

**SIMULASI INTENSITAS HUJAN DAN PENGARUH
REDAMAN PADA PROPAGASI GELOMBANG SISTEM
KOMUNIKASI SATELIT KA-BAND**



TUGAS AKHIR

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan

Program Strata-I Jurusan Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

DISUSUN OLEH:

ENDAH DWI WARDHANY

D411 07 081

NURUL KHAERANI

D411 07 097

PROGRAM STUDI TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN INFORMASI

JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2012

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

SIMULASI INTENSITAS DAN REDAMAN HUJAN

PADA PROPAGASI GELOMBANG SISTEM KOMUNIKASI SATELIT

KA-BAND

Disusun Oleh:

ENDAH DWI WARDHANY D411 07 081

NURUL KHAERANI D411 07 097

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan untuk Menyelesaikan
Program Strata-1 pada Subprogram Teknik Telekomunikasi dan Informasi
Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, Juni 2012

Disahkan Oleh:

Pembimbing I

(Dr. Ir. Zulfajri Basri, M.Eng)

NIP. 19611125 198802 1 001

Pembimbing II

(Indrabayu Amirullah, ST.MT.M Bus, Sys)

NIP. 19750716 200212 1 004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



(Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT)

NIP. 19601231 198703 1 022

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model intensitas hujan yang sesuai di wilayah Makassar, mengetahui model redaman hujan untuk wilayah Makassar pada propagasi sistem komunikasi satelit Ka-band, menghitung *link budget* komunikasi satelit pada frekuensi Ka-Band, mengetahui *link availability* pada frekuensi Ka-Band di kota Makassar. Pemakaian frekuensi Ka-band telah lama diterapkan untuk sistem komunikasi satelit karena dengan frekuensi ini aplikasi broadband bisa lebih baik digunakan (*bandwidth* lebih lebar). Selain itu keuntungannya, yaitu terhindar dari interferensi.

Penelitian ini dilakukan untuk analisis terhadap beberapa model distribusi intensitas hujan, seperti *Rice-Holmberg*, *ITU-R*, *VIHT*, dan *Salonen-Baptista* dan analisis terhadap model redaman hujan, seperti *ITU-R*, *VIHT*, *SAM* (*Simple Attenuation Model*), dan *DAH* (*Dissanayake Allnut and Haidara*) di wilayah Makassar. Menggunakan spesifikasi dari satelit WINDS untuk frekuensi *uplink* 27.5-28.6 GHz dan *downlink* 17-18.8 GHz dengan VSAT berukuran 0.45 m pada 3 jenis modulasi yaitu 8PSK, QPSK dan 16 QAM.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan model intensitas hujan wilayah Makassar adalah model Rice-Holmberg. Model ini mendekati nilai pengukuran dan mempunyai standar deviasi terkecil. Sedangkan model redaman hujan adalah model DAH (*Dissanayake, Allnut, and Haidara*). Nilai *Link Budget* yang didapatkan dengan parameter C/N_{uplink} sebesar 53,12 BER_{uplink} sebesar $3,6 \times 10^{-25}$ untuk modulasi QPSK, $2,6 \times 10^{-5}$ untuk modulasi 8-PSK, $4,1 \times 10^{-4}$ untuk modulasi 16-QAM dan nilai E_b/N_{uplink} sebesar 18,58 dB untuk modulasi QPSK, 14,03dB untuk modulasi 8-PSK, dan 11,53dB untuk modulasi 16-QAM. Sedangkan nilai $E_b/N_{downlink}$ sebesar 33,54 untuk modulasi QPSK, 28,99 untuk modulasi 8-PSK, 26,49 untuk modulasi 16-QAM. Nilai *link availability* 99,5% untuk frekuensi Ka-band. Sehingga dapat dinyatakan bahwa layanan satelit broadband dapat diimplementasikan untuk mendukung kebutuhan akan layanan komunikasi pita lebar.

Kata Kunci : Intensitas Hujan, Redaman Hujan, Ka-band, *ITU-R*, *VIHT*, *Salonen Baptista*, *Rice-Holmberg*, *Dissanayake, Allnut, and Haidara*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji kita panjatkan kehadirat Allah SWT. yang dengan penuh rahmat dan kasih menyinari kita dengan nikmat Islam yang tak pernah ada henti-hentinya.

Salam dan shalawat kita persembahkan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW, pemimpin sejati, panutan sebaik-baiknya panutan yang dengan tulus ikhlas menjalankan tugasnya sebagai Rasul Allah yang menerangi gelapnya zaman jahiliyah dengan cahaya kebenaran hakiki. Kepada manusia suci pilihan Ilahi yang seluruh hidupnya adalah pembelajaran bagi semesta umat manusia hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam mencapai gelar kesarjanaan pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan judul :

“ SIMULASI INTENSITAS HUJAN DAN PENGARUH REDAMAN PADA PROPAGASI GELOMBANG SISTEM KOMUNIKASI SATELIT KA-BAND “

Adapun pada hakikatnya, Tugas Akhir ini bukanlah sekedar persyaratan semata. Lebih daripada itu, Tugas Akhir ini merupakan refleksi dari ilmu yang telah didapatkan selama proses perkuliahan kurang lebih empat tahun lamanya. Hasilnya kemudian tidak hanya dinikmati oleh kalangan tertentu saja, tapi tentu saja diperuntukkan untuk kemaslahatan ummat. Aamiin.

Proses penyelesaian Tugas Akhir ini tidaklah semudah membalikkan telapak tangan dan tidak pula seindah cerita-cerita putri kerajaan dari dunia khayalan. Dalam kurun waktu kurang lebih sepuluh bulan lamanya pelan tapi pasti Tugas Akhir ini penulis selesaikan. Ada kala hari penuh semangat membara. Namun tak jarang detik-detik yang terlewati terasa begitu lambat dan berat. Tapi begitulah proses kehidupan pula berlangsung. Pahit manis yang terasa tidak lebih agar kita lebih dapat memahami arti hidup, memahami arti perjuangan, doa, dan merasakan manisnya keberhasilan demi keberhasilan yang dapat diraih kemudian.

Selain usaha yang keras, disiplin diri yang terus diperbaiki, doa yang khusyuk dirapalkan setiap saat, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak tidak dapat



dinafikan. Karena itu pada kesempatan kali ini, izinkan penulis untuk menghaturkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua, adik, dan kakak kami, atas segala doa, nasihat, pengorbanan, kasih sayang serta segala jasanya.
2. **Bapak Dr. Ir. Andani Ahmad, MT.** dan **Bapak Ir. Gassing, MT.** selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, atas segala dukungannya.
3. **Bapak Dr. Ir. Zulfajri Basri, M.Eng.,** dan **Bapak Indrabayu, ST. MT. M.Bus.Sys** selaku Pembimbing I dan Pembimbing II atas segala bimbingan, bantuan, dan arahnya selama penulisan tugas akhir ini.
4. Segenap dosen dan staf Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu penulis.
5. Kepada **Kanda Fahuru, Kanda Miftahul Jannah, Kanda Githa Devi Pratama, Kanda Sugarto Kahar** untuk bantuannya dan perannya sebagai pembimbing ketiga.
6. Segenap staf **Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Makassar** atas segala bantuan dan nasihatnya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Sahabat-sahabat **Pixel Zer07even**, yang telah berkenan sejak 16 Maret 2008 silam menjalani hari-hari dengan penulis.
8. Kepada Kanda-Kanda **Cyberg 06, Dinda-Dinda Spyware 08, Hologram 09,** dan **Detektor 10**, serta Angkatan 2011. Terima kasih untuk canda dan tawanya.
9. Teman-teman asisten **Lab. Telkom, Lab. Telematika, dan Lab. Multimedia.**

10. Teman-teman seperjuangan yang terancam berada pada posisi cuci gudang :
Anca, Sentot, Asmi, Ifa, Juli, Indra, Ija, Ika, Sutan, Mala, Evhi, Anti, Mikail, Zakiy, Bayu, Ary, Bagus, Terry, Andhika. Juga untuk **Mirna** yang akan ujian meja. Insya Allah kita bertemu di baruga bulan Maret tahun ini.
11. Spesial untuk sahabat kami **Feby, Ephy, dan Sari.**
12. Untuk motivator kami yang tak pernah lelah mengirimkan doa dan semangat :
Inna, Ria, Ela, Ephy dan Sari.
13. Untuk seseorang yang spesial di hati kami masing-masing. Terima kasih sudah mengisi satu ruangan kosong di hati kami, entah apakah itu untuk sementara atau (kami harap) untuk selamanya. Terima kasih karena sudah menjadi begitu berarti dalam hidup kami. Terima kasih sudah menjadi penyemangat tersendiri yang selalu membuat kami merasa perlu untuk menjadi lebih baik setiap hari.
14. Terakhir, kepada semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.
Semoga Allah Swt membalas semua bantuan yang telah diberikan kepada kami.
Amin.

Makassar, Januari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-3
I.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
I.4 Batasan Masalah.....	I-4
I.5 Metodologi Penelitian	I-5
I.6 Sistematika Penulisan.....	I-6
BAB II GAMBARAN UMUM KOMUNIKASI SATELIT DAN MODEL-MODEL INTENSITAS SERTA REDAMAN HUJAN.....	II.1
II.1 Gambaran Umum Komunikasi Satelit	II-1
II.1.1 Prinsip Dasar Sistem Telekomunikasi	II-2
II.1.2 Jenis-Jenis Orbit Satelit.....	II-3
II.1.3 Alokasi Frekuensi.....	II-9
II.1.3.1 <i>Kurtz Above Band</i> (Ka-Band)	II-11
II.1.4 Satelit.....	II-12
II.1.5 Stasiun Bumi	II-14

II.2 Teori Redaman Hujan Pada Lintasan Lurus	II-15
II.3 Model-Model Intensitas Hujan dan Redaman Hujan.....	II-18
II.3.1 Model Intensitas Hujan	II-18
II.3.1.1 Model Rice-Holmberg	II-19
II.3.1.2 Model ITU-R	II-20
II.3.1.3 Model VIHT(<i>Variable Isotherm Height Technique</i>)	II-21
II.3.1.4 Model Salonen-Baptista.....	II-22
II.3.2 Model Redaman Hujan	II-24
II.3.2.1 Model SAM (<i>Simple Attenuation Model</i>)	II-24
II.3.2.2 Model ITU-R	II-26
II.3.2.3 Model VIHT(<i>Variable Isotherm Height Technique</i>)	II-29
II.3.2.4 Model DAH (Dissanayake, Allnut, dan Haidara).....	II-32
II.3.3 <i>Link Budget</i>	II-35
II.3.3.1 Dasar Teori <i>Link Budget</i>	II-35
II.3.3.2 <i>Reservasi Bandwidth</i>	II-37
II.3.3.3 Kualitas Sinyal	II-39
II.4 <i>Adaptive Modulation (AM)</i>	II-42
II.4.1 <i>Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)</i>	II-43
II.4.2 <i>8 Phase Shift Keying (8-PSK)</i>	II-43
II.4.3 <i>16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)</i>	II-44

BAB III. METODOLOGI PERANCANGAN PEMODELAN INTENSITAS

REDAMAN HUJAN	III-1
III.1 Intensitas Hujan.....	III-2
III.1.1 Model ITU-R.....	III-2
III.1.2 Model VIHT	III-2

III.1.3 Model Rice-Holmberg.....	III-3
III.1.4 Model Salonen Baptista	III-3
III.2 Redaman Hujan	III-10
III.2.1 Model ITU-R.....	III-4
III.2.2 Model VIHT	III-5
III.2.3 Model Simple Attenuation Model (SAM)	III-7
III.2.4 Model Dissanayake, Allnutt, dan Haidara (DAH)	III-7
III.3 Redaman Ruang Bebas.....	III-10
III.4 Link Budget.....	III-10
III.4.1 Parameter Ground Segment	III-10
III.4.2 Parameter Space Segment	III-12
III.5 Bandwidth Calculation.....	III-15
III.6 Link Calculation.....	III-17
BAB IV HASIL PENELITIAN, PEMBAHASAN, DAN SIMULASI.....	IV-1
IV.1 Perhitungan Model Intensitas Hujan.....	IV-1
IV.1.1 Model Rice-Holmberg	IV-1
IV.1.2 Model ITU-R.....	IV-3
IV.1.3 Model Salonen-Baptista.....	IV-4
IV.1.4 Model VIHT.....	IV-7
IV.2 Perbandingan Intensitas Hujan Hasil Pengukuran dengan Model Intensitas.....	IV-8
IV.3 Perhitungan Redaman Hujan	IV-10
IV.3.1 Perhitungan Model Redaman Hujan dengan Membandingkan Nilai Hasil Pengukuran	IV-10

IV.3.2 Perhitungan untuk Menentukan Sudut Elevasi.....	IV-11
IV.3.3 Model SAM (<i>Simple Attenuation Model</i>).....	IV-11
IV.3.4 Model ITU-R	IV-14
IV.3.5 Model VIHT	IV-17
IV.3.6 Model DAH (Dissanayake, Allnut, dan Haidara).....	IV-20
IV.4 Perhitungan <i>Link Budget</i>	IV-28
IV.4.1 <i>Carrier to Noise Power Density Ratio (C/No)</i> dan <i>Carrier to Noise Ratio (C/N)</i>	IV-28
IV.4.2 <i>Energy per Bit to The Spectral Noise Density (Eb/No)</i>	IV-30
IV.4.3 <i>Bit Error Rate (BER)</i>	IV-35
IV.4.4 <i>Margin</i>	IV-37
IV.4.5 Unjuk Kerja BER terhadap Eb/No.....	IV-39
BAB V PENUTUP	V-1
V.1 KESIMPULAN	V-1
V.2 SARAN	V-3
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Prinsip Dasar Sistem Telekomunikasi	II-2
Gambar II.2	Tipe-Tipe Orbit	II-8
Gambar II.3	Wilayah <i>Coverage</i> WINDS.....	II-14
Gambar II.4	Diagram Blok Stasiun Bumi	II-15
Gambar II.5	Zona Hujan ITU-R.....	II-21
Gambar II.6	Zona Hujan VIHT	II-22
Gambar II.7	Geometri Lintasan untuk Menghitung Redaman Hujan Model SAM.....	II-25
Gambar II.8	Geometri Lintasan untuk Menghitung Redaman Hujan Model ITU-R.....	II-27
Gambar II.9	Hubungan Antara <i>Latitude</i> (Lintang) terhadap Tinggi Efektif Hujan dengan Berbagai Persen Waktu.....	II-30
Gambar II.10	Geometri untuk Model DAH	II-33
Gambar III.1	Prinsip Komunikasi Satelit dengan <i>Fading</i> Hujan.....	III-1
Gambar III.2	<i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	III-23
Gambar III.3	<i>Flowchart Link Budget</i>	III-24
Gambar IV.1	Grafik Hubungan Persen Waktu dengan Intensitas Hujan Model Rice-Holmberg	IV-2
Gambar IV.2	Grafik Hubungan Persen Waktu (p) dengan Intensitas Hujan Model ITU-R.....	IV-3
Gambar IV.3	Grafik Hubungan Persen Waktu (p) dengan Intensitas Hujan	

	Model Salonen-Baptista.....	IV-6
Gambar IV.4	Grafik Hubungan Antara Persen Waktu (P) Dengan Intensitas Hujan Model VIHT	IV-7
Gambar IV.5	Grafik Persen Waktu (p) terhadap Intensitas Hujan dengan Berbagai Model Intensitas Hujan	IV-9
Gambar IV.6	Grafik Persen Waktu (p) vs Redaman Hujan Model SAM dengan Berbagai Model Intensitas Hujan	IV-14
Gambar IV.7	Grafik Persen Waktu (p) vs Redaman Hujan Model ITU-R dengan Berbagai Model Intensitas Hujan	IV-16
Gambar IV.8	Grafik Persen Waktu (p) vs Redaman Hujan Model VIHT dengan Berbagai Model Intensitas Hujan	IV-19
Gambar IV.9	Grafik Persen Waktu (p) vs Redaman Hujan Model DAH dengan Berbagai Model Intensitas Hujan	IV-23
Gambar IV.10	Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan dengan Standar Deviasi Terkecil	IV-24
Gambar IV.11	Grafik Perbandingan Berbagai Model Redaman Hujan dengan Pengukuran	IV-25
Gambar IV.12	Grafik Perbandingan Berbagai Model Redaman Hujan yang Terbaik Dissanayake, Allnut, dan Haidara (DAH) dengan Pengukuran	IV-26
Gambar IV.13	Unjuk Kerja BER terhadap Eb/No dari Modulasi QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM.....	IV-40

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Pita Frekuensi	II-10
Tabel II.2 Spesifikasi Satelit WINDS	II-14
Tabel II.3 Koefisien Redaman Spesifik k dan α	II-16
Tabel II.4 Distribusi Intensitas Hujan ITU-R	II-20
Tabel II.5 Distribusi Intensitas Hujan Global Crane.....	II-22
Tabel II.6 Parameter $k(f)$ dan $\alpha(f)$ untuk Menghitung Redaman Spesifik	II-31
Tabel III.1 Distribusi Intensitas hujan region P untuk ITU-R.....	III.2
Tabel III.2 Distribusi Intensitas Hujan Region H untuk VIHT.....	III-3
Tabel IV.1 Hasil Perhitungan Intensitas Hujan Model Rice-Holmberg.....	IV-2
Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Intensitas Hujan Model Salonen-Baptista.....	IV-5
Tabel IV.3 Intensitas Hujan Berbagai Model Dibandingkan dengan Hasil Pengukuran.....	IV-8
Tabel IV.4 Model-Model Intensitas Hujan untuk Makassar.....	IV-10
Tabel IV.5 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model SAM dengan R_p Model ITU-R.....	IV-12
Tabel IV.6 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model SAM dengan R_p untuk Beberapa Model	IV-13
Tabel IV.7 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Metode ITU-R dengan Intensitas Hujan ITU-R.....	IV-15
Tabel IV.8 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model ITU-R dengan R_p untuk Beberapa Model	IV-16

Tabel IV.9 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model VIHT dengan Intensitas Hujan ITU-R.....	IV-18
Tabel IV.10 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model VIHT dengan R_p untuk Beberapa Model.....	IV-19
Tabel IV.11 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model DAH dengan Intensitas Hujan ITU-R	IV-22
Tabel IV.12 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model DAH dengan R_p untuk Beberapa Model.....	IV-23
Tabel IV.13 Hasil Analisa Model Redaman Hujan	IV-24
Tabel IV.14 Perbandingan Berbagai Model Redaman Hujan dengan Pengukuran.....	IV-25
Tabel IV.15 Nilai Redaman Hujan <i>Uplink</i> untuk Setiap <i>Link Availability</i>	IV-27
Tabel IV.16 Nilai Redaman Hujan <i>Downlink</i> untuk Setiap <i>Link Availability</i>	IV-27
Tabel IV.17 Nilai E_b/N_0 Modulasi terhadap <i>Link Availability</i> pada Sisi <i>Uplink</i>	IV-34
Tabel IV.18 Nilai E_b/N_0 Modulasi terhadap <i>Link Availability</i> pada Sisi <i>Downlink</i>	IV-34
Tabel IV.19 Nilai BER Modulasi terhadap <i>Link Availability</i> pada Sisi <i>Uplink</i> ...	IV-37
Tabel IV.20 Nilai <i>Margin</i> untuk Setiap Modulasi terhadap <i>Link Availability</i> pada Sisi <i>Uplink</i>	IV-38
Tabel IV.21 Nilai <i>Margin</i> untuk Setiap Modulasi terhadap <i>Link Availability</i> pada Sisi <i>Downlink</i>	IV-38

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Sistem komunikasi satelit adalah salah satu sarana atau infrastruktur yang dapat digunakan untuk aplikasi *broadband* multimedia. Perkembangan teknologi layanan *broadband* yaitu *high speed internet*, *digital video*, *audio broadcasting*, *video conference* dan lain-lain dengan kapasitas tinggi dan *bandwidth* lebar dari suatu pemancar sentral ke pelanggan dengan menggunakan *Broadband Wireless Access (BWA)* atau *Local to Multipoint Distribution System (LMDS)* terus meningkat dengan cepat (Panagopoulos, 2002). LMDS adalah sistem komunikasi *fixed wireless access*, *line of sight (LOS) point to multipoint* yang beroperasi pada frekuensi gelombang millimeter yaitu antara 20-40GHz.

Dalam sistem komunikasi satelit frekuensi yang dipakai pada awalnya adalah C-Band (4 s/d 6 GHz), namun kini semakin banyak satelit yang beroperasi dengan frekuensi yang lebih tinggi misalnya Ku-Band (11 s/d 14 GHz) dan Ka-Band (17 s/d 30 GHz). Pemakaian frekuensi diatas 10 GHz cocok untuk layanan *broadband* karena semakin tinggi frekuensi yang digunakan semakin lebar *bandwidth* yang tersedia tetapi redaman hujan juga semakin tinggi dan semakin tinggi redaman hujan akan semakin menurunkan *link-availability*.

Pemakaian frekuensi Ka-Band mempunyai keuntungan dalam hal tersedianya lebar pita frekuensi yang cukup besar, dan kecilnya diameter antena



pada sisi pengguna akhir. Namun bagi Indonesia penggunaan frekuensi Ka-Band ini memerlukan pengkajian cermat karena sangat rentan terhadap perubahan kondisi atmosfer khususnya hujan, dimana daya emisi yang diterima akan teredam dan suhu derau sistem meningkat di sisi penerima. Tulisan ini mengkaji kemungkinan pemakaian frekuensi Ka-Band untuk sistem komunikasi satelit di wilayah Makassar. Pengkajian ini difokuskan untuk memperlihatkan perlunya pemodelan hujan yang dapat digunakan untuk alat bantu simulasi intensitas dan redaman hujan pada frekuensi Ka-Band.

Pada penelitian ini dilakukan kajian menghitung intensitas hujan dengan menggunakan model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), Rice-Holmberg, dan Salonen Baptista, sedangkan untuk menghitung redaman hujan digunakan model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), SAM (*Simple Attenuation Model*), dan DAH (*Dissanayake, Allnut, and Haidara*). Data curah hujan yang digunakan adalah data tahun 2008-2010 dari Badan Meteorologi dan Geofisika wilayah IV Makassar. Dengan melihat hasil redaman hujan yang terjadi kemudian dilakukan perhitungan analisis dan simulasi *link budget* terhadap *link* komunikasi satelit di wilayah kota Makassar.

Adapun judul yang sesuai untuk penyusunan Tugas Akhir ini berdasarkan pemaparan di atas adalah:

**“Simulasi Intensitas Hujan dan Pengaruh Redaman pada Propagasi
Gelombang Sistem Komunikasi Satelit Ka-Band”**

I.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat sebagai objek penelitian pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Mencari pemodelan intensitas dan redaman hujan yang tepat untuk wilayah kota Makassar dari beberapa pemodelan intensitas dan redaman hujan seperti ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), DAH (Dissanayake, Allnut, and Haidara), Salonen-Baptista, SAM (*Simple Attenuation Model*) dan Rice-Holmberg.
- Bagaimana pembangkitan redaman hujan dari pemodelan yang tepat untuk wilayah Makassar.
- Perlunya analisa *link budget* komunikasi satelit *broadband* pada frekuensi Ka-Band di kota Makassar.
- Perlunya analisa *link availability* yang sesuai dengan kondisi geografis di Makassar.
- Mencari nilai BER, C/No, Eb/No dan *margin* sesuai dengan *availability* hujan yang ditentukan.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- Mengetahui model intensitas hujan yang sesuai di wilayah Makassar.
- Mengetahui model redaman hujan untuk wilayah Makassar pada propagasi sistem komunikasi satelit Ka-Band.
- Menghitung *link budget* komunikasi satelit pada frekuensi Ka-Band.
- Mengetahui *link availability* pada frekuensi Ka-Band di kota Makassar

I.4 Batasan Masalah

Untuk kemudahan dan lebih terperinci pembahasan pada Tugas Akhir ini, maka batasan permasalahan yang diberikan adalah sebagai berikut :

- Membuat pemodelan intensitas dan redaman hujan dari berbagai model seperti ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), DAH (Dissanayake, Allnut, and Haidara), SAM (*Simple Attenuation Model*), Salonen-Baptista, dan Rice-Holmberg. Kemudian mencari pemodelan intensitas dan redaman hujan yang tepat untuk wilayah Makassar dari berbagai model intensitas dan redaman hujan tersebut.
- Dalam membuat pemodelan intensitas dan redaman hujan, frekuensi Ka-Band yang digunakan untuk *uplink* adalah 28 GHz dan *downlink* 17,8 GHz.
- Teknik modulasi yang digunakan adalah teknologi modulasi adaptif atau *Adaptive Modulation* (AM) yaitu QPSK, 8-PSK dan 16-QAM sesuai dengan spesifikasi modem CDM 600.
- Kota Makassar diambil sebagai sampel untuk pemodelan intensitas dan redaman hujan satelit frekuensi Ka-Band dengan data curah hujan tahun 2008-2010 dari Badan Meteorologi dan Geofisika wilayah IV Makassar.
- *Fading* yang digunakan pada perhitungan *link budget* hanya terbatas pada redaman hujan.

- Menggunakan parameter-parameter saluran transmisi dari satelit WINDS yang beroperasi pada frekuensi Ka-Band untuk menghitung nilai *link budget* pada sisi *uplink* dan *downlink*.
- Melakukan simulasi pembangkitan redaman hujan dari pemodelan redaman hujan yang tepat untuk wilayah Makassar beserta simulasi *link budget* berdasarkan *link availability* yang sesuai dengan kondisi geografis kota Makassar.
- Melakukan simulasi perbandingan BER terhadap Eb/No dari ketiga modulasi yang digunakan yaitu QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM.

I.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur yang digunakan antara lain pengumpulan literatur yang menunjang tujuan penelitian yang dicapai meliputi literatur dari buku referensi, jurnal, dan dari internet

2. Pengumpulan data

Pengambilan data berdasarkan hasil pengukuran di tempat penelitian atau data dari Badan Meteorologi dan Geofisika.

3. Analisis data

Data-data yang dikumpulkan dianalisis yaitu untuk menghitung intensitas hujan dengan menggunakan model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), Rice-Holmberg, dan Salonen-Baptista. Selanjutnya membandingkan setiap model dengan hasil pengukuran dan

menentukan model dari intensitas hujan untuk wilayah Makassar. Setelah itu menghitung redaman hujan dengan model ITU-R, VIHT, *Sample Attenuation Model* (SAM) dan Dissanayake, Allnut, and Haidara (DAH) kemudian membandingkan setiap model dan menentukan model redaman hujan untuk Makassar berdasarkan perhitungan. Dengan melihat redaman hujan yang terjadi kemudian dilakukan perhitungan analisis dan simulasi *link budget* terhadap link komunikasi satelit *broadband* pada frekuensi Ka-Band di wilayah kota Makassar.

4. Penyusunan Laporan

I.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penulisan agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka laporan ini dibagi dalam lima bab, isi masing-masing bab diuraikan secara singkat dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas hal-hal yang berhubungan dengan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan masalah, manfaat, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II GAMBARAN UMUM KOMUNIKASI SATELIT DAN MODEL-MODEL INTENSITAS SERTA REDAMAN HUJAN

Bab ini akan dibahas tentang gambaran umum mengenai dasar-dasar komunikasi satelit seperti frekuensi dan spesifikasi satelit, model-

model redaman hujan yang akan menunjang dalam mengetahui redaman hujan yang digunakan di wilayah Makassar, dan parameter-parameter menghitung link budget.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN PEMODELAN INTENSITAS DAN REDAMAN HUJAN

Pada bab ini dijelaskan tahapan-tahapan penelitian, waktu penelitian, teknik pengumpulan datanya, dan tahap simulasi.

