



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS KINERJA TRDMA PADA KOMUNIKASI
MULTIUSER DOWNLINK PADA KANAL HF**

Halimah Mega Mustika
NRP 2212 106 021

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

***PERFORMANCE ANALYSIS OF TRDMA DOWNLINK
MULTIUSER COMMUNICATION ON HF CHANNEL***

Halimah Mega Mustika
NRP 2212 106 021

Supervisors
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**ANALISIS KINERJA TRDMA PADA KOMUNIKASI
MULTIUSER DOWNLINK PADA KANAL HF**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro**

**Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,



Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.

NIP. 1970 11 11 1993 03 1002

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

NIP. 1961 09 03 1989 03 1001



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucap puji syukur kepada Allah, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini dengan berjudul :

ANALISIS KORELASI SPASIAL REDAMAN GELOMBANG RADIO PADA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY* (HF)

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Ibu dan almarhum ayah tercinta serta kakak satu-satunya yang paling saya sayangi yang selalu mendukung dan memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Umay, bu indah, musay, bang roma, bang arip, fanush, mbak mita serta rekan-rekan Lab. Antena & Propagasi ITS yang sudah seperti keluarga kedua di Surabaya yang selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman LJ Genap 2012 luar biasa yang selalu menyemangati, membantu, dan memberikan inspirasi kepada penulis. Terima kasih atas semuanya, moment indah, kebersamaan, berbagai keusilan yang tidak akan pernah terlupakan. Semoga tali silaturahmi kita tidak putus dan tetap kompak.
6. Dan seluruh pihak yang namanya tidak mungkin saya sebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari banyaknya keterbatasan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan.

Semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro bidang Studi Telekomunikasi Multimedia pada khususnya.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

Analisis Kinerja TRDMA pada Komunikasi *Multiuser Downlink* pada Kanal HF

Nama : Halimah Mega Mustika
Pembimbing : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Sistem komunikasi radio *High Frequency* (HF) mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan sistem komunikasi lain yaitu dapat memberikan transmisi jarak jauh, biaya relatif murah serta fleksibel. Karena bandwidth kanal yang digunakan pada sistem komunikasi HF terbatas yaitu pada frekuensi 3-30 MHz, maka dimungkinkan akan berdampak pada terpenuhinya *bandwidth* kanal HF. Oleh karena itu diperlukan metode yang dapat memaksimalkan efisiensi kanal agar kapasitas kanal HF dapat ditingkatkan salah satunya dengan menggunakan metode *Time-Reversal Division Multiple Access* (TRDMA). Pada komunikasi menggunakan teknik TRDMA ini terdiri dari dua fase : fase *recording* dan fase transmisi. Pada penelitian ini digunakan data dari rekomendasi ITU-R P.533 untuk mendapatkan nilai korelasi dari masing – masing lintasan. Yang nantinya akan diperoleh nilai korelasi lintasan yang paling rendah dan paling tinggi, dan lintasan tersebut yang dipakai dalam simulasi penelitian ini. Selanjutnya mencari nilai sinyal pada penerima menggunakan rumus TRDMA. Setelah itu dilakukan perhitungan *Bit Error Rate*(BER) untuk mengetahui kinerja dari TRDMA. Dari hasil pengujian didapatkan data bahwa berdasar ITU-R, pada pukul 5 UTC(GMT+7) atau pukul 12 siang WIB korelasi pada lintasan Surabaya - Merauke dan Surabaya – Pontianak sebesar 0,003 dan BER sebesar 0.00119. Sedangkan pada pukul 23 UTC(GMT+7) atau pukul 6 pagi WIB korelasi pada lintasan Surabaya - Merauke dan Surabaya – Pontianak sebesar 0,0008 dan nilai BER sebesar 0.00052. Maka dapat dikatakan bahwa lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya - Pontianak dapat digunakan sebagai lintasan dalam penggunaan teknik TRDMA karena memiliki nilai korelasi dan nilai BER paling rendah dibanding dengan lintasan yang lainnya.

Kata Kunci : Komunikasi HF, TRDMA, Rekomendasi ITU-R P.533, Korelasi , *Bit Error Rate*.



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Performance Analysis Of TRDMA Downlink Multiuser Communication On HF Channel

Name : Halimah Mega Mustika
Advisors : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

Radio communication system High Frequency (HF) has advantages when compared with other communication systems that can provide long-distance transmission, relatively low cost and flexible. Because the channel bandwidth which used in the HF communication system is limited in frequency of 3-30 MHz, it is possible to be an impact on the fulfillment of the HF bandwidth canal. Therefore, we need a method that can maximize the efficiency of the canal so that the HF channel capacity can be increased by using the Time-Reversal Division Multiple Access (TRDMA). In communication using TRDMA technique consists of two phases: recording phase and transmission phase. This research used data from the ITU-R P.533 to obtain a correlation value of each track. Which will be obtained correlation values track lowest and highest, and the track is used in this research simulation. Next, look for the value of the signal at the receiver using the formula TRDMA. After that, doing the calculation of Bit Error Rate (BER) to determine the performance of TRDMA. From the test results obtained the data that's based on ITU-R, at 5 pm UTC (GMT + 7) or at 12 noon GMT on track correlation Surabaya - Merauke and Surabaya - Pontianak at 0.003 and BER at 0.00119. While at 23 UTC (GMT + 7) or at 6 am GMT on track correlation Surabaya - Merauke and Surabaya - Pontianak at 0.0008 and BER value of 0.00052. So we can say that the track of Surabaya - Merauke and Surabaya - Pontianak can be used as a path in the use of techniques TRDMA because it has a correlation value and lowest BER value compared with other trajectory.

Keywords : Communication HF, TRDMA, Recommendation ITU-R P.533, Correlation, Bit Error Rate.



DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	I
ABSTRACT.....	III
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL.....	XI

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	4
1.7 Relevansi.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio Pada <i>Hgh Frequency (HF)</i>	7
2.2 <i>Komunikasi High Frequency (HF)</i>	8
Karakteristik Lapisan Ionosfer.....	11
2.3.1 Lapisan D.....	11
2.3.2 Lapisan E.....	12
2.3.3 Lapisan F.....	12
2.4 Gangguan Pada Lapisan Ionosfer.....	12
2.4.1 Fading.....	12
2.4.2 <i>Sporadic E</i>	13
2.5 Teknik Multiple Access.....	14
2.5.1 <i>Frequency Division Multiple Access</i> (FDMA).....	14
2.5.2 <i>Time Division Multiple Access</i> (TDMA).....	14
2.5.3 <i>Code Division Multiple Access</i> (CDMA).....	15
2.5.2 <i>Time Reverse Division Multiple Access</i> (TRDMA).....	15
2.6 Model Sistem Komunikasi TRDMA.....	16
2.6.1 Kinerja TRDMA pada sistem komunikasi.....	17

	SISO.....	18
	2.6.2 <i>Recording Phase</i>	18
	2.6.3 <i>Transmission Phase</i>	18
2.7	Rekomendasi ITU-R P.533.....	19
BAB III PERENCANAAN SIMULASI KINERJA TRDMA		
3.1	Pembangkitan sinyal respon impuls.....	22
3.1.1	Cara membangkitkan rrespon impuls kanal dari rekomendasi ITU-R P.533.....	23
3.1.2	ITURHFProp.....	23
3.2	Korelasi respon impuls antar kanal.....	36
3.2.1	Korelasi Spasial.....	36
3.3	Pemodelan sistem TRDMA.....	36
3.3.1	Perhitungan respon impuls sinyal pada TRM.....	37
3.3.2	Perhitungan sinyal yang diterima.....	38
3.3.3	Perhitungan <i>Bit Error Rate</i> (BER).....	38
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS		
4.1	Korelasi Spasial antar Lintasan.....	39
4.1.1	Korelasi antara lintasan keseluruhan.....	40
4.2	Pengujian untuk mendapatkan nilai <i>Bit Error Rate</i> (BER).....	42
4.2.1	Pengujian berdasarkan nilai hasil korelasi.....	43
4.2.2	Pengujian nilai BER berdasarkan variasi setiap 6 jam.....	53
	DAFTAR PUSTAKA	69
	LAMPIRAN A	71
	LAMPIRAN B	91
	LAMPIRAN C	98
	RIWAYAT HIDUP	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Pembagian Pita Frekuensi	10
Tabel 3. 1	Jarak masing- masing Lintasan.....	23
Tabel 3. 2	Parameter Input File.....	24
Tabel 4. 1	Koordinat Lintang dan Bujur.....	39
Tabel 4. 2	Koordinat lintang dan bujur dalam format ddd.dddo.....	40
Tabel 4. 3	Korelasi spasial antara lintasan Surabaya- Merauke (SM) dengan Surabaya – Biak (SB), Surabaya – Pontianak (SP), Surabaya – Kotatabang (SK) , dan Surabaya – Ternate (ST)..	40
Tabel 4. 4	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,003.....	44
Tabel 4. 5	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi 0,388446.....	45
Tabel 4. 6	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,503279.....	48
Tabel 4. 7	Surabaya – Merauke dan Surabaya –Biak dengan korelasi sebesar 0,565628.....	49
Tabel 4.8	Surabaya – Merauke dan Surabaya –Pontianak dengan korelasi sebesar 0,2716	51
Tabel 4. 9	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0,600111.....	52
Tabel 4. 10	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,4110.....	54
Tabel 4. 11	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0.1531.....	55
Tabel 4. 12	Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,0008.....	58
Tabel 4. 13	Surabaya – Merauke dan Surabaya –Biak dengan korelasi sebesar 0.2645.....	59
Tabel 4.14	Surabaya – Merauke dan Surabaya –Biak dengan korelasi sebesar 0.4121.....	61
Tabel 4.15	Surabaya – Merauke dan Surabaya –Pontianak dengan korelasi sebesar 0.0040.....	62
Tabel 4.16	Surabaya – Merauke dan Surabaya –Ternate dengan korelasi sebesar 0.1173.....	63



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	3
Gambar 2.1	Propagasi Gelombang Radio.....	7
Gambar 2.2	Lapisan Ionosfer.....	8
Gambar 2.3	Beberapa mode perambatan gelombang langit(<i>skywave</i>).....	9
Gambar 2.4	Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari.....	11
Gambar 2.5	Ilustrasi dari Sporadic E.....	14
Gambar 2.6	Diagram dari SISO TRDMA sistem multiuser downlink.....	17
Gambar 3.1	Diagram blok simulasi sistem TRDMA.....	21
Gambar 3.2	Lintasan.....	22
Gambar 3.3	Respon Impuls Surabaya – Merauke.....	33
Gambar 3.4	Respon Impuls Surabaya – Kotatabang.....	34
Gambar 3.5	Respon Impuls Surabaya – Ternate.....	34
Gambar 3.6	Respon Impuls Surabaya – Pontianak.....	35
Gambar 3.7	Respon Impuls Surabaya – Biak	35
Gambar 4.1	Hasil Korelasi silang antar lintasan.....	42
Gambar 4.2	Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 5 UTC.....	43
Gambar 4.3	Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 14 UTC.....	47
Gambar 4.4	Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 17 UTC.....	50
Gambar 4.5	Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 11 UTC.....	56

Gambar 4.6	Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 23 UTC.....	57
Gambar 4.7	Pengaruh <i>user</i> terhadap kinerja sistem dengan membandingkan nilai BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak , lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak, lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Ternate pada pukul 5 UTC (GMT+7).....	66
Gambar 4.8	Pengujian dengan variasi setiap 6 jam.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia terdiri dari ribuan pulau yang terbentang dari Sabang hingga Merauke. Namun di saat teknologi telekomunikasi berkembang dengan sangat pesat masih terdapat banyak daerah yang kesulitan dalam mengakses informasi. Untuk itu diperlukan sistem komunikasi dalam menunjang pembangunan daerah terpencil tersebut. Sistem komunikasi radio *High Frequency* (HF) mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan sistem komunikasi lain seperti sistem komunikasi satelit ataupun sistem komunikasi bawah laut. HF memiliki kelebihan dapat memberikan transmisi jarak jauh, biaya rendah, fleksibilitas serta menggunakan frekuensi kanal dengan band 3-30 MHz. Dalam lingkup propagasi, sistem komunikasi HF mampu menjangkau jarak lintasan yang jauh. Selain itu, sistem ini lebih murah dan lebih mudah untuk diimplementasikan bila dibandingkan dengan sistem komunikasi satelit. Sistem komunikasi HF mampu mengirimkan sinyal dengan menggunakan satu atau lebih pantulan pada lapisan ionosfer dengan ketinggian 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi. Hal ini memungkinkan sistem komunikasi HF mampu menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan *repeater*. Gelombang radio yang digunakan tidak memerlukan infrastruktur baru karena hanya menggunakan lapisan ionosfer sehingga tidak dikenakan biaya koneksi. Dengan demikian, salah satu alternatif yang memungkinkan untuk diterapkan adalah sistem komunikasi HF.

Peningkatan penggunaan komunikasi nirkabel antar pengguna seperti suara menggunakan kanal HF akan berdampak terpenuhinya *bandwidth* kanal HF sedangkan kanal HF yang disediakan memiliki *bandwidth* terbatas. Untuk itu perlu metode yang dapat memaksimalkan efisiensi kanal agar kapasitas kanal HF dapat ditingkatkan. Salah satunya dengan menggunakan metode *Time-Reversal Division Multiple Access* (TRDMA). TRDMA memungkinkan untuk menanggulangi ISI yaitu dengan teknik *Time-Reversal* (TR) yang dapat memberikan potensi besar pada komunikasi HF dan mempunyai kompleksitas rendah serta hemat energi [1], dengan memanfaatkan kondisi kanal HF dimana kondisi ini banyak adanya multi-path. Seperti yang ditemukan dalam gelombang akustik di udara dan kemudian kanal yang rendah antara

kedua pemancar dengan penerima divalidasi lebih lanjut dalam lingkungan propagasi bawah air praktis [2], energi gelombang TR akustik dari pemancar dapat memfokuskan kembali terutama di lokasi yang dituju dengan resolusi spasial (tingkat beberapa panjang gelombang) yang sangat tinggi. Sehingga TR tidak memerlukan saluran pengolahan dan pemerataan yang rumit. TRDMA memungkinkan penerima membedakan 2 sinyal dari 2 pemancar yang berbeda dengan memanfaatkan korelasi respon impuls.

1.2 Permasalahan

Penelitian pada tugas akhir ini dilakukan melalui perumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mengaplikasikan TRDMA pada kanal HF.
2. Bagaimana kinerja TRDMA pada kanal HF.

1.3 Batasan Masalah

Pengerjaan tugas akhir ini dibatasi pada hal – hal sebagai berikut:

1. Sistem TRDMA menggunakan antena SISO.
2. Fase recording diharapkan dapat memberikan sinyal yang cocok untuk receiver.
3. Penggunaan kanal pada sistem TRDMA menggunakan kanal HF.
4. Kanal diasumsikan pada link hipotesis antara Merauke, Ternate, Pontianak, Kotatabang, Biak, dengan respon impuls yang diturunkan dari Rekomendasi ITU-R P.533.

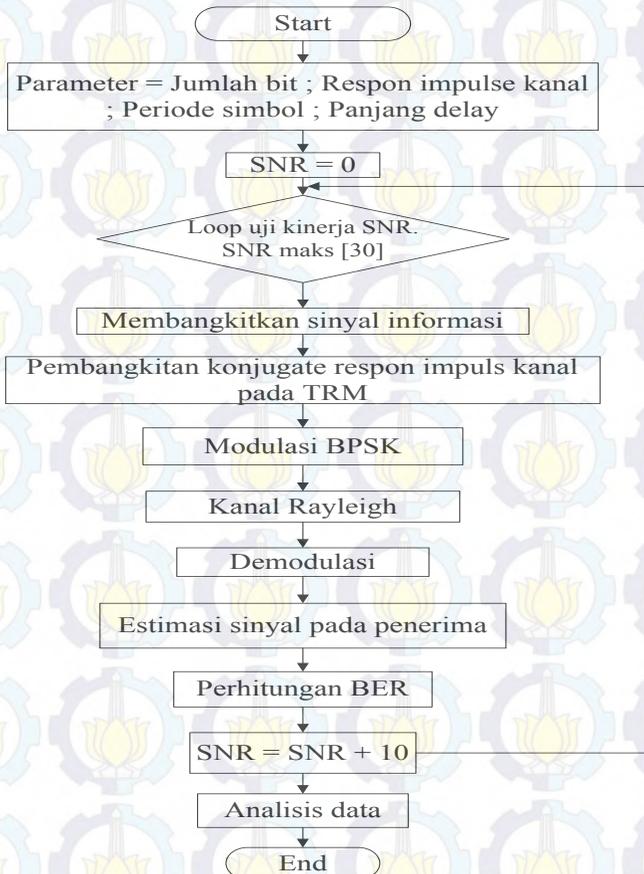
1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

1. Bagaimana cara mengatasi IUI pada kanal HF karena banyaknya user dengan menggunakan TRDMA.
2. Memungkinkan implementasi multiuser pada lingkungan HF.
3. Penerapan TRDMA sebagai dasar kajian awal dari aplikasi HF.
4. Sebagai komunikasi yang mempunyai potensi besar dengan kompleksitas yang rendah dan hemat energi.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi yaitu studi literature, simulasi pemodelan sistem TRDMA menggunakan kanal HF, analisis kerja sistem, serta tahap terakhir yakni penyusunan laporan berupa buku tugas akhir, ditunjukkan pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Pada tahap studi literatur mempelajari mengenai cara kerja serta gangguan yang terjadi pada sistem komunikasi HF. Selanjutnya simulasi pemodelan sistem TRDMA menggunakan kanal HF, dalam simulasi ini pertama dibangkitkan sinyal respon impuls. Dimana sinyal respon impuls tersebut dibangkitkan dengan menggunakan Rekomendasi ITU-R P.533. Selanjutnya dilakukan perhitungan korelasi silang respon impuls antar link yaitu Surabaya-Merauke, Surabaya - Ternate, Surabaya - Biak, Surabaya - Pontianak, Surabaya - Kotatabang untuk mengetahui apakah link pada receiver saling berhubungan atau tidak. Karena syarat utama dari TRDMA yaitu korelasi silang antar link pada receiver harus kecil. Pada tahap selanjutnya, mencari nilai *waveform* (pada fase recording)TRM. Pada fase recording ini diharapkan dapat memberikan sinyal yang cocok untuk receiver. Setelah itu mengukur nilai sinyal pada penerima, untuk mengetahui seberapa besar sinyal pada fase recording yang diterima pada receiver.

Setelah memperoleh nilai sinyal pada penerima maka untuk mengetahui kinerja dari TRDMA tersebut harus dilakukan perhitungan *Bit Error Rate*(BER) . Sehingga akan diketahui berapa banyak bit error yang diterima pada receiver. Hasil dari perhitungan BER tersebut lalu dianalisa untuk mengetahui kinerja dari TRDMA.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, serta relevansinya.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka mengenai karakteristik propagasi gelombang radio HF, komunikasi *High-Frequency* (HF), karakteristik lapisan ionosfer, teknik *multiple access*, rekomendasi ITU-R P.533.

BAB III Perancangan Simulasi Kinerja TRDMA

Bab ini membahas skenario simulasi kinerja TRDMA pada komunikasi multiuser downlink pada kanal HF berdasarkan teori pada bab 2 serta parameter yang akan digunakan dalam pengujian sistem.

BAB IV Pengujian Sistem dan Analisis

Bab ini berisi hasil berupa grafik dan data disertai analisis dari simulasi kinerja yang telah dilakukan.

BAB V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis pada bab 4.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Bagi perusahaan telekomunikasi

Sistem ini dapat dijadikan acuan dalam pemilihan alternatif *link* komunikasi HF jarak jauh di daerah ekuator dengan dampak ESF (*Equatorial Spread-F*) pada sistem komunikasi HF di daerah seperti Indonesia.

2. Bagi masyarakat

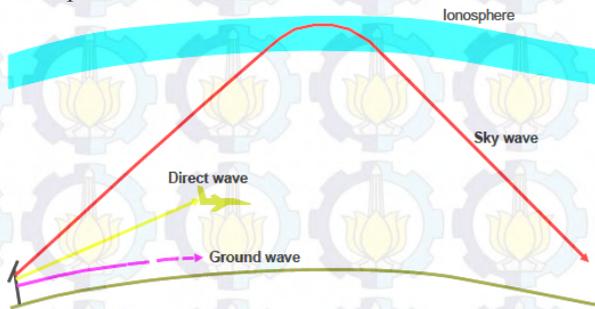
Sebagai komunikasi darurat atau komunikasi alternatif di daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh alat komunikasi apapun.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

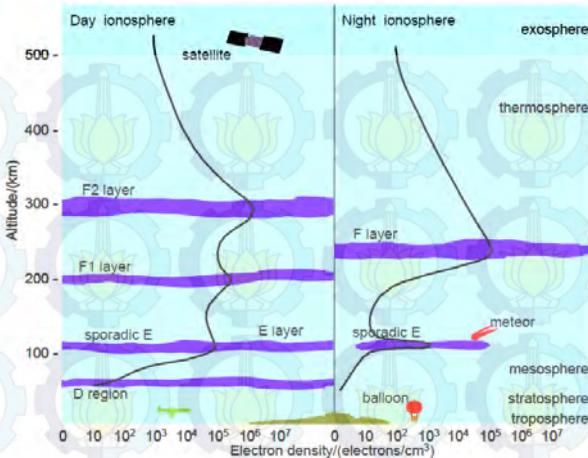
2.1 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio Pada *High Frequency* (HF)

Mekanisme propagasi gelombang radio bermacam-macam, tetapi pada umumnya dikategorikan menjadi tiga, yaitu pantulan, difraksi dan *scattering*. Pantulan terjadi ketika gelombang elektromagnetik merambat kemudian menyentuh objek yang memiliki ukuran sangat besar dibandingkan dengan panjang gelombangnya. Pantulan ini terjadi pada permukaan bumi dan pada bangunan. Sedangkan pada frekuensi tinggi atau daerah HF, yang mempunyai range frekuensi 3 – 30 MHz, gelombang dapat dipropagasikan menempuh jarak yang jauh akibat dari pembiasan dan pemantulan lintasan pada lapisan ionosfer. Pada gelombang radio ditinjau dari perambatannya dibedakan menjadi tiga cara, yaitu gelombang langsung (*direct wave*), gelombang permukaan (*ground wave*) dan gelombang antariksa (*skywave*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Propagasi Gelombang Radio[3]

Lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal, terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, F. Masing-masing lapisan memiliki pengaruh tersendiri terhadap komunikasi radio HF. Pemantulan sinyal terjadi pada lapisan F, dimana pada siang hari lapisan F terbagi menjadi dua, yaitu F1 dan F2. Bahkan pada saat tertentu akan terbagi menjadi lebih dari dua lapisan. Sedangkan pada malam hari, lapisan F yang terbagi tadi akan menjadi satu lapisan[3]. Kondisi pada lapisan ionosfer ini diilustrasikan pada gambar .



Gambar 2. 2Lapisan Ionosfer [4]

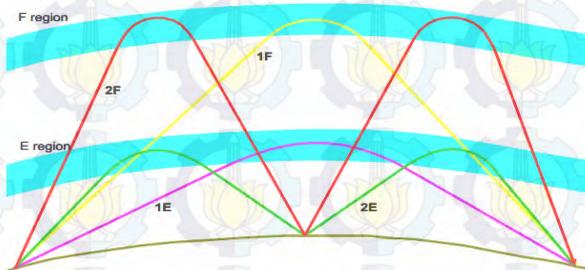
Propagasi gelombang radio HF ditentukan oleh penggunaan frekuensi dan waktu pemantulan pada lapisan ionosfer. Penggunaan frekuensi harus tepat sehingga gelombang radio dapat dipantulkan pada lapisan F dengan baik. Penentuan frekuensi maksimum komunikasi radio dapat menggunakan perumus *secant* dengan mempertimbangkan kelengkungan bumi pada hal ini dikhususkan untuk daerah ekuator.

2.2 Komunikasi High Frequency (HF)

Komunikasi radio *High Frequency* (HF) merupakan komunikasi yang memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan sinyal gelombang radio dengan menggunakan frekuensi kerja 3-30 MHz [5]. Radio komunikasi ini biasanya dipergunakan untuk komunikasi jarak jauh. Pada dasarnya sistem komunikasi HF mempunyai dua sistem propagasi gelombang radio HF, yaitu propagasi dengan *groundwave* dan propagasi dengan menggunakan *skywave*. Sifat gelombang yang memantul sehingga tidak memiliki efek hambatan pada objek, selain itu dengan kemampuan frekuensi dapat memantul pada lapisan *ionosphere* yang jaraknya dapat ditempuh oleh frekuensi tersebut. Hal ini dapat terjangkau jika didukung oleh keadaan cuaca yang bagus. Propagasi gelombang radio HF dengan menggunakan sistem *groundwave* terjadi ketika perambatan gelombang radio dari sisi *transmitter (Tx)* menuju ke

sisi *receiver* (*Rx*) mengalami proses pemantulan oleh objek-objek dari permukaan Bumi seperti gedung, gunung, pepohonan dan lain-lain.

