan. *Indoor Unit* terdiri dari *modem (modulator - demodulator)* dan terminal pelanggan.

Perangkat *Indoor Unit* berfungsi menerima data dari pelanggan, memodulasi serta mengirimkan ke *outdoor RF unit* untuk ditransmisikan dan menerima data termodulasi dari *outdoor RF unit*, mendemodulasikan lalu mengirimkan kembali data tersebut ke pelanggan.

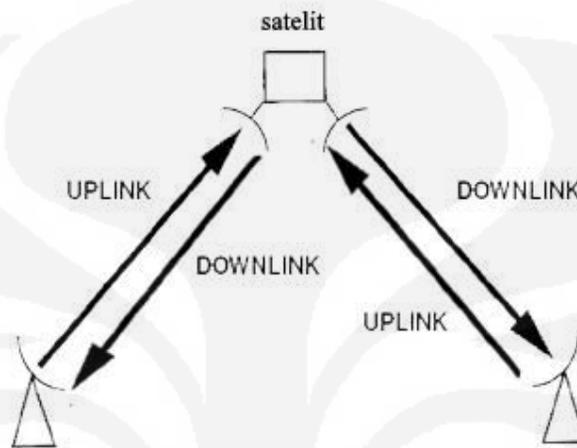
Sebagai *interface* ke terminal pelanggan, parameter – parameter penting yang harus diperhatikan pada *Indoor Unit (IDU)* :

- Jumlah *port*;
- Tipe *port*;
- Kecepatan *port (Bit Rate)* maksimum data yang dapat dilewatkan).

2.3 Jaringan Point - to - Point

Pada jaringan *point - to - point* stasiun bumi yang satu dengan yang lainnya dapat mengirim dan menerima informasi. Komunikasi yang dilakukan

adalah komunikasi dua arah secara bersamaan yang disebut *full two way link*. Komunikasi tipe ini digunakan untuk trafik yang besar dan bersifat interaktif. Gambar 2.4 mengilustrasikan tipe komunikasi *full two way link*.



Gambar 2.4. *Full two way* [2].

2.4 Sistem Akses Jamak (*Multiple Access*)

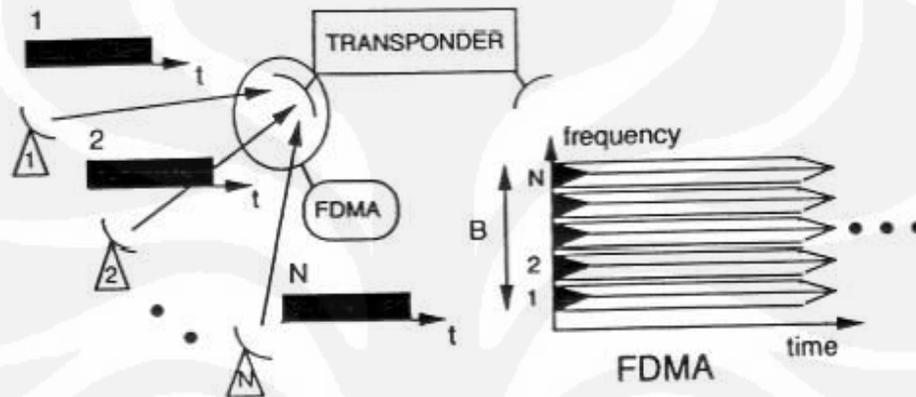
Dikarenakan satu *transponder* satelit dapat dipergunakan banyak stasiun bumi secara bersamaan, maka diperlukan suatu teknik untuk mengakses *transponder* tersebut ke masing – masing stasiun bumi. Teknik ini dinamakan *satellite multiple access*.

Ada tiga *multiple access* yang digunakan pada untuk komunikasi satelit yaitu *FDMA*, *TDMA* dan *CDMA*. Sistem *multiple access* yang digunakan pada jaringan *VSAT* untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* pada tugas akhir ini adalah *SCPC*.

2.4.1 *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan digunakan sejak adanya satelit komunikasi. Setiap stasiun bumi yang menggunakan metode *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*) yang telah ditentukan frekuensi kerjanya berdasarkan *bandwidth* total dan dapat mengakses ke satelit dalam waktu yang bersamaan. Setiap sinyal *carrier* dari stasiun bumi akan dipancarkan secara simultan. Jika pada suatu *transponder* diduduki oleh lebih dari dua sinyal *carrier*, maka *level* sinyal *carrier* yang dipancarkan oleh stasiun – stasiun bumi

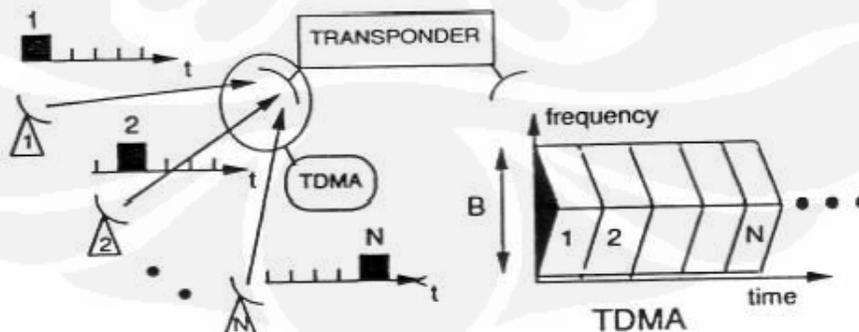
mempunyai batasan *level EIRP* yang tidak boleh dilampaui. Jenis akses tidak memerlukan pengontrolan yang rumit. Metode *FDMA* tidak digunakan untuk pengiriman data berkecepatan rendah tetapi untuk pengiriman data untuk kecepatan di atas 56 Kbps. Gambar 2.5 mengilustrasikan konsep *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*).



Gambar 2.5. Konsep *FDMA*[2].

2.4.2 *TDMA* (*Time Division Multiple Access*)

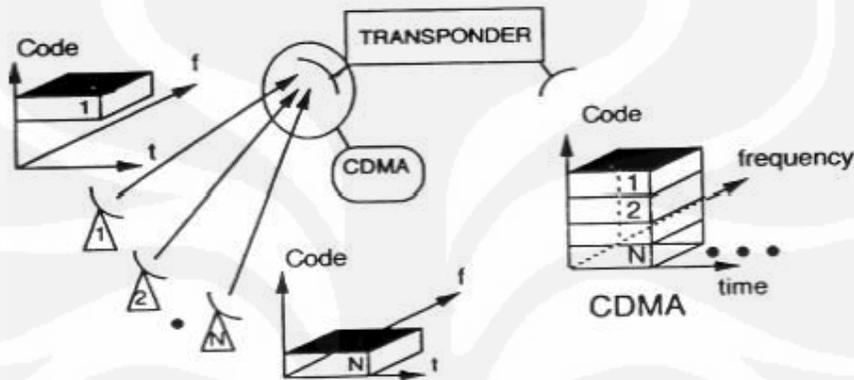
Pada metode *TDMA*, sejumlah stasiun bumi mendapat alokasi *bandwidth* yang sama tetapi tiap *VSAT* diberikan alokasi waktu untuk mengakses ke satelit. Pembagian alokasi waktu dilakukan dalam selang waktu tertentu yang disebut kerangka *TDMA* (*TDMA frame*). Setiap *frame* dibagi lagi atas sejumlah celah waktu (*time slot*). Informasi dimasukkan dalam *time slot* yang berbeda dan dipancarkan secara periodik dengan selang waktu yang sama.



Gambar 2.6. Konsep *TDMA* [2].

2.4.3 CDMA (Code Division Multiple Access)

CDMA merupakan teknik akses bersama ke satelit yang membagi *bandwidth transponder* satelit dengan memberikan kode – kode alamat tujuan dan pengenal untuk setiap data. Sinyal informasi memiliki kode tujuan dan pengenal masing – masing dan dipancarkan secara acak dan hanya stasiun tujuan yang dapat menerima informasi tersebut.



Gambar 2.7. Konsep CDMA [2].

2.4.4 SCPC (Single Carrier Per Channel)

SCPC (*Single Channel per Carrier*) merupakan salah satu konfigurasi pada jaringan VSAT dengan menggunakan metode akses *point-to-point*. Layanan komunikasi data atau voice yang menggunakan media akses satelit dengan teknologi SCPC untuk hubungan titik ke titik (*point-to-point*) dapat dikembangkan menjadi hubungan titik ke banyak titik (*point-to-multipoint*) atau dikenal dengan istilah MCPC.

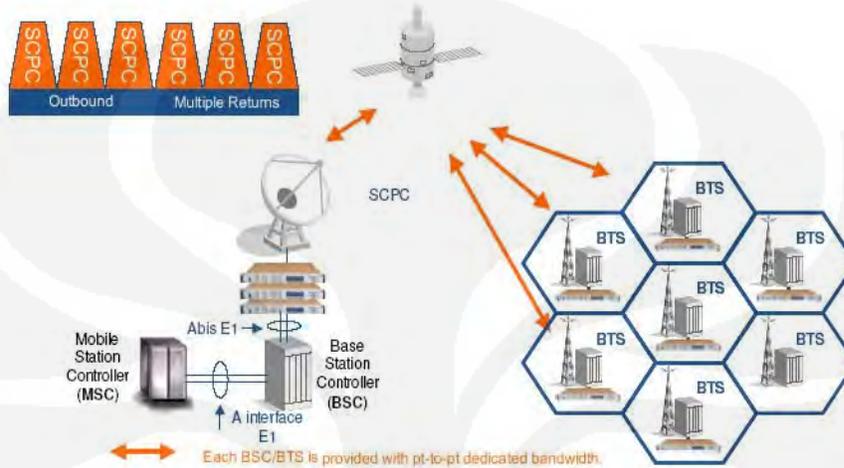
Metode akses SCPC ini menempatkan masing - masing satu buah sinyal pembawa (*Carrier*) untuk setiap node *link* komunikasinya.

Keunggulan sistem VSAT dengan menggunakan metode SCPC ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Banyak jenis protokol yang dapat digunakan misalnya RS 232, V-35, G703 dan masih banyak yang lainnya, sehingga lebih fleksibel dan aplikatif.
2. Sistem akses ke jaringan dapat dilakukan oleh pemakai setiap saat. mampu mentransmisikan data dalam jumlah yang besar secara tepat dan akurat pada jaringan.

2.5 Aplikasi VSAT untuk Komunikasi Seluler

Teknologi VSAT dapat digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Point-to-point SCPC topologi [3].

Gambar 2.8 merupakan jaringan VSAT yang digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* menggunakan *SCPC* modem yang memiliki *interface* G703 (T1/E1). Teknologi VSAT untuk komunikasi seluler antar *BTS* dan *BSC* digunakan pada daerah – daerah yang tidak bisa menggunakan teknologi *microwave* atau *Line of Sight (LOS)*, seperti di daerah pergunungan atau pulau – pulau terpencil.

Dalam pemilihan modulasi yang akan digunakan harus diperhitungkan *bandwidth* yang dibutuhkan. Penggunaan modulasi yang membutuhkan *bandwidth* yang kecil dapat mengurangi biaya penyewaan *bandwidth transponder*. Selain itu, harus diperhatikan juga faktor – faktor lainnya seperti *power modem* dan *SSPA*, redaman hujan dan *interferensi*.