BAB IV HASIL PENELITIAN, PEMBAHASAN, DAN SIMULASI

Pada bab ini berisi analisa dari sistem pengukuran dan perhitungan intensitas dan redaman hujan yang selanjutnya dilakukan perhitungan dan simulasi analisa link budget terhadap link komunikasi satelit.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan sebelumnya.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Sistem komunikasi satelit adalah salah satu sarana atau infrastruktur yang dapat digunakan untuk aplikasi *broadband* multimedia. Perkembangan teknologi layanan *broadband* yaitu *high speed internet*, *digital video*, *audio broadcasting*, *video conference* dan lain-lain dengan kapasitas tinggi dan *bandwidth* lebar dari suatu pemancar sentral ke pelanggan dengan menggunakan *Broadband Wireless Access (BWA)* atau *Local to Multipoint Distribution System (LMDS)* terus meningkat dengan cepat (Panagopoulos, 2002). LMDS adalah sistem komunikasi *fixed wireless access*, *line of sight (LOS) point to multipoint* yang beroperasi pada frekuensi gelombang millimeter yaitu antara 20-40GHz.

Dalam sistem komunikasi satelit frekuensi yang dipakai pada awalnya adalah C-Band (4 s/d 6 GHz), namun kini semakin banyak satelit yang beroperasi dengan frekuensi yang lebih tinggi misalnya Ku-Band (11 s/d 14 GHz) dan Ka-Band (17 s/d 30 GHz). Pemakaian frekuensi diatas 10 GHz cocok untuk layanan *broadband* karena semakin tinggi frekuensi yang digunakan semakin lebar *bandwidth* yang tersedia tetapi redaman hujan juga semakin tinggi dan semakin tinggi redaman hujan akan semakin menurunkan *link-availability*.

Pemakaian frekuensi Ka-Band mempunyai keuntungan dalam hal tersedianya lebar pita frekuensi yang cukup besar, dan kecilnya diameter antena

pada sisi pengguna akhir. Namun bagi Indonesia penggunaan frekuensi Ka-Band ini memerlukan pengkajian cermat karena sangat rentan terhadap perubahan kondisi atmosfer khususnya hujan, dimana daya emisi yang diterima akan teredam dan suhu derau sistem meningkat di sisi penerima. Tulisan ini mengkaji kemungkinan pemakaian frekuensi Ka-Band untuk sistem komunikasi satelit di wilayah Makassar. Pengkajian ini difokuskan untuk memperlihatkan perlunya pemodelan hujan yang dapat digunakan untuk alat bantu simulasi intensitas dan redaman hujan pada frekuensi Ka-Band.

Pada penelitian ini dilakukan kajian menghitung intensitas hujan dengan menggunakan model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), Rice-Holmberg, dan Salonen Baptista, sedangkan untuk menghitung redaman hujan digunakan model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), SAM (*Simple Attenuation Model*), dan DAH (*Dissanayake, Allnut, and Haidara*). Data curah hujan yang digunakan adalah data tahun 2008-2010 dari Badan Meteorologi dan Geofisika wilayah IV Makassar. Dengan melihat hasil redaman hujan yang terjadi kemudian dilakukan perhitungan analisis dan simulasi *link budget* terhadap *link* komunikasi satelit di wilayah kota Makassar.

Adapun judul yang sesuai untuk penyusunan Tugas Akhir ini berdasarkan pemaparan di atas adalah:

**“Simulasi Intensitas Hujan dan Pengaruh Redaman pada Propagasi
Gelombang Sistem Komunikasi Satelit Ka-Band”**

I.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat sebagai objek penelitian pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Mencari pemodelan intensitas dan redaman hujan yang tepat untuk wilayah kota Makassar dari beberapa pemodelan intensitas dan redaman hujan seperti ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), DAH (Dissanayake, Allnut, and Haidara), Salonen-Baptista, SAM (*Simple Attenuation Model*) dan Rice-Holmberg.
- Bagaimana pembangkitan redaman hujan dari pemodelan yang tepat untuk wilayah Makassar.
- Perlunya analisa *link budget* komunikasi satelit *broadband* pada frekuensi Ka-Band di kota Makassar.
- Perlunya analisa *link availability* yang sesuai dengan kondisi geografis di Makassar.
- Mencari nilai BER, C/No, Eb/No dan *margin* sesuai dengan *availability* hujan yang ditentukan.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- Mengetahui model intensitas hujan yang sesuai di wilayah Makassar.
- Mengetahui model redaman hujan untuk wilayah Makassar pada propagasi sistem komunikasi satelit Ka-Band.
- Menghitung *link budget* komunikasi satelit pada frekuensi Ka-Band.
- Mengetahui *link availability* pada frekuensi Ka-Band di kota Makassar

1.4 Batasan Masalah

Untuk kemudahan dan lebih terperinci pembahasan pada Tugas Akhir ini, maka batasan permasalahan yang diberikan adalah sebagai berikut :

- Membuat pemodelan intensitas dan redaman hujan dari berbagai model seperti ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), DAH (Dissanayake, Allnut, and Haidara), SAM (*Simple Attenuation Model*), Salonen-Baptista, dan Rice-Holmberg. Kemudian mencari pemodelan intensitas dan redaman hujan yang tepat untuk wilayah Makassar dari berbagai model intensitas dan redaman hujan tersebut.
- Dalam membuat pemodelan intensitas dan redaman hujan, frekuensi Ka-Band yang digunakan untuk *uplink* adalah 28 GHz dan *downlink* 17,8 GHz.
- Teknik modulasi yang digunakan adalah teknologi modulasi adaptif atau *Adaptive Modulation* (AM) yaitu QPSK, 8-PSK dan 16-QAM sesuai dengan spesifikasi modem CDM 600.
- Kota Makassar diambil sebagai sampel untuk pemodelan intensitas dan redaman hujan satelit frekuensi Ka-Band dengan data curah hujan tahun 2008-2010 dari Badan Meteorologi dan Geofisika wilayah IV Makassar.
- *Fading* yang digunakan pada perhitungan *link budget* hanya terbatas pada redaman hujan.

- Menggunakan parameter-parameter saluran transmisi dari satelit WINDS yang beroperasi pada frekuensi Ka-Band untuk menghitung nilai *link budget* pada sisi *uplink* dan *downlink*.
- Melakukan simulasi pembangkitan redaman hujan dari pemodelan redaman hujan yang tepat untuk wilayah Makassar beserta simulasi *link budget* berdasarkan *link availability* yang sesuai dengan kondisi geografis kota Makassar.
- Melakukan simulasi perbandingan BER terhadap E_b/N_0 dari ketiga modulasi yang digunakan yaitu QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur yang digunakan antara lain pengumpulan literatur yang menunjang tujuan penelitian yang dicapai meliputi literatur dari buku referensi, jurnal, dan dari internet

2. Pengumpulan data

Pengambilan data berdasarkan hasil pengukuran di tempat penelitian atau data dari Badan Meteorologi dan Geofisika.

3. Analisis data

Data-data yang dikumpulkan dianalisis yaitu untuk menghitung intensitas hujan dengan menggunakan model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), Rice-Holmberg, dan Salonen-Baptista. Selanjutnya membandingkan setiap model dengan hasil pengukuran dan

menentukan model dari intensitas hujan untuk wilayah Makassar. Setelah itu menghitung redaman hujan dengan model ITU-R, VIHT, *Sample Attenuation Model* (SAM) dan Dissanayake, Allnut, and Haidara (DAH) kemudian membandingkan setiap model dan menentukan model redaman hujan untuk Makassar berdasarkan perhitungan. Dengan melihat redaman hujan yang terjadi kemudian dilakukan perhitungan analisis dan simulasi *link budget* terhadap link komunikasi satelit *broadband* pada frekuensi Ka-Band di wilayah kota Makassar.

4. Penyusunan Laporan

I.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penulisan agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka laporan ini dibagi dalam lima bab, isi masing-masing bab diuraikan secara singkat dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas hal-hal yang berhubungan dengan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan masalah, manfaat, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II GAMBARAN UMUM KOMUNIKASI SATELIT DAN MODEL-MODEL INTENSITAS SERTA REDAMAN HUJAN

Bab ini akan dibahas tentang gambaran umum mengenai dasar-dasar komunikasi satelit seperti frekuensi dan spesifikasi satelit, model-

model redaman hujan yang akan menunjang dalam mengetahui redaman hujan yang digunakan di wilayah Makassar, dan parameter-parameter menghitung link budget.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN PEMODELAN INTENSITAS DAN REDAMAN HUJAN

Pada bab ini dijelaskan tahapan-tahapan penelitian, waktu penelitian, teknik pengumpulan datanya, dan tahap simulasi.

BAB IV HASIL PENELITIAN, PEMBAHASAN, DAN SIMULASI

Pada bab ini berisi analisa dari sistem pengukuran dan perhitungan intensitas dan redaman hujan yang selanjutnya dilakukan perhitungan dan simulasi analisa link budget terhadap link komunikasi satelit.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan sebelumnya.

BAB II

GAMBARAN UMUM KOMUNIKASI SATELIT DAN MODEL-MODEL INTENSITAS SERTA REDAMAN HUJAN

II.1 Gambaran Umum Komunikasi Satelit

Penggunaan sistem komunikasi satelit merupakan suatu alternatif sistem komunikasi jarak jauh yang sangat tepat untuk diimplementasikan di Indonesia. Satelit pada prinsipnya berfungsi sebagai stasiun pengulang (*repeater*) yang ditempatkan di ruang angkasa. Sistem komunikasi satelit merupakan teknik akses yang sangat menunjang dalam perkembangan dunia pertelekomunikasian. Komunikasi satelit tidak memperhitungkan jarak stasiun pemancar dan penerima serta kondisi geografis wilayah, seperti pada akses komunikasi lainnya. Hal tersebut menyebabkan komunikasi satelit memiliki peranan penting dalam menunjang infrastruktur global sebagai layanan telekomunikasi global, personal, dan *mobile*. Melalui akses langsung atau tergabung dengan sistem komunikasi lainnya misalnya teresterial.

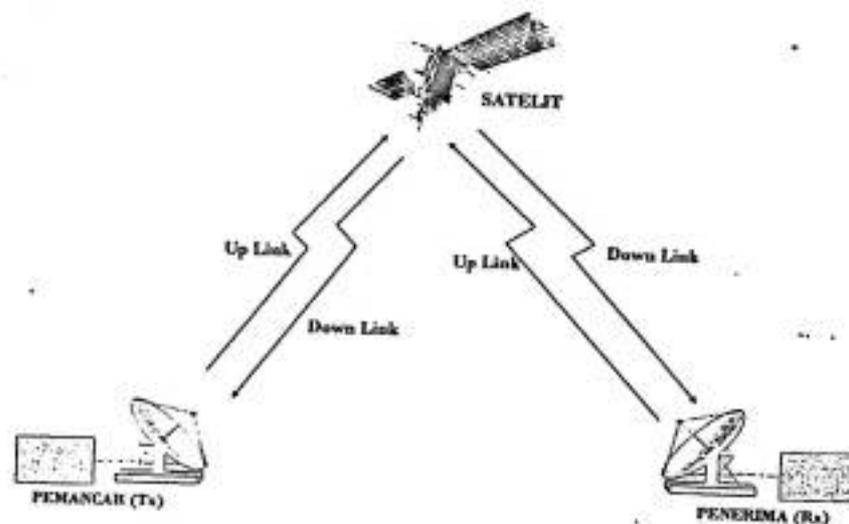
Secara garis besar peralatan sistem komunikasi satelit dibagi menjadi dua bagian yaitu (A.Ice, 2007):

- Peralatan yang berada di luar angkasa (*space segment*) yang disebut satelit
- Peralatan yang berada di bumi (*ground segment*) yang disebut stasiun bumi. Dilihat dari fungsinya stasiun bumi dapat dibedakan menjadi dua

jenis yaitu stasiun bumi pengontrol (stasiun bumi pengendali utama) dan juga stasiun bumi yang bertujuan untuk sistem komunikasi.

II.1.1 Prinsip Dasar Sistem Komunikasi Satelit

Adapun prinsip dasar komunikasi satelit ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar II.1 Prinsip Dasar Komunikasi Satelit (Simanjuntak, 2004)

Prinsip dasar sistem komunikasi satelit adalah dari suatu terminal sinyal dikirimkan ke stasiun bumi, kemudian dari stasiun bumi ini sinyal tersebut dipancarkan ke satelit. Selanjutnya dari satelit sinyal ini akan dikirim kembali ke bumi yaitu ke stasiun bumi yang akan dituju yang letaknya berdekatan dengan terminal yang akan dituju. Kemudian dari stasiun bumi ini sinyal diteruskan ke terminal yang dituju. Satelit komunikasi yang merupakan sebuah *repeater microwave* yang berada di ketinggian tertentu di atas permukaan bumi, yaitu

sekitar 36.000km dan disebut satelit GEO (*geostationary Earth Orbit*). Satelit komunikasi yang banyak digunakan saat ini adalah satelit GEO. Dengan tiga satelit GEO yang terpisah dengan jarak 120° , hampir seluruh permukaan bumi dapat diliput. Karena jaraknya yang jauh itu, mengakibatkan adanya *delay* propagasi 0,25 detik antar *user* satu dengan *user* lainnya yang memakai komunikasi satelit. Sistem GEO adalah ide yang diberikan oleh Arthur C. Clarke.

Ada beberapa jenis komunikasi satelit berdasarkan layanannya, yakni (Setyanto Prima, 2003):

1. *Fixed Satellite Services*
2. *Broadcast Satellite Service*
3. *Mobile Satellite Service*
4. *Navigational satellite Service*
5. *Meteorological Satellite service*

II.1.2. Jenis-Jenis orbit satelit

Satelit diorbitkan dengan ketinggian bermacam-macam tergantung dari kebutuhannya. Orbitnya sinkron dengan permukaan bumi, sehingga seolah-olah satelit ini diam ditempatnya. Inilah yang disebut dengan geostationer orbit. Ada beberapa jenis orbit satelit yaitu (Ari Prabowo, 2008):

a. Orbit Stationer

Merupakan sebuah orbit yang menempatkan satelit untuk terus tetap berada pada posisinya mengacu pada sebuah titik atau lokasi. Satelit yang ditempatkan pada orbit stationer kebanyakan bergerak dari arah

timur ke barat mengikuti pergerakan rotasi bumi. Pada orbit stationer ini dibedakan berdasarkan ketinggiannya menjadi:

- *Low Earth Orbit (LEO)*

Satelit jenis LEO merupakan satelit yang mempunyai ketinggian 320-800 km diatas permukaan bumi. Karena orbit mereka yang sangat dekat dengan bumi, satelit LEO harus mempunyai kecepatan yang sangat tinggi supaya tidak terlempar ke atmosfer. Kecepatan edar satelit LEO mencapai 27.359 km/h untuk mengitari bumi dalam waktu 90 menit. Aplikasi dari satelit jenis LEO ini biasanya dipakai pada *system remote sensing* dan peramalan cuaca karena jarak mereka dengan permukaan bumi yang tidak terlalu jauh. Pada masa sekarang satelit LEO yang mengorbit digunakan untuk aplikasi komunikasi selular. Karena jarak yang tidak terlalu jauh dan biaya murah, satelit LEO sangat banyak diluncurkan untuk berbagai macam aplikasi. Akibatnya bahwa jumlah satelit LEO sudah sangat padat, tercatat sekarang ada 8000 lebih satelit yang mengitari bumi pada orbit LEO. Adapun kerugian dan keuntungan dari orbit LEO adalah:

Keuntungan:

- Rendah *latency* dan *delay* transmisi
- *Low path loss*
- Mudah dioperasikan di daya rendah pada antena stasiun bumi

Kerugian:

- Tidak efektif untuk cakupan wilayah nasional maupun regional
- *Life-time* orbital lebih pendek di banding GEO dan MEO
- *Medium Earth Orbit* (MEO)

Satelit pada orbit ini merupakan satelit yang mempunyai ketinggian satelit di atas 1000 km dengan aplikasi dan jenis yang sama pada orbit LEO. Namun karena jaraknya yang sudah cukup jauh jumlah satelit pada orbit MEO tidaklah sebanyak pada orbit LEO. Satelit jenis MEO ini mempunyai delay sebesar 60-80 ms dengan keuntungan dan kerugian sebagai berikut:

Keuntungan:

- *Delay* dan *latency* kurang dari orbit GEO tapi lebih besar dari orbit LEO
- Meningkatkan kesempatan untuk frekuensi *re-use* jika dibandingkan dengan orbit GEO namun lebih rendah dari orbit LEO
- *Lifetime* lebih lama daripada sistem LEO tetapi lebih kurang dari GEO

Kerugian:

- Lebih banyak satelit yang yang disebarkan dibandingkan GEO

- Lebih banyak biaya yang dikeluarkan untuk peluncuran satelit dibanding GEO
 - Peralatan antena stasiun bumi secara umum lebih mahal dan kompleks
 - Hanya mencakup *low traffic area*
- *Geostationery Earth Orbit (GEO)*

Satelit GEO merupakan sebuah satelit yang ditempatkan dalam orbit yang posisi satelit tetap dengan posisi suatu titik di bumi. Karena mempunyai posisi yang tetap maka waktu edarnya pun sama dengan rotasi bumi. Posisi orbit satelit GEO sejajar dengan garis khatulistiwa atau mempunyai titik lintang nol derajat.

Satelit GEO mempunyai jarak sebesar ± 36000 km dari permukaan bumi. Pada satelit dengan orbit GEO inilah yang akan banyak dibahas dan dijadikan sebagai contoh perhitungan soal. Keuntungan satelit orbit GEO ini salah satunya adalah dalam *tracking* antena pengendalian dari suatu stasiun bumi tidak perlu mengikuti pergerakan satelitnya yang tidak sama dengan periode bumi berputar. Kerugian dari satelit orbit GEO adalah karena jarak yang sangat jauh dari permukaan bumi maka daya pancar sinyal haruslah tinggi dan sering terjadi *delay* yang cukup signifikan. Cakupan satelit GEO pun sebenarnya tidak mencakup semua posisi dipermukaan bumi. Lokasi yang berada di kutub utara dan selatan tidak dapat terjangkau dengan menggunakan satelit GEO karena

*foot print*nya terbatas. Adapun keuntungan dan kerugian orbit GEO adalah sebagai berikut:

Keuntungan:

- Hanya sedikit satelit yang bisa menyediakan global *coverage*
- Maksimum *life-time* nya 15 tahun atau lebih
- Tidak perlu khawatir tentang radiasi Van Allen Belt
- Sistem yang rendah biaya dan sederhana pada *tracking* dan *switching*

Kerugian:

- *Latency* transmisi 250 milisecond untuk satu *uplink* dan *downlink* yang lengkap
- Biaya yang lebih mahal dan lebih sulit pada saat peluncuran
- Antena harus memiliki *aperture* yang besar

b. Orbit Polar

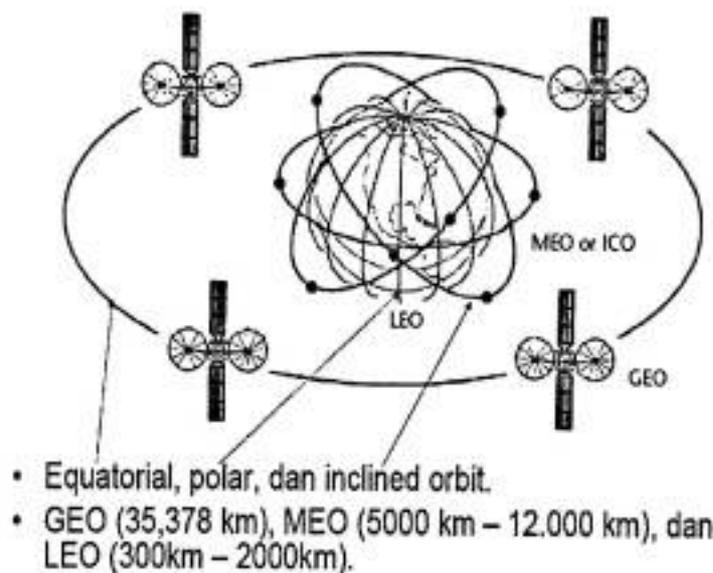
Satelit yang mengorbit pada orbit polar merupakan satelit yang mempunyai inklinasi (penyimpangan) sebesar 90° dari orbit geostationer. Atau boleh dikatakan bahwa satelit ini mengitari bumi dari arah selatan ke utara. Karena arah perputarannya yang tidak sinkron dengan arah rotasi bumi maka satelit jenis polar ini jarang digunakan.



c. Orbit Eliptical

Satelit dengan orbit elips merupakan satelit yang mengorbit dengan bentuk orbit yang elips terhadap bumi. Dengan bentuk orbit yang elips tersebut menghasilkan suatu jarak yang tidak sama (sinkron) pada setiap posisi dengan permukaan bumi. Pada satelit dengan orbit elliptical maka akan terjadi suatu posisi terjauh dari permukaan bumi dan suatu posisi terdekat dari permukaan bumi. Posisi terjauh dari permukaan bumi dinamakan dengan posisi *apogee*. Posisi terdekat dengan permukaan bumi disebut dengan posisi *perigee*.

Tipe Orbit



Gambar II.2 Tipe-tipe Orbit (Gatot Santoso,2009)

II.1.3. Alokasi frekuensi

Komunikasi satelit memakai gelombang elektromagnetik untuk membawa informasi dari *ground* ke *space*. Rentang frekuensi yang diperuntukkan untuk sebuah aplikasi tertentu disebut sebuah frekuensi *band* (pita frekuensi). Sedangkan frekuensi dari nol sampai tak terhingga disebut *spectrum*. Badan yang mengatur alokasi frekuensi untuk suatu pemakaian tertentu adalah *International Telecommunication Union* (ITU), yakni sebuah badan khusus di PBB yang berkedudukan di Genewa, Swiss.

Frekuensi dari 0 sampai 100 MHz, dipergunakan untuk bermacam-macam layanan penyiaran (*broadcasting services*) dan tidak digunakan untuk komunikasi satelit (*space communication*). Untuk komunikasi satelit dipergunakan frekuensi radio diatas 100 MHz yakni VHF (*Very High frequency*), UHF (*Ultra High Frequency*), SHF (*Super High Frequency*), dan EHF (*Extremely High Frequency*). SHF dibagi menjadi *subband* yang ditandai dengan huruf L, S, C, X, Ku, dan Ka (Ka sering juga dimasukkan ke EHF). Selain itu adalah EHF, V, dan Q *band*. Umumnya yang digunakan adalah Ku-band ke bawah. Hal ini disebabkan biaya perangkat yang rendah dan karakteristik propagasi gelombang yang baik. Sedangkan Ka, V, dan Q-band sangat potensial digunakan untuk transmisi *very high bandwidth (broadband)* dengan memakai antena penerima yang kecil (<0,6m). Dalam penerapan transmisi dengan Ka, V, dan Q-band ada kesulitan, yaitu masalah *rain attenuation* yang besar dan biaya perangkat yang mahal. Namun saat ini sudah ada satelit yang memakai frekuensi Ka (Setyanto Prima,2003).

Tabel II.1 Pita frekuensi (Roddy,2001)

Rentang Frekuensi (GHZ)	Band
0.1-0.3	VHF
0.3-1	UHF
1.0-2.0	L
2-4	S
4-8	C
8-12	X
12-18	Ku
18-27	K
27-40	Ka
40-75	V
75-110	W
110-300	Mm
300-3000	μ m

Pada awalnya sistem komunikasi satelit yang menggunakan frekuensi C-Band (4-8 GHz) mengakibatkan terjadinya interferensi dengan *link microwave terrestrial* (4-6 GHz). Satelit generasi baru menggunakan frekuensi Ka-Band (17-30GHz). Frekuensi yang lebih tinggi mengalami penghamburan (*scattering*) yang lebih tinggi pula atau memiliki redaman ruang bebas lebih besar

dibandingkan dengan frekuensi yang lebih rendah. Untuk mendapatkan frekuensi *uplink* yang sesuai dibutuhkan pengarah *control* yang baik dari *side lobe antenna*, pengaturan diameter antena dan penguatan daya pada stasiun bumi, oleh karena itu stasiun bumi memiliki aset pemancaran (daya primer tak terbatas) yang lebih baik daripada satelit.

II.1.3.1 *Kurtz Above Band (Ka-Band)*

Daerah frekuensi Ka-Band (*Kurtz above band*) adalah *band* gelombang mikro dari spektrum elektromagnetik dengan jangkauan antara 17-30 GHz (Wahyu Pamungkas, 2006). Saat ini daerah frekuensi Ka-Band diaplikasikan untuk sistem komunikasi satelit antara lain untuk keperluan internet, *video conference*, *video telephone*, *data broadcasting*, *voice (telephone)* pada daerah pedalaman, *tele-medicine*, *tele-education*, *local television(broadcasting) satellite data relay services*, *Inter Satellite Links (ISL)*, *news gathering dan PC networks*. Namun demikian, sebagian besar aplikasi yang akan dilayani oleh daerah frekuensi Ka-Band adalah aplikasi internet dan multimedia. Kelebihan dari daerah frekuensi Ka-Band diantaranya adalah:

- Tersedianya *bandwidth* frekuensi yang cukup besar
- Tidak memerlukan antena berukuran besar
- Kapasitas sistem yang lebih besar
- Selalu tersedia akses pada lokasi yang tidak memungkinkan jaringan teresterial dibangun

Sedangkan kekurangan dari daerah frekuensi Ka-Band adalah:

- Memerlukan lebih banyak daya untuk mentransmisikan sinyal jika dibandingkan dengan satelit yang menggunakan daerah frekuensi dibawahnya
- Semakin tinggi frekuensi Ka-Band maka semakin rentan terhadap perubahan kondisi atmosfer.

II.1.4 Satelit

Indonesia adalah negara kepulauan yang sangat luas, kecepatan perkembangan infrastruktur teknologi informasi menjadi sebuah tantangan. Solusi agar wilayah yang luas dan berpenduduk 220 juta ini tidak tertinggal dalam hal perkembangan dan pemanfaatan teknologi informasi. Infrastruktur yang menunjang teknologi informasi di Indonesia saat ini dengan memakai sistem *wireless* (nirkabel) dan *wireline* (*terrestrial*). Sistem nirkabel antara lain GSM, GPRS, WLL, dan Satelit (VSAT). Sedangkan sistem *terrestrial* adalah *leased line*, ISDN, dan ADSL.

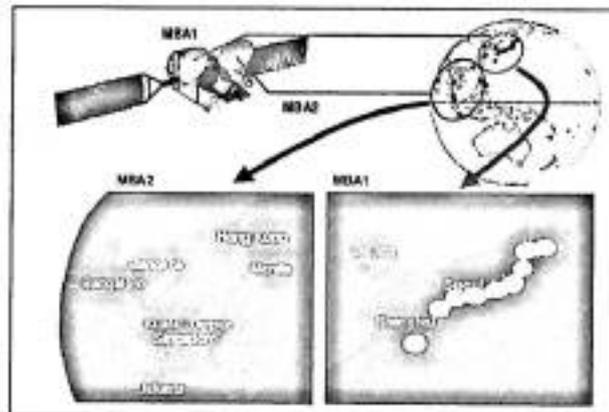
Sistem komunikasi satelit menggunakan frekuensi antara 4-6 GHz untuk sistem C-Band, dan 11-14 GHz untuk sistem Ku-Band, serta 17-30 GHz untuk sistem Ka Band. Pada awalnya frekuensi yang digunakan adalah C-Band namun kini semakin banyak satelit yang beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi lagi yaitu Ku-Band dan Ka-Band. Frekuensi Ku-Band telah banyak digunakan di Amerika Utara dan Eropa (Saidah Suyuti,2007).