Jarak tempuh propagasi *groundwave* bergantung terhadap kepada konduktifitas, permeabilitas dan topografi permukaan bumi yang dilewatinya. Untuk permukaan datar yang kering jarak jangkauannya hanya beberapa puluh kilometer, sedangkan untuk permukaan berupa lautan jarak jangkauannya bisa mencapai ratusan kilo meter [6]. Sedangkan Propagasi gelombang radio HF dengan menggunakan sistem *skywave* terpancar dari antena pemancar dengan suatu arah yang menghasilkan sudut tertentu dengan acuan permukaan bumi. Dalam perjalanannya, bisa melalui beberapa kali pantulan lapisan ionosfir pada lapisan F2. Propagasi ini mampu menjangkau jarak hingga ribuan kilometer sehingga terkadang disebut juga propagasi jarak jauh [7]. Jalur ini banyak dan bervariasi, sehingga perlu dilakukan “pengarahan”, agar energi terbesar dari gelombang radio yang dipancarkan dapat sampai di sisi penerima dengan tepat. Perambatan mungkin terjadi dengan 1 *hop* (satu kali pantulan dari ionosfer), 2 *hop* (dua kali pantulan dari ionosfer, dengan pantulan dari permukaan bumi di antara keduanya), dan sebagainya, dan mungkin melalui satu atau beberapa lapisan ionosfer. [8]



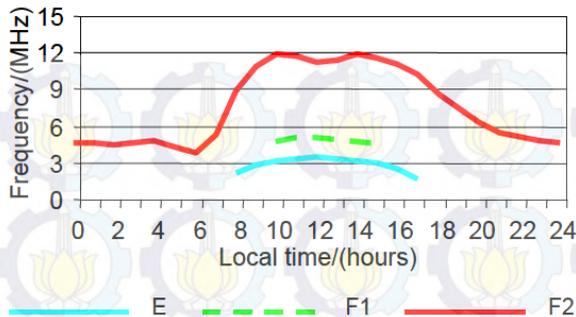
Gambar 2. 3 Beberapa mode perambatan gelombang langit(*skywave*) [3]

Berikut pembagian band spektrum frekuensi radio berdasarkan kesepakatan internasional yang tercantum pada Table 2.1.

Tabel 2. 1 Pembagian Pita Frekuensi [9]

Pita Frekuensi	Rentang Frekuensi
Extremely low frequency (ELF)	< 3 kHz
Very low frequency (VLF)	3 – 30 kHz
Low frequency (LF)	30 – 300 kHz
Medium frequency (MF)	300 kHz – 3 MHz
High frequency (HF)	3 – 30 MHz
Very high frequency (VHF)	30 – 300 MHz
Ultra high frequency (UHF)	300 MHz – 3 GHz
Super high frequency (SHF)	3 – 30 GHz
Extra high frequency (EHF)	30 – 300 GHz

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi komunikasi HF yaitu : ketinggian virtual, frekuensi kritis, dan *Maximum Usable Frequency* (MUF). Karakteristik *Ionosfer* ditentukan dari pengukuran frekuensi kritis dari berbagai lapisan. Metode yang paling umum adalah bahwa di mana pemancar memancarkan vertikal ke atas dalam pulsa pendek[3]. Frekuensi kritis adalah frekuensi tertinggi gelombang radio yang dapat dikirimkan langsung naik ke Ionosfer dan dipantulkan kembali ke permukaan bumi. Frekuensi kritis meningkat pesat setelah Matahari terbit, mencapai maksimum pada saat setelah tengah hari waktu setempat. Ketika pada daerah zona Khatulistiwa, frekuensi kritis akan jauh lebih tinggi [3]. Gelombang radio HF yang dipantulkan kembali kebumi menggunakan frekuensi tertinggi yang sesuai [10]. Frekuensi tertinggi dimana gelombang masih bisa dipantulkan ke bumi dengan jarak tertentu dinamakan Maximum Usable Frequency (MUF). Parameter ini mempunyai nilai rata-rata bulanan tertentu. Secara umum frekuensi pada gelombang radio HF akan meningkat di siang hari dan akan turun pada malam hari. Hal ini disebabkan karena pengaruh radiasi matahari yang memproduksi elektron di lapisan ionosfer meningkat saat siang hari sehingga lapisan D, E, dan F dapat terlihat. Sedangkan pada malam hari, komunikasi hanya terjadi pada lapisan F dengan frekuensi yang akan terus menurun hingga mencapai minimum sebelum fajar tiba, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 4 Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari [4]

2.3 Karakteristik Lapisan Ionosfer

Gelombang ionosfer memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang. Lapisan ini terletak pada ketinggian 50-500 km diatas permukaan bumi. Lapisan ini terbentuk karena adanya radiasi sinar matahari. Perbedaan derajat ionisasi pada lapisan ini menghasilkan pembagian ionosfer ke dalam beberapa lapisan.

2.3.1 Lapisan D

Merupakan lapisan paling bawah dari ionosfer. Lapisan ini mempunyai sifat menyerap gelombang dengan frekuensi rendah serta melewatkan gelombang frekuensi tinggi. Sehingga lapisan D ini tidak efektif dalam pemantulan sinyal radio HF kembali ke bumi. lapisan D memiliki ionisasi maksimum pada siang dan menghilang pada malam hari. Jumlah penyerapan sebanding dengan jumlah tingkat ionisasi lapisan D. Semakin banyak ionisasi, semakin banyak energi gelombang radio yang hilang ketika melewati lapisan D. Penyerapan lapisan D meningkat pesat sesuai dengan besarnya pancaran surya (biasanya terjadi pada siang hari), serta mengganggu komunikasi HF sampai beberapa jam.

2.3.2 Lapisan E

Lapisan E bersifat memantulkan gelombang dengan frekuensi sekitar 20MHz, sebab kondisi ionosfer pada lapisan ini cukup padat dan ionisasi lapisan E juga tidak berlangsung lama.

Tergantung pada frekuensi dan kekuatan lapisan E, suatu sinyal dapat dibiarkan ataupun dapat diteruskan ke lapisan F. Hal ini mengakibatkan propagasi HF yang melalui lapisan E hanya berlangsung pada siang hari, karena pada malam hari ionisasi lapisan ini menyusut.

2.3.3 Lapisan F

Pada siang hari lapisan F terbagi dalam 2 lapisan, yaitu Lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian sekitar 200 Km dan F2 pada ketinggian sekitar 300 Km. Level ionisasi pada lapisan ini sedemikian tinggi dan berubah dengan cepat seiring dengan pergantian siang dan malam. Pada siang hari bagian atmosfer yang paling dekat dengan matahari mengalami ionisasi yang paling hebat, bahkan untuk daerah di sekitar ekuator seperti Indonesia lapisan F pada siang hari terbagi hingga F3. Karena atmosfer di daerah ini sangat renggang, maka penggabungan kembali ion-ion menjadi molekul terjadi sangat lambat (setelah terbenam matahari).

Lapisan F1 tidak memberikan kontribusi banyak untuk komunikasi jarak jauh. Hal ini dikarenakan lapisan ini cenderung bertindak mirip dengan lapisan E. Sedangkan lapisan F2 sangat cocok untuk propagasi radio HF, karena lapisan ini terionisasi relatif konstan setiap saat sehingga selalu ada dalam 24 jam. Sehingga lapisan F2 ini yang dimanfaatkan untuk komunikasi HF karena pada lapisan ini ionisasi sangat padat dan tebal, sangat potensial untuk memantulkan gelombang radio frekuensi tinggi (HF) mulai 3 MHz – 30 MHz.

2.4 Gangguan pada lapisan Ionosfer

Beberapa fenomena sistem komunikasi HF yang dapat mengganggu lapisan ionosfer. Fenomena yang terjadi di lapisan ionosfer disebabkan oleh aktivitas matahari. Fenomena ini dijelaskan sebagai berikut :

2.4.1 Fading

Fading terdiri dari 2 macam, yaitu *fast fading* dan *slow fading*. *Fading* dipengaruhi oleh frekuensi. Pada umumnya, *fast fading* sangat mengganggu pada sistem komunikasi HF disebabkan karena jumlah

noise yang terjadi lebih dari level sinyal yang diterima. *Fading* dapat disebabkan oleh :

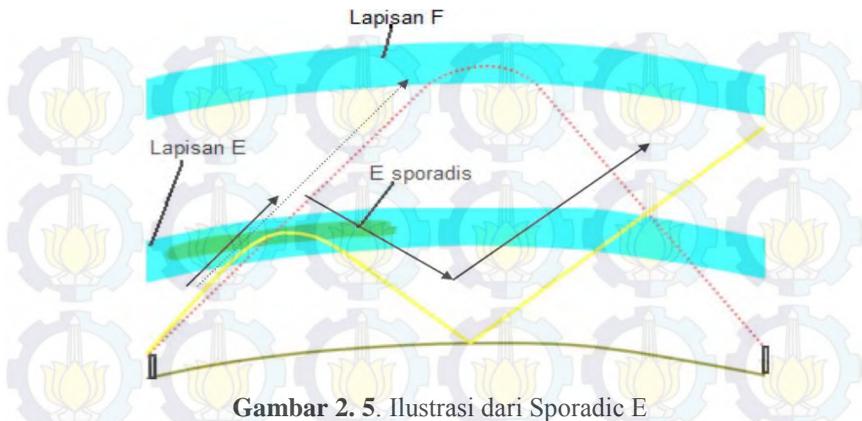
1. Perpindahan lapisan ionosfir dan perubahan propagasi panjang lintasan.
2. Variasi lapisan ionosfir

Hasil *multipath fading* ketika sejumlah mode merambat dari *transmitter* ke *receiver*, yang memiliki variasi pada fasa dan amplitudonya. Sinyal yang diterima oleh penerima merupakan jumlah superposisi dari keseluruhan sinyal yang dipantulkan akibat banyak lintasan (*multipath*). Hal inimenyebabkan kuat sinyal yang diterima oleh penerima akan bervariasi dengan cepat, dan terjadi fenomena sinyal fading cepat (*short term fading*). Fading yang terjadi secara lambat akibat pengaruh efek bayangan dari berbagai halangan disebut fading lambat (*shadowing*). Karakteristik pertama dari medium *multipath* adalah penyebaran waktu atas sinyal yang ditransmisikan melalui kanal. Karakteristik kedua adalah akibat variasi waktu dalam struktur medium. Sebagai hasil dari variasi waktu ini, sifat *multipath* berubah terhadap waktu, sebab jika sinyal pulsa ditransmisikan lagi ,maka terjadi perubahan padarentetan sinyal terima. Variasi waktu muncul tidak dapat diprediksi terhadap pengguna kanal ,sehingga kanal *multipath* berubah terhadap waktu .

2.4.2 Sporadic E

Sporadic E memiliki kerapatan elektron sebanding dengan lapisan F yang berarti dapat mencerminkan jenis frekuensi tinggi yang ditujukan untuk lapisan komunikasi F. Hal ini yang menyebabkan sistem komunikasi HF. Kadang-kadang lapisan sporadic E transparan dan memungkinkan sebagian besar gelombang radio melewati lapisan F. Gangguan yang disebabkan oleh sporadic E ini menyebabkan dimana pengiriman sinyal dari pemancar ke penerima yang seharusnya dipantulkan pada lapisan F, namun karena munculnya sporadic E yang sangat besar sehingga sinyal yang dipantulkan memiliki jarak jangkauan yang berubah sehingga tidak dapat sampai ke penerima.

Sporadic E di-lintang tengah dan lintang rendah kebanyakan terjadi pada siang hari dan sore hari, dan yang lebih menonjol selama musim panas. Di lintang atas, sporadic E cenderung terbentuk pada malam hari [3]. Ilustrasi tersebut dapat digambarkan pada gambar di bawah ini [3]



Gambar 2. 5. Ilustrasi dari Sporadic E

2.5 Teknik Multiple Access

Konsep dasar dari teknik *multiple access* yaitu memungkinkan suatu titik dapat diakses oleh beberapa titik yang saling berjauhan dengan tidak saling mengganggu. Teknik *multiple access* mempunyai arti bagaimana suatu spektrum radio dibagi menjadi kanal-kanal dan bagaimana kanal-kanal tersebut dialokasikan untuk pelanggan sebanyak-banyaknya dalam satu sistem.

2.5.1 *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*

Sistem selular ini menggunakan sistem pengkalan dengan pita 30 kHz setiap kanalnya, sistem ini dikenal sebagai sistem FDMA (Frequency Division Multiple Access). Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular FDMA menggunakan antena berarah dan sistem *reuse frequency* yang rumit. Pada teknik FDMA, lebar pita frekuensi yang dialokasikan dibagi menjadi bagian-bagian kecil spektrum frekuensi. Kemudian setiap user diberi alokasi pita frekuensi tersebut selama melakukan proses percakapan, sehingga dalam waktu yang sama hanya satu user yang dapat menggunakan frekuensi tersebut.

2.5.2 *Time Division Multiple Access (TDMA)*

Untuk lebih meningkatkan kapasitas, digunakan sistem akses jamak digital yang disebut TDMA (Time Division Multiple Access).

Sistem ini menggunakan pengkalan dan reuse frequency yang sama dengan sistem FDMA dengan tambahan elemen time sharing. Setiap kanal dipakai bersama oleh beberapa user menurut slot waktunya masing-masing. Karena itu, aliran informasi pada TDMA tidak kontinu atau terpotong-potong pada tiap time slotnya.

2.5.3 Code Division Multiple Access(CDMA)

Code Division Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknik *multiple access* yang banyak diaplikasikan untuk seluler maupun *fixed wireless*. Teknik akses jamak ini berdasarkan teknik komunikasi spektrum tersebar, pada kanal frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama digunakan kode-kode yang unik untuk mengidentifikasi masing-masing user. CDMA menggunakan kode-kode korelatif untuk membedakan satu user dengan user yang lain. Kode tersebut dikenal dengan pseudo acak (pseudorandom). Sinyal-sinyal CDMA itu pada penerima dipisahkan dengan menggunakan sebuah korelator yang hanya melakukan proses desreading spektrum pada sinyal yang sesuai. Sinyal-sinyal lain yang kodenya tidak cocok, tidak didespread dan sebagai hasilnya sinyal-sinyal lain itu hanya menjadi noise interferensi.

2.5.4 Time Reverse Division Multiple Access(TRDMA)

2.5.4.1 Prinsip Time-Reverse

Time-Reverse Signal Processing adalah teknik untuk memfokuskan gelombang. Dengan memanfaatkan saluran timbal balik, gelombang TR dapat menelusuri jalur masuk, hanya terfokus di lokasi yang dituju, seperti yang biasa disebut efek fokus spasial. TR pada dasarnya memanfaatkan saluran multi-path sebagai fasilitator matched filter untuk penerima yang dituju. Sebuah *Time Reverse Mirror* (TRM) adalah perangkat yang dapat memfokuskan gelombang dengan menggunakan metode *Time Reverse*.

TRM mentransmisikan bidang gelombang yang bergerak menuju sasaran lalu dicerminkan. Gelombang yang dipantulkan kembali ke TRM, tampak seolah-olah target sinyal (lemah) setelah dipancarkan. TRM membalikkan dan mentransmisikan kembali sinyal seperti biasa, dan gelombang lebih terfokus perjalanan menuju sasaran. Karena proses ini diulang, gelombang menjadi lebih dan lebih fokus pada target. Teknik pembalikan waktu didasarkan dari persamaan gelombang yang

dikenal sebagai timbal balik. Teknik pembalikan waktu dapat dimodelkan sebagai *matched filter*. Jika fungsi delta adalah sinyal asli, maka sinyal yang diterima di TRM adalah respon impuls saluran. TRM mengirimkan kembali dengan versi terbalik dari respon impuls melalui saluran yang sama, dengan mengefektifkan autokorelasi. Sinyal yang diterima dalam lingkungan yang kompleks akan mengalami beberapa gangguan seperti refleksi, refraksi, dan hamburan. Ini yang menyebabkan terjadinya waktu tunda (*time delay*).

2.6 Model Sistem Komunikasi TRDMA

Penerapan teknik TRDMA untuk sistem komunikasi multiuser yang terdiri dari pemancar dan N pengguna sebagai penerima. Selain itu, kita mulai merumuskan model saluran. Channel impulse response (CIR) antara pemancar dan penerima dapat ditulis sebagai berikut [1].

$$h_i^{(m)}[t] = \sum_{k=0}^{L-1} h_{i,k} \delta[t - t_k] \quad (2.1)$$

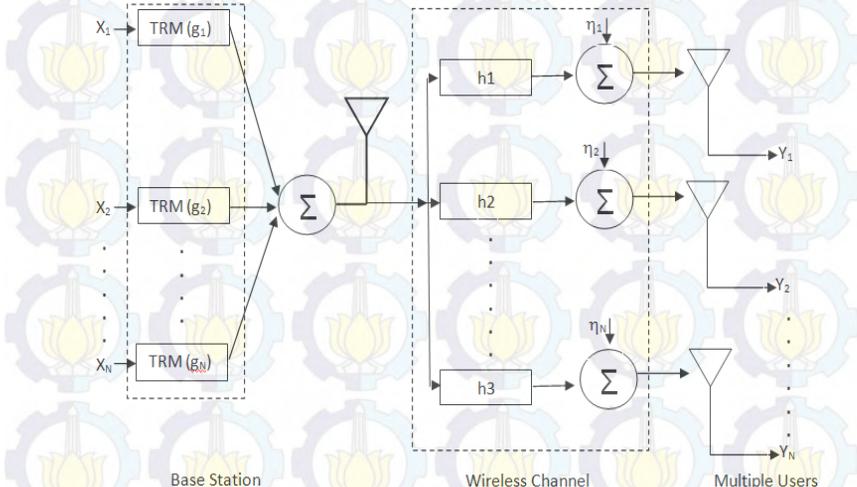
dimana $h_i^{(m)}[t]$ adalah *tap* dari CIR dengan panjang L, $\delta[\cdot]$ adalah fungsi delta, t_k adalah penundaan setiap respon. Diasumsikan bahwa $h_i^{(m)}[t]$ tiap link adalah independen. Dan diasumsikan bahwa CIRs terkait dengan user yang tidak berkorelasi. Disamping itu, ada 2 fasa yang harus di bangun dalam skema komunikasi TRDMA yaitu fase *recording* dan fase transmisi. Sistem komunikasi TRDMA mempunyai syarat tertentu yaitu untuk link pada penerima harus mempunyai korelasi spasial yang kecil agar terhindar dari pengaruh *Inter User Interferensi (IUI)*. Dimana persamaan korelasi spasial dapat dirumuskan sebagai berikut [1] :

$$S_{xy} = \frac{\left| \sum_{l=0}^{L-1} E[x(i)y^*(i)] \right|}{\sqrt{\sum_{m=0}^{L-1} E|x(i).y(j)|^2}} \quad (2.2)$$

2.6.1 Kinerja TRDMA pada sistem komunikasi SISO

Dalam pemrosesan sinyal, operasi *time-reverse* adalah konvolusi dari saluran dengan versi TRnya. TRDMA digunakan sebagai metode akses saluran nirkabel berdasarkan resolusi tinggi spasial efek fokus [2]. Struktur *time-reverse* digunakan dalam sistem downlink multi-user multipath Rayleigh fading, dimana sinyal dari pengguna yang berbeda dipisahkan oleh TRDMA. Hal ini terlihat bahwa sinyal berfokus dalam ruang dan waktu dan mencapai hanya pada penerima yang dituju. Ini adalah sifat khas dari Time-Reversal.

Time-reversal dapat disebut juga *frequency conjugation* dalam domain frekuensi. *Time Reversal Division Multiple Access* ini mempunyai proses teknik pengiriman dua arah, dimana pada komunikasi nirkabel TR *multi-user* ini terdiri dari dua fase yaitu: fase *recording* dan fase transmisi. Pada fase *recording*, pertama-tama *user* mengirimkan respon impuls ke BS. Kemudian TRM pada BS merekam respon impuls dari masing-masing link dan menyimpan *time-reverse* (dan konjugate) yang selanjutnya akan dikirimkan ke fase transmisi. Pada fase transmisi, sinyal yang keluar dari TRM ditambahkan dengan jumlah user yang ada kemudian ditransmisikan ke saluran nirkabel. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Diagram dari SISO TRDMA sistem multiuser downlink [1]

2.6.2 Recording Phase

Pada fase *recording*, N pengguna sebagai penerima memancarkan sebuah sinyal impuls ke transmitter. Diasumsikan memiliki *time reverse mirror (TRM)* pada suatu *transmitter*. Seperti pada gambar, terdapat *transmitter* yang merekam respon saluran setiap link dan menghitung waktu-balik dan versi terkonjugasi setiap saluran respon impuls.

Dalam mengirimkan fasa, suatu sinyal $X_1, X_2 \dots X_N$ adalah merupakan urutan sinyal. Skema ini diasumsikan bahwa X_0 adalah sinyal yang diinginkan, dan sinyal yang lain seperti $X_1 \dots X_N$ adalah sinyal gangguan dari pemancar lain. Pada fase *recording*, pertama, pengguna N akan mengirimkan setiap saluran respon impuls ke pemancar. Kemudian, TRM yang ditunjukkan pada gambar 3.4 mencatat saluran respon impuls dari setiap link dan menyimpan waktu balik dan mengkonjugasi mereka untuk fasa transmisi. Lebih singkatnya, konjugat saluran respon impuls ini dapat ditulis sebagai bentuk gelombang. Output TRM akan digunakan untuk memodulasi waktu - balik gelombang dengan sinyal yang ditransmisikan. Selain itu, kita dapat mengasumsikan bahwa gelombang TRM mencerminkan CIR dan mengabaikan semua gangguan kecil yang disebabkan oleh *noise*. Gelombang TRM dapat dinyatakan sebagai berikut [1]:

$$g_i^{(m)}[t] = h_i^{(m)} * [L - 1 - t] \quad (2.3)$$

2.6.3 Transmission phase

Pada fase *recording*, kita menyimpan gelombang sebagai konjugat CIR. Hasil ini dapat digunakan untuk fase transmisi. Pada tahap ini, dilakukan proses mengirimkan sinyal. Hasil output TRM yang ditulis sebagai $S[t]$ adalah konvolusi sinyal input $X_1 \dots X_N$ dengan sinyal gelombang. Kemudian, sinyal yang keluar dari TRM ditambah dengan jumlah N pengguna yang ada untuk kemudian ditransmisikan ke kanal. Dengan demikian, dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut [1].

$$S[t] = \sum_{i=1}^M (X_i * g_i^{(m)}[t]) \quad (2.4)$$

Persamaan 3.16 adalah output dari TRM. Sekarang, kita dapat menyimpulkan bahwa TRM menyediakan mekanisme untuk lokasi tertentu dari setiap link komunikasi dengan mengkonvolusi sinyal input dengan bentuk gelombang TR. Kemudian, sinyal $S[t]$ ditransmisikan ke setiap saluran.

2.7 Rekomendasi ITU-R P.533

Rekomendasi ini mengenai *Method For Prediction of The Performance of HF Circuit* membahas mengenai metode untuk prediksi ketersediaan frekuensi, level sinyal yang diterima dan prediksi keandalan dari suatu modulasi digital dan analog pada komunikasi *High Frekuensi*, dengan tidak hanya mempertimbangkan *Signal to noise ratio* (SNR) tetapi juga perkiraan waktu dan penggunaan frekuensi pada suatu *channel* [11].

Rekomendasi ini digunakan untuk prediksi propagasi gelombang langit (*skywave*) pada frekuensi antara 2-30 MHz. Rekomendasi ini berlaku untuk jarak lintasan hingga 7000 Km, jarak lintasan lebih dari 9000 Km, dan lintasan yang memiliki jarak antara 7000-9000 Km.

Dalam rekomendasi terdapat beberapa parameter yang ditentukan diantaranya *Mothly median Basic MUF*, kuat medan untuk *sky-wave*, dan besarnya daya terima dari redaman antenna penerima. Metode yang digunakan dalam rekomendasi ini sudah mencakup estimasi parameter penggunaan kanal dari prediksi atau performansi sistem komunikasi digital. Metode ini digunakan untuk penilaian kehandalan suatu lintasan.