2.6 Interferensi

Interferensi merupakan energi frekuensi radio yang tidak diinginkan yang berasal dari sumber interferensi yang timbul pada penerima (*receiver*). Pada jaringan VSAT terdapat dua tipe interferensi [4], yaitu :

1) *Self Interference*

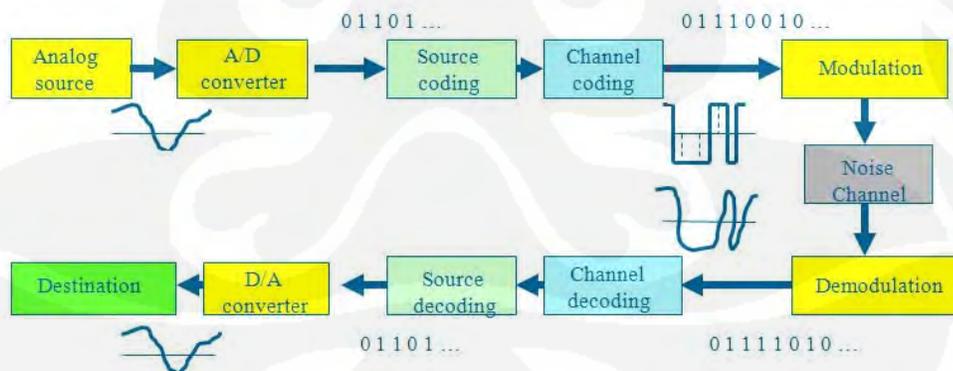
- *Co-channel interference* merupakan kerugian dari penggunaan pengulangan frekuensi yang bertujuan meningkatkan kapasitas dari sistem karena bandwidth sistem yang terbatas. *Interferensi co-channel* berasal dari isolasi yang tidak sempurna antar beam pada satelit dan juga disebabkan oleh ketidak sempurnaan isolasi antara pengulangan polarisasi orthogonal pada frekuensi yang sama.
- *Adjacent Channel Interference* merupakan interferensi yang berasal dari daya *carrier* penginterferensi terhadap sinyal yang diinginkan yang diterima oleh stasiun bumi.

2) *External Interference*

- Interferensi dari sistem satelit yang berdekatan;
- Interferensi dari sistem terestrial.

2.7 Sistem Komunikasi Digital

Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi dari sistem komunikasi digital yang terdiri dari *source coding*, *channel coding* dan *modulation* pada sisi pengirim, sedangkan pada sisi penerima terdiri dari *demodulation*, *channel decoding* dan *source decoding*.



Gambar 2.9. Blok diagram sistem komunikasi digital [5].

Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai blok *channel decoding* dan teknik modulasi yang digunakan. Pada blok *channel decoding* digunakan untuk mendeteksi *error* yang terjadi dan mengoreksinya yang dikenal dengan istilah *error correction codes*. Dengan adanya *error correction codes* dapat

meningkatkan performansi *BER*. Jenis *error correction codes* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *concatenated viterbilreed-solomon* dan *turbo*.

2.7.1 Teknik Modulasi

Faktor – faktor yang mempengaruhi pemilihan teknik modulasi adalah menyediakan *BER* yang rendah pada *Eb/No* yang rendah sehingga efisiensi dalam penggunaan *power*, performansi tetap bagus dengan adanya *interferensi* dan kondisi *fading* dan juga efisiensi dalam penggunaan *bandwidth transponder*.

Jenis modulasi yang akan digunakan untuk menganalisis performansi *BER* dengan teknik pengkodean yang berbeda adalah *8-PSK* dan *16-QAM*. Pemilihan modulasi tersebut didasarkan pada penggunaan *bandwidth transponder* yang tidak terlalu lebar.

Pada modulasi *8-PSK* perubahan *phase* terjadi pada selang waktu 3 bit (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111). Jika digunakan *MPSK* di mana $M = 2^m$ maka [6] :

$$\text{Bandwidth (BW)} = \frac{\text{Transmission Rate (R)}}{m} \dots\dots\dots(2.1)$$

Penggunaan modulasi *MQAM* ditujukan untuk mengatasi akan kebutuhan modulasi yang tinggi. Modulasi *MQAM* menyangkut perbedaan *phase* dan amplitudo. *MQAM* ini mempunyai persamaan *bandwidth* yang mirip dengan *MPSK*. Perhitungan *bandwidth* juga tergantung *code rate* yang digunakan, *overhead*, *carrier spacing* dan baik atau jeleknya *filter*. Adapun persamaan perhitungan *bandwidth* :

$$\text{Transmission Rate} = \frac{(\text{Data Rate} + \text{Overhead})}{\text{Code Rate}} \times \text{RS Coding} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Symbol Rate} = \frac{\text{Transmission Rate}}{\text{Bit per Symbol}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{BW Occupied} = 1,2 \times \text{Symbol Rate} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{BW Allocated} = (1 + \text{Carrier Spacing}) \times \text{Symbol Rate} \dots\dots\dots(2.5)$$

Pada perhitungan *transmission rate*, *RS coding* dihitung jika menggunakan pengkodean *reed-solomon*. Jika tidak menggunakan pengkodean *reed-solomon* perhitungan *transmission rate* tidak memperhitungkan *RS coding*.

2.8 Redaman Hujan

Redaman hujan merupakan redaman yang memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap propagasi gelombang di atas frekuensi 10 GHz. Nilai redaman ini adalah fungsi dari frekuensi dan curah hujan dalam mm/hour.

CCIR membagi peta dunia menjadi zona – zona sesuai dengan curah hujannya (lihat lampiran 2). Curah hujan di Indonesia termasuk besar, sehingga Indonesia termasuk tipe P (lihat lampiran 2).

Adapun persamaan perhitungan redaman hujan spesifik yang didefinisikan oleh Marshall dan Palmer [7]:

$$A_{0.01} = a \times R^b$$

Di mana :

R = curah hujan dalam prosentase waktu 0.01%

a, b = koefisien regresi untuk estimasi redaman hujan spesifik

Untuk nilai frekuensi yang tidak tercantum pada tabel koefisien regresi untuk estimasi redaman hujan spesifik (lihat lampiran 3) digunakan interpolasi sebagai berikut :

$$a_{(f)} = \text{Log}^{-1}\{\text{Log}(a_2/a_1) \cdot [\text{Log}(f/f_1)/\text{Log}(f_2/f_1)] + \text{Log}a_1\} \dots\dots(2.6)$$

$$a_{(f)} = \text{Log}^{-1}\{\text{Log}(a_2/a_1) \cdot [\text{Log}(f/f_1)/\text{Log}(f_2/f_1)] + \text{Log}a_1\} \dots\dots(2.7)$$

Di mana :

f = frekuensi yang dihitung

f_1 = frekuensi di bawah f

f_2 = frekuensi di atas f

a_1 = koefisien regresi f_1

a_2 = koefisien regresi f_2

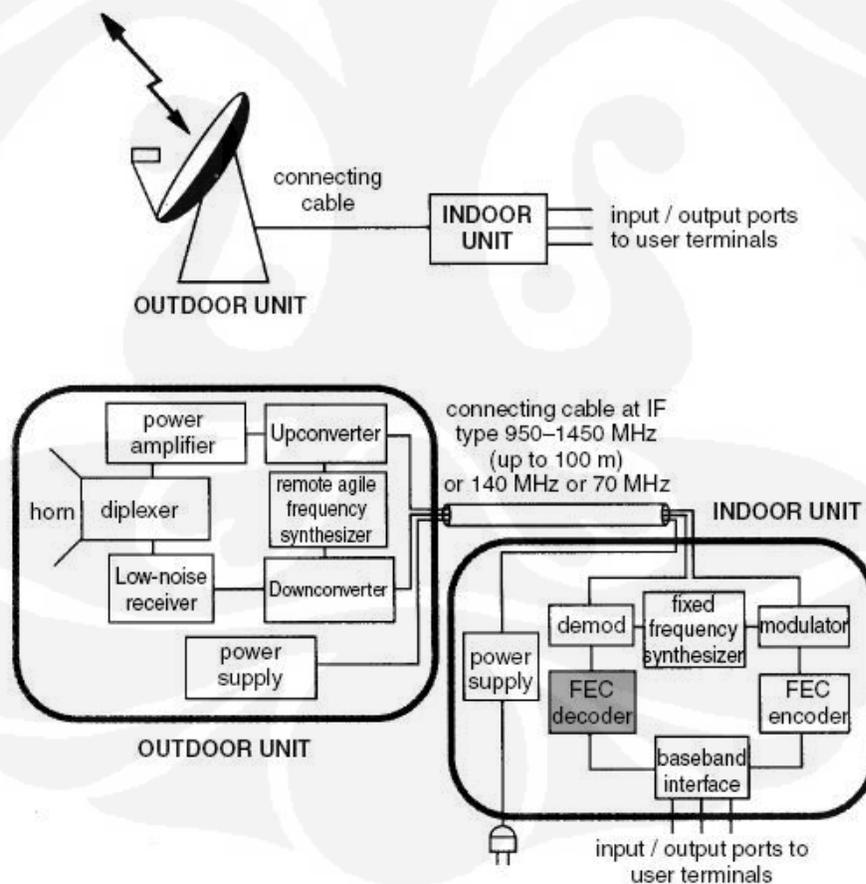
Persamaan 2.6 dan 2.7 berlaku untuk polarisasi *vertical* dan *horizontal*.

BAB 3

MEKANISME PENGKODEAAN *CONCATENATED VITERBI/REED-SOLOMON* DAN *TURBO*

Untuk proteksi terhadap kesalahan dalam transmisi, pada sinyal digital ditambahkan *bit – bit redundant* untuk mendeteksi kesalahan. Semakin banyak bit yang ditambahkan maka kemampuan untuk mendeteksi kesalahan dalam satu *frame* pengiriman akan lebih besar, dengan demikian *error* menjadi lebih kecil (*BER* lebih baik). Teknik penambahan *bit* tersebut disebut *error correction coding*.

Pada jaringan *VSAT* proses *error correction* terjadi pada blok *decoder* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

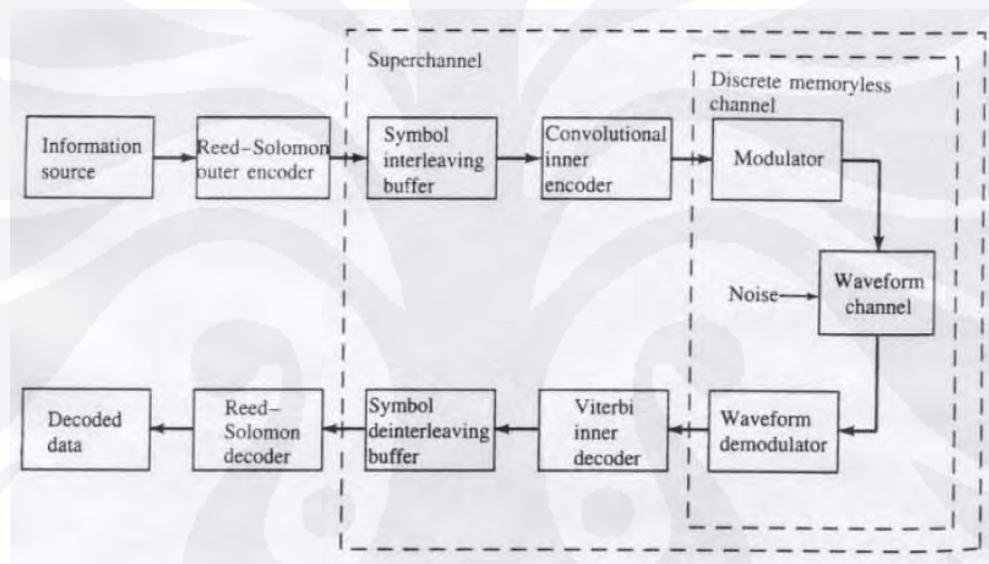


Gambar 3.1. VSAT station equipment [2] .

Pada tugas akhir ini dilakukan pengamatan sistem transmisi jaringan VSAT dengan menggunakan pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* dan *turbo*. Pengamatan dilakukan pada sisi *decoder* untuk menganalisis performansi *BER*.

3.1 Pengkodean *Concatenated Viterbi/Reed-Solomon*

Untuk mengatasi adanya *burst error* yang terjadi pada *viterbi decoding*, maka teknik *concatenated* sangat diperlukan dengan menempatkan *convolutional encoder/viterbi decoder* sebagai *inner code* dan *reed-solomon* sebagai *outer code*. Digunkannya *reed-solomon* sebagai *outer code* dikarenakan pengkodean tersebut mampu mengatasi terjadinya *burst error*.



Gambar 3.2. Serial concatenated viterbi dengan reed-solomon [8].

Pada *serial concatenated code* blok *message* pertama kali dikodekan oleh *reed-solomon encoder* yang disebut *outer code*, pengkodean yang kedua dilakukan oleh *convolutional encoder* yang disebut *inner code*. *Decoding* pada *concatenated code* dilakukan dua tahap. Yang pertama oleh *viterbi decoding* yang disebut *inner code* dan kemudian oleh *reed-solomon* yang disebut *outer code*. Penggunaan *interleaver/deinterleaver* dimaksudkan untuk mendapatkan keluaran *high weight codeword*.