Salah satu satelit komunikasi yang memiliki transponder Ka-Band adalah WINDS Satelit (*Wideband Inter Networking engineering test and Demonstration*

Satellite) adalah program penelitian yang diprakarsai oleh *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*. Penelitian WINDS dimulai sejak tahun 2008, diawali dengan peluncuran satelit ini oleh roket H2A pada tanggal 23 Pebruari 2008. Satelit berteknologi Ka-band ini, memiliki cakupan di wilayah Asia Pasifik dan khususnya Asia Tenggara. Kegunaan WINDS sangat beragam, beberapa hal yang memanfaatkan satelit dapat diujikan dalam riset antara lain untuk tujuan pendidikan, *telemedicine*, mitigasi bencana dan transmisi radio.

WINDS yang dikembangkan bersama-sama dengan JAXA (lembaga antariksa Jepang) dan *National Institute of Information and Communication Technology (NICT)* disebut-sebut menggunakan teknologi mutakhir Ka-Band (sistem yang bekerja pada frekuensi tinggi) yang memiliki panjang gelombang pendek. Dengan spesifikasi tersebut, WINDS dianggap mampu menyediakan koneksi internet berkecepatan tinggi yang maksimum 100 Mbps dan 6 Mbps untuk pengiriman dengan ukuran antena penerima 45 cm (sama dengan ukuran sekarang). Sedangkan untuk antena ukuran 5 m, kecepatan yang bisa dicapai WINDS sebesar 1.2 Gbps. Satelit WINDS ini juga memiliki daya jangkau yang cukup luas dapat merambah daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan kabel (terrestrial) (www.antaraneews.com).

Wilayah *coverage* WINDS ditunjukkan pada gambar II.3 dibawah ini :



Gambar II.3 Wilayah *Coverage* WINDS (Wakana Hiromitsu, 2010)

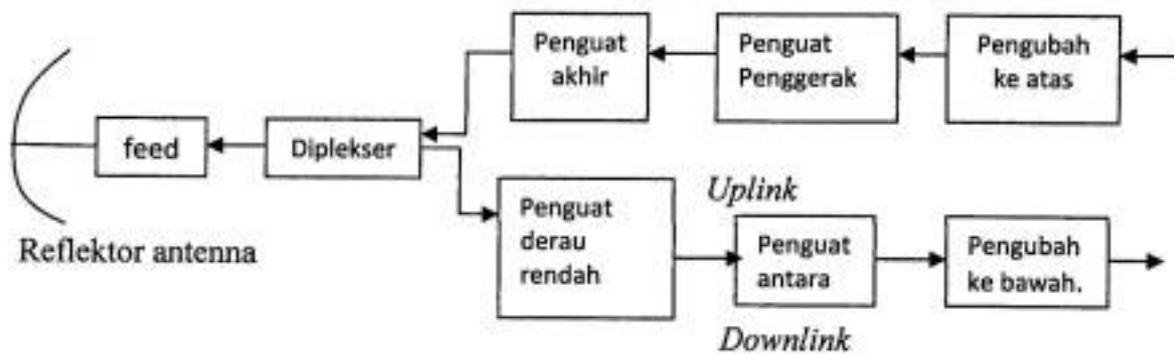
Tabel II.2 Spesifikasi Satelit WINDS (Wakana Hiromitsu, 2010)

Pabrik Pembuat	H-IIA Launcher
Launching	23-Peb-08
Lokasi Orbit	143 ⁰ BT
Band frekuensi	Ka-band
Ka-band uplink	27.5-28.6 GHz
EIRP uplink	68 dBw
G/T uplink	18dB/K
Ka-band downlink	17,7 – 18,8 GHz
EIRP downlink	55dBw
G/T downlink	7dB/K

II.1.5 Stasiun Bumi

Stasiun bumi adalah segmen komunikasi yang berada di atas permukaan bumi yang berfungsi mentransmisikan informasi (*voice, video, data*) ke satelit dan

menerima kembali informasi yang dikirimkan kepadanya dari satelit. Blok diagram sebuah stasiun bumi digital dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar II.4 Diagram Blok Stasiun Bumi (Simanjuntak, 2004)

II.2 Teori Redaman Hujan pada Lintasan Lurus

Hujan telah lama dikenali sebagai salah satu penyebab penurunan sinyal pada perkembangan gelombang radio dengan menggunakan satelit bumi, khususnya dalam penggunaan frekuensi Ku-Band dan frekuensi Ka-Band. Efek hujan menjadi sangat sulit untuk diteliti pada panjang gelombang yang mendekati ukuran titik hujan yang mana tergantung pada jenis curah hujannya. Penurunan kekuatan sinyal informasi selama pemancaran sepanjang lintasan satelit bumi juga dipengaruhi oleh uap air, awan, dan oksigen di sepanjang lintasan keduanya terjadi proses penghamburan dan penyerapan. Efek ini akan terus meningkat dengan meningkatnya frekuensi operasi dan penurunan sudut elevasi. Terjadinya aliran fluktuasi yang besar pada sinyal gelombang radio selama pemancaran pada lintasan lurus berpatokan pada efek *scintillation* yang disebabkan oleh perubahan pada indeks bias atmosfer. Hal ini akan meningkat dengan penurunan sudut

elevasi, dan normalnya didasarkan pada lintasan lurus dengan sudut elevasi di bawah 10° .

Curah hujan dijadikan sebagai redaman utama, ini penting untuk menghitung banyaknya redaman lintasan lurus yang disebabkan curah hujan. Untuk perkiraan redaman selama lintasan, redaman spesifik pada setiap titik sepanjang lintasan dibutuhkan. Redaman spesifik γ secara teori berhubungan dengan rata-rata hujan dengan bentuk hujan, dan tergantung pada jenis curah hujan yang terjadi. Pendekatan secara umum untuk menghitung γ adalah sebuah prosedur empiris yang didasarkan pada hubungan pendekatan antara γ dengan rata-rata hujan R.

$$\gamma(R) = kR^\alpha \quad (II.1)$$

Dimana k dan α bergantung pada frekuensi dan struktur kecil hujan dimana menyangkut bentuk distribusi ukuran dan suhu hujan. Nilai-nilai k dan α tersedia dalam bentuk tabel seperti pada tabel II.3 berikut, dimana *subscripts* h berarti polarisasi horizontal dan v adalah polarisasi vertikal. Untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien pada frekuensi tertentu yang tidak terdapat dalam tabel dapat dilakukan interpolasi.

Tabel II.3 Koefisien Redaman Spesifik k dan α (Ippolito, 1986)

Frekuensi(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

Jika R diketahui sepanjang lintasan L , kita dapat menghitung secara sederhana redaman total dengan menggabungkan lewat redaman spesifik :

$$A = \int_0^L \gamma(R) dl \quad (II.2)$$

Persamaan di atas adalah merupakan formula dasar untuk menghitung redaman hujan dan bergantung juga pada tinggi hujan dan sudut elevasi.

II.3 Model-Model Intensitas Hujan dan Redaman Hujan

II.3.1 Model Intensitas Hujan

Intensitas hujan (*rain rate*) di suatu titik atau lokasi merupakan suatu faktor penting yang diperlukan untuk pengukuran redaman hujan gelombang elektromagnetik pada suatu lintasan tertentu. Biasanya pengukuran intensitas hujan dilakukan dengan menggunakan radar, dan alat takar hujan (*rain-gauge*) baik yang manual maupun elektronis.

Tidak ada teori fisika untuk menghitung distribusi intensitas hujan di suatu titik atau tempat, juga tidak ada model yang paling baik untuk distribusi probabilitas intensitas hujan yang bersifat global (Crane, 1980). Oleh karena itu perkiraan distribusi intensitas hujan adalah bersifat empirik dan harus dibuat berdasarkan pengamatan jangka panjang akumulasi hujan dalam interval waktu yang pendek. Data klimatologi akumulasi hujan tidak selalu ada untuk setiap lokasi di dunia. Karena pentingnya data intensitas hujan untuk perancangan sistem

telekomunikasi, maka perlu dibuat model intensitas hujan. Ada beberapa model intensitas hujan yang biasa digunakan untuk perancangan sistem telekomunikasi di dunia. Model-model itu adalah Model ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), Rice-Holmberg, Moupfouma, Tattelman dan Salonen Baptista. Dalam tugas akhir ini model yang akan digunakan adalah Model Rice-Holmberg, ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), dan Salonen-Baptista. Keempat model tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengukuran. Maksudnya adalah mencari model mana yang mendekati untuk dapat diterapkan di Makassar. Selain itu dibandingkan juga dengan model yang berhasil dibuat untuk Makassar.

II.3.1.1 Model Rice-Holmberg.

Rice dan Holmberg membuat model distribusi probabilitas intensitas hujan berdasarkan data statistik jangka panjang intensitas hujan dari 150 lokasi di seluruh dunia. Rice-Holmberg membangun model distribusi intensitas hujan ini dengan mengasumsikan bahwa hujan dapat dibagi dua jenis, yaitu *thunderstorm rain* dan jenis hujan selain itu. Masing-masing tipe hujan itu dimodelkan dengan fungsi eksponensial dan penjumlahan kedua model itu menghasilkan distribusi total (Rice-Holmberg, 1973). Model Rice-Holmberg ini dapat diekspresikan dengan persamaan di bawah ini :

$$p = \frac{M}{87.66} \{0.03 \beta e^{-0.03R} + 0.2 (1 - \beta) [e^{-0.258R} + 1.86 e^{-1.63R}]\} \quad (II.3)$$

Dengan:

p = persen waktu pengamatan setahun

M = jumlah curah hujan tahunan rata-rata (mm)

β = *thunderstorm ratio*

R = intensitas hujan (mm/jam)

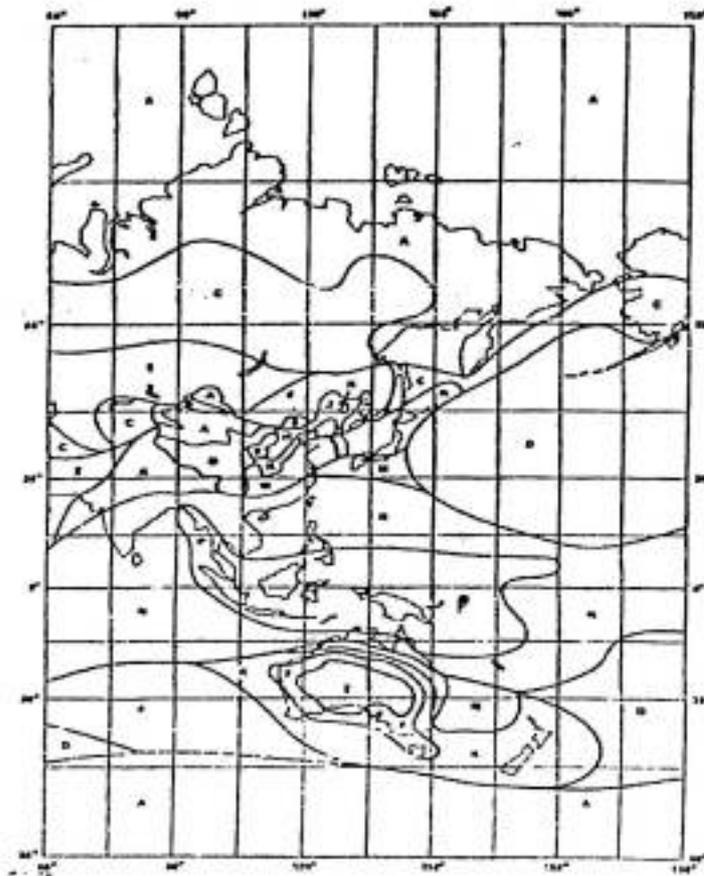
Nilai β untuk wilayah Makassar dapat dilihat pada peta β yang dibuat oleh Rice-Holmberg. (Lampiran)

II.3.1.2. Model ITU-R

Model ITU-R ini dibuat berdasarkan data curah hujan yang terkumpul di seluruh dunia. ITU-R membagi dunia menjadi 15 zona hujan. Dan dapat dilihat pada tabel II.4 dan gambar berikut ini, Indonesia masuk dalam zona atau *region P*

Tabel II.4 Distribusi Intensitas Hujan ITU-R (Hasanuddin, 2003)

Persen Waktu (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	<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	2,4	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	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170



Gambar II.5 Zona Hujan ITU-R (Hasanuddin, 2003)

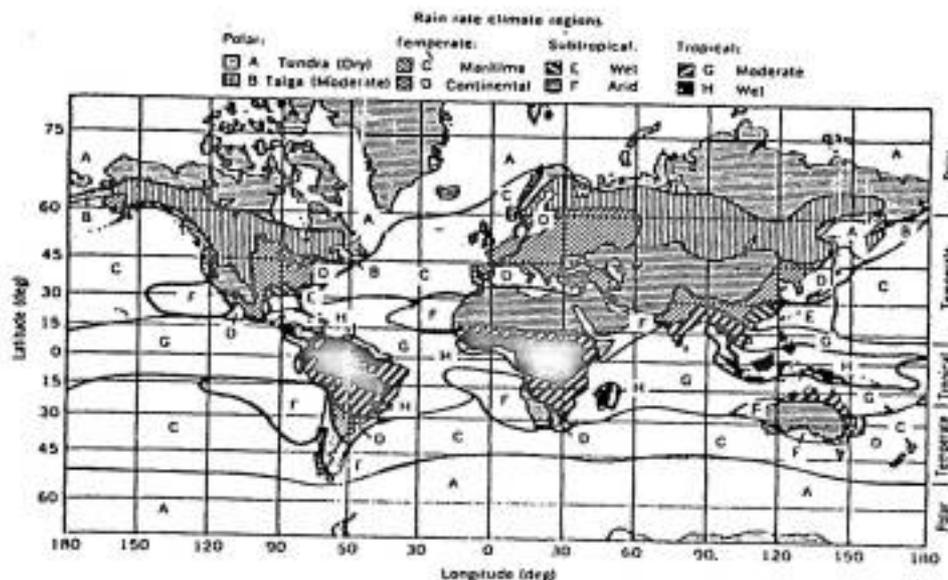
II.3.1.3 Model VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*)

Pada tahun 1960-an Prof. Robert K. Crane telah mengembangkan sebuah metode untuk memperkirakan intensitas hujan dan redaman hujan yang dikenal sebagai model Global Crane atau metoda VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*). Dan yang paling sering digunakan adalah istilah VIHT.

Robert K. Crane membagi dunia pada awalnya menjadi 8 zona hujan, kemudian akhirnya berdasarkan penelitiannya yang terakhir ia membagi menjadi 10 zona seperti terlihat pada tabel II.5 dan gambar II.6 di bawah ini. Indonesia masuk dalam zona atau region H.

Tabel II.5 Distribusi Intensitas Hujan Global Crane 1980 (Ippolito, 1986)

Persen Waktu	A	B	C	D1	D2	D3	E	F	G	H
0,001	28	54	80	90	102	127	164	66	129	251
0,002	24	40	62	72	86	107	144	51	109	220
0,005	19	26	41	50	64	81	117	34	85	178
0,01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0,02	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115
0,05	8	9,5	11	16	22	31	52	8,0	33	77
0,1	6,5	6,8	7,2	11	15	22	35	5,5	22,0	51
0,2	4,0	4,8	4,8	7,5	9,5	14	21	3,8	14	31
0,5	2,5	2,7	2,8	4,0	5,2	7,0	8,5	2,4	7,0	13
1,0	1,7	1,8	1,9	2,2	3,0	4,0	4,0	1,7	3,7	6,4



Gambar II.6 Zona Hujan VIHT (Crane, 1980)

II.3.1.4. Model Salonen-Baptista.

Model ini dibuat oleh E.T. Salonen dari Laboratorium Telekomunikasi Universitas Oulu, Finlandia dan J.P. Poiars Baptista dari *European Space Agency*

(ESA), Belanda. Model ini. dibuat berdasarkan data hujan selama 15 tahun dari *European Centre for Medium-range Weather Forecasts* (ECMWF) dan data hujan bulanan dari *Global Precipitation Climate Project* (GPCP) (Salonen, 1997).

Adapun persamaan-persamaan dari model ini adalah :

$$P_o = P_{r6}(1 - e^{-0,0117(M_s/P_{r6})}) \quad (II.4)$$

Dengan :

P_o = Probabilitas hujan (%)

P_{r6} = Probabilitas hujan perioda 6 jam (%)

M_s = Nilai curah hujan tahunan untuk jenis hujan stratiform (mm)

Intensitas hujan untuk suatu nilai persen pengamatan $p\%$ dalam setahun R_p :

$$R_p = \{-B + \sqrt{(B^2 - 4AC)}\} / 2A \quad (II.5)$$

Dengan :

$$A = ab$$

$$B = a + c \cdot \ln(p/P_o)$$

$$C = \ln(p/P_o), \quad \text{dan}$$

$$a = 1,11$$

$$b = (M_c + M_s) / 22932P_o$$

M_c = Nilai curah hujan tahunan ununtuk jenis hujan konvektif (mm)

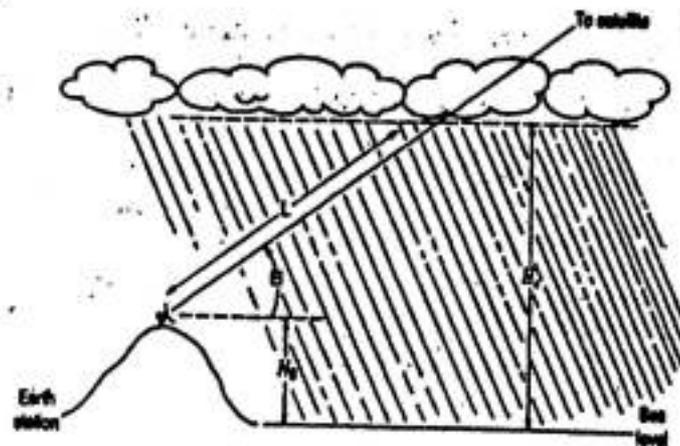
$$c = 31,5b$$

II.3.2 Model Redaman Hujan

Redaman hujan (*rain attenuation*) dalam perancangan sistem komunikasi radio menjadi suatu hal yang penting, karena dengan mengetahuinya dapat dilakukan analisis kinerja suatu sistem komunikasi radio. Dalam dunia telekomunikasi ada beberapa model untuk menghitung redaman hujan, antara lain : Model ITU-R, SAM (*Simple Attenuation Model*), VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), Garcia-Lopez, Moupfouma, dan DAH (Dissanayake, Allnutt, and Haidara). Dalam tugas akhir ini yang akan dibicarakan adalah : **Model SAM, ITU-R, VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*), dan DAH.**

II.3.2.1 Model SAM (*Simple Attenuation Model*).

Model ini dibuat oleh NASA, badan ruang angkasa Amerika Serikat. Dibuat dengan tujuan kemudahan dalam pemakaiannya (*hand calculation*). Model ini mengasumsikan bahwa hujan merata pada suatu stasiun bumi dengan ketinggian H_0 km dari permukaan laut sampai ke suatu ketinggian efektif kumpulan awan H_e . Suhu udara akan turun dengan semakin tinggi dari permukaan laut. Titik dimana suhu udara mencapai 0° disebut *zero degree isotherm*. Pada gambar berikut diperlihatkan geometri lintasan untuk menghitung redaman hujan model SAM.



Gambar II.7 Geometri Lintasan untuk Menghitung Redaman Hujan Model SAM (pratt, 1986)

Untuk , nilai H_i dari sebuah stasiun bumi dengan lintang Λ_c derajat adalah sebagai berikut :

$$H_i = 4,8 \quad |\Lambda_c| \leq 30^\circ$$

$$= 7,8 - 0,1 |\Lambda_c|, \quad |\Lambda_c| \geq 30^\circ$$

Pada model SAM tinggi hujan efektif H_e berkaitan dengan H_i dan intensitas hujan R dan dirumuskan sebagai berikut :

$$H_e = H_i \quad R \leq 10 \text{ mm/h}$$

$$H_i + \log_{10}(R/10), \quad R > 10 \text{ mm/h}$$

Untuk sudut elevasi E_l , panjang lintasan L diberikan oleh :

$$L = H_e - H_0 / \sin(E_l) \text{ km} \quad (\text{II.6})$$

Dengan :

H_0 = ketinggian stasiun bumi dari permukaan laut (km).

Jika nilai intensitas hujan $R(p)$ untuk persen waktu tertentu p diketahui, maka redaman hujan yang berkaitan dengan p adalah :

$$A(p) = a[R]^b L, \quad R \leq 10 \text{ mm/h}$$

$$a[R]^b \left\{ \frac{1 - \exp[-\gamma \log_e(R/10) L \cos(EI)]}{\gamma \log_e(R/10) L \cos(EI)} \right\}, \quad (\text{II.7})$$

Dimana kuantitas γ adalah $1/22$. Kuantitas $a[R]^b$ disebut redaman spesifik dan satuannya dB/km. Koefisien a dan b tergantung pada frekuensi. Nilai-nilai praktis untuk a dan b adalah sebagai berikut :

$$a = 4,21 \times 10^{-5} f^{2,42}, \quad 2,9 \leq f \leq 54,9 \text{ GHz.}$$

$$a = 4,09 \times 10^{-2} f^{0,699}, \quad 54,9 \leq f \leq 180 \text{ GHz}$$

$$b = 1,41 f^{-0,0799}, \quad 8,5 \leq f < 25 \text{ GHz}$$

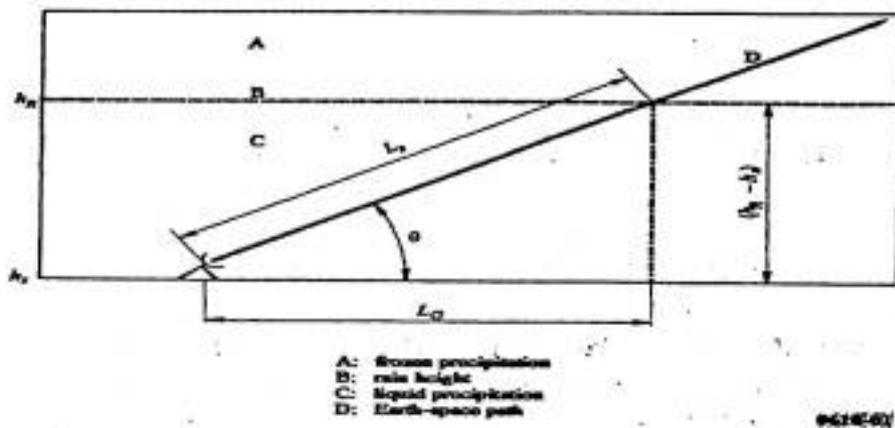
$$b = 2,63 f^{0,272}, \quad 25 \leq f < 164 \text{ GHz}$$

II.3.2.2 Model ITU-R

Prosedur untuk menghitung redaman hujan ITU-R, untuk persen waktu $0,001(A_{0,01})$ memerlukan parameter-parameter sebagai berikut :

- $R_{0,01}$: Intensitas hujan untuk persen waktu 0,01% di suatu lokasi (mm/h)
- H_s : tinggi stasiun bumi di atas permukaan laut (km)
- Θ : sudut elevasi (derajat)
- ϕ : *latitude* (lintang) dari stasiun bumi (derajat)
- f : frekuensi (GHz)

Geometri lintasan untuk menghitung redaman hujan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar II.8 Geometri Lintasan untuk Menghitung Redaman Hujan ITU-R

(Hasanuddin, 2003)

Model ITU-R digunakan untuk penentuan akses redaman lintasan lurus pada curah hujan yang telah ditentukan berdasarkan lokasinya. Rumus yang digunakan untuk rata-rata tahunan 0,001% sampai 1 % dapat diketahui berdasarkan rumus berikut :

$$A = 0,12 A_{0,01} p^{-(0,546 + 0,043 \log p)} \quad [\text{dB}] \quad (\text{II.8})$$

Dimana p adalah persentase waktu. $A_{0,01}$ adalah redaman lintasan untuk 0,01% dan dapat dihitung dengan menggunakan redaman spesifik, panjang lintasan lurus, dan faktor penurunan.

Berdasarkan prakiraan pada persamaan diatas langkah pertama untuk menentukan tinggi hujan h_R dengan terlebih dahulu mengetahui *latitude* dari stasiun bumi h_R dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$H_R[\text{km}] = \begin{cases} 3,0 + 0,028\theta & 0 \leq \theta < 36^\circ \\ 4,0 - 0,075(\theta - 36) & \theta \geq 36^\circ \end{cases} \quad (\text{II.9})$$

Panjang lintasan lurus L_s berdasarkan tinggi hujan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L_s = \frac{(H_R - H_S)}{\sin \theta} \quad (\text{II.10})$$

Proyeksi horizontal L_G pada panjang lintasan lurus diperoleh dari :

$$L_G = L_s \cos \theta \text{ [km]} \quad (\text{II.11})$$

Faktor penurunan $r_{0,01}$ untuk 0,01 % dapat dihitung dengan cara

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + \frac{L_G}{L_0}} \quad (\text{II.12})$$

Dimana L_0 adalah panjang relatif yang dapat diperoleh dari :

$$L_0 = y \exp(-zR_{0,01}) \quad (\text{II.13})$$

Pada persamaan diatas, $y = 35$ dan $z = 0,015$ adalah nilai terbaik yang diperoleh untuk kesalahan yang dimaksudkan untuk mengembangkan model redaman hujan pada frekuensi operasi 10 GHz – 20 GHz sebagai penggambaran.

Redaman hujan untuk 0,01 %, $A_{0,01}$ dapat dihitung dengan cara :

$$A_{0,01} = \gamma_R L_s r_{0,01} \text{ [dB]} = kR_{0,01}^\alpha L_s r_{0,01} \text{ [dB]} \quad (\text{II.14})$$

Dimana $\gamma_R = kR_{0,01}^\alpha$ adalah redaman spesifik yang menggunakan koefisien frekuensi keadaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.2 dan rata-rata hujan $R_{0,01}$ yang ditentukan dari hasil pengamatan data lokal jika memungkinkan. k dan α adalah nilai yang berhubungan dengan frekuensi, sudut elevasi θ , dan sudut polarisasi τ , persamaannya adalah :

$$k = [k_h + k_v + (k_h - k_v) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (\text{II.15})$$

$$\alpha = [k_h \alpha_h + k_v \alpha_v + (k_h \alpha_h - k_v \alpha_v) \cos \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (\text{II.16})$$

Dimana k_h , k_v , α_h , dan α_v adalah koefisien yang berdiri sendiri pada frekuensi masing-masing. Nilai dari k_h , k_v , α_h , α_v dapat dilihat pada Tabel II.2 dan π merupakan sudut polarisasi. Simbol h dan v diartikan dengan polarisasi horizontal dan vertikal.