Untuk daerah katulistiwa ketika malam hari (waktu setempat) memungkinkan terjadi distorsi karena ketidakstabilan dari struktur lapisan ionosfer, yang mana dalam rekomendasi ini distorsi yang terjadi tidak sepenuhnya diperhitungkan pada metode ini. Mode propagasi yang di prediksi dalam rekomendasi ITU-R P.533-12 untuk jarak lintasan mencapai 7000 Km adalah 1E,2E,3E dan 1F2, 2F2, 3F2, 4F2, 5F2, dan F2.

Contoh perhitungan redaman lintasan HF pada mode 1F dengan rekomendasi ITU-R P.533 adalah sebagai berikut. Misalnya ada pada link Surabaya – Merauke pada bulan Januari pukul 1 UTC (GMT) pada frekuensi 7 MHz. Dimana besarnya daya *transmitter* (P_t) yang digunakan dalam simulasi sebesar 30 watt atau sebesar -15.23 dB sesuai dengan parameter yang diinputkan. Dan besarnya median power receive (P_r) diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$P_r = 10 \log_{10} \sum_{w=1}^N 10^{\frac{P_{rw}}{10}} \quad (2.5)$$

Sehingga rumus redaman dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Redaman} = P_t - P_r \text{ (dB)} \quad (2.6)$$

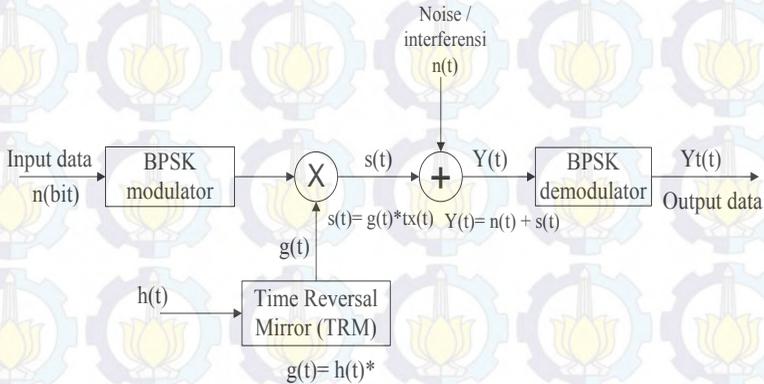
Hasil dari perhitungan diatas adalah :

$$\begin{aligned} \text{Redaman} &= -15.23 \text{ dB} - (-307) \text{ dB} \\ &= 291.77 \text{ dB} \end{aligned}$$

Pada metode penelitian yang digunakan, perhitungan dilakukan dengan bantuan software ITURHFProp yang akan dijelaskan pada bab 3.

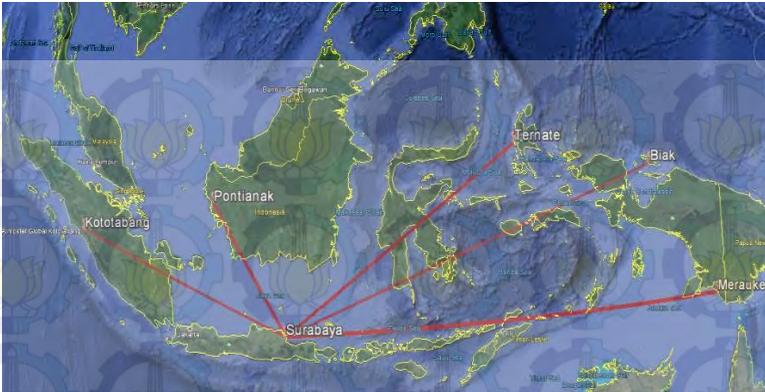
BAB III PERENCANAAN SIMULASI KINERJA TRDMA

Pada bab ini akan diuraikan mengenai pemodelan sistem TRDMA pada lintasan gelombang *High Frequency (HF)*. Secara garis besar langkah-langkah perancangan simulasi kinerja sistem komunikasi TRDMA pada kanal HF telah diperlihatkan pada gambar 1.1. Pada gambar 3.1 berikut merupakan gambar diagram blok dari simulasi TRDMA.



Gambar 3. 1 diagram blok simulasi TRDMA

Pada penelitian ini akan simulasi kinerja dari TRDMA antar lintasan. Dimana simulasi ini berdasarkan pada jarak spasial antar lintasan. Lintasan yang digunakan yaitu pada lintasan Surabaya(*source*)– Merauke (*destination*) dengan lintasan Surabaya ke beberapa titik *user/receiver* diantaranya Kototabang, Pontianak, Ternate, dan Biak. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Lintasan

Pada penelitian ini akan dibandingkan korelasi antar link dengan mencari korelasi silang pada masing-masing link yang berbeda. Sehingga akan didapat nilai korelasi yang paling rendah dan yang paling tinggi lalu dibandingkan. Maka nanti akan diperoleh kinerja dari TRDMA untuk setiap link lintasan yang berbeda. Pada pembahasan bab ini, parameter yang digunakan untuk mendapatkan korelasi untuk setiap link yaitu berdasarkan Rekomendasi ITU-R P.533.

3.1 Pembangkitan sinyal respon impuls

Sebelum merancang sebuah komunikasi kita harus mengetahui dulu karakteristik kanal saluran yang digunakan. Pada sistem TRDMA SISO ini antara Tx dan Rx diasumsikan menggunakan kanal respon impuls. Pada propagasi gelombang radio HF sinyal dipancarkan dari Tx menuju ke Rx dipantulkan melalui lapisan ionosfer. Dalam perjalanannya, sinyal tersebut mengalami beberapa kali pantulan pada lapisan ionosfir tergantung keadaan lapisan dan panjang lintasan yang ditempuh. Pantulan ini menyebabkan delay yang diterima berbeda-beda pada setiap respon impuls. Berdasarkan pada sub bab 2.7.1, pada penelitian ini diasumsikan frekuensi yang digunakan sebesar 7MHz. Pita frekuensi yang digunakan dalam proses pengukuran ini adalah frekuensi radio amatir dan dapat digunakan oleh semua orang.

3.1.1 Cara membangkitkan respon impuls kanal dari rekomendasi ITU-R P.533

Pada simulasi pembangkitan respon impuls kanal dilakukan pada setiap lintasan. Lintasan yang digunakan adalah lintasan Surabaya – Merauke, Surabaya – Ternate, Surabaya – Biak, Surabaya – Pontianak, Surabaya – Kototabang. Jarak dari masing – masing lintasan ditunjukkan pada Tabel 3.1 . Besarnya jarak diperoleh dari selisih posisi lintang dan bujur dari lokasi *transmit* ke *receiver*.

Tabel 3. 1 Jarak masing- masing Lintasan

Lintasan	Jarak (Km)
Surabaya – Merauke	3042.432
Surabaya – Biak	2669.087
Surabaya – Ternate	1844.698
Surabaya – Pontianak	890.069
Surabaya – Kototabang	1521.071

Pada simulasi ini , semua lintasan dioperasikan pada frekuensi 7 MHz dan jenis antena yang digunakan dalam simulasi ini adalah antena isotropis pada sisi *transmit* dan *receive*. *Software* yang digunakan untuk membangkitkan sinyal respon impuls ini adalah *software ITURHFProp*.

3.1.2 ITURHFProp

ITURHFProp merupakan *Software* yang digunakan untuk menentukan prediksi dari performansi komunikasi *High Frequency* yang mengacu pada rekomendasi ITU-R P.533.

3.1.2.1 Pengoperasian Software ITURHFProp

Program ini menggunakan *command prompt* (CMD) pada pengoperasiannya. Sebelum mengoperasikan program ITURHFProp , terlebih dahulu mengetahui format untuk mengeksekusi program. Format yang digunakan dalam *command prompt* adalah sebagai berikut :

```
TURHFProp [Options] [Input File] [OutputFile]
```

Didalam menu “Options” terdapat tiga pilihan menu diantaranya :

-s Silent Mode = menu untuk menampilkan apabila pesan apabila terjadi erropada saat *running* program.

- h Help = menu untuk memunculkan bantuan.
- v Version = Menu untuk menampilkan versi dari program ITURHFProp() and P533().

Untuk menu “Input File”, Merupakan nama file dengan ekstensi *.in* sebagai nama input file yang akan diproses.

Untuk menu “Output File”, Merupakan nama file dengan ekstensi *.out* sebagai nama output file. Awalnya file ini merupakan file kosong dengan ekstensi *.out*, hasil running program akan dimasukkan ke dalam file ini. Jika tidak ada nama output file maka hasil running program akan diberi nama secara default dari software ITURHFProp dan selanjutnya akan disimpan dalam file direktori *.\Report*.

3.1.2.2 Input File

Input file berisi parameter yang digunakan untuk mendapatkan prediksi dari performansi komunikasi High Frekuensi ditunjukkan pada Tabel 3.2. Dalam hal ini, respon impuls pada lintasan Surabaya – Merauke pada bulan Januari dengan Frekuensi 7MHz.

Tabel 3. 2 Parameter Input File

Parameter	Nilai
PathTXName	"SBY"
Path.L_tx.lat	-7.28492
Path.L_tx.lng	112.7932
TXAntFilePath	"ISOTROPIC"
TXGOS	0.0
PathRXName	"MERAUKE"
Path.L_rx.lat	-8.49606
Path.L_rx.lng	140.39455
RXAntFilePath	"ISOTROPIC"
RXGOS	0.0
AntennaOrientation	"TX2RX"
Path.year	2014
Path.month	1
Path.hour	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24 //UTC

Path.SSN	30
Path.frequency	7.0325
Path.txpower	-15.23 // 0.03 kW
Path.BW	50000.0
Path.SNRr	-30.0
Path.Relr	13
Path.ManMadeNoise	"RURAL"
// Digital modulation	
Path.Modulation	"DIGITAL"
Path.SIRr	0.0
Path.A	5.0
Path.TW	40.0
Path.FW	5.0
Path.T0	8.0
Path.F0	3.3
Path.SorL	"SHORTPATH"
//Output Specification	
RptFilePath	"c:\provide full path to\Reports\"
RptFileFormat	"RPT_DUMPPATH"
LL.lat	-8.49606
LL.lng	140.39455
LR.lat	-8.49606
LR.lng	140.39455
UL.lat	-8.49606
UL.lng	140.39455
UR.lat	-8.49606
UR.lng	140.39455
//Lat and Long increment	
latinc	0.000001
lnginc	0.000001
// DataFilePath is the base location of the Antenna, Coeff, P.1239 and IonMap files	

DataFilePath	"c:\provide full path to\Data\"
--------------	---------------------------------

3.1.2.3 Output File

Salah satu output dari hasil running program dengan data input yang digunakan dapat ditunjukkan pada bagian dibawah ini. Salah satu output yang ditampilkan adalah seluruh parameter pada bulan Januari pukul 1 waktu GMT atau pukul 09.00 (GMT+8). Dikonversi kedalam GMT+8 atau WITA karena waktu tengah antara Surabaya dan Merauke.

Dari sekian banyak parameter yang diperoleh dari program ITURHFProp, parameter yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah *delay* dan *Receiver power*.

```

-----
International Telecommunications Union
Radiocommunication Sector (ITU-R)
ITURHFProp Ver 09.13.1.1 - HF Model Ver
P.533- 12 09.13.1.1
Analysis Prepared Sat May 10 08:16:55 2014
-----
*****
*DumpPathData - p533() Path data structure*
*****
*****
*      Input Parameters      *
*****
SBY - Merauke
Month = January
Hour = 1 (hour UTC)
SSN (R12) = 30
Tx power = -15.230 (dB(1kW))
Tx Location SBY
Tx latitude= -0.127 (-7.285) [-7 17 5]
Tx longitude = 1.969 ( 112.793) [ 112 47 35]
Rx Location MERAUKE
Rx latitude= -0.148 (-8.496) [-8 29 45]
Rx longitude = 2.450 (140.395) [ 140 23 40]
local time Rx = 10 (hour UTC)
local time Tx = 8 (hour UTC)
Frequency = 7.032 (MHz)

```

```

Bandwidth = 50000.000 (Hz)
Short or Long Path = Short
Modulation = DIGITAL
Required signal-to-noise ratio = -30.000
Required signal-to-interference ratio = 0.000
Man-made noise = RURAL
Frequency dispersion for simple BCR
(F0) = 3.300 (Hz)
Time spread for simple BCR (T0)
= 8.000 (mS)
Required Amplitude ratio (A)
= 5.000 (dB)
Time window = 40.000 (mS)
Frequency window = 5.000 (Hz)
Antenna configuration: Transmitter main beam
to receiver main beam
Transmit antenna ISOTROPIC
Transmit antenna bearing = 1.647917
Transmit antenna gain offset =
0.000000
Receive antenna ISOTROPIC
Receive antenna bearing = 4.722090
Receive antenna gain offset = 0.000000
*****
*Calculated Parameters*
*****
*****Distances (Km)*****
distance = 3042.432
slant range = 5494.971
dmax = 4000.000
*****
Maximum Usable Frequencies (MHz) *****
basic MUF = 20.914
10% MUF = 25.097
50% MUF = 20.914
90% MUF = 15.476
Operational MUF = 25.097
10% OPMUF = 30.116
90% OPMUF = 18.571

```

```

****Lowest Order and Dominant Mode****
lowest order F2 layer mode = 1
lowest order E layer mode = 2
Dominant mode: E layer mode 2
*****Season *****
season = Winter
*Field Strength(dB(1 uV/m))and Rx Power dBW*
Field Strength(7000km > D) = 0.873
Field Strength(7000km < D < 9000km)=-307.000
Field Strength (D > 9000 km) =-307.000
Median Rx power = -119.085
*****ElevationAngle(degs)*****
Elevation angle = 4.730
*****Noise Parameters(dB)*****
Atmospheric noise upper decile = 8.835
Atmospheric noise lower decile = 8.437
Atmospheric noise =46.177
Man made noise upper decile = 9.200
Man made noise lower decile = 4.600
Man made noise =43.735
Galactic noise upper decile = 2.000
Galactic noise lower decile = 2.000
Galactic noise = 32.516
Total noise upper decile = 7.858
Total noise lower decile = 7.645
Total noise =48.103

*****SNR Parameters (dB) *****
Monthly median resultant signal-to-noise
ratio = -11.399
Upper decile deviation signal-to-noise ratio
= 10.108
Lower decile deviation signal-to-noise ratio
= 14.381
Signal-to-noise exceeded for 13% of the
month = 6.189
***** SIRParameters (dB) *****
Signal-to-interference ratio = 21.163

```

```

Upper decile deviation of the signal-to-
interference ratio = 9.434
Lower decile deviation of the signal-to-
interference ratio = 9.434
*****Reliability Parameters (%)*****
Basic Circuit Reliability = 95.118
Multimode Interference = 100.000
Overall Circuit Reliability without
scattering = 95.118
Overall Circuit Reliability with scattering
= 95.118
Probability of scattering = 0.000
Probability required SNR is achieved
= 95.118
Probability required time spread T0 is not
exceeded = 0.000
Probability required frequency spread f0 is
not exceeded = 0.000
*****
* F2 Mode 1 *
*****
basic MUF = 20.914 (MHz)
10% MUF = 25.097 (MHz)
50% MUF = 20.914 (MHz)
90% MUF = 15.476 (MHz)
OPMUF = 25.097 (MHz)
10% OPMUF = 30.116 (MHz)
90% OPMUF = 18.571 (MHz)
Fprob = 100.000 (%)
Lower decile = 0.740
Upper decile = 1.200
E Layer Screen Frequency = 13.149 (MHz)
Basic Loss (< 7000 km) = 307.000 (dB)
Median Field Strength = -307.000
(dB(1 uV/m))
Receiver Power = -307.000 (dBW)
Delay = 10.078 (mS)
Elevation angle = 0.000 (degs)
Reflection height = 467.199 (km)

```

```

Receiver Gain = -307.000 (dBi)
*****
*                               F2 Mode 2                               *
*****
basic MUF    = 16.000 (MHz)
10% MUF     = 19.201 (MHz)
50% MUF     = 16.000 (MHz)
90% MUF     = 11.840 (MHz)
OPMUF       = 19.201 (MHz)
10% OPMUF   = 23.041 (MHz)
90% OPMUF   = 14.208 (MHz)
Fprob       = 100.000 (%)
Lower decile = 0.740
Upper decile = 1.200
E Layer Screen Frequency = 7.199 (MHz)
Basic Loss (< 7000 km) = 307.000 (dB)
Median Field Strength = -307.000
(dB(1 uV/m))
Receiver Power = -307.000 (dBW)
Delay          = 10.634 (mS)
Elevation angle = 0.000 (degs)
Reflection height = 419.426 (km)
Receiver Gain = -307.000 (dBi)
*****
*                               F2 Mode 3                               *
*****
basic MUF    = 12.961 (MHz)
10% MUF     = 15.553 (MHz)
50% MUF     = 12.961 (MHz)
90% MUF     = 9.591 (MHz)
OPMUF       = 15.553 (MHz)
10% OPMUF   = 18.664 (MHz)
90% OPMUF   = 11.510 (MHz)
Fprob       = 100.000 (%)
Lower decile = 0.740
Upper decile = 1.200
E Layer Screen Frequency = 5.411 (MHz)
Basic Loss (< 7000 km) = 152.713 (dB)
Median Field Strength = -14.400

```

```

(dB(1 uV/m))
Receiver Power      = -138.543 (dBW)
Delay              = 11.801 (mS)
Elevation angle    = 33.492 (degs)
Reflection height   = 403.502 (km)
Receiver Gain      = 0.000 (dBi)
*****
*                  F2 Mode 4                  *
*****
basic MUF          = 11.320 (MHz)
10% MUF           = 13.584 (MHz)
50% MUF           = 11.320 (MHz)
90% MUF           = 8.377 (MHz)
OPMUF             = 13.584 (MHz)
10% OPMUF        = 16.300 (MHz)
90% OPMUF        = 10.052 (MHz)
Fprob             = 100.000 (%)
Lower decile      = 0.740
Upper decile      = 1.200
E Layer Screen Frequency = 4.609 (MHz)
Basic Loss (< 7000 km) = 156.064 (dB)
Median Field Strength = -17.752
(dB (1 uV/m))
Receiver Power      = -141.894 (dBW)
Delay              = 13.262 (mS)
Elevation angle    = 42.146 (degs)
Reflection height   = 395.540 (km)
Receiver Gain      = 0.000 (dBi)
*****
*                  F2 Mode 5                  *
*****
basic MUF          = 10.378 (MHz)
10% MUF           = 12.454 (MHz)
50% MUF           = 10.378 (MHz)
90% MUF           = 7.680 (MHz)
OPMUF             = 12.454 (MHz)
10% OPMUF        = 14.944 (MHz)
90% OPMUF        = 9.216 (MHz)

```

```

Fprob          = 100.000 (%)
Lower decile   = 0.740
Upper decile   = 1.200
E Layer Screen Frequency = 4.179 (MHz)
Basic Loss (< 7000 km) = 160.696 (dB)
Median Field Strength = -22.384
(dB(1 uV/m))
Receiver Power = -146.526 (dBW)
Delay          = 14.915 (mS)
Elevation angle = 48.854 (degs)
Reflection height = 390.763 (km)
Receiver Gain = 0.000 (dBi)
*****
*              F2 Mode 6              *
*****
basic MUF      = 9.799 (MHz)
10% MUF        = 11.759 (MHz)
50% MUF        = 9.799 (MHz)
90% MUF        = 7.251 (MHz)
OPMUF          = 11.759 (MHz)
10% OPMUF     = 14.111 (MHz)
90% OPMUF     = 8.701 (MHz)
Fprob          = 100.000 (%)
Lower decile   = 0.740
Upper decile   = 1.200
E Layer Screen Frequency = 3.921 (MHz)
Basic Loss (< 7000 km) = 165.999 (dB)
Median Field Strength = -27.687
(dB(1 uV/m))
Receiver Power = -151.829 (dBW)
Delay          = 16.702 (mS)
Elevation angle = 54.110 (degs)
Reflection height = 387.578 (km)
Receiver Gain = 0.000 (dBi)

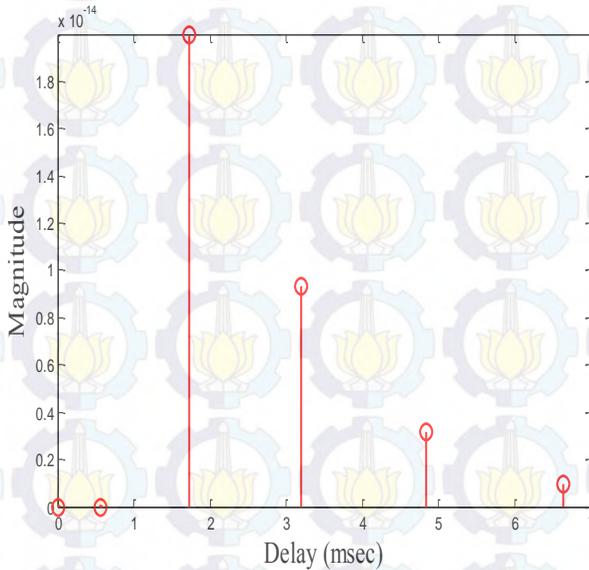
```

Hasil perhitungan redaman lintasan 1F atau F2 mode 1 dari software diatas adalah :

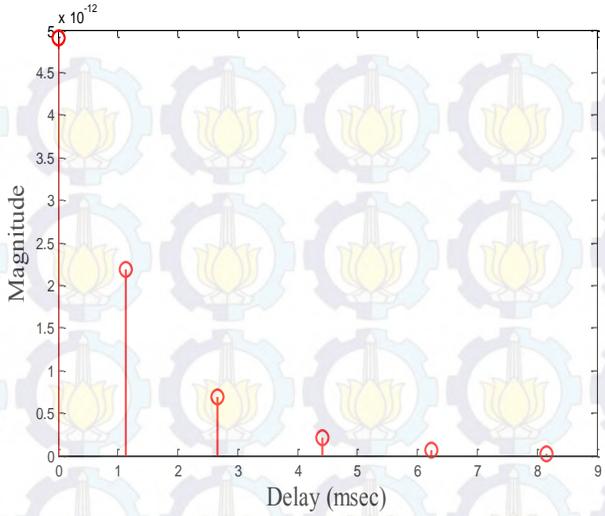
$$\begin{aligned}
\text{Redaman} &= P_t - P_r \text{ (dB)} \\
\text{Redaman} &= -15.23 \text{ dB} - (-307) \text{ dB} \\
&= 291.77 \text{ dB}
\end{aligned}$$

sesuai dengan hasil perhitungan pada sub bab 2.7

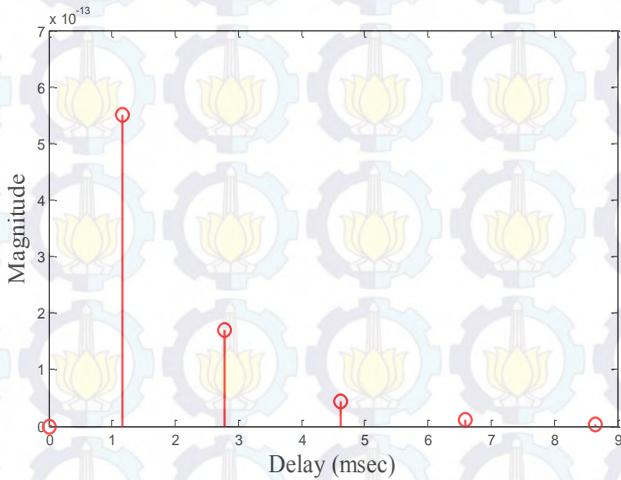
Setelah mendapatkan parameter dari *Output File* program ITURHFProp, maka berdasarkan persamaan 2.1, bentuk sinyal respon impuls untuk masing – masing link dapat dibangkitkan seperti pada gambar 3.3 sampai gambar 3.7.