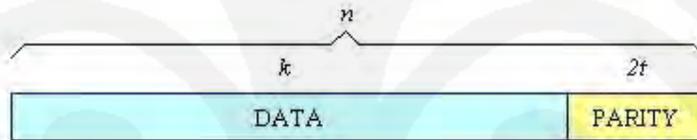
3.1.1 Pengkodean *Reed-Solomon* (RS)

Pengkodean *reed-solomon* merupakan kelas dari *linier, non-binary, cyclic block codes*. Kelas ini adalah *subfamily* dari *family linier, non-binary, cyclic BCH codes* yang merupakan generalisasi dari *Galois field GF(q)*.

3.1.1.1 Properti Pengkodean *Reed-Solomon* (RS)

Sebuah *RS code* $C_{RS}(n,k)$ mampu untuk mengoreksi *error pattern* dari ukuran t atau kurang yang didefinisikan melalui *Galois field GF(q)*. Adapun parameternya :

<i>Code length</i>	$n = q - 1$
<i>Number of parity check elements</i>	$n - k = 2t$
<i>Minimum distance</i>	$d_{\min} = 2t + 1$
<i>Error-correction capability</i>	t element error per code vector



Gambar 3.3. Diagram *reed-solomon* [9].

Jika α adalah *primitive element* dari $GF(q)$ dan $\alpha^{q-1} = 1$, sebuah *RS code* $C_{RS}(n,k)$ dengan panjang $n = q - 1$ dan dimensi k adalah *linier, cyclic*, maka blok *RS code* dalam bentuk *polynomial* [9]:

$$\begin{aligned}
 g(X) &= (X - \alpha) (X - \alpha^2) \dots (X - \alpha^{n-k}) \\
 &= (X - \alpha) (X - \alpha^2) \dots (X - \alpha^{2t}) \\
 &= g_0 + g_1X + g_2X^2 + \dots + g_{2t-1}X^{2t-1} + g_{2t}X^{2t} \dots \dots \dots (3.1)
 \end{aligned}$$

3.1.1.2 Bentuk Sistemik *RS code*

Polynomial dibentuk dengan koefisien – koefisien yang merupakan unsur – unsur dari *Galois field GF(2^m)*. Kode *polynomial* adalah perkalian dari generator *polynomial g(X)* termasuk semua akar – akarnya.

Bentuk *message polynomial* [9] :

$$m(X) = m_0 + m_1X + \dots + m_{k-1}X^{k-1} \dots \dots \dots (3.2)$$

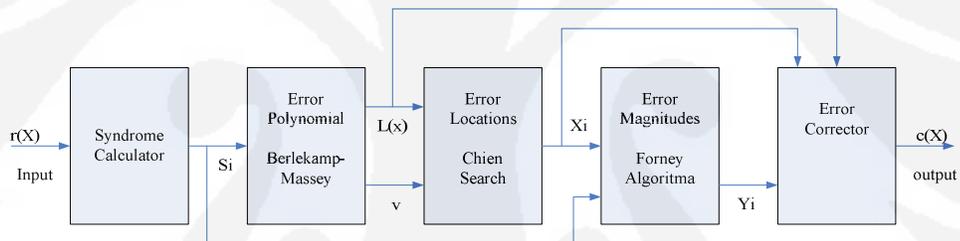
Message polynomial ini juga dibentuk dengan koefisien – koefisien yang merupakan elemen – elemen dari *Galois field* $GF(2^m)$. Bentuk sistematis dari pengkodean ini diperoleh dengan cara yang sama untuk *binary BCH codes*.

Adapun bentuk sistematis *RS code* [9]:

$$X^{n-k}m(X) = q(X)g(X) + p(X) \dots\dots\dots(3.3)$$

3.1.1.3 Decoder Reed-Solomon

Reed-solomon decoder mencoba untuk mengkoreksi *error* dengan menghitung *syndromes* untuk setiap *codeword*. *Syndromes decoder* mampu menentukan jumlah *error* pada blok penerima. Jika ada *error* yang terjadi, *decoder* mencoba untuk menemukan lokasi *error* menggunakan algoritma *Berlekamp-Massey*. Untuk menemukan akar – akar *polynomial* menggunakan algoritma *Chien search*. Algoritma *Forney's* digunakan untuk menemukan nilai simbol *error* dan mengkoreksinya. Untuk sebuah *RS* (n , k) kode di mana $n - k = 2t$, *decoder* dapat mengkoreksi sampai t simbol *error* pada *codeword*.



Gambar 3.4. Arsitektur umum *decoder RS* [9].

Di mana :

- r(x) : *Received codeword*
- Si : *Syndromes*
- L(x) : *Error locator polynomial*
- Xi : *Error locations*
- Yi : *Error magnitudes*
- c(x) : *Recovered codeword*
- v : *number of error*

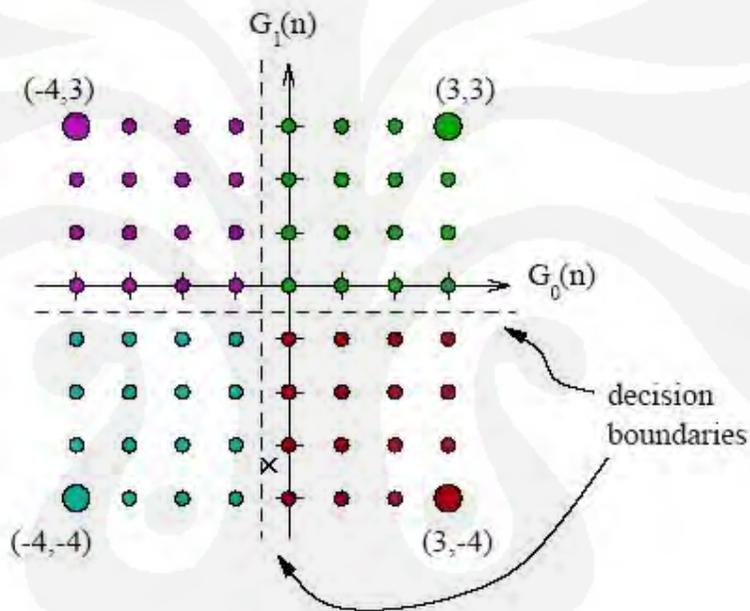
3.1.2 Pengkodean Viterbi

Algoritma *viterbi* adalah metode yang umumnya digunakan untuk medekodekan *bit streams* yang dikodekan oleh *convolution coders*. Algoritma

viterbi bukan satu – satunya algoritma yang bisa digunakan untuk mendekodekan *bit streams* dari *convolution coder*.

3.1.2.1 Viterbi Decoding

Viterbi decoding dapat rinci menjadi dua operasi yaitu *metric update* dan *traceback*. Pada *metric update*, dua hal dikerjakan pada setiap simbol interval (1 simbol = 1 *input bit* = 2 *encoded bits*). Akumulasi *state metric* di kalkulasi untuk setiap *state* dan optimal *incoming path* dihubungkan dengan setiap *state* yang ditentukan. *Traceback* menggunakan informasi ini untuk memperoleh optimal *path* melalui *trellis*.

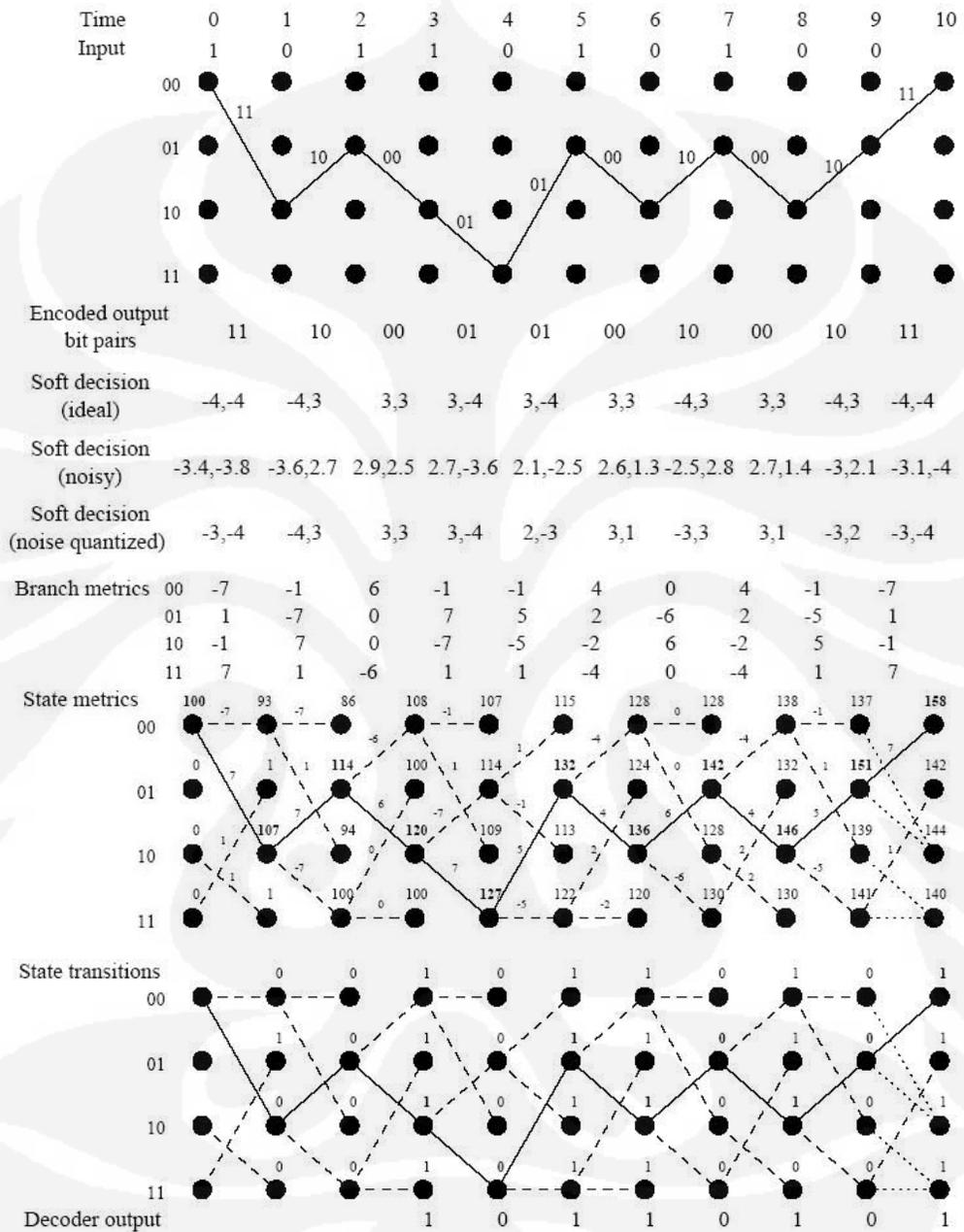


Gambar 3.5. Sinyal *constellation* untuk diteksi *symbol by symbol* [10].

Untuk memahami operasi *metric* yang digunakan pada *viterbi decoding*, pasangan bit ($G_0(n)$, $G_1(n)$) dianggap sebagai *encoded bit* yang diterima. Misalkan 1 1 ditransmisikan, kita mengharapkan 1 1 diterima dengan *soft decision pair* dari (-4, -4). Akan tetapi, *noise channel* mungkin merusak sinyal yang ditransmisikan sehingga *soft decision pair* yang diterima (-0.4, -3.3) dan nilai hasil kuantisasi (0, -3) yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Traceback dimulai setelah *metric update* menyelesaikan simbol terakhir pada *frame*. Transisi *state* dibutuhkan oleh *traceback* algoritma untuk *frame by frame viterbi decoding*.