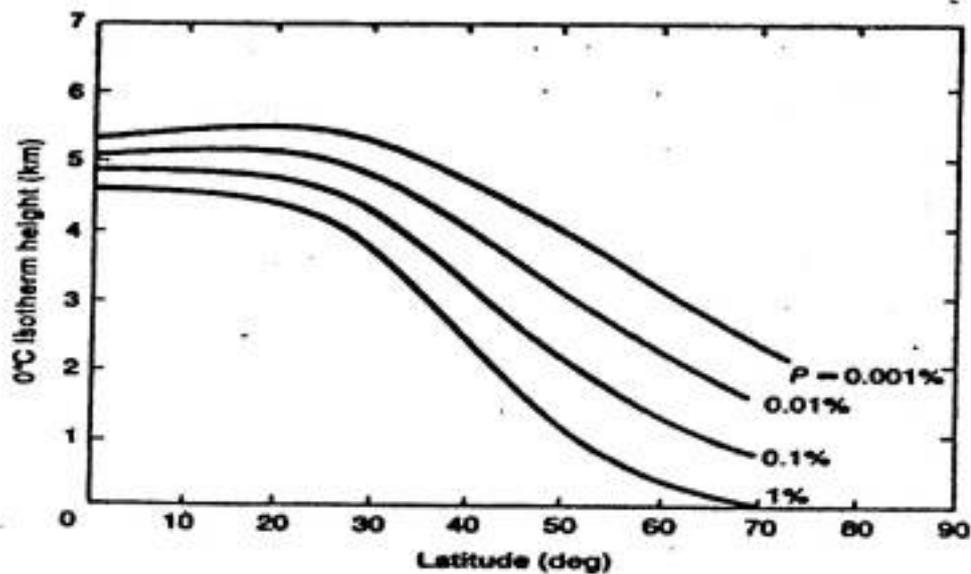
II.3.2.3 Model VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*)

Pada tahun 1960-an Prof .Robert K. Crane telah mengembangkan sebuah metode untuk memperkirakan intensitas hujan dan redaman hujan yang dikenal sebagai model Global Crane atau metoda VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*). Dan yang paling sering digunakan adalah istilah VIHT, disebabkan oleh hubungan dengan variabel ketinggian isotherem dalam perhitungan redaman hujan keseluruhan.

Model VIHT adalah berdasarkan pada kenyataan bahwa tinggi efektif redaman perantara seperti perubahan awan yang berdasarkan pada jenis curah hujannya. Model ini dikembangkan berdasarkan penelitian rata-rata hujan dari Badan Meteorologi dan Geofisika serta struktur horizontal dari lapisan atmosfer. Didasarkan pula pada keanekaragam jenis curah hujan yang mempengaruhi persentase siklus dari curah hujan tersebut.

Model VIHT yang sempurna untuk redaman hujan pada lintasan lurus diawali dengan penentuan jarak vertikal antara tinggi stasiun bumi dan tinggi pada suhu 0°C . Panjang proyeksi horizontal pada lintasan lurus D dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$D = \frac{H_0 - H_2}{\tan \theta}, \quad \theta \geq 10^{\circ} \quad (\text{II.17})$$



Gambar II.9 Hubungan antara *Latitude* (lintang) terhadap Tinggi Efektif Hujan dengan Berbagai Persen Waktu (Ha, 1990)

Dimana H_0 adalah tinggi pada suhu 0°C , H_g adalah tinggi stasiun bumi dan θ adalah sudut elevasi lintasan. Untuk menghitung nilai H_0 terlebih dahulu menentukan *latitude* dari lokasi pengambilan data intensitas hujan, kemudian diplot ke gambar II.8 untuk menentukan tinggi efektif hujan pada berbagai persentase yang telah ditetapkan.

Berdasarkan pada metode VIHT, total redaman lintasan hujan A dalam dB dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \frac{kR_p^{\alpha}L}{\alpha D} \left[\frac{e^{\alpha uZ} - 1}{u} - \frac{X^{\alpha} e^{\alpha YZ}}{Y} + \frac{X^{\alpha} e^{\alpha YD}}{Y} \right] \text{ [dB]} \quad (\text{II.18})$$

Dimana k dan α adalah parameter hubungan redaman spesifik untuk rata-rata hujan. Nilai k dan α pada persamaan (II.15 dan II.16) dapat dilihat pada Tabel II.6 berikut. Koefisien U , X , Y , dan Z adalah nilai empiris konstan berdasarkan

pada nilai R_p . Nilai untuk konstanta yang digunakan pada wilayah Indonesia dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$X = 2.3 R_p \quad (II.19)$$

$$Y = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad (II.20)$$

$$Z = 3.8 - 0.6 \ln R_p \quad (II.21)$$

$$U = \frac{1}{Z} [\ln(Xe^{YZ})] \quad (II.22)$$

$$L = \left[\frac{\frac{D}{\cos\theta}}{\sqrt{(E + Ho)^2 + (E + H)^2 - 2(E + Ho)(E + H)\cos\theta}} \right] (\text{km}) \quad \theta \geq 10 \quad (II.23)$$

Tabel II.6 Parameter $k(f)$ dan $\alpha(f)$ untuk Menghitung Redaman Spesifik (Hasanuddin, 2003)

Frekuensi	Multiplier	Exponent
f(GHz)	k(f)	$\alpha(f)$
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

II.3.2.4 Model DAH (Dissanayake, Allnutt, dan Haidara).

Model ini sesuai dengan namanya DAH, adalah hasil penelitian yang dibuat oleh tiga orang yaitu : Asoka Dissanayake, PhD, Jeremi Allnutt, PhD, dan Fatim Haidara, PhD. Saat ini model ini, telah menjadi Rekomendasi ITU-R.P.618-7 (2001). Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam perhitungan redaman hujan model ini adalah sebagai berikut :

Parameter-parameter yang diperlukan :

$R_{0,01}$: intensitas hujan untuk persen waktu 0,01% (mm/h)

h_s : tinggi stasiun bumi dari permukaan laut (km)

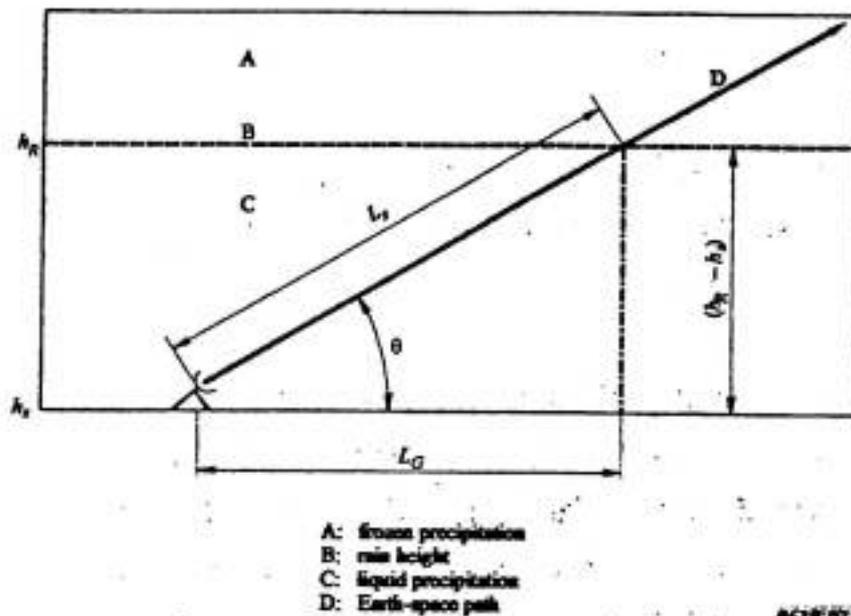
Θ : sudut elevasi (derajat)

φ : *latitude* (lintang) stasiun bumi (derajat)

f : frekuensi (GHz)

R_e : jari-jari bumi efektif (8500 km)

Model ini secara geometri dapat dilihat pada gambar II.9 di bawah ini :



Gambar II.10 Geometri untuk Model DAH (Dissanayake, 1997)

Langkah pertama untuk menentukan tinggi hujan h_R dengan terlebih dahulu mengetahui latitude dari stasiun bumi ϕ . h_R dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$h_R = 5.0 \quad \text{untuk } 0^\circ \leq \phi \leq 23^\circ$$

$$h_R = 5.0 - 0.075 (\phi - 23) \quad \text{untuk } \phi \geq 23^\circ \quad (\text{II.24})$$

Untuk $\theta \geq 5^\circ$ dan berdasarkan tinggi hujan, panjang lintasan lurus L_s dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad \text{Km} \quad (\text{II.25})$$

Sedangkan untuk $\theta < 5^\circ$ dapat digunakan rumus seperti di bawah ini :

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_E} \right)^{1/2} + \sin \theta} \quad \text{Km} \quad (\text{II.26})$$

Proyeksi horizontal L_G pada panjang lintasan lurus diperoleh dari :

$$L_G = L_s \cos \theta \quad \text{Km} \quad (\text{II.27})$$

Dapatkan intensitas hujan $R_{0,01}$, untuk 0,01 % per tahun (dengan integrasi waktu 1 menit). Redaman spesifik γ_R dengan koefisien-koefisien k dan α diberikan oleh rekomendasi ITU-R P.838 dan intensitas hujan $R_{0,01}$ dapat dihitung dengan memakai :

$$\gamma_R = k(R_{0,01})^\alpha \text{ dB/km} \quad (\text{II.28})$$

Faktor penurunan horizontal $r_{0,01}$ untuk 0,01 % dapat dihitung dengan cara:

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + 0.78 \left(\sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} \right) - 0.38 (1 - e^{-2L_G})} \quad (\text{II.29})$$

Faktor *adjustment* vertikal $v_{0,01}$ untuk 0,01 % dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut :

$$\zeta = \tan^{-1} \left[\frac{h_R - h_x}{L_G r_{0,01}} \right] \text{derajat} \quad (\text{II.30})$$

$$\zeta > \theta, \quad L_R = \frac{L_G r_{0,01}}{\cos \theta} \text{ km} \quad (\text{II.31})$$

Selain itu, $L_R = \frac{(h_R - h_x)}{\sin \theta} \text{ km}$

Jika $|\varphi| < 36$, $X = 36 - |\varphi|$ derajat

Selain itu, $\chi = 0$ derajat

$$V_{0,01} = \frac{1}{1 + (\sqrt{\sin \theta}) \left[31 \left(1 - e^{-\left(\frac{\theta}{(36 + \chi)} \right)} \right) \sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f}} - 0.45 \right]} \quad (\text{II.32})$$

Panjang lintasan efektif dirumuskan seperti berikut :

$$L_E = L_R v_{0,01} \quad \text{km} \quad (\text{II.33})$$

redaman hujan untuk 0,01 % waktu ($A_{0,01}$) didapatkan dari :

$$A_{0,01} = \gamma R L_E \text{ dB} \quad (\text{II.34})$$

Estimasi redaman hujan untuk persentase waktu yang lain, dalam rentang 0,001 % - 1 % ditentukan dari redaman hujan 0,01 % dengan memakai :

$$\text{Jika } p \geq 1\% \text{ atau } |\varphi| \geq 36^\circ \quad z=0$$

$$\text{Jika } p < 1\% \text{ dan } |\varphi| < 36^\circ \text{ dan } \theta \geq 25^\circ \quad z = -0,005 (|\varphi| - 36)$$

$$\text{Selain itu,} \quad z = -0,005 (|\varphi| - 36) + 1,8 - 4,25 \sin \theta \quad (\text{II.35})$$

$$A_p = A_{0,01} \left(\frac{p}{0,01} \right)^{-(0,655 + 0,033 \ln(p) - 0,045 \ln(A_{0,01}) - z(1-p) \sin \theta)} \quad (\text{II.36})$$

II.3.3 Link Budget

II.3.3.1 Dasar Teori Link Budget

Link Budget adalah akunting numeris untuk semua *losses*, *gain*, dan semua komponen dalam link satelit. *Link budget* akan memberikan alokasi sinyal level yang standar beserta *level noise* yang melewati sistem satelit.

Parameter-parameter utama yang mempengaruhi performansi link satelit adalah sebagai berikut :

1. *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*

EIRP merupakan total level daya yang dipancarkan oleh suatu pemancar yang merupakan daya keluaran penguat dalam dBW ditambah penguatan antenna terhadap antenna *isotropic* dalam dBi dan dibagi dengan total *losses*. Pada level daya EIRP pemancar stasiun bumi dihitung dibawah ini dimana *losses*-nya adalah *receiver feeder*.

$$[\text{EIRP}_{\text{TX}}] = [\text{P}_{\text{TX}}] + [\text{G}_{\text{TX}}] - [\text{Losses}] \quad (\text{II.37})$$

Sedangkan EIRP yang diterima stasiun bumi dengan satelit sebagai pemancar dihitung dibawah ini dimana *losses*-nya adalah redaman ruang bebas (FSL)

2. *Gain* Antena

Gain antena adalah perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antena yang diukur terhadap intensitas radiasi maksimum antena referensi (*isotropic*) jika kedua antena tersebut diberi daya yang sama.

Besarnya *gain* antena dapat dirumuskan:

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{II.38})$$

Atau dalam desibel :

$$G = 20,4 - 10 \log \eta - 20 \log D + 20 \log f \quad (\text{II.39})$$

Dimana:

η = efisiensi antenna biasanya bernilai 80%

D = diameter antenna (m)

λ = panjang gelombang radiasi (m)

f = frekuensi kerja (GHz)

3. *Losses*

Losses adalah penurunan sinyal level oleh transmisi yang tak ideal dan tergantung pada jarak. *Losses* yang digunakan adalah redaman ruang bebas (FSL)

$$\text{FSL} = 92,4 + 20 \log f + 20 \log D \quad (\text{II.40})$$

Dimana:

F = frekuensi kerja (GHz)

D = jarak satelit stasiun dengan stasiun bumi, untuk satelit geostasioner memiliki jarak 36000 km dengan bumi

4. *Figure of merit (G/T)*

G/T (figure of merit for receiving sensitivity) atau disebut *Gain to noise temperature ratio* adalah perbandingan penguatan suatu sistem penerima dibandingkan dengan *temperature noise* sistem tersebut. *G/T* dapat dirumuskan :

$$\left(\frac{G}{T}\right) = [G_{RX}] - [Ts] \quad (II.41)$$

Dimana:

G_{RX} = *Gain* penerima (dB)

T_s = *temperature noise antenna* (k)

II.3.3.2 *Reservasi Bandwidth*

1. *Transmission rate/bit rate* merupakan kecepatan transmisi ditentukan oleh *data rate*, *over head* dan *code rate*. Adapun nilai *over head* tergantung dari *framing* yang digunakan oleh sebuah modem untuk memisahkan kanal yang satu dengan kanal yang lainnya. *Forward Error Correction (FEC)* merupakan suatu nilai koreksi dengan nilai antara lain $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, dan $\frac{7}{8}$. Nilai tersebut membandingkan jumlah bit info dengan jumlah bit yang ditransmisikan. Semakin besar nilai FEC maka kecepatan transmisi

semakin kecil namun efisiensi *bandwidth* semakin meningkat dengan nilai FEC besar. Dapat diperlihatkan dengan persamaan

$$\text{Transmission Rate} = \frac{\text{Data rate} \times \text{over head}}{\text{FEC code rate}} \text{ (Mbps)} \quad (\text{II.42})$$

2. *Symbol Rate*

Symbol rate merupakan kecepatan pengiriman data dalam symbol. Banyaknya bit yang ditransmisikan dalam satu symbol tergantung jenis modulasi yang digunakan. Semakin besar modulasi yang digunakan maka semakin kecil nilai dari *symbol rate* sebab semakin banyak bit yang akan dikirimkan dalam satu simbol. Hal ini sesuai dengan persamaan (II.43)

$$\text{Symbol Rate} = \frac{\text{Transmission rate}}{\text{bit per symbol}} \text{ (Mbps)} \quad (\text{II.43})$$

3. *Bandwidth occupied*

Bandwidth occupied merupakan *bandwidth* murni yang digunakan untuk informasi tanpa adanya penambahan *bandwidth* untuk kepentingan sekuritas. Berikut persamaan menghitung BW_{occupied} :

$$BW_{\text{occupied}} = 1,2 \times \text{Symbol rate} \quad (\text{II.44})$$

4. *Bandwidth allocated*

Bandwidth allocated merupakan *bandwidth* yang dialokasikan untuk tiap transponder yang berisi informasi dan sekuritas. *Bandwidth allocated* merupakan *bandwidth* informasi dan *bandwidth guard band* (kepentingan sekuritas).

II.3.3.3 Kualitas sinyal

Performansi *link* satelit ditentukan berdasarkan nilai C/N di penerima. Dalam sistem komunikasi satelit analog yang menggunakan modulasi frekuensi (FM) kualitas sinyal dinyatakan oleh S/N (*Signal to noise ratio*) yang merupakan fungsi dari nilai C/N (*Carrier to noise ratio*). Sedangkan dalam sistem komunikasi satelit digital, performansi dari sistem dapat diukur dari nilai BER (*Bit Error rate*) dari sinyal yang diterima oleh stasiun bumi. *Energy per bit to the spectral noise density* (Eb/No) juga adalah parameter utama untuk sistem yang menggunakan modulasi digital. Nilai BER dan Eb/No yang diukur dari sinyal yang diterima oleh stasiun bumi juga ditentukan oleh parameter C/N. Berikut ini dijelaskan mengenai C/N, Eb/No, dan BER

1. *Carrier to Noise ratio* (C/N atau CNR)

C/N menyatakan perbandingan rasio daya *carrier* terhadap daya *noise*.

C/N dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$[C/N] = [EIRP_{TX}] + \left(\frac{GRX}{TS}\right) - [\text{losses}] - [k] - [B] \quad (\text{II.45})$$

Dimana:

K = Konstanta Boltzman, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

B = *Bandwidth*

Rasio *carrier power* terhadap *noise power density* P_R/No (C/No) merupakan kuantitas secara aktual dibutuhkan dalam perhitungan *link budget* dan dirumuskan :

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \left(\frac{C}{No \cdot B}\right) \quad (\text{II.46})$$

Dalam Decibel:

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \left(\frac{C}{N_0}\right) \cdot [B] \quad (\text{II.47})$$

Sehingga dengan mensubstitusi persamaan (II.45) dalam persamaan (II.47) diperoleh:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = [\text{EIRP}_{\text{TX}}] + \left(\frac{G_{\text{Rx}}}{T_{\text{F}}}\right) - [\text{LOSSES}] - [K] \text{ dBHz} \quad (\text{II.48})$$

2. Energy per bit to the spectral noise density (Eb/No)

Eb/No merupakan parameter utama yang digunakan pada *carrier* digital untuk mengevaluasi dan membandingkan performansi sistem komunikasi digital. Eb adalah *energy per bit* informasi dan No (N-zero) adalah *noise* yang terdapat dalam 1 Hz *bandwidth*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung yaitu :

$$\left(\frac{Eb}{No}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{total}} - 20 \log \left(\frac{\text{transmission rate}}{\text{Bandwidth occupied}}\right) \quad (\text{II.49})$$

3. Bit Error Rate (BER)

Bit error rate (BER) adalah presentase dari perbandingan bit yang memiliki *error* dengan keseluruhan bit yang diterima pada proses pentransmisian, biasanya dinyatakan dalam daya yang bernilai 10 sampai negatif. Contohnya sistem transmisi memiliki BER 10^{-6} artinya dari 1 juta bit yang ditransmisikan terdapat 1 bit *error*. BER menyatakan seberapa sering *packet* atau unit data harus ditransmisikan kembali karena *error*.



Nilai BER yang tinggi artinya adanya keterlambatan *data rate* terhadap waktu keseluruhan transmisi data dan hal ini harus diperbaiki dengan cara mentransmisikan kembali paket data tersebut. BERT (*Bit Error Test* atau *Tester*) adalah prosedur atau peralatan yang digunakan untuk mengukur BER pada proses transmisi. BER dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BER_{QPSK} = Q \sqrt{2 \times \left(\frac{E_b}{N_o}\right)} \quad (II.50)$$

$$BER_{8PSK} = Q \sqrt{\frac{2 \times E_b/N_o}{3}} \quad (II.51)$$

$$BER_{16QAM} = Q \sqrt{\frac{3 \times \left(\frac{E_b}{N_o}\right) \times 4}{15}} \quad (II.52)$$

Dimana:

$Q[Z]$: menyatakan besaran BER

E_b/N_o : *Energy Bit to the Spectral Noise Density*

4. *Link Availability*

Link availability merupakan persentase dari waktu ke waktu keseluruhan ketersediaan layanan dimana sistem mampu menyediakan layanan tanpa gangguan dan memenuhi batas maksimum *Bit Error Rate* (BER) yang telah ditentukan. Nilai *availability* ini kemudian dialokasikan diantara berbagai faktor yang dapat membuat sistem *down*, termasuk redaman hujan, interferensi dan faktor *hardware*. Ketika nilai *availability* hujan diperoleh, pemodelan

hujan dapat diaplikasikan untuk menentukan berapa level redaman yang tidak melampaui batasan *availability* hujan yang telah dialokasikan. Nilai redaman tersebut dimasukkan dalam perhitungan *link budget*, dan hasil dari perhitungan tersebut dipakai untuk menentukan jarak maksimum *link* komunikasi atau parameter lainnya.

5. *Margin*

Margin merupakan cadangan daya yang disediakan pada *link* komunikasi agar komunikasi dapat berjalan dengan baik saat terjadi *fading*, khususnya pada frekuensi ini *fading* yang disebabkan oleh hujan. Adapun persamaan untuk menghitung nilai *margin* adalah (Michel Bousquet, 2009) :

$$\text{Margin} = C/N_{\text{total}} - C/N_{\text{required}} \quad (\text{dB}) \quad (\text{II.53})$$

Dimana:

$$C/N_{\text{required}} = EB/N_{\text{required}} + 10 \log (TR/BW)$$

$$EB/N_{\text{required}} : EB/N_{\text{no}} \text{ spesifikasi modem}$$

II.4 *Adaptive Modulation (AM)*

Adaptive Modulation (AM) atau yang kita kenal dengan modulasi adaptif memanfaatkan variasi pola modulasi untuk memaksimalkan data yang dapat di transmisikan. Tujuan utama dari modulasi adaptif adalah untuk mencapai efisiensi modulasi yang tinggi. Dalam hal ini yang akan digunakan adalah pola modulasi yang efisien secara spectral seperti *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*, *Phase Shift Keying (PSK)* dan *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*. Pada

penelitian ini variasi modulasi yang digunakan adalah QPSK, 8-PSK dan 16-QAM.

II.4.1 *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) adalah bentuk lain dari modulasi digital sudut. QPSK adalah teknik pengkodean M-ary dimana $M=4$ (karenanya dinamakan "Quaternary" yang berarti 4). M-ary adalah suatu bentuk turunan dari binary. M berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. QPSK juga sering disebut dengan 4-PSK dimana suatu simbol 2 bit dinyatakan oleh perbedaan fasa terhadap sudut. Dalam QPSK ada 4 fasa output yang berbeda, maka harus ada 4 kondisi input yang berbeda. Karena input digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner, maka untuk menghasilkan 4 kondisi input yang berbeda harus dipakai bit input lebih dari 1 bit tunggal. Dengan kombinasi 2 bit, maka dihasilkan kecepatan simbol sebesar $0.5 \times \text{bit rate/transmission rate}$.

Keuntungan dari sistem QPSK yaitu setiap bit *baseband* dikombinasikan menjadi sebuah simbol dengan empat kemungkinan simbol yang dihasilkan dari 2 bit tersebut (00,01,10,11). Masing-masing simbol dinyatakan dalam sebuah sudut fasa tertentu dari *carrier*. Dengan metode kombinasi 2 bit, kecepatan transmisi bertambah 2 kali lipat.

II.4.2 *8 Phase Shift Keying (8-PSK)*

8-PSK adalah sebuah modulasi M-ary PSK dimana sinyal informasi akan dimodulasi dengan sinyal *carrier* dengan fasa yang berbeda terhadap sudut tertentu. Pada 8-PSK, dalam satu simbol terdapat 3 bit dengan 8 kemungkinan yang berbeda yaitu 000,001,010,011,101,100,110,111. Masing-masing simbol

dinyatakan dalam sebuah sudut fasa tertentu dari *carrier*. Dengan kombinasi 3 bit, maka dihasilkan kecepatan simbol sebesar $0.333 \times \text{bit rate/transmission rate}$. Dengan kecepatan transmisi akan bertambah sebesar 3 kali lipat.

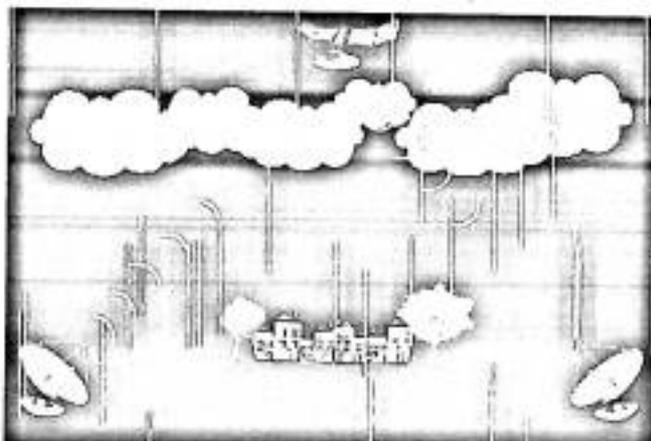
II.4.3 16 Quadrature Phase Shift Keying (16-QAM)

Modulasi 16-QAM adalah modulasi QAM dimana sinyal informasi akan ditumpangkan pada sinyal *carrier* dengan mengubah amplitudo dan fasa. Pada 16-QAM dalam transmisinya di kirimkan sebesar 4 kode/bit untuk satu simbolnya. Setiap simbol dapat menyatakan enam belas kemungkinan nilai yang berbeda (0000,0010,1100,1000,0001,0101,1101,1001,0011,0111,1111,1011,0010,0110,1110,1010). Keenambelas kemungkinan ini tersusun atas tiga amplitudo dan dua belas sudut fasa yang berbeda dengan *carrier* yang menyatakan nilai dari satu simbol tertentu. Dengan metode ini, kecepatan transmisi akan bertambah 4 kali lipat.

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN PEMODELAN INTENSITAS DAN REDAMAN HUJAN

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan model intensitas dan redaman hujan dengan menggunakan beberapa model dan mengetahui analisis kinerja suatu sistem komunikasi radio dengan analisis *link budget*.



Gambar III.1 Prinsip Komunikasi Satelit dengan *Fading* Hujan

Pada gambar III.1 merupakan gambaran dari prinsip komunikasi satelit dengan *fading* berupa hujan. Pada penelitian ini diperlihatkan pemodelan intensitas dan redaman hujan yang sesuai khususnya daerah Makassar. Untuk pengukuran redaman hujan gelombang elektromagnetik pada suatu lintasan tertentu ada satu faktor penting yang diperlukan, yaitu *rain rate* atau singkatnya intensitas hujan disuatu titik atau lokasi. Pada umumnya pengukuran intensitas hujan dilakukan dengan menggunakan radar, dan alat takar hujan (*rain-gauge*)

baik yang manual maupun elektronik. Saat ini untuk pengukuran intensitas hujan di daerah tropis dapat dilakukan pula dengan memakai satelit. Dengan mengetahui intensitas hujan, maka redaman hujan (*rain attenuation*) dalam perancangan sistem komunikasi radio menjadi hal yang penting, karena dengan mengetahuinya dapat dilakukan analisis kinerja suatu sistem komunikasi radio-analisis *link budget*.

III.1 Intensitas hujan

Ada beberapa model yang digunakan dalam menghitung intensitas hujan untuk perancangan sistem telekomunikasi, seperti ITU-R, VIHT, Rice-Holmberg, dan Salonen Baptista.