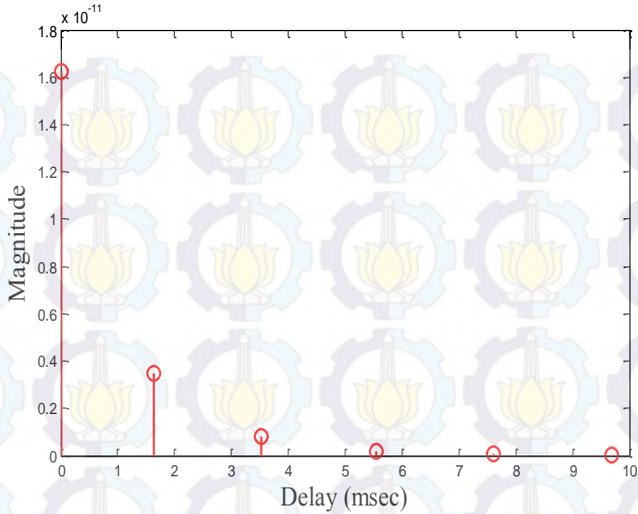
Gambar 3. 2 Respon Impuls Surabaya - Merauke



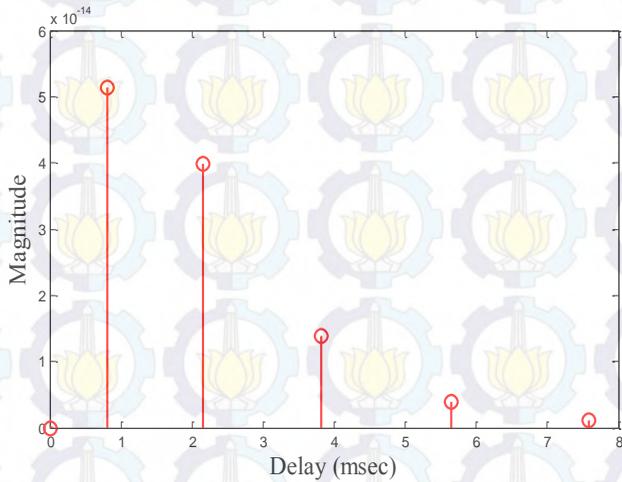
Gambar 3. 3 Respon Impuls Surabaya-Kotatabang



Gambar 3. 4 Respon Impuls Surabaya-Ternate



Gambar 3. 5 Respon Impuls Surabaya-Pontianak



Gambar 3. 6 Respon Impuls Surabaya-Biak

3.2 Korelasi respon impuls antar kanal

Pada penelitian menggunakan metode TRDMA untuk sistem *downlink* ini lokasi Tx/BTS berada di Surabaya, sedangkan Rx/user berada di Merauke, Biak, Ternate, Pontianak, Kotatabang.

3.2.1 Korelasi spasial

Pada langkah pertama, mencoba untuk menganalisis hubungan antara masing-masing saluran yang dapat digunakan sebagai hipotesis awal untuk dapat menerapkan teknik keragaman dalam saluran HF.

Syarat dari metode TRDMA adalah nilai korelasi antar kanal sangat kecil. Sehingga untuk menentukan hubungan antara link saluran HF, dapat menggunakan persamaan berikut untuk menganalisis hubungan spasial antara dua link saluran HF.

$$S_{xy} = \frac{\left| \sum_{l=0}^{L-1} \text{Re}[x(l)y^*(l)] \right|}{\sqrt{\sum_{m=0}^{L-1} |x(m)|^2 \sum_{n=0}^{L-1} |y(n)|^2}} \quad (3.1)$$

Dengan :

S_{xy} = Korelasi spasial

x = Link penerima 1

y = Link penerima 2

$()^*$ = Operasi konjugasi

Data spasial memuat suatu informasi lokasi yang memiliki ketergantungan antar lokasi. Data spasial mengindikasikan terdapatnya ketergantungan antara pengukuran data dengan lokasi pengamatan atau sering disebut efek spasial.

Persamaan (3.1) berbeda dengan persamaan (2.2) yang digunakan dalam [1] dengan maksud untuk mendapatkan nilai korelasi yang lebih kecil antar respon impuls kanal yang berbeda.

3.3 Pemodelan sistem TRDMA

Diagram blok sistem TRDMA ditunjukkan pada gambar 2.6. Berdasarkan pada sub bab 2.6.2 dan 2.6.3 bahwa TRDMA mempunyai dua fase pemrosesan sinyal, yaitu fase *recording* dan fase transmisi.. Dalam fase *recording* terdapat perangkat *Time Reverse Mirror* (TRM)

yang berfungsi untuk memfokuskan gelombang dengan menggunakan metode *Time Reverse*.

3.3.1 Perhitungan respon impuls sinyal pada TRM

Setelah didapatkan nilai korelasi spasial link yang paling rendah (syarat utama TRDMA), maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari TRM. Link yang memiliki korelasi paling rendah dan yang paling tinggi dijadikan sebagai link acuan dalam simulasi percobaan ini. Dalam menghitung rasio untuk mendapatkan nilai respon impuls digunakan persamaan sebagai berikut.

$$n = \left\lfloor \frac{T_m}{T_b} \right\rfloor \quad (3.2)$$

Dengan :

n = nilai rasio

T_m = Panjang delay

T_b = Periode bit / periode sample

Diasumsikan nilai Bit rate (R_b) adalah :

Bit rate(R_b)	Periode bit (T_b) = Periode sample
1Kbps	1 ms

Setelah didapatkan nilai rasio maka nilai respon impuls dapat diperoleh dengan persamaan.

$$h(n) = \sum_{k=1}^N a_k e^{j\theta k} \text{sinc} \left[\pi \left(\frac{\tau_k}{\tau_b} - n \right) \right] \quad (3.3)$$

Dengan :

$h(n)$ = Nilai respon impuls untuk mode propagasi/lintasan ke $-k$

a_k = Nilai magnitudo untuk mode propagasi/lintasan ke $-k$

τ_k = Delay untuk mode propagasi/lintasan ke $-k$

n_k = Besarnya nilai rasio untuk mode propagasi/lintasan ke $-k$

θk = Phase untuk mode propagasi/lintasan ke $-k$

N = Banyaknya mode propagasi

k = $0, 1, \dots$, sampai N

Setelah mendapatkan nilai respon impuls dari masing-masing link penerima selanjutnya menghitung nilai sinyal pada fase *recording* pada

TRM) berdasarkan persamaan 2.3. Sinyal respon impuls pada masing-masing link akan disimpan pada TRM pemancar yang telah terkonjugate selanjutnya akan dikirimkan pada fase transmisi seperti pada persamaan 2.4. Pada fase transmisi, modulasi yang digunakan untuk pengiriman bit sinyal diasumsikan menggunakan modulasi BPSK, bit sinyal yang dibangkitkan random, dan phase yang digunakan random dengan distribusi AWGN.

3.3.2 Perhitungan sinyal yang diterima

Setelah proses fase *recording* dan fase transmisi, selanjutnya sinyal akan diterima pada masing-masing link penerima. Berdasarkan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 maka didapatkan persamaan untuk sinyal yang diterima sebagai berikut [1]:

$$Y_i[k] = \sum_{j=1}^N (x_j * g_j * h_i)[k] + n_i[k] \quad (3.4)$$

Dengan :

$Y_i[k]$ = Sinyal yang diterima

g = Nilai pada TRM

h = Nilai respon impuls

N = Banyaknya link penerima

$i \neq j$ = Link penerima

$(*)^*$ = Operasi konvolusi

3.3.3 Perhitungan Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan rumusan kesalahan laju bit (*bit error*) yang terjadi selama proses pentransmisian data antara link pengirim dan link penerima. Kesalahan yang terjadi selama proses pentransmisian data antara data masukan dan keluaran dengan cara membandingkan antara data masukan total yang dikirim dengan jumlah data keluaran yang rusak atau *error*. Setelah proses demodulasi dengan cara membandingkan hasil keluaran dan hasil masukan. Sehingga *Bit Error Rate* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit error}}{\text{Jumlah total bit kirim}} \quad (3.5)$$

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini, dilakukan pembahasan mengenai analisa hasil simulasi kinerja TRDMA. Simulasi ini dilakukan pada frekuensi 7MHz. Pengamatan dilakukan dalam rentang waktu 01.00 – 24.00 (waktu lokal) pada masing – masing lintasan, pada bulan Januari.

Bab ini juga menampilkan hasil korelasi spasial respon impuls antara lintasan sehingga dapat diketahui derajat kebebasan dari setiap lintasan.

1.1 Korelasi Spasial antar Lintasan

Penelitian ini mencoba untuk menerapkan teknik TRDMA untuk sistem komunikasi multiuser yang terdiri dari pemancar dan penerima. Penelitian ini menggunakan kanal HF dalam penransmisian sinyal dan penggunaan data dari rekomendasi ITU-R untuk model kanal. Jalur lintasan yang digunakan yaitu antara lokasi Tx/BTS di Surabaya dan Rx/user di Merauke, Biak, Ternate, Pontianak, dan Kotatabang menggunakan data dari rekomendasi ITU-R P-533. Untuk setiap lintasan, akan diamati berdasarkan jam pada waktu setempat. Koordinat posisi lintang dan bujur untuk setiap kota dalam format $ddd^{\circ}mm'ss.ss''$ dapat diitunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4. 1 Koordinat Lintang dan Bujur

KOTA	LINTANG	BUJUR
Kototabang	0°40'52.41"S	100°46'39.29"E
Pontianak	0° 3'18.26"S	109°20'54.05"E
Biak	1°10'59.71"S	136° 5'2.46"E
Merauke	8°29'45.80"S	140°23'40.39"E
Ternate	0°45'49.4094"N	127°20'7.6554"E
Surabaya	7°17'5.71"S	112°47'46.75"E

Tabel 4. 2 Koordinat lintang dan bujur dalam format ddd.dddd°

KOTA	LINTANG	BUJUR
Kototabang	-0.68123	100.77758
Pontianak	-0.05507	109.34835
Biak	-1.18325	113.08402
Merauke	-8.49606	140.39455
Ternate	0.76373	127.3354
Surabaya	-7.28492	112.7932

1.1.1 Korelasi antara lintasan keseluruhan

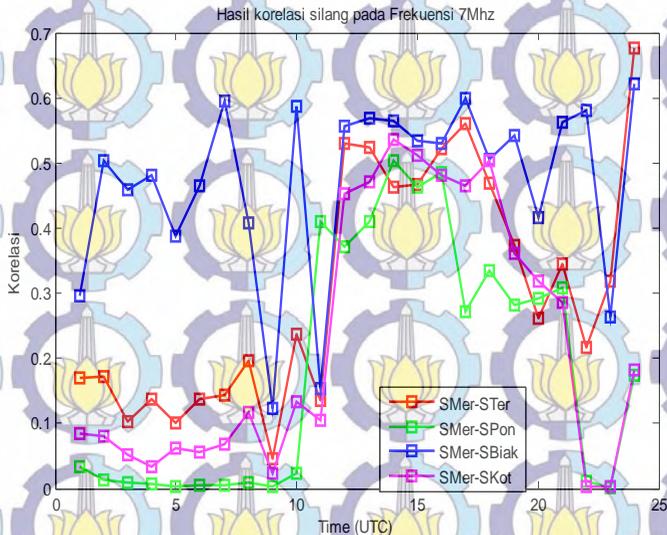
Nilai pada tabel 4.3 merupakan hasil korelasi spasial antar semua lintasan pada bulan Januari dengan jam yang sama yaitu pukul 01.00 – 24.00 waktu GMT+7. Setiap lintasan disimulasikan menggunakan frekuensi kerja 7MHz. Korelasi spasial yang ditampilkan diperoleh dari hasil perhitungan korelasi dengan menggunakan data dari rekomendasi ITU-R P.533.

Tabel 4. 3 Korelasi spasial antara lintasan Surabaya- Merauke (SM) dengan Surabaya – Biak (SB), Surabaya – Pontianak (SP), Surabaya – Kototabang (SK) , dan Surabaya – Ternate (ST)

Waktu (GMT+7)	Frekuensi 7MHz			
	SM - SB	SM - SP	SM - SK	SM - ST
1	0.4641	0.0370	0.2613	0.2159
2	0.5962	0.0214	0.1370	0.1499
3	0.3796	0.0079	0.1133	0.1290
4	0.4963	0.0078	0.1124	0.0960
5	0.4121	0.0040	0.0647	0.1173
6	0.2429	0.0008	0.0159	0.0397

7	0.0676	0.0001	0.0019	0.0064
8	0.1602	0.0002	0.0029	0.0263
9	0.6265	0.0179	0.0238	0.1730
10	0.5663	0.0262	0.1415	0.2266
11	0.6777	0.4769	0.1123	0.1339
12	0.6438	0.4158	0.5118	0.4870
13	0.5081	0.4829	0.5305	0.5045
14	0.5873	0.4207	0.4896	0.5331
15	0.7271	0.4475	0.4854	0.5671
16	0.5939	0.4654	0.5334	0.4593
17	0.6031	0.4246	0.4726	0.5971
18	0.5005	0.3853	0.5236	0.5691
19	0.4884	0.2901	0.4832	0.4767
20	0.6043	0.4603	0.4311	0.7686
21	0.5727	0.2700	0.3012	0.2705
22	0.7217	0.0149	0.0023	0.2442
23	0.3806	0.0022	0.0043	0.2898
24	0.3949	0.0558	0.0985	0.2494

Berdasarkan pada tabel 4.3 terlihat bahwa dari semua lintasan yang telah dikorelasikan, korelasi antar lintasan Surabaya- Merauke dan Surabaya- Pontianak memiliki korelasi yang relatif paling rendah dibandingkan dengan lintasan yang lain seperti yang terlihat pada pukul 1 - 8 dan pukul 23-24 waktu UTC . Lintasan ini dimungkinkan untuk digunakan sebagai acuan dalam simulasi percobaan teknik TRDMA untuk sistem komunikasi multiuser. Karena syarat teknik sistem TRDMA yaitu korelasi antar lintasan yang digunakan sebagai lintasan penerima rendah sebab mempunyai derajat kebebasan yang besar, sehingga manfaat dari TRDMA yaitu banyaknya lintasan pada penerima dapat dipisahkan hanya dengan TRDMA dapat digunakan. Grafik hasil korelasi spasial antar semua lintasan dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Hasil Korelasi silang antar lintasan.

Dari grafik diatas juga terlihat bahwa korelasi antar lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya – Biak mempunyai nilai korelasi yang relatif tinggi hampir pada setiap jam. Ini dikarenakan jarak antara Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak relatif berdekatan dibandingkan dengan lintasan yang lain. Semakin besar nilai korelasi maka lintasan tersebut dapat dikatakan sebagai lintasan yang memiliki derajat kebebasan yang cukup kecil. Tetapi pada pengujian simulasi ini, akan dibandingkan kinerja antara link yang memiliki korelasi yang paling kecil (Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak) dengan link yang memiliki korelasi yang paling besar (Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak).

1.2 Pengujian untuk mendapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER)

Pada pengujian simulasi ini dilakukan dengan 2 macam variasi pengujian. Pengujian pertama yaitu berdasarkan nilai dari hasil korelasi antar link. Dimana data korelasi yang diambil pada link korelasi rendah, sedang, dan tinggi dengan level SNR yang berbeda yaitu sebesar 0, 5, 10, 15, 20, dan 30 dB. Pengujian kedua menggunakan variasi setiap 6 jam dari data hasil korelasi antar link dengan level SNR yang berbeda yaitu 0 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, dan 30 dB. Pengujian dilakukan

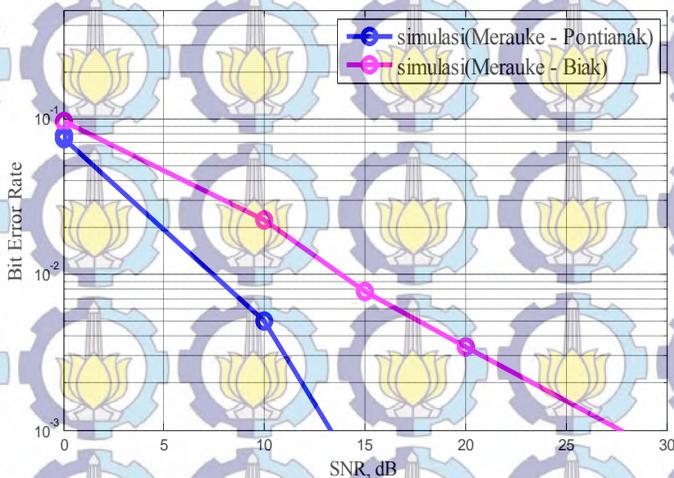
dengan masukan deret 10000 bit random. Masing- masing pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pengujian supaya mendapatkan data yang akurat.

1.2.1 Pengujian berdasarkan nilai hasil korelasi

Pembahasan pada sub-bab ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai BER dari masing – masing lintasan berdasarkan pada hasil korelasi yang mempunyai nilai yang paling rendah, sedang, dan paling tinggi.

1.2.1.1 Pengujian pada waktu 5 UTC(GMT+7)

Pada sub – bab ini dilakukan pengujian pada waktu yang mempunyai korelasi lintasan yang paling rendah yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Pontianak sebesar 0.003 pada waktu 5UTC(GMT+7) atau pukul 12.00 WIB. Pada waktu yang sama juga dilakukan pengujian terhadap lintasan yang mempunyai korelasi yang paling tinggi yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Biak dengan nilai korelasi sebesar 0,388446 . Seperti yang terlihat tabel 4.4 dan tabel 4.5 berikut.



Gambar 4. 2 Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 5 UTC

Tabel 4. Surabaya – Merantau dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0.003

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER						
1	755	0.0755	50	0.0050	4	0.0004	4	0.0004	1	0.0001
2	721	0.0721	48	0.0048	3	0.0003	5	0.0003	0	0.0000
3	750	0.0750	49	0.0049	5	0.0005	3	0.0005	2	0.0002
4	761	0.0761	51	0.0051	2	0.0002	4	0.0002	1	0.0001
5	746	0.0746	53	0.0053	2	0.0002	6	0.0002	0	0.0000
6	780	0.0780	49	0.0049	3	0.0003	3	0.0003	2	0.0002
7	712	0.0712	53	0.0053	4	0.0004	4	0.0004	1	0.0001
8	734	0.0734	49	0.0049	1	0.0001	4	0.0001	2	0.0002
9	753	0.0753	51	0.0051	5	0.0005	5	0.0005	1	0.0001
10	729	0.0729	50	0.0050	2	0.0002	3	0.0002	0	0.0000
Rate-Rata	744.1	0.07441	50.3	0.00503	4.3	0.00043	3.1	0.00031	1	0.0001

Tabel 4.5 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi 0,388446

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	989	0,0989	230	0,0230	71	0,0071	33	0,0033	8	0,0008
2	978	0,0978	221	0,0221	72	0,0072	31	0,0031	7	0,0007
3	968	0,0968	219	0,0219	79	0,0079	34	0,0034	7	0,0007
4	952	0,0952	232	0,0232	77	0,0077	39	0,0039	6	0,0006
5	998	0,0998	222	0,0222	81	0,0081	35	0,0035	7	0,0007
6	921	0,0921	218	0,0218	75	0,0075	32	0,0032	8	0,0008
7	976	0,0976	215	0,0215	79	0,0079	36	0,0036	6	0,0006
8	931	0,0931	227	0,0227	74	0,0074	37	0,0037	7	0,0007
9	954	0,0954	230	0,0230	77	0,0077	35	0,0035	8	0,0008
10	934	0,0934	223	0,0223	80	0,0080	32	0,0032	6	0,0006
Rata-Rata	960.1	0,09601	223.7	0,02237	77	0,0077	34.1	0,00341	7	0,0007

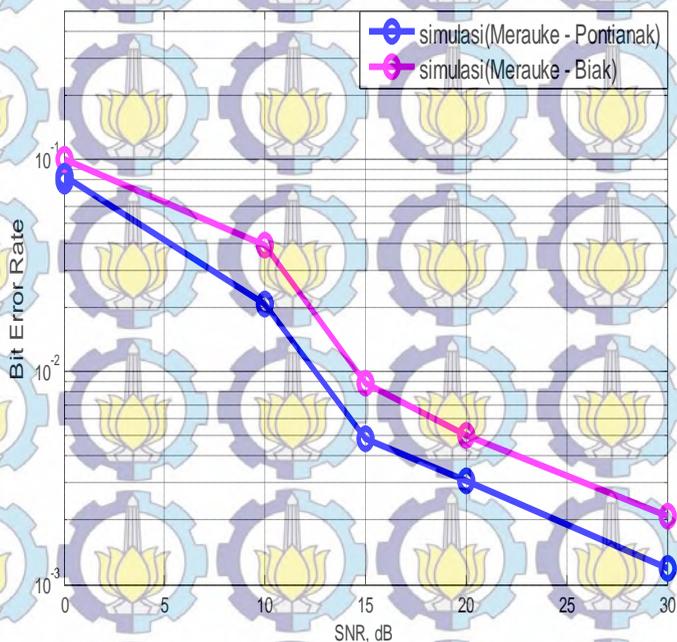
Setelah melihat tabel 4.4 dan tabel 4.5 serta grafik gambar 4.2 dapat dianalisis bahwa pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki perbandingan nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak. Itu dikarenakan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki nilai korelasi yang lebih kecil dibandingkan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak. Sehingga, dengan semakin kecilnya korelasi lintasannya, maka bisa dikatakan bahwa lintasan tersebut mempunyai derajat kebebasan yang cukup tinggi. Sehingga dalam proses simulasi pengiriman bit menggunakan teknik TRDMA, nilai bit error yang dihasilkan juga relatif kecil karena pengaruh Interferensi antar pengguna atau *Inter-User Interference* (IUI) antar lintasannya juga kecil. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya SNR. SNR merupakan perbandingan antar daya bit yang dikirimkan dengan *noise*, semakin besar SNR berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.

1.2.1.2 Pengujian pada waktu 14 UTC(GMT+7)

Pada sub – bab ini dilakukan pengujian pada waktu yang mempunyai korelasi lintasan yang paling tinggi yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Pontianak sebesar 0.503279 pada waktu 14 UTC(GMT+7) atau pukul 21.00 WIB. Pada waktu yang sama juga dilakukan pengujian terhadap lintasan yang mempunyai korelasi yang paling tinggi yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Biak dengan nilai korelasi sebesar 0, 565628. Seperti yang terlihat tabel 4.6 dan tabel 4.7.

Setelah melihat tabel 4,6 dan tabel 4.7 serta grafik gambar 4.3 dapat dianalisis bahwa pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki perbandingan nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak. Tetapi pada grafik ini perbedaan perbandingan BER antar kedua lintasannya kecil. Itu kemungkinan terjadi karena pengaruh waktu. Gelombang ionosfer memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang. Lapisan ini terbentuk karena adanya pengaruh radiasi sinar matahari untuk proses ionisasi partikel. Puncak dari radiasi sinar matahari terjadi pada waktu siang atau pagi hari setelah matahari terbit. Dan radiasi sinar matahari akan melemah setelah pada malam hari atau setelah terbenamnya matahari. Pada waktu 14 UTC (GMT+7) berarti dalam WIB yaitu pukul 21.00 atau pukul 9 malam atmosfer di daerah ini

sangat renggang, maka penggabungan kembali ion-ion menjadi molekul terjadi sangat lambat. Sehingga kemungkinan banyak sinyal yang diteruskan atau dipantulkan tidak sempurna. Karena korelasi pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak mempunyai korelasi yang cukup besar yaitu 0,503279 dan 0,565628 sehingga nilai bit error yang dihasilkan juga relatif besar karena pengaruh IUI antar lintasannya juga besar.



