



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PROPAGASI KA-BAND PADA SATELIT TELEDESIC UNTUK
KOMUNIKASI DATA**

SKRIPSI

ISYANA GITA PRASTUTI

0906603360

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM EKSTENSI

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PROPAGASI KA-BAND PADA SATELIT TELEDESIC UNTUK
KOMUNIKASI DATA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ISYANA GITA PRASTUTI

0906603360

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Isyana Gita Prastuti

NPM : 0906603360

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Isyana Gita Prastuti
NPM : 0906603360
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Propagasi Ka-Band pada Satelit Teledesic
Untuk Komunikasi Data

Telah berhasil dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Arifin Djauhari MT

(.....)

Penguji : Dr. Ir. Arman D. Diponegoro

(.....)

Penguji : Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc., Ph.D.

(.....)

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 21 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas nikmat dan karunia yang Allah berikan kepada saya, karena atas kehendak-Nya skripsi yang berjudul “Analisis Propagasi Ka-Band Pada Satelit Teledesic Untuk Komunikasi Data” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penyelesaian skripsi ini bukanlah suatu hal yang mudah dan tanpa hambatan. Namun, terdapat berbagai rintangan. Hal ini tentu saja bukan hal yang mudah bagi saya, tapi atas kerja keras dan diiringi dengan doa akhirnya seluruh tahapan pekerjaan dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Walaupun demikian, pembuatan sistem ini tidak akan berjalan dengan baik jika tidak ada bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Ir. Arifin Djauhari, selaku dosen pembimbing yang mau bersabar membimbing saya.
2. Kedua orang tua yang telah memberikan support, nasihat dan doa yang tak terputus walau tidak setiap hari bertemu.
3. Teman-teman seperjuangan di kelas Ekstensi Teknik Elektro 2009. Terima kasih atas soliditasnya yang cukup erat diangkatan 2009 ini. Thanks for all the memories.
4. Teman-teman dan atasan di kantor, yang sudah mau mengerti kondisi saya yang bekerja sambil kuliah di hari kerja. Terutama rekan kerja satu tim yang sudah mau mengerti kalau saya tiba-tiba ijin pulang lebih cepat.

Penulis,

Jakarta, Juli 2012



Isyana Gita Prastuti

NIM. 0906603360

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Isyana Gita Ptastuti

NPM : 090603360

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS PROPAGASI KA-BAND PADA SATELIT TELEDESIC UNTUK KOMUNIKASI DATA

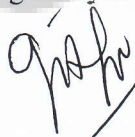
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Indonesia, Depok

Pada Tanggal : Juli 2012

Yang menyatakan



(Isyana Gita Prastuti)

ABSTRAK

Nama : Isyana Gita Prastuti
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Propagasi Ka-Band Pada Satelit Teledesic Untuk Komunikasi Data

Perkembangan teknologi informasi mendorong peningkatan penggunaan komunikasi data yang semakin besar. Solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan frekuensi Ka-band. Namun penggunaan frekuensi Ka-band tidak mudah untuk diterapkan, banyak hal yang mempengaruhinya antara lain : redaman hujan, redaman awan, redaman gas-gas atmosfer, redaman scintilasi, dan depolarisasi. Didalam tugas akhir ini, perhitungan redaman hujan menggunakan beberapa model prediksi, yaitu : ITU-R-618-5, ITU-R-618-6, Global-Crane, serta Simple Attenuation model (SAM). Perhitungan redaman hujan dilakukan di 8 kota besar, dihasilkan bahwa redaman maksimum pada availability 99,99 % untuk uplink 139,75 dB (Global crane) dan downlink 73,66 dB (SAM). Redaman awan maksimum uplink 1,27 dB, downlink 0,56 dB. Redaman gas-gas atmosfer maksimum uplink 2,21 dB, downlink 1,81 dB. Redaman scintilasi maksimum uplink 0,79 dB, downlink 0,62 dB. Spesifikasi sistem meliputi: diameter antena VSAT 0,8 meter dengan power transmit 1 watt, antena HUB 5 meter dengan power transmit 5 watt, mampu melayani user dengan bitrate inbound 2 Mbps dan outbound 64 Mbps pada kondisi terburuk (sudut elevasi minimum dan kondisi hujan) dengan availability 99,2 %.

Kata kunci : Frekuensi Ka- Band, Redaman hujan, ITU, SAM, Global Crane, Satelit Teledesic.

ABSTRAK

Nama : Isyana Gita Prastuti
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Propagasi Ka-Band Pada Satelit Teledesic Untuk Komunikasi Data

Development of information technology encourages the increased use of data communications. Solutions to overcome these problems is to use Ka-band frequencies. But the use of Ka-band frequencies are not easy to implement, many things that influence it are: rain attenuation, cloud attenuation, attenuation of atmospheric gases, scintilasi attenuation and depolarization. In this thesis, the calculation of rain attenuation using several prediction models, they are : ITU-R-618-5, ITU-R-618-6, Global Crane, and The Simple Attenuation Model (SAM). Rain attenuation calculations carried out in 8 major cities, resulting that the maximum attenuation at 99.99% availability for the uplink 139,75 dB (Global Crane) and downlink 73,66 dB (SAM). Cloud attenuation maximum uplink 1,27 dB and downlink 0,56 dB. Attenuation of atmospheric gases maximum uplink 2,21 dB and downlink 1,81 dB. Attenuation of scintilasi maximum uplink 0,79 dB and downlink 0,62 dB. Specification of the VSAT antenna system includes 0.8 m diameter, with 1 Watt transmit power, antenna HUB 5 m with 5 Watt transmit power, able to serve the user with a bitrate of 2 Mbps inbound and outbound 64 Mbps in the worst conditions (maximum elevation angle and the rain) with availability 99.2%.

Keyword : Ka-Band Frequency, Rain Attenuation, ITU, SAM, Global Crane, Teledesic Sattelite.

DAFTAR ISI

JUDUL	i	
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii	
LEMBAR PENGESAHAN	iii	
KATA PENGANTAR	iv	
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v	
ABSTRAK	vi	
DAFTAR ISI	viii	
DAFTAR TABEL	xi	
DAFTAR GAMBAR	xii	
DAFTAR LAMPIRAN	xiii	
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Perumusan Masalah	2
1.3	Batasan Masalah	2
1.4	Tujuan	3
1.5	Metodologi Penelitian	3
1.6	Sistematika Penulisan	3
BAB II	SISTEM KOMUNIKASI SATELIT LEO	
2.1	Sistem Komunikasi Satelit	5
2.1.1	Orbit Satelit	6
2.1.2	Band Frekuensi Satelit	7
2.1.3	Keuntungan Menggunakan Frekuensi Ka Band	7
2.1.4	Kerugian Menggunakan Frekuensi Ka Band	8
2.2	Dasar Komunikasi Satelit	8
2.3	Konstelasi Satelit	9
2.3.1	Prosedur Perancangan Konstelasi Satelit	9
2.3.2	Perhitungan Sudut Elevasi Satelit LEO	13

2.4	Sistem Komunikasi Satelit Untuk Melayani Komunikasi Data	15
2.4.1	Elemen Penyusun Sistem	15
2.4.2	Layanan Data	16
2.4.3	Forward Error Correction	16
2.5	Link Budget	17
BAB III	PENGARUH PROPAGASI GELOMBANG PADA FREKUENSI KA-BAND	
3.1	Propagasi Gelombang	19
3.2	Redaman Hujan	19
3.2.1	Pengertian <i>Rain rate</i> dan Persen Waktu	19
3.2.2	Perhitungan Redaman Hujan	20
3.2.3	Model Prediksi Redaman Hujan (Rain Attenuation)	21
3.2.3.1	Model ITU-R P.618-5	21
3.2.3.2	Model ITU-R P.618-6	23
3.2.3.3	Model Global-Crane	25
3.2.3.4	Model SAM	26
3.3	Redaman Awan	27
3.4	Redaman karena Gas-gas pembentuk Atmosfir	28
3.5	Redaman Karena Scintilasi	30
3.6	Depolarisasi	32
3.6.1	Perhitungan Depolarisasi	33
BAB IV	EVALUASI KINERJA KOMUNIKASI SATELIT	
4.1	Konstelasi Satelit	35
4.1.1	Konstelasi Satelit <i>Teledesic</i> untuk melayani Indonesia	35
4.1.2	Evaluasi Daerah Cakupan	37
4.2	Analisa Perubahan Sudut Elevasi Terhadap Pergerakan	38
4.3	Analisa Redaman Hujan	39
4.3.1	Perhitungan Intensitas Curah Hujan (<i>Rain rate</i>)	39
4.3.2	Perhitungan Redaman Hujan (<i>Rain Attenuation</i>)	40

4.4	Analisa Pengaruh Sudut Elevasi terhadap Redaman Hujan	42
4.5	Analisa Redaman Karena Awan	43
4.6	Analisa Redaman Karena Gas Atmosfer	44
4.7	Analisa Redaman Karena Scintilasi	45
4.8	Evaluasi Kinerja Sistem Komunikasi Satelit Untuk Komunikasi Data	47
BAB V	KESIMPULAN	
5.1	Kesimpulan	50
	DAFTAR ACUAN	51
	LAMPIRAN	

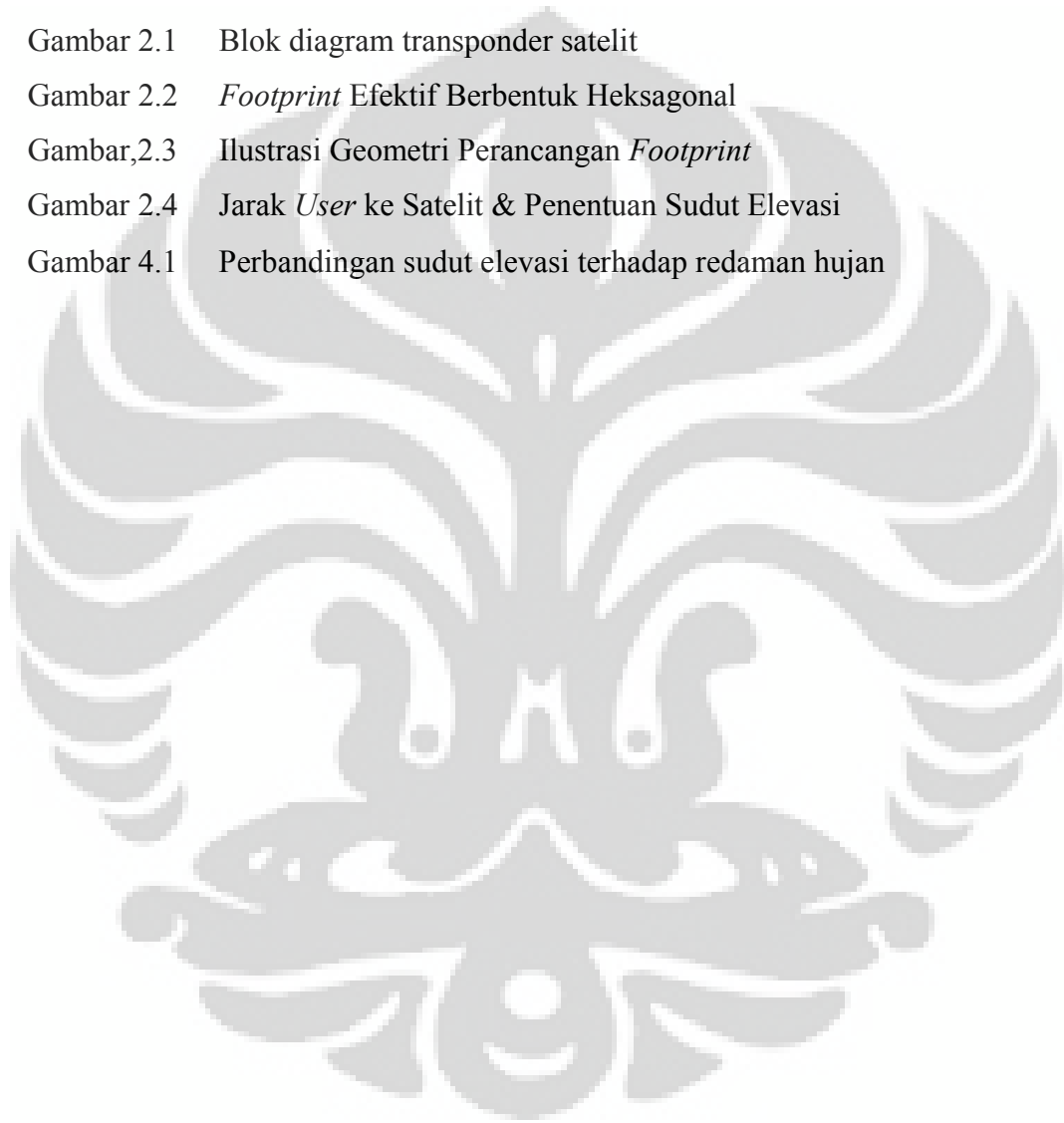


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Band yang dipergunakan dalam Komunikasi Satelit
Tabel 2.1	Standarisasi Layanan Satelit Teledesic
Tabel 4.1	Konfigurasi satelit <i>teledesic</i> untuk pelayanan wilayah Indonesia
Tabel 4.2	Sudut elevasi kota yang akan dilayani oleh satelit
Tabel 4.3	<i>Rain rate</i> pada kota yang dilayani
Tabel 4.4	Redaman Hujan (A0.01) Arah Uplink Untuk Beberapa Model Prediksi
Tabel 4.5	Redaman Hujan (A0.01) Arah Downlink Untuk Beberapa Model Prediksi
Tabel 4.6	Distribusi Redaman Hujan <i>Uplink</i> Untuk Beberapa Persen Waktu
Tabel 4.7	Distribusi redaman hujan <i>downlink</i> untuk beberapa persen waktu
Tabel 4.8	Redaman Awan Di Beberapa Kota
Tabel 4.9	Redaman Gas-Gas Atmosfir Di Beberapa Kota
Tabel 4.10	Redaman Scintilasi Di Beberapa Kota
Tabel 4.11	Kualitas Sinyal
Tabel 4.12	Spesifikasi Perangkat Sistem
Tabel 4.13	Avalability yang dapat dicapai berdasarkan Bit rate layanan

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Blok diagram transponder satelit
- Gambar 2.2 *Footprint* Efektif Berbentuk Heksagonal
- Gambar,2.3 Ilustrasi Geometri Perancangan *Footprint*
- Gambar 2.4 Jarak *User* ke Satelit & Penentuan Sudut Elevasi
- Gambar 4.1 Perbandingan sudut elevasi terhadap redaman hujan



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Alokasi Bandwidth Ka-band
LAMPIRAN B	Koefisien regresi untuk menghitung spesifik redaman hujan menurut ITU-R P.838
LAMPIRAN C	Data Curah Hujan
LAMPIRAN D	Perubahan Sudut Elevasi Setiap Kota
LAMPIRAN E	Hasil Perhitungan Redaman Hujan di Beberapa Kota
LAMPIRAN F	Perhitungan Link Budget dengan Link ISL (<i>Intersatellite Link</i>)
LAMPIRAN G	Footprint Satelit Teledesic

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan pada dasarnya adalah proses perubahan berbagai aspek kehidupan menuju kondisi yang lebih baik. Termasuk mendapatkan berita dan informasi di tiap – tiap daerah di seluruh wilayah Indonesia. Namun, keberadaan internet memang sangat membantu dan memudahkan masyarakat dalam mendapatkan dan menyebarluaskan informasi dengan praktis dan efektif. Akan tetapi perkembangan internet yang pesat tersebut terlihat kurang merata. Perkembangan internet di perkotaan jauh meninggalkan perkembangan internet di kecamatan, bahkan pedesaan. Informasi bukanlah monopoli masyarakat di perkotaan saja. Masyarakat yang tidak tinggal di perkotaan pun berhak untuk menikmatinya.

Namun, perkembangan teknologi informasi mendorong peningkatan penggunaan komunikasi data yang semakin besar. Frekuensi C-band yang dipakai saat ini, tidak akan mampu menampung kebutuhan informasi user yang terus meningkat. Solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan frekuensi Ka-band yang memiliki bandwidth transponder sampai dengan 500MHz. Namun penggunaan frekuensi Ka-band tidak mudah untuk diterapkan, banyak hal yang mempengaruhinya antara lain : redaman hujan, redaman awan, redaman gas-gas atmosfer, redaman scintilasi, dan depolarisasi.

Teledesic stallite merupakan *global-internet-in-the-sky* yang menyediakan layanan broadband dan internet access, terdiri dari 288 satelit dengan *coverage* global pada orbit LEO akan mampu melayani user di belahan bumi manapun dan kapanpun. Selain itu juga, *Teledesic* merupakan satelit LEO pertama yang menggunakan transponder Ka-band, dengan kapasitas yang besar dan mampu melayani user dengan kecepatan yang tinggi.

Masalah utama propagasi pada frekuensi Ka-band adalah redaman hujan yang begitu besar. Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis yang memiliki curah hujan yang tinggi, yang sangat dominan mempengaruhi propagasi frekuensi di atas 10 GHz. Oleh karena itu diperlukan suatu analisa propagasi Ka-Band di Indonesia, apakah sistem ini bisa diterapkan di Indonesia khususnya dengan menggunakan satelit LEO.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini, adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa sistem komunikasi satelit *Low Earth Orbit* (LEO)
2. Mengetahui karakteristik dari propagasi frekuensi *Ka-band*
3. Mengetahui model-model prediksi redaman hujan
4. Menganalisa performansi dari sistem komunikasi satelit pada frekuensi *Ka-band* dengan mempertimbangkan karakteristik iklim di Indonesia.
5. Menentukan *availability* layanan data dengan *bit rate inbound* 2 Mbps dan *outbound* 64 Mbps

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini akan dibatasi pada masalah-masalah berikut :

1. Menggunakan frekuensi *Ka-band*, yaitu *uplink* 28.6 GHz dan *downlink* 18.8 GHz
2. Menggunakan satelit LEO, khususnya satelit *Teledesic*
3. Analisis secara teknis difokuskan pada performansi daerah cakupan, propagasi frekuensi *Ka-band* dan *link budget*.
4. Pengaruh dari propagasi yang dianalisa meliputi : redaman karena hujan, redaman karena awan, redaman karena gas-gas atmosfer, redaman karena scintilasi.
5. Menggunakan model Prima untuk prediksi intensitas hujan (*rain rate*).
6. Model prediksi redaman hujan yang dipakai yaitu : ITU-R-618-5, ITU-R-618-6, Global-Crane, Simple Attenuation Model (SAM).

7. Performansi dari sistem ditentukan dengan C/No, dan BER
8. Proses *handover* tidak dibahas dalam tugas akhir ini
9. Tidak membahas pengaruh *efek Doppler* .

1.4 Tujuan

Tujuan skripsi ini adalah mengevaluasi performansi unjuk kerja satelit Teledesic yang melayani wilayah Indonesia, berdasarkan perhitungan redaman hujan, redaman awan, dan redaman gas-gas atmosfer dari model prediksi ITU-R-618-5, ITU-R-618-6, Global-Crane, serta Simple Attenuation model (SAM).

1.5 Metodologi Penelitian

1. Mempelajari studi literatur dengan mempelajari permasalahan yang berkaitan dengan penggunaan frekuensi *Ka-band* untuk sistem komunikasi satelit. Proses pembelajaran materi penelitian melalui pustaka-pustaka yang berkaitan dengan penelitian, baik berupa buku, maupun jurnal ilmiah.
2. Hasil dari studi literatur memberikan gambaran awal untuk mulai merancang bagaimana bentuk sistem tersebut dalam kondisi sebenarnya.
3. Pengumpulan data-data penunjang untuk mendukung proses analisa propagasi gelombang *Ka-band* di beberapa kota yang dapat mewakili Indonesia
4. Analisa kinerja sistem komunikasi satelit pada frekuensi *Ka-band*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun secara sistematis yang terdiri dari 5 bab.

Adapun uraian singkat tentang hal ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II SISTEM KOMUNIKASI SATELIT LEO

Bab ini menguraikan dasar teori dari sistem komunikasi satelit LEO, meliputi konstelasi satelit, perhitungan sudut elevasi LEO, komunikasi data pada sistem komunikasi satelit, serta link budget.

BAB III PENGARUH PROPAGASI GELOMBANG PADA FREKUENSI *KA-BAND*

Bab ini menguraikan tentang pengaruh dari propagasi gelombang pada frekuensi Ka-band, meliputi redaman hujan, redaman awan, redaman gas-gasatmosfir, dan redaman scintilasi.

BAB IV EVALUASI KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SATELIT

Bab ini menguraikan analisa hasil konstilasi satelit LEO, analisa hasil perhitungan redaman hujan dengan menggunakan beberapa model prediksi, serta evaluasi performansi hasil perhitungan link budget.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini menguraikan kesimpulan akhir dari evaluasi kinerja sistem.