III.1.1 ITU-R

Model ITU-R ini dibuat berdasarkan data curah hujan yang terkumpul di seluruh dunia. ITU-R membagi dunia menjadi 15 zona hujan. Indonesia masuk dalam zona atau *region P* dengan distribusi hujan pada tabel III.1

Persen Waktu	1,0	0,3	0,1	0,03	0,01	0,003	0,001
P	12	34	65	105	145	200	250

Tabel III.1 Distribusi Intensitas hujan region P untuk ITU-R

III.1.2 VIHT(Global Crane)

Robert K. Crane membagi dunia pada awalnya menjadi 8 zona hujan, kemudian akhirnya berdasarkan penelitiannya yang terakhir ia membagi menjadi

10 zona seperti terlihat pada tabel III.2. Indonesia masuk dalam zona atau region

H.

Persen waktu	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
H	251	220	178	147	115	77	51	31	13	6,4

Tabel III.2 Distribusi Intensitas Hujan Region H untuk VIHT

III.1.3 Rice-Holmberg

Model Rice-Holmberg ini dapat diekspresikan dengan persamaan di bawah ini :

$$p = \frac{M}{87.66} \{0.03 \beta e^{-0.03R} + 0.2 (1 - \beta) [e^{-0.258R} + 1.86 e^{-1.63R}]\} \quad (III.1)$$

Dengan:

- p = persen waktu pengamatan setahun
- M = jumlah curah hujan tahunan rata-rata (mm)
- β = *thunderstorm ratio*
- R = intensitas hujan (mm/jam)

III.1.4 Salonen Baptista

Adapun persamaan-persamaan dari model ini adalah :

$$P_o = P_{r6} (1 - e^{-0.0117(M_s/Pr6)}) \quad (III.2)$$

Dengan :

- P_o = Probabilitas hujan (%)
- P_{r6} = Probabilitas hujan perioda 6 jam (%)
- M_s = Nilai curah hujan tahunan untuk jenis hujan stratiform (mm)

Intensitas hujan untuk suatu nilai persen pengamatan p% dalam setahun R_p :

$$R_p = \{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}\} / 2A \quad (\text{III.3})$$

Dengan :

$$A = ab$$

$$B = a + c \cdot \ln(p/P_0)$$

$$C = \ln(p/P_0), \quad \text{dan}$$

$$a = 1,11$$

$$b = (M_c + M_s) / 22932P_0$$

M_c = Nilai curah hujan tahunan untuk jenis hujan konvektif (mm)

$$c = 31,5b$$

III.2 Redaman Hujan

Ada beberapa model yang digunakan dalam menghitung intensitas hujan untuk perancangan sistem telekomunikasi, seperti ITU-R, VIHT, Simple Attenuation Model (SAM), dan Dissanyake, Allnut, and Haidara (DAH).

III.2.1 ITU-R

Langkah-langkah untuk menghitung model redaman hujan ITU-R sebagai berikut:

1. Mengetahui parameter-parameter sebagai berikut:

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

H_s : tinggi stasiun bumi di atas permukaan laut (km)

Θ : sudut elevasi (derajat)

ϕ : *latitude* (lintang) dari stasiun bumi (derajat)

f : frekuensi (GHz)

2. Menentukan tinggi hujan H_R dengan rumus dibawah ini:

$$H_R[\text{km}] = \begin{cases} 3,0 + 0,028\phi & 0 \leq \phi < 36^\circ \\ 4,0 - 0,075(\phi - 36) & \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (\text{III.4})$$

3. Menentukan panjang lintasan lurus L_s berdasarkan tinggi hujan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L_s = \frac{(H_R - H_s)}{\sin \theta} \quad (\text{III.5})$$

4. Menentukan proyeksi horizontal L_G pada panjang lintasan lurus diperoleh dari :

$$L_G = L_s \cos \theta \text{ [km]} \quad (\text{III.6})$$

5. Menentukan faktor penurunan $r_{0,01}$ untuk 0,01 % dapat dihitung dengan cara

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + \frac{L_G}{L_0}} \quad (\text{III.7})$$

6. Menentukan nilai L_0 adalah panjang relatif yang dapat diperoleh dari :

$$L_0 = y \exp(-zR_{0,01}) \quad (\text{III.8})$$

7. Menentukan nilai k dan α adalah nilai yang berhubungan dengan frekuensi, sudut elevasi θ , dan sudut polarisasi τ , persamaannya adalah :

$$k = [k_h + k_v + (k_h - k_v) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (\text{III.9})$$

$$\alpha = [k_h \alpha_h + k_v \alpha_v + (k_h \alpha_h - k_v \alpha_v) \cos \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (\text{III.10})$$

8. Menghitung nilai $\gamma_R = kR_{0,01}^\alpha$ adalah redaman spesifik yang menggunakan koefisien frekuensi keadaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.2 dan rata-rata hujan $R_{0,01}$ yang ditentukan dari hasil pengamatan data lokal jika memungkinkan.

9. Menghitung redaman hujan untuk 0,01 %, $A_{0,01}$ dapat dihitung dengan cara :

$$A_{0,01} = \gamma_R L_s r_{0,01} \text{ [dB]} = kR_{0,01}^\alpha L_s r_{0,01} \text{ [dB]} \quad (\text{III.11})$$

10. Menghitung redaman hujan yang digunakan untuk rata-rata tahunan 0,001% sampai 1 % dapat diketahui berdasarkan rumus berikut :

$$A = 0,12 A_{0,01} P^{-(0,546 + 0,043 \log p)} \text{ [dB]} \quad (\text{III.12})$$

III.2.2 VIHT

Langkah-langkah menghitung model redaman hujan VIHT adalah sebagai berikut:

1. Menghitung panjang proyeksi horizontal pada lintasan lurus D dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$D = \frac{H_0 - H_g}{\tan \theta}, \quad \theta \geq 10^\circ \quad (\text{III.13})$$

2. Menghitung nilai H_0 adalah tinggi pada suhu 0°C , H_g adalah tinggi stasiun bumi dan θ adalah sudut elevasi lintasan. Untuk menghitung nilai H_0 terlebih dahulu menentukan *latitude* dari lokasi pengambilan data intensitas hujan, kemudian diplot ke gambar II.8 untuk menentukan tinggi efektif hujan pada berbagai persentase yang telah ditetapkan.
3. Menentukan nilai k dan α adalah parameter hubungan redaman spesifik untuk rata-rata hujan. Nilai k dan α pada persamaan (II.15 dan II.16) dapat dilihat pada Tabel II.6.
4. Menentukan koefisien U , X , Y , dan Z adalah nilai empiris konstan berdasarkan pada nilai R_p . Nilai untuk konstanta yang digunakan pada wilayah Indonesia dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$X = 2.3 R_p \quad (\text{III.14})$$

$$Y = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad (\text{III.15})$$

$$Z = 3.8 - 0.6 \ln R_p \quad (\text{III.16})$$

$$U = \frac{1}{Z} [\ln(Xe^{YZ})] \quad (\text{III.17})$$

$$L = \left[\frac{\frac{D}{\cos\theta}}{\sqrt{(E + H_0)^2 + (E + H)^2 - 2(E + H_0)(E + H)\cos\theta}} \right] (\text{km}) \theta \geq 10 \quad (\text{III.18})$$

5. Menghitung total redaman lintasan hujan A dalam dB dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \frac{kR^a p^b L}{\alpha D} \left[\frac{e^{\alpha u z} - 1}{u} - \frac{X^a e^{\alpha y z}}{Y} + \frac{X^a e^{\alpha y D}}{Y} \right] \text{ [dB]} \quad (\text{III.19})$$

III.2.3 Simple Attenuation Model (SAM)

1. Menentukan nilai H_i dari sebuah stasiun bumi dengan lintang Λ_c derajat adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_i &= 4,8 & |\Lambda_c| &\leq 30^\circ \\ &= 7,8 - 0,1 |\Lambda_c|, & |\Lambda_c| &\geq 30^\circ \end{aligned}$$

2. Menghitung panjang lintasan L diberikan oleh :

$$L = H_e - H_0 / \sin(EI) \text{ km} \quad (\text{III.20})$$

Dengan :

H_0 = ketinggian stasiun bumi dari permukaan laut (km).

3. Menghitung nilai redaman hujan yang berkaitan dengan p adalah :

$$\begin{aligned} A(p) &= a[R]^b L, \quad R \leq 10 \text{ mm/h} \\ a[R]^b &\{ (1 - \exp[-\gamma b \log_e(R/10) L \cos(EI)]) / (\gamma b \log_e(R/10) L \cos(EI)) \}, \quad (\text{III.21}) \end{aligned}$$

III.2.4 Model Dissanayake, Allnutt, dan Haidara (DAH)

1. Mengetahui parameter-parameter yang diperlukan :

$R_{0,01}$: intensitas hujan untuk persen waktu 0,01% (mm/h)

h_s : tinggi stasiun bumi dari permukaan laut (km)

Θ : sudut elevasi (derajat)

ϕ : *latitude* (lintang) stasiun bumi (derajat)

f : frekuensi (GHz)

R_e : jari-jari bumi efektif (8500 km)

2. Mengetahui *latitude* dari stasiun bumi ϕ . h_R dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$h_R = 5.0 \quad \text{untuk } 0^\circ \leq \phi \leq 23^\circ$$

$$h_R = 5.0 - 0.075 (\phi - 23) \quad \text{untuk } \phi \geq 23^\circ \quad (\text{III.22})$$

3. Menghitung panjang lintasan lurus L_s untuk $\theta \geq 5^\circ$ dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad \text{Km} \quad (\text{III.23})$$

Sedangkan untuk $\theta < 5^\circ$ dapat digunakan rumus seperti di bawah ini :

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} \quad \text{Km} \quad (\text{III.24})$$

4. Menghitung proyeksi horizontal L_G pada panjang lintasan lurus diperoleh dari :

$$L_G = L_s \cos \theta \quad \text{Km} \quad (\text{III.25})$$

5. Menghitung redaman spesifik γ_R dengan koefisien-koefisien k dan α diberikan oleh rekomendasi ITU-R P.838 dan intensitas hujan $R_{0,01}$ dapat dihitung dengan memakai :

$$\gamma_R = k(R_{0,01})^\alpha \text{ dB/km} \quad (\text{III.26})$$

6. Menghitung faktor penurunan horizontal $r_{0,01}$ untuk 0,01 % dapat dihitung dengan cara:

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + 0.78 \left(\sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} \right) - 0.38 (1 - e^{-2L_G})} \quad (\text{III.27})$$

7. Menghitung faktor *adjustment* vertikal $v_{0,01}$ untuk 0,01 % dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut :

$$\zeta = \tan^{-1} \left[\frac{h_R - h_S}{L_G r_{0,01}} \right] \text{derajat} \quad (\text{III.28})$$

8. Menghitung *factor vertical adjustment* $V_{0,01\%}$: [5]

$$v_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[31 \left(1 - e^{-\left(\frac{\theta}{1,14} \right)} \right) \frac{\sqrt{L_G \gamma_R}}{f} - 0,45 \right]} \quad (\text{III.29})$$

Dimana:

$$L_G = \begin{cases} \frac{L_C r_{0,01}}{\cos \theta} & \text{km for } \zeta > \theta \\ \frac{|h_x - h_y|}{\sin \theta} & \text{km for } \zeta \leq \theta \end{cases} \quad (\text{III.30})$$

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_C r_{0,01}} \right) \text{deg} \quad (\text{III.31})$$

$$\begin{aligned} \chi &= 36 - |\phi| \text{ deg} & \text{for } |\phi| < 36 \\ &= 0 & \text{for } |\phi| \geq 36 \end{aligned}$$

9. Menghitung panjang lintasan efektif (L_E):

$$L_E = L_R V_{0,01} \text{ (Km)} \quad (\text{III.32})$$

10. Menghitung redaman untuk 0.01% per tahun dalam rentang 0.001 % sampai dengan 0.5% rata-rata per tahun. $A_{0,01\%}$ dirumuskan sebagai berikut:

$$A_{0.01\%} = \gamma_R L_E \text{ (dB)} \quad (\text{III.33})$$

11. Untuk nilai presentase redaman yang lain (p) rata-rata per tahunnya pada rentang $p = 0,001\% - 0,5\%$ digunakan rumus sebagai berikut:

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{P}{0.01}\right)^{-[0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln A_{0.01} - \beta (1-p) \sin \theta]} \quad (\text{III.34})$$

Dimana:

$$\beta = \begin{cases} 0 & \text{jika } p \geq 1\% \text{ atau } |\varphi| \geq 36^\circ \\ -0.05 (|\varphi| - 36) & \text{jika } p > 1\% \text{ dan } |\varphi| < 36^\circ \text{ dan } \theta \geq 25^\circ \\ -0.05 (|\varphi| - 36) + 1,8 - 4.25 \sin \theta & \text{selain syarat diatas} \end{cases}$$

III.3 Redaman Ruang Bebas

Redaman ruang bebas atau yang biasa dikenal dengan *free space loss* (FSL) adalah redaman karena pengaruh penyebaran gelombang ketika merambat keluar dari sumber pada ruang bebas yang bergantung pada fungsi frekuensi dan jarak.

FSL dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$[\text{FSL}] = 32,44 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{III.35})$$

Dimana:

f : frekuensi kerja (MHz)

d : jarak satelit dengan stasiun bumi untuk satelit geostasioner memiliki jarak ± 36.000 Km dengan bumi.

III.4 LINK BUDGET

Link Budget adalah akunting numeris untuk semua *losses*, *gain*, dan semua komponen dalam link satelit. Perhitungan ini untuk melihat bagaimana redaman sinyal yang ditransmisikan karena melintasi media propagasi. *Link budget* akan memberikan alokasi sinyal level standar beserta level *noise* yang melewati sistem

satelit. Dengan demikian dapat diketahui berapa *margin* yang harus ditambahkan untuk mengatasi efek redaman.

III.4.1 Parameter *Ground Segment*

Ada beberapa parameter pada *ground segment* yang harus dihitung nilainya pada perhitungan *link budget* diantaranya :

1. *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP)

EIRP atau *Effective Isotropic Radiated Power* merupakan daya maksimum pengiriman dari stasiun bumi atau satelit. Untuk besarnya EIRP satelit telah ditentukan dari spesifikasi satelit yang digunakan.

2. *Gain* Antena

Gain antenna adalah perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antenna yang diukur terhadap intensitas radiasi maksimum antenna referensi (isotropik) jika kedua antenna tersebut diberi daya yang sama. Besarnya *gain* antenna dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{III.36})$$

Atau dalam decibel :

$$G = 20,4 + 10 \log \eta + 20 \log D + 20 \log f \quad (\text{III.37})$$

Dimana:

η : efisiensi antenna (%), biasanya bernilai 55% - 75%

D : diameter antenna (m)

λ : panjang gelombang radiasi (m)

f : frekuensi kerja (GHz)

3. *Figure of Merit (G/T)*

G/T (*figure of merit for receiving sensitivity*) atau yang sering disebut *Gain to Noise Temperature Ratio* adalah perbandingan penguatan sinyal suatu sistem penerima dibandingkan dengan temperatur *noise* sistem tersebut. G/T merupakan ukuran kemampuan untuk menerima sinyal pada operasi yang *low noise*. Besarnya G/T ditentukan oleh penguatan antena *receive*, temperatur komponen dan antena, dan penerima serta *noise figure* antena. G/T dapat dirumuskan:

$$[G/T] = [G_{RX}] - [Ts] \quad (III.38)$$

Dimana:

G_{RX} : *gain* penerima (dB)

Ts : *temperature noise* antena ($^{\circ}K$)

Semakin tinggi G/T maka akan semakin baik dan hal ini dapat dilakukan dengan menaikkan penguatan antena dan atau meminimalkan temperatur sistem dengan melakukan rancangan dengan minimum *loss* antara antena dan LNB serta menggunakan LNB yang *noise* temperaturnya rendah.

III.2.2 *Parameter Space Segment*

Ada beberapa parameter yang harus ditentukan pada perhitungan parameter satelit diantaranya adalah:

1. *Saturation Flux Density (SFD)*

Merupakan rapat daya maksimum yang diterima oleh antenna satelit dari stasiun bumi yang menghasilkan nilai EIRP saturasi dari sistem satelit. Flux

density yang dibutuhkan pada antena penerima untuk menghasilkan saturasi dari TWTA (*Travelling Wave Tube Amplifier*) disebut *saturation flux density*. *Saturation flux density* adalah sebuah kuantitas yang penting dalam perhitungan *link budget*. Persamaannya adalah:

$$\Phi_S = \text{EIRP}_{\text{SB}} - A_0 - L_P - A_R - A_A \quad (\text{dBw/m}^2) \quad (\text{III.39})$$

Dimana:

EIRP_{SB} : *Effective Isotropic Radiated Power* pada stasiun bumi

A_0 : efektif area dari antena isotropik = $-(21.45 + 20 \log f_{\text{UL}})$

L_P : *path loss uplink*

A_R : *rain attenuation*

A_A : *atmospheric attenuation*

2. *Power Flux Density (PFD)*

Merupakan rapat densitas yang menunjukkan besarnya daya yang dipancarkan suatu terminal dari bumi yang dapat diterima satelit. Persamaan untuk *power flux density* adalah: ^[1]

$$\Phi = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi d^2} = \frac{\text{EIRP}}{4\pi d^2} \quad (\text{w/m}^2) \quad (\text{III.40})$$

dalam decibel:

$$\Phi = \text{EIRP}_{\text{SB}} - 10 \log(4\pi d^2) \quad (\text{dBw/m}^2) \quad (\text{III.41})$$

Dimana:

EIRP_{SB} : *Effective Isotropic Radiated Power* pada stasiun bumi

d : jarak dari stasiun bumi ke satelit ± 36000 Km

3. *Input Back Off (IBO)*

Input Back Off (IBO) merupakan pengurangan daya masukan penguat daya pada transponder agar titik kerja menjadi linier. *IBO* juga dapat dikatakan seberapa jauh grafik input bergeser ke kiri menjauhi titik jenuh sehingga masuk ke daerah linier yaitu daerah dimana kenaikan dari sinyal *input* berbanding lurus dengan kenaikan sinyal tersebut. Persamaan untuk menghitung *IBO* adalah:

$$\text{IBO} = \Phi_s - \Phi \quad (\text{dBw/m}^2) \quad (\text{III.42})$$

Dimana :

Φ_s : *Saturated Flux Density*

Φ : *Power Flux Density*

4. *Output Back Off (OBO)*

Output Back Off merupakan penguatan daya keluaran yang disebabkan oleh daya masukan dari *IBO*. Dapat pula dikatakan sebagai seberapa jauh grafik output digeser ke bawah menjauhi titik jenuh. Persamaan untuk *OBO* adalah:

$$\text{OBO} = \text{IBO} + 5 \text{ dB} \quad (\text{dBw/m}^2) \quad (\text{III.43})$$

III.2.5 *Bandwidth Calculation*

Alokasi atau reservasi *bandwidth* adalah sebuah proses menentukan jatah *bandwidth* kepada pemakai dan aplikasi dalam sebuah jaringan. Termasuk didalamnya menentukan prioritas terhadap berbagai jenis aliran data berdasarkan seberapa penting atau krusial dan *delay-sensitive* aliran data tersebut. Hal ini memungkinkan penggunaan *bandwidth* yang tersedia secara efisien, dan apabila sewaktu-waktu jaringan menjadi lambat, aliran data yang memiliki prioritas yang lebih rendah dapat dihentikan, sehingga aplikasi yang penting dapat tetap berjalan dengan lancar. Besarnya saluran atau *bandwidth* akan berdampak pada kecepatan transmisi.

1. *Transmission Rate*

Transmission Rate/Bit Rate merupakan kecepatan untuk mentransmisikan data (dalam bit). Kecepatan transmisi ditentukan oleh data rate, *over head*, dan *code rate*. Adapun nilai *over head* tergantung dari framing yang digunakan oleh sebuah modem untuk memisahkan kanal yang satu dengan yang lain. *Forward Error Correction* (FEC) merupakan suatu nilai koreksi dengan nilai antara lain $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, dan $\frac{7}{8}$. Nilai tersebut menunjukkan perbandingan jumlah bit info dengan jumlah bit yang ditransmisikan.

Semakin besar nilai FEC yang digunakan maka kecepatan transmisi akan semakin kecil namun efisiensi *bandwidth* akan semakin meningkat dengan

nilai FEC yang lebih besar . Hal ini dapat diperlihatkan pada persamaan di bawah ini:

$$\text{Transmission Rate} = \frac{\text{Data Rate} \times \text{Over Head}}{\text{FEC code rate}} (\text{Mbps}) \quad (\text{III.44})$$

2. Symbol Rate

Symbol rate merupakan kecepatan pengiriman data dalam simbol. Banyaknya bit yang ditransmisikan dalam satu simbol tergantung jenis modulasi yang digunakan. Semakin besar modulasi yang digunakan maka akan semakin kecil nilai dari *symbol rate* sebab semakin banyak bit yang akan dikirimkan dalam satu simbol. Hal ini sesuai dengan persamaan *symbol rate* di bawah ini: ^[9]

$$\text{Symbol Rate} = \frac{\text{Transmission Rate}}{\text{bit per symbol}} (\text{Mbps}) \quad (\text{III.45})$$

3. Bandwidth Occupied

Bandwidth occupied merupakan *bandwidth* murni yang digunakan untuk informasi tanpa adanya penambahan *bandwidth* untuk kepentingan sekuritas. Berikut persamaan untuk menghitung BW_{occupied} :

$$BW_{\text{occupied}} = 1.2 \times \text{Symbol Rate} (\text{MHz}) \quad (\text{III.46})$$

4. Bandwidth Allocated

Bandwidth allocated merupakan *bandwidth* yang dialokasikan untuk tiap transponder yang berisi informasi dan sekuritas. *Bandwidth allocated*

merupakan *bandwidth* informasi dan *bandwidth guard band* (untuk kepentingan sekuritas).

III.2.4 Link Calculation

Pada *Link Calculation* akan dihitung beberapa parameter untuk mengetahui performansi dari sistem komunikasi satelit. Terdapat beberapa parameter yang akan dikalkulasikan yaitu C/No, C/N, Eb/No, BER serta nilai presentase ketersediaan sistem dari waktu ke waktu (*link availability*) dan juga nilai *margin* yang harus disediakan oleh sistem untuk mengatasi *fading*.

- **Uplink Calculation**

Uplink calculation merupakan perhitungan semua nilai untuk parameter - parameter yang akan dihitung pada sisi *uplink* pada perancangan ini diantaranya adalah:

1. *Carrier to Noise Power Density Ratio (C/No)*

Merupakan suatu perbandingan rasio antara daya *carrier* dengan rapat daya *noise*. Persamaan untuk C/No adalah: ^[2]

$$C/NO_{UP} = EIRP_{SB} + G/T_{SAT} - L_{TOT} - 10 \log K \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.47})$$

Dimana:

$EIRP_{SB}$: *Effective Isotropic Radiated Power* pada stasiun bumi

G/T_{SAT} : *Figure of Merit* pada satelit

L_{TOT} : redaman ruang bebas + redaman hujan + redaman awan +
redaman atmosfer

K : Konstanta Boltzman $1.38 \times 10^{-23} \text{ J}^\circ\text{K}$ (-228.6 dB)

2. Carrier to Noise Ratio (C/N)

Carrier to Noise Ratio (C/N) merupakan perbandingan rasio daya *carrier* terhadap daya *noise*. C/N diukur pada input *receiver* dan perhitungan link sangat erat hubungannya dengan penentuan rasio ini. Pengarahan *dish* antena yang baik pada sistem komunikasi satelit dapat memberikan nilai rasio C/N yang maksimum. Berikut persamaan untuk menghitung C/N_{UP} :

$$C/N_{UP} = EIRP_{SB} + G/T_{SAT} - L_{TOT} - 10 \log K - 10 \log B \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.48})$$

Atau:

$$C/N_{UP} = C/No - 10 \log B \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.49})$$

Dimana

B : *bandwith* RF = 500 MHz

• *Downlink Calculation*

Parameter yang akan dihitung pada sisi *downlink* sama halnya pada sisi *uplink* yaitu besarnya C/No dan C/N .

1. *Carrier to Noise Power Density Ratio (C/No)*

Persamaan untuk menghitung *Carrier to Noise Power Density Ratio (C/No)* pada sisi *downlink* adalah:

$$(C/No)_{DW} = EIRP_{SAT} + G/T_{SB} - L_{TOT} - K \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.50})$$

Dimana:

EIRP_{SAT} : *Effective Isotropic Radiated Power* pada satelit

G/T_{SB} : *Figure of Merit* pada stasiun bumi

Untuk nilai L_{TOT} dan K sama dengan nilai pada sisi *uplink*

2. Carrier to Noise Ratio (C/N)

Pada sisi *downlink* nilai *Carrier to Noise Ratio* (C/N) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(C/N)_{DW} = (C/No)_{DW} - 10 \log B \quad (III.51)$$

Dimana:

B : *Bandwidth* RF (MHz)

• Total Calculation

Total Calculation merupakan perhitungan untuk nilai-nilai total *uplink* dan *downlink* dengan parameter yang akan dihitung yaitu $(C/N)_{total}$, E_b/No , BER, *link availability* dan *margin* untuk keseluruhan sistem.

1. Carrier to Noise Ratio Total $(C/N)_{total}$

Merupakan nilai total perbandingan daya *carrier* terhadap daya *noise* pada sisi *uplink* dan *downlink* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{total}} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{up}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{dn}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{I}\right)_{total}} \quad (III.52)$$

Dimana:

$$\frac{1}{\left(\frac{C}{I}\right)_{total}} = \frac{1}{\left(\frac{C}{IM}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{C}{I}\right)_{adj}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{I}\right)_{xpol}} \quad (III.53)$$

2. Energy per Bit to the Spectral Noise Density (E_b/No)

E_b/No merupakan parameter utama yang digunakan pada *carrier digital* untuk mengevaluasi dan membandingkan performansi sistem komunikasi

digital. E_b adalah energi per bit informasi dan N_o adalah *noise* yang terdapat dalam 1 Hz *bandwidth*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung (E_b/N_o) yaitu:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)_{total} - 10 \log \frac{\text{transmission rate}}{\text{Bandwidth Occupied}} \quad (\text{III.54})$$

3. Bit Error Rate (BER)

Pada transmisi telekomunikasi, *Bit Error Rate* (BER) adalah persentase dari perbandingan bit yang memiliki *error* dengan keseluruhan bit yang diterima pada proses pentransmisian, biasanya dinyatakan dalam daya yang bernilai 10 sampai negatif. Contohnya sistem transmisi memiliki BER 10^{-6} artinya dari 1 juta bit yang ditransmisikan terdapat 1 bit *error*. BER menyatakan seberapa sering paket atau unit data harus ditransmisikan kembali karena *error*.

Nilai BER yang tinggi berarti adanya kelambatan data rate terhadap waktu keseluruhan transmisi data dan hal ini harus diperbaiki dengan cara mentransmisikan kembali paket data tersebut. BERT (*Bit Error Test* atau *Tester*) adalah prosedur atau peralatan yang digunakan untuk mengukur BER pada proses transmisi. BER dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{BER}_{\text{QPSK}} = Q \sqrt{2 \times \left(\frac{E_b}{N_o}\right)} \quad (\text{III.55})$$

$$\text{BER}_{\text{8PSK}} = \frac{2}{3} Q \sqrt{2 \times \left(\frac{E_b}{N_o}\right) \times 1,148} \quad (\text{III.56})$$

$$\text{BER}_{16\text{QAM}} = Q \sqrt{\frac{3x \left(\frac{E_b}{N_0}\right) x 4}{15}} \quad (\text{III.57})$$

Dimana:

$Q[Z]$: menyatakan besaran BER

E_b/N_0 : *Energy Bit to the Spectral Noise Density*

4. *Link Availability*

Link availability merupakan persentase dari waktu ke waktu keseluruhan ketersediaan layanan dimana sistem mampu menyediakan layanan tanpa gangguan dan memenuhi batas maksimum *Bit Error Rate* (BER) yang telah ditentukan. Nilai *availability* ini kemudian dialokasikan diantara berbagai faktor yang dapat membuat sistem *down*, termasuk redaman hujan, interferensi dan faktor *hardware*. Ketika nilai *availability* hujan diperoleh, pemodelan hujan dapat diaplikasikan untuk menentukan berapa level redaman yang tidak melampaui batasan *availability* hujan yang telah dialokasikan. Nilai redaman tersebut dimasukkan dalam perhitungan *link budget*, dan hasil dari perhitungan tersebut dipakai untuk menentukan jarak maksimum link komunikasi atau parameter lainnya.