Gambar 4.3 Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 14 UTC

Tabel 4. 6 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan kodeksi sebesar 0,503279

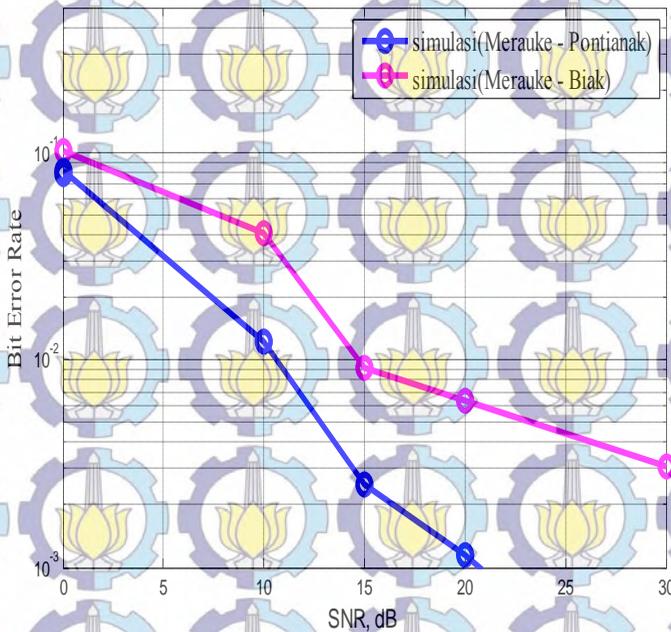
Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER								
1	851	0.0851	219	0.0219	50	0.0050	30	0.003	11	0.003
2	829	0.0829	198	0.0198	45	0.0045	29	0.0029	15	0.0029
3	823	0.0823	222	0.0222	60	0.0060	34	0.0034	12	0.0034
4	847	0.0847	200	0.0200	49	0.0049	33	0.0033	10	0.0033
5	819	0.0819	197	0.0197	50	0.0050	31	0.0031	14	0.0031
6	854	0.0854	219	0.0219	41	0.0041	30	0.0030	13	0.0030
7	818	0.0818	199	0.0199	47	0.0047	29	0.0029	11	0.0029
8	830	0.0830	229	0.0229	47	0.0047	31	0.0035	10	0.0035
9	846	0.0846	212	0.0212	43	0.0043	30	0.0030	13	0.0030
10	839	0.0839	199	0.0199	49	0.0049	32	0.0032	10	0.0032
Rata-Rata	835.6	0.08356	209.4	0.02094	48.1	0.00481	30.9	0.00309	11.9	0.00119

Tabel 4.7 Surabaya – Merauke dan Surabaya –Blak dengan koefisi sebesar 0,565628

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	1001	0.1001	392	0.0392	87	0.0087	55	0.0055	25	0.0025
2	1008	0.1008	389	0.0389	89	0.0089	46	0.0046	21	0.0021
3	1005	0.1005	387	0.0387	90	0.0090	49	0.0049	19	0.0019
4	1010	0.1010	394	0.0394	88	0.0088	52	0.0052	23	0.0023
5	1007	0.1007	397	0.0397	86	0.0086	50	0.0050	21	0.0021
6	1003	0.1003	391	0.0391	89	0.0089	51	0.0051	20	0.0020
7	998	0.0998	389	0.0389	90	0.0090	50	0.0050	22	0.0022
8	1004	0.1004	393	0.0393	87	0.0087	47	0.0047	19	0.0019
9	1009	0.1009	391	0.0391	88	0.0088	49	0.0049	22	0.0022
10	999	0.0999	389	0.0389	89	0.0089	51	0.0051	19	0.0019
Rata-Rata	1004.4	0.10044	391.2	0.03912	88.3	0.00883	50	0.0050	21.1	0.00211

1.2.1.3 Pengujian pada waktu 17 UTC(GMT+7)

Pada sub - bab ini dilakukan pengujian pada waktu yang mempunyai korelasi lintasan yang sedang yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Pontianak sebesar 0,271658 pada waktu 17 UTC(GMT+7) atau pukul 00.00 WIB. Pada waktu yang sama juga dilakukan pengujian terhadap lintasan yang mempunyai korelasi yang paling tinggi yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Biak dengan nilai korelasi sebesar 0,600111. Seperti yang terlihat tabel 4.8 dan tabel 4.9.



Gambar 4. 4 Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 17 UTC

Tabel 4.8 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,271658

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	811	0.0811	129	0.0129	22	0.0022	10	0.0010	2	0.0002
2	809	0.0809	122	0.0122	29	0.0029	12	0.0012	2	0.0002
3	819	0.0819	120	0.0120	24	0.0024	9	0.0009	2	0.0002
4	807	0.0807	124	0.0124	29	0.0029	12	0.0012	1	0.0001
5	812	0.0812	116	0.0116	21	0.0021	11	0.0011	2	0.0002
6	810	0.0810	127	0.0127	27	0.0027	9	0.0009	3	0.0003
7	817	0.0817	119	0.0119	29	0.0029	13	0.0013	1	0.0001
8	815	0.0815	117	0.0117	27	0.0027	16	0.0016	2	0.0002
9	816	0.0816	120	0.0120	20	0.0020	10	0.0010	3	0.0003
10	809	0.0809	122	0.0122	22	0.0022	12	0.0012	2	0.0002
Rata-Rata	812.5	0.08125	121.6	0.01216	25	0.0025	11.4	0.00114	2	0.0002

Tabel 4.9 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0,600111

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER								
1	1009	0.1009	413	0.0413	89	0.0089	68	0.0068	30	0.0030
2	1039	0.1039	408	0.0408	92	0.0092	64	0.0064	29	0.0029
3	1005	0.1005	412	0.0412	90	0.0090	60	0.0060	32	0.0032
4	1023	0.1023	400	0.0400	89	0.0089	61	0.0061	31	0.0031
5	1041	0.1041	410	0.0410	93	0.0093	63	0.0063	31	0.0031
6	1036	0.1036	415	0.0415	92	0.0092	67	0.0067	30	0.0030
7	999	0.0999	410	0.0410	93	0.0093	61	0.0061	29	0.0029
8	1004	0.1004	416	0.0416	94	0.0094	60	0.0060	31	0.0031
9	1021	0.1021	414	0.0414	91	0.0091	66	0.0066	30	0.0030
10	1035	0.1035	409	0.0409	95	0.0095	63	0.0063	31	0.0031
Rata-Rata	1021.2	0.10212	410.7	0.04107	91.8	0.00918	63.3	0.00633	30.4	0.00304

Setelah melihat tabel 4.8 dan tabel 4.9 serta grafik gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki perbandingan nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak. Itu dikarenakan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki nilai korelasi yang lebih kecil yaitu sebesar 0,271658 dibandingkan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak yaitu sebesar 0,600111. Sehingga, dengan semakin kecilnya korelasi lintasannya, maka bisa dikatakan bahwa lintasan tersebut mempunyai derajat kebebasan yang cukup tinggi. Sehingga dalam proses simulasi pengiriman bit menggunakan teknik TRDMA, nilai bit error yang dihasilkan juga relatif kecil karena pengaruh ISI antar lintasannya juga kecil. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya SNR. SNR merupakan perbandingan antar daya bit yang dikirimkan dengan *noise*, semakin besar SNR berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.

1.2.2 Pengujian nilai BER berdasarkan variasi setiap 6 jam

Pembahasan pada sub-bab ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai Bit Error Rate dari masing – masing lintasan berdasarkan variasi waktu setiap 6 jam.

1.2.2.1 Pengujian pada waktu 11 UTC(GMT+7)

Pada sub – bab ini dilakukan pengujian pada pukul 6 sore WIB atau pukul 11 UTC dengan korelasi lintasannya yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Pontianak sebesar 0.4110 pada waktu 11UTC(GMT+7). Pada waktu yang sama juga dilakukan pengujian terhadap lintasan yang mempunyai korelasi yang paling tinggi yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Biak dengan nilai korelasi sebesar 0.1531. Seperti yang terlihat tabel 4.10 dan tabel 4.11.

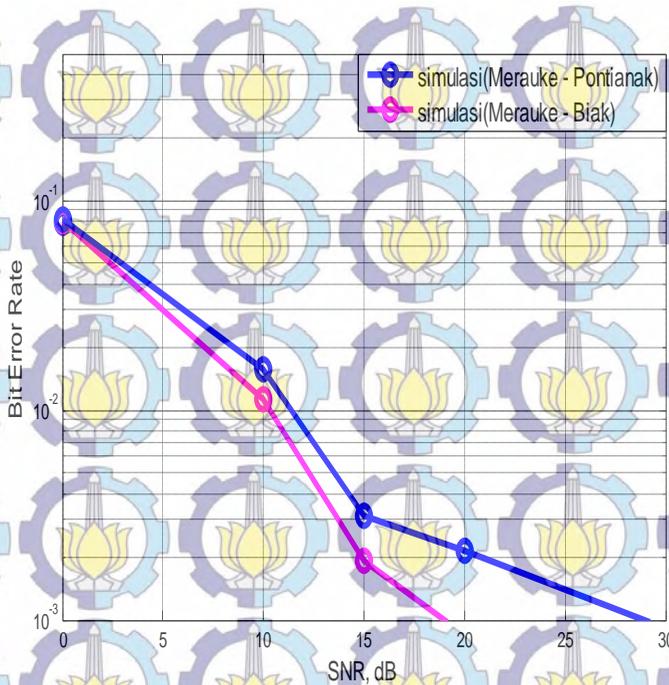
Berdasarkan pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 serta grafik gambar 4.5 dapat dianalisis bahwa pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak memiliki perbandingan nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak. Berbeda dengan hasil – hasil simulasi BER sebelumnya, simulasi pada waktu 11 UTC (GMT+7) atau pukul 6 sore WIB ini nilai korelasi pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak cenderung lebih kecil dibanding dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak.

Tabel 4.10 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,4110

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER								
1	831	0,0831	168	0,0168	36	0,0036	24	0,0024	11	0,0011
2	809	0,0809	152	0,0152	32	0,0032	22	0,0022	8	0,0008
3	818	0,0818	157	0,0157	34	0,0034	24	0,0024	10	0,0010
4	798	0,0798	162	0,0162	29	0,0029	20	0,0020	9	0,0009
5	827	0,0827	159	0,0159	31	0,0031	21	0,0021	9	0,0009
6	807	0,0807	156	0,0156	30	0,0030	19	0,0019	7	0,0007
7	821	0,0821	151	0,0151	33	0,0033	21	0,0021	11	0,0011
8	824	0,0824	160	0,0160	27	0,0027	22	0,0022	8	0,0008
9	811	0,0811	149	0,0149	29	0,0029	19	0,0019	10	0,0010
10	809	0,0809	147	0,0147	31	0,0031	20	0,0020	9	0,0009
Rata-Rata	815,5	0,08155	156,1	0,01561	31,2	0,00312	21,2	0,00212	9,2	0,00092

Tabel 4.11 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0.1531

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	790	0.0790	109	0.0109	21	0.0021	8	0.0008	2	0.0002
2	801	0.0801	123	0.0123	14	0.0014	7	0.0007	3	0.0003
3	822	0.0822	99	0.0099	20	0.0020	10	0.0010	0	0.0000
4	841	0.0841	112	0.0112	24	0.0024	11	0.0011	1	0.0001
5	794	0.0794	107	0.0107	14	0.0014	6	0.0006	1	0.0001
6	823	0.0823	99	0.0099	17	0.0017	7	0.0007	0	0.0000
7	786	0.0786	134	0.0134	24	0.0024	10	0.0010	1	0.0001
8	772	0.0772	117	0.0117	21	0.0021	11	0.0011	0	0.0000
9	789	0.0789	121	0.0121	18	0.0018	9	0.0009	1	0.0001
10	819	0.0819	103	0.0103	17	0.0017	7	0.0007	1	0.0001
Rata-Rata	803.7	0.08037	112.4	0.01124	19.0	0.0019	8.6	0.00086	1	0.0001



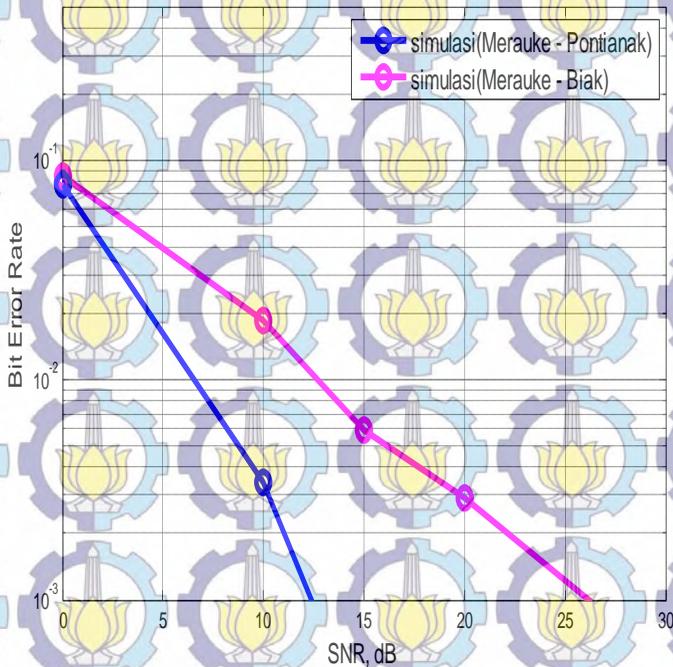
Gambar 4. 5 Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 11 UTC

Itu dikemungkinan terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi lapisan ionosfer yang tidak bisa diprediksi dan senantiasa berubah terhadap perubahan jam dan cuaca. Sehingga, lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak bisa dikatakan lintasan yang mempunyai derajat kebebasan yang cukup tinggi karena memiliki nilai korelasi lintasan kecil. Sehingga dalam proses simulasi pengiriman bit menggunakan teknik TRDMA , nilai bit error yang dihasilkan juga relatif kecil karena pengaruh IUI antar lintasannya juga kecil. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya SNR . SNR merupakan perbandingan antar daya bit yang dikirimkan dengan

noise, semakin besar SNR berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.

1.2.2.2 Pengujian pada waktu 23 UTC(GMT+7)

Pada sub – bab ini dilakukan pengujian pada pukul 6 pagi WIB atau pukul 23 UTC dengan korelasi antar lintasannya yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Pontianak sebesar 0.0008 pada waktu 23UTC(GMT+7). Pada waktu yang sama juga dilakukan pengujian terhadap lintasan yang mempunyai korelasi yang paling tinggi yaitu pada lintasan Surabaya-Merauke dan Surabaya-Biak dengan nilai korelasi sebesar 0.2645. Seperti yang terlihat tabel 4.12 dan tabel 4.13 berikut.



Gambar 4. 6 Perbandingan BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak pada waktu 23 UTC

Tabel 4.12 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan korelasi sebesar 0,0008

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	799	0,0799	30	0,0030	4	0,0004	2	0,0002	1	0,0001
2	801	0,0801	37	0,0037	5	0,0005	0	0,0000	0	0,0000
3	769	0,0769	34	0,0034	2	0,0002	1	0,0001	2	0,0002
4	758	0,0758	32	0,0032	1	0,0001	2	0,0002	1	0,0001
5	770	0,0790	37	0,0037	2	0,0002	0	0,0000	2	0,0002
6	765	0,0765	30	0,0030	2	0,0002	0	0,0000	0	0,0000
7	750	0,0750	40	0,0040	5	0,0005	2	0,0002	1	0,0001
8	769	0,0769	37	0,0037	2	0,0002	3	0,0003	2	0,0002
9	762	0,0762	30	0,0030	1	0,0001	1	0,0001	1	0,0001
10	759	0,0759	33	0,0033	3	0,0003	0	0,0000	0	0,0000
Rata-Rata	770,2	0,07702	34,0	0,0034	2,7	0,00027	1,2	0,00012	1,0	0,0001

Tabel 4.13 Surabaya – Merauke dan Surabaya –Biak dengan korelasi sebesar 0.2645

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	840	0.0790	193	0.0193	57	0.0057	30	0.0030	6	0.0006
2	821	0.0801	181	0.0181	54	0.0054	29	0.0029	5	0.0005
3	842	0.0822	199	0.0199	59	0.0059	27	0.0027	7	0.0007
4	841	0.0841	182	0.0182	62	0.0062	32	0.0032	4	0.0004
5	854	0.0794	187	0.0187	59	0.0059	29	0.0029	5	0.0005
6	833	0.0823	191	0.0191	60	0.0060	30	0.0030	6	0.0006
7	846	0.0786	185	0.0185	67	0.0067	29	0.0029	4	0.0004
8	842	0.0772	182	0.0182	55	0.0055	27	0.0027	5	0.0005
9	859	0.0789	189	0.0189	59	0.0059	30	0.0030	4	0.0004
10	839	0.0819	181	0.0181	57	0.0057	28	0.0028	6	0.0006
Rata-Rata	841.7	0.08417	187	0.0187	58.9	0.00589	29.1	0.00291	5.2	0.00052

Setelah melihat tabel 4.12 dan tabel 4.13 serta grafik gambar 4.6 dapat dianalisis bahwa pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki perbandingan nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak. Itu dikarenakan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak memiliki nilai korelasi yang lebih kecil yaitu sebesar 0,0008 dibandingkan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak yaitu sebesar 0.2645. Dari semua korelasi lintasan, lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak pada pukul 23 UTC(GMT+7) atau pukul 6 pagi WIB memiliki korelasi yang paling kecil. Ini bisa terjadi karena adanya pengaruh dari aktivitas matahari, akibat adanya radiasi matahari yang cukup besar dapat mempengaruhi pembentukan ionisasi pada partikel lapisan ionosfer. Sehingga, dengan semakin kecilnya korelasi lintasannya, maka bisa dikatakan bahwa lintasan tersebut mempunyai derajat kebebasan yang cukup tinggi. Sehingga dalam proses simulasi pengiriman bit menggunakan teknik TRDMA, nilai bit error yang dihasilkan juga relatif kecil karena pengaruh IUI antar lintasannya juga kecil. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya SNR. SNR merupakan perbandingan antar daya bit yang dikirimkan dengan *noise*, semakin besar SNR berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.

4.2.2.3 Pengaruh user terhadap kinerja sistem

Pada sub bab ini dilakukan pengujian dengan menggunakan 3 lintasan yang berbeda yaitu pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan nilai korelasi 0.4121, Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak dengan nilai korelasi 0.0040, Surabaya – Merauke dan Surabaya – Ternate dengan nilai korelasi 0.1173. Pengujian dilakukan pada pukul 5 UTC(GMT+7) atau pukul 12 siang. Seperti yang terlihat pada tabel 4.14, tabel 4.15, tabel 4.16 serta grafik gambar 4.7

Berdasarkan tabel 4.14, tabel 4.15, tabel 4.16 serta grafik gambar 4.7 dapat dianalisis bahwa semakin banyak user, nilai BER yang dihasilkan juga semakin besar. Karena semakin banyaknya user maka sinyal yang dikirimkan akan mengalami banyak interferensi, sehingga nilai BER yang dihasilkan juga akan semakin besar. Seperti yang ditunjukkan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak BER yang dihasilkan yaitu sebesar 0.0001. Pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak BER yang dihasilkan yaitu sebesar 0.0030877. Sedangkan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Ternate BER yang dihasilkan yaitu sebesar 0.0014.

Tabel 4.14 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0,1645

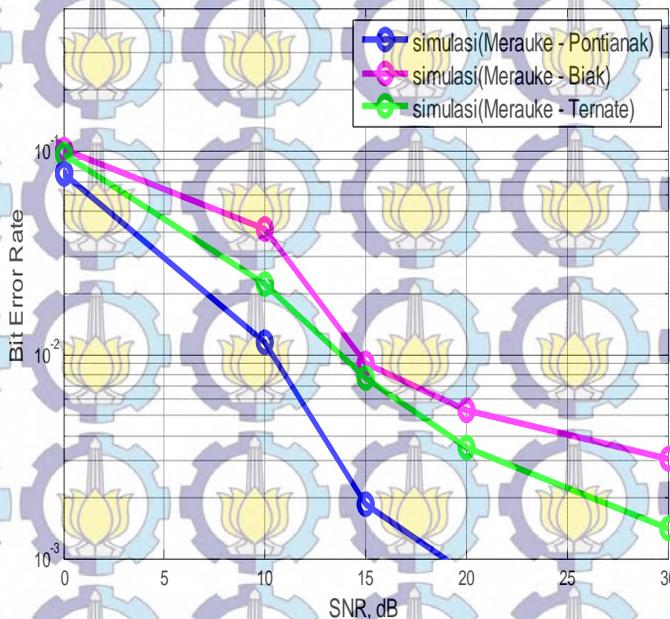
Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	1009	0.1009	447	0.0447	80	0.0080	58	0.0058	31	0.0031
2	1024	0.1024	419	0.0419	87	0.0087	54	0.0054	29	0.0029
3	1011	0.1011	401	0.0401	91	0.0091	50	0.0050	33	0.0033
4	1009	0.1009	398	0.0398	88	0.0088	51	0.0051	31	0.0031
5	1004	0.1004	410	0.0410	98	0.0098	53	0.0053	32	0.0032
6	1017	0.1017	409	0.0409	89	0.0089	57	0.0057	30	0.0030
7	1000	0.1000	414	0.0414	91	0.0091	51	0.0051	29	0.0029
8	1019	0.1019	408	0.0408	92	0.0092	50	0.0050	31	0.0031
9	1004	0.1004	421	0.0421	94	0.0094	56	0.0056	30	0.0030
10	1024	0.1024	399	0.0399	96	0.0096	53	0.0053	32	0.0032
Rata-Rata	1012.1	0.1012	412.6	0.0412	90.6	0.00906	53.3	0.0053	30.8	0.0030877

Tabel 3.15 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0,2645

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	790	0,0790	109	0,0109	21	0,0021	8	0,0008	2	0,0002
2	701	0,0701	123	0,0123	16	0,0016	7	0,0007	3	0,0003
3	722	0,0722	119	0,0119	21	0,0021	10	0,0010	0	0,0000
4	741	0,0741	102	0,0102	24	0,0024	11	0,0011	1	0,0001
5	794	0,0794	117	0,0117	16	0,0016	6	0,0006	0	0,0000
6	823	0,0823	100	0,0100	12	0,0012	7	0,0007	0	0,0000
7	786	0,0786	117	0,0117	21	0,0021	12	0,0012	2	0,0002
8	772	0,0772	127	0,0127	19	0,0019	11	0,0011	0	0,0000
9	799	0,0799	131	0,0131	17	0,0017	6	0,0006	1	0,0001
10	812	0,0812	101	0,0101	19	0,0019	7	0,0007	1	0,0001
Rata-Rata	774,0	0,0774	114,6	0,01146	18,6	0,00186	8,5	0,00085	1	0,0001

Tabel 4.16 Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak dengan korelasi sebesar 0,2645

Percobaan	SNR = 0		SNR = 10		SNR = 15		SNR = 20		SNR = 30	
	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER	Error bit	BER
1	999	0.0989	232	0.0232	71	0.0071	32	0.0032	8	0.0008
2	989	0.0989	225	0.0225	72	0.0072	35	0.0035	5	0.0005
3	972	0.0972	218	0.0218	79	0.0079	33	0.0033	4	0.0004
4	1000	0.1000	231	0.0231	74	0.0074	39	0.0039	7	0.0007
5	989	0.0989	203	0.0203	87	0.0087	34	0.0034	7	0.0007
6	934	0.0934	232	0.0232	75	0.0075	37	0.0037	8	0.0008
7	897	0.0897	219	0.0219	80	0.0080	38	0.0038	8	0.0008
8	921	0.0921	212	0.0212	74	0.0074	35	0.0035	7	0.0007
9	935	0.0935	209	0.0209	76	0.0076	34	0.0034	8	0.0008
10	963	0.0963	234	0.0234	83	0.0083	31	0.0031	6	0.0006
Rata-Rata	959.9	0.0959	221.5	0.02215	77.1	0.00771	34.8	0.00348	14	0.0014

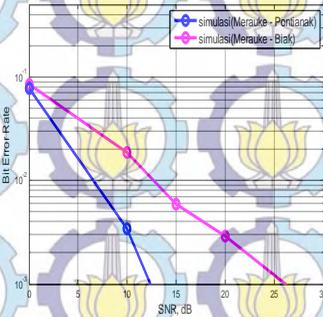


Gambar 4.7 Pengaruh *user* terhadap kinerja sistem dengan membandingkan nilai BER vs SNR pada lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak, lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak, lintasan lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Ternate pada pukul 5 UTC (GMT+7)

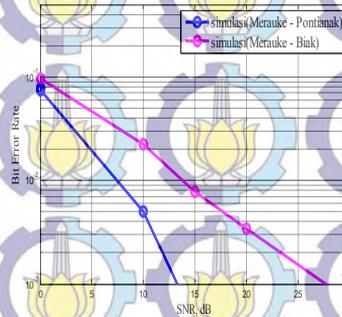
1.2.2.3 Sintesis

Pada pengujian simulasi TRDMA ini digunakan kanal HF dalam pentransmisian sinyal dan penggunaan data dari rekomendasi ITU-R untuk model kanal. Jalur lintasan yang digunakan yaitu antara lokasi Tx/BTS di Surabaya dan Rx/user di Merauke, Biak, Ternate, Pontianak, dan Kotatabang menggunakan data dari rekomendasi ITU-R P-533. Berdasarkan pengujian untuk setiap lintasan mempunyai nilai korelasi yang berbeda. Nilai korelasi lintasan berbanding terbalik dengan jarak antar lintasan. Seperti korelasi pada lintasan Surabaya –

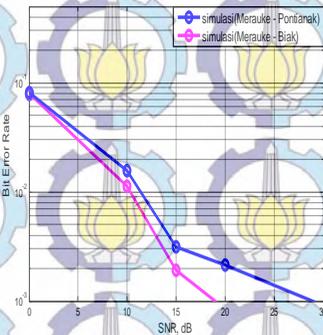
Merauke dengan Surabaya – Pontianak mempunyai korelasi relatif kecil pada hampir semua jam. Dan korelasi lintasan Surabaya – Merauke dengan Surabaya – Biak mempunyai korelasi relatif paling besar pada hampir semua jam. Besar kecilnya korelasi pada komunikasi HF ini sangat bergantung dengan kondisi lapisan ionosfer. Walaupun jarak lintasan jauh belum tentu memiliki korelasi yang kecil dan begitu pula sebaliknya. Hal ini disebabkan karena kondisi lapisan ionosfer yang



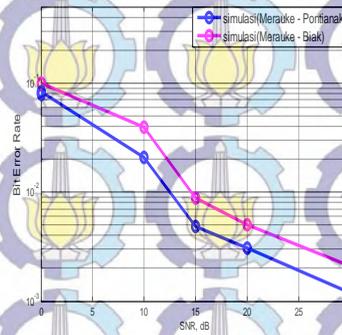
(a) Pukul 06.00 WIB



(b) Pukul 12.00 WIB



(c) Pukul 18.00 WIB



(d) Pukul 24.00 WIB

Gambar 4. 8 Pengujian BER vs SNR dengan variasi setiap 6 jam

berada di atas lintasan komunikasi HF selalu berubah – ubah setiap jam, hari, dan bulan. Kondisi lapisan ionosfer yang selalu berubah sangat menentukan keberhasilan suatu komunikasi HF yang memanfaatkan pantulan pada lapisan ionosfer.