BAB II

SISTEM KOMUNIKASI SATELIT LEO

2.1 Sistem Komunikasi Satelit

Sistem komunikasi satelit secara umum terdiri dari sebuah satelit yang berfungsi sebagai stasiun pengulang (*repeater*) di angkasa yang berhubungan dengan beberapa stasiun bumi. Sinyal yang dikirimkan dari stasiun bumi asal akan diterima dan diperkuat oleh peralatan-peralatan di satelit untuk kemudian dikirimkan kembali ke stasiun bumi tujuan. Sistem komunikasi satelit ini umumnya digunakan untuk daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan terestrial. Hal inilah yang menjadi kelebihan sistem komunikasi satelit dibandingkan dengan sistem teknologi komunikasi yang lain. Sistem komunikasi satelit mampu menjangkau daerah-daerah yang jauh dan terpencil dikarenakan cakupannya yang luas sehingga sangat sesuai dengan letak geografis Indonesia. Sistem komunikasi satelit pada dasarnya terdiri dari dua bagian yaitu :

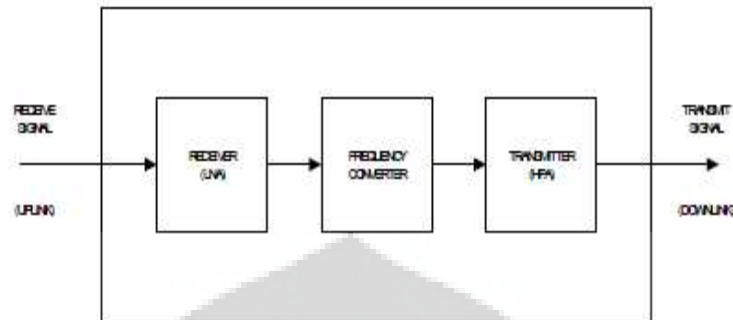
1. *Ground Segment* (Stasiun Bumi / Terminal)

Stasiun bumi bertugas untuk melakukan komunikasi dari dan ke *space segment*.

2. *Space Segment* (Satelit)

Satelit komunikasi berfungsi sebagai *repeater* gelombang mikro di angkasa. Satelit ini akan menerima sinyal gelombang mikro yang dikirimkan dari stasiun bumi asal pada frekuensi yang diberikan (*uplink*) dan mengirimkan kembali ke stasiun bumi tujuan pada frekuensi yang berbeda (*downlink*).

Dalam satelit terdapat *transponder* yang berfungsi menerima sinyal dari stasiun bumi asal, menguatkannya dan mengirimkannya kembali ke stasiun bumi tujuan. Diagram blok dari sebuah *transponder* dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.1 Blok diagram transponder satelit

Pada blok diagram transponder terdapat LNA yang berfungsi sebagai receiver yang akan menguatkan sinyal yang sangat lemah yang diterima satelit dari stasiun bumi asal.

Terdapat pula *frequency converter* yang berfungsi untuk menurunkan frekuensi sinyal yang diterima dari stasiun bumi asal (*uplink*) ke frekuensi sinyal yang akan dikirimkan satelit ke stasiun bumi tujuan (*downlink*). Sedangkan fungsi HPA adalah untuk menguatkan sinyal yang akan dikirimkan ke stasiun bumi (*downlink*) ke level yang sesuai agar dapat diterima dengan baik di stasiun bumi.

2.1.1 Orbit Satelit

Satelit yang akan mengorbit mengelilingi bumi akan selalu tetap berada pada posisinya karena gaya sentripetal diimbangi dengan gaya tarikan bumi. Penentuan orbit merupakan hal yang sangat penting dan mendasar karena akan menentukan rugi dan waktu keterlambatan (*delay time*) dari transmisi, daerah cakupan bumi (*earth coverage area*), dan selang waktu dimana satelit dapat terlihat dari setiap daerah tertentu.

Orbit satelit berdasarkan ketinggiannya dibagi menjadi :

1. LEO (*Low Earth Orbit*)

Satelit berada pada ketinggian kurang dari 2000 Km (1250 mile). Pada orbit ini satelit memiliki periode rotasi 90 menit sampai 2 jam.

2. MEO (*Medium Earth Orbit*)

Satelit berada pada ketinggian 10000 Km (6250 mile). Pada orbit ini satelit memiliki periode rotasi ser 6 jam.

3. GEO (*Geosynchronous Earth Orbit*)

Satelit berada pada ketinggian 35680 Km (22300 mile). Pada orbit ini satelit memiliki periode rotasi 24 jam.

2.1.2 Band Frekuensi Satelit

Satelit bekerja pada band frekuensi tertentu (*spesific range*). Band frekuensi tersebut terdiri dari frekuensi *uplink* yaitu frekuensi yang dikirimkan dari stasiun bumi atau ground terminal ke satelit dan frekuensi *downlink* yaitu frekuensi yang dikirimkan dari satelit ke stasiun bumi atau ground terminal. Untuk menghindari interferensi maka frekuensi *uplink* dan frekuensi *downlink* tidak boleh sama. FCC (Federal Communication Commission) merekomendasikan band frekuensi yang digunakan oleh satelit.

Tabel 2.1. Band yang dipergunakan dalam Komunikasi Satelit

BAND	UPLINK (GHz)	DOWNLINK (GHz)	Bandwidth (MHz)
C	5.9 - 6.4	3.7 - 4.2	500
X	7.9 - 8.4	7.25 - 7.75	500
Ku	14 - 14.5	11.7 - 12.2	500
Ka	27 - 30	17 - 20	Not fixed
	30 - 31	20 - 21	Not Fixed

Tabel di atas adalah susunan Band frekuensi untuk *uplink* dan *downlink* dari komunikasi satelit yang berlaku secara seragam di seluruh dunia. Sama seperti aplikasi di komunikasi gelombang mikro maka pertimbangan pemilihan band frekuensi didasarkan atas tingkat kebutuhan aplikasi satelit tersebut. Jika sistem komunikasi satelit yang dibangun membutuhkan *bandwidth* yang lebar maka lebih baik untuk memilih band frekuensi yang besar, sedangkan untuk efisiensi daya maka dipilih *bandwidth* yang kecil.

2.1.3 Keuntungan Menggunakan Frekuensi Ka Band

Pita frekuensi Ka memiliki beberapa keuntungan antara lain:

- Tersedianya lebar pita frekuensi yang cukup besar, berkisar 27,5 GHz s/d 31 GHz.
- Tidak memerlukan antena berukuran besar. Kecilnya diameter antena pada sisi pengguna akhir, berkisar 60 cm s/d 70 cm membuat biaya yang dikeluarkan pengguna lebih rendah.
- Mampu menurunkan secara drastis *latency*/keterlambatan data yang biasa terjadi ketika data dikirimkan ke satelit dan ditransmisikan kembali ke bumi.

2.1.4 Kerugian Menggunakan Frekuensi Ka Band

Pita frekuensi Ka memiliki beberapa kerugian antara lain:

- Satelit yang menggunakan pita frekuensi Ka memerlukan lebih banyak tenaga untuk mentransmisikan sinyal jika dibandingkan dengan satelit yang menggunakan pita frekuensi C.
- Semakin tinggi frekuensi Ka maka semakin rentan terhadap perubahan kondisi atmosfer, khususnya hujan, dimana daya emisi yang diterima akan teredam dan suhu sistem noise meningkat di sisi penerima. Hal ini menyebabkan kualitas hubungan, rasio sinyal terhadap noise akan menurun akibat nilai temperatur, suhu sistem pada sisi penerima meningkat dan penguatan pada antena penerima menurun.

2.1 Dasar Komunikasi Satelit LEO

Satelit LEO adalah satelit dengan lintasan *low earth orbit*. Area layanannya disebut *footprint*, yaitu area lingkaran pada permukaan bumi dengan radius antara 3000 sampai 4000 km. *footprint* terdiri dari sel-sel kecil yang masing-masing berhubungan dengan sebuah *spot beam* dari antena satelit.

Satelit LEO dikelompokkan menurut besar satelit dan jenis layanannya. Ada 3 tipe satelit dan jenis layanan yang diberikan, yaitu :

1. *Little* LEO

Little LEO adalah satelit kecil, murah, dan beratnya sekitar 50 – 100 kg. Layanannya beroperasi pada *Very High Frequency* (VHF). *Little* LEO memberikan berbagai macam layanan *non-voice* seperti *telemetry*, *paging*, *supervisory control and data acquisition (SCADA)*, *tracking and position reporting*, *messaging*, dan *data relay*. Contoh penyedia layanan *little* LEO adalah *OrbComm*, *E-Sat* dan *Leo One*.

2. *Big* LEO

Big LEO beroperasi pada frekuensi 1610 – 1626,5 MHz dan memberikan layanan *real-time voice* dan data. *Big* LEO mempunyai berat 350 – 500 kg. *Big* LEO diperuntukkan bagi pengguna yang bergerak (*mobile user*). Contoh penyedia layanan *Big* LEO adalah *Iridium*, *Globalstar*, dan *ICO*.

3. *Broadband* LEO

Layanan *Broadband* LEO dirancang untuk melayani aplikasi pita lebar. *Broadband* LEO beroperasi pada frekuensi *Ka-band* dan *V-band*. *Broadband* LEO diperuntukkan terutama bagi pengguna tetap (*fixed user*). Contoh penyedia layanan *Broadband* LEO adalah *Teledesic*, *Rostelesat*, dan *Skybridge*.

Satelit LEO ditempatkan pada ketinggian antara 500-2000 km di atas permukaan bumi, dimana ketinggian yang lebih rendah tidak dapat digunakan karena tarikan atmosfer akan mengurangi stabilitas satelit, dan ketinggian di atas tersebut juga harus dihindari karena adanya daerah *Van Allen* yang berbahaya untuk peralatan elektronik. Pada tugas akhir ini, jenis satelit yang digunakan adalah satelit *Teledesic* yang merupakan salah satu satelit *broadband* LEO.

2.3 **Konstelasi Satelit**^{[13][14]}

2.3.1 **Prosedur Perancangan Konstelasi satelit**^[6]

Perencanaan konstelasi satelit bertujuan untuk membuat suatu konstelasi satelit yang mampu melayani daerah pelayanan yang telah ditentukan. Berikut ini akan diberikan urutan perancangan konstelasi satelit :

1. Penentuan wilayah yang akan dilayani
Untuk kebutuhan domestik, wilayah akan dilayani berupa wilayah suatu negara.
2. Penentuan orbit satelit
Ada 3 jenis orbit satelit, yaitu *equatorial*, *inklinasi*, dan *polar*. Pemilihan jenis orbit satelit akan sangat bergantung kepada letak wilayah yang akan dilayani.
3. Penentuan ketinggian satelit dan sudut elevasi minimum
Ketinggian satelit dan sudut elevasi minimum adalah 2 hal yang paling penting dalam menentukan ukuran konstelasi satelit. Ketinggian merupakan kompensasi antara faktor-faktor yang saling bertentangan berikut ini :
 - *Free space loss*
 - Ukuran *footprint* satelit
 - *Clearance* dari *intersatellite link*
 - Jumlah satelit yang dibutuhkan
 - Bahan bakar satelit yang dibutuhkan

Penentuan ketinggian satelit juga harus memperhatikan konstelasi satelit lain yang sudah ada (Lampiran A-3). Penentuan sudut elevasi minimum harus memperhatikan kondisi propagasi dan desain antena. Untuk memberikan layanan *non-real-time*, sudut elevasi minimum dapat dirancang sama dengan nol, atau rentang *footprint*-nya maksimal. Tapi untuk layanan *real-time*, sudut elevasi minimum harus lebih besar atau sama dengan 10^0 karena layanan *real-time* membutuhkan *virtual-circuit* 2 arah yang harus dipertahankan terus menerus^[14]. Penentuan sudut elevasi minimum akan mempengaruhi lebar *footprint* serta banyaknya satelit.

4. Penentuan setengah sudut pusat bumi

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \theta_{\min} - \sin^{-1} \left(\frac{\rho}{\rho + h} \cos \theta_{\min} \right) \quad (2.1)$$

Dimana :

ψ = setengah sudut pusat bumi

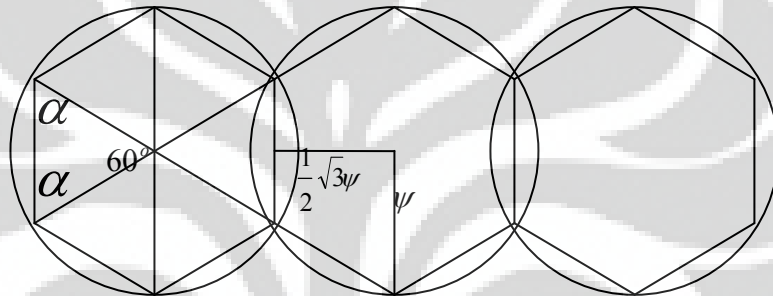
θ_{\min} = sudut elevasi minimum

ρ = jari-jari bumi rata-rata di *equator*

h = Ketinggian satelit

5. Penentuan Ukuran *footprint*

Footprint dari sebuah satelit dalam suatu konstelasi akan saling berpotongan dengan *footprint* dari satelit lainnya. Hal ini menyebabkan *footprint* efektif terbesar yang masih memungkinkan ekuivalen dengan heksagonal terbesar yang terdapat dalam *footprint*. Bila heksagonal-heksagonal yang terbentuk saling berhimpit maka konstelasi satelit yang terbentuk merupakan konstelasi satelit minimum.



Gambar 2.2 *Footprint* Efektif Berbentuk Heksagonal^[6]

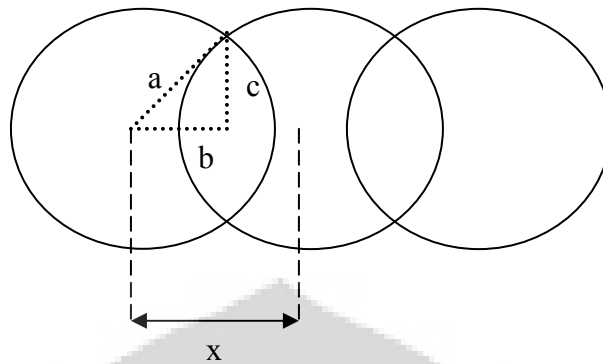
Besarnya lebar 1 heksagonal bergantung pada besarnya setengah sudut pusat bumi (ψ) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$n' = \left\lceil \frac{2\pi}{\sqrt{3}\psi} \right\rceil \quad (2.2)$$

Dimana :

n' = Jumlah satelit dalam 1 orbit

Tanda $\lceil \rceil$ berarti bilangan yang dihasilkan dibulatkan ke atas. Karena bilangan yang dihasilkan bukan bilangan bulat, maka *footprint* yang akan dihasilkan heksagonalnya tidak akan berhimpitan, tetapi bertumpukan. *Footprint* yang dihasilkan akan menjadi seperti gambar berikut :



Gambar,2.3 Ilustrasi Geometri Perancangan *Footprint*^[6]

ukuran – ukuran dari *footprint* yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$x = \frac{2\pi}{n'} \quad (2.3)$$

$$a = \psi \quad (2.4)$$

$$b = \frac{1}{2}x \quad (2.5)$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} \quad (2.6)$$

Dimana :

x = Jarak antar satelit

6. Penentuan luas 1 *footprint* efektif

Seperti yang telah dijelaskan di atas, *footprint* efektif berbentuk heksagonal. Heksagonal tersebut terdiri atas 6 buah segitiga *spheris* (segitiga yang melengkung) yang ukurannya sama. Setiap segitiga *spheris* mempunyai sudut 60° di tengah-tengah *footprint* dan 2 sudut yang lain identik dengan besar :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{\cos \psi} \right) \quad (2.7)$$

$$\xi = 2\alpha - \frac{2\pi}{3} \quad (2.8)$$

Dimana :

ξ = Efek *spheris* segitiga

α = Sudut pada kaki segitiga *spheris*

Luas dari 1 *footprint* efektif adalah :

$$A = 6 \rho^2 \xi \quad (2.9)$$

7. Penentuan kecepatan orbit satelit

$$v = \frac{2\pi(\rho + h)}{T} \quad (2.10)$$

Dimana :

v = Kecepatan orbit satelit

T = Periode orbit satelit

8. Penentuan kecepatan relatif satelit terhadap bumi

$$v' = v - v_{bumi} \quad (2.11)$$

$$v_{bumi} = \frac{2\pi\rho}{86164} \quad (2.12)$$

Dimana:

v' = Kecepatan relatif satelit terhadap bumi

9. Penentuan *visibility time* sebuah satelit dari sebuah titik di bumi

$$t_{vis} = \frac{2\psi}{v'} \quad (2.13)$$

Dimana :

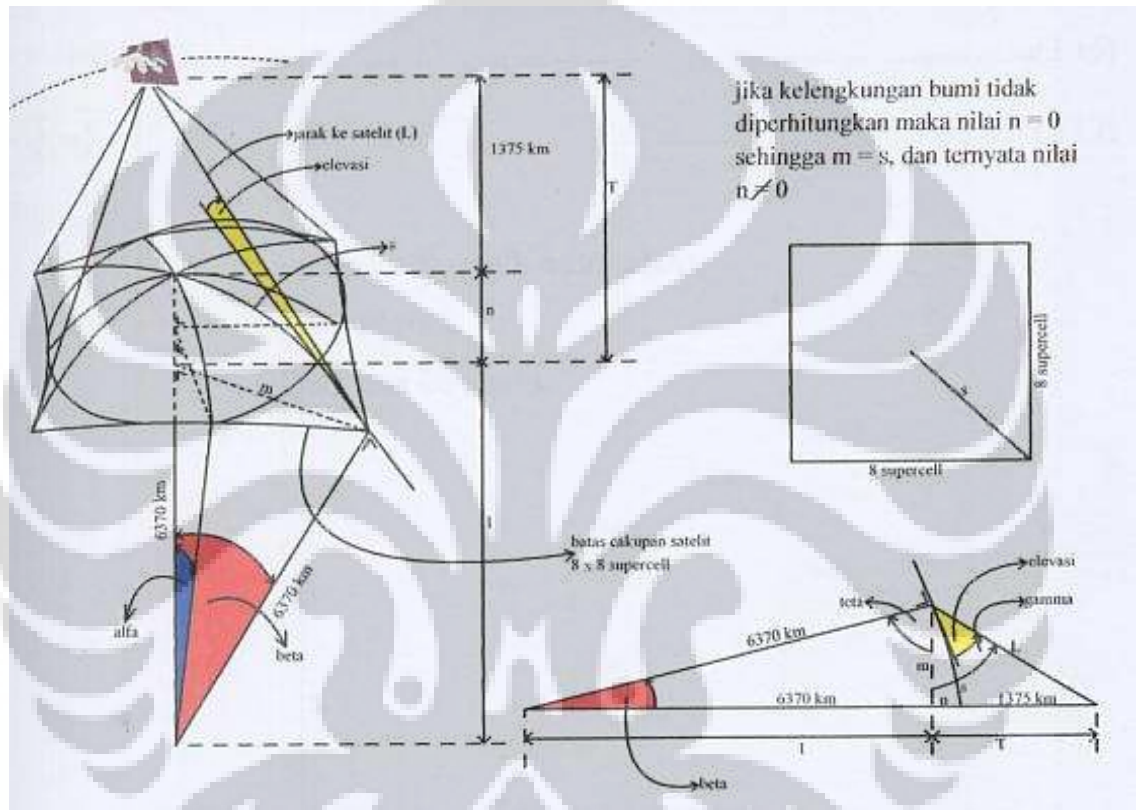
t_{vis} = *Visibility time* satelit terhadap sebuah titik di bumi.

2.3.2 Perhitungan Sudut Elevasi Satelit LEO^[14]

Bumi kita adalah sebuah bola, dengan jari-jari khatulistiwa 6378 km, dan jari-jari kutub adalah 6370 km, atau setara dengan jari-jari 6370 km untuk bola dengan volume yang sama. Sehingga dalam suatu cakupan satelit *Teledesic*, daerah yang di sorot bukanlah suatu bidang datar, tetapi suatu bidang lengkung. Sehingga jarak pengguna terhadap satelit merupakan suatu perhitungan jarak yang dapat diketahui melalui suatu perumusan, seperti terlihat pada gambar (2.3). Kondisi ini adalah

kondisi pada waktu tertentu saja, karena jarak tersebut akan terus berubah seiring dengan pergerakan satelit.

Jika koordinat pengguna adalah $(a_1^o; b_1^o)$ dan koordinat satelit saat tertentu adalah $(a_2^o; b_2^o)$ maka dapat diturunkan rumus jarak *user* terhadap satelit dan sudut elevasi untuk posisi *user* yang berada pada pinggiran *coverage area* satelit.