5. *Margin*

Margin merupakan cadangan daya yang disediakan pada *link* komunikasi agar komunikasi dapat berjalan dengan baik saat terjadi *fading*, khususnya

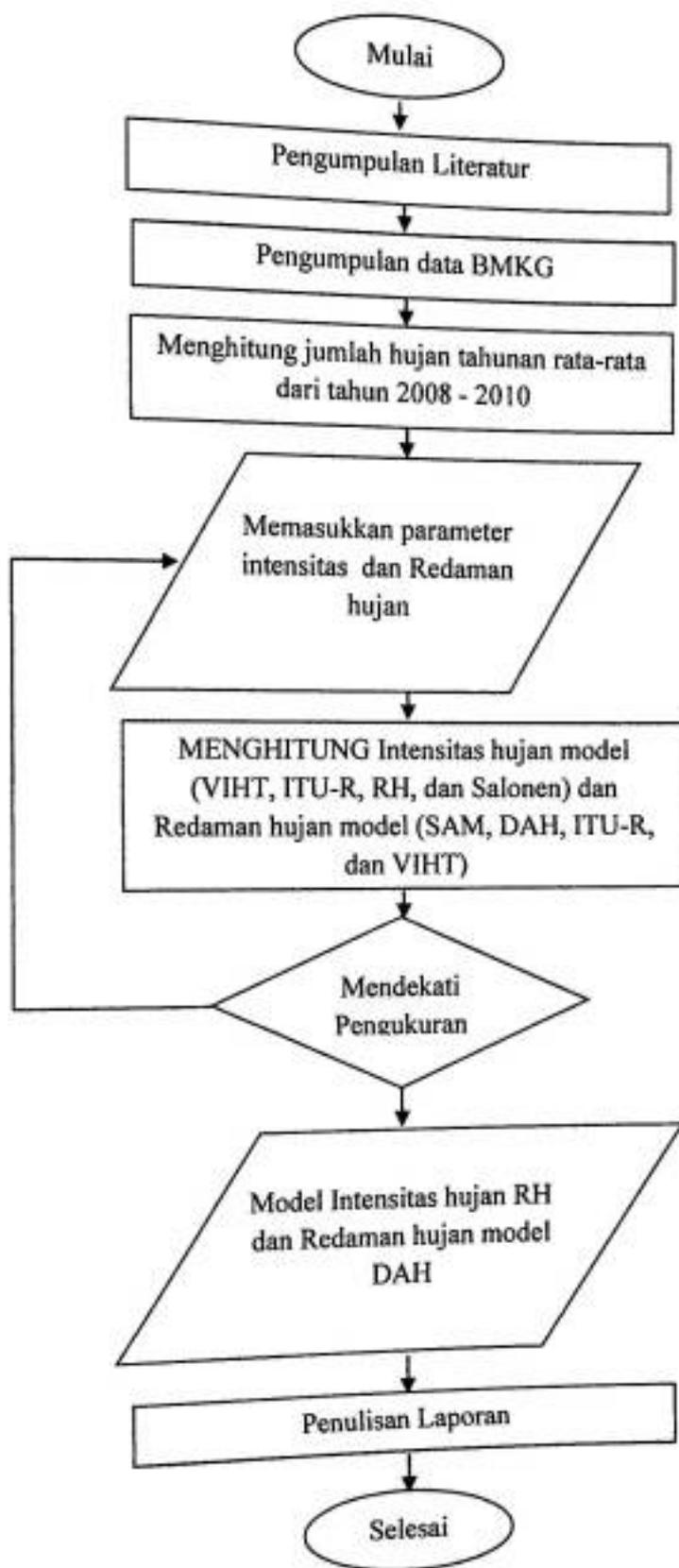
pada frekuensi ini *fading* yang disebabkan oleh hujan. Adapun persamaan untuk menghitung nilai *margin* adalah:

$$\text{Margin} = C/N_{\text{total}} - C/N_{\text{required}} \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.58})$$

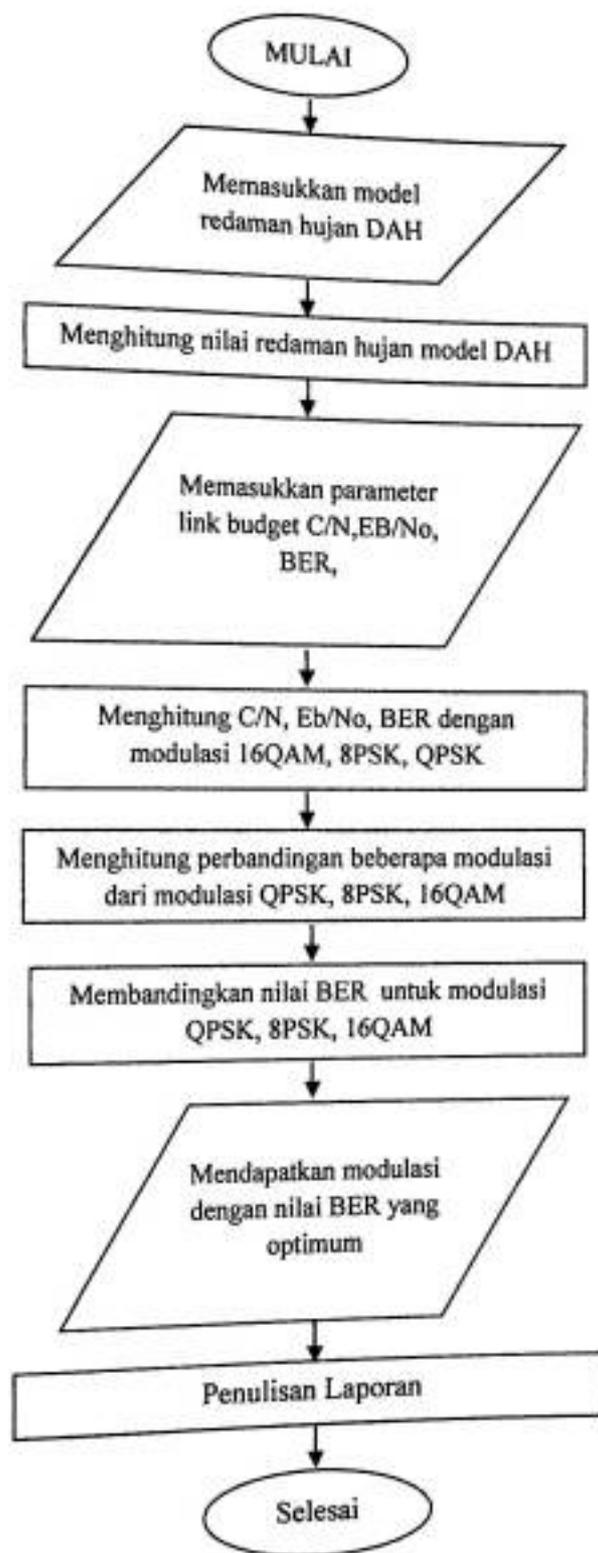
Dimana:

$$C/N_{\text{required}} = EB/N_{0\text{required}} + 10 \log (TR/BW)$$

$EB/N_{0\text{required}}$: EB/N_0 spesifikasi modem



Gambar III.3 Flowchart Tahapan Penelitian



Gambar III.4 Flowchart Link Budget

BAB IV

HASIL PENELITIAN, PEMBAHASAN, DAN SIMULASI

Dalam bab ini dilakukan perhitungan dan pengukuran model intensitas dan redaman hujan di Indonesia khususnya daerah kota Makassar Sulawesi-Selatan. Adapun model Intensitas yang digunakan seperti *Rice-Holmberg (R-H)*, Salonen Baptista, ITU-R, dan VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*). Sedangkan, model redaman hujan yang digunakan seperti DAH (Dissanayake, Allnutt, and Haidara), SAM (*Simple Attenuation Model*), ITU-R dan VIHT (*Variable Isotherm Height Technique*).

IV.1 Perhitungan Model Intensitas Hujan

IV.1.1 Model Rice-Holmberg

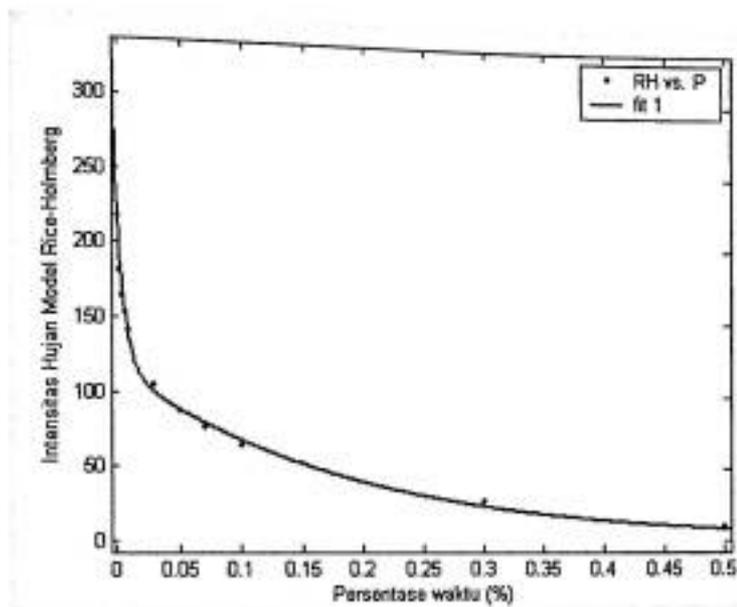
Berdasarkan data curah hujan dari Badan Meteorologi dan Geofisika Wilayah IV Sulawesi-Maluku dari tahun 2008 sampai 2010 khususnya pada wilayah Makassar, Sulawesi Selatan diperoleh jumlah curah hujan tahunan rata-rata (M) sebesar 3112,5 mm dan dari peta β (*thunderstorm ratio*) diperoleh β sebesar 0,64. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan , intensitas hujan (R) untuk persentase waktu 0,01% diperoleh seperti berikut:

$$R_{0,01} = 140.73 \text{ mm/jam}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan diatas nilai intensitas hujan untuk persentase waktu 0,001% sampai dengan 0.5% dapat ditunjukkan pada Tabel dibawah ini:

Tabel IV. 1 Hasil Perhitungan Intensitas Hujan Model Rice-Holmberg

P(%)	0.001	0.003	0.005	0.007	0.01	0.03	0.05	0.07	0.1	0.3	0.5
R(mm /jam)	217.4	180.8	163.8	152.6	140.7	104.108	87.24	75.86	63.97	27.35	10.3



Gambar IV.1 Grafik Hubungan Persen Waktu Dengan Intensitas Hujan Model Rice-Holmberg

Dari Tabel IV.1 dengan bantuan *software* Matlab, diperoleh grafik hubungan antara persen waktu (P) dengan intensitas hujan model Rice-Holmberg seperti terlihat pada Gambar IV.1. Persamaan yang diperoleh dari grafik hubungan persen waktu dengan intensitas hujan model Rice-Holmberg adalah sebagai berikut:

$$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

Koefisien Data :

$$a = 113.9$$

$$b = -146.5$$



$$c = 115.3$$

$$d = -5.302$$

Dari hasil output *software* tersebut model intensitas hujan untuk kota Makassar (model Rice-Holmberg) yang memenuhi adalah :

$$R_p = 113.9 * e^{(-146.5 * p)} + 115.3 * e^{(-5.302 * p)} \quad (IV.1)$$

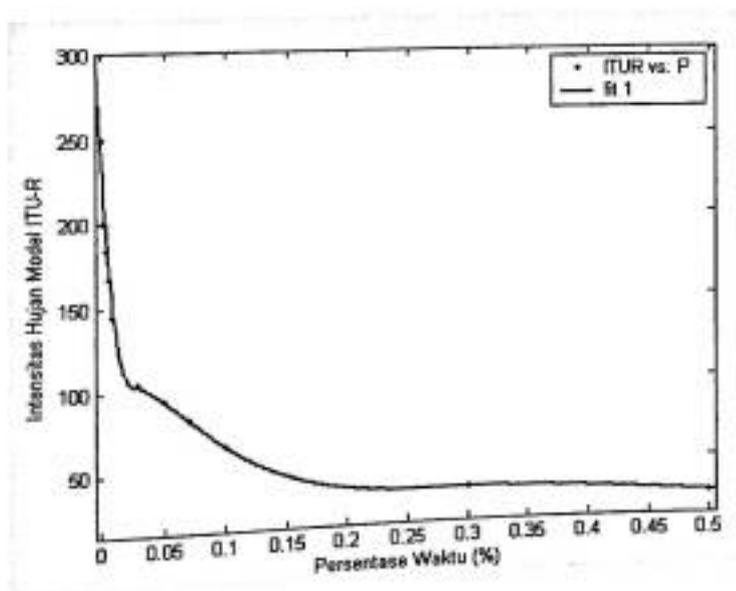
Dengan:

R_p = intensitas hujan dengan persen waktu tertentu P% (mm/jam)

P = Persen waktu (%)

IV.1.2 Model ITU-R

Dari tabel II.4 Dengan bantuan *software Matlab* diperoleh hubungan antara persen waktu (p) dengan intensitas hujan model ITU-R (Indonesia termasuk Region P), dapat dilihat pada Gambar IV.2



Gambar IV.2 Grafik Hubungan Persen Waktu (p) dengan Intensitas Hujan Model ITU-R

Persamaan yang diperoleh dari grafik hubungan persen waktu dengan intensitas hujan model ITU- R adalah sebagai berikut:

$$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

Koefisien data :

$$a = 156.8$$

$$b = -139$$

$$c = 108$$

$$d = -3.596$$

Model intensitas hujan yang memenuhi model ITU-R adalah :

$$R_p = 156.8 \cdot e^{(-139 \cdot p)} + 108 \cdot e^{(-3.596 \cdot p)} \quad (IV.2)$$

IV.1.3 Model Salonen-Baptista

Berdasarkan curah hujan dari data Badan Meteorologi dan Geofisika wilayah IV Sulawesi-Maluku dari tahun 2008-2010 untuk wilayah Makassar diperoleh :

$$P_{16} = 34.89$$

$$M_5 = 2766.1 \text{ mm}$$

$$M_0 = 6463 \text{ mm}$$

Dari persamaan (II.4) dan (II.5) dengan $p = 0.01\%$ diperoleh sebagai berikut :

$$P_0 = 21.09$$

$$a = 1.11$$

$$\begin{aligned}
 b &= 0.019 \\
 c &= 0.601 \\
 A &= 0.021 \\
 B &= -3.49 \\
 C &= -7.65
 \end{aligned}$$

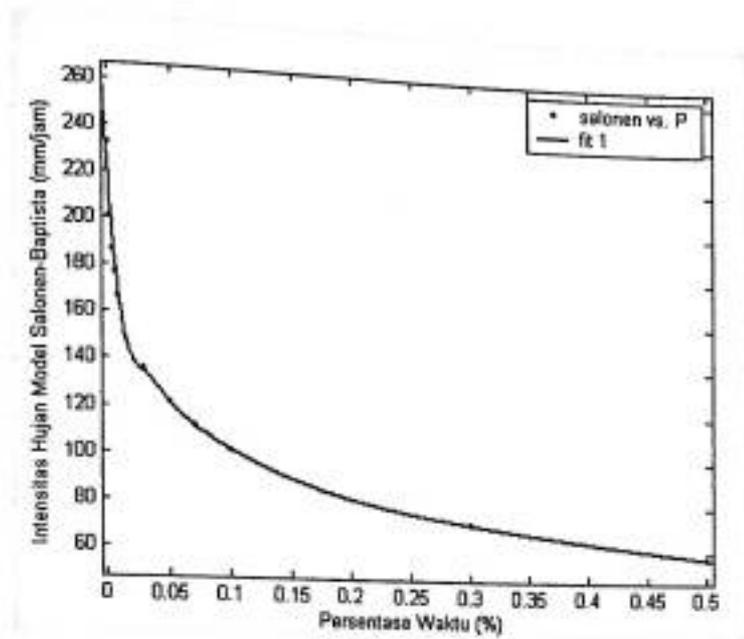
Dari persamaan (II.5), maka dapat dihitung nilai intensitas hujan pada persentase pengamatan 0.01% model Salonen-Baptista adalah :

$$\begin{aligned}
 R_{0.01} &= -(-3.49) + \frac{\sqrt{(-3.49)^2 - 4(0.021)(-7.65)}}{2(0.021)} \\
 &= 166.96 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan metode yang sama di atas dapat pula diketahui nilai intensitas hujan untuk persentase waktu 0.001% sampai dengan 1% dapat ditunjukkan pada Tabel berikut :

Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Intensitas Hujan untuk model Salonen-Baptista

p(%)	0.001	0.003	0.005	0.007	0.01	0.03	0.05	0.07	0.1	0.3	0.5
Salonen-Baptista	232.17	201.11	186.58	177.06	166.96	135.9	121.47	111.98	101.93	71.11	56.89



Gambar IV.3 Grafik Hubungan Persen Waktu (p) terhadap Intensitas Hujan Model Salonen-Baptista

Persamaan yang diperoleh dari grafik hubungan persen waktu dengan intensitas hujan model Salonen-Baptista adalah sebagai berikut:

$$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

Koefisien Data :

$$a = 106.9$$

$$b = -113.6$$

$$c = 131.3$$

$$d = -1.876$$

Model intensitas hujan yang memenuhi model salonen-baptista adalah :

$$R_p = 106.9 \cdot e^{(-113.6 \cdot p)} + 131.3 \cdot e^{(-1.876 \cdot p)} \quad (IV.3)$$

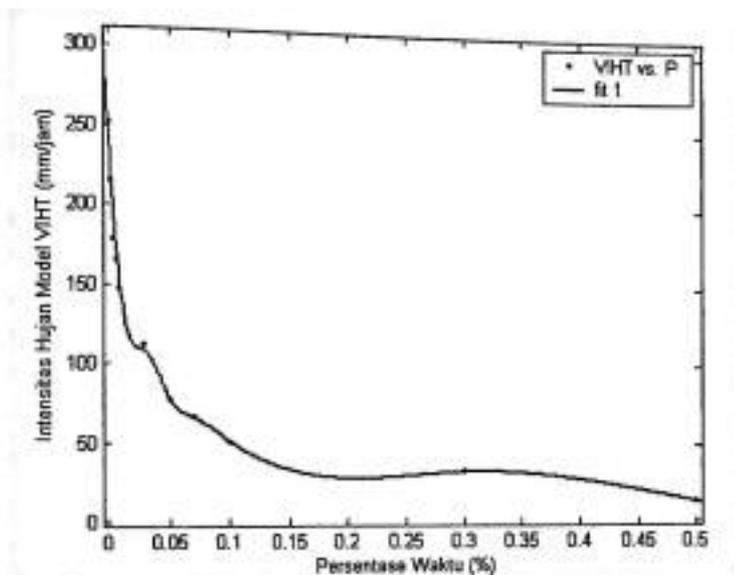
Dengan :

R_p = intensitas hujan dengan persen waktu tertentu p% (mm/jam)

p = persen waktu (%)

IV.1.4 Model VIHT

Pada Tabel II.5 dengan bantuan *software Matlab*, diperoleh grafik hubungan antara persen waktu (p) dengan intensitas hujan model VIHT (Indonesia termasuk region H), seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar IV.4 Grafik Hubungan antara Persen Waktu (p) dengan Intensitas Hujan Model VIHT

Persamaan yang diperoleh dari grafik hubungan persen waktu dengan intensitas hujan model VIHT adalah sebagai berikut:

$$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

Koefisien Data :

$$a = 162.2$$

$$b = -136.6$$

$$c = 107.4$$

$$d = -5.337$$

Model intensitas hujan yang memenuhi model VIHT adalah :

$$R_p = 162.2 * e^{(-136.6 * p)} + 107.4 * e^{(-5.337 * p)} \quad (IV.4)$$

Dengan :

R_p = intensitas hujan dengan persen waktu tertentu p% (mm/jam)

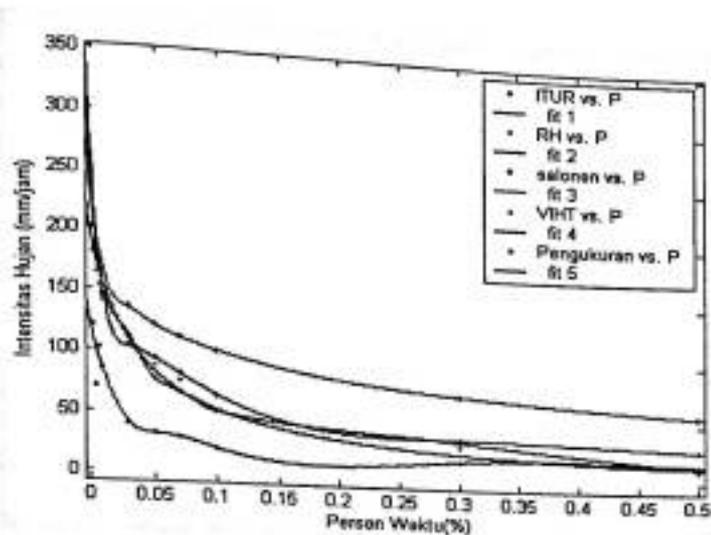
p = persen waktu (%)

IV.2 Perbandingan Intensitas Hujan Hasil Pengukuran dengan Model Intensitas

Perbandingan intensitas hujan hasil pengukuran dengan model Rice-Holmberg, Salonen Baptista, ITU-R, dan VIHT dapat dilihat pada tabel berikut. Data pengukuran adalah data aktual curah hujan dari Badan Meteorologi dan Geofisika dalam satuan mm yang diolah dengan mengkonversi curah hujan tersebut ke dalam satuan mm/jam untuk tahun 2008 sampai 2010.

Tabel IV.3 Intensitas Hujan Berbagai Model Dibandingkan dengan Hasil Pengukuran

p(%)	RiceHolmberg	Salonen	ITU-R	VIHT	Pengukuran
0.001	217.48	232.17	250	251	120
0.003	180.86	201.05	200	215	120
0.005	163.83	186.58	184	178	69.9
0.007	152.62	177.06	168	165	101.35
0.01	140.73	166.96	145	147	84.7
0.03	104.10	135.9	105	112	39.68
0.05	87.24	121.47	93.75	77	31.9
0.07	75.86	111.98	82	66.5	29.2
0.1	63.97	101.93	65	51	20.05
0.3	27.35	71.106	34	32	15.41
0.5	10.327	56.89	27.7	13	15.41
0.7	-	47.61	21.4	10.4	15.4
1	-	37.91	12	6.4	15.4



Gambar IV.5 Grafik Persen Waktu (p) terhadap Intensitas Hujan dengan Berbagai Model Intensitas Hujan

Pada Tabel IV.4 terlihat untuk model Rice-Holmberg mempunyai intensitas hujan yang lebih baik dari seluruh model yang terdapat pada tabel diatas. Hal itu dikarenakan model Rice -Holmberg mempunyai nilai standard deviasi sebesar 59 dan *standard error of estimate* sebesar 4,22. Model ini mempunyai nilai *standard deviasi* dan *standard error of estimate* terkecil dibandingkan dengan model yang lain.

Tabel IV.4 Model-Model Intensitas Hujan Wilayah Makassar

No.	Model	Adjust R Square	Standard Error of Estimate	Standard Deviasi
1	Rice-Holmberg	0.9962	4.22	59
	$R_p = 113.9 * e^{(-146.5 * p)} + 115.3 * e^{(5.302 * p)}$			
2	ITU-R	0.9886	6.76	66
	$R_p = 156.8 * e^{(-139 * p)} + 108 * e^{(-3.896 * p)}$			
3	Salonen-Baptista	0.9876	5.44	64
	$R_p = 106.9 * e^{(-113.6 * p)} + 131.3 * e^{(-1.876 * p)}$			
4	VIHT	0.9817	9.31	68
	$R_p = 162.2 * e^{(-136.6 * p)} + 107.4 * e^{(-5.337 * p)}$			
5	Pengukuran	0.8987	11.97	
	$R_p = 101.9 * e^{(-49.75 * p)} + 19.67 * e^{(-0.64 * p)}$			

IV.3 Perhitungan Redaman Hujan

IV.3.1 Perhitungan Model Redaman Hujan dengan Membandingkan Nilai Hasil Pengukuran

Setelah melakukan perhitungan intensitas hujan maka selanjutnya dilakukan perhitungan model redaman hujan. Dalam tugas akhir ini, perhitungan model redaman hujan menggunakan model SAM (*Simple Attenuation Model*), ITU-R, VIHT, dan DAH (*Dissanayake, Allnut, and Haidura*), yang selanjutnya dibandingkan dengan data pengukuran. Data pengukuran redaman hujan merupakan hasil pengolahan data dengan menggunakan data intensitas hujan. Namun terlebih dahulu menentukan sudut elevasi. Satelit yang digunakan adalah referensi dari Satelit WINDS yang terletak pada koordinat 143° BT dengan frekuensi *uplink* 28 Ghz dan frekuensi *downlink* 17.8 Ghz.