Berdasarkan pengujian variasi setiap 6 jam maka diperoleh hasil korelasi lintasan seperti ditunjukkan pada gambar 4.8. Teknik TRDMA mempunyai kinerja yang bagus pada pukul 06.00 WIB keatas seperti yang terlihat pada gambar 4.8. Korelasi antar lintasan pada pukul 06.00 dan pukul 12.00 WIB sangat kecil, dan BER yang dihasilkan juga rendah. Pada pukul 06.00 WIB untuk lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak menghasilkan nilai BER sebesar 0.0001, sedangkan untuk lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak memnghasilkan nilai BER sebesar 0.0007. Pada pukul 12.00 WIB untuk lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Pontianak menghasilkan nilai BER sebesar 0.0001, sedangkan untuk lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya – Biak menghasilkan nilai BER sebesar 0.00052. Ini menunjukkan bahwa pada waktu matahari mulai terbit atau pagi hari sampai siang hari kondisi lapisan ionosfer sangat bagus dalam melakukan komunikasi HF karena radiasi dari sinar matahari akan mencapai titik maksimum. Sebaliknya, pada malam hari akan mencapai titiik minimum. Hal ini yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang radio HF, karena posisi matahari berubah-ubah setiap waktu. Sehingga karakteristik lapisan ionosfer sulit ditentukan atau diprediksi. Seperti pada pukul 24.00 nilai korelasinya sangat tinggi dan nilai BER juga tinggi yaitu sebesar 0.00119 untuk lintasan Surabaya- Merauke dan Surabaya – Pontianak. Sedangkan untuk lintasan Surabaya- Merauke dan Surabaya- Biak mempunyai nilai BER sebesar 0.00211.

Sehingga, dengan semakin kecilnya korelasi lintasan, maka bisa dikatakan bahwa lintasan tersebut mempunyai derajat kebebasan yang cukup tinggi. Maka dalam proses simulasi pengiriman bit menggunakan teknik TRDMA, nilai bit error yang dihasilkan juga relatif kecil karena pengaruh IUI antar lintasannya juga kecil. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya SNR. SNR merupakan perbandingan antar daya bit yang dikirimkan dengan *noise*, semakin besar SNR berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.

Pengaruh kinerja sistem TRDMA terhadap *user* dapat dilihat pada sub bab 4.2.2.3 yaitu pengujian dengan menggunakan 3 lintasan. Dengan penambahan satu *user*/ lintasan terlihat bahwa nilai BER yang dihasilkan berubah dengan bertambah besar. Ini dikarenakan adanya interferensi antar pengguna atau *Inter-User Interference* (IUI) yang mempengaruhi pengiriman sinyal pada penerima.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan percobaan simulasi TRDMA pada setiap lintasan yang mengacu pada asumsi dan skenario yang telah ditentukan serta analisis data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Syarat utama penggunaan teknik TRDMA yaitu korelasi antar link lintasan penerima kecil. Karena semakin kecilnya korelasi lintasannya, maka bisa dikatakan bahwa lintasan tersebut mempunyai derajat kebebasan yang cukup tinggi.
2. Nilai korelasi antar lintasan berbanding terbalik dengan jarak antar lintasan. Korelasi Surabaya – Merauke dengan Surabaya – Pontianak mempunyai korelasi relatif kecil pada hampir semua jam. Dan korelasi lintasan Surabaya – Merauke dengan Surabaya – Biak mempunyai korelasi relatif paling besar pada hampir semua jam.
3. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya SNR, semakin besar SNR berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang baik.
4. Apabila nilai korelasi antar lintasan semakin mendekati nol, maka lintasan tersebut memiliki derajat kebebasan yang cukup besar sehingga dapat digunakan untuk komunikasi HF.
5. Semakin kecil nilai korelasi pada lintasan penerima, maka nilai BER juga semakin kecil, begitu juga sebaliknya.
6. Berdasar ITU-R, pada pukul 5 UTC(GMT+7) atau pukul 12 siang WIB korelasi pada lintasan Surabaya - Merauke dan Surabaya – Pontianak sebesar sebesar 0,003 dan BER sebesar 0.00119. Sedangkan pada pukul 23 UTC(GMT+7) atau pukul 6 pagi WIB korelasi pada lintasan Surabaya - Merauke dan Surabaya – Pontianak sebesar 0,0008 dan nilai BER sebesar 0.00052. Maka dapat dikatakan bahwa lintasan Surabaya – Merauke dan Surabaya - Pontianak dapat digunakan sebagai lintasan dalam penggunaan teknik TRDMA karena memiliki nilai korelasi dan nilai BER paling rendah dibanding dengan lintasan yang lainnya.
7. Berdasarkan dari hasil pengujian, Teknik TRDMA tidak dapat digunakan untuk lintasan yang memiliki korelasi spasial yang besar

atau pada lintasan yang hampir berdekatan seperti pada lintasan surabaya – merauke dengan surabaya – biak, karena dapat mempengaruhi pengiriman sinyal. Teknik TRDMA hanya dapat digunakan pada lintasan yang mempunyai jarak yang jauh atau korelasi spasialnya rendah.

8. Berdasarkan hasil pengujian Teknik TRDMA hanya dapat digunakan pada jam – jam tertentu. Yaitu pada saat matahari mulai terbit atau pagi hari sampai sebelum matahari terbenam atau siang hari.

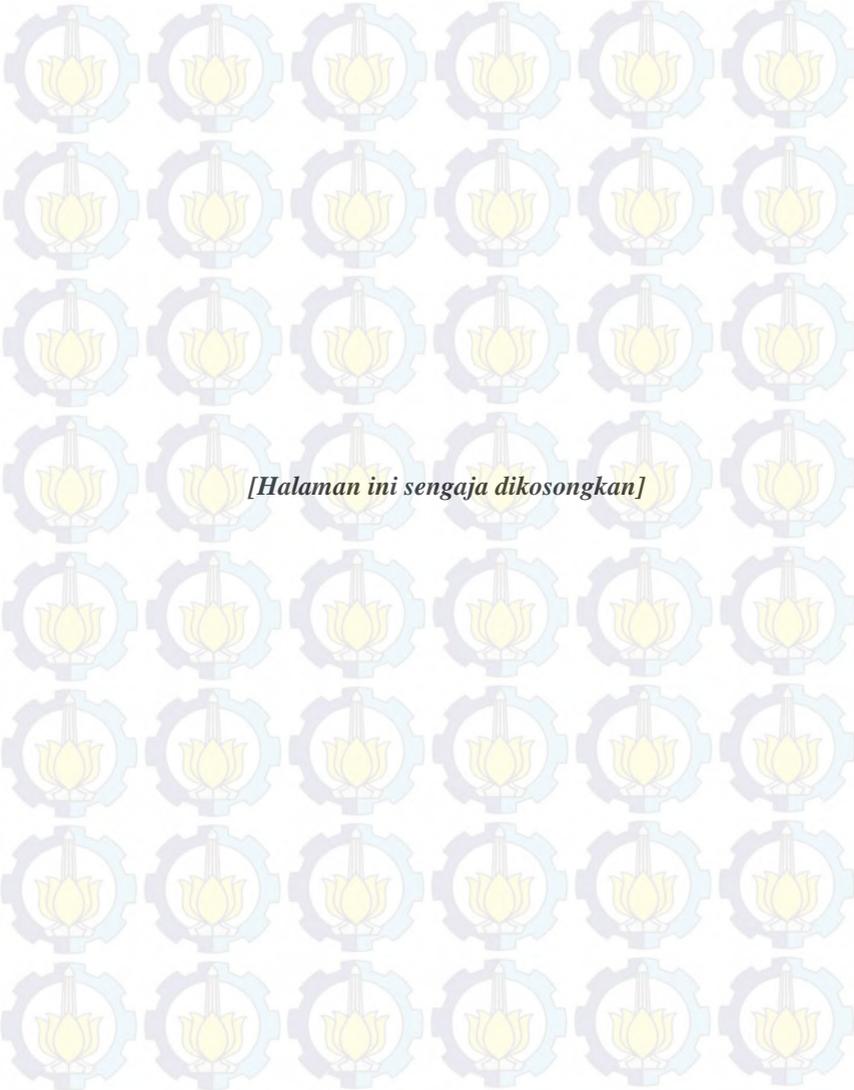
5.2 Saran

Dalam melakukan pengembangan sistem pengukuran komunikasi HF berikutnya dapat dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

1. Menggunakan software yang lebih akurat dalam simulasi perhitungan TRDMA , yaitu software yang sesuai dengan lokasi Indonesia yang berada di daerah equator.
2. Melakukan pengukuran TRDMA secara langsung untuk mengetahui karakteristik suatu lintasan, sehingga dapat digunakan sebagai diversitas apabila lintasan utama terdapat gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Han, Y. Yang, B. Wang, Y. Wu, and K. J. R. Liu, "Time-reversal division multiple access over multi-path channels," IEEE Trans. Commun., vol. 60, no. 7, pp. 1953–1965, July 2012.
- [2] B. Wang, Y. Wu, F. Han, Y. H. Yang, and K. J. R. Liu, "Green wireless communications: a time reversal paradigm," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 29, no. 8, pp. 1698–1710, Sep. 2011.
- [3] Jiyo. 2009. "Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio dan Sudut Elevasi Antena". LAPAN, Indonesia.
- [4] Australian Government. 2007. "IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation.pdf" Sidney, Australia.
- [5] N.A. Siswandari, G. Hendrantoro, "Analisa Propagasi Kanal Radio Dalam Gedung Pada Frekuensi 1,7 GHz", SEE 2003, UAD-Yogyakarta, Oktober 2003.
- [6] J. Lastovicka, A. Bourdillon. 2004. "Ionospheric Effects on Terrestrial Communications: Working Group 3 Overview, Annals of Geophysics", Supplement to vol. 47, no. 2/3, pp. 1269-1276, 2004.
- [7] L. F. McNamara. 1991. "Prediction for HF Communications". Chapter 4, pg 87. Krieger Publishing Company.
- [8] S. Suhartini dan S. Saroso (2002), "Perbandingan Kejadian Spread F Tahun 1999 Di Beberapa Stasiun Ionosonda di Indonesia", Warta Lapan, Vol. 4 No. 2 Hal. 55 - 62
- [9] T. S. Rappaport. 2002. "Wireless Communication Principles and Practice". Prential Hall, USA.
- [10] K. Davies. 1990. "Ionospheric Radio". Peter Peregrinus Ltd, London, UK.
- [11] ITU-R Rec. P. 533. (2009), "method for the prediction of the performance of HF circuits".



RIWAYAT HIDUP



Halimah Mega Mustika, anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Prayoga dan Hindasah. Lahir di Kudus, 30 April 1991. Memulai pendidikan formal di SD Jati Wetan 04, kemudian meneruskan pendidikan ke SMP Negeri 2 Kudus. Kemudian melanjutkan jenjang pendidikan ke SMA 1 Bae Kudus pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2009. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studi Diploma III di Politeknik Negeri Semarang (Polines) dengan mengambil program studi Teknik Elektronika. Setelah itu penulis melanjutkan ke jenjang sarjana (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan mengambil jurusan Teknik Elektro bidang studi Telekomunikasi Multimedia. Pada bulan Januari 2014 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.

e-mail: halimah.mega@gmail.com



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN A

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Halimah Mega Mustika
Nomor Pokok : 2212 106 021
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal Th. 2014/2015
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D
2. Dr. Ir. Achmad Mauludyanto, MT

Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja TRDMA pada Komunikasi Multisuser Downlink pada Kanal HF.

Performance Analysis of Downlink Multisuser Communication TRDMA on HF channel.

Uraian Tugas Akhir

Negara Indonesia terdiri dari sekitar 17.500 pulau besar maupun kecil serta tersebar di sekitar garis khatulistiwa yang memanjang dari Sabang sampai Merauke. Untuk itu dibutuhkan suatu sistem komunikasi yang dapat memberikan informasi yang dapat menghubungkan dari satu wilayah ke wilayah lain yang mempunyai rentang jarak yang cukup jauh salah satunya adalah HF. *High Frequency* (HF) merupakan salah satu sistem komunikasi nirkabel dengan transmisi jarak jauh, biaya relatif murah serta fleksibel. Sistem komunikasi HF bekerja pada frekuensi 3-30 MHz menggunakan gelombang angkasa (*sky wave*) sebagai media propagasinya. Pada propagasi jenis ini sinyal dari pemancar dipantulkan oleh lapisan ionosfer sehingga dapat sampai pada penerima. Dengan daya pancar yang besar, sinyal pada lintasan terpantul antara ionosfer dan bumi dapat menjangkau jarak yang sangat jauh. Sistem komunikasi radio HF sangat dipengaruhi oleh ketinggian, kondisi lapisan ionosfer dan frekuensi kritis lapisan ionosfer. Kondisi lapisan ionosfer memiliki karakter berubah terhadap waktu.

Peningkatan jumlah pengguna pada kanal radio HF akan berdampak terpebuhannya *bandwidth* kanal radio HF sedangkan *bandwidth* yang disediakan terbatas. Untuk itu diperlukan sebuah metode peningkatan efisiensi kanal sehingga jumlah pengguna kanal radio HF dapat ditingkatkan salah satunya metode TRDMA. Teknik transmisi *Time-Reversal Division Multiple Access* (TRDMA) menyediakan komunikasi yang mempunyai potensi besar dengan kompleksitas yang rendah. Ini disebabkan karena teknik transmisi *time-reverse* memanfaatkan secara penuh propagasi lingkungan multipath berdasarkan efek fokus spasial [1]. Lingkungan multipath ini dianggap sebagai antenna virtual pada proses transmisi *time-reverse*. Dengan menggunakan teknik TRDMA maka akan didapatkan optimasi dari kinerja TRDMA.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D
NIP. 197011111993031002

Dr. Ir. Achmad Mauludyanto, MT
NIP. 196109031989031001

Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator

Dr. Tri Arief Sordjono, ST, MT
NIP. 197002121995121001

Dr. Ir. Endroyono, DEA
NIP. 196504041991021001

A. JUDUL TUGAS AKHIR

Sistem komunikasi multiuser downlink pada kanal HF menggunakan TRDMA

B. RUANG LINGKUP

1. Sistem Komunikasi Digital
2. Sistem Komunikasi Nirkabel

C. LATAR BELAKANG

Negara Indonesia terdiri dari ribuan pulau yang terbentang dari Sabang hingga Merauke. Namun di saat teknologi telekomunikasi berkembang dengan sangat pesat masih terdapat banyak daerah yang kesulitan dalam mengakses informasi. Untuk itu diperlukan sistem komunikasi dalam menunjang pembangunan daerah terpencil tersebut. Sistem komunikasi radio *High Frequency* (HF) mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan sistem komunikasi lain seperti sistem komunikasi satelit ataupun sistem komunikasi bawah laut. HF memiliki kelebihan dapat memberikan transmisi jarak jauh, biaya rendah, fleksibilitas serta menggunakan frekuensi kanal dengan band 3-30 MHz. Dalam lingkup propagasi, sistem komunikasi HF mampu menjangkau jarak lintasan yang jauh. Selain itu, sistem ini lebih murah dan lebih mudah untuk diimplementasikan bila dibandingkan dengan sistem komunikasi satelit. Sistem komunikasi HF mampu mengirimkan sinyal dengan menggunakan satu atau lebih pantulan pada lapisan ionosfer dengan ketinggian 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi. Hal ini memungkinkan sistem komunikasi HF mampu menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan *repeater*. Gelombang radio yang digunakan tidak memerlukan infrastruktur baru karena hanya menggunakan lapisan ionosfer sehingga tidak dikenakan biaya koneksi. Dengan demikian, salah satu alternatif yang memungkinkan untuk diterapkan adalah sistem komunikasi HF.

Peningkatan penggunaan komunikasi nirkabel antar pengguna seperti suara menggunakan kanal HF akan berdampak terpenuhinya *bandwidth* kanal HF sedangkan kanal HF yang disediakan memiliki *bandwidth* terbatas. Untuk itu perlu metode memaksimalkan efisiensi kanal agar kapasitas kanal HF dapat ditingkatkan seperti metode *Time-Reversal Division Multiple Access* (TRDMA). TRDMA merupakan salah satu metode yang memungkinkan untuk menanggulangi ISI yaitu

dengan teknik *Time-Reversal*(TR) yang dapat memberikan potensi besar pada komunikasi HF dan mempunyai kompleksitas rendah serta hemat energi, dengan memanfaatkan sepenuhnya sifat lingkungan multipath. Pada komunikasi nirkabel TR *multi-user* terdiri dari dua fase : fase *recording* dan fase transmisi. Ketika transmitter A ingin mengirimkan informasi ke receiver B, pertama receiver B mengirimkan impuls yang menyebar melalui hamburan lingkungan multipath, dan sinyal multipath diterima dan dicatat oleh transmitter A, kemudian transmitter A hanya mengirimkan gelombang *time-reversal* (dan terkonjugasi) kembali melalui saluran yang sama untuk receiver B. Transmisi TR pada dasarnya memanfaatkan saluran multipath untuk matched filter agar sinyal dari pengirim dapat sampai di penerima. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis dan simulasi data sehingga didapatkan hasil perbandingan tingkat keefektifan suatu transmisi *Time-Reversal Division Multiple Access* (TRDMA) pada sistem downlink *multi-user* untuk komunikasi HF.

D. PERUMUSAN MASALAH

Adapun permasalahan dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana mengaplikasikan TRDMA pada kanal HF
2. Bagaimana kinerja TRDMA pada kanal HF

E. BATASAN MASALAH

1. Sistem TRDMA menggunakan antena SISO
2. Fase *recording* diharapkan dapat memberikan sinyal yang cocok untuk receiver.
3. Penggunaan kanal pada sistem TRDMA menggunakan kanal HF

F. TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan dan manfaat dalam tugas akhir ini diantaranya:

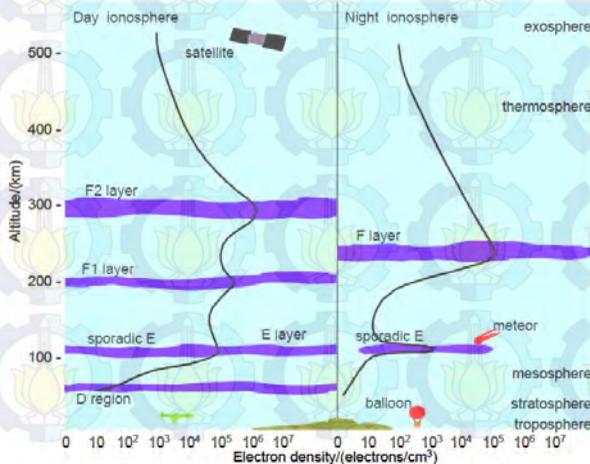
1. Bagaimana cara mengatasi ISI pada kanal HF karena banyaknya user dengan menggunakan TRDMA.
2. Memungkinkan implementasi multiuser pada lingkungan HF.
3. Penerapan TRDMA sebagai dasar kajian awal dari aplikasi HF.
4. Sebagai komunikasi yang mempunyai potensi besar dengan kompleksitas yang rendah dan hemat energy.

G. TINJAUAN PUSTAKA

➤ Karakteristik Propagasi Gelombang Radio Pada *High Frequency (HF)*

Mekanisme propagasi gelombang radio bermacam-macam, tetapi pada umumnya dikategorikan menjadi tiga, yaitu pantulan, difraksi dan *scattering*. Pantulan terjadi ketika gelombang elektromagnetik merambat kemudian menyentuh objek yang memiliki ukuran sangat besar dibandingkan dengan panjang gelombangnya. Pantulan ini terjadi pada permukaan bumi dan pada bangunan [2].

Komunikasi radio *High Frequency (HF)* merupakan komunikasi yang memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan sinyal gelombang radio dengan menggunakan frekuensi kerja 3-30 MHz. Radio komunikasi ini biasanya dipergunakan untuk komunikasi jarak jauh. Lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal, terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, F. Masing-masing lapisan memiliki pengaruh tersendiri terhadap komunikasi radio HF. Pemantulan sinyal terjadi pada lapisan F, dimana pada siang hari lapisan F terbagi menjadi dua, yaitu F1 dan F2. Bahkan pada saat tertentu akan terbagi menjadi lebih dari dua lapisan [2]. Sedangkan pada malam hari, lapisan F yang terbagi tadi akan menjadi satu lapisan. Kondisi pada lapisan ionosfer ini diilustrasikan pada gambar 2.



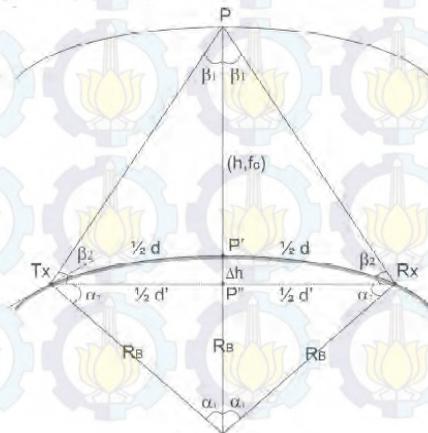
Gambar 2. Lapisan Ionosfer

Propagasi gelombang radio HF ditentukan oleh penggunaan frekuensi dan waktu pemantulan pada lapisan ionosfer. Penggunaan frekuensi harus tepat sehingga gelombang radio dapat dipantulkan pada lapisan F dengan baik. Penentuan frekuensi maksimum komunikasi radio dapat menggunakan perumusan *secant* dengan mempertimbangkan kelengkungan bumi pada hal ini dikhususkan untuk daerah ekuator. *Maksimum Usable Frequency* (MUF) yang akan digunakan dipengaruhi oleh *Maksimum Oblique Frekuensi* (MOF) dan *Low Oblique Frekuensi* (LOF) yang dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2). Sudut elevasi pada pemancar juga penting pada komunikasi radio karena dapat mempengaruhi jarak antara Tx dan Rx. Perhitungan sudut elevasi ditunjukkan pada persamaan (3) [3]

$$LOF = f \min \frac{\sqrt{\frac{1}{4} d^2 + h^2}}{h} \quad (1)$$

$$MOF = f_o F2 \frac{\sqrt{\frac{1}{4} d^2 + h^2}}{h} \quad (2)$$

$$elevasi = \beta_2 - \alpha_1 \quad (3)$$



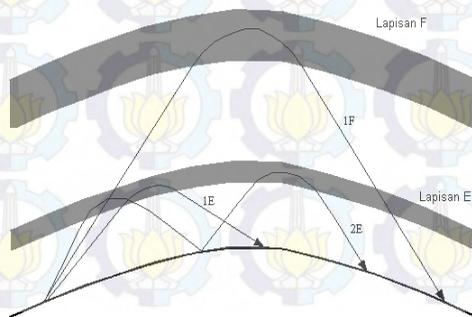
Gambar 3. Ilustrasi Pemantulan Gelombang Radio 1 Hop

Pada lapisan ionosfer terdapat beberapa gangguan, diantaranya adalah:

- Kerapatan lapisan D
Hal ini terjadi karena aktivitas radiasi sinar X matahari dan bersifat menyerap gelombang HF sehingga dapat terjadi *delay* dan biasanya mengganggu navigasi pesawat
- Badai ionosfer
Penipisan lapisan ionosfer yang disebabkan partikel berenergi tinggi dari matahari
- E sporadius
Lapisan ini menutupi lapisan F sehingga gelombang radio yang akan di pantulkan menuju lapisan F akan dipantulkan langsung oleh lapisan ini. Hal ini tidak hanya terjadi pada komunikasi HF saja, tetapi juga pada komunikasi VHF.
- *Equatorial Spread F* (ESF)
Fenomena ini terjadi karena ada penebalan pada lapisan F sehingga menyebabkan efek *delay spread*. Pada daerah ekuator, fenomena ini sangat berpengaruh pada komunikasi HF.