Gambar 2.4 Jarak *User* ke Satelit & Penentuan Sudut Elevasi^[10]

$$s = \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (2.14)$$

$$\beta = \frac{s \times \left(\frac{2 \times \pi \times 6370}{360^\circ} \right)}{2 \times \pi \times 6370} \times 360^\circ = s \quad (2.15)$$

$$m = 6370 \times \sin(\beta) \quad (2.16)$$

$$l = 6370 \times \cos(\beta) \quad (2.17)$$

$$n = 6370 - l \quad (2.18)$$

$$T = 1375 + n \quad (2.19)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{n+1375}{m}\right) \quad (2.20)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{m}{6370}\right) \quad (2.21)$$

$$\varepsilon = \gamma - (90 - \theta) \quad (2.22)$$

$$L = \sqrt{(m)^2 + (T)^2} \quad (2.23)$$

Dimana :

ε = Sudut Elevasi (derajat)

L = Jarak *User* ke satelit (Km)

2.4 Sistem Komunikasi Satelit Untuk Melayani Komunikasi Data

Pada bagian ini akan dijelaskan secara singkat bagaimana sistem komunikasi satelit LEO melayani kebutuhan komunikasi data. Uraian terdiri dari elemen-elemen penyusun sistem dan berbagai layanan data.

2.4.1 Elemen Penyusun Sistem

Elemen penyusun sistem komunikasi satelit LEO untuk pelayanan komunikasi data dan karakteristiknya sebagai berikut :

1. Terminal Pengguna

Terminal pengguna digunakan untuk mengirim dan menerima data.

2. Satelit

Pada satelit terjadi proses regenerasi sinyal dan *switching*, kemudian diteruskan kepada terminal penerima.

3. Konstelasi Satelit

Konstelasi satelit merupakan kumpulan dari beberapa satelit yang tersusun dalam satu orbit atau lebih. Banyaknya satelit dan orbit yang dibutuhkan sangat bergantung pada daerah pelayanannya. Konstelasi satelit diperlukan karena sebuah satelit LEO dapat terlihat dari suatu tempat di bumi hanya selama sebagian dari periode orbitnya. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa satelit

ditempatkan pada 1 orbit sehingga pada setiap saat paling sedikit 1 satelit yang terlihat oleh pengguna di bumi.

4. *Footprint*

Daerah permukaan bumi yang dapat dicakup oleh *beam* transmisi sebuah satelit disebut sebagai *footprint* dari satelit.

5. Sel

Dengan menggunakan *multibeam* antena, *footprint* dari sebuah satelit dapat dibagi menjadi beberapa sel yang lebih kecil untuk meningkatkan kapasitas sistem.

6. *Handover*

Handover terjadi karena pergerakan satelit terhadap *user*, mengakibatkan *user* keluar dari cakupan sel asal dan masuk cakupan sel baru. Ada 2 macam mekanisme *handover*, yaitu :

- a. *Handover* antar sel tetapi masih dalam satu satelit
- b. *Handover* antar sel tetapi berbeda satelit, mekanisme ini merupakan hubungan langsung antara 2 satelit yang berdekatan dan disebut *Intersatellite link*.

2.4.2 Layanan data

Pada sistem komunikasi satelit, salah satu kelemahannya adalah *delay* transmisi yang cukup besar. Seberapa besar pengaruh *delay* ini dalam komunikasi satelit sangat bergantung dari aplikasi apa yang dilayani oleh sistem komunikasi satelit tersebut^[16]. Namun dengan menggunakan satelit LEO *delay* transmisi dapat lebih kecil.

Tabel.2.2 Standarisasi Layanan Satelit *Teledesic*

Aplikasi	<i>Delay</i>	<i>Data Rate</i>	
		<i>Receive</i>	<i>Transmit</i>
<i>PC Networking</i>	200 ms	64 Kbps	64 Kbps
<i>Email</i>	5 min	5 Kbps	5 Kbps
<i>Paging</i>	5 min	5 Kbps	5 Kbps

<i>Web Browsing</i>	500 ms	64 Kbps	5 Kbps
<i>Database Access</i>	500 ms	2 Mbps	100 Kbps
<i>Videophone</i>	200 ms	64 Kbps -1 Mbps	64 Kbps -1 Mbps
<i>Video Conference</i>	200 ms	64 Kbps -2 Mbps	64 Kbps -2 Mbps
<i>Tele-medicine</i>	200 ms	64 Kbps -2 Mbps	64 Kbps -2 Mbps
<i>Tele-education</i>	200 ms – 1 s	1 Mbps	64 Kbps

2.4.3 Forward Error Correction

Ada berbagai macam metode pengontrolan kesalahan. Pada umumnya metode ini dibagi menjadi 2 macam, yaitu BEC (*Backward Error Correction*) dan FEC (*Forward Error Correction*). Pada sistem komunikasi satelit, yang digunakan adalah FEC. Hal ini mengingat jarak antara stasiun bumi dan satelit yang relatif jauh sehingga diperlukan waktu yang lama apabila menggunakan BEC. Penggunaan FEC ini akan memberikan *coding gain* pada sistem, yang pada akhirnya akan meningkatkan C/No. Untuk selanjutnya yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah pengontrolan kesalahan dengan *viterby decoding*.

2.5 *Link Budget*^[5]

Parameter yang akan dihitung untuk mengetahui kualitas sinyal arah *uplink* di adalah sebagai berikut :

1. *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) VSAT*

$$EIRP[dBW] = P_{TX}[dBW] + G_{TX}[dBi] - L_{feeder}[dB] \quad (2.24)$$

$$G_{TX} = 20,4 + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log D_m + 10 \log \eta$$

Dimana :

P_{TX} = Power Transmit antena

G_{TX} = Gain antena (dB)

L_{feeder} = Rugi-rugi karena *feeder*

f = Frekuensi kerja (GHz)

D = Diameter antena

η = Efisiensi antenna

2. *Figure of Merit (G/T) Satelit*

(G/T) merupakan spesifikasi dari satelit yang digunakan.

3. Redaman *Uplink*

Propagasi menggunakan frekuensi ka-band berpengaruh timbulnya redaman – redaman antara lain :

- Ruang Bebas (*Free Space Loss*)

$$FSL_{UP} = 92,45 + 20 \log D_{km} + 20 \log f_{(UP)GHz} \quad (2.25)$$

- Redaman Hujan
- Redaman Awan
- Redaman Gas-gas Atmosfir
- Redaman karena Scintilasi

4. Lebar Pita Frekuensi (*Bandwidth*)

$$BW_{occ} = \left(\frac{R_b}{mxFEC} \right) x (1 + \alpha) \quad (2.26)$$

$$BW_{all} = BW_{occ} (1 + \beta) \quad (2.27)$$

Dimana :

R_b = *Bitrate Info*

m = *index modulasi*

α = *Roll of factor*

β = *Guardband*

BW_{occ} = *Bandwidth yang diduduki*

BW_{all} = *Bandwidth yang dialokasikan*

5. Rasio Sinyal Pembawa Terhadap Derau (C/N) arah *uplink*

$$\left(\frac{C}{No} \right)_{UP} \cdot (dB) = EIRP_{SB} (dBW) - (L_{up}) (dB) + \left(\frac{G}{T} \right)_{SAT} \cdot \left(\frac{dB}{K} \right) - 10 \log(k) \cdot \left(\frac{dB}{K} \right) \quad (2.28)$$

Parameter yang akan dihitung untuk mengetahui kualitas sinyal arah *downlink* adalah sebagai berikut :

1. Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) Satelit

EIRP diperoleh dari spesifikasi satelit yang digunakan.

2. Figure Of Merit (G/T) VSAT

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{SB-RX} \bullet \left(\frac{dB}{K}\right) = G \cdot (dB) - 10 \log(T) \cdot (Kelvin) \quad (2.29)$$

$$G = 20,4 + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log D_m + 10 \log \eta$$

3. Redaman *downlink*

Redaman *downlink* pada dasarnya sama dengan redaman *uplink* hanya saja berbeda frekuensi kerja.

5. Rasio Sinyal Pembawa Terhadap Derau (C/N) arah *downlink*

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{DW} \bullet (dB) = EIRP_{SAT} (dBW) - (L_{Dw})(dB) + \left(\frac{G}{T}\right)_{RX} \bullet \left(\frac{dB}{K}\right) - 10 \log(k) \bullet \left(\frac{dBJ}{K}\right) \quad (2.30)$$

BAB III

PENGARUH PROPAGASI GELOMBANG PADA FREKUENSI *KA-BAND*

3.1 Propagasi Gelombang

Perambatan gelombang *elektromagnetik* di ruang bebas sangat dipengaruhi oleh frekuensi gelombang tersebut. Hubungan antara frekuensi dan panjang gelombang dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

Dimana :

λ = Panjang gelombang (m)

c = Kecepatan cahaya = 3×10^8 m/det

Propagasi gelombang radio melalui hujan, kabut, dan salju akan mengalami pelemahan karena penyerapan daya pada saat terjadi rugi-rugi daya dielektrik yang disebabkan oleh air. Juga terdapat rugi-rugi pada saat gelombang transmisi langsung akibat adanya penghamburan energi keluar oleh titik-titik hujan. Hal ini karena perambatan gelombang tersebut harus mampu menembus lapisan-lapisan yang ada di atmosfer, khususnya ionosfer yang merupakan daerah ion-ion yang terdiri dari electron-elektron setinggi 50 km – 2000 km dari permukaan bumi. Lapisan-lapisan di ionosfer bersifat pemantul / penyerap pada frekuensi dibawah 30 MHz, sehingga tidak memungkinkan untuk hubungan ruang angkasa. Untuk itu komunikasi ruang angkasa, frekuensi gelombang haruslah > 30 MHz.

3.2 Redaman Hujan

Butiran hujan menyebabkan pengaruh pada gelombang elektromagnetik yang melintas. Semakin besar curah hujan yang melintas maka redaman pada gelombang akan semakin besar.

3.2.1 Pengertian *Rain rate* dan Persen Waktu

Sebelum membahas redaman hujan ini, akan dijelaskan pengertian *rain rate* (R) dan persen waktu.

- ***Rain rate* (R)**

Rain rate diartikan sebagai laju naiknya ketinggian permukaan air pada bak pengukur curah hujan, yang dinyatakan dalam mm/jam.

Berdasarkan peta *hydroclimatics* yang dikeluarkan oleh ITU menetapkan bahwa Indonesia terletak pada zona P yang mempunyai intensitas hujan sebesar 145 mm/jam pada persen waktu 0.01%. Akan tetapi tidak semua daerah memiliki intensitas sebesar 145 mm/jam. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh ITB, rata-rata intensitas hujan di setiap daerah di Indonesia tidak selalu 145 mm/jam.

Model prediksi *rain rate* persen waktu 0.01% dirumuskan oleh Prima Setyantowidodo. Dalam perumusan yang dibuatnya memerlukan data pengamatan curah hujan maksimum bulanan dan curah hujan rata-rata tahunan dalam waktu pengamatan.

Perumusannya adalah:

$$R_{0.01} = 128.192 - 0.037\varphi - 0.393L + 0.012M + 0.017Mm \quad (3.2)$$

Dimana:

φ = Lintang stasiun bumi LU = (+) dan LS = (-) (°)

L = Bujur stasiun bumi BB = (+) dan BT = (-) (°)

M = Curah hujan rata-rata tahunan dalam waktu pengamatan (mm)

Mm = Curah hujan maksimal bulanan dalam 30 tahun pengamatan (mm)

$R_{0.01}$ = Intensitas curah hujan dalam 0.01% waktu (mm/jam)

- **Persen Waktu**

Persen waktu menyatakan probabilitas terjadinya hujan dengan tingkat kekerasan tertentu selama satu tahun. Jadi bila diketahui suatu daerah mempunyai *rain rate* 100 mm/jam untuk persen waktu 0.01 %, berarti terjadi hujan dengan kekerasan 100

mm/jam selama 52,56 menit dalam setahun. ($0.01 / 100 \times 365 \times 24 \times 60 = 52,56$ menit).

3.2.2 Perhitungan Redaman Hujan

Gelombang radio yang merambat melalui air hujan akan mengalami redaman karena penyerapan daya sinyal oleh air hujan dan ini disebut sebagai redaman hujan. Air hujan juga mengakibatkan hamburan (penyebaran), walau redaman yang dihasilkannya lebih kecil dari penyerapan tersebut.

Redaman propagasi gelombang radio pada suatu volume hujan dengan lintasan L , dapat dinyatakan sebagai :

$$A = \int_0^L \gamma_R \, dL \quad (3.2)$$

Dimana :

$$\gamma_R = \text{konstanta spesifik redaman hujan (dB/km)}$$

Secara umum, konstanta spesifik γ_R dinyatakan dalam :

$$\gamma_R = k(Rp)^\alpha \quad (3.3)$$

dimana k dan α tergantung pada frekuensi dan polarisasi. Nilai – nilai k dan α tersedia dalam bentuk tabel pada lampiran (B-1). Untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien pada frekuensi tertentu yang tidak terdapat pada tabel, dapat dilakukan interpolasi.

3.2.3 Model Prediksi Redaman Hujan (Rain Attenuation)

Dalam perancangan sistem komunikasi redaman hujan menjadi faktor yang sangat penting untuk mengetahui analisa kinerja sistem komunikasi radio. Dalam dunia pertelekomunikasian ada beberapa model prediksi untuk menghitung redaman hujan. Yang akan digunakan pada tugas akhir ini, yaitu model prediksi ITU-R-618-5, ITUR-618-6, Simple Attenuation Model (SAM), dan Global Crane.

3.2.3.1 Model ITU-R P.618-5^[7]

Model ini diciptakan ITU-R untuk menghitung prediksi redaman hujan secara global di seluruh dunia, dan dipergunakan untuk frekuensi sampai dengan 30 GHz. Prosedur untuk menghitung redaman hujan menggunakan model ITU-R P.618-5 untuk persen waktu 0.01% (A0.01) memerlukan parameter-parameter sebagai berikut :

$R_{0,01}$ = Intensitas hujan untuk persen waktu 0.01 % di suatu lokasi (mm/jam)

f = frekuensi (GHz)

θ = sudut elevasi (deg)

φ = Posisi Lintang stasiun bumi (deg)

h_s = Tinggi stasiun bumi dari atas permukaan laut (Km)

Langkah-langkah perhitungan redaman hujan adalah sebagai berikut :

- Hitung tinggi hujan efektif, h_R

$$h_R \text{ (km)} = \begin{cases} 5 - 0.075(\varphi - 23) & \text{for } \varphi > 23^\circ \\ 5 & \text{for } 0^\circ \leq \varphi \leq 23^\circ \\ 5 & \text{for } 0^\circ \geq \varphi \geq -21^\circ \\ 5 + 0.1(\varphi + 21) & \text{for } -71^\circ \leq \varphi < -21^\circ \\ 0 & \text{for } \varphi < -71^\circ \end{cases} \quad (3.5)$$

- Hitung *slant-path*, L_s [Km]

Untuk $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad (3.6)$$

Untuk $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta}$$

- Hitung proyeksi garis horizontal L_G [Km]

$$L_G = L_s \cos \theta \quad (3.7)$$

- Hitung *rain rate* untuk persen waktu 0.01 % , $R_{0.01}$, disuatu lokasi
- Hitung faktor reduksi , $r_{0.01}$, untuk 0.01%

Untuk $R_{0.01} \leq 100$ mm/h

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + L_G/L_0} \quad (3.8)$$

Dimana

$$L_0 = 35 \exp(-0.015 R_{0.01})$$

Untuk $R_{0.01} > 100$ mm/h

Menggunakan nilai 100 mm/h untuk $R_{0.01}$ dalam perhitungan L_0

- Hitung redaman spesifik (γ_R) dengan koefisien k dan α yang telah direkomendasikan ITU-R P.838

$$\gamma_R = k (R_{0.01})^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad (3.9)$$

- Hitung prediksi redaman hujan untuk 0.01 % , $A_{0.01}$

$$A_{0.01} = \gamma_R L_s r_{0.01} \quad (\text{dB}) \quad (3.10)$$

- Estimasi redaman hujan untuk persen waktu yang lain

$$\frac{A_p}{A_{0.01}} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \log p)} \quad (3.11)$$

3.2.3.2 Model ITU-R P.618-6^[7]

Langkah – langkah perhitungan redaman hujan model ITU-R P.618-6 sebagai berikut:

- Tentukan tinggi hujan h_R :

$$h_R = 5 \quad \text{untuk } 0^\circ \leq \varphi \leq 23^\circ \quad (3.12)$$

$$h_R = 5 - 0.075(|\varphi| - 23) \quad \text{untuk } \varphi \geq 23^\circ$$

- Hitung panjang lintasan *slant path* , L_s [Km]

Untuk $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad (3.13)$$

Untuk $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left[\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right]^{0.5} + \sin \theta}$$

- Hitung proyeksi horizontal, L_G dari lintasan miring :

$$L_G = L_s \cdot \cos \theta \quad (\text{Km}) \quad (3.14)$$

- Hitung *rain rate* untuk persen waktu 0.01 % , $R_{0.01}$, disuatu lokasi
- Hitung redaman spesifik, dengan harga k dan α dari rekomendasi ITU-R P.838.

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad (3.15)$$

- Hitung faktor reduksi horizontal $r_{0.01}$ untuk 0.01%

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \cdot \gamma_R}{f}} - 0.38(1 - e^{-2L_G})} \quad (3.16)$$

- Hitung faktor *adjustment* vertikal $v_{0.01}$ untuk 0.01%

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31(1 - e^{-(\theta/(1+x))}) \sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f^2}} - 0.45 \right)} \quad (3.17)$$

Untuk $\zeta > \theta$ maka:

$$L_R = \frac{L_G \cdot r_{0.01}}{\cos \theta} \quad (\text{Km}) \quad (3.18)$$

Selain itu :

$$L_R = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad (\text{Km})$$

Dimana :

$$\zeta = \tan^{-1} \left[\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right] \quad (\text{Derajat}) \quad (3.19)$$

$$x = 36 - |\varphi| \quad \text{jika } |\varphi| < 36^\circ$$

Dimana :

$H_0(p)$ = Ketinggian hujan saat 0^0 C

R_e = Jari-jari efektif bumi (8500)

- Ujilah jika $L \leq 22.5$ maka lanjutkan langkah selanjutnya, tetapi jika $L \geq 22.5$ maka lintasan dapat diasumsikan memiliki redaman yang sama dengan 22.5 km tetapi mempunyai probabilitas yang baru (P') yaitu :

$$P' = P \left(\frac{22.5 \text{ km}}{L} \right) \quad (3.24)$$

Dimana :

L = Panjang proyektor lintasan di permukaan (>22.5)

- Tentukan parameter $a(f)$ dan $b(f)$ yang berhubungan dengan redaman spesifik dan ditentukan dari tabel (lampiran B-2)
- Hitung redaman hujan menggunakan R_p, a, b, θ, L

Untuk sudut elevasi $\theta \geq 10^0$

$$A = \frac{aR_p^b}{\cos \theta} \left(\frac{e^{UZb}}{Ub} - \frac{X^b e^{YZb}}{Yb} + \frac{X^b e^{YLb}}{Yb} \right) \quad (3.25)$$

Untuk sudut elevasi $\theta < 10^0$

$$A = \frac{L_s}{L} aR_p^b \left(\frac{e^{UZb} - 1}{Ub} - \frac{X^b e^{YZb}}{Yb} + \frac{X^b e^{YLb}}{Yb} \right)$$

Untuk sudut elvasi 90^0 dan $L = 0$

$$A = (H - H_g)(aR_p^b)$$

Dimana

$$U = \frac{1}{z} (e^{YZ} \ln x)$$

$$X = 2.3R_p^{-0.17}$$

$$Y = 0.026 - 0.03 \ln R_p$$

$$Z = 3.8 - 0.6 \ln R_p$$

$$L_s = \sqrt{(R_e + H_s)^2 + (R_e + H_s)^2 - (R_e + H_s)(R_e + H_s) \cos \psi} \text{ Jika } \theta < 10^\circ$$

$$L_s = \frac{L}{\cos \theta} \quad \text{Jika } \theta \geq 10^\circ \quad (3.26)$$

3.2.3.4 Model SAM^[7]

Simple Attenuation Model dikembangkan oleh Stutzman dan Dishman didasarkan bentuk *rain rate* berbentuk eksponensial. Model ini dibuat oleh NASA, dengan tujuan kemudahan dalam pemakaiannya.