IV.3.2 Perhitungan untuk Menentukan Sudut Elevasi

Stasiun bumi Makassar Sulawesi Selatan terletak pada $119^{\circ}34$ BT dan $4^{\circ}55$ LS. Dan satelit WINDS terletak pada ordinat 143° BT, sehingga dapat diperoleh :

$$L = 143^{\circ} - 119^{\circ}.34 = 23.66^{\circ}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut Elevasi} &= \arctan \frac{\cos(4.91) \cos(23.66) - 0.151}{\sqrt{1 - \cos^2(5.1) \cos^2(23.66)}} \\ &= 61.62^{\circ} \end{aligned}$$

IV.3.3 Model SAM (*Simple Attenuation Model*)

Sebelum melakukan perhitungan redaman hujan untuk model ini terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter sebagai berikut :

$$\Lambda_c = 4.91^{\circ}$$

$$H_i = 4.8 \text{ Km}$$

$$|\Lambda_c| \leq 30^{\circ}$$

$$H_o = 0.0011 \text{ Km}$$

$$R = 145 \text{ mm/jam}$$

$$EL = 61.62^{\circ}$$

$$H_e = 4.8 + \log_{10}(145/10)$$

$$R > 10 \text{ mm/h}$$

$$= 5.961$$

Untuk sudut elevasi EL, panjang lintasan L diperoleh dari :

$$L = (5.961 - 0.0011) / \sin 61.62 \text{ (Km)}$$

$$= 6.77$$

$f = 17.8$ Ghz untuk *downlink* dan 28 Ghz untuk *uplink*

$$\begin{aligned}
 a &= 4.21 \times 10^{-5} \times f^{2.42} \\
 &= 4.21 \times 10^{-5} (28)^{2.42} \\
 &= 0.137
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= 2.63 f^{-0.272} \\
 &= 2.63 (28)^{-0.272} \\
 &= 1.064
 \end{aligned}$$

$$Y = 1/22$$

Dengan mengetahui nilai parameter-parameter di atas, redaman hujan untuk model ini dapat diperoleh berdasarkan persamaan (II.7) sebagai berikut :

Contoh untuk persentase waktu 0.01%

$$A(p) = a[R]^b \left\{ (1 - e^{-(y \log_e(R/10) L \cos(EI))}) / (y \log_e(R/10) L \cos(EI)) \right\} ; R > 10 \text{ mm/h}$$

$$A_{0.01(28\text{Ghz})} = 23.36 \text{ dB}$$

Untuk redaman hujan pada persentase waktu 0.001% sampai dengan 0.5% pada frekuensi *uplink* 28 Ghz dan frekuensi *downlink* 17.8 Ghz ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel IV.5 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model SAM dengan R_p Model

ITU-R

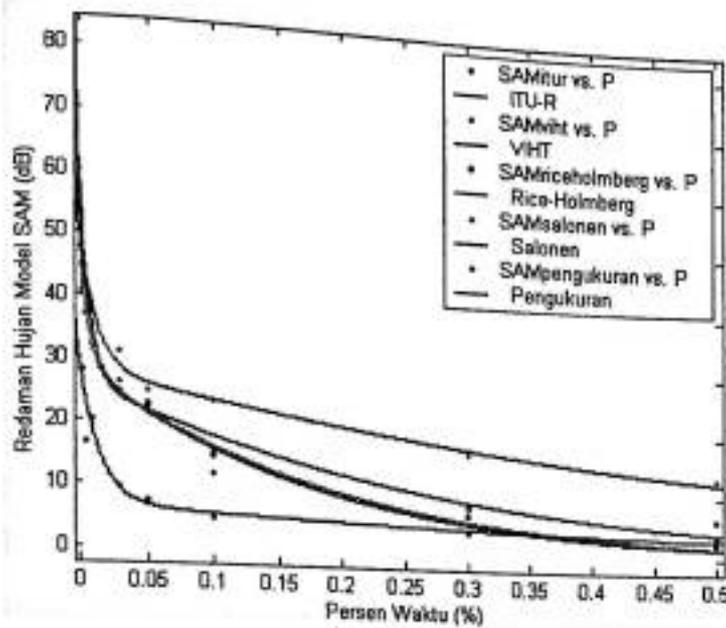
P (%)	R_p (mm/jam)	$A_{28\text{Ghz}}$ (dB)	$A_{17.8\text{Ghz}}$ (dB)	A_{total} (dB)
0.001	250	37.61	16.37	54.29
0.003	200	31.14	13.66	44.80
0.005	184	28.95	12.64	41.60
0.01	145	23.36	10.08	33.45

P (%)	R _p (mm/jam)	A _{28Ghz} (dB)	A _{17.8Ghz} (dB)	A _{total} (dB)
0.03	105	17.26	7.32	24.59
0.05	93.75	16.30	6.53	22.83
0.1	65	10.80	4.47	15.27
0.3	34	5.60	2.23	7.83
0.5	27.7	4.53	1.79	6.32

Dengan melakukan perhitungan seperti diatas diperoleh perhitungan redaman hujan model SAM dengan nilai intensitas hujan untuk beberapa model seperti terlihat pada Tabel IV.6 dan Gambar IV.6.

Tabel IV.6 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model Sam Dengan R_p untuk Beberapa Model

R _p	A _{tot} (dB/P(%))									RMSE	Standar Deviasi
	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5		
ITU-R	54.29	44.8	41.6	33.45	24.59	22.83	15.27	7.83	6.32	1.95	15.38
VIHT	54.47	47.73	40.38	33.88	26.17	21.63	11.92	7.35	2.84	2.433	15.95
RH	47.41	40.28	36.82	31.98	23.97	22.37	14.77	6.13	2.18	1.111	13.76
Salonen	50.14	44.26	41.42	37.46	30.95	24.78	23.48	16.43	13.11	1.666	14.51
Pengukuran	27.97	27.97	16.43	19.91	9.21	7.33	4.61	3.41	3.41	3.25	



Gambar IV.6 Grafik Persen Waktu (p) vs Model Redaman Hujan SAM dengan Berbagai Model Intensitas Hujan

Dari Tabel IV.7 diatas terlihat bahwa redaman hujan model SAM dengan intensitas Rice-Holmberg (R-H) mempunyai standar deviasi terkecil dibandingkan model yang lain, yakni sebesar 13.76.

IV.3.4 Model ITU-R

Berdasarkan distribusi intensitas hujan ITU-R untuk persen waktu 0.01%, diperoleh intensitas hujan untuk wilayah Indonesia sebesar 145 mm/jam (Indonesia berada pada wilayah P). Intensitas hujan ini digunakan untuk menghitung redaman hujan model ITU-R.

Adapun parameter-parameter yang diperlukan dan langkah-langkah untuk memperoleh redaman hujan model ITU-R adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{0.01} &= 145 \text{ mm/jam} \\
 H_s &= 11 \text{ m} = 0.0011 \text{ km} \\
 \theta &= 61.62^\circ
 \end{aligned}$$

$$\varphi = 4.91^\circ$$

$$f_{uplink} = 28 \text{ GHz}$$

$$f_{downlink} = 17.8 \text{ GHz}$$

Dengan menggunakan parameter diatas kemudian diproses dengan menggunakan *software* menghasilkan data hasil perhitungan redaman hujan metode ITU-R, seperti pada Tabel IV.7 dibawah ini:

Tabel IV.7 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Metode ITU-R dengan Intensitas

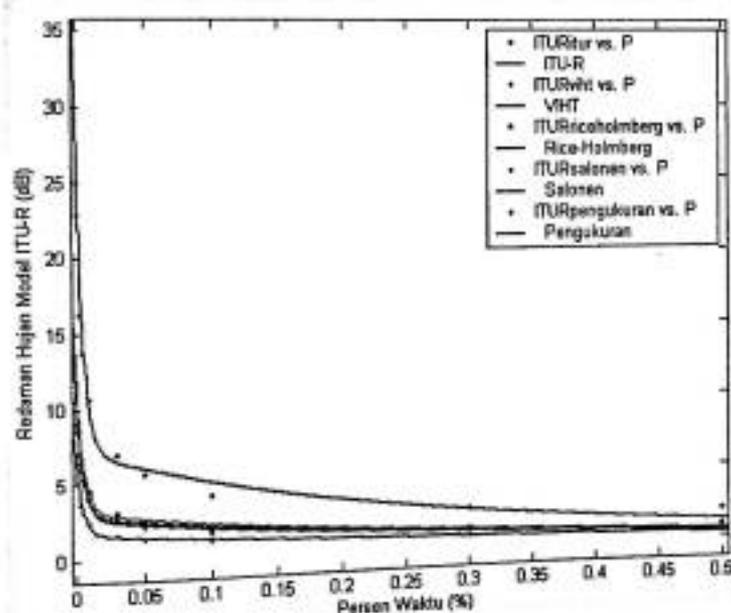
Hujan ITU-R

P(%)	Rp (mm/jam)	f 28GHz		F 17.8GHz		A _{28GHz} (dB)	A _{17.8} (dB)	Atot(dB)
		k	A	K	A			
0.001	250	0.147	0.50	0.0294	1.123	1.69	7.27	8.96
0.003	200					1.20	5.18	6.38
0.005	184					1.01	4.36	5.37
0.01	145					0.78	3.39	4.18
0.03	105					0.51	2.20	2.71
0.05	93.75					0.41	1.77	2.18
0.1	65					0.30	1.29	1.60
0.3	34					0.17	0.76	0.94
0.5	27.7					0.13	0.59	0.72

Dengan menggunakan proses yang sama digunakan juga pada intensitas hujan model Rice-Holmberg (R-H), VIHT, dan Salonen. Seperti yang terlihat pada Tabel IV.8 dan Gambar IV.7 dibawah ini:

Tabel IV.8 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model ITU-R dengan R_p untuk Beberapa Model

Rp	Atot (dB/P(%))									RMSE	Standar Deviasi
	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5		
ITU-R	8.96	6.38	5.37	4.18	2.71	2.18	1.6	0.94	0.72	0.3697	5.98
VIHT	8.55	6.09	5.12	3.99	2.58	2.08	1.52	0.9	0.69	0.3541	2.65
RH	9.89	7.04	5.92	4.61	2.99	2.4	1.75	1.04	0.8	0.4213	3.21
Salonen	5.17	3.68	3.1	2.41	1.56	1.26	0.92	0.54	0.42	0.2138	1.6
Pengukuran	22.82	16.26	13.67	10.64	6.9	5.55	4.07	2.4	1.85	0.9415	



Gambar IV.7 Grafik Persen Waktu (p) vs Redaman Hujan ITU-R dengan Berbagai Model Intensitas Hujan.

Dari Tabel IV.8 dan Gambar IV.7 di atas terlihat bahwa redaman hujan model ITU-R dengan intensitas Salonen Baptista mempunyai standard deviasi terkecil dibandingkan model yang lain, yakni sebesar 1.6

IV.3.5 Model VIHT

Untuk menghitung redaman hujan model VIHT diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Dalam kondisi umum yaitu dengan menentukan wilayah pembagian iklim (A-H) berdasarkan lokasi stasiun bumi dapat dilihat pada gambar II.5 dalam hal ini Indonesia berada pada wilayah H (region H)
- Selanjutnya khusus untuk daerah Makassar sebagai lokasi pengambilan data intensitas hujan mempunyai *latitude* sebesar $4^{\circ}55'$. Selanjutnya *latitude* tersebut diplotkan pada gambar II.8 sehingga diperoleh nilai dari tinggi efektif hujan (H_0) sebesar 5 Km. Untuk persentase selanjutnya dapat dilihat pada tabel IV.10 berikut.
- Adapun parameter-parameter lain yang diperlukan untuk memperoleh redaman hujan model VIHT adalah sebagai berikut:

$$H_g = 11 \text{ m} = 0,0011 \text{ km}$$

$$\Theta = 61,62^{\circ}$$

$$f_{\text{uplink}} = 28 \text{ GHz}$$

$$f_{\text{downlink}} = 17,8 \text{ GHz}$$

Dengan menggunakan parameter-parameter diatas kemudian diproses dengan menggunakan *software* menghasilkan data hasil perhitungan redaman hujan metode ITU-R seperti pada tabel IV.9 dibawah ini :

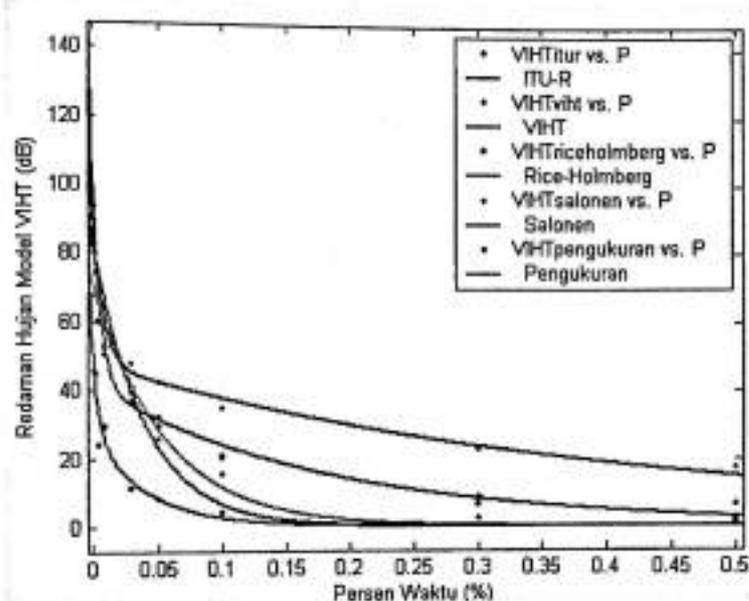
Tabel IV.9 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model VIHT dengan Intensitas Hujan ITU-R

P(%)	Rp (mm/jam)	f 28 GHz		F 17.8GHz		A _{28GHz} (dB)	A _{17.8} (dB)	Atot(dB)
		K	A	K	A			
0.001	250	0.14	1.08	0.0545	1.104	65.60	27.57	93.17
0.003	200					52.42	21.93	74.35
0.005	184					47.49	19.83	67.33
0.01	145					36.85	15.31	52.17
0.03	105					25.77	10.63	36.40
0.05	93.75					22.57	9.28	31.85
0.1	65					14.65	5.97	20.62
0.3	34					6.10	2.43	8.54
0.5	27.7					4.40	1.74	6.15

Dengan menggunakan proses yang sama digunakan juga pada intensitas hujan model Rice-Holmberg, Salonen, dan VIHT seperti yang terlihat pada Tabel IV.10 dan Gambar IV.8 dibawah ini :

Tabel IV.10 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model VIHT dengan R_p untuk Beberapa Model

Rp	Atot (dB/P(%))									RMSE	Standar Deviasi
	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5		
ITU-R	93.17	74.35	67.33	52.17	36.41	31.85	20.62	8.54	6.15	2.708	27.15
VIHT	93.51	79.64	65.18	52.91	39.03	25.49	15.27	7.81	1.24	10.03	28.12
RH	81.87	67.47	60.06	50.61	36.07	29.39	20.23	6.13	0.47	8.723	24.9
Salonen	87.02	74.73	68.24	60.12	47.84	42.17	34.54	22.39	16.88	2.582	26.01
Pengukuran	45.38	44.57	24.04	29.34	11.27	8.18	3.91	2.04	1.98	5.535	



Gambar IV.8 Grafik Persen Waktu(p) vs Redaman Hujan VIHT dengan Berbagai Model

Dari Tabel IV.10 dan Gambar IV.8 diatas terlihat bahwa model redaman hujan VIHT dengan intensitas hujan model Rice-Holmberg (R-H) mempunyai nilai standar deviasi terkecil sebesar 24,9 dan nilai redaman hujan untuk tiap persentase waktu mendekati nilai pengukuran.



IV.3.6 Model DAH (Dissanayake, Allnut, dan Haidara)

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam perhitungan redaman hujan model DAH adalah sebagai berikut:

Parameter-parameter yang diperlukan adalah:

$$R_{0.01} = 145 \text{ mm/jam}$$

$$h_s = 11 \text{ m} = 0,0011 \text{ Km}$$

$$\Theta = 61.62^\circ$$

$$\varphi = 4.91^\circ$$

$$f_{\text{uplink}} = 28 \text{ GHz}$$

$$f_{\text{downlink}} = 17.8 \text{ GHz}$$

Selanjutnya menentukan tinggi hujan (h) dengan $\varphi = 4.91$

$$h_R = 5.0 \text{ untuk } 0^\circ \leq \varphi \leq 23^\circ$$

Kemudian menghitung panjang lintasan miring (L_s) jika $\Theta \geq 5^\circ$, yaitu :

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} = 5.651$$

Menghitung proyeksi horizontal L_G pada panjang lintasan lurus diperoleh dari :

$$L_G = L_s \cos \Theta = 2.70$$

Menghitung redaman spesifik γ_R dengan koefisien-koefisien k dan a yang dapat dilihat pada Tabel II.5 .Dengan cara yang sama pada perhitungan redaman hujan model ITU-R diperoleh k dan a untuk frekuensi 28 GHz sebagai berikut:

$$k = 0.147$$

$$a = 0.506$$

Redaman spesifik adalah:

$$\begin{aligned} \gamma_R &= k(R_{0.01})^a \text{ dB/Km} \\ &= 1.82 \end{aligned}$$

Faktor penurunan horizontal $r_{0.01}$ untuk 0.01% dapat dihitung dengan cara:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \left(\frac{\sqrt{L_G \gamma_R}}{f} \right) - 0.38(1 - e^{-2LG})}$$

$$= 1.053$$

Faktor *adjustment* vertikal untuk 0.01% dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$\zeta = \tan^{-1} \left[\frac{h_R - h_S}{L_G r_{0.01}} \right] \text{derajat}$$

$$= 60.34^\circ$$

$$\zeta > \theta, \quad L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta} \text{ km} = 5.98$$

Jika $|\varphi| < 36$, $X = 36 - |\varphi| = 36 - 4.91 = 31.09$

$$V_{0.01} = \frac{1}{1 + (\sqrt{\sin \theta}) \left[3.1 \left(1 - e^{-\left(\frac{\theta}{1+\chi} \right)} \right) \frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right]}$$

$$= 1.464$$

Panjang lintasan efektif dihitung seperti berikut :

$$L_E = L_R V_{0.01} \text{ km}$$

$$= 8.76 \text{ km}$$

Selanjutnya menghitung redaman hujan untuk persentase waktu 0.01 % diperoleh sebagai berikut:

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \text{ dB}$$

$$= 15.99 \text{ dB}$$

Estimasi redaman hujan untuk persentase waktu yang lain dalam rentang 0.01 % - 0.5 % ditentukan dari redaman hujan 0.01 % dengan memakai:

Jika $p \leq 1\%$ dan $|\varphi| < 36^\circ$ dan $\theta > 25^\circ$

$$Z = -0.005 (|k_p|^{-3.6})$$

$$= 0.155$$

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - z(1-p) \sin \theta)}$$

$$A_{0.001} = 23.42 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka untuk persentase waktu yang lain dan frekuensi *downlink* 17.8 GHz dapat dilihat pada Tabel IV.11 dibawah ini:

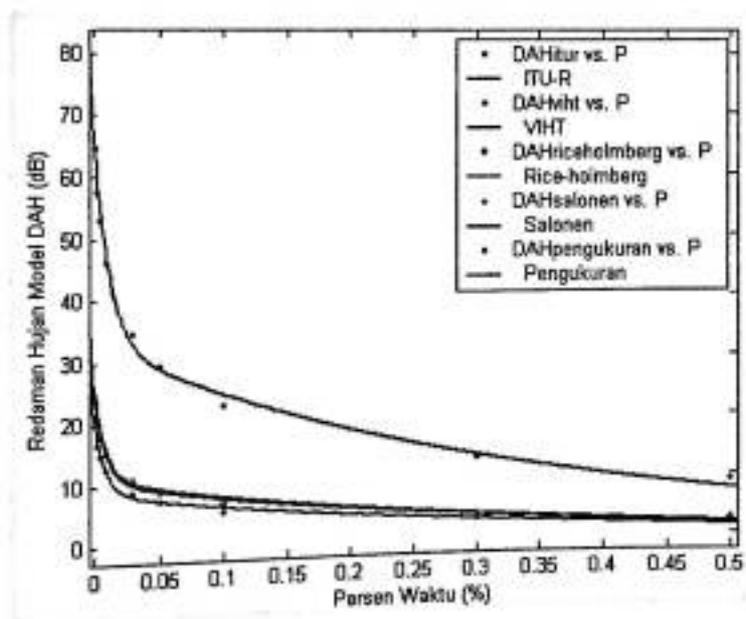
Tabel IV.11 Hasil Perhitungan Model Redaman Hujan DAH dengan Intensitas Hujan Model ITU-R

P(%)	Rp (mm/jam)	f 28 GHz		F 17.8GHz		A _{28GHz} (dB)	A _{17.8} (dB)	Atot(dB)
		K	a	K	a			
0.001	250	0.147	0.506	0.029	1.123	23.42	41.26	64.68
0.003	200					20.40	37.08	57.48
0.005	184					18.61	34.33	52.95
0.01	145					15.99	30.08	46.07
0.03	105					11.73	22.77	34.50
0.05	93.75					9.84	19.38	29.22
0.1	65					7.46	14.98	22.44
0.3	34					4.17	8.65	12.82
0.5	27.7					2.87	6.03	8.90

Dengan melakukan perhitungan seperti diatas maka diperoleh perhitungan redaman hujan model DAH dengan intensitas hujan untuk beberapa model seperti terlihat pada Tabel IV.12 dan Gambar IV.9 dibawah ini:

Tabel IV.12 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Model DAH dengan R_p untuk Beberapa Model

Rp	Atot (dB/P(%))									RMSE	Standar Deviasi
	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5		
ITU-R	64.68	57.48	52.95	46.07	34.5	29.22	22.44	12.82	8.91	1.678	19.83
VIHT	23.84	20.02	17.97	15.08	10.67	8.8	6.52	3.52	2.38	0.7624	6.84
RH	23.57	19.79	17.75	14.9	10.53	8.69	6.43	3.47	2.34	0.7179	6.79
Salonen	24.52	20.62	18.52	15.56	11.02	9.11	6.75	3.65	2.46	0.7423	6.99
Pengukuran	19.89	16.54	14.77	12.32	8.63	7.09	5.22	2.79	1.87	0.6158	



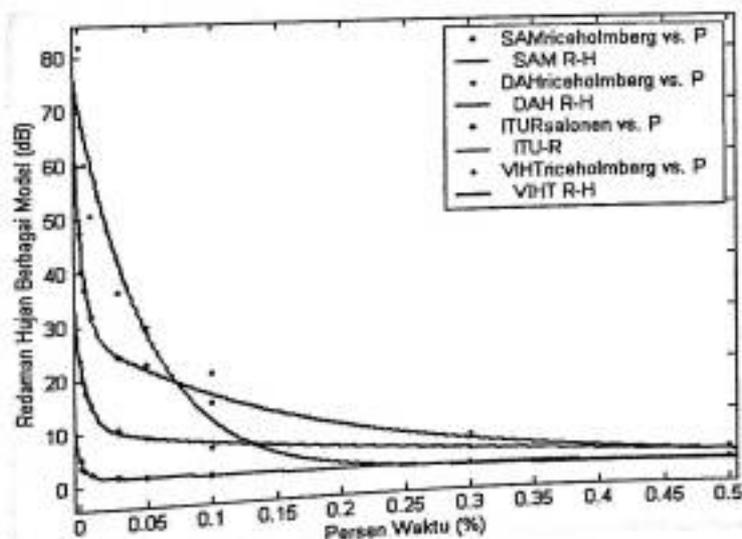
Gambar IV.9 Grafik Persen Waktu(p) vs Redaman Hujan Model DAH dengan Berbagai Model

Pada Tabel IV.12 dan Gambar IV.9 diatas terlihat bahwa redaman hujan model DAH dengan intensitas hujan model Rice-Holmberg (R-H) mempunyai standard deviasi terkecil yaitu sebesar 6,79.

Dari hasil analisis berbagai model redaman hujan diatas dengan intensitas model yang berbeda, maka dipilih model yang mempunyai standard deviasi terkecil dari masing-masing model redaman hujan. Selanjutnya model-model tersebut dibandingkan satu sama lain, seperti terlihat pada Tabel IV.13 dan Gambar IV.10 dibawah ini :

Tabel IV.13 Hasil Analisa Model Redaman Hujan

Rp	Atot (dB/P(%))									RMSE	Standar Deviasi
	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5		
SAM RH	47.41	40.28	36.82	31.98	23.97	22.37	14.77	6.13	2.18	1.111	13.76
DAH RH	23.57	19.79	17.75	14.9	10.53	8.69	6.43	3.47	2.34	0.7179	6.79
ITU-R Salonen	5.17	3.68	3.1	2.41	1.56	1.26	0.92	0.54	0.42	0.2138	1.6
VIHT RH	81.87	67.47	60.06	50.61	36.07	29.39	20.23	6.13	0.47	8.723	24.9

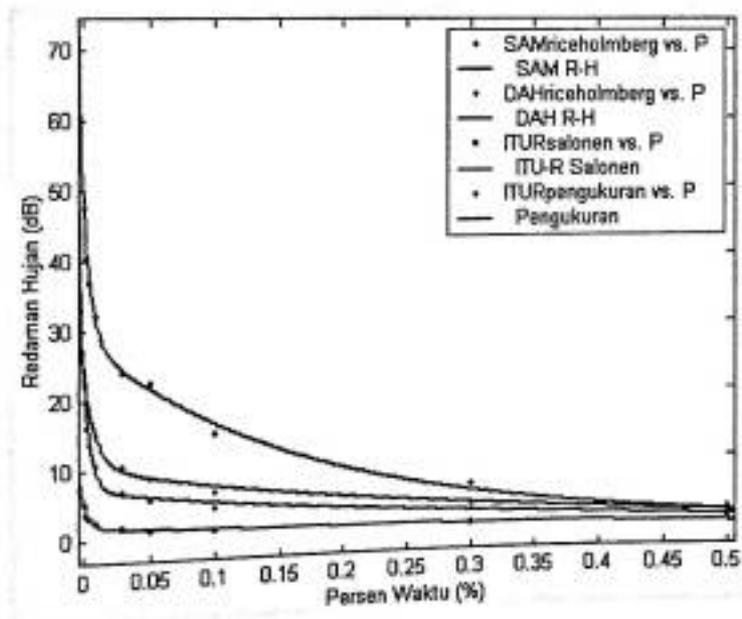


Gambar IV.10 Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan dengan Standar Deviasi Terkecil.

Dari Tabel IV.13 terlihat pada model VIHT Rice Holmberg mengalami penyimpangan yang besar dengan standard deviasi sebesar 24,9 sehingga diabaikan. Selanjutnya dengan menggunakan tiga model redaman hujan yang dibandingkan dengan hasil pengukuran yaitu model Salonen ITU-R, R-H DAH, dan R-H SAM seperti diperlihatkan pada Tabel IV.14 dan Gambar IV.11 dibawah ini :

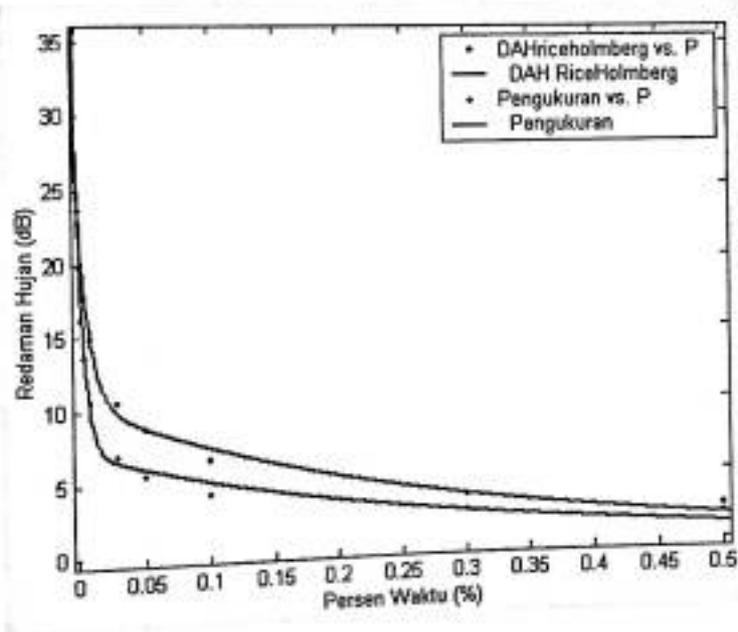
Tabel IV.14 Perbandingan Berbagai Model Redaman Hujan Dengan Pengukuran

Rp	Atot (dB/P(%))									RMSE	Standar Deviasi
	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5		
SAM RH	47.41	40.28	36.82	31.98	23.97	22.37	14.77	6.13	2.18	1.111	14.12
DAH RH	23.57	19.79	17.75	14.9	10.53	8.69	6.43	3.47	2.34	0.7179	7.18
J-R Salonen	5.17	3.68	3.1	2.41	1.56	1.26	0.92	0.54	0.42	0.2138	6.22
pengukuran	22.82	16.26	13.67	10.64	6.9	5.55	4.07	2.4	1.85	0.9415	



Gambar IV.11 Grafik Perbandingan Berbagai Model Redaman Hujan dengan Pengukuran

Dari Tabel IV.14 terlihat model Salonen ITU-R memiliki nilai persentase waktu dan standard deviasi yang kecil tetapi jika ditinjau dari nilai persentase waktu dan RMSE hasil yang diperoleh model Salonen ITU-R tidak mendekati hasil pengukuran. Sedangkan pada model DAH R-H meskipun RMSE yang dihasilkan masih lebih besar daripada model Salonen ITU-R tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan dan jika ditinjau dari nilai persentase waktu maupun standard deviasi hasil yang diberikan lebih mendekati hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar IV.12. Sehingga model DAH R-H cocok untuk menjadi model redaman hujan pada wilayah Makassar



Gambar IV.12 Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan yang Terbaik Dissanayake, Allnut, dan Haidara (DAH) dengan Pengukuran

Dari Gambar IV.12. Untuk itu model redaman hujan yang dipilih adalah model DAH dengan persamaan :

$$A_p = 14.16 * \exp^{(-116.8 * p)} + 10.47 * \exp^{(-3.614 * p)} \quad (IV.5)$$

Model intensitas hujan Rice-Holmberg yang mempunyai persamaan :

$$R_p = 113.9 * \exp^{(-146.5 * p)} + 115.3 * \exp^{(-5.30)} \quad (IV.6)$$

Dengan memasukkan variabel persentase waktu dan intensitas hujan, maka redaman hujan dapat ditentukan seperti Tabel IV.15 dibawah ini:

Tabel IV.15 Nilai Redaman Hujan Uplink untuk setiap *Link availability*

	A_{rain} (99%) dB	A_{rain} (99,1%) dB	A_{rain} (99,2%) dB	A_{rain} (99,3%) dB	A_{rain} (99,4%) dB	A_{rain} (99,5%) dB
Redaman Hujan (Ap)	1,38	1,57	1,81	2,08	2,42	2,84

Tabel IV.16 Nilai Redaman Hujan untuk *Downlink* untuk setiap *Link availability*

	A_{rain} (99%) dB	A_{rain} (99,1%) dB	A_{rain} (99,2%) dB	A_{rain} (99,3%) dB	A_{rain} (99,4%) dB	A_{rain} (99,5%) dB
Redaman Hujan (Ap)	0,71	0,81	0,93	1,08	1,26	1,49

Dari Tabel IV.15 dan Tabel IV.16 terlihat bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin besar pula nilai redaman yang dihasilkan begitu juga sebaliknya. Selanjutnya, nilai redaman hujan yang dihasilkan digunakan sebagai parameter menghitung nilai *link budget* sebuah satelit.