➤ **Mode Propagasi Gelombang Antariksa (skywave)**

Mode propagasi adalah jalur yang dilalui gelombang radio dalam perjalanannya dari pemancar ke penerima. Jalur ini banyak dan bervariasi, sehingga perlu dilakukan “pengarahan”, agar energi terbesar dari gelombang radio yang dipancarkan dapat sampai di sisi penerima dengan tepat. Perambatan mungkin terjadi dengan 1 *hop* (satu kali pantulan dari ionosfer), 2 *hop* (dua kali pantulan dari ionosfer, dengan pantulan dari permukaan bumi di antara keduanya), dan sebagainya, dan mungkin melalui satu atau beberapa lapisan ionosfer. [4]



Gambar 4. Beberapa mode perambatan gelombang antariksa.

Gambar 4 menunjukkan beberapa mode perambatan gelombang antariksa dengan pemantulan oleh lapisan E dan F. Mode 1E berarti gelombang radio dipantulkan satu kali oleh lapisan E, 1F satu kali oleh lapisan F dan seterusnya. Suatu mode cenderung mengalami pelemahan lebih besar dibandingkan lainnya. Sebagai rumus umum, semakin tinggi orde mode, atau semakin banyak *hop*-nya, kuat sinyal akan semakin kecil karena setiap kali pemantulan baik di permukaan bumi maupun di ionosfer selalu menghasilkan pengurangan energi. Sebagai contoh, 2 *hop* lapisan F, atau mode 2F, harus dipantulkan oleh permukaan bumi sekali, dan 2 kali dari lapisan F. Sebagai konsekuensinya, kehilangan energi mode 1F akan selalu lebih kecil dibandingkan 2F atau mode lapisan F orde yang lebih tinggi (3F, 4F,...). Kehilangan energi pada pemantulan oleh permukaan bumi untuk *hop* panjang (sudut elevasi rendah) umumnya sekitar 3 dB untuk permukaan dengan konduktivitas rendah dan 0.5 dB untuk pemantulan di laut. Mode perambatan dengan orde yang lebih rendah juga ditandai dengan MUF yang lebih tinggi dibandingkan orde yang lebih tinggi.

Secara umum, gelombang radio diharapkan merambat mengikuti mode yang paling sederhana, yaitu 1 kali pantulan oleh lapisan ionosfer, sehingga kehilangan energi menjadi sekecil mungkin. Apabila jarak komunikasi sangat jauh (> 1000 km untuk pemantulan oleh lapisan E, dan > 3000 km untuk pemantulan oleh lapisan F), sudut elevasi menjadi sangat rendah, dan dalam kenyataannya sulit untuk direalisasikan. Oleh karena itu, mode propagasi dengan satu kali pantulan menjadi tidak mungkin, dan harus digunakan mode dengan orde lebih tinggi [5].

➤ **Multipath Fading**

Small-scale fading atau biasa disebut dengan *fading* disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih sinyal terkirim yang sampai di Rx pada selisih waktu yang tidak begitu jauh yang disebut dengan gelombang *multipath*, bergabung di antenna Rx sehingga menghasilkan sinyal resultan di mana amplitudo dan fasanya berubah-ubah. Sinyal yang diterima oleh penerima merupakan jumlahsuperposisi dari keseluruhan sinyal yang dipantulkan akibat banyak lintasan (*multipath*). Hal ini menyebabkan kuat sinyal yang diterima oleh penerima akan bervariasi dengan cepat, dan terjadifenomena sinyal fading cepat (*short term fading*). Karena rendahnya antena MS dan adanya strukturbangunan yang mengelilingi MS, menyebabkan fluktuasi yang cepat pada penjumlahan sinyal-sinyal *multipath* menurut distribusi statistik yang

disebut distribusi Rayleigh yang dikenal dengan *Rayleigh Fading*. Fading yang terjadi secara lambat akibat pengaruh efek bayangan dari berbagai halang disebut fading lambat (*shadowing*). Fading ini mengakibatkan fluktuasi level daya yang diterima selama MS bergerak. Karakteristik pertama dari medium *multipath* adalah penyebaran waktu atas sinyal yang ditransmisikan melalui kanal. Karakteristik kedua adalah akibat variasi waktu dalam struktur medium. Sebagai hasil dari variasi waktu ini, sifat *multipath* berubah terhadap waktu, sebab jika sinyal pulsa ditransmisikan lagi, maka terjadi perubahan pada entetan sinyal terima. Variasi waktu muncul tidak dapat diprediksi terhadap pengguna kanal, sehingga kanal *multipath* berubah terhadap waktu. Misalkan, suatu sinyal transmisi yang ditunjukkan pada umumnya dengan persamaan berikut.

$$s(t) = \text{Re} [S_l(t) e^{j2\pi f_c t}] \quad (4)$$

➤ **Distribusi Fading Rayleigh**

Distribusi Rayleigh digunakan dalam kondisi *multipath* dengan kondisi non - LOS antara Tx dan Rx. Distribusi Rayleigh dari selubung sinyal terima memiliki persamaan PDF sebagai berikut :

$$y(t) = \sum_n |\alpha_n| e^{j\varphi_n(t)} s(t - \tau_n(t)) \quad (5)$$

dimana s adalah nilai r.m.s. tegangan sinyal sebelum deteksi selubung dan s^2 adalah daya waktu-rata-rata sinyal terima sebelum deteksi selubung. Probabilitas selubung sinyal terima tidak melebihi nilai R tertentu didefinisikan oleh persamaan *cumulative distribution function* (CDF) berikut

$$P(R) = \Pr(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

nilai *mean r* dari distribusi Rayleigh didefinisikan sebagai berikut :

$$r_{\text{mean}} = E(r) \int_0^\infty r \cdot p(r) dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.253\sigma \quad (7)$$

dan variansi dari distribusi Rayleigh dinotasikan dengan $2r$, yang menunjukkan daya selubung sinyal dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\sigma_r^2 &= E[E^2] - E[r]^2 = \int_0^{\infty} r^2 \cdot p(r) dr - \frac{\sigma^2 \pi}{2} \\ &= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) = 0,429 \sigma^2\end{aligned}\quad (8)$$

➤ Teknik *Multiple Access*

Konsep dasar dari teknik *multiple access* yaitu memungkinkan suatu titik dapat diakses oleh beberapa titik yang saling berjauhan dengan tidak saling mengganggu. Teknik *multiple access* mempunyai arti bagaimana suatu spektrum radio dibagi menjadi kanal-kanal dan bagaimana kanal-kanal tersebut dialokasikan untuk pelanggan sebanyak-banyaknya dalam satu sistem. CDMA merupakan teknologi *multiple access* yang membedakan satu pengguna dengan pengguna lainnya menggunakan kode-kode khusus dalam lebar pita frekuensi yang ditentukan. Sistem CDMA merupakan pengembangan dari dua sistem *multiple access* sebelumnya. CDMA memiliki konsep *multiple access* yang berbeda dengan *Frequency Time Division Multiple Access* (FDMA) dan *Time Division Multiple Access* (TDMA) karena sistem ini memanfaatkan kode-kode digital yang spesifik untuk membedakan satu pengguna dengan pengguna lainnya.

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

Sistem selular ini menggunakan sistem pengkalan dengan pita 30 kHz setiap kanalnya, sistem ini dikenal sebagai sistem FDMA (Frequency Division Multiple Access). Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular FDMA menggunakan antenna berarah dan sistem *reuse frequency* yang rumit. Pada teknik FDMA, lebar pita frekuensi yang dialokasikan dibagi menjadi bagian-bagian kecil spektrum frekuensi. Kemudian setiap user diberi alokasi pita frekuensi tersebut selama melakukan proses percakapan, sehingga dalam waktu yang sama hanya satu user yang dapat menggunakan frekuensi tersebut. Teknologi FDMA ini digunakan pada sistem analog seperti AMPS dan TACS.

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

Untuk lebih meningkatkan kapasitas, digunakan sistem akses jamak digital yang disebut TDMA (Time Division Multiple Access). Sistem ini menggunakan pengkalan dan reuse frequency yang sama dengan sistem FDMA dengan tambahan elemen time sharing. Setiap kanal dipakai bersama oleh beberapa user menurut slot waktunya masing-masing. Karena itu, aliran informasi pada TDMA tidak kontiniu atau terpotong-potong pada tiap time slotnya. Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan. TDMA dibagi menjadi wideband TDMA dan narrowband TDMA.

a. Wideband TDMA (WTDMA)

Wideband TDMA menggunakan seluruh frekuensi yang tersedia dan membaginya ke dalam slot-slot waktu. Dalam WTDMA ini, tranceiver yang dibutuhkan hanya satu. Data yang dikirimkan dalam bentuk letupan-letupan pendek dengan kecepatan tinggi. Kelemahan WTDMA adalah karena kecepatan transmisi yang tinggi, maka sistem akan rentan terhadap error yang disebabkan oleh distorsi lintas jamak, yang biasa terjadi pada sistem komunikasi bergerak.

b. Narrowband TDMA (NTDMA)

Teknik NTDMA merupakan gabungan antara FDMA dan WTDMA.

Contoh penggunaan NTDMA misalnya pada GSM.

• **Code Division Multiple Access (CDMA)**

Code Division Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknik *multiple access* yang banyak diaplikasikan untuk seluler maupun *fixed wireless*. Teknik akses jamak ini berdasarkan teknik komunikasi spektrum tersebar, pada kanal frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama digunakan kode-kode yang unik untuk mengidentifikasi masing-masing user. CDMA menggunakan kode-kode korelatif untuk membedakan satu user dengan user yang lain. Kode tersebut dikenal dengan pseudo acak (pseudorandom). Sinyal-sinyal CDMA itu pada penerima dipisahkan dengan menggunakan sebuah korelator yang hanya melakukan proses despreading spektrum pada sinyal yang sesuai. Sinyal-sinyal lain yang kodenya tidak cocok, tidak didespread dan sebagai hasilnya sinyal-sinyal lain itu hanya menjadi noise interferensi.

Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan, CDMA terbagi menjadi NCDMA dan WCDMA.

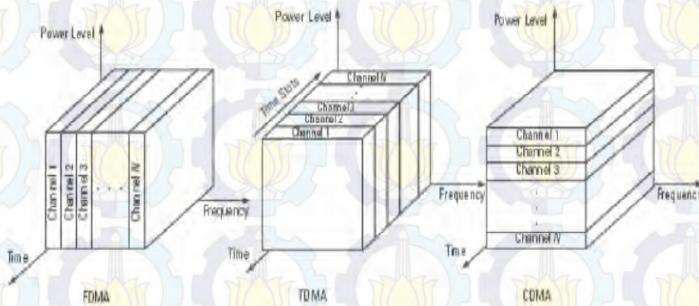
a. Narrowband CDMA (NCDMA)

Saat ini standard dari NCDMA adalah IS-95, yang menggunakan spektrum dengan lebar 25 MHz yang dibagi dalam 20 kanal dupleks. Sehingga masing-masing kanal mempunyai lebar 1,25 MHz.

b. Wideband CDMA (WCDMA)

WCDMA menggunakan lebar pita frekuensi 5 MHz, 10 MHz dan 15 MHz pada standard IS-665. Dengan makin lebar spektrum yang digunakan, maka banyak keuntungan yang diperoleh seperti efek fading lintas jamak jauh lebih kecil, kecepatan data dapat meningkat tajam dan lain-lain (Gatot Santoso, 2004).

Perbandingan antara FDMA, TDMA dan CDMA dapat ditunjukkan dengan gambar



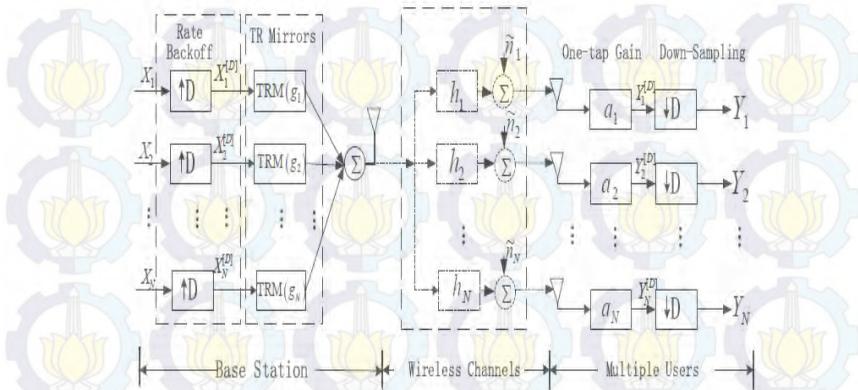
Sumber : TDD-CDMA for wireless communications.

Gambar. Perbandingan antara FDMA, TDMA dan CDMA

➤ **Time Reverse Division Multiple Access (TRDMA)**

Time-reversal dapat disebut juga *frequency conjugation* dalam domain frekuensi. *Time Reversal Division Multiple Access* ini mempunyai proses teknik pengiriman dua arah, dimana pada komunikasi nirkabel TR *multi-user* ini terdiri dari dua fase yaitu: fase *recording* dan fase transmisi. Pada fase *recording*, pertama-tama *user* mengirimkan respon impuls ke BS. Kemudian TRM pada BS merekam respon impuls dari masing-masing link dan menyimpan *time-reverse* (dan konjugate) yang selanjutnya akan dikirimkan ke fase transmisi. Pada fase transmisi, sinyal yang keluar dari TRM ditambahkan dengan jumlah user yang ada kemudian ditransmisikan ke saluran nirkabel.

TRDMA with one Single Antenna



Gambar . Diagram dari SISO TRDMA sistem multiuser downlink. [6]

H. METODOLOGI

Metode tugas akhir yang digunakan, secara garis besar digambarkan dalam diagram pada gambar. Tugas akhir ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi yaitu studi literatur, pada tugas akhir sebelumnya sudah ditentukan beberapa parameter seperti inialisasi sinyal, perhitungan matematis dengan metode Time-Reversal, serta pengukuran kanal HF.

1. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah pengumpulan referensi, mengkaji materi yang digunakan untuk penelitian ini. Refrensi yang digunakan berasal dari jurnal internasional, thesis, dan penelitian- penelitian yang berhubungan dengan HF dan TRDMA.

2. Pemodelan Sistem multi-user dengan menggunakan TRDMA

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan model kanal yang digunakan, tahap ini bertujuan untuk mencari parameter- parametr yang akan dilakukan dalam proses pengukuran. Metode yang digunakan yaitu metode *time-reversal*.

3. Simulasi Sistem

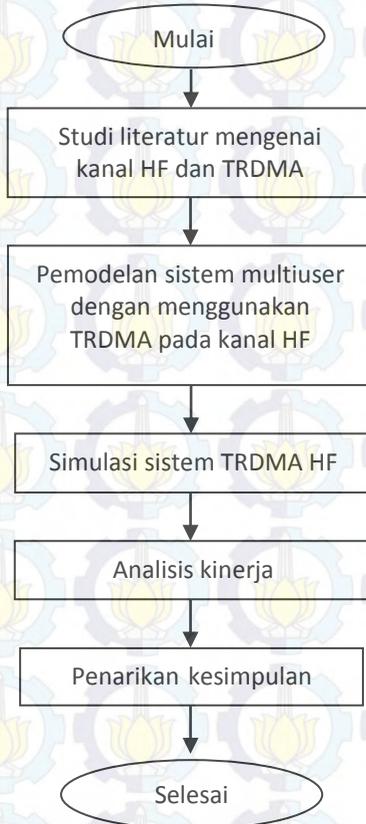
Tahap ini merupakan proses implementasi dari spesifikasi data yang dibutuhkan dan data yang ingin didapatkan.

4. Analisis Kerja

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil dari data yang sudah disimulasikan.

5. Penarikan Kesimpulan

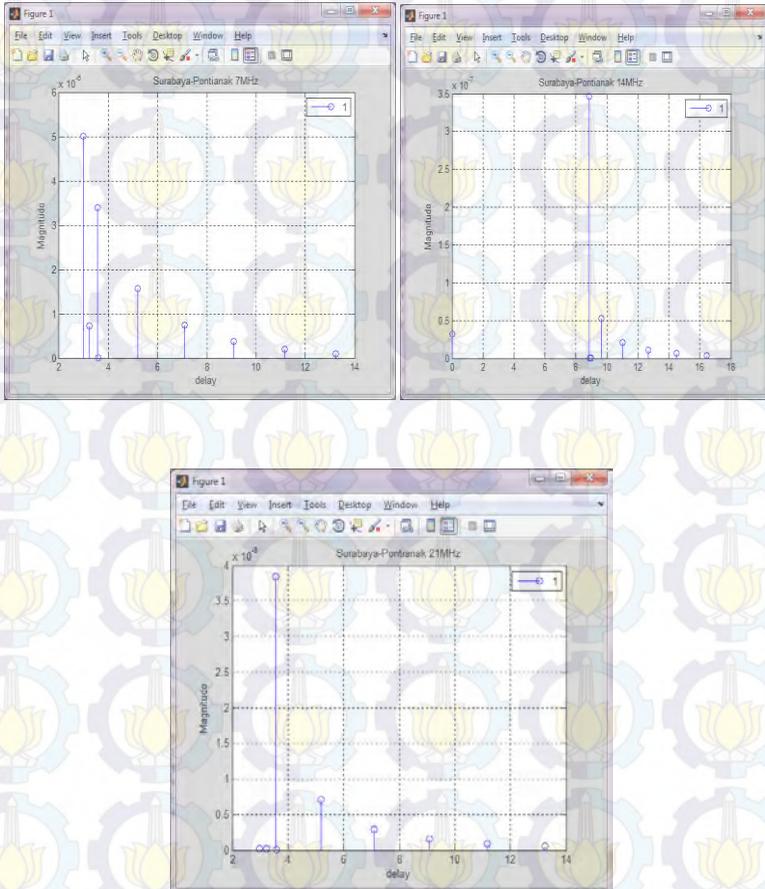
Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan dari hasil analisis data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya..



Gambar. Diagram Alir tugas akhir

I. HASIL AWAL

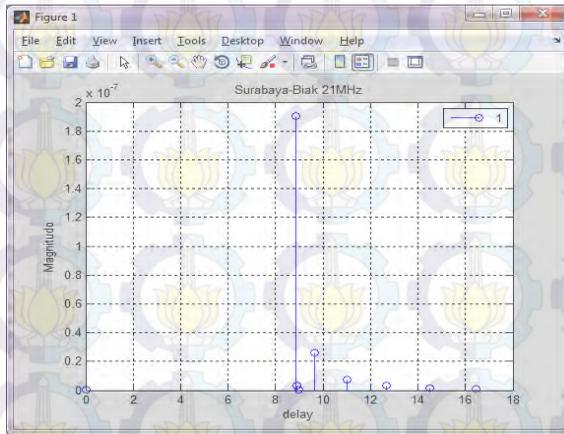
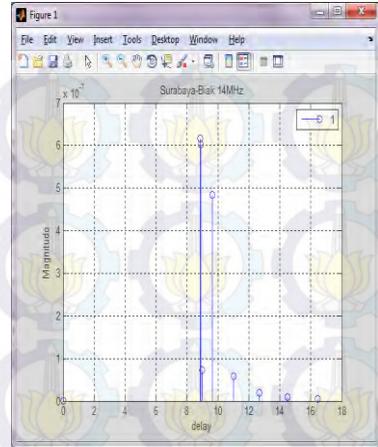
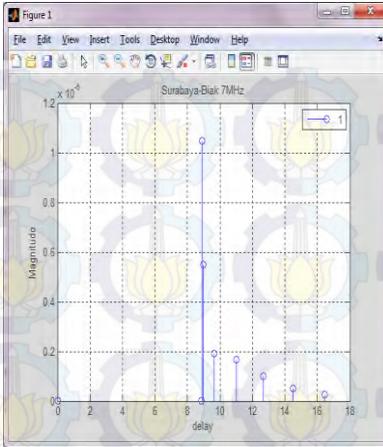
Dalam penelitian ini pertama dilakukan proses pengolahan data, dimana data diambil dari standard Rekomendasi ITU-R P.533 dengan mengambil link Surabaya-Pontianak, Surabaya-Kotatabang, Surabaya-Biak, Surabaya-Merauke, Surabaya-Ternate. Hasil pengolahan data ini berupa sinyal respon impuls dengan frekuensi pembawa 7, 14 dan 21 MHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar (a), (b), (c),(d), dan (e).