Langkah – langkah perhitungan redaman hujan model SAM sebagai berikut:

- Hitung ketinggian dari *zero degree isotherm*, H_o

$$H_o = 4,8 \quad |\phi| \leq 30^\circ \quad (3.27)$$

$$H_o = 7,8 - 0,1|\lambda| \quad |\phi| \geq 30^\circ$$

- Hitung tinggi efektif H_r [km]

$$H_r = H_o \quad R_o \leq 10 \text{ mm/jam} \quad (3.28)$$

$$H_r = H_o + \log\left(\frac{R_o}{10}\right) \quad R_o \geq 10 \text{ mm/jam}$$

Dimana :

R_o = Intensitas curah hujan (mm/jam)

- Hitung panjang lintasan hujan, L_s

$$L_s = \frac{(H_r - h_s)}{\sin \theta} \quad (3.29)$$

- Hitung redaman spesifik γ (dB/km)

$$\gamma = k[R(l)]^\alpha \text{ dB/km} \quad (3.30)$$

Dimana $R(l)$ adalah intensitas curah hujan spasial sepanjang lintasan

$$R(l) = R_o \quad R_o \leq 10 \text{ mm/jam}$$

$$R(l) = R_o \exp \left[\frac{-\Gamma \ln \left(\frac{R_o}{10} \right)}{\cos \theta} \right] \quad R_o > 10 \text{ mm/jam} \quad (3.31)$$

Dimana harga Γ sama dengan 1/14 yang ditetapkan secara empiris

- Hitung redaman hujan $A_s(R_o)$ (dB)

$$A_s(R_o) = \gamma L_s \quad R_o \leq 10 \text{ mm/jam}$$

$$A_s(R_o) = \gamma \frac{1 - \exp[-\alpha \Gamma \ln \left(\frac{R_o}{10} \right) L_s \cos \theta]}{\Gamma \alpha \ln \left(\frac{R_o}{10} \right) \cos \theta} \quad R_o \geq 10 \text{ mm/jam} \quad (3.32)$$

3.3 Redaman Awan^[9]

Awan merupakan partikel-partikel tetes air yang terjadi pada lapisan troposfir dan mempunyai diameter kurang dari 0.01 cm. Redaman awan merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam propagasi sistem komunikasi satelit terutama pada frekuensi ka-band. ITU-R P840-2 membuat suatu rumusan untuk menghitung redaman karena awan.

Langkah-langkah perhitungan redaman awan:

- Koefisien Redaman Spesifik

$$K_l = \frac{0.819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad (3.33)$$

Dengan :

$$\eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''}$$

$$\epsilon' = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{1 + \left(\frac{f}{f_p} \right)^2} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2} + \epsilon_2$$

$$\epsilon'' = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_1 \left(\frac{f}{f_p} \right)}{1 + \left(\frac{f}{f_p} \right)^2} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2 \left(\frac{f}{f_s} \right)}{1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2}$$

Dimana :

f = frekuensi (GHz)

$\varepsilon_0 = 77,66 + 103,3(rt+1)$

$\varepsilon_1 = 5,48$

$\varepsilon_2 = 3,51$

$rt = \frac{300}{T + 273,15}$

$fp = 20,09 - 142,4(rt-1) + 294 (rt-1)^2$

$fs = 590 - 1500(rt-1)$

- Tentukan nilai L yang telah dipetakan oleh ITU-R untuk *total columnar content of liquid water* (kg/m²) di seluruh dunia terdapat pada lampiran (B-4)
- Hitung redaman karena awan

$$A = \frac{L \times K_l}{\sin \theta} \quad (3.34)$$

Dimana :

A = Redaman karena awan (dB)

K = Koefisien spesifik redaman ((dB/km)/(g/m³))

L = *total columnar content of liquid water* (kg/m²)

3.4 Redaman karena Gas-gas pembentuk Atmosfir^[8]

Redaman yang terjadi di atmosfer adalah akibat dari penyerapan energi oleh gas-gas atmosfer. Molekul-molekul oksigen dan uap air di atmosfer dapat menyerap sinyal gelombang radio pada panjang gelombang tertentu. Daya gelombang radio yang merambat melalui atmosfer sebagian diserap oleh molekul-molekul ini. Redaman ini tidak banyak berpengaruh pada frekuensi dibawah 10 GHz. Akan tetapi pada frekuensi Ka-band (di atas 10 GHz), redaman ini tidak bisa diabaikan.

ITU membuat suatu perumusan untuk redaman karena gas-gas atmosfer yang dinyatakan dalam ITU-R P.676-3.

Adapun langkah-langkah perhitungan redaman karena gas-gas atmosfer:

1. Hitung spesifik redaman (*specific attenuation*) untuk γ_o dan γ_w (dB/km)

- Spesifik redaman untuk oksigen γ_o (dB/km)

Untuk $f \leq 57$ GHz

$$\gamma_o = \left[\frac{7.27 r_t}{f^2 + 0.351 r_p^2 r_t^2} + \frac{7.5}{(f - 57)^2 + 2.44 r_p^2 r_t^5} \right] f^2 r_p^2 r_t^2 \times 10^{-3} \quad (3.35)$$

- Spesifik redaman untuk uap air γ_w (dB/km)

Untuk $f \leq 350$ GHz

$$\gamma_w = \left[\frac{3.27 \times 10^{-2} r_t + 1.67 \times 10^{-3} \frac{\rho r_t^7}{r_p} + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5} + \frac{3.79}{(f - 22.235)^2 + 9.81 r_p^2 r_t}}{11.73 r_t + \frac{4.01 r_t}{(f - 18331)^2 + 11.85 r_p^2 r_t} + \frac{4.01 r_t}{(f - 325.153)^2 + 10.44 r_p^2 r_t}} \right] f^2 \rho r_p r_t \times 10^{-4} \quad (3.36)$$

Dimana :

γ_o = Spesifik redaman untuk Oksigen (dB/km)

γ_w = Spesifik redaman untuk uap air (dB/km)

f = Frekuensi (GHz)

p = Adalah tekanan udara (hPa)

t = Temperature ($^{\circ}$ C)

r_p = $p / 1013$

rt = $288 / (273 + t)$

ρ = Konsentrasi uap air (g/m^3)

2. Hitung tinggi equivalen untuk oksigen (h_o) dan uap air (h_w)

- o Untuk Tinggi Oksigen h_o

$$h_o = 6 \text{ km} \quad f < 50 \text{ GHz} \quad (3.37)$$

$$h_o = 6 + \frac{40}{(f - 118.7)^2 + 1} \quad 70 < f < 350 \text{ GHz}$$

- o Untuk Tinggi Uap Air h_w , Untuk $f < 350$ GHz

$$h_w = h_{w0} \left\{ 1 + \frac{3}{(f - 22.2)^2 + 5} + \frac{5}{(f - 183.3)^2 + 6} + \frac{2.5}{(f - 325.4)^2 + 4} \right\} \quad (3.38)$$

Dimana

h_{w0} adalah ketinggian ekuivalen uap air di suatu kondisi

$h_{w0} = 1.6$ km di cuaca cerah

$h_{w0} = 2.1$ km di hujan

3. Hitung total *slant path* redaman gas atmosfer

- o Untuk $\theta > 10^\circ$

$$A = \frac{\gamma_o h_o e^{-h_s/h_o} + \gamma_w h_w}{\sin \theta} \quad (\text{dB}) \quad (3.39)$$

- o Untuk $\theta \leq 10^\circ$

$$A_g = \frac{\gamma_o h_o e^{-h_s/h_o}}{g(h_o)} + \frac{\gamma_w h_w}{g(h_w)} \quad (\text{dB})$$

$$g(h) = 0.661 x + 0.339 \sqrt{x^2 + 5.5 (h/R_e)}$$

$$x = \sqrt{\sin^2 \theta + 2(h_s/R_e)}$$

Dimana :

h_s = Ketinggian diatas permukaan laut (km)

R_e = 8500 km (jari-jari efektif bumi)

h = Bisa h_w maupun h_o .

3.5 Redaman Karena Scintilasi ^[11]

Fluktuasi yang cepat dari level sinyal akibat ketidakteraturan struktur atmosfer disebut scintilasi. Ketidakteraturan ini terjadi karena indeks bias yang berbeda-beda, dimana indeks bias ini bergantung pada suhu, tekanan dan kelembaban.

Scintilasi terjadi karena ketidakteraturan indeks bias pada lapisan troposfir, yang mengakibatkan fluktuasi level sinyal melebihi yang diinginkan (khususnya pada sudut elevasi yang kecil, 4 – 30 derajat). Langkah-langkah perhitungan redaman scintilasi adalah sebagai berikut :

- Hitung *wet term of the radio refractivity*, N_{wet} yang direkomendasikan ITU-R P.453 :

$$N_{wet} = 3.732 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (3.40)$$

Dimana :

P = Tekanan atmosfer (hPa).

e = *Water vapor presurre* (hPa).

T = Temperatur *absolut* (K).

- Hitung standar deviasi dari amplitudo *signal*, σ_{ref} :

$$\sigma_{ref} = 3.6 \times 10^{-3} + 10^{-4} \times N_{wet} \quad (\text{dB}) \quad (3.41)$$

- Hitung lintasan efektif L :

$$L = \frac{2 h_L}{\sqrt{\sin^2 \theta + 2.35 \times 10^{-4} + \sin \theta}} \quad (\text{m}) \quad (3.42)$$

Dimana : $h_L = 1000\text{m}$

- Tentukan diameter efektif antenna, D_{eff} ,

Dimana : D adalah diameter, dan η adalah efisiensi antenna :

$$D_{eff} = \sqrt{\eta} D \quad (\text{m}) \quad (3.43)$$

- Hitung faktor rata-rata antenna :

$$g(x) = \sqrt{3.86 (x^2 + 1)^{11/12} \cdot \sin \left[\frac{11}{6} \arctan \frac{1}{x} \right] - 7.08 x^{5/6}} \quad (3.44)$$

Dengan : $x = 1.22 D_{eff}^2 (f/L)$ dimana f = Frekuensi (GHz)

- Hitung standar deviasi dari sinyal dari beberapa periode dan lintasan propagasi :

$$\sigma = \sigma_{ref} f^{7/12} \frac{g(x)}{(\sin \theta)^{1.2}} \quad (3.45)$$

- Hitung persen waktu faktor $a(p)$, dimana p dari $0.01 < p \leq 50$:

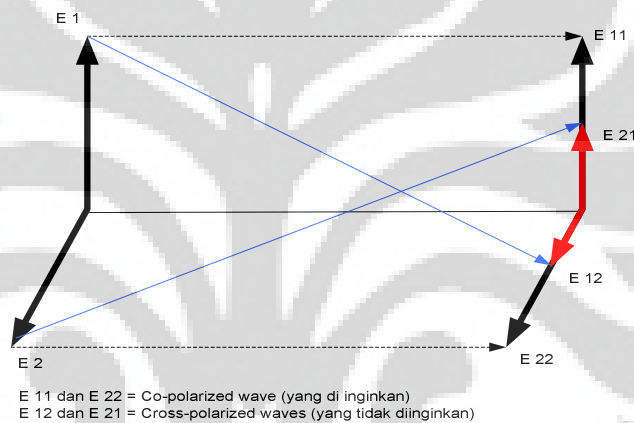
$$a(p) = -0.061 (\log_{10} p)^3 + 0.072 (\log_{10} p)^2 - 1.71 \log_{10} p + 3.0 \quad (3.46)$$

- Hitung *scintillation* dengan persen, p :

$$A_s(p) = a(p) \cdot \sigma \quad (\text{dB}) \quad (3.47)$$

3.6 Depolarisasi^[12]

Terjadinya polarisasi silang ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Proses Terjadinya Depolarisasi

E_1 dan E_2 adalah gelombang berpolarisasi ortogonal (berpolarisasi linear H dan V) yang dipancarkan dengan beda fasa 90^0 . Karena medium yang dilaluinya (adanya hujan, partikel-partikel es) akan menyebabkan adanya pergeseran arah polarisasi yaitu : $E_1 \rightarrow E_{12}$ dan $E_2 \rightarrow E_{21}$ hal ini disebut polarisasi silang dan tidak diinginkan. Pengukuran depolarisasi dinyatakan dengan *Cross Polarization Diskrimination*, yaitu :

$$XPD_V = 10 \log \left[\frac{P_{11}}{P_{12}} \right] = 20 \log \left[\frac{E_{11}}{E_{12}} \right] \quad (3.48)$$

$$XPD_H = 10 \log \left[\frac{P_{22}}{P_{21}} \right] = 20 \log \left[\frac{E_{22}}{E_{21}} \right] \quad (3.49)$$

dimana :

P_{11}, P_{22} = daya *Co-polarized wave* di penerima

P_{12}, P_{21} = daya *Cross-polarized wave* di penerima

3.6.1 Perhitungan Depolarisasi

Redaman hujan dapat diperkirakan secara akurat dengan menggunakan data curah hujan, karena sangat dipengaruhi oleh volume air yang terdapat pada lintasan propagasi, sedangkan depolarisasi sangat ditentukan oleh ukuran, bentuk, dan orientasi distribusi air hujan tersebut. Tetapi dari data redaman hujan ini, besar depolarisasi dapat diperoleh (dinyatakan dalam besaran XPD), dimana XPD merupakan fungsi dari *Co-polarized rain attenuation*, hal ini terjadi karena sinyal yang ditransmisikan baik yang berpolarisasi linier maupun lingkaran ketika melintasi air hujan bagian *co-polarized wave* akan mengalami redaman. Berdasarkan rekomendasi ITU-R, maka pengukuran depolarisasi untuk frekuensi *Ka-band* adalah :

- Hitung daya gelombang saat *co-polarized*

$$XPD_{1,p} = U - V \log(A_p) - C_\tau - C_\theta + C_\sigma \quad (3.50)$$

dengan :

$$U = 30 \log(f)$$

$$V = \begin{cases} 12,8 f^{0,19} & \longrightarrow 8 \leq f \leq 20 \text{GHz} \\ 22,6 & \longrightarrow 20 \leq f \leq 35 \text{GHz} \end{cases}$$

$$C_\tau = 10 \log[1 - 0,484(1 + \cos(4\tau))]$$

$$C_\theta = 40 \log(\theta)$$

$$C_\sigma = 0,0052 \sigma_p^2$$

Dimana :

$XPD_{1,p}$ = Daya pada saat *Co-polarized wave*

f = frekuensi (GHz)

θ = sudut elevasi

τ = sudut kemiringan polarisasi terhadap horizontal

(untuk polarisasi circular $\tau = 45$; polarisasi linier $\tau = 90$ atau 0)

$\sigma_p = 0^0; 5^0; 10^0$ untuk $P = 1\% ; 0,1\% ; 0,01\%$

- Hitung daya gelombang saat *cross-polarized*

$$XPD_{2,p} = XPD_{1,p} \cdot 0,5[0,3 + 0,1 \log(p)] \quad (3.51)$$

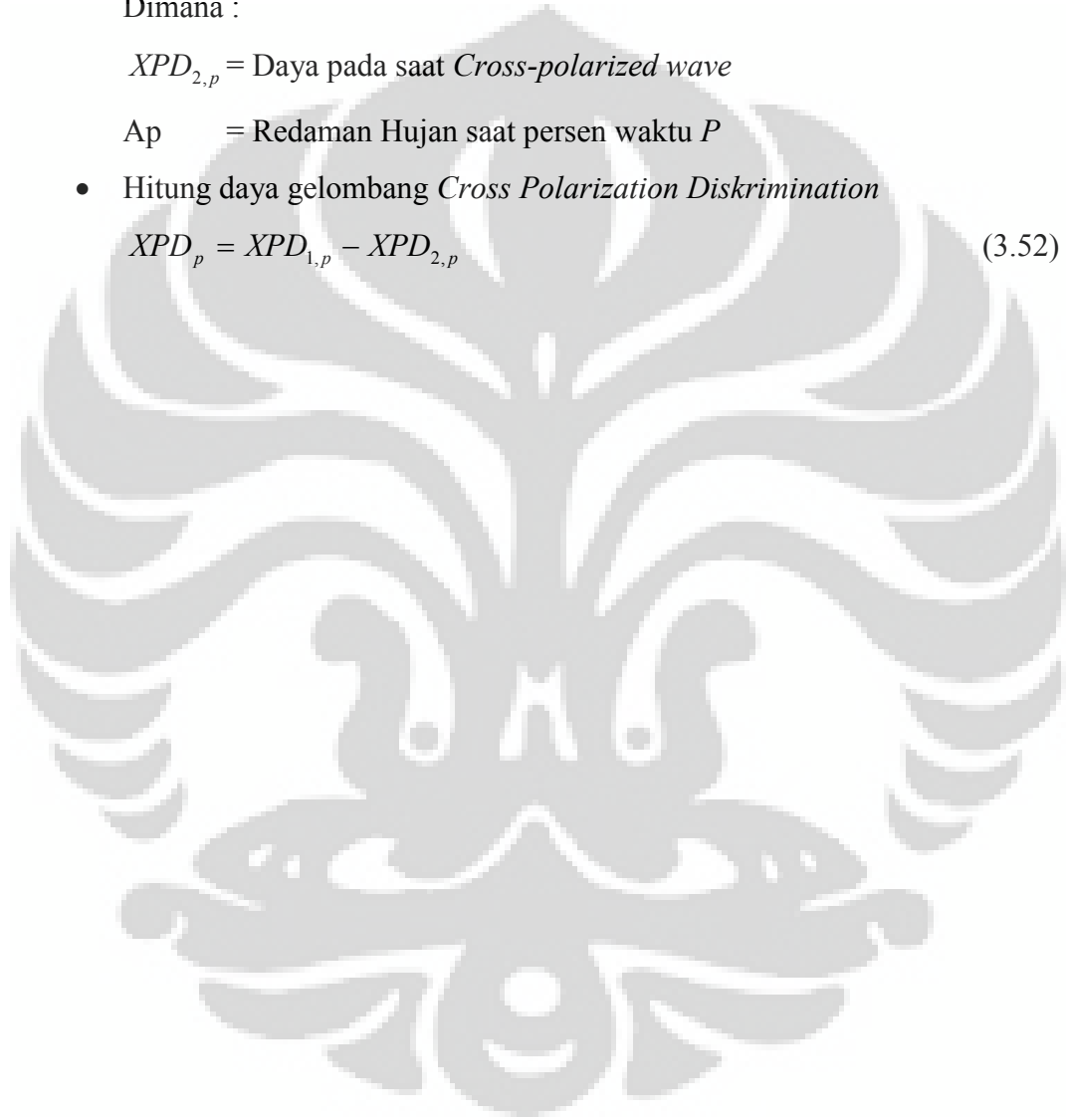
Dimana :

$XPD_{2,p}$ = Daya pada saat *Cross-polarized wave*

A_p = Redaman Hujan saat persen waktu P

- Hitung daya gelombang *Cross Polarization Diskrimination*

$$XPD_p = XPD_{1,p} - XPD_{2,p} \quad (3.52)$$



BAB IV

EVALUASI KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SATELIT

4.1 Konstelasi Satelit

Konstelasi satelit *teledesic* terdiri dari 288 satelit pada ketinggian 1375 km di atas permukaan bumi dengan coverage global. Satelit-satelit tersebut menempati 12 bidang orbit, masing-masing orbit ditempati oleh 24 satelit. Dengan menempati 12 bidang orbit berarti jarak antar bidang orbit adalah 15° dan jarak antar satelit dalam 1 orbit juga 15° . Dengan beberapa data ini kita bisa mengetahui konstelasi satelit *teledesic* untuk melayani Indonesia.

4.1.1 Konstelasi Satelit *Teledesic* untuk melayani Indonesia

1. Penentuan wilayah yang akan dilayani

Wilayah yang akan dilayani adalah Indonesia, dengan koordinat $6^\circ \text{ LU} - 11^\circ \text{ LS}$; $95^\circ \text{ BT} - 141^\circ \text{ BT}$.

2. Penentuan orbit satelit

Konstelasi satelit *teledesic* menggunakan orbit *polar*.

Untuk melayani Indonesia membutuhkan 4 bidang orbit yaitu orbit 95° BT , 110° BT , 125° BT , 140° BT .

3. Penentuan ketinggian satelit dan sudut elevasi minimum

Berdasarkan standar satelit *teledesic*, ketinggian satelit (h) adalah 1375 Km, sedangkan sudut elevasi minimum (θ_{\min}) adalah 40° .

4. Hitung setengah sudut pusat bumi

Nilai $h = 1375 \text{ Km}$, $\rho = 6378,155 \text{ Km}$, dan $\theta_{\min} = 40^\circ$ dimasukkan ke persamaan (2.1)

$$\psi = \frac{\pi}{2} - 40^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{6378.155}{6378.155 + 1375} \cos 40^\circ\right) = 10.93^\circ = 0.1906 \text{ rad}$$

maka akan didapat harga setengah sudut pusat bumi, $\psi = 0,1906$ rad.

5. Jumlah satelit dalam 1 Orbit

Pertama-tama ditentukan dulu jumlah satelit minimum yang dibutuhkan, yaitu dengan menggunakan persamaan (2.2)

$$n' = \left\lceil \frac{2\pi}{\sqrt{3} \times 0.1906} \right\rceil = 20$$

dari perhitungan diatas dengan $\psi = 0.1906$ rad diperoleh bahwa jumlah satelit minimum dalam 1 jalur orbit adalah 20 satelit. Namun dalam kenyataannya dalam 1 jalur orbit pada konstelasi *teledesic* terdapat 24 satelit maka besarnya setengah pusat bumi (ψ) adalah :

$$\frac{2\pi}{\psi\sqrt{3}} = 24, \text{ maka } \psi = 0.15107 \text{ rad}$$

maka akan didapat harga setengah sudut pusat bumi $\psi = 0.15107$ rad.

footprint yang dihasilkan akan seperti gambar (2.2) dengan ukuran –ukuran :

$$x = 0,2616 \text{ rad}$$

$$a = 0.1507 \text{ rad}$$

$$b = 0.1308 \text{ rad}$$

$$c = 0.226.$$

6. Hitung luas 1 *footprint* efektif

Untuk mencari luas 1 *footprint* efektif, pertama-tama harus dicari dahulu besar sudut α dan besar efek segitiga *speris* ξ .