Contoh *convolutional encoding* dan *viterbi decoding* dengan data input 1011010100 [10] :

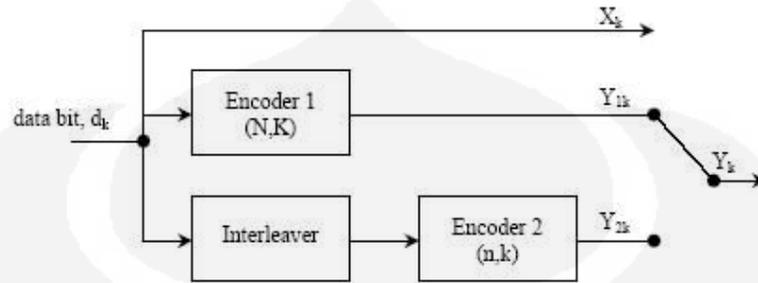


3.2 Pengkodean Turbo

3.2.1 Parallel Concatenation

Pengkodean *turbo* adalah *parallel concatenation* dari dua atau lebih sistematis pengkodean. Sistematis pengkodean adalah salah satu dari keluaran

menjadi bit – bit masukan. Gambar 3.6 menunjukkan blok diagram dari *rate 1/3 turbo encoder* [11]:



Gambar 3.6. *Parallel concatenation* [11].

Keluaran dari *encoder* pada waktu k adalah X_k dan Y_k . X_k selalu sama dengan d_k masukan dari data bit dan Y_k terdiri dari Y_{1k} dan Y_{2k} yang merupakan keluaran dari *encoder 1* dan *encoder 2*. Ketika keluaran dari *encoder 1* dipilih pada waktu n_1 dan keluaran dari *encoder 2* dipilih pada waktu n_2 , maka ratenya adalah [11]:

$$R_1 = \frac{n_1+n_2}{2n_1 + n_2} \text{ dan } R_2 = \frac{n_1+n_2}{2n_2 + n_1} \dots\dots\dots(3.4)$$

Adapun *rate R* dari hasil pengkodean [11]:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - 1 \dots\dots\dots(3.5)$$

Satu keuntungan yang penting menggunakan *parallel concatenation* adalah diizinkan menggunakan *single clock feeding* pada kedua *encoder*.

3.2.2 Interleaver

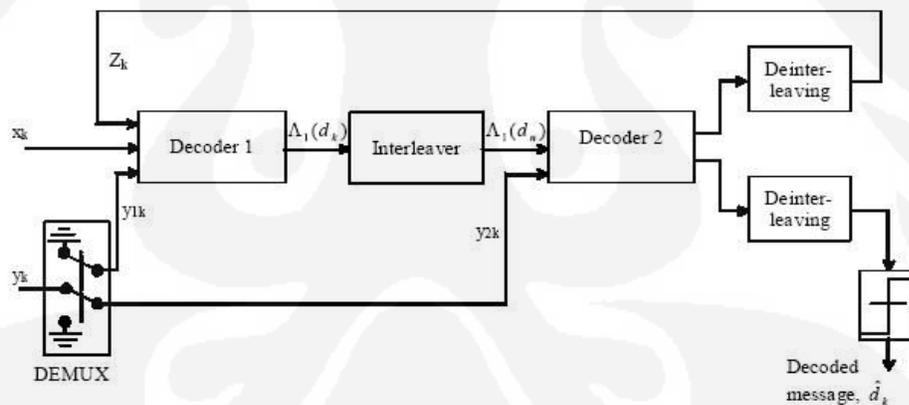
Interleaver diletakkan sebelum masukan *bit sequence* dilalui oleh *encoder 2*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Adapun tujuan meletakkan *interleaver* sebelum *encoder 2* adalah untuk mendapatkan keluaran *high weight codeword* pada *encoder 2* jika keluaran dari *encoder 1* menjadi *low weight codeword*. Penggunaan *interleaver* pada pengkodean *turbo* adalah untuk mengurangi *bit – bit error* dengan mendapatkan keluaran *high weight codeword* dari *encoder*.

3.2.3 Puncturing

Puncturing didefinisikan sebagai penghapusan selektif dari beberapa *parity bits* [12]. *Puncturing* digunakan untuk meningkatkan *coded data rate*. Mengacu pada Gambar 3.6, *puncturing* dapat tercapai dengan membawa *bit – bit* genap ke *encoder 1* dan *bit – bit* ganjil ke *encoder 2*. Adapun *bit – bit* ganjil pada *encoder 1* dan *bit – bit* genap pada *encoder 2* dihapus. Pada kasus ini, *coded bit rate* meningkat dari $1/3$ menjadi $1/2$. Operasi *puncturing* dilakukan dengan menggunakan *multiplexer*.

3.2.4 Turbo Decoding

Turbo decoder terdiri dari dua *decoder* dasar yang disusun secara *serial*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Masukan *decoder 1* adalah sistematis bit X_k , informasi *redundant encoding* y_{1k} dan yang ke tiga Z_k , yang merupakan *feedback* dari *decoder 2*. *Decoder 2* menerima informasi dari *decoder 1* dan masukan *redundant* y_{2k} . Kemudian *decoder 2* membuat keputusan terakhir berdasarkan informasi kumulatif dari setiap *bit*.



Gambar 3.7. Turbo decoder [11].

Persyaratan yang penting untuk *iterative decoding* adalah kemampuan untuk mengkalkulasi *soft decision values* untuk setiap data *bit*. Oleh karena itu, dipilih pendekatan yang memproses *bit – bit* oleh *decoding* algoritma yang memaksimalkan kemungkinan *posteriori* dari setiap *bit*. Algoritma itu disebut

Maximum A posteriori Probability (MAP) . Statistik *soft decision* umumnya diwakili oleh *Log Likelihood Ratio (LLR)* .

Algoritma *MAP* menggunakan *LLR* sebagai sebuah *metric*. *LLR* tidak segera tersedia dan dihitung oleh terminologi sederhana.

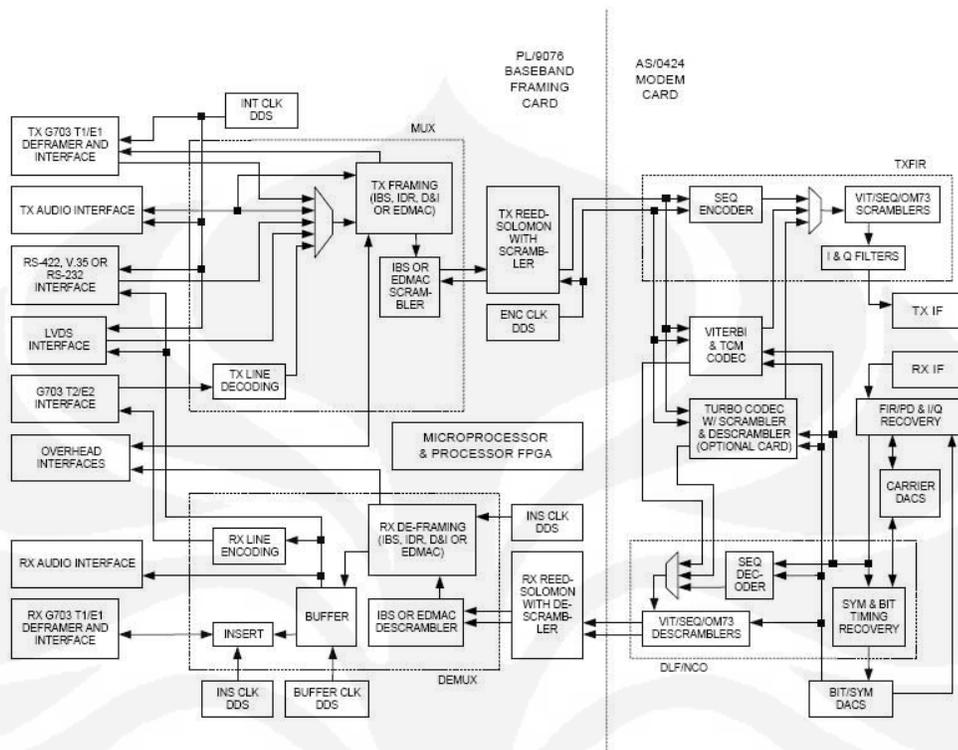
Algoritma *MAP* memisahkan *LLR* ke dalam 3 *terms* yaitu α , β dan γ yang memungkinkan untuk menghitung pada observasi dari seluruh urutan yang diterima

3.3 Blok Diagram Modem Comtech CDM 600

Modem Comtech CDM 600 mempunyai dua tipe *interface* yang berbeda yaitu *IF* dan data. *Interface* data menghubungkan perangkat pelanggan dan *modem*. Sedangkan *interface IF* menghubungkan *modem* ke satelit melalui perangkat *uplink* dan *downlink*.

Transmit data diterima oleh *terrestrial interface* dimana jalur penerima mengkonversi sinyal – sinyal *clock* dan data menjadi *CMOS* level untuk proses selanjutnya. Jika *framing* diaktifkan, transmit *clock* dan keluaran data dari *FIFO (First In First Out)* akan dilewatkan ke dalam bentuk *frame* yang diinginkan. Jika *framing* tidak diaktifkan *clock* dan data akan dilewatkan secara langsung ke *forward Error Correction encoder*. Di *FEC encoder* data dikodekan sesuai dengan pengkodean yang digunakan. Melalui *encoder*, data difilter oleh transmit *digital filter* yang menunjukkan bentuk *spectral* dari sinyal – sinyal data. *Resultant* dari sinyal *I* dan *Q* dimasukkan ke dalam *BPSK, QPSK, 8-PSK* atau *16-QAM modulator*. *Carrier* dihasilkan oleh *frequency synthesizer* dan sinyal - sinyal *I* dan *Q* memodulasi *carrier* untuk menghasilkan keluaran sinyal *IF*.

Pada sisi penerima, sinyal *Rx -IF* diterjemahkan menjadi sinyal *baseband* menggunakan *carrier recovery VCO*. Hasil dari sinyal tersebut dipisah menjadi komponen *in-phase (I)* dan *quadrature (Q)*. Kemudian sinyal *I* dan *Q* di lakukan *sampling* oleh *A/D converter*. Hasil demodulasi sinyal dimasukkan ke dalam *FEC decoder* (*viterbi, reed-solomon* atau *turbo*). Setelah *decoding* dilakukan, sinyal *clock* dan data dilakukan *de-framing* jika *framing* diaktifkan. Jika tidak data akan dilalui ke *Doppler buffer*. Sinyal *clock* dan data yang diterima akan diarahkan ke *terrestrial interface*.



Gambar 3.8. Blok Diagram Modem CDM 600 [13].

BAB 4

ANALISIS PERFORMANSI JARINGAN

Untuk melakukan analisis dari performansi *Bit Error Rate (BER)* diperlukan data – data yang menunjang analisis tersebut. Untuk mendapatkan data – data tersebut dilakukan pengukuran dan pengamatan dengan menggunakan stasiun bumi dan perangkat yang mendukung seperti *modem Comtech CDM 600, Up/Down Converter, SSPA, LNA, Spectrum Analyzer*, dan antena.

Untuk mendapatkan data – data *Bit Error Rate (BER)* dibuat suatu jaringan *point-to-point Single Carrier Per Channel (SCPC)* dengan spesifikasi dan parameter perangkat yang digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Untuk perangkat *Indoor Unit* digunakan *modem Comtech CDM 600*. Adapun spesifikasi *modem Comtech CDM 600* sebagai berikut :

Tabel 4.1. Spesifikasi *modem Comtech CDM 600*[13].

Parameter	Spesifikasi
Modulasi	<i>8-PSK dan 16-QAM</i>
<i>Data Rate</i>	2.048 Mbps
<i>Coding</i>	<i>Turbo, RS, Viterbi</i>
<i>IF Frequency range</i>	52 s/d 88 MHz
<i>Code Rate</i>	3/4
<i>EDMAC</i>	Aktif (<i>Overhead 5%</i>)
<i>Tx Power</i>	0 s/d -20 dBm
<i>RS</i>	200/180
<i>IF Connectors</i>	BNC

Untuk perangkat *Outdoor Unit* digunakan *Up/Down Converter* codan, *SSPA*, *LNA* dan antena. Adapun parameter dan spesifikasi *converter* yang digunakan :

Tabel 4.2 Spesifikasi *Up/Down Converter* [14].