IV.4 Perhitungan *Link budget*

Dengan menggunakan *link availability* 99,5%, maka perhitungan *link budget* seperti berikut:

A. Spesifikasi satelit WINDS

- EIRP sat = 68dBw
- f_{uplink} = 27,5 – 28,6 GHz
- $f_{downlink}$ = 17,7 – 18,8 GHz
- G/T = 18dB/K

B. Spesifikasi stasiun bumi

- EIRP_{TX} = 48,8dB
- P_{TX} = 13,37Watt
- f_{uplink} = 28 GHz
- $f_{downlink}$ = 17,8 GHz
- Diameter antenna = 45 cm = 0,45m
- G/T = 11,5 dB/k

Berdasarkan data-data diatas diambil nilai maksimal untuk perhitungan *link budget* dan selanjutnya dilakukan perhitungan *link budget* dengan *availability* 99,5% yang mengatur parameter kualitas sinyal.

IV.4.1 *Carrier to Noise Power Density Ratio (C/No)* dan *Carrier to Noise Ratio (C/N)*

Dari persamaan (II.48) dilakukan perhitungan C/No untuk *uplink* dan *downlink*.

Uplink:

Sebelum menghitung nilai $EIRP_{TX}$, terlebih dahulu dilakukan perhitungan G_{TX} berdasarkan persamaan (II.39) seperti berikut:

$$G_{TX} = 20,4 + 10 \log 0,75 + 20 \log 0,45 + 20 \log 28 = 41,15 \text{ dB}$$

Kemudian dilakukan perhitungan losses lintasan, yang dihitung hanya *free space loss* (FSL) dan redaman hujan tiap persentase waktu. Berdasarkan persamaan (II.40)

$$[FSL] = 92,4 + 20 \log 28 + 20 \log 36000 = 212,46 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses} &= FSL + A_p \\ &= 212,46 + 2,84 = 215,30 \end{aligned}$$

Berdasarkan beberapa perhitungan parameter di atas maka C/N_0 diperoleh :

$$\begin{aligned} \left[\frac{C}{N_0} \right]_u &= [EIRP_{TX}]_u + \left[\frac{GR_x}{T_s} \right]_u - [LOSSES]_u - [k] \\ &= 48,8 + 18 - 215,30 - 10 \log (1,38 \times 10^{-23}) = 80,1 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Dan nilai *Carrier to Noise Ratio* (C/N) dihitung berdasarkan persamaan (II.47) seperti berikut :

$$\left[\frac{C}{N} \right]_u = 80,1 - 10 \log 500 = 53,12 \text{ dB}$$

Downlink

$$\begin{aligned} [FSL] &= 92,4 + 20 \log f + 20 \log d \\ &= 92,4 + 20 \log 17,8 + 20 \log 36000 = 208,53 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses} &= \text{FSL} + A_p \\ &= 208,53 + 1,49 = 210,02 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka C/No diperoleh :

$$\begin{aligned} \left[\frac{C}{N_o}\right]_D &= [EIRP_{Tx}]_D + \left[\frac{GR_x}{T_s}\right]_D - [\text{LOSSES}]_D - [k] \\ &= 68 + 11,5 - 210,02 + 228,6 = 98,08 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Dan nilai *Carrier to Noise Ratio* (C/N) dihitung berdasarkan rumus (II.47) :

$$\left[\frac{C}{N}\right]_D = 98,08 - 10 \log 1000 = 68,08 \text{ dB}$$

Untuk sisi *uplink* diperoleh $\left[\frac{C}{N_o}\right]_u = 80,1 \text{ dBHz}$ dan nilai $\left[\frac{C}{N}\right]_u = 53,12 \text{ dB}$. Kedua

nilai ini sangat baik untuk sistem nilai satelit dalam artian bahwa perangkat VSAT mampu memancarkan sinyal dengan kualitas baik. Begitu pula untuk sisi

downlink dengan $\left[\frac{C}{N_o}\right]_D = 98,08 \text{ dBHz}$ dan nilai $\left[\frac{C}{N}\right]_D = 68,08 \text{ dB}$ dalam hal ini

perangkat mampu menerima sinyal yang dipancarkan oleh satelit WINDS.

IV.4.2 *Energy per Bit to the Spectral Noise Density (Eb/No)*

Uplink

Terlebih dahulu dihitung nilai *symbol rate* sesuai dengan persamaan (II.44) :

$$\begin{aligned} \text{Symbol rate} &= \frac{\text{BW occupied}}{1.2} \\ &= 26,66 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Selanjutnya dari *symbol rate* dan berdasarkan modulasi yang digunakan maka diperoleh *transmission rate* sesuai dengan persamaan (II.42) seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{Transmission rate/bit rate} &= \text{bit per symbol} \times \text{symbol rate} \\ &= 2 \times 26,66 \text{ Mbps} = 53,33 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Selanjutnya besar *data rate* dapat dihitung berdasarkan persamaan (II.42) :

$$\text{Transmission rate} = \frac{\text{Data rate} + \text{Over head}}{\text{FEC code rate}}$$

- *Quadrature Phasa Shift Keying (QPSK)*

$$\begin{aligned} \text{Data rate} + \text{over head} &= \text{Transmission rate} \times \text{FEC code rate} \\ &= 53,33 \text{ Mbps} \times \frac{3}{4} \\ &= 45 \text{ Mbps} \\ \text{Data rate} &= 39,124 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- *8 Phase Shift Keying (8PSK)*

$$\begin{aligned} \text{Data Rate} \times \text{Over Head} &= \text{Transmission Rate} \times \text{FEC code rate} \\ &= 90 \text{ Mbps} \times \frac{3}{4} \\ &= 67.5 \text{ Mbps} \\ \text{Data Rate} &= 66.18 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- *16 Quadrature Amplitudo Modulation (16 QAM)*

$$\begin{aligned} \text{Data Rate} \times \text{Over Head} &= \text{Transmission Rate} \times \text{FEC code rate} \\ &= 120 \text{ Mbps} \times \frac{3}{4} \\ &= 90 \text{ Mbps} \\ \text{Data Rate} &= 88.245 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Pada *Quadrature Phasa Shift Keying* (QPSK), nilai E_b/N_0 diperoleh :

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= C/N_U - 20 \log Tr \\ &= 53,12 - (20 \log 53,33) = 18,58 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Mengkonversi ke dalam *power ratio*:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= 10^{(dB/20)} \\ &= 10^{(18,58/10)} = 72,11 \end{aligned}$$

Pada *8 Phasa Shift Keying* (8PSK), nilai E_b/N_0 diperoleh:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= C/N_U - 20 \log Tr \\ &= 53,12 \text{ dB} - (20 \log 90 \text{ Mbps}) \\ &= 14,03 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Mengkonversi ke dalam *power ratio*:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= 10^{(dB/10)} \\ &= 10^{(14,03/10)} = 25,2 \end{aligned}$$

Pada *16 Quadrature Amplitudo Modulation* (16 QAM), nilai E_b/N_0 diperoleh:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= C/N_U - 20 \log Tr \\ &= 53,12 \text{ dB} - 20 \log (120 \text{ Mbps}) \\ &= 11,5 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Mengkonversi ke dalam *power ratio*:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= 10^{(dB/10)} \\ &= 10^{(11,5/10)} \\ &= 14,1 \end{aligned}$$

Downlink

Sedangkan nilai *transmission rate* untuk *downlink* sama dengan *transmission rate* untuk *uplink*

Pada *Quadrature Phasa Shift Keying* (QPSK), nilai E_b/N_0 diperoleh :

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= C/N_d - 20 \log Tr \\ &= 68,08 - (20 \log 53,33) = 33,5 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Mengkonversi ke dalam *power ratio*:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= 10^{(dB/10)} \\ &= 10^{(33,5/10)} = 2259,7 \end{aligned}$$

Pada *8 Phasa Shift Keying* (8PSK), nilai E_b/N_0 diperoleh:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= C/N_d - 20 \log Tr \\ &= 68,08 \text{ dB} - (20 \log 90 \text{ Mbps}) = 28,9 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Mengkonversi ke dalam *power ratio*:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= 10^{(dB/10)} \\ &= 10^{(28,9/10)} = 776,2 \end{aligned}$$

Pada *16 Quadrature Amplitudo Modulation* (16 QAM), nilai E_b/N_0 diperoleh:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= C/N_d - 20 \log Tr \\ &= 68,08 \text{ dB} - (20 \log 120 \text{ Mbps}) \\ &= 26,49 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

Mengkonversi ke dalam *power ratio*:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= 10^{(dB/10)} \\ &= 10^{(26,49/10)} = 445,6 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk nilai *link avability* 99%-99,5% untuk setiap modulasi Eb/No seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel IV.17 Nilai Eb/No Modulasi terhadap *Link Avability* pada Sisi *Uplink*

Eb/No Modulasi	Link Avability (99%) dB	Link Avability (99,1%) dB	Link Avability (99,2%) dB	Link Avability (99,3%) dB	Link Avability (99,4%) dB	Link Avability (99,5%) dB
QPSK	20,04	19,85	19,61	19,34	19,0	18,58
8 PSK	15,49	15,30	15,06	14,79	14,45	14,03
16 QAM	12,99	12,80	12,56	12,29	11,95	11,53

Tabel IV.18 Nilai Eb/No Modulasi terhadap *Link Avability* pada Sisi Downlink

Eb/No Modulasi	Link Avability (99%) dB	Link Avability (99,1%) dB	Link Avability (99,2%) dB	Link Avability (99,3%) dB	Link Avability (99,4%) dB	Link Avability (99,5%) dB
QPSK	34,32	34,22	34,10	33,95	33,77	33,54
8 PSK	29,77	29,67	29,55	29,40	29,22	28,99
16 QAM	27,27	27,17	27,05	26,90	26,72	26,49

Dari Tabel IV.17 & Tabel IV.18 terlihat bahwa modulasi 16 QAM memiliki nilai Eb/No lebih kecil dibandingkan jenis modulasi yang lain. Hal ini disebabkan karena besar *transmission rate* yang berbeda untuk setiap modulasi. Nilai Eb/No menyatakan perbandingan energi per bit informasi terhadap noise

yang terdapat dalam setiap 1 Hz *bandwidth*. Nilai E_b/N_0 digunakan untuk menentukan nilai BER.

IV.4.3 *Bit Error Rate (BER)*

Untuk *uplink*, nilai BER diperoleh dengan menggunakan persamaan (II.50) untuk modulasi QPSK, persamaan (II.51) untuk modulasi 8PSK, persamaan (II.52) untuk modulasi 16QAM

- *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

$$\begin{aligned} \text{BER}_{\text{QPSK}} &= Q\left(\sqrt{2 \times \frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= Q(\sqrt{2 \times 72,11}) \\ &= Q(12) \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai Q [12] digunakan tabel *Q function* Q[z] maka nilai BER pada tabel Q[z] adalah:

$$\text{BER} = 3,6 \times 10^{-25}$$

- *8 Phase Shift Keying (8-PSK)*

$$\begin{aligned} \text{BER}_{\text{8PSK}} &= Q\left(\sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= Q\left(\sqrt{\frac{2}{3} \times 25,2}\right) \\ &= Q(4,09) \\ &= 2,6 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

- 16 *Quadrature Amplitudo Modulation* (16-QAM)

$$\begin{aligned}
 \text{BER}_{16\text{-QAM}} &= Q \left[\sqrt{\frac{3 \times \left(\frac{E_b}{N_0}\right) \times 4}{15}} \right] \\
 &= Q \left[\sqrt{\frac{3 \times 14,1 \times 4}{15}} \right] \\
 &= Q [3,35] \\
 &= 4,1 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Pada *downlink* dilakukan hal yang sama seperti sisi *uplink* untuk mendapatkan nilai BER.

- *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

$$\begin{aligned}
 \text{BER}_{\text{QPSK}} &= Q \left(\sqrt{2 \times \left(\frac{E_b}{N_0}\right)} \right) \\
 &= Q \left(\sqrt{2 \times 2259,7} \right) \\
 &= Q (67,2)
 \end{aligned}$$

- 8 *Phase Shift Keying* (8-PSK)

$$\begin{aligned}
 \text{BER}_{8\text{PSK}} &= Q \left(\sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{E_b}{N_0}} \right) \\
 &= Q \left(\sqrt{\frac{2}{3} \times 776,2} \right) \\
 &= Q (22,7)
 \end{aligned}$$

- 16 *Quadrature Amplitudo Modulation* (16-QAM)

$$\begin{aligned}
 \text{BER}_{16\text{-QAM}} &= Q \left[\sqrt{\frac{3 \times \left(\frac{E_b}{N_0}\right) \times 4}{15}} \right] \\
 &= Q \left[\sqrt{\frac{3 \times 445,6 \times 4}{15}} \right] \\
 &= Q [18,8]
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk nilai *link availability* 99%-99,5% untuk setiap modulasi BER seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel IV.19 Nilai BER Modulasi terhadap *link availability* pada sisi uplink

BER Modulasi	Link Avability (99%)	Link Avability (99,1%)	Link Avability (99,2%)	Link Avability (99,3%)	Link Avability (99,4%)	Link Avability (99,5%)
QPSK	$6,8 \times 10^{-27}$	$1,2 \times 10^{-27}$	$6,2 \times 10^{-26}$	$3,2 \times 10^{-25}$	$2,8 \times 10^{-25}$	$3,6 \times 10^{-25}$
8 PSK	$1,5 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-6}$	$8,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$
16 QAM	$6,3 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$7,2 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-4}$

Pada Tabel IV.19 terlihat bahwa QPSK memiliki nilai BER yang paling kecil dibandingkan dengan modulasi lainnya. Untuk nilai BER pada sisi *downlink* mempunyai bandwidth yang sangat besar sehingga nilai BERnya semakin kecil mendekati nol.

IV.4.4 Margin

Margin merupakan cadangan daya yang disediakan pada *link* komunikasi agar komunikasi dapat berjalan dengan baik saat terjadi *fading*, khususnya pada frekuensi ini *fading* yang disebabkan oleh hujan. Nilai *margin* dapat dihitung sesuai dengan persamaan (II.53)

Contoh perhitungan nilai *margin* untuk dengan *availability* 99,5% dan modulasi QPSK:

$$\begin{aligned}
 C/N_{\text{required}} &= E_b/N_{0\text{required}} + 10 \log (TR/BW) \\
 &= 4,4 \text{ dB} + 10 \log (60\text{Mbps}/36\text{MHz}) \\
 &= 6,618 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Margin} &= C/N - C/N_{\text{required}} \\
 &= 53,12 \text{ B} - 6,618 \text{ dB} \\
 &= 46,5 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, maka *margin* pada sisi *uplink* dan *downlink* untuk setiap kota sampel dapat dilihat pada tabel IV.20 dan tabel IV.21 berikut:

Tabel IV.20 Nilai *Margin* setiap modulasi terhadap *link avability* pada sisi *uplink*

Margin Modulasi	Link Avability (99%) dB	Link Avability (99,1%) dB	Link Avability (99,2%) dB	Link Avability (99,3%) dB	Link Avability (99,4%) dB	Link Avability (99,5%) dB
QPSK	47,96	47,7	47,5	47,2	46,9	46,5
8 PSK	46,21	46,0	45,78	45,51	45,17	44,75
16 QAM	44,96	44,77	44,53	44,26	43,92	43,5

Tabel IV.21 Nilai *Margin* setiap modulasi terhadap *link avability* pada sisi *downlink*

Margin Modulasi	Link Avability (99%) dB	Link Avability (99,1%) dB	Link Avability (99,2%) dB	Link Avability (99,3%) dB	Link Avability (99,4%) dB	Link Avability (99,5%) dB
QPSK	62,24	62,14	62,02	61,87	61,69	61,46
8 PSK	60,49	60,39	60,27	60,12	59,94	59,71
16 QAM	59,24	59,14	59,02	58,87	58,69	58,46

Pada Tabel IV.21 dan Tabel IV.22 terlihat bahwa nilai margin dengan persentase hujan 99,50% bernilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai margin untuk persentase redaman hujan yang lain. Ini karena perbedaan nilai C/N yang dihasilkan dari setiap persentase redaman. Nilai margin yang rendah sangat menguntungkan dari segi biaya dikarenakan ketersediaan cadangan daya yang kecil.

IV.4.5 Unjuk Kerja BER terhadap E_b/N_0

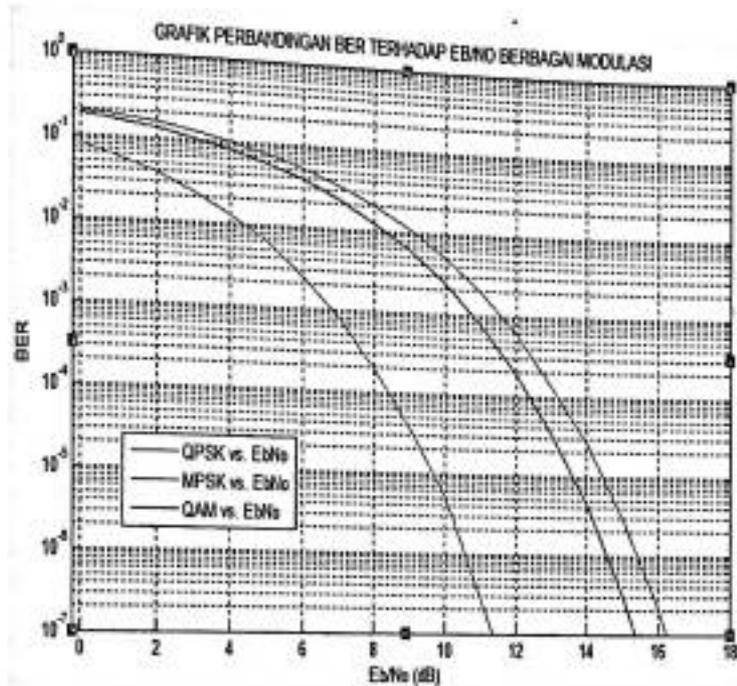
E_b/N_0 adalah ukuran dari *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk sistem komunikasi digital. Hal ini diukur pada masukan penerima dan digunakan sebagai dasar pengukuran seberapa kuat sinyal yang diterima. Berbagai bentuk modulasi BPSK, QPSK, QAM, dan modulasi lainnya memiliki kurva yang berbeda dari tingkat kesalahan bit (BER) terhadap E_b/N_0 .

Unjuk kerja BER terhadap E_b/N_0 menunjukkan perbandingan besar nilai E_b/N_0 terhadap BER yang dihasilkan dari masing-masing modulasi yaitu modulasi QPSK, 8PSK, dan 16QAM. Hal ini dilakukan agar terlihat perbandingan secara jelas antara kinerja BER terhadap E_b/N_0 untuk setiap modulasi dengan persentase redaman hujan yang berbeda seperti yang terlihat pada gambar IV.14 di bawah ini.

Pada gambar IV.14 menunjukkan nilai BER mencapai nilai ideal yakni sebesar 10^{-7} . Dengan nilai BER yang ideal maka dapat dilihat pengaruh E_b/N_0 dari tiap tiap modulasi. Pada gambar di atas terlihat jelas bahwa modulasi QPSK



paling sesuai digunakan dalam komunikasi satelit Ka-Band pada kota Makassar dibandingkan dengan modulasi 8PSK dan 16QAM.



Gambar IV.14 Unjuk Kerja BER terhadap E_b/N_0 dari Modulasi QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, pembahasan, dan simulasi dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Model intensitas hujan berdasarkan hasil analisis perhitungan yang diperoleh untuk wilayah kota Makassar pada frekuensi Ka-band adalah Model Rice-Holmberg
2. Model redaman hujan berdasarkan hasil analisis perhitungan yang diperoleh untuk wilayah kota Makassar pada frekuensi Ka-band adalah Model Dissnayake Allnut and Haidara (DAH)
3. Ka- Band dapat diimplementasikan di Indonesia dengan *availability* sebesar 99,50% dengan syarat menggunakan spesifikasi satelit WINDS dengan frekuensi *uplink* dan *downlinknya* adalah 17,8 GHz dan 28 GHz, berpolarisasi linear, spesifikasi Hub memiliki daya pancar sebesar 13,37 watt, EIRP sebesar 68 dBW dan G/T sebesar 18 dB/k dan spesifikasi USAT yang digunakan memiliki EIRP sebesar 48,8 dBW, diameter antena 0,45 m dan G/T sebesar 11,5 dB/k.
4. Nilai *link budget* dari sisi *uplink* dengan modulasi yang berbeda sebagai berikut:

- $C/N = 53,12$ dBHz
 - $E_b/N_0(\text{QPSK})=18,58$, $E_b/N_0(8\text{PSK}) = 14,03$, $E_b/N_0(16\text{QAM}) = 11,53$
 - $\text{BER}(\text{QPSK}) = 3,6 \times 10^{-25}$, $\text{BER}(8\text{-PSK})= 2,6 \times 10^{-5}$, $\text{BER}(16\text{QAM}) = 4,1 \times 10^{-4}$
5. Nilai *link budget* dari sisi *downlink* dengan modulasi yang berbeda sebagai berikut :
- $C/N = 68,08$ dBHz
 - $E_b/N_0 (\text{QPSK}) = 33,54$, $E_b/N_0 (8\text{PSK}) = 28,99$, $E_b/N_0 (16\text{QAM}) = 26,49$
 - Nilai pada sisi *downlink* mempunyai bandwidth yang sangat besar sehingga nilai E_b/N_0 juga sangat besar hal ini berbanding terbalik dengan nilai BERnya yang semakin kecil dan mendekati nol.
6. Nilai BER yang ideal menunjukkan pengaruh E_b/N_0 pada modulasi QPSK, 8PSK, dan 16QAM. Dari ketiga modulasi tersebut yang sesuai digunakan untuk komunikasi satelit Ka-Band pada kota Makassar adalah modulasi QPSK.
7. Besar nilai redaman hujan mempengaruhi performansi *link* komunikasi satelit khususnya yang bekerja pada frekuensi Ka-band.

V.2 Saran

Adapun saran yang dibutuhkan untuk pengembangan penelitian ini adalah:

1. Diharapkan untuk penelitian tentang model intensitas dan curah hujan dapat dilakukan untuk beberapa titik di Indonesia agar dapat menyusun model yang lebih akurat terutama untuk frekuensi Ka-band
2. Diharapkan penelitian tentang model intensitas dan redaman hujan dapat menggunakan model-model seperti *moupfouma* dan *garcia-lopes*

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Meteorologi dan Geofisika Wilayah IV Sulawesi-Maluku, Penakar Hujan Otomatis, laporan tahun 2008-2010
2. Crane,R.K. *Prediction of Atenuation by Rain, IEEE Transactions on Communications*,Vol.Com-28,No.9.1980
3. Dissanayake, Asoka, Jeremy, Allnut, Fatim Haidara. *A prediction Model that Combines Rain Attenuation and other Propagation Impairments Along Earth Satellite,IEEE Transaction On Antennas And Propagation*,Vol.45,No.10,October.1997
4. Elbert,Bruce R. *Introduction to Satellite Communication*. Artech House.1999
5. Hasanuddin,Z.B. *Experimental Studies on Rain Attenuation in Ku-Band Satellite Channel at Three different Locatin in Kyushu Island Japan*. Disertasi (S3)Kyushu Japan University.2003
6. Ha, Tri T. *Digital Satellite Communication, 2nd Edition*, McGraw-Hill.1990
7. Ippolito Jr, Louis J. *Radiwave Propagation in Satellite Communication*. Van Nostrand. New York.1986
8. Jannah, Miftahul dan Pratama, Githa devi.*Perancangan Link Satelit Broadband pada frekuensi Ka-Band di Indonesia*. Skripsi program studi teknik telekomunikasi jurusan elektro fakultas teknik UNHAS.2011
9. Pratt, Timothy, and Charles W.Bostian. *Satellite Communications, John Willey&Sons*.1986

10. Prabowo, Ari "Perancangan Jaringan VSAT", Universitas Indonesia, Jakarta, 2008.
11. Pamungkas, Wahyu.ST "Diktat Sistem Komunikasi Satelit", Akatel, Purwokerto, 2006.
12. P.B,Marini and A.Ice. *Aplikasi Teknologi VSAT DVB-RCS pada Link Makassar dengan menggunakan NSS 6*. Skripsi Program Studi Teknik Telekomunikasi Jurusan Elektro Fakultas Teknik UNHAS.2007
13. Roddy,Dennis.*Satellite Communication,3rd Edition*.McGraw-Hill.2001
14. Suyuti,Saidah. *Pemodelan Intensitas Hujan R0,01 dan Redaman hujan pada propagasi sistem komunikasi satelit Ku-band*. Tesis program studi teknik telekomunikasi jurusan elektro fakultas teknik UNHAS.2007
15. Simanjuntak,Tiur L.H. *Sistem komunikasi satelit*.PT.Alumni Bandung.2004
16. Salonen,E.T, and J.P.VPoiaries Baptista. *Review of Rainfall Rate Modelling and Mapping*,Climpara'98.Ottawa,Canada.1997
17. Wakana,Hiromitsu.*Winds:Experimental result for Broadband Satellite Communication by NICT*.Japan.2010.