- Nilai $\psi = 0.15107$ rad di masukkan ke persamaan (2.7), maka diperoleh nilai α :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{\cos 0.15107} \right) = 60^\circ = 1,0746 \text{ rad}$$

- Nilai α ini kemudian dimasukkan ke persamaan (2.8), maka diperoleh nilai ξ :

$$\xi = 2 \times 1,0746 - \frac{2\pi}{3} = 0,0558 \text{ rad}$$

- Nilai ξ dimasukkan ke persamaan (2.9)

$$A = 6 \times 6378,155^2 \times 0,0558 = 13,619952 \times 10^6$$

Didapat luas 1 *footprint* efektif sebesar $13,619952 \times 10^6 \text{ Km}^2$

7. Hitung periode orbit satelit

Periode orbit satelit adalah 113,2 menit atau 6792 sekon.

8. Hitung kecepatan orbit satelit

Nilai $h = 1375$, $\rho = 6375,155 \text{ Km}$, dan $T = 6792$ sekon dimasukkan ke persamaan (2.10)

$$v = \frac{2\pi(6378,155 + 1375)}{6792} = 7,168 \text{ Km/s}$$

maka didapat nilai kecepatan orbit satelit sebesar 7,168 Km/s

9. Hitung kecepatan relatif satelit terhadap bumi

Dengan memasukkan nilai $\rho = 6378,155 \text{ Km}$ ke dalam persamaan (2.12)

didapat nilai $v_{bumi} = 0,4651 \text{ km/s}$. maka kecepatan relatif bumi terhadap satelit, yaitu :

$$v' = 7,168 - 0,4651 = 6,7036 \text{ km/s}$$

10. Hitung *visibility time* sebuah satelit dari sebuah titik di bumi

Dengan memasukkan nilai $\psi = 963,5478 \text{ km}$; $v' = 6,7036 \text{ km/s}$ ke persamaan (2.13)

$$t_{vis} = \frac{2 \times 963,54}{6,7036} = 287,47 \text{ sekon}$$

maka didapat *visibility time* sebuah satelit dari sebuah titik di bumi sebesar 287,47 sekon atau 4,791 menit.

4.1.2 Evaluasi Daerah Cakupan

Konfigurasi satelit *Teledesic* untuk melayani Indonesia pada saat tertentu adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Konfigurasi satelit *Teledesic* untuk pelayanan wilayah Indonesia

PARAMETER	NILAI
Ketinggian	1375 Km
Sudut Elevasi minimum	40°
Jumlah Orbit	4 buah
Jumlah satelit saat bersamaan	6 buah
Luas 1 <i>footprint</i> efektif	$13,619952 \times 10^6 \text{ Km}^2$
Periode Orbit	113,2 menit
Kecepatan Orbit	7,168 Km/s
<i>Visibility Time</i> Satelit	4,791 menit
Asumsi Posisi Awal Satelit	1. $95^{\circ} \text{ BT} ; 0^{\circ} \text{ L}$ 2. $110^{\circ} \text{ BT} ; 7,5^{\circ} \text{ LS}$ 3. $110^{\circ} \text{ BT} ; 7,5^{\circ} \text{ LU}$ 4. $125^{\circ} \text{ BT} ; 0^{\circ} \text{ L}$ 5. $140^{\circ} \text{ BT} ; 7,5^{\circ} \text{ LS}$ 6. $140^{\circ} \text{ BT} ; 7,5^{\circ} \text{ LU}$

Konstelasi satelit *teledesic* mampu melayani secara kontinu wilayah Indonesia mulai dari $12,95^{\circ} \text{ LU}$ s/d $12,95^{\circ} \text{ LS}$.

4.2 Analisa Perubahan sudut elevasi terhadap pergerakan satelit LEO

Satelit *teledesic* diasumsikan ber-orbit polar, artinya satelit bergerak tepat sejajar dengan garis bujur bumi. Jika dilihat dari posisi Indonesia maka satelit bergerak mulai dari selatan ke utara bumi. Berikut adalah beberapa contoh kota yang akan dilayani oleh satelit :

Tabel 4.2. Sudut elevasi kota yang akan dilayani satelit *Teledesic*

Kota	Lintang	Bujur	Satelit Pelayan	Sudut Elevasi terkecil	Posisi Satelit	Sudut Elevasi terbesar	Posisi Satelit
Medan	3.57° LU	98.6° BT	0° L 95° BT	42.76°	13° L U	70.19°	4° L U
Jakarta	6.18° LS	106.18° BT	7.5° LS 110° BT	41.73°	3.5° L U	69.12°	6.5° LS
Bandung	6.90 ° LS	107.58° BT	7.5° LS 110° BT	40.85°	3.5° L U	76.38°	6.5° LS
Semarang	6.98° LS	110.38° BT	7.5° LS 110° BT	41.46°	3.5° L U	86.55°	6.5° LS
Jogjakarta	7.78° LS	110.4° BT	7.5° LS 110° BT	42.12°	2.5° L U	87.25°	7.5° LS
Surabaya	7.22 ° LS	112.72° BT	7.5° LS 110° BT	42.76°	2.5° L U	74.87°	7.5° LS
Denpasar	8.75° LS	115.17° BT	7.5° LS 110° BT	41.11°	0.5° L U	61.85°	7.5° LS
Makasar	5.07 ° LS	119.5° BT	0° L 125° BT	41.08°	4° L U	52.40°	0° L

Dikarenakan menggunakan satelit *Teledesic* dengan orbit LEO, dimana satelit ini akan bergerak dengan kecepatan yang tidak sama dengan kecepatan rotasi bumi. Maka akan terdapat perubahan sudut elevasi setiap daerah yang dilayani (lampiran D). Nilai sudut elevasi yang terbesar dan terkecil dapat dilihat pada tabel (4.2). Berbeda halnya dengan satelit GEO yang bergerak sama dengan kecepatan rotasi bumi, maka seolah-olah satelit tersebut diam pada posisi tersebut, sehingga memiliki sudut elevasi yang selalu tetap.

Berdasarkan tabel (4.2) kota Medan akan dilayani mulai dari sudut elevasi 42.76° sampai dengan sudut elevasi 70.19° oleh satelit yang berada di posisi 0° ; 95° BT. Sebenarnya kota Medan memiliki sudut elevasi minimum mulai dari 36.87°, namun satelit *teledesic* hanya melayani mulai dari sudut elevasi minimum 40°, kurang dari sudut elevasi minimum tersebut maka kota tersebut akan dilayani oleh satelit berikutnya.

4.3 Analisa Redaman Hujan

4.3.1 Perhitungan Intensitas Curah Hujan (*Rain rate*)

Untuk menghitung redaman hujan diperlukan intensitas curah hujan (*rain rate*). Pada tugas akhir ini, intensitas curah hujan dihitung dengan menggunakan model prediksi *rain rate* yang dibuat oleh Prima Setiantowidodo^[14]. Dalam perhitungan *rain rate* ini menggunakan data curah hujan rata-rata tahunan dan data curah rata-rata maksimum bulanan selama pengamatan (data pada lampiran C). Hasilnya perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.4), dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 *Rainrate* Kota Yang Akan Dilayani

Kota	Ketinggian (meter)	Lintang (°)	Bujur (°)	R0.01 (mm/jam)
Medan	49	3.57° LU	98.6° BT	126.2
Jakarta	15	6.18° LU	106.18° BT	118.53
Bandung	700	6.90° LU	107.58° BT	120
Semarang	21	6.98° LU	110.36° BT	127.5
Yogyakarta	133	7.78° LU	110.4° BT	110.96
Surabaya	15	7.22° LU	112.72° BT	109.8
Denpasar	25	8.75° LU	115.17° BT	109
Makassar	15	5.07° LU	119.5° BT	129.75

Berdasarkan peta *hydroclimatic* pada ITU-R PN.837-1 menetapkan bahwa Indonesia termasuk dalam zona P yang mempunyai intensitas curah hujan sebesar 145 mm/jam pada persen waktu 0.01%, sedangkan dari hasil perhitungan pada tabel (4.3) terlihat bahwa intensitas curah hujan di beberapa daerah tidak selalu 145 mm/jam atau bervariasi.

4.3.2 Perhitungan Redaman Hujan (*Rain Attenuation*)

Perhitungan redaman hujan tergantung pada *rain rate* dan sudut elevasi, pada satelit *Teledesic* terdapat perubahan sudut elevasi setiap pergerakan satelit sehingga

mengakibatkan redaman hujan yang bervariasi. Berikut adalah hasil perhitungan redaman hujan pada persen waktu 0.01 %:

Tabel.4.4 Redaman Hujan ($A_{0,01}$) Arah *Uplink* Untuk Beberapa Model Prediksi

Model	ITU-R-618-5		ITU-R-618-6		GlobalCrane		SAM	
	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar
Medan	106.53	105.49	94.54	95.09	133.41	121.01	125.83	127.08
Jakarta	101.69	99.95	91.75	91.14	129.23	115.88	120.70	120.44
Bandung	94.76	92.10	85.33	87.96	118.79	104.30	114.46	112.57
Semarang	100.84	110.89	91.12	105.81	128.48	132.13	119.80	131.12
Jogjakarta	93.48	102.95	86.39	100.48	119.91	125.95	112.48	121.52
Surabaya	93.51	94.80	86.86	90.47	120.20	109.10	112.46	113.70
Denpasar	93.44	89.90	86.85	83.25	120.98	108.02	112.26	108.99
Makasar	111.69	107.58	97.32	92.76	139.75	129.83	130.57	128.42

Tabel.4.5 Redaman Hujan ($A_{0,01}$) Arah *Downlink* Untuk Beberapa Model Prediksi

Model	ITU-R-618-5		ITU-R-618-6		GlobalCrane		SAM	
	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar	Elevasi Terkecil	Elevasi Terbesar
Medan	60.30	59.71	47.47	44.47	67.63	61.55	68.70	70.93
Jakarta	57.31	56.33	45.96	42.58	65.45	58.89	65.58	66.90
Bandung	53.46	51.95	43.01	40.64	60.20	53.07	62.41	62.97
Semarang	56.79	62.45	45.62	47.17	65.06	67.34	65.05	73.66
Jogjakarta	53.15	59.07	43.11	44.71	60.69	64.16	60.91	68.00
Surabaya	52.38	53.10	43.26	41.65	60.83	55.41	60.86	63.05
Denpasar	52.31	50.33	43.35	39.41	61.20	54.79	60.62	59.87
Makasar	63.38	61.05	48.99	45.20	70.86	65.93	71.32	70.88

Redaman hujan dihitung dengan menggunakan beberapa model prediksi, dari hasil perhitungan diperoleh hasil bahwa setiap model prediksi memberikan nilai redaman hujan yang berbeda-beda. Selain intensitas hujan perhitungan redaman hujan dari masing-masing model prediksi juga dipengaruhi oleh sudut elevasi. Dikarenakan adanya perubahan sudut elevasi maka akan mempengaruhi besarnya redaman hujan seperti terlihat pada tabel (4.4) dan (4.5). dari hasil perhitungan, disimpulkan bahwa redaman hujan terbesar terjadi saat sudut elevasi terkecil (sekitar 40° s/d 43°) dan saat elevasi terbesar (sekitar 85° s/d 87°).

Dalam perhitungan selanjutnya, akan digunakan redaman hujan yang terbesar. Hal ini bertujuan agar sistem komunikasi satelit dapat berjalan baik dengan

memperhitungkan kondisi terburuk, yaitu dengan menggunakan redaman hujan yang besar (terlihat pada tabel dengan kotak yang diberi warna).

Dari hasil perhitungan, maka bisa diperoleh redaman hujan terbesar untuk masing-masing model prediksi. Untuk setiap daerah akan dianalisa menggunakan model prediksi yang memberikan nilai redaman hujan terbesar. Hasil interpolasi untuk persen waktu lainnya dapat dilihat pada tabel (4.6) dan (4.7).

Lokasi : Semarang
 Posisi stasiun bumi : $6,98^{\circ}$ LS; $110,38^{\circ}$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : $7,5^{\circ}$ LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $41,46^{\circ}$ s/d $86,55^{\circ}$
 Tinggi dari permukaan laut : 21 m
 Frekuensi (*uplink*) : 28,6 GHz
 Frekuensi (*downlink*) : 18.8 GHz

Tabel 4.6 Distribusi Redaman Hujan *Uplink* Untuk Beberapa Persen Waktu

Model/ Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R 618-5	110.89	42.37	30.53	24.99	21.50	19.25	17.50	16.13	15.02	14.09	13.31
ITU-R 618-6	105.81	61.04	46.25	37.61	31.54	26.92	21.22	20.18	17.63	15.47	13.62
Global Crane	132.13	50.49	36.38	29.78	25.74	22.94	20.85	19.22	17.89	16.79	15.86
SAM	131.12	50.10	36.10	29.56	25.55	22.77	20.89	19.07	17.76	16.66	15.73

Tabel 4.7 Distribusi redaman hujan *downlink* untuk beberapa persen waktu

Model/ Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R 618-5	62.45	21.86	17.19	14.07	12.17	10.84	9.56	9.08	8.46	7.94	7.49
ITU-R 618-6	47.17	25.03	18.49	14.82	12.36	10.41	8.92	7.71	6.70	5.86	5.13
Global Crane	67.34	25.73	18.54	15.18	13.12	11.89	10.53	9.79	9.12	8.56	8.08
SAM	73.66	28.15	20.28	16.50	14.35	12.79	11.63	10.71	9.98	9.36	8.84

Tabel (4.6) dan (4.7) menunjukkan hasil perhitungan redaman hujan di kota semarang dengan menggunakan berbagai model prediksi redaman hujan, terlihat

bahwa semakin besar persen waktu hujan maka redaman hujan semakin kecil. Untuk redaman hujan kota lainnya dapat dilihat pada lampiran E.

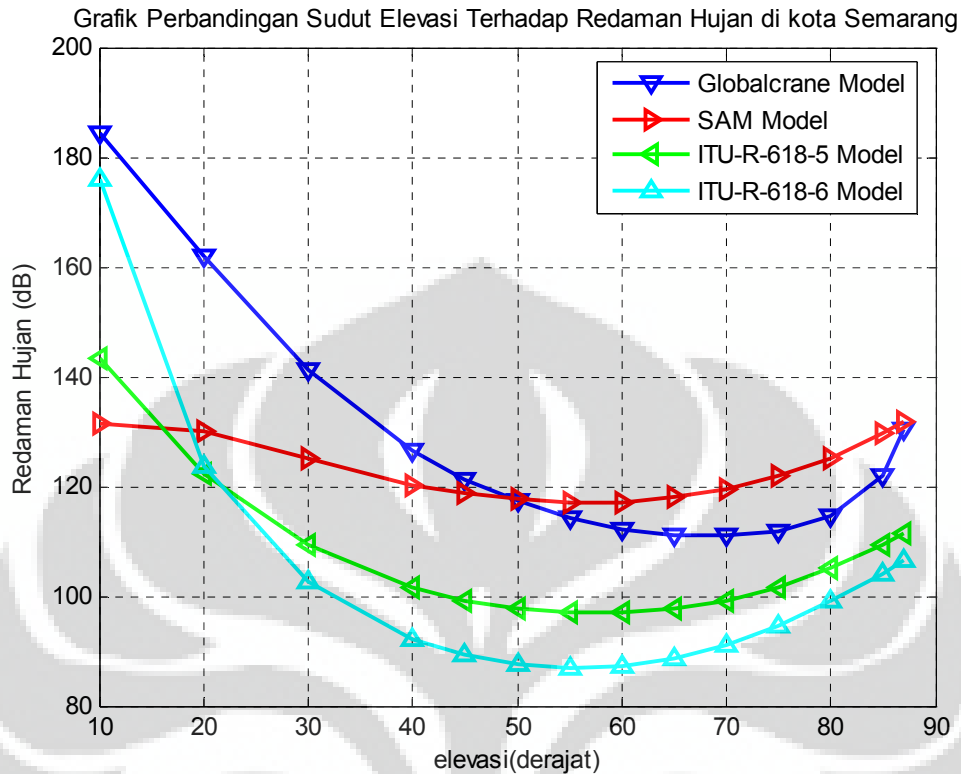
Perhitungan redaman hujan dilakukan dengan menggunakan satelit *Teledesic*. Untuk satelit dengan posisi 7,5 LS ; 110 BT melayani daerah jakarta, bandung, semarang, jogjakarta, surabaya, dan denpasar. Dari kelima kota tersebut yang mempunyai redaman hujan terbesar pada *availability* 99,99 % adalah kota semarang, *uplink* 132,13 dB dan *downlink* 73,66 dB. Untuk kota lainnya, seperti kota medan yang dilayani satelit 0 ; 95 BT, redaman hujan *uplink* 133,41 dB, *downlink* 70,93 dB dan kota makasar yang dilayani oleh satelit 0 ; 125 BT redaman hujan *uplink* 139,75 dB, *downlink* 71,32 dB pada *availability* 99,99 %.

Secara umum Perubahan redaman hujan dari masing-masing model prediksi tersebut dipengaruhi oleh *rain rate*, sudut elevasi, ketinggian stasiun bumi dari permukaan laut, dan frekuensi kerja. Model redaman hujan yang memberikan nilai redaman hujan terbesar adalah model Global-crane untuk *uplink*, sedangkan *downlink* model SAM.

4.4 Analisa Pengaruh Sudut Elevasi Terhadap Redaman Hujan

Perubahan sudut elevasi berpengaruh terhadap redaman hujan, gambar (4.1) menunjukkan perubahan sudut elevasi terhadap redaman hujan dengan berbagai model.

Berdasarkan gambar (4.1) terlihat bahwa perubahan sudut elevasi mempengaruhi besar redaman hujan. Untuk semua model prediksi, terlihat bahwa saat sudut elevasi kecil maka redaman hujan akan besar, besarnya redaman hujan terus menurun sampai sudut elevasi tertentu dan besarnya redaman mulai naik lagi seiring dengan naiknya sudut elevasi. Untuk model Globalcrane nilai redaman hujan minimum berada pada sudut elevasi 70° , untuk model SAM, ITU-R-618-5, ITU-R-618-6 pada sudut 55° .



Gambar 4.1 Perbandingan Sudut Elevasi Terhadap Redaman Hujan

4.5 Analisa Redaman Karena Awan

Redaman awan disebabkan oleh penggunaan frekuensi tinggi (seperti Ka-band), selain itu parameter yang mempengaruhi besarnya redaman awan adalah sudut elevasi dan temperatur. Redaman karena awan pada analisa ini menggunakan model ITU-R P.840-2, adapun hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.8 Redaman Awan Di Beberapa Kota

Kota	Lintang	Bujur	Elevasi	Temperatur (°C)	Redaman Uplink(dB)	Redaman downlink(dB)
Medan	3.57 LU	98.6 BT	42,76° s/d 70.19°	31.7	1.05	0.45
Jakarta	6.18 LS	106.18 BT	41,73° s/d	26.5	1.17	0.51

			69,12°			
Bandung	6.90 LS	107.58 BT	40,85° s/d 76,38°	22.5	1.29	0.56
Semarang	6.98 LS	110.38 BT	41,46° s/d 86,55°	32.1	1.06	0.46
Jogjakarta	7.78 LS	110.4 BT	42,12° s/d 87,25°	28.3	1.12	0.48
Surabaya	7.22 LS	112.72 BT	42,76° s/d 74,87°	31.6	1.04	0.45
Denpasar	8.75 LS	115.17 BT	41,11° s/d 61,85°	23.1	1.27	0.55
Makasar	5.07 LS	119.5 BT	41,08° s/d 52,4°	31.5	1.08	0.46

Pada tabel (4.8) terlihat hasil perhitungan redaman awan. Redaman yang tertera di tabel merupakan redaman yang terbesar dari setiap perubahan elevasi. Redaman terbesar diperoleh pada saat sudut elevasi terkecil. Berdasarkan tabel (4.8) terlihat bahwa redaman awan yang diperoleh tidak terlalu besar (sekitar 1 dB). Dari perhitungan di beberapa kota diperoleh hasil bahwa redaman terbesar terdapat di kota bandung, yaitu *uplink* 1,29 dB dan *downlink* 0,56 dB. Untuk lebih detail mengenai hasil perhitungan redaman awan dapat dilihat pada lampiran E-5.