Parameter	Spesifikasi
<i>Uplink frequency range</i>	5850 s/d 6425 MHz
<i>Downlink frequency range</i>	3625 s/d 4200 MHz
<i>Transmit attenuator range</i>	0 s/d 25 dB
<i>Receive attenuator range</i>	0 s/d 30 dB
<i>Connector</i>	<i>N-type female</i>

IF center frequency yang digunakan yaitu 76.5 MHz sedangkan *RF uplink center frequency*nya yaitu 6251.5 MHz dan *RF downlink frequency*nya yaitu 4026.5 MHz. Satelit yang digunakan adalah satelit Telkom 2 *transponder* 8 vertikal. Pengukuran untuk mendapatkan data – data *BER* dilakukan pada kondisi cuaca cerah.

4.1 Analisis *BER* dengan Pengkodean *Turbo*

Untuk menganalisis kualitas informasi, salah satu kriteria adalah nilai *BER* yang di peroleh. Semakin kecil *BER* maka kualitas link semakin bagus. Nilai *BER* yang diperoleh berkaitan dengan nilai *Eb/No* di sisi penerima. Pada tugas akhir ini, analisis *BER* dilakukan untuk dua modulasi yang berbeda yaitu *8-PSK* dan *16-QAM*.

4.1.1 Modulasi *8-PSK*

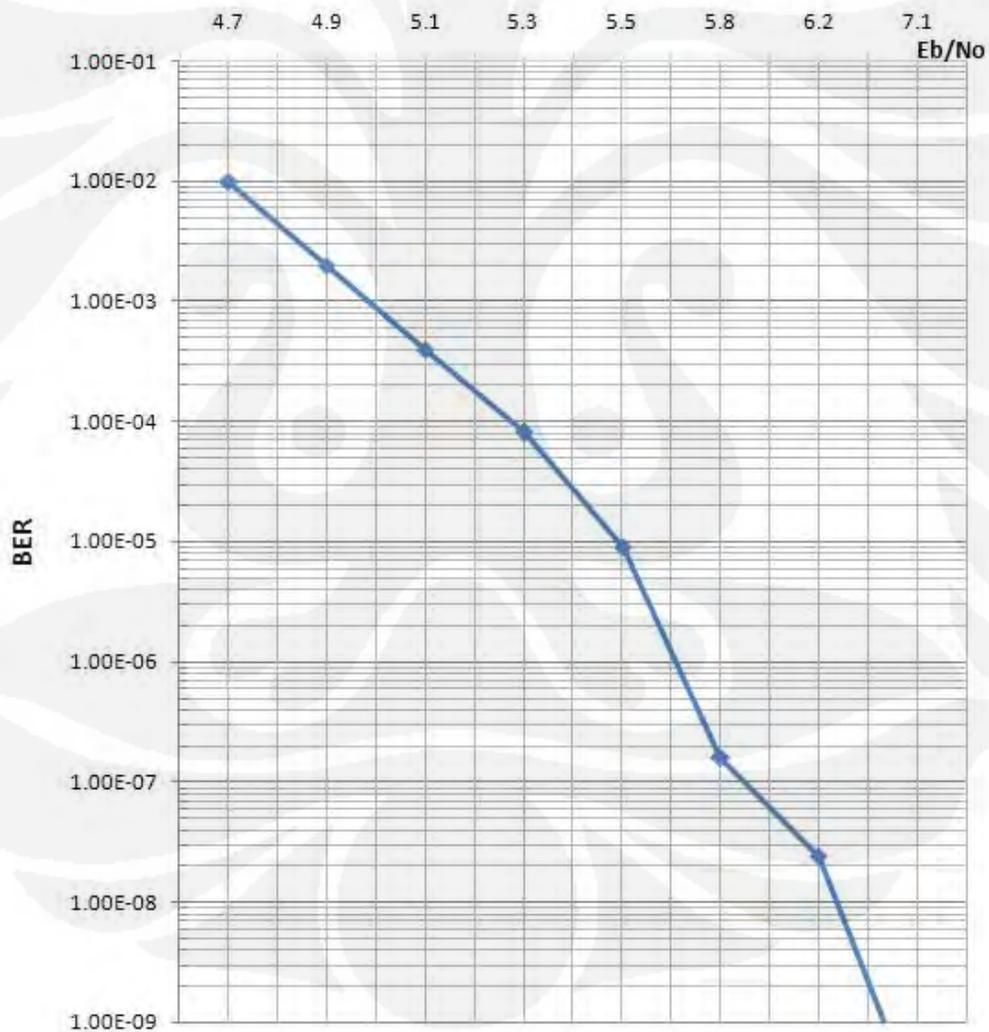
Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di sisi penerima didapat data *BER* dan *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data *BER* dan *Eb/No* dengan modulasi *8-PSK* pengkodean *turbo*.

<i>BER</i>	<i>Eb/No</i>
1.0 x E-2	4.7 dB

2.0 x E-3	4.9 dB
4.0 x E-4	5.1 dB
8.0 x E-5	5.3 dB
9.0 x E-6	5.5 dB
1.6 x E-7	5.8 dB
2.4 x E-8	6.2 dB
0.2 x E-9	7.1 dB

Dari Tabel 4.3, diperoleh grafik *BER* terhadap *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik *BER* terhadap *Eb/No* Modulasi 8-PSK pengkodean turbo.

Dari grafik *BER* terhadap *Eb/No*, dengan *Eb/No* 7.1 dB diperoleh *BER* 0.2×10^{-9} . *Power modem* yang dibutuhkan untuk mendapatkan *BER* 0.2×10^{-9} adalah -16.6 dBm dengan *transmit attenuator* 21 dB. Sedangkan dengan *Eb/No* 4.7 dB diperoleh *BER* 1.0×10^{-2} , pada kondisi tersebut *modem* masih bisa *receive* dengan kondisi *link flicker*. Hal ini dikarenakan *noise* yang begitu besar yang mengakibatkan banyak *error* yang terjadi. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan *increase power* sehingga *Eb/No* akan semakin besar dan *BER* akan semakin kecil.

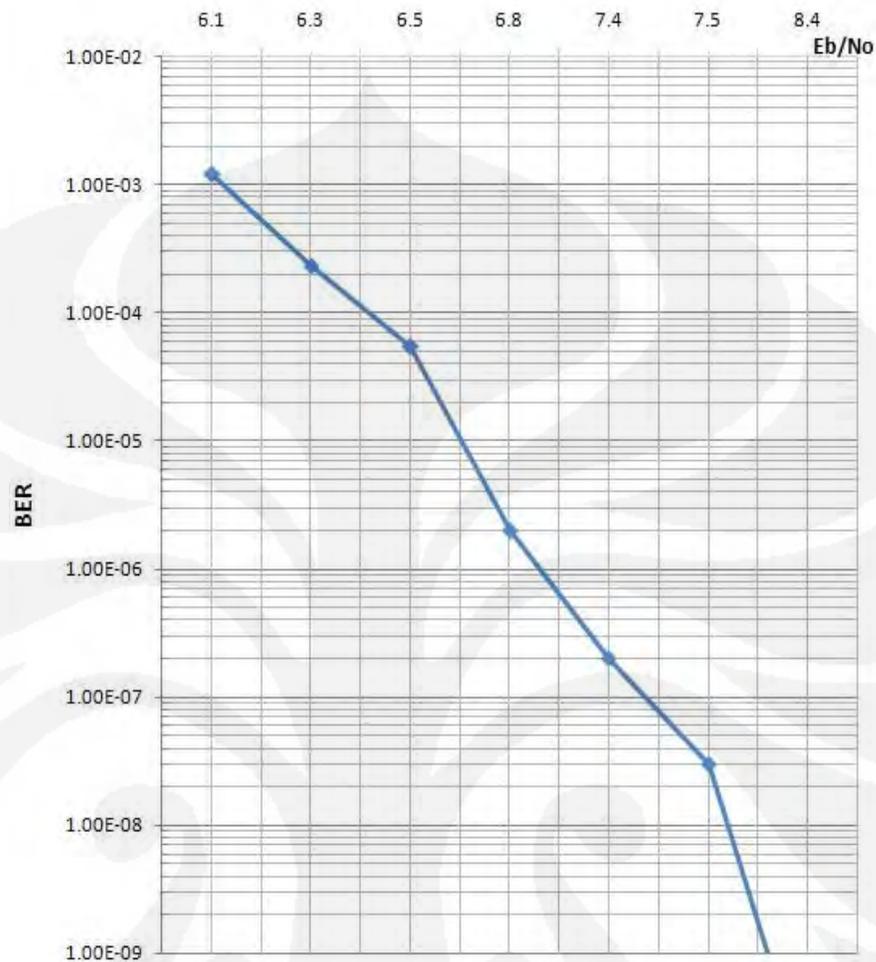
4.1.2 Modulasi 16-QAM

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di sisi penerima didapat data *BER* dan *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data *BER* dan *Eb/No* dengan modulasi 16-QAM pengkodean *turbo*.

<i>BER</i>	<i>Eb/No</i>
1.2 x E-3	6.1 dB
2.3 x E-4	6.3 dB
5.5 x E-5	6.5 dB
2.0 x E-6	6.8 dB
2.0 x E-7	7.4 dB
3.0 x E-8	7.5 dB
0.1 x E-9	8.2 dB

Dari Tabel 4.4, diperoleh grafik *BER* terhadap *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik *BER* terhadap *E_b/N_o* Modulasi *16-QAM* pengkodean *turbo*.

Dari grafik *BER* terhadap *E_b/N_o*, dengan *E_b/N_o* 8.2 dB diperoleh *BER* 0.1×10^{-9} . Sedangkan dengan *E_b/N_o* 7.1 dB pada modulasi *8-PSK* diperoleh *BER* 0.2×10^{-9} . Performansi modulasi *8-PSK* ± 1.1 dB lebih baik dibanding modulasi *16-QAM*. Untuk *E_b/N_o* di bawah 6.1 dB *modem* sudah tidak bisa *receive* dikarenakan banyak *error* yang terjadi yang diakibatkan oleh *noise* yang begitu besar.

Power modem yang dibutuhkan untuk mendapatkan *BER* 0.1×10^{-9} pada modulasi *16-QAM* adalah -15,8 dBm dengan *transmit attenuator* 21 dB. Dibandingkan dengan modulasi *8-PSK* untuk mendapatkan *BER* 10^{-9} *power* modem yang digunakan untuk modulasi *16-QAM* lebih besar. Penggunaan *power* harus dioptimasi karena penggunaan *power* yang besar mengakibatkan perangkat cepat rusak dan saturasi. Untuk menjaga performansi *BER* perlu ditambahkan *margin* dan perlu diperhatikan juga kondisi dari *ground segment*, seperti *pointing*

antenna, cross polarization isolation (CPI), redaman hujan, kondisi *modem* dan interferensi.

4.2 Analisis BER dengan Pengkodean *Concatenated Viterbi/Reed-Solomon*

Selain dengan pengkodean *turbo*, dilakukan juga pengamatan dan pengukuran BER dengan menggunakan pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*. Pengkodean *viterbi* digunakan untuk mengatasi terjadinya *random error* dan pengkodean *reed-solomon* digunakan untuk mengatasi terjadinya *burst error*. Pada tugas akhir ini, analisis BER dilakukan untuk dua modulasi yang berbeda yaitu *8-PSK* dan *16-QAM*.