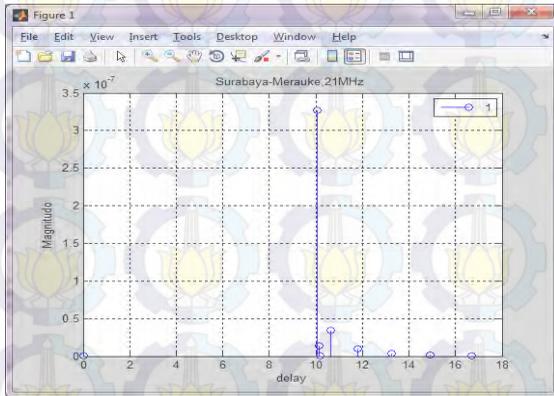
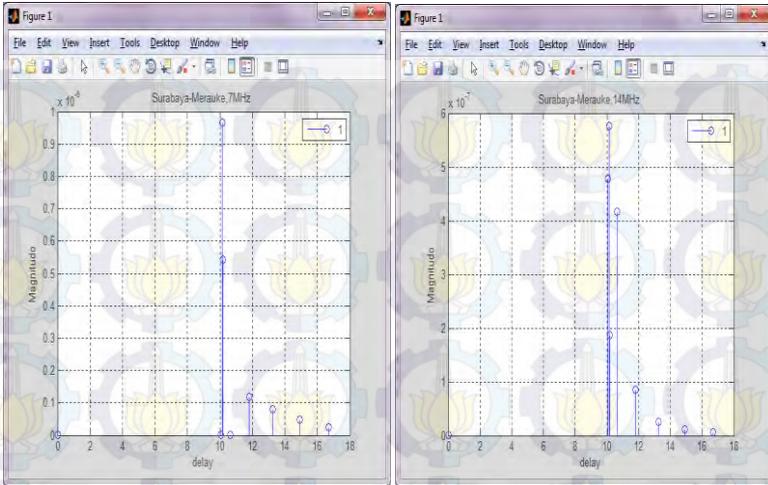
(a) Respon Impuls link Surabaya-Pontianak



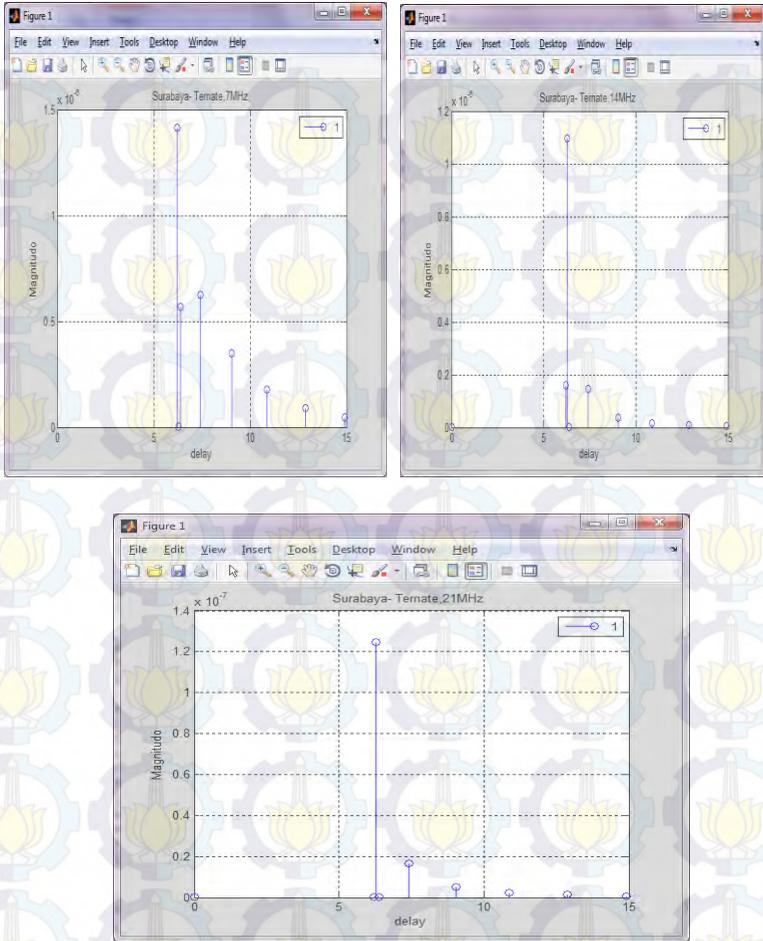
(b) Respon Impuls link Surabaya- Kotabang



(c) Respon Impuls link Surabaya- Biak



(d) Respon Impuls link Surabaya-Merauke



(e) Respon Impuls link Surabaya-Ternate

J. JADWAL KEGIATAN

Adapun jadwal kegiatan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

Nama Kegiatan	Bulan September 2014				Bulan Oktober 2014				Bulan November 2014				Bulan Desember 2014				Bulan Januari 2015			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengkajian masalah																				
Studi literatur																				
Pengolahan data																				
Analisis karakteristik kanal																				
Penyusunan Laporan																				

K. DAFTAR PUSTAKA

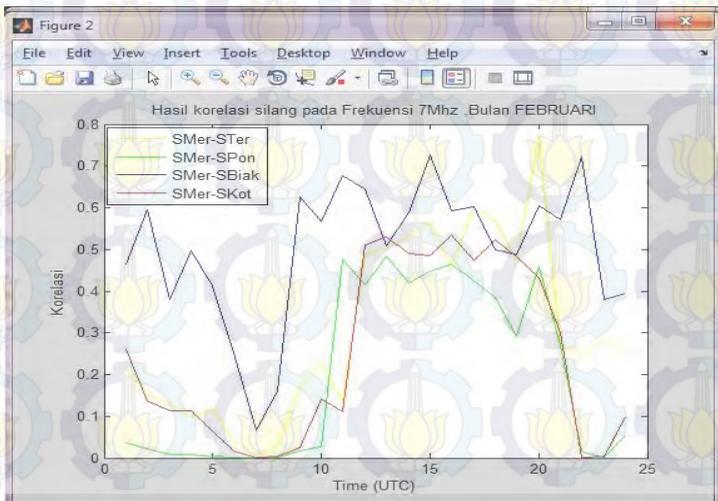
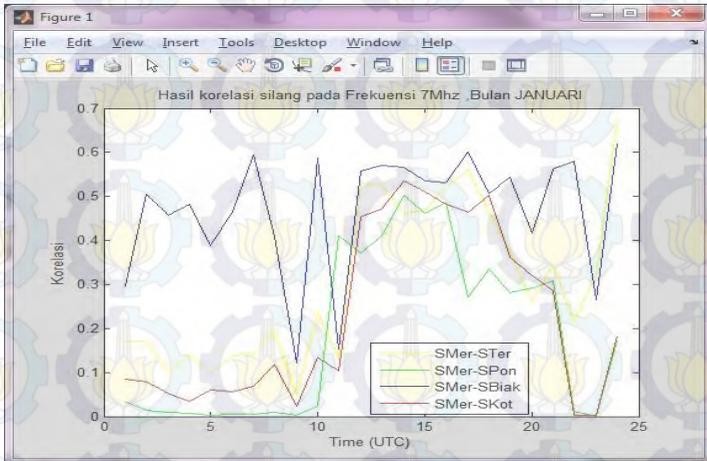
- [1] B. Wang, Y. Wu, F. Han, Y. H. Yang, and K. J. R. Liu, "Green wireless communications: a time reversal paradigm," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, no. 8, pp. 1698–1710, Sep. 2011.
- [2] Parson, J. D, "The Mobile Radio Propagation Channel Second Edition", John Wiley & Sons Ltd, 2000
- [3] Lastovicka, J., Bourdillon, A. (2004). "Ionospheric Effects on Terrestrial Communications: Working Group 3 Overview, *Annals of Geophysics*", Supplement to vol. 47, no. 2/3, pp. 1269-1276.
- [4] McNamara, Leo F. "The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding", Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 1991.
- [5] Suhartini, Sri. "Sudut Elevasi dan Ketinggian Antena Untuk Komunikasi HF". LAPAN, Indonesia.
- [6] B. Wang, Y. Wu, F. Han, Y. H. Yang, and K. J. R. Liu, "Green wireless communications: a time reversal paradigm," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, no. 8, pp. 1698–1710, Sep. 2011.
- [7] Standart Recommendation ITU-R P-533.

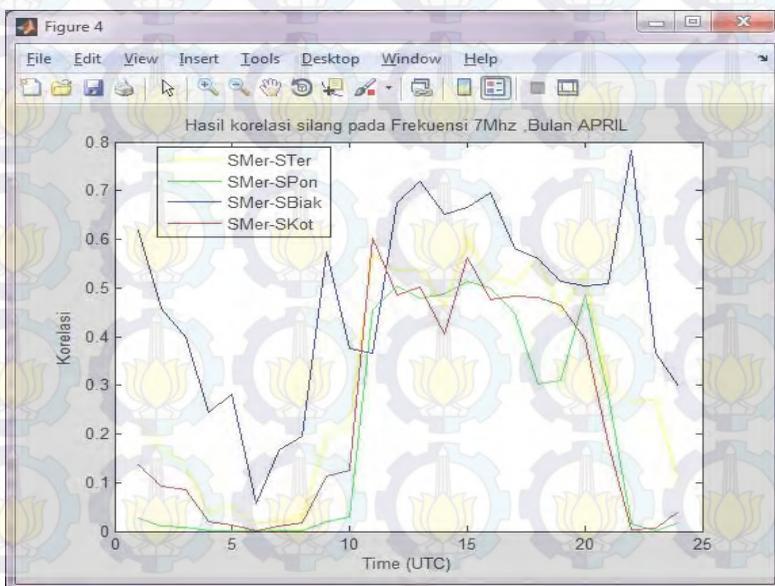
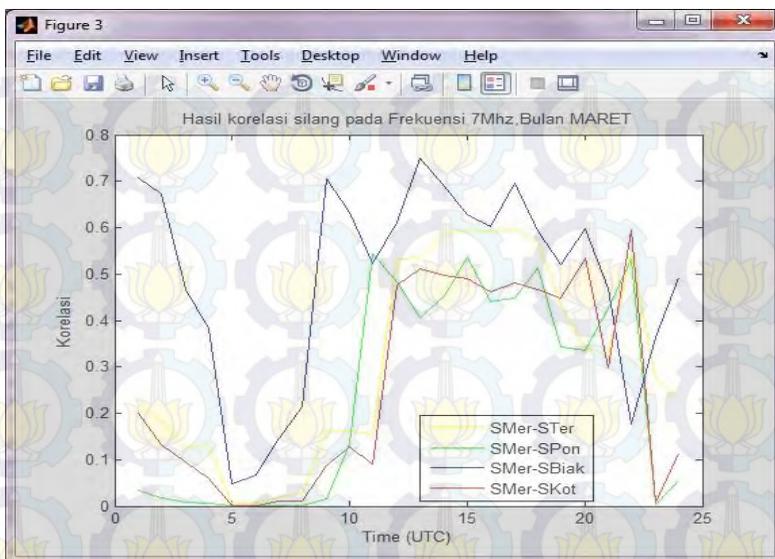


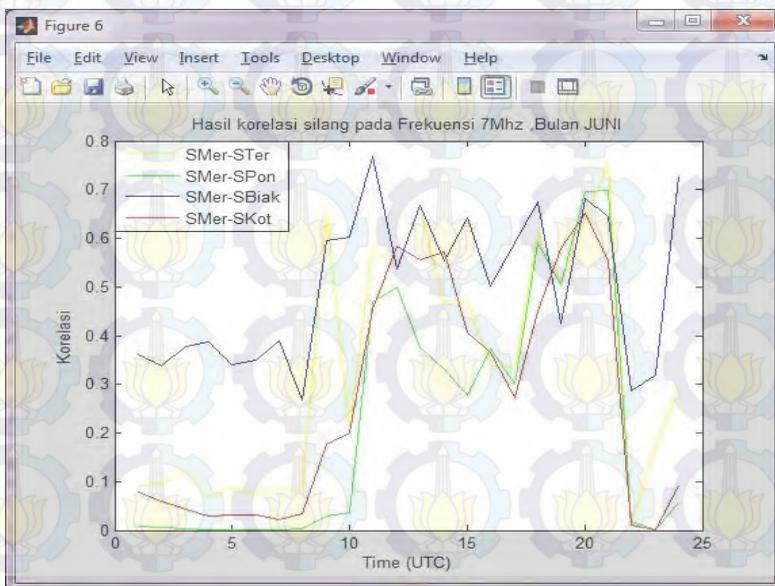
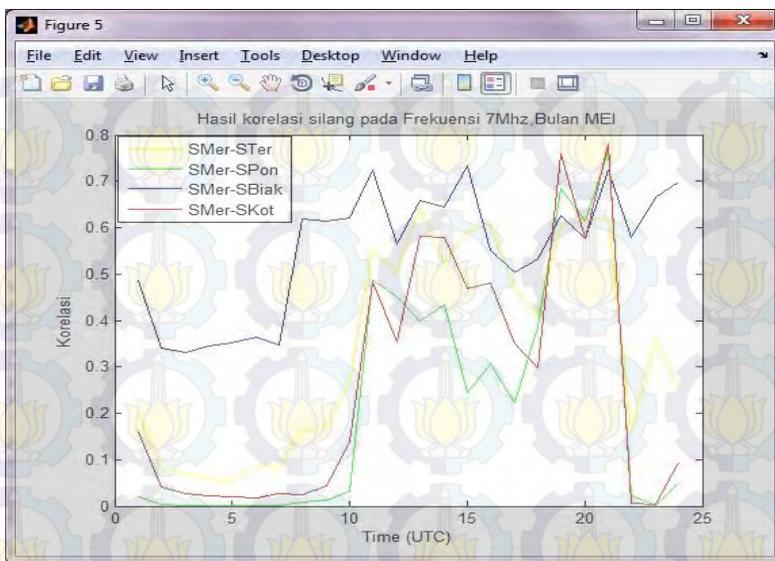
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

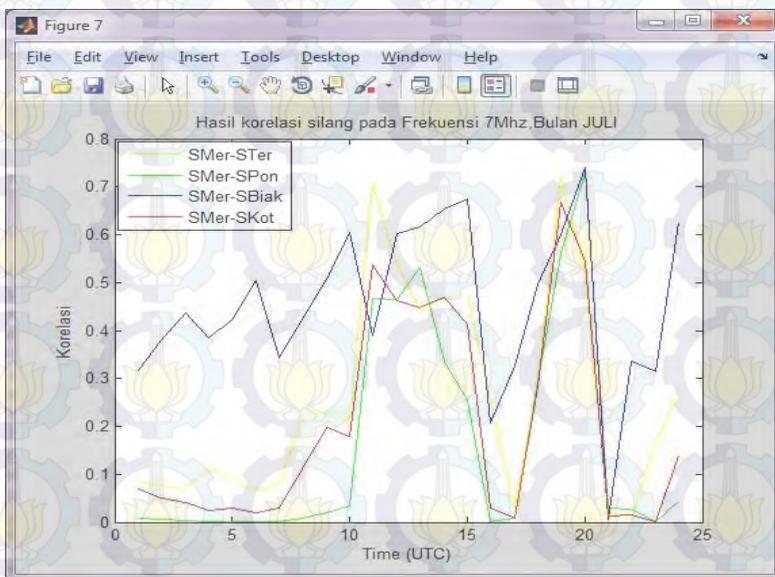
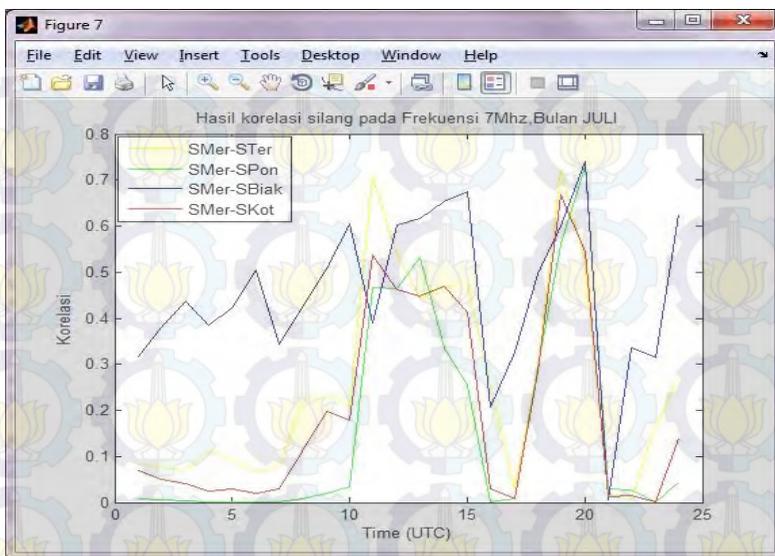
LAMPIRAN B

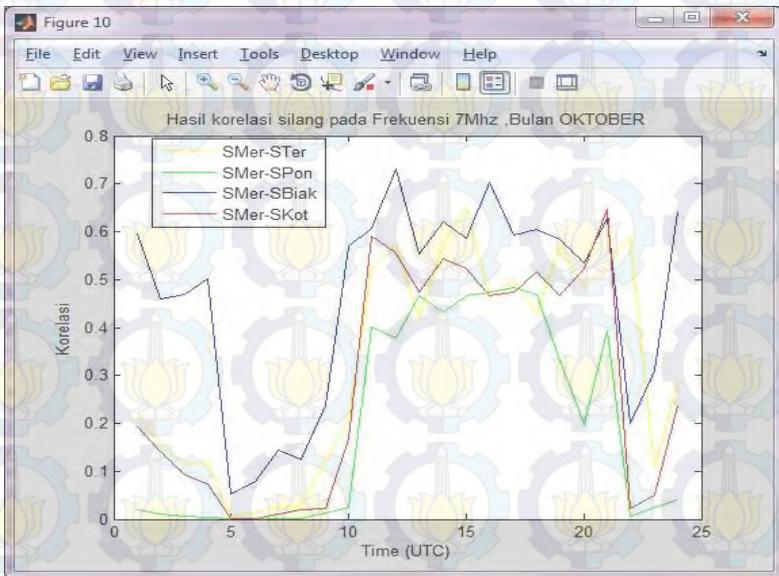
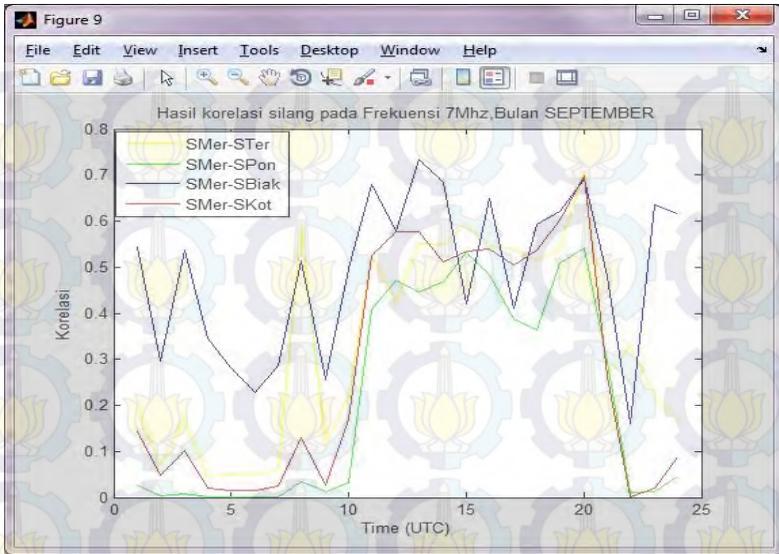
Hasil korelasi spasial antar link dengan frekuensi 7 mhz tiap jam pada semua bulan.

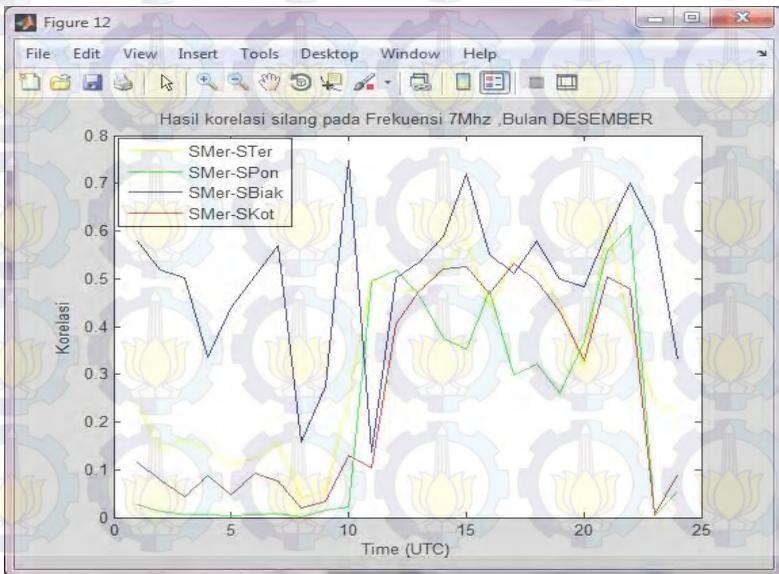
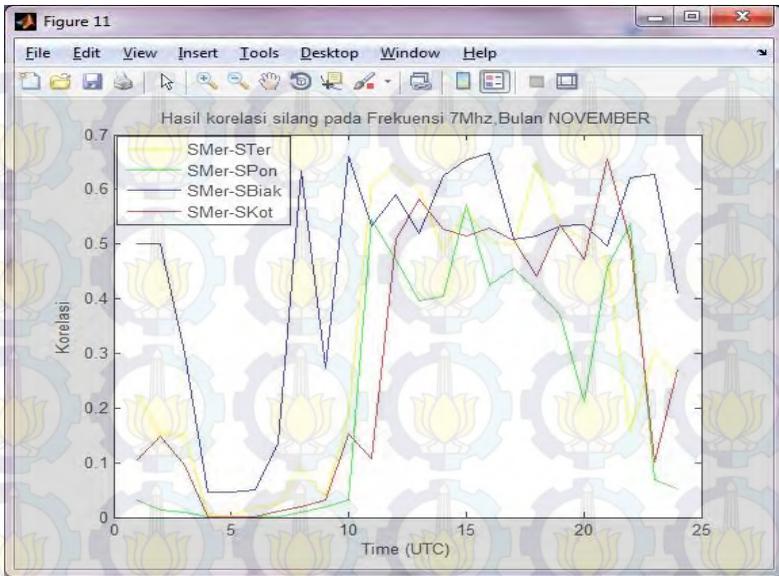












LAMPIRAN C

Listing Program

```
close all;
clear all;
clc;

% pembangkitan bit
nbit = 10000;
tx_bit = randint(nbit,1,[0,1],1);
Tx = reshape(tx_bit,1,[]);
B1 = pskmod(tx_bit,2);
nbit2 = 10000;
tx_bit2 = randint(nbit2,1,[0,1],1);
Tx2 = reshape(tx_bit2,1,[]);
B2 = pskmod(tx_bit2,2);

% bit rate (Rb) & periode bit (Tb) = periode
sampling
Rb_2 = 1 ; % kbps
Tb_2 = 1 ; %ms

% data ITU-R %%
% DATA 1
A = xlsread('M1_7delay.xlsx', 1, 'B12:G12');
B = xlsread('M1_7.xlsx', 1, 'B12:G12');
daya = sqrt(10.^(B/10)); %%Konversi nilai daya
ke volt%%
C = A.';
D = daya.';
[I,J] = sort(C,'ascend');
pow = D(J);
pow2 = reshape(pow,1,[]);
la=length(pow);
for dx = 1:la
    d1(dx)=I(dx)-min(I);
end
% stem(d1,pow)
```

```

% DATA 2
A5 = xlsread('P1_7delay.xlsx',1, 'B12:G12');
%delay
B5 = xlsread('P1_7.xlsx', 1, 'B12:G12');
%magnitude
daya5 = sqrt(10.^(B5/10)); %%Konversi nilai
daya ke volt%%
C5 = A5.';
D5 = daya5.';
[I,J] = sort(C5,'ascend'); %pengurutan nilai
pow5 = D5(J);
pow15 = reshape(pow5,1,[]);
la5=length(pow5);
for dy = 1:la5
    d5(dy)=I(dy)-min(I); % delay
end
% figure
% stem(d5,pow5)

%% Hitung rasio%%
Tm_M = max(d1);
r1 = Tm_M / Tb_2;
rr_M = ceil(r1);

Tm_B = max(d5);
r2 = Tm_B / Tb_2;
rr_B = ceil(r2);

%% Perhitungan respon impulse%%
phase = randn(1,6);
phasel = phase*2*pi;
Apha1 = pow2.*exp(j*phasel);
y5=[];
for k = 1:6
    for n =1:rr_M
        YY(:,n) =
Apha1(:,k).*sinc(pi*(d1(:,k)/Tb_2 - n));
        y4=sum(YY);
    end
end

```

```

y6 = [y5 y4];
y5 = y6;
end
h_M = y5 ;

phase2 = randn(1,6);
phase21 = phase2*2*pi;
Apha2 = pow15.*exp(j*phase21);
F5=[];
for l = 1:6
    for rr =1:rr_B
        FY(:,rr) =
Apha1(:,l).*sinc(pi*(d5(:,l)/Tb_2 - rr));
        F4=sum(FY);
    end
    F5=[F5 F4];
end
h_B = F5 ;

%% Perhitungan pada TRM %%
% pergeseran_waktu
n1 = d1;%delay
x1 = h_M;%magnitudo
p = fliplr(x1); %magnitudo
kk = -fliplr(n1); %delay

n2= -(min(kk));
f = kk;
g = p;
% subplot(3,1,1);
% stem(f,g);
% title('Signal x(t)');
m=f+n2; %delay
y1=g; %magnitudo
% subplot(3,1,2);
% stem(m,y1);
% title('Delayed signal x(T-t)');

```

```

n2 = d5;%delay
x2 = h_B;%magnitudo
p2 = fliplr(x2); %magnitudo
kk2 = -fliplr(n2); %delay
n22= -(min(kk2));
f2 = kk2;
g2 = p2;
% subplot(3,1,1);
% stem(f2,g2);
% title('Signal x(t)');
m2=f2+n22; %delay
yy=g2; %magnitudo
% subplot(3,1,3);
% stem(m2,yy);
% title('Delayed signal x(T-t)');

H1 = h_M.^2;
g_M = abs(y1 ./ sqrt(H1));

H2 = h_B.^2;
g_B = abs(yy ./ sqrt(H2));

%% Perhitungan pada s(k) / wireless channel%%
s_M = conv(tx_bit, g_M);
s_B = conv(tx_bit, g_B);
sk = s_M + s_B;
skk = sk(2/2:end-10/2);
s_k = real(skk);

%% Perhitungan sinyal pada penerima%%
Y_M = conv(s_k, h_M);
Y_m = Y_M(2/2:end-10/2);
Y_m1 = psdemod(Y_m,2);
Ymm = real(Y_m1);

% Transmitter
N = 10^4 % number of bits or symbols
% Transmitter

```

```

ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal
probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 1
u = 1/sqrt(2)*[randn(1,N) + j*randn(1,N)]; %
white gaussian noise, 0dB variance
Eb_N0_dB = [0:5:30]; % multiple Eb/N0 values
for
    ii = 1:length(Eb_N0_dB)
        % Noise addition
        y = Ymm.' + 10^(-Eb_N0_dB(ii)/20)*u; %
        additive white gaussian noise
        % receiver - hard decision decoding
        ipHat = real(y)>0;
        % counting the errors
        nErr(ii) = size(find([ Ymm.'- ipHat]),2);
    end

simBer = nErr/N; % simulated ber
theoryBer = 0.5*erfc(sqrt(10.^(Eb_N0_dB/10)));
%theoretical ber

%% plot %%
close all
figure
semilogy(Eb_N0_dB,theoryBer,'b.-');
hold on
semilogy(Eb_N0_dB,simBer,'mx-');
axis([0 30 10^-4 0.5])
grid on
legend('theory', 'simulation');
xlabel('SNR, dB');
ylabel('Bit Error Rate');
title('BER vs SNR');

```



[Halaman ini sengaja dikosongkan]