4.6 Analisa Redaman Karena Gas-gas Atmosfir

Gas-gas atmosfer yang mempengaruhi redaman adalah partikel-partikel O_2 dan H_2O . Parameter yang mempengaruhi redaman gas-gas atmosfer adalah frekuensi yang digunakan, sudut elevasi, temperatur, dan tekanan udara. Redaman gas-gas atmosfer pada analisa ini menggunakan model ITU-R P.676-3, adapun hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.9 Redaman Gas-Gas Atmosfir Di Beberapa Kota

Kota	Ketinggian (m)	Elevasi	T (°C)	Tekanan (Pha)	Redaman Uplink(dB)	Redaman downlink(dB)
Medan	49	42,76° s/d 70.19°	31.7	1006.4	1.98	1.66
Jakarta	15	41,73° s/d 69.12°	26.5	1008.9	2.13	1.75
Bandung	700	40,85° s/d 76,38°	22.5	1007.1	1.76	1.46
Semarang	21	41,46° s/d 86,55°	32.1	1009.5	2.04	1.71
Jogjakarta	133	42,12° s/d 87,25°	28.3	1008.3	2.01	1.67
Surabaya	15	42,76° s/d 74,87°	31.6	1008.5	2.00	1.67
Denpasar	25	41,11° s/d 61,85°	23.1	1010.9	2.21	1.81
Makasar	15	41,08° s/d 52,4°	31.5	1009.9	2.07	1.73

Redaman gas atmosfer yang tertera pada tabel (4.9) merupakan redaman terbesar dari setiap perubahan sudut elevasi. Redaman terbesar terjadi pada saat sudut elevasi terkecil. Berdasarkan tabel (4.9) terlihat bahwa redaman gas-gas atmosfer lebih besar dari pada redaman awan, yaitu sekitar 2 dB. Dari beberapa kota yang dihitung, redaman terbesar terdapat di kota denpasar , yaitu *uplink* 2,21 dB dan *downlink* 1,81 dB. Untuk lebih detail mengenai hasil perhitungan redaman awan dapat dilihat pada lampiran E-5.

4.7 Analisa Redaman karena Scintilasi

Redaman scintilasi disebabkan karena adanya adanya ketidakteraturan lapisan atmosfer. Parameter yang mempengaruhi redaman scintilasi adalah tekanan udara, tekanan uap air, temperatur, diameter efektif antena, sudut elevasi, serta frekuensi. Redaman karena Scintilasi dihitung dengan menggunakan rekomendasi ITU, adapun hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.10 Redaman Scintilasi Di Beberapa Kota

Kota	Lintang	Bujur	Satelit	Elevasi	Redaman Uplink (dB)	Redaman downlink (dB)
Medan	3.57 LU	98.6 BT	0° 95° BT	42,76° s/d 70.19°	0.75	0.59
Jakarta	6.18 LS	106.18 BT	7.5° LS 110° BT	41,73° s/d 69.12°	0.77	0.61
Bandung	6.90 LS	107.58 BT	7.5° LS 110° BT	40,85° s/d 76,38°	0.79	0.62
Semarang	6.98 LS	110.38 BT	7.5° LS 110° BT	41,46° s/d 86,55°	0.77	0.61
Jogjakarta	7.78 LS	110.4 BT	7.5° LS 110° BT	42,12° s/d 87,25°	0.76	0.60
Surabaya	7.22 LS	112.72 BT	7.5° LS 110° BT	42,76° s/d 74,87°	0.75	0.59
Denpasar	8.75 LS	115.17 BT	7.5° LS 110° BT	41,11° s/d 61,85°	0.78	0.62
Makasar	5.07 LS	119.5 BT	0° 125° BT	41,08° s/d 52,4°	0.78	0.62

Pada tabel (4.10) redaman yang diperoleh merupakan redaman yang terbesar dari berbagai sudut elevasi. Disimpulkan bahwa semakin kecil sudut elevasi maka redaman semakin besar. Pada perhitungan tersebut digunakan diameter antena 0,8 meter dan efisiensi 0,55 %. Sehingga diperoleh redaman terbesar *uplink* adalah 0,79 dB, sedangkan *downlink* 0,62 dB. Untuk lebih detail mengenai hasil perhitungan redaman awan dapat dilihat pada lampiran E-5.

4.8 Evaluasi Kinerja Sistem Komunikasi Satelit (*Link Budget*)

Evaluasi kinerja (*link budget*) dilakukan pada kondisi propagasi terburuk. Bila pada kondisi propagasi terburuk ini performansinya baik, maka pada kondisi propagasi yang lainpun akan lebih baik lagi. Kondisi propagasi terburuk adalah pada saat sudut elevasi terkecil (40°) dan memperhitungkan semua pengaruh dari propagasi *Ka-band*, yakni redaman pada lintasan *uplink* dan *downlink*. Parameter keberhasilan diukur dari *C/No* yang diperoleh, bila *C/No* yang diperoleh lebih besar dari *C/No* standar (*required*) maka sistem baik, apabila kurang dari *C/No* standar (*required*) maka perlu *reconfigurasi*. Dalam perhitungan *link budget* ini, menggunakan *Bit Error Rate (BER)* standar layanan komunikasi data yaitu 10^{-7} , dengan menggunakan teknik modulasi *QPSK* dan *FEC 3/4 viterby decoder*.

Tabel 4.11 Kualitas Sinyal

Kualitas Sinyal Inbound			Kualitas sinyal Outbound		
Parameter Layanan yang diberikan			Parameter Layanan yang diberikan		
Parameter	Satuan	Nilai	Parameter	Satuan	Nilai
BER (per link)		5×10^{-8}	BER (per link)		5×10^{-8}
Eb/No	dB	11,8	Eb/No	dB	11,8
FEC viterbi-decoded		3/4	FEC viterbi-decoded		3/4
Coding Gain	dB	4,8	Coding Gain	dB	4,8
Eb/No req	dB	7	Eb/No req	dB	7
Bit Rate	Mbps	2	Bit Rate	Mbps	64
Roll of factor		0,4	Roll of factor		0,4
Guardband		0,1	Guardband		0,1
(C/No)req	dBHz	71.01	(C/No)req	dBHz	86.06
Perhitungan Kualitas arah uplink			Perhitungan Kualitas arah uplink		
Parameter	Satuan	Nilai	Parameter	Satuan	Nilai
EIRP	dBw	44,49	EIRP	dBw	68,125
G/T	dBK	10	G/T	dBK	10
FSL	dB	187,24	FSL	dB	187,24

Redaman Hujan	dB	18	Redaman Hujan	dB	18
Redaman Awan	dB	1,29	Redaman Awan	dB	1,29
Redaman Atmosfir	dB	2,13	Redaman Atmosfir	dB	2,13
Redaman Scintilasi	dB	0,95	Redaman Scintilasi	dB	0,95
Loss <i>Pointing</i>	dB	0,5	Loss <i>Pointing</i>	dB	0,5
Loss feeder	dB	0,5	Loss feeder	dB	0,5
Loss <i>Uplink total</i>	dB	210,61	Loss <i>Uplink total</i>	dB	210,61
BW <i>Allocated</i>	MHz	2,05	BW <i>Allocated</i>	MHz	65,70
(C/No) <i>uplink</i>	dBHz	72.48	(C/No) <i>uplink</i>	dBHz	96.11
Perhitungan Kualitas arah downlink			Perhitungan Kualitas arah downlink		
Parameter	Satuan	Nilai	Parameter	Satuan	Nilai
EIRP Satelit	dBw	55	EIRP Satelit	dBw	55
G/T	dBK	32,75	G/T	dBK	16,90
FSL	dB	183,59	FSL	dB	183,59
Redaman Hujan	dB	10	Redaman Hujan	dB	10
Redaman Awan	dB	0,56	Redaman Awan	dB	0,56
Redaman Atmosfir	dB	1,81	Redaman Atmosfir	dB	1,81
Redaman Scintilasi	dB	0,75	Redaman Scintilasi	dB	0,75
Loss <i>Pointing</i>	dB	0,5	Loss <i>Pointing</i>	dB	0,5
Loss feeder	dB	0,5	Loss feeder	dB	0,5
Loss downlink total	dB	196,72	Loss downlink total	dB	196,72
BW <i>Allocated</i>	MHz	2,05	BW <i>Allocated</i>	MHz	65,70
(C/No) <i>downlink</i>	dBHz	118.64	(C/No) <i>downlink</i>	dBHz	102.79

Berdasarkan tabel perhitungan *link budget* (4.11), untuk *link inbound* dengan *bit rate* 2 Mbps diperoleh C/No *uplink* 72,48 dBHz, C/No *downlink* 118,64 dBHz, Sedangkan untuk *link outbound* dengan *bit rate* 64 Mbps diperoleh C/No *uplink* 96,11 dBHz, C/No *downlink* 102,79 dBHz. Kedua *link* tersebut memenuhi C/No *required inbound* 71,01 dBHz dan *outbound* 86,06 dBHz. Sistem ini terpenuhi untuk BER 5×10^{-8} (perlink) dengan *availability* 99,2 %. Spesifikasi perangkat sistem untuk memenuhi layanan tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Spesifikasi Perangkat Sistem

PARAMETER	NILAI
Diameter Antena <i>User</i>	0.8 meter
<i>Power Transmit User</i>	1 Watt
Diameter Antena HUB	5 meter
<i>Power Transmit HUB</i>	5 Watt

Dengan spesifikasi dari sistem diatas, maka sistem ini mampu memberikan layanan dengan *availability* yang berbeda-beda berdasarkan dari bit rate yang dilayani.

Tabel 4.13 Availability yang dapat dicapai berdasarkan Bit rate layanan

INBOUND		OUTBOUND	
Bit rate layanan	Availability	Bit rate layanan	Availability
64 Kbps	99.6 %	64 Kbps	99.8 %
128 Kbps	99.5 %	128 Kbps	99.8 %
384 Kbps	99.4 %	384 Kbps	99.8 %
512 Kbps	99.4 %	512 Kbps	99.8 %
1 Mbps	99.3 %	1 Mbps	99.7 %
2 Mbps	99.2 %	2 Mbps	99.7 %
4 Mbps	99%	4 Mbps	99.7 %
8 Mbps	98..8%	8 Mbps	99.6 %
16 Mbps	98 %	16 Mbps	99.6 %
32 Mbps	96 %	32 Mbps	99.5 %
64 Mbps	93 %	64 Mbps	99.5 %

Tabel (4.13) menjelaskan hubungan antara *bit rate* layanan terhadap *availability* yang mampu dicapai. Untuk *bit rate* layanan 64 Kbps *availabilty* yang mampu dicapai adalah 99.6% untuk *inbound*, sedangkan *outbound* 99.8%. Untuk *inbound* dengan *bit rate* diatas 4 Mbps memiliki *availability* yang kecil sehingga

tidak mungkin untuk diterapkan. Solusi untuk menghadapi kondisi ini adalah dengan memperbesar diameter antena VSAT atau menambah *power transmit* antena. Berdasarkan tabel (4.15), disimpulkan bahwa semakin besar *bit rate* layanan yang dipakai maka *availability* yang mampu dicapai semakin kecil.



BAB V

KESIMPULAN

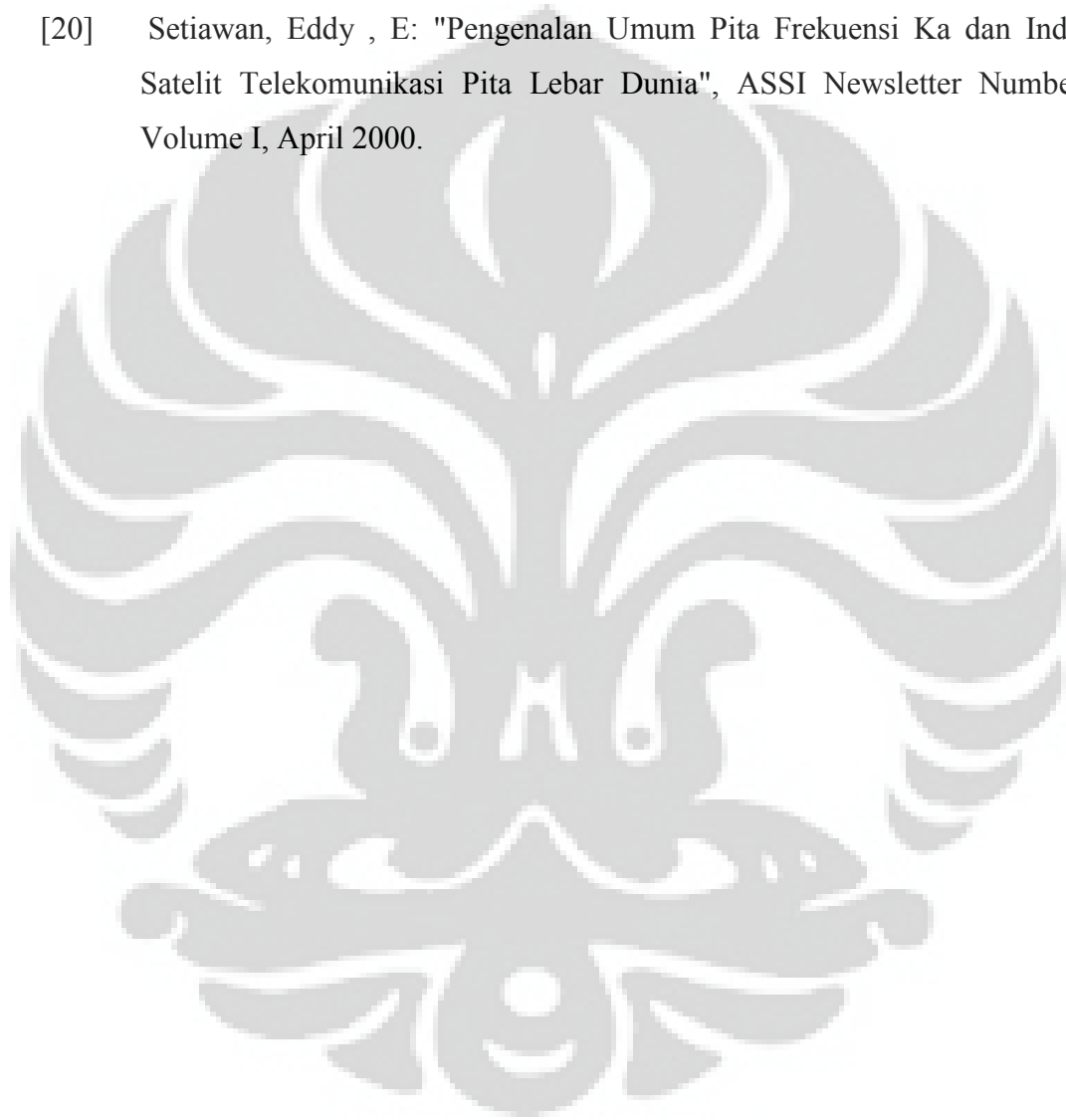
1. Hasil redaman hujan pada persen waktu 0.01% adalah sebagai berikut :
 - Model ITU-R-618-5 : uplink 111.69 dB dan downlink 63.38 Db
 - Model ITU-R-618-6 : uplink 105.81 dB dan downlink 48.99 dB
 - Model Global Crane : uplink 139.75 dB dan downlink 70.86 dB
 - Model SAM : uplink 131.12 dB dan downlink 73.66 dB
2. Redaman awan maksimum uplink 1,27 dB, downlink 0,56 dB.
3. Redaman gas-gas atmosfer maksimum uplink 2,21 dB, downlink 1,81 Db.
4. Redaman scintilasi maksimum uplink 0,79 dB, downlink 0,62 dB.
5. Pada link inbound dengan *bit rate* 2 Mbps diperoleh C/No uplink sebesar 72.48 dBHz dan downlink 118.64 dBHz.
6. Pada link outbond dengan bit rate 64 Mbps diperoleh C/No uplink sebesar 96.11 dBHz dan downlink 102.79 dBHz. C/No yang diperoleh masih di atas C/No required dengan BER setiap link nya 5×10^{-4} . Sistem ini tercapai pada *availability* sebesar 99.2%

DAFTAR ACUAN

- [1] Chaldun, Achmad, "ATLAS indonesia dan Dunia", Karya Pembina Swajaya, Surabaya, 1996.
- [2] Freeman, Roger L, "Radio System Design For Telecommunication 100GHz" : John Wiley & Sons, 1987.
- [3] Ha, Tri T, "Digital Satellite Communication" : McGraw Hill, 1990.
- [4] Ippolitto, Louis J. Jr, "Radiowave Propagation Satellite Communication", New York, 1986.
- [5] Maral, G., "VSAT Networks", England, Januari, 1996.
- [6] Putera, Benyamin K., "Studi Kelayakan Penggunaan Sistem Komunikasi Satelit LEO Untuk Melayani Kebutuhan Komunikasi Bergerak Domestik", Sekolah Tinggi Teknologi Bandung, 2000.
- [7] Recommendation ITU-R, "Rain Attenuation Models", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [8] Recommendation ITU-R P.676-3, "Attenuation By Atmospheric Gases", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [9] Recommendation ITU-R P.840-2, "Attenuation Due To Clouds And Fog", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [10] Recommendation ITU-R PN.837-1, "Characteristics Of Precipitation For Propagation Modelling", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [11] Recommendation ITU-R, "Scintillation/Dynamic of the Signal", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [12] Recommendation ITU-R, "Rain and Ice Depolarisation", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [13] Sturza, "Architecture of the teledesic satellite system, Washington, 1995.
- [14] Sun, W., Sweeting, M.N., dan Curiel, dasilva, "LEO satellite Constelation for region Communication", surrey satellite Technology Ltd
- [15] Widodo, Prima S., "Model Prediksi Intensitas Hujan R0.01 dan Redaman

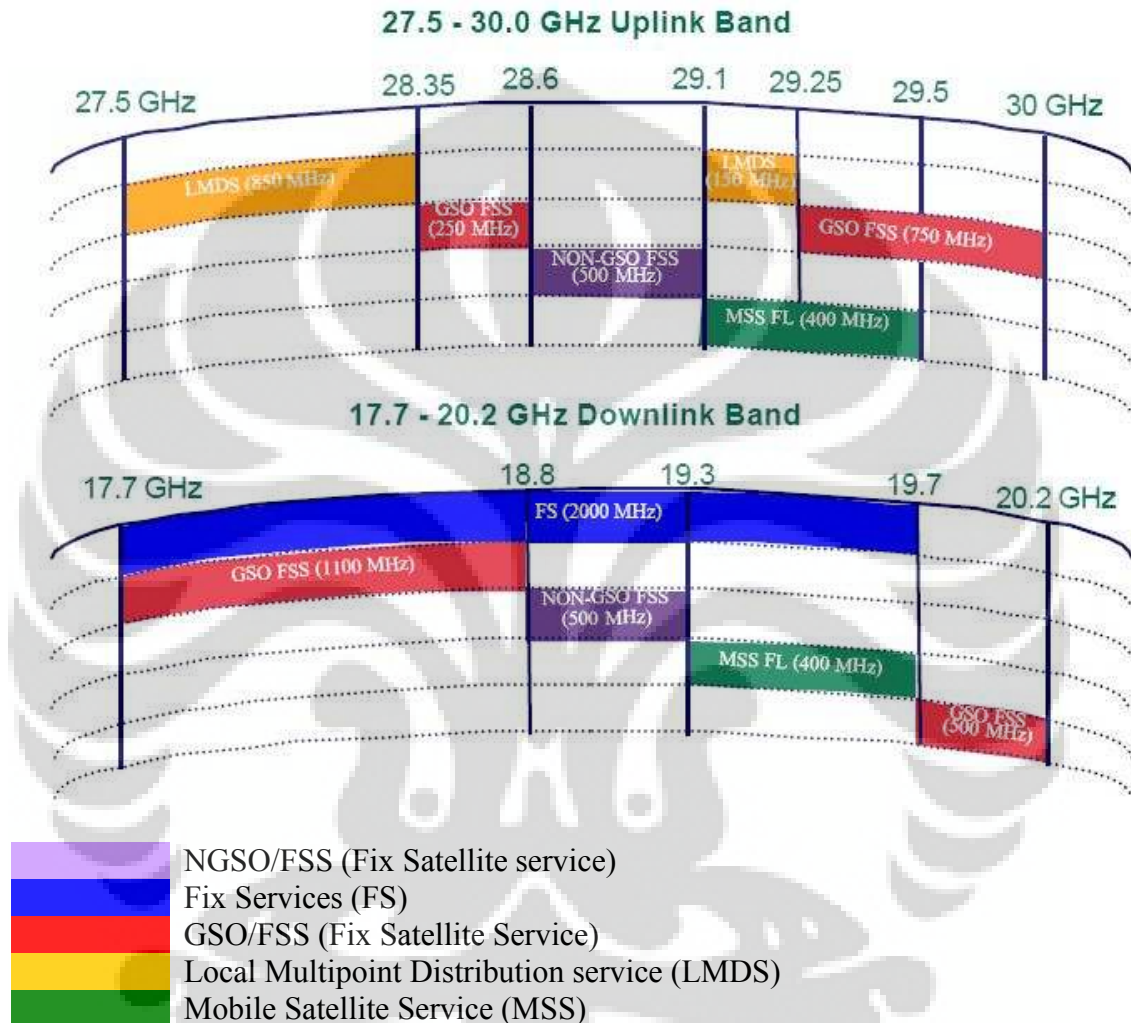
Hujan Pada Sistem Satelit Ku-band di Indonesia", Thesis : Institut Teknologi Bandung, 2003.