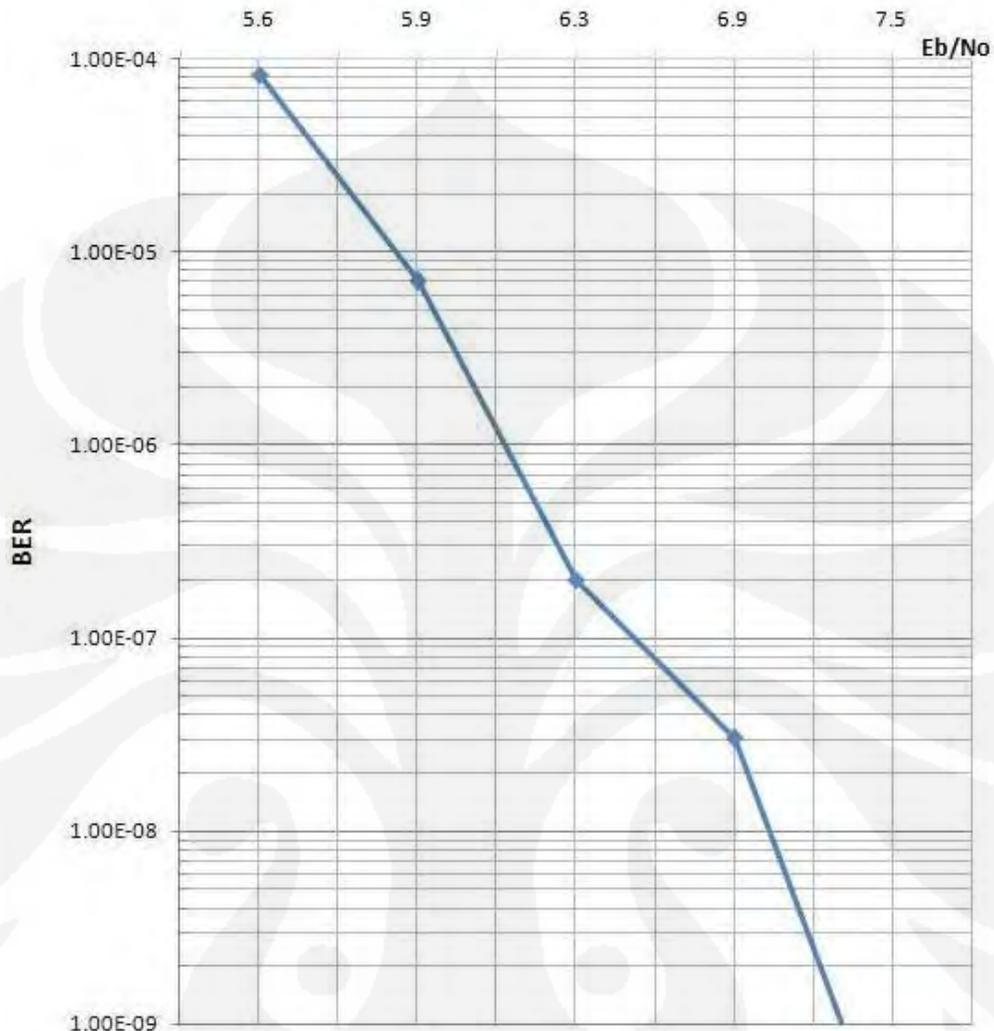
4.2.1 Modulasi *8-PSK*

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di sisi penerima didapat data BER dan *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data BER dan *Eb/No* dengan modulasi *8-PSK* pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*.

<i>BER</i>	<i>Eb/No</i>
8.2 x E-5	5.6 dB
7.0 x E-6	5.9 dB
2.0 x E-7	6.3 dB
3.0 x E-8	6.9 dB
0.2 x E-9	7.5 dB

Dari Tabel 4.5, diperoleh grafik BER terhadap *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik *BER* terhadap *E_b/N_o* Modulasi 8-PSK pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*.

Dari grafik *BER* terhadap *E_b/N_o* pada pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*, dengan *E_b/N_o* 7.5 dB diperoleh *BER* 0.2×10^{-9} . Sedangkan pada *E_b/N_o* 5.6 dB, *BER* yang diperoleh 8.2×10^{-5} , di mana pada kondisi tersebut *error* yang terjadi begitu banyak yang diakibatkan oleh noise yang begitu besar. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan *increasing power* sisi *transmit* sehingga *carrier to noise* lebih besar dan *E_b/N_o* yang diterima juga semakin besar. *Increasing power* yang begitu besar dapat mengakibatkan perangkat cepat rusak dan saturasi. Oleh karena itu, perlu diperhatikan juga kondisi *ground segment* seperti *pointing antenna*, *cross polarization isolation (CPI)*, *Adjacent Satellite Interference*.

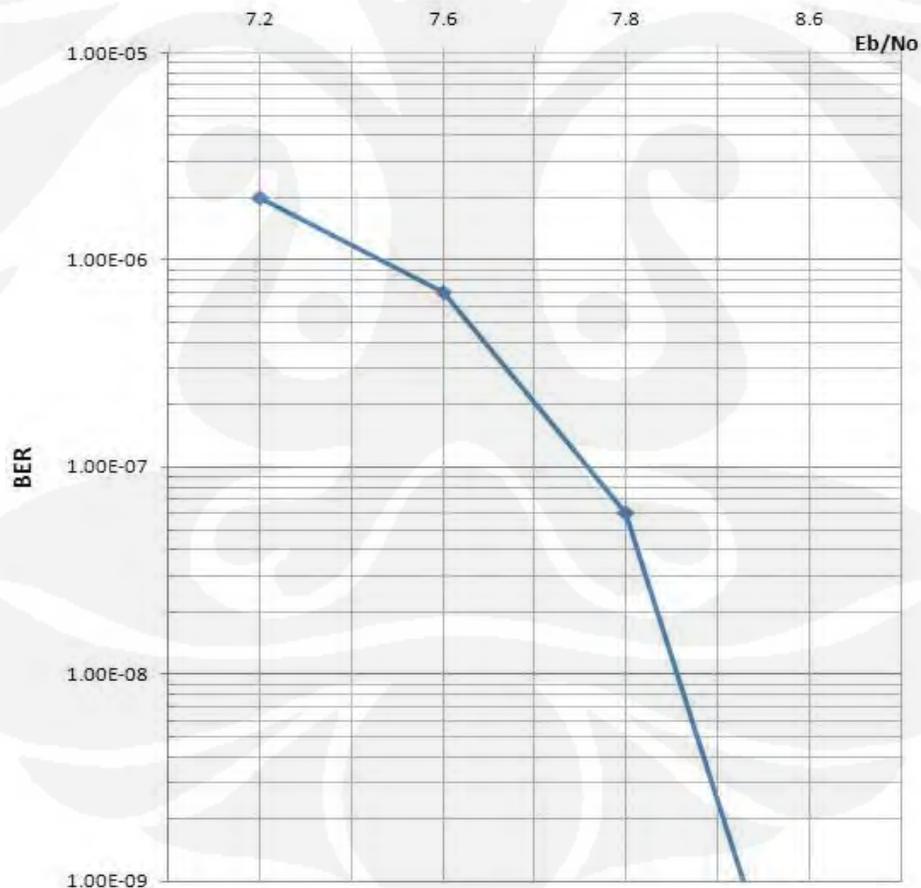
4.2.2 Modulasi 16-QAM

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di sisi penerima didapat data *BER* dan *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data *BER* dan *Eb/No* dengan modulasi 16-QAM pengkodean concatenated viterbi/reed-solomon.

<i>BER</i>	<i>Eb/No</i>
2.0×10^{-6}	7.2 dB
7.0×10^{-7}	7.6 dB
6.0×10^{-8}	7.8 dB
0.1×10^{-9}	8.6 dB

Dari Tabel 4.6, diperoleh grafik *BER* terhadap *Eb/No* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik *BER* terhadap *Eb/No* Modulasi 16-QAM pengkodean concatenated viterbi/reed-solomon.

Dari grafik *BER* terhadap *Eb/No* pada pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon*, dengan *Eb/No* 8.6 dB diperoleh *BER* 0.1×10^{-9} . Sedangkan pada *Eb/No* 7.2 dB, *BER* yang diperoleh 2.0×10^{-6} , di mana pada kondisi tersebut *error* yang terjadi begitu banyak yang diakibatkan oleh *noise* yang begitu besar.

ada pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon* modulasi *8-PSK*, dengan *Eb/No* 7.5 dB diperoleh *BER* 0.2×10^{-9} . Performansi modulasi *8-PSK* ± 1.1 dB lebih baik dibanding modulasi *16-QAM*. Performansi modulasi *8-PSK* lebih baik dibanding *16-QAM* dikarenakan lebar *bandwidth* modulasi *8-PSK* lebih besar dibanding *16-QAM* sehingga tidak membutuhkan *power* yang besar untuk memperoleh *BER* 0.2×10^{-9} .

4.3 Perbandingan Performansi *BER* Pengkodean *Turbo* dan *Concatenated ViterbilReed-Solomon*

4.3.1 Modulasi *8-PSK*

Dari grafik *BER* terhadap *Eb/No* modulasi *8-PSK* dengan pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, dengan *Eb/No* 7.5 dB diperoleh *BER* 0.2×10^{-9} . Sedangkan pada pengkodean *turbo* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dengan *Eb/No* 7.1 dB diperoleh *BER* 0.2×10^{-9} . Performansi pengkodean *turbo* 0.4 dB lebih baik dari pada pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon*.

Pada saat *Eb/No* < 5.6 dB *modem* sudah tidak bisa *receive*. Sedangkan untuk pengkodean *turbo* modulasi *8-PSK* *Eb/No* < 5.6 dB *modem* masih bisa *receive* meskipun dalam kondisi *link flicker*. Hal ini dikarenakan *design modem* untuk pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon* mempunyai nilai *threshold Eb/No* di mana pada kondisi tersebut demodulasi dan *decoder* tidak bisa sinkronisasi. Pada modem Comtech CDM 600, nilai *Eb/No threshold* untuk pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon* dengan *rate* 1/2 adalah sekitar 4 dB [4]. Sedangkan untuk *rate* 3/4 berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran nilai *Eb/No threshold* sekitar 5 dB. Besarnya nilai *threshold* juga dipengaruhi oleh kondisi perangkat yang digunakan dan *noise channel*. Tetapi di atas nilai *Eb/No threshold* tersebut performansi *error* untuk pengkodean *concatenated*

viterbi/reed-solomon, nilai *bit error rate* yang kecil dapat diperoleh dengan kenaikan *Eb/No* yang kecil.

Tidak seperti pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*, pengkodean *turbo* merupakan metode pengkodean yang berdiri sendiri. Pengkodean *turbo* tidak membutuhkan *interleaving/de-interleaving* yang kompleks seperti pada *RS* dan sebagai konsekuensinya bisa mengurangi *decoding delay*. Pada pengkodean *turbo* tidak mengenal adanya nilai *threshold Eb/No* seperti halnya pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*. Jika *modem* tidak bisa sinkronisasi itu dikarenakan *noise* di *channel* sangat besar dan ini dianggap sebagai karakteristik *fading environment*. Untuk modulasi *8-PSK* pengkodean *turbo* berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran, demodulasi dan *decoder* bisa sinkronisasi sekitar 0.9 dB di bawah pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*.

4.3.2 Modulasi 16-QAM

Dari grafik *BER* terhadap *Eb/No* pada pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 , dengan *Eb/No* 8.6 dB diperoleh *BER* 0.1×10^{-9} . Sedangkan pada pengkodean *turbo* modulasi *16-QAM* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dengan *Eb/No* 8.2 dB diperoleh *BER* 0.1×10^{-9} . Performansi pengkodean *turbo* modulasi *16-QAM* 0.4 dB lebih baik dari pada pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*.

Pada saat *Eb/No* < 7.2 dB pada pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* *modem* sudah tidak bisa *receive*. Sedangkan untuk pengkodean *turbo* dengan *Eb/No* < 7.2 dB *modem* masih bisa *receive* meskipun dalam kondisi *link flicker*. Seperti yang dijelaskan pada subbab 4.3.1, untuk modulasi *16-QAM* pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran nilai *Eb/No* sekitar 7 dB. Tetapi di atas nilai *Eb/No threshold* tersebut performansi error untuk pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*, nilai *bit error rate* yang kecil dapat diperoleh dengan kenaikan *Eb/No* yang kecil. Sedangkan, untuk modulasi *16-QAM* pengkodean *turbo* berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran, demodulasi dan *decoder* bisa sinkronisasi sekitar 1.1 dB di bawah pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*.

4.4 Analisis Bandwidth

4.4.1 Modulasi 8-PSK

Bit per symbol modulasi 8-PSK adalah 3. Dengan *data rate* 2048 Kbps, *overhead* untuk sistem EDMAC 5%, *code rate* 3/4, *carrier spacing* 0,4 dan *RS* 200/180, maka dengan persamaan 2.2 sampai 2.5 perhitungan *bandwidth* sebagai berikut :

$$\text{Transmission Rate} = \frac{(2048 + 102,4)}{3/4} = 2867,2$$

$$\text{Symbol Rate} = \frac{2867,2}{3} = 955,74$$

$$\text{BW Occupied} = 1,2 \times 955,74 = 1146,89$$

$$\text{BW Allocated} = (1 + 0,4) \times 955,74 = 1338,036 \text{ KHz}$$

Dari perhitungan di atas, untuk modulasi 8-PSK dialokasikan *bandwidth* sebesar 1338,036 KHz untuk pengkodean *turbo*. Sedangkan pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon* dialokasikan *bandwidth* {1338,036 KHz x (200/180)} = 1486,7 KHz.

4.4.2 Modulasi 16-QAM

Bit per symbol modulasi 16-QAM adalah 4. Dengan *data rate* 2048 Kbps, *overhead* untuk sistem EDMAC 5% dan *code rate* 3/4, *carrier spacing* 0,4 dan *RS* 200/180 maka dengan persamaan 2.2 sampai 2.5 perhitungan *bandwidth* sebagai berikut :

$$\text{Transmission Rate} = \frac{(2048 + 102,4)}{3/4} = 2867,2$$

$$\text{Symbol Rate} = \frac{2867,2}{4} = 716,8$$

$$\text{BW Occupied} = 1,2 \times 716,8 = 860,16$$

$$\text{BW Allocated} = (1 + 0,4) \times 716,8 = 1003,52 \text{ KHz}$$

Dari perhitungan di atas, untuk modulasi 16-QAM dialokasikan *bandwidth* sebesar 1003,52 KHz. Sedangkan pengkodean *concatenated viterbilreed-solomon* dialokasikan *bandwidth* {1003,52 KHz x (200/180)} = 1115,03 KHz.

Lebar *bandwidth* modulasi 8-PSK lebih besar dibanding modulasi 16-QAM baik untuk pengkodean *turbo* maupun untuk pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*. Sedangkan untuk modulasi yang sama, *bandwidth* pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* lebih lebar dibanding pengkodean *turbo*. Untuk modulasi 8-PSK *bandwidth* pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* lebih lebar 148,664 KHz dan untuk modulasi 16-QAM pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* lebih lebar 111,51 KHz.

Selain jenis modulasi, besarnya *code rate* juga mempengaruhi lebar *bandwidth*. Dikarenakan lebar *bandwidth* untuk modulasi 8-PSK lebih lebar dibanding 16-QAM, *power* yang dibutuhkan untuk memperoleh nilai *Eb/No* yang besar pada modulasi 8-PSK lebih kecil dibanding modulasi 16-QAM. Oleh karena itu, dengan modulasi 8-PSK lebih bagus performansinya.

Dari segi biaya sewa *bandwidth transponder* satelit Telkom 2 di mana harga sewa 1 MHz tanggal 1 Juni 2008 adalah USD \$2500 (*sumber dari PT Patrakom*), untuk modulasi 8-PSK lebih mahal dibanding 16-QAM. Dari data tersebut harga sewa *bandwidth* modulasi 8-PSK untuk pengkodean *turbo* adalah USD \$3345,09 sedangkan modulasi 16-QAM untuk pengkodean *turbo* harga sewa *bandwidth* USD \$2508,8. Sedangkan harga sewa *bandwidth* untuk pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* modulasi 8-PSK adalah USD \$3716,75 dan modulasi 16-QAM adalah USD \$2787,575. Oleh karena itu, pemilihan jenis modulasi untuk daerah – daerah yang akan dibangun stasiun bumi yang digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* harus diperhatikan agar *bandwidth transponder* dapat dioptimasi dan performansi *link* tetap bagus. Selain itu juga, perlu diperhatikan biaya yang dikeluarkan.

4.5 Analisis Redaman Hujan

Curah hujan di Indonesia termasuk besar, Indonesia termasuk tipe P (lihat lampiran 2). Untuk *availability* 99.99% nilai curah hujan pada tabel persentase curah hujan (lihat lampiran 3) 145 mm/hour sedangkan untuk *availability* 99.97% nilai curah hujan 105 mm/hour. Frekuensi *RF uplink* yang digunakan 6251.5 MHz, *RF downlink* 4026.5 MHz dan menggunakan polarisasi vertikal. Untuk perhitungan koefisien regresi *a* dan *b* digunakan persamaan 2.6 dan 2.7. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

- Untuk arah *uplink*

$$a_{(f)} = \text{Log}^{-1}\{\text{Log}(a_2/a_1) \cdot [\text{Log}(f/f_1)/\text{Log}(f_2/f_1)] + \text{Log}a_1\}$$

$$a_{(f)} = \text{Log}^{-1}\left\{\text{Log}(0.00265/0.00155) \cdot \left[\frac{\text{Log}(6,2515/6)}{\text{Log}(7/6)}\right] + \text{Log}0.00155\right\}$$

$$a_{(f)} = 0.001788$$

$$b_{(f)} = \{(b_2 - b_1) \cdot [\text{Log}(f/f_1)/\text{Log}(f_2/f_1)] + b_1\}$$

$$b_{(f)} = \left\{(1.312 - 1.265) \cdot \left[\frac{\text{Log}(6,2515/6)}{\text{Log}(7/6)}\right] + 1.265\right\}$$

$$b_{(f)} = 1.2775$$

$$A_{0.01} = a \times R^b = 0.001788 \times 145^{1.2775} = 1.032 \text{ dB/Km}$$

$$A_{0.03} = a \times R^b = 0.001788 \times 105^{1.2775} = 0.683 \text{ dB/Km}$$

$$A_{0.1} = a \times R^b = 0.001788 \times 65^{1.2775} = 0.37 \text{ dB/Km}$$

- Untuk arah *downlink*

$$a_{(f)} = \text{Log}^{-1}\{\text{Log}(a_2/a_1) \cdot [\text{Log}(f/f_1)/\text{Log}(f_2/f_1)] + \text{Log}a_1\}$$

$$a_{(f)} = \text{Log}^{-1}\left\{\text{Log}(0.00155/0.000591) \cdot \left[\frac{\text{Log}(4.0265/4)}{\text{Log}(6/4)}\right] + \text{Log}0.000591\right\}$$

$$a_{(f)} = 0.0006$$

$$b_{(f)} = \{(b_2 - b_1) \cdot [\text{Log}(f/f_1)/\text{Log}(f_2/f_1)] + b_1\}$$

$$b_{(f)} = \left\{(1.265 - 1.075) \cdot \left[\frac{\text{Log}(4.0265/4)}{\text{Log}(6/4)}\right] + 1.075\right\}$$

$$b_{(f)} = 1.0781$$

$$A_{0.01} = a \times R^b = 0.0006 \times 145^{1.0781} = 0.128 \text{ dB/Km}$$

$$A_{0.03} = a \times R^b = 0.0006 \times 105^{1.0781} = 0.091 \text{ dB/Km}$$

$$A_{0.1} = a \times R^b = 0.0006 \times 65^{1.0781} = 0.054 \text{ dB/Km}$$

Untuk *availability* 99.99% dari hasil perhitungan untuk arah *uplink* besar redaman hujan 1.032 dB/Km dan untuk arah *downlink* 0.128 dB/Km. Sedangkan untuk *availability* 99.97% besar redaman hujan arah *uplink* 0.683 dB/Km dan arah *downlink* 0.091 dB/Km. Untuk menggunakan *availability* 99.99% untuk Indonesia sangat tidak mungkin karena curah hujan di Indonesia sangat besar. Untuk mendapatkan *availability* 99.99% dibutuhkan margin yang besar agar *link* tetap stabil pada saat hujan dan performansi tetap terjaga sehingga *down time* bisa dikurangi.

Oleh sebab itu, perlu dipertimbangkan untuk menggunakan *availability* 99.97% untuk pengkodean *turbo* walaupun *down time* yang terjadi akan lebih banyak dari *availability* 99.99%.

Untuk pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* dari Gambar 4.3 dan 4.4 grafik *BER* terhadap *Eb/No*, tidak memungkinkan untuk mencapai *availability* 99.97%, dikarenakan jika terjadi hujan *BER* akan cepat naik dan *Eb/No* akan turun sehingga perlu dilakukan *increase power*. Oleh sebab itu perlu dipertimbangkan *availability* 99.9% dengan nilai redaman hujan *uplink* 0.37 dB/Km dan *downlink* 0.054 dB/Km, sehingga penambahan margin akibat hujan tidak terlalu besar dengan konsekuensi *down time* akan lebih banyak.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Dari grafik performansi *BER* terhadap *Eb/No*, untuk pengkodean *turbo* dan *concatenated viterbi/reed-solomon* modulasi *8-PSK* lebih hemat dalam penggunaan *power*.
2. Dari grafik performansi *BER* terhadap *Eb/No*, untuk modulasi *8-PSK* performansi pengkodean *turbo* lebih baik 0.4 dB dari pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*. Sedangkan untuk modulasi *16-QAM* performansi pengkodean *turbo* lebih baik 0.4 dB dari pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon*.
3. Dari grafik performansi *BER* terhadap *Eb/No*, performansi *BER* untuk kedua jenis pengkodean yang digunakan modulasi *8-PSK* lebih baik ± 1.1 dB dari pada *16-QAM*.
4. Dari hasil perhitungan kebutuhan *bandwidth* dengan modulasi *8-PSK* lebih lebar dibanding dengan modulasi *16-QAM*. *Bandwidth* yang dialokasikan untuk modulasi *8-PSK* dengan pengkodean *turbo* adalah 1338,036 KHz dan dengan pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* adalah 1486,7 KHz, sedangkan dengan modulasi *16-QAM* pada pengkodean *turbo* lebar *bandwidth* yang dialokasikan adalah 1003,52 Hz dan pada pengkodean *concatenated viterbi/reed-solomon* adalah 1115,03 KHz.
5. Pemilihan jenis pengkodean dan modulasi yang akan digunakan untuk menghubungkan antar *BTS* dan *BSC* harus diperhatikan biaya sewa *bandwidth transponder* dan besarnya redaman hujan di daerah *ground segment* berada.

DAFTAR ACUAN

- [1] Sistem Komunikasi VSAT-Patrankom (Jakarta: PT Patra Telekomunikasi Indonesia., 2003), hal 29
- [2] G Maral, *VSAT Networks Second Edition* (England: John Wiley Sons LTD., 1995 & 2003), hal. 5, 6, 31, 52
- [3] Michael Di Paolo, “*GSM over VSAT: Choosing the Right Backhaul Solution*” (USA: Comtech EF Data., 2005), hal. 3
- [4] Wiwin Saporiswanto. ”Analisa Interferensi Antar Satelit Arah Uplink. Studi Kasus : Interferensi Pada Satelit Thaicom IA dari Stasiun Bumi dalam Jaringan Satelit Palapa B4”. Tugas akhir, STTTelkom, Bandung, 2003
- [5] M Suryanegara, Dadang Gunawan, “*Significant of Baseband 1: The Concepts*”, Diktat Kuliah, Fakultas Teknik UI, Depok, hal. 3
- [6] Ali Rusli, “*Carrier Type*”. ASSI Newsletter, Installation Maintenance VSAT SCPC, Jatiluhur, 2007, hal. 13
- [7] Rina Pudji Astuti, ”Rekayasa Transmisi Radio.” Diktat Kuliah, STTTelkom, Bandung, 2003, hal. 34 dan 36
- [8] Vandendorpe L, ” *Channel coding and error corection in digital transmission.*” UCL Communications and Remote Sensing Lab, hal. 54
- [9] Martyn Riley, Iain Richardson (1998). ”*An introduction to Reed-Solomon codes:principle, architerture and implementation*”. Diakses 13 April 2007, dari cs.cmu.
http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/pscico-guyb/realworld/www/reedsolomon/reed_solomon_codes.html

[10] Danny Bickson. "*Example: Viterbi Algorithm*". Diakses 22 Pebruari 2008, dari cs.huji.

www.cs.huji.ac.il/~com1/Presentations/Lessons/viterbi_example.pdf

[11] Nasaruddin. "*A Powerful Coding Technicue: Turbo Codes*". Jurnal Rekayasa Elekrika, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, 2006