- [16] <http://www.teledesic.com/tech/detail.html>
- [17] <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal.L.Wood>
- [19] <http://www.tele-satelit-id.com/TELE-satellite-0709/bid/feature.pdf>
- [20] Setiawan, Eddy , E: "Pengenalan Umum Pita Frekuensi Ka dan Industri Satelit Telekomunikasi Pita Lebar Dunia", ASSI Newsletter Number 4, Volume I, April 2000.



LAMPIRAN A

Alokasi Bandwidth Ka-band



Spesifikasi Satelit Teledesic^[10]

TELEDESIC SATELLITES	
CONSTELATION DESCRIPTION	
Number of Satellites	288 active
Geometry	12 planes, 24 satellites each
Orbit	LEO - 1375 km circular, 85 deg inclination
Orbit Period	113.2 minutes
Coverage	Global
Inintiation of operation	2003
PAYLOAD CAPABILITIES	
Types Of Service	Broadband Data and Voice
Uplink Data Rate	16 Kbps to 2 Mbps
Downlink Data Rate	16 Kbps to 64 Mbps
On-board processing	Yes
Uplink Frequencies	28,6 GHz – 29,1 GHz (Ka-band)
Downlink Frequencies	18,8 GHz – 19,3 GHz (Ka-band)
Multiple Access Scheme	FDMA/TDMA
Channel/Satellite	100.000 at 16 Kbps
CORE BUS SPESIFICATION	
Prime Contractor	Motorola Satellite Communications Group
Platform	Teledesic
Launch Mass	2500 kg - estimated
Desain life	10 years
STRUCTURE	
Dimensions (H x W x L)	4m x 2m x 2m - estimated
POWER SYSTEM	
Payload Power	5 kW – estimated

Solar Arrays	2 panels
ATTITUDE CONTROL SYSTEM	
Stabilization	3-axis



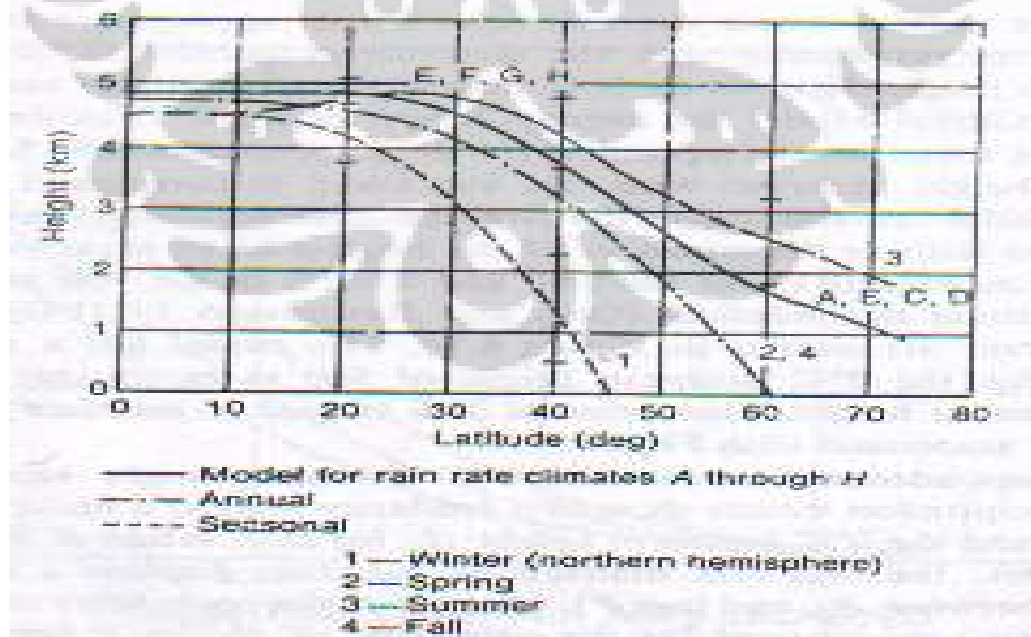
LAMPIRAN B

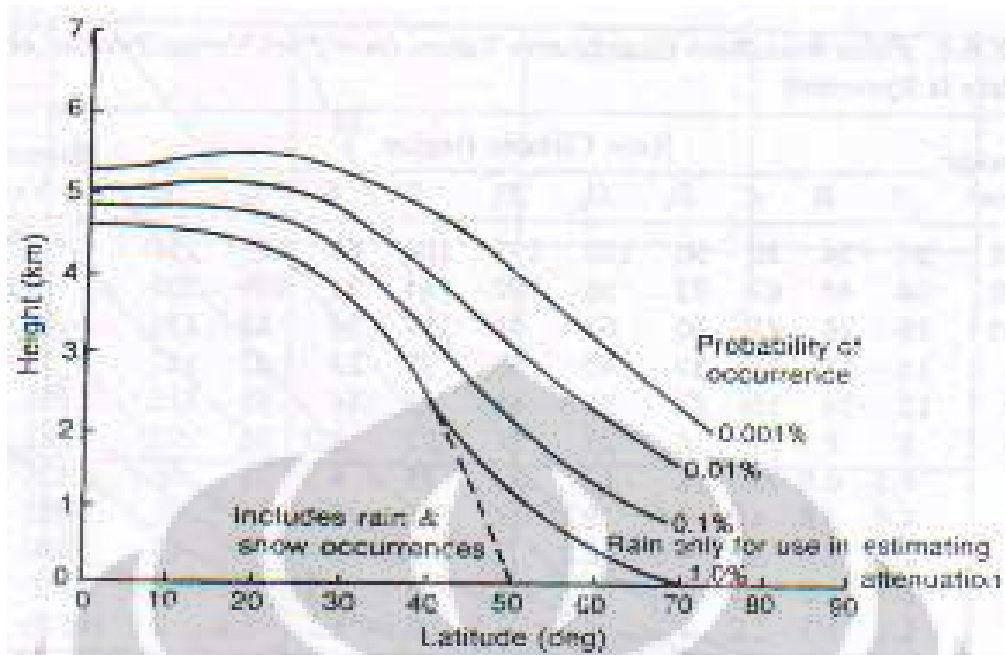
Koefisien regresi untuk menghitung spesifik redaman hujan menurut ITU-R P.838

Frequency (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_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

Faktor $a(f)$ dan $\beta(f)$ model Global Crane.

Frekuensi $F(\text{Ghz})$	Multiplier $a(f)$	Exponent $B(f)$
1	0.00015	0.95
4	0.00080	1.17
5	0.00138	1.24
6	0.00250	1.28
7.5	0.00482	1.25
10	0.0125	1.18
12.5	0.0228	1.145
15	0.0357	1.12
17.5	0.0524	1.105
20	0.0699	1.10
25	0.113	1.09
30	0.170	1.075
35	0.242	1.04
40	0.325	0.99
50	0.485	0.90
60	0.650	0.84
70	0.780	0.79
80	0.875	0.753
90	0.935	0.750
100	0.965	0.715



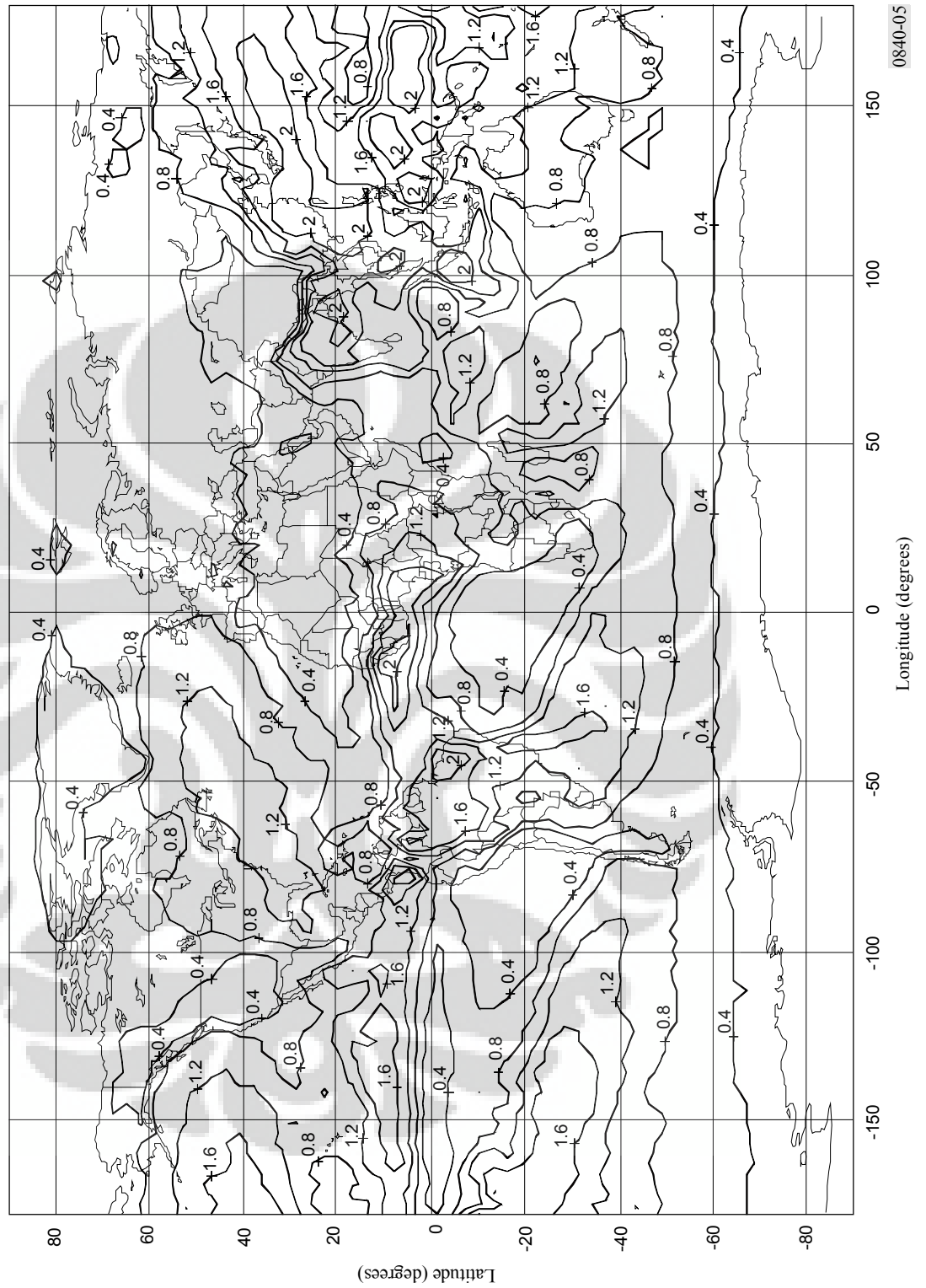


Model Prediksi Rain-Rate ITU-R P.837-1

% Waktu	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1	0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	24	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	28	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	54	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	78	83	55	100	150	120	180	250	170

Total columnar content of liquid water (untuk redaman awan)

FIGURE 5
Normalized total columnar content of cloud liquid water (kg/m^2) exceeded for 99% of the year



0840-05

LAMPIRAN C

Data Latitude, Longitude, Curah hujan maksimum bulanan, dan Curah Hujan rata-rata Tahunan.

Kota	Latt	Long	CH BUL Max	CH tahunan
MEDAN	3.57 LU	98.6 BT	644	2068.6
JAKARTA	6.18 LS	106.18 BT	574	1840.2
BANDUNG	6.90 LS	107.58 BT	524	2053.8
SEMARANG	6.98 LS	110.38 BT	679	1743
JOGJAKARTA	7.78 LS	110.4 BT	622	1245
SURABAYA	7.22 LS	112.72 BT	305	1551.9
DENPASAR	8.75 LS	115.17 BT	629	1706.9
UJUNG PANDANG	5.07 LS	119.5 BT	1193	3033.6

Data temperatur

Kota	Latt	Long	Temperatur	Lama
MEDAN	3.57 LU	98.6 BT	31.7	189
JAKARTA	6.18 LS	106.18 BT	26.5	1343
BANDUNG	6.90 LS	107.58 BT	22.5	456
SEMARANG	6.98 LS	110.38 BT	32.1	186
JOGJAKARTA	7.78 LS	110.4 BT	28.3	184
SURABAYA	7.22 LS	112.72 BT	31.6	185
DENPASAR	8.75 LS	115.17 BT	23.1	174
UJUNG PANDANG	5.07 LS	119.5 BT	31.5	188

Data Tekanan

Kota	Latt	Long	Tekanan	Lama
MEDAN	3.57 S	98.6 E	1006.4	334
JAKARTA	6.18 S	106.18 E	1008.9	1320
BANDUNG	6.90 S	107.58 E	1007.1	198
SEMARANG	6.98 S	110.38 E	1009.5	188
JOGJAKARTA	7.78 LS	110.4 BT	1008.3	191
SURABAYA	7.22 S	112.72 E	1008.5	290
DENPASAR	8.75 S	115.17 E	1010.9	197
UJUNG PANDANG	5.07 S	119.5 E	1009.9	176

Sumber Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Jakarta

Ket : Latt adalah garis lintang stasiun bumi (derajat)
Long adalah garis bujur stasiun bumi (derajat)
T emperatur (Celcius)
Tekanan (Pha)
Lama adalah waktu pengamatan (bulan)

LAMPIRAN E

Hasil Perhitungan Redaman Hujan di Beberapa Kota

Lokasi : Medan
 Posisi stasiun bumi : 3.57° LU; $98,6^\circ$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : 0° ; 95° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $42,76^\circ$ s/d 70.19°
 Tinggi dari permukaan laut : 49 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	106.53	40.71	29.33	24.01	20.76	18.50	16.81	15.50	14.43	13.54	12.78
ITU-R-618-6	95.09	55.13	41.74	33.87	28.33	24.10	20.72	17.94	15.62	13.65	11.97
GlobalCrane	133.41	50.98	36.73	30.07	25.99	23.17	21.06	19.40	18.07	16.95	16.01
SAM	127.08	48.56	34.98	28.64	24.76	22.07	20.06	18.48	17.21	16.15	15.25

Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	60.30	23.04	16.60	13.59	11.75	10.47	9.52	8.77	8.17	7.66	7.24
ITU-R-618-6	47.47	23.45	17.14	13.74	11.47	9.80	8.49	7.43	6.55	5.81	5.17
GlobalCrane	67.63	25.84	18.62	15.24	13.18	11.74	10.67	9.84	9.16	8.59	8.12
SAM	70.93	27.10	19.53	15.99	13.82	12.32	11.19	10.32	9.61	9.01	8.51

Lokasi : Jakarta
 Posisi stasiun bumi : 6.18° LS; $106,18^\circ$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7.5° LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $41,73^\circ$ s/d 69.12°
 Tinggi dari permukaan laut : 15 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	101.69	38.85	27.99	22.92	19.81	17.66	16.05	14.79	13.77	12.92	12.20
ITU-R-618-6	91.75	47.45	35.27	28.63	24.15	20.82	18.20	16.07	14.29	12.77	11.46
GlobalCrane	129.23	49.38	35.58	29.13	25.18	22.44	20.40	18.80	17.50	16.42	15.51
SAM	120.70	46.12	33.23	27.20	23.51	20.96	19.05	17.56	16.34	15.34	14.48

Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	57.31	21.90	15.78	12.92	11.16	9.95	9.04	8.34	7.76	7.28	6.88
ITU-R-618-6	45.96	22.13	16.10	12.90	10.79	9.23	8.03	7.05	6.24	5.56	4.98
GlobalCrane	65.45	25.01	18.02	14.75	12.75	11.36	10.33	9.52	8.86	8.32	7.85
SAM	66.90	25.56	18.42	15.08	13.03	11.62	10.56	9.73	9.06	8.50	8.03

Lokasi : Bandung
 Posisi stasiun bumi : 6.9° LS; $107,58^{\circ}$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7.5° LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $40,85^{\circ}$ s/d $76,38^{\circ}$
 Tinggi dari permukaan laut : 700 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	94.76	36.21	26.09	21.36	18.46	16.45	14.96	13.78	12.83	12.04	11.37
ITU-R-618-6	87.96	49.43	37.20	30.15	25.24	21.51	18.55	16.12	14.09	12.37	10.89
GlobalCrane	118.79	45.39	32.70	26.77	23.14	20.63	18.75	17.28	16.09	15.10	14.25
SAM	114.46	43.74	31.51	25.80	22.30	19.87	18.07	16.65	15.50	14.55	13.74

Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	53.46	20.43	14.72	12.05	10.42	9.28	8.44	7.78	7.24	6.79	6.42
ITU-R-618-6	43.01	20.39	14.78	11.84	9.89	8.47	7.37	6.48	5.75	5.13	4.59
GlobalCrane	60.20	23.00	16.57	13.57	11.73	10.45	9.50	8.76	8.15	7.65	7.22
SAM	62.97	24.06	17.34	14.19	12.27	10.93	9.94	9.16	8.53	8.00	7.56

Lokasi : Semarang
 Posisi stasiun bumi : $6,98^{\circ}$ LS; $110,38^{\circ}$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7.5° LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $41,46^{\circ}$ s/d $86,55^{\circ}$
 Tinggi dari permukaan laut : 21 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	110.89	42.37	30.53	24.99	21.60	19.26	17.50	16.13	15.02	14.09	13.31
ITU-R-618-6	105.81	61.04	46.25	37.61	31.54	26.92	23.22	20.18	17.63	15.47	13.62
GlobalCrane	132.13	50.49	36.38	29.78	25.74	22.94	20.85	19.22	17.89	16.79	15.86
SAM	131.12	50.10	36.10	29.55	25.55	22.77	20.69	19.07	17.76	16.66	15.73

Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	62.45	23.86	17.19	14.07	12.17	10.84	9.86	9.08	8.46	7.94	7.49
ITU-R-618-6	47.17	25.03	18.49	14.82	12.30	10.41	8.92	7.71	6.70	5.86	5.13
GlobalCrane	67.34	25.73	18.54	15.18	13.12	11.69	10.63	9.79	9.12	8.56	8.08
SAM	73.66	28.15	20.28	16.60	14.35	12.79	11.63	10.71	9.98	9.36	8.84

Lokasi : JogjaKarta
 Posisi stasiun bumi : $7,78^{\circ}$ LS; $110,4^{\circ}$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7.5° LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $42,12^{\circ}$ s/d $87,25^{\circ}$

Tinggi dari permukaan laut : 133 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	102.95	39.34	28.34	23.20	20.06	17.88	16.25	14.97	13.94	13.08	12.35
ITU-R-618-6	100.48	57.19	43.21	35.11	29.44	25.14	21.70	18.88	16.52	14.51	12.79
GlobalCrane	125.95	48.13	34.68	28.39	24.54	21.87	19.88	18.32	17.06	16.01	15.11
SAM	121.52	46.43	33.46	27.39	23.68	21.10	19.18	17.68	16.46	15.44	14.58

Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	59.07	22.57	16.26	13.31	11.51	10.26	9.32	8.59	8.00	7.51	7.09
ITU-R-618-6	44.71	23.40	17.24	13.80	11.45	9.70	8.32	7.20	6.27	5.48	4.81
GlobalCrane	64.16	24.52	17.66	14.46	12.50	11.14	10.13	9.33	8.69	8.15	7.70
SAM	68.00	25.98	18.72	15.33	13.25	11.81	10.73	9.89	9.21	8.64	8.16

Lokasi : Surabaya
 Posisi stasiun bumi : 7,22° LS; 112,72° BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7.5° LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : 42,76° s/d 74,87°
 Tinggi dari permukaan laut : 15 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	94.80	36.22	26.10	21.37	18.47	16.46	14.96	13.79	12.84	12.05	11.38
ITU-R-618-6	90.47	50.73	38.17	30.96	25.94	22.13	19.10	16.62	14.54	12.78	11.27
GlobalCrane	120.20	45.93	33.09	27.09	23.42	20.87	18.97	17.48	16.28	15.28	14.42
SAM	113.70	43.45	31.30	25.63	22.15	19.74	17.95	16.54	15.40	14.45	13.64

Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	53.10	20.29	14.62	11.97	10.35	9.22	8.38	7.72	7.19	6.75	6.37
ITU-R-618-6	43.26	20.63	14.97	11.99	10.02	8.57	7.45	6.55	5.80	5.17	4.63
GlobalCrane	60.83	23.24	16.75	13.71	11.85	10.56	9.60	8.85	8.24	7.73	7.30
SAM	63.05	24.09	17.36	14.21	12.28	10.95	9.95	9.17	8.54	8.01	7.57

Lokasi : Denpasar
 Posisi stasiun bumi : 8,75° LS; 115,17° BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7.5° LS; 110° BT
 Elevasi Stasiun bumi : 41,11° s/d 61,85°
 Tinggi dari permukaan laut : 25 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	93.44	35.70	25.72	21.06	18.20	16.22	14.75	13.59	12.65	11.87	11.21

ITU-R-618-6	86.85	43.78	32.38	26.26	22.17	19.15	16.79	14.87	13.26	11.90	10.73
GlobalCrane	120.98	46.23	33.31	27.27	23.57	21.01	19.09	17.60	16.38	15.37	14.52
SAM	112.26	42.90	30.91	25.30	21.87	19.49	17.72	16.33	15.20	14.27	13.47
Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz											
Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	52.31	19.99	14.40	11.79	10.19	9.08	8.26	7.61	7.08	6.65	6.28
ITU-R-618-6	43.35	20.33	14.72	11.79	9.86	8.46	7.37	6.50	5.77	5.16	4.64
GlobalCrane	61.20	23.39	16.85	13.79	11.92	10.63	9.66	8.90	8.29	7.78	7.34
SAM	60.62	23.16	16.69	13.66	11.81	10.53	9.57	8.82	8.21	7.70	7.27

Lokasi : Makasar
 Posisi stasiun bumi : $5,07^{\circ}$ LS; $119,5^{\circ}$ BT
 Posisi Satelit yang melayani : 0° ; 125° BT
 Elevasi Stasiun bumi : $41,08^{\circ}$ s/d $52,4^{\circ}$
 Tinggi dari permukaan laut : 15 m
 Frekuensi (uplink) : 28,6 GHz

Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	63.38	24.22	17.45	14.28	12.35	11.01	10.00	9.22	8.58	8.05	7.61
ITU-R-618-6	97.32	50.89	37.92	30.81	26.00	22.42	19.59	17.29	15.36	13.72	12.31
GlobalCrane	139.75	53.40	38.47	31.50	27.23	24.27	22.06	20.33	18.93	17.76	16.77
SAM	130.57	49.89	35.95	29.43	25.44	22.67	20.61	18.99	17.68	16.59	15.67
Frekuensi (Downlink) : 18.8 GHz											
Model/Persen waktu	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ITU-R-618-5	63.38	24.22	17.45	14.28	12.35	11.01	10.00	9.22	8.58	8.05	7.61
ITU-R-618-6	48.99	23.86	17.40	13.96	11.68	10.00	8.69	7.63	6.75	6.01	5.37
GlobalCrane	70.86	27.08	19.51	15.97	13.81	12.30	11.18	10.31	9.60	9.00	8.50
SAM	71.32	27.25	19.63	16.07	13.90	12.38	11.26	10.37	9.66	9.06	8.56

Hasil Perhitungan Redaman Awan di Beberapa Kota

KOTA	Uplink		Downlink	
	Elevasi Terkecil (dB)	Elevasi Terbesar (dB)	Elevasi Terkecil (dB)	Elevasi Terbesar (dB)
Medan	1.05	0.75	0.45	0.32
Jakarta	1.17	0.84	0.51	0.36
Bandung	1.29	0.87	0.56	0.38
Semarang	1.06	0.70	0.46	0.30
Jogjakarta	1.12	0.75	0.48	0.32
Surabaya	1.04	0.73	0.45	0.32
Denpasar	1.27	0.95	0.55	0.41
Makasar	1.08	0.90	0.46	0.39

Hasil Perhitungan Redaman Gas-gas Atmosfer di Beberapa Kota

KOTA	Uplink		Downlink	
	Elevasi Terkecil (dB)	Elevasi Terbesar (dB)	Elevasi Terkecil (dB)	Elevasi Terbesar (dB)
Medan	1.98	1.43	1.66	1.20
Jakarta	2.13	1.51	1.75	1.25
Bandung	1.76	1.19	1.46	0.98
Semarang	2.04	1.35	1.71	1.13
Jogjakarta	2.01	1.35	1.67	1.12
Surabaya	2.00	1.41	1.67	1.18
Denpasar	2.21	1.65	1.81	1.35
Makasar	2.07	1.72	1.73	1.43

Hasil Perhitungan Redaman Scintilasi di Beberapa Kota

KOTA	Uplink		Downlink	
	Elevasi Terkecil (dB)	Elevasi Terbesar (dB)	Elevasi Terkecil (dB)	Elevasi Terbesar (dB)
Medan	0.75	0.50	0.59	0.40
Jakarta	0.77	0.51	0.61	0.40
Bandung	0.79	0.48	0.62	0.38
Semarang	0.77	0.47	0.61	0.37
Jogjakarta	0.76	0.47	0.60	0.37
Surabaya	0.75	0.49	0.59	0.39
Denpasar	0.78	0.54	0.62	0.43
Makasar	0.78	0.62	0.62	0.49

LAMPIRAN F

Perhitungan Link Budget dengan Link ISL (*Intersatellite Link*)

Kualitas Sinyal Inbound		ISL		Kualitas sinyal Outbound	
Parameter Layanan yang diberikan		Parameter Layanan yang diberikan		Parameter Layanan yang diberikan	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
BER (per link)	3.3×10^{-8}	BER (per link)	3.3×10^{-8}	BER (per link)	3.3×10^{-8}
Eb/No	12	Eb/No	12	Eb/No	12
FEC viterbi-decoded	3/4	FEC viterbi-decoded	3/4	FEC viterbi-decoded	3/4
Coding Gain	5	Coding Gain	5	Coding Gain	5
Eb/No req	7	Eb/No req	7	Eb/No req	7
Bit Rate	2	Bit Rate	64	Bit Rate	64
Roll of factor	0,4	Roll of factor	0,4	Roll of factor	0,4
Guardband	0,1	Guardband	0,1	Guardband	0,1
(C/No)req	71.01	(C/No)req	86.06	(C/No)req	86.06
arah uplink				arah uplink	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
EIRP	44,49	EIRP	55	EIRP	68,125
G/T	10	G/T	10	G/T	10
FSL	187,24	FSL	195.13	FSL	187,24
Redaman Hujan	18	Frekuensi ISL	60	Redaman Hujan	18
Redaman Awan	1,29			Redaman Awan	1,29
Redaman Atmosfir	2,13			Redaman Atmosfir	2,13
Redaman Scintilasi	0,95			Redaman Scintilasi	0,95
Loss <i>Pointing</i>	0,5			Loss <i>Pointing</i>	0,5
Loss feeder	0,5			Loss feeder	0,5
Loss <i>Uplink total</i>	210,61			Loss <i>Uplink total</i>	210,61
BW <i>Allocated</i>	2,05			BW <i>Allocated</i>	65,70
(C/No) <i>uplink</i>	72.48	(C/No) <i>ISL</i>	98.47	(C/No) <i>uplink</i>	96.11
arah downlink				arah downlink	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
EIRP Satelit	55			EIRP Satelit	55
G/T	32,75			G/T	16,90
FSL	183,59			FSL	183,59
Redaman Hujan	10			Redaman Hujan	10
Redaman Awan	0,56			Redaman Awan	0,56
Redaman Atmosfir	1,81			Redaman Atmosfir	1,81
Redaman Scintilasi	0,75			Redaman Scintilasi	0,75
Loss <i>Pointing</i>	0,5			Loss <i>Pointing</i>	0,5
Loss feeder	0,5			Loss feeder	0,5
Loss downlink total	196,72			Loss downlink total	196,72
BW <i>Allocated</i>	2,05			BW <i>Allocated</i>	65,70
(C/No) <i>downlink</i>	118.64			(C/No) <i>downlink</i>	102.79

Link budget dihitung pada kondisi propagasi terburuk, dengan availability 99,2 %.

Kondisi Clear Sky (tidak ada hujan)

Kualitas Sinyal Inbound			Kualitas sinyal Outbound		
Parameter Layanan yang diberikan			Parameter Layanan yang diberikan		
Parameter	Satuan	Nilai	Parameter	Satuan	Nilai
BER (per link)		5×10^{-8}	BER (per link)		5×10^{-8}
Eb/No	dB	11,8	Eb/No	dB	11,8
FEC viterbi-decoded		3/4	FEC viterbi-decoded		3/4
Coding Gain	dB	4,8	Coding Gain	dB	4,8
Eb/No req	dB	7	Eb/No req	dB	7
Bit Rate	Mbps	64	Bit Rate	Mbps	64
Roll of factor		0,4	Roll of factor		0,4
Guardband		0,1	Guardband		0,1
(C/No)req	dBHz	86.06	(C/No)req	dBHz	86.06
arah uplink			arah uplink		
Parameter	Satuan	Nilai	Parameter	Satuan	Nilai
EIRP	dBw	44,49	EIRP	dBw	68,125
G/T	dBK	10	G/T	dBK	10
FSL	dB	187,24	FSL	dB	187,24
Redaman Hujan	dB	0	Redaman Hujan	dB	0
Redaman Awan	dB	1,29	Redaman Awan	dB	1,29
Redaman Atmosfir	dB	2,13	Redaman Atmosfir	dB	2,13
Redaman Scintilasi	dB	0,95	Redaman Scintilasi	dB	0,95
Loss Pointing	dB	0,5	Loss Pointing	dB	0,5
Loss feeder	dB	0,5	Loss feeder	dB	0,5
Loss Uplink total	dB	192.61	Loss Uplink total	dB	192.61
BW Allocated	MHz	65,70	BW Allocated	MHz	65,70
(C/No) uplink	dBHz	90.48	(C/No) uplink	dBHz	114.11
arah downlink			arah downlink		
Parameter	Satuan	Nilai	Parameter	Satuan	Nilai
EIRP Satelit	dBw	55	EIRP Satelit	dBw	55
G/T	dBK	32,75	G/T	dBK	16,90
FSL	dB	183,59	FSL	dB	183,59
Redaman Hujan	dB	0	Redaman Hujan	dB	0
Redaman Awan	dB	0,56	Redaman Awan	dB	0,56
Redaman Atmosfir	dB	1,81	Redaman Atmosfir	dB	1,81
Redaman Scintilasi	dB	0,75	Redaman Scintilasi	dB	0,75
Loss Pointing	dB	0,5	Loss Pointing	dB	0,5
Loss feeder	dB	0,5	Loss feeder	dB	0,5
Loss downlink total	dB	187.72	Loss downlink total	dB	187.72
BW Allocated	MHz	65,70	BW Allocated	MHz	65,70
(C/No) downlink	dBHz	128.64	(C/No) downlink	dBHz	112.79

LAMPIRAN D
Perubahan Sudut Elevasi Setiap Kota

Lokasi
 Posisi stasiun bumi
 Posisi Satelit yang melayani
 Tinggi dari permukaan laut

: Medan
 : 3.57° LU; 98,6° BT
 : 0° ; 95° BT
 : 49 m

Posisi satelit	0 L	1 LU	2 LU	3 LU	4 LU	5 LU	6 LU	7 LU	8 LU	9 LU	10 LU	11 LU	12 LU	13 LU	14 LU	15 LU
Sudut Elevasi	63.02	66.16	68.65	70.09	70.19	68.92	66.56	63.49	60.04	56.45	52.85	49.34	45.97	42.76	39.73	36.87

Lokasi
 Posisi stasiun bumi
 Posisi Satelit yang melayani
 Tinggi dari permukaan laut

: Jakarta
 : 6.18° LS; 106,18° BT
 : 7.5° LS; 110° BT
 : 15 m

Posisi satelit	7.5 LS	6.5 LS	5.5 LS	4.5 LS	3.5 LS	2.5 LS	1.5 LS	0.5 LS	0.5 LU	1.5 LU	2.5 LU	3.5 LU	4.5 LU	5.5 LU	6.5 LU	7.5 LU
Sudut Elevasi	68.07	69.12	68.89	67.41	64.97	61.92	58.54	55.03	51.53	48.12	44.84	41.73	38.78	36.00	33.38	30.92

Keterangan : Sudut elevasi dibawah elevasi minimum 40°

Lokasi
 Posisi stasiun bumi : Bandung
 : 6,9° LS; 107,58° BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7,5° LS; 110° BT
 Tinggi dari permukaan laut : 700 m

Posisi satelit	7.5 LS	6.5 LS	5.5 LS	4.5 LS	3.5 LS	2.5 LS	1.5 LU	0.5 LU	0.5 LU	1.5 LU	2.5 LU	3.5 LU	4.5 LU	5.5 LU	6.5 LU	7.5 LU
Sudut Elevasi	76.16	76.38	74.54	71.31	67.41	63.25	59.09	55.04	51.17	47.51	44.07	40.85	37.84	35.03	32.40	29.95

Lokasi
 Posisi stasiun bumi : Semarang
 : 6,98° LS; 110,38° BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7,5° LS; 110° BT
 Tinggi dari permukaan laut : 21 m

Posisi satelit	7.5 LS	6.5 LS	5.5 LS	4.5 LS	3.5 LS	2.5 LS	1.5 LU	0.5 LU	0.5 LU	1.5 LU	2.5 LU	3.5 LU	4.5 LU	5.5 LU	6.5 LU	7.5 LU
Sudut Elevasi	86.38	86.55	81.44	76.08	70.83	65.80	61.03	56.55	52.36	48.45	44.83	41.46	38.34	35.44	32.74	30.23

Lokasi
 Posisi stasiun bumi : JogjaKarta
 : 7,78° LS; 110,4° BT
 Posisi Satelit yang melayani : 7,5° LS; 110° BT

Tinggi dari permukaan laut : 133 m

Posisi satelit	7.5 LS	6.5 LS	5.5 LS	4.5 LS	3.5 LS	2.5 LS	1.5 LS	0.5 LS	0.5 LU	1.5 LU	2.5 LU	3.5 LU	4.5 LU	5.5 LU	6.5 LU	7.5 LU
Sudut Elevasi	87.25	82.48	77.13	71.85	66.78	61.96	57.42	53.17	49.21	45.53	42.12	38.95	36.00	33.27	30.72	28.34

Lokasi

: Surabaya

Posisi stasiun bumi

: 7,22° LS; 112,72° BT

Posisi Satelit yang melayani

: 7.5° LS; 110° BT

Tinggi dari permukaan laut

: 15 m

Posisi satelit	7.5 LS	6.5 LS	5.5 LS	4.5 LS	3.5 LS	2.5 LS	1.5 LS	0.5 LS	0.5 LU	1.5 LU	2.5 LU	3.5 LU	4.5 LU	5.5 LU	6.5 LU	7.5 LU
Sudut Elevasi	74.87	74.44	72.30	69.06	65.25	61.25	57.24	53.34	49.61	46.08	42.76	39.65	36.73	34.01	31.46	29.07

Lokasi

: Denpasar

Posisi stasiun bumi

: 8,75° LS; 115,17° BT

Posisi Satelit yang melayani

: 7.5° LS; 110° BT

Tinggi dari permukaan laut

: 25 m

Posisi satelit	7.5 LS	6.5 LS	5.5 LS	4.5 LS	3.5 LS	2.5 LS	1.5 LS	0.5 LS	0.5 LU	1.5 LU	2.5 LU	3.5 LU	4.5 LU	5.5 LU	6.5 LU	7.5 LU
Sudut Elevasi	61.85	60.36	58.24	55.68	52.85	49.90	46.91	43.97	41.11	38.36	35.74	33.24	30.87	28.63	26.50	24.49

Lokasi

: Makasar

Posisi stasiun bumi

: $5,07^{\circ}$ LS; $119,5^{\circ}$ BT

Posisi Satelit yang melayani

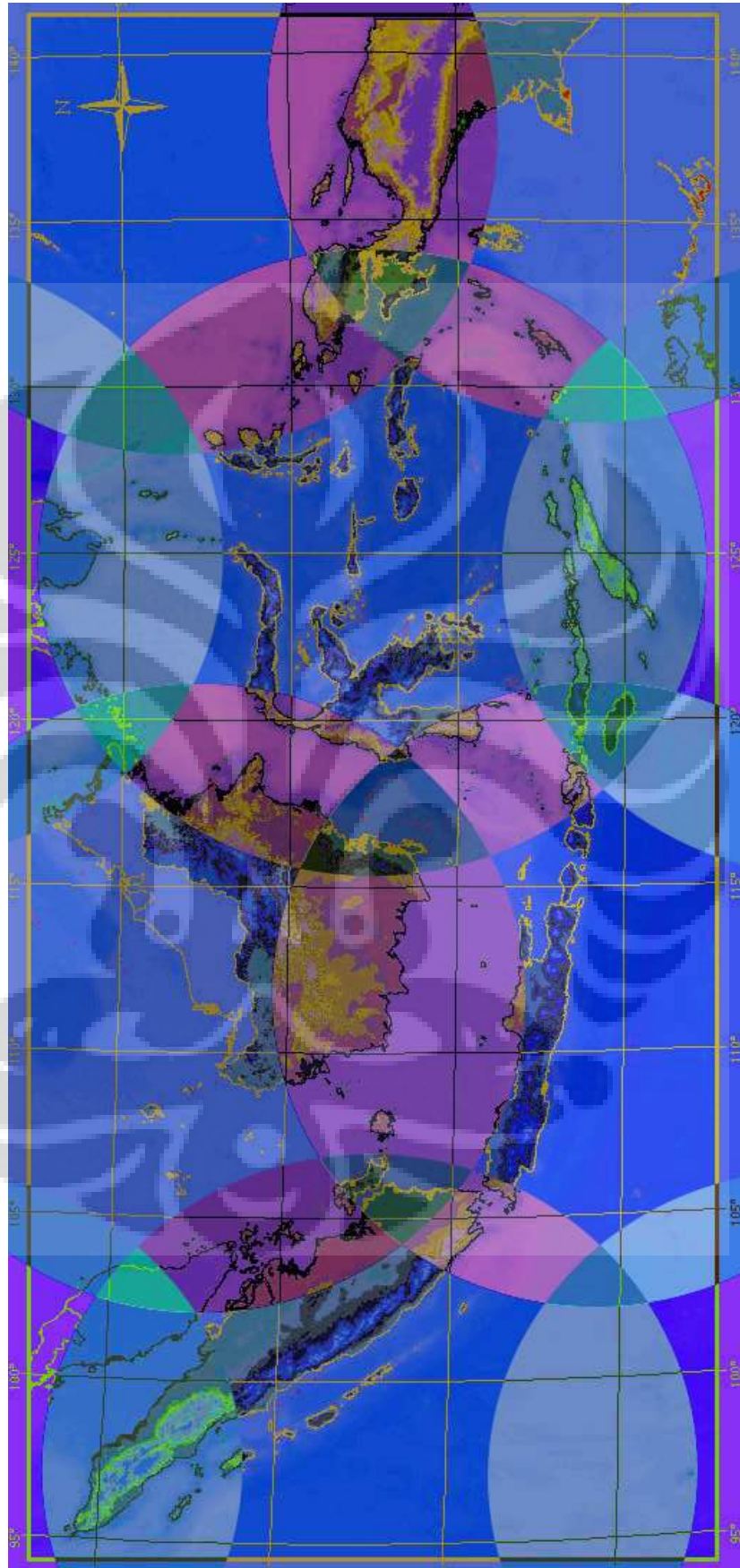
: 0° ; 125° BT

Tinggi dari permukaan laut

: 15 m

Posisi satelit	0 L	1 LU	2 LU	3 LU	4 LU	5 LU	6 LU	7 LU	8 LU	9 LU	10 LU	11 LU	12 LU	13 LU	14 LU	15 LU
Sudut Elevasi	52.40	49.59	46.72	43.87	41.08	38.38	35.79	33.33	30.98	28.75	26.63	24.63	22.72	20.91	19.19	17.54

LAMPIRAN H
Footprint Satelit Teledesic



Sistem Komunikasi Satelit LEO yang ada

NAMA SATELIT	TIPE	LAYANAN	KETINGGIAN (KM)	SATELIT	ORBIT	Frekuensi	
						Uplink	Downlink
Orbacom	Little LEO	Messaging, email, fax, GPRS	825	48	Not known	137-138 MHz	148-149 MHz
VITsat	Little LEO	Email dan data Transfer	1000	2	1	Not known	Not known
E-Sat	Little LEO	Store and forward messaging : low cost, 2 way data messaging services for fixed user in rural areas in the USA and Europe	1260	6	1	Not known	Not known
Leo-One	Little LEO	Vehicle tracking, status monitoring, emergency alerting, messaging, paging, positioning	950	48	8	148-150 MHz	137-138 MHz
Globalstar	Big LEO	Voice, data, fax, paging, position location	1410	48	8	1610-1626 MHz	2483-2500 MHz
Iridium	Big LEO	Voice, data, fax, paging, messaging, position location	780	66	6	1616-1626 MHz	1616-1626 MHz
Ellipso	Big LEO	Fixed and mobile voice, data, fax, paging, and GPS	520-7846 (Elliptic)	17	3	Not known	Not known
Rostelesat	Broadband LEO	Fixed voice and datcomms for fixed user	700	91	7	12,75-13,25 GHz	10,7-10,95 GHz
Skybridge	Broadband LEO	Interactive-multimedia, high data rates and realtime applications	1469	80		Ku-band	Ku-band
Teledesic	Broadband LEO	Broadband data and voice services	1375	288	12	28,6-29,1 GHz	18,8-19,3 GHz