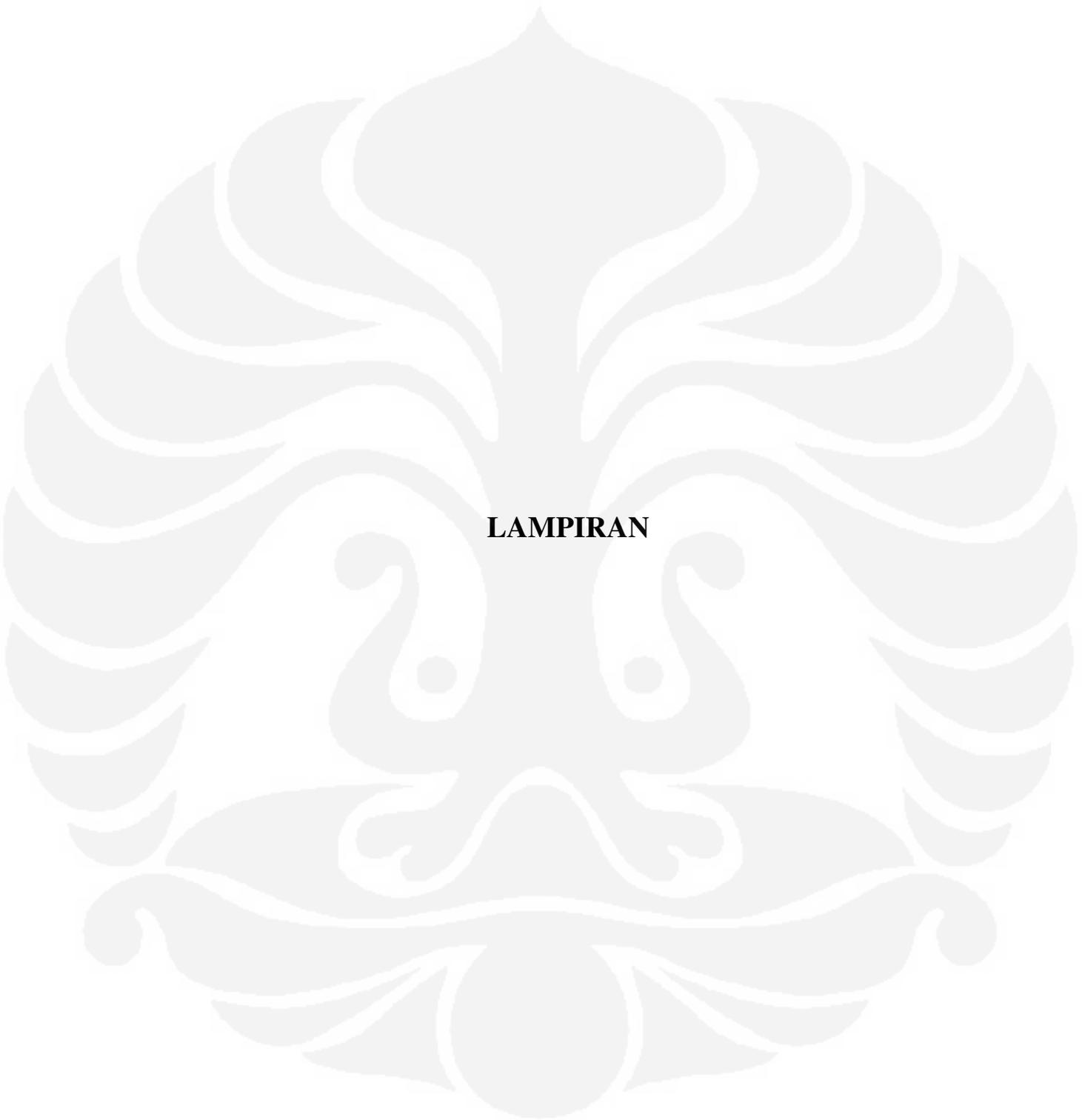
[12] Bernard Sklar, *Digital Communications Second Edition* (Prentice Hall., 2001)

[13] "*CDM-600: Installation and Operation Manual*". (USA : Comtech EF Data, revision 5), hal. 3-2

[14] "*C-Band Tranceiver 5700 series.*" Reference manual Codan (Rusia., March 2002)

DAFTAR PUSTAKA

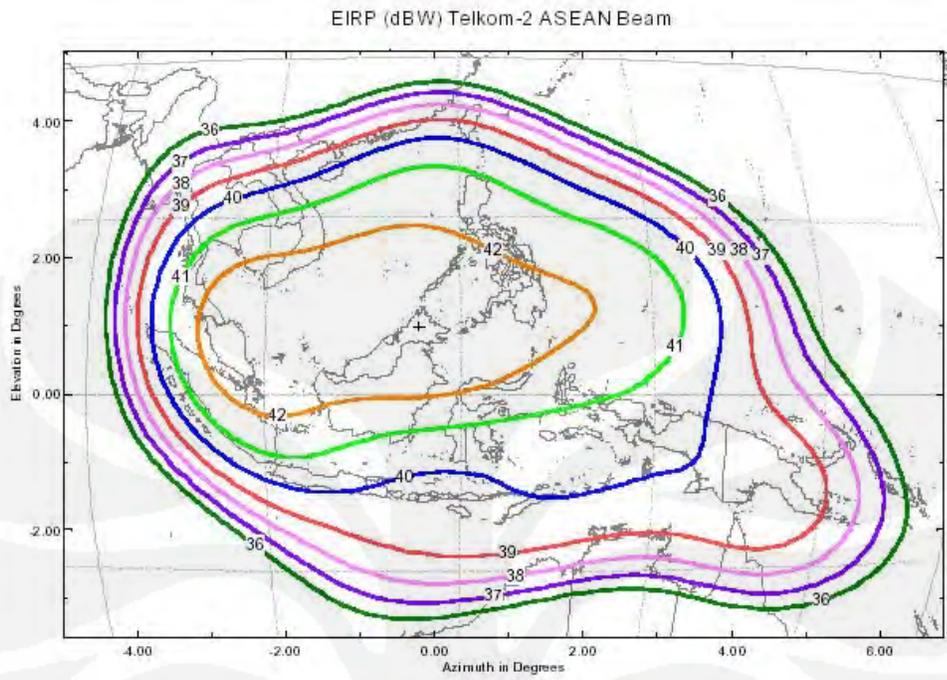
- Bickson Danny, "*Example: Viterbi Algorithm*". Diakses 22 Pebruari 2008, dari cs.huji.
www.cs.huji.ac.il/~com1/Presentations/Lessons/viterbi_example.pdf
- "*CDM-600: Installation and Operation Manual*" (USA: Comtech EF Data., revision 5)
- Di Paolo Michael, *GSM Over VSAT: Chosing The Right Backhaul Solution* (USA: Comtech EF Data., 2005)
- Maral G, *VSAT Networks Second Edition* (England: John Wiley Sons LTD., 1995 & 2003)
- Nasaruddin, "*A Powerful Coding Technicue: Turbo Codes.*" Jurnal Rekayasa ElektriKa, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, 2006
- Riley Martyn, Richardson Iain (1998). "*An introduction to Reed-Solomon codes:principle, architerture and implementation*". Diakses 13 April 2007, dari cs.cmu.
http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/pscico-guyb/realworld/www/reedsolomon/reed_solomon_codes.html
- Rusli Ali, "*Carrier Type.*" ASSI Newsletter, Installation Maintenance VSAT SCPC, Jatiluhur, 2007
- Pudji Astuti Rina, "*Rekayasa Transmisi Radio.*" Diktat Kuliah, STTTelkom, Bandung, 2003



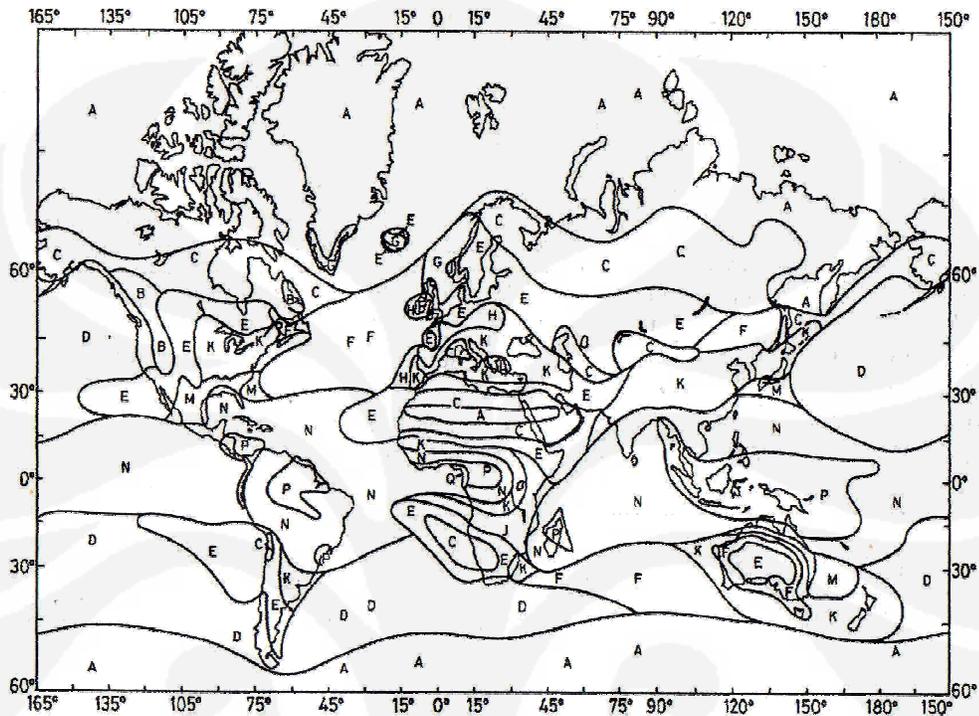
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Karakteristik Umum Satelit Telkom 2

Orbital Location	118 °East
Station Keeping	± 0,05 °(E/W & N/S)
Manufacture	Orbital Science Corporation
Body Stabilization	Three Axis
Launched	17 November 2005
Life Time	15 Years
Coverage	<u>ASEAN Beam:</u> (South East Asia, South China, Papua New Guinea, North Australia, Guam) <u>ASEAN + INDIA Beam:</u> (South Asia, South East Asia, South China, Papua New Guinea , North Australia, Guam)
EIRP (Maximum Operating)	ASEAN Beam: 43 dBW (typical at peak) ASEAN + INDIA Beam: 42 dBW (typical at peak)
IBO/OBO (aggregate)	Multi Carrier Application : 6 / 4 dB
G/T	2 dB/K (typical at peak)
SFD (@ 0 dB PAD)	- 105 dBW/m ² (typical at peak)
Attenuator	0 – 22 dB (1 dB/Step)
Frequency Range	5925 – 6425 MHz (Up Link) 3700 – 4200 MHz (Down Link)
Number of Transponders	24 Channel (4 Ch ASEAN + INDIA Beam , 20 Ch ASEAN Beam)
Channel Bandwidth	36 MHz
Polarization	Linier (Horizontal / Vertical)
Redundancy	Transponder : 2 Groups of 15 for 12 Receiver : 5 for 3
Beacon Frequency	Horizontal : 4199,61 MHz Vertical : 3701,25 MHz



Lampiran 2 Gambar Pembagian Daerah Hujan Sesuai dengan Rekomendasi CCIR [7]



Rain climatic zones for ITU
Regions 1 and 3; rainfall
intensity at 0.01%

Rain zone	Rainfall intensity, mm/hr
A	8
B	12
C	15
D	19
E	22
F	28
G	30
K	42
M	63
N	95
P	145

Lampiran 3 Tabel Rainfall Climatic Region dan Koefisien regresi [7]

Tabel *Rainfall climatic region, rainfall intensity exceeded (mm/h)*

Percentage of time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
1,0	-	1	-	3	1	2	-	-	-	2	-	4	5	12
0,3	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250

Tabel koefisien regresi untuk estimasi redaman hujan spesifik

Frekuensi (GHz)	a_H	a_V	b_H	b_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

Lampiran 4 Spesifikasi C-Band Tranceiver dan spesifikasi SSPA



LAMPIRAN 5 Gambar Modem Comtech CDM 600 dan Stasiun bumi

Gambar *modem* Comtech CDM 600



Gambar stasiun bumi

