



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

EVALUASI KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY* (HF) DENGAN DIVERSITAS KOOPERATIF *SELECTION COMBINING*

Ulfi Widya Astuti
NRP 2212 100 049

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 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**PERFORMANCE EVALUATION OF HIGH FREQUENCY
SPACE WAVE COMMUNICATION SYSTEM WITH
COOPERATIVE SELECTION DIVERSITY COMBINING**

Ulfi Widya Astuti
NRP 2212 100 049

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 2016

EVALUASI KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY (HF)* DENGAN DIVERSITAS KOOPERATIF *SELECTION COMBINING*

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,

Dosen Pembimbing II,


Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.
NIP. 1970 11 11 1993 03 1002


Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
NIP. 1961 09 03 1989 03 1001



Evaluasi Kinerja Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF) Dengan Diversitas Kooperatif *Selection Combining*

Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Sistem Komunikasi radio *High Frequency* (HF) merupakan sistem komunikasi menggunakan gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3-30 MHz dengan panjang gelombang 1-10 m. HF biasanya digunakan untuk radio komunikasi jarak jauh karena sifat gelombangnya dapat dipantulkan oleh lapisan *ionosfer*, yakni mampu mengirimkan sinyal 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan repeater. Namun hal ini menyebabkan besarnya efek *multipath fading* pada sistem komunikasi ini, sehingga daya sinyal pada *receiver* buruk. Maka diperlukannya suatu teknik sistem komunikasi yang bertujuan meningkatkan kualitas kinerja sistem komunikasi tersebut. Selain itu, dalam proses evaluasi ini dilakukan simulasi transmisi sinyal sistem komunikasi HF dengan menggunakan *software* Proplab-Pro. Selanjutnya dipilih teknik sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan *relay Decode and Forward (DF)* dan juga teknik *Selection Combining Diversity* yang diharapkan mampu meningkatkan kualitas daya sinyal yang diterima. Pada sisi penerima (*destination*) terdapat proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan menggunakan teknik *Selection Combining Diversity* dengan memilih kualitas sinyal terbaik diantara cabang lintasan yang digunakan. Kinerja sistem komunikasi HF ini akan diukur menggunakan parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio* (E_b/N_0) dan *Probability of Error* (P_e) pada *receiver*.

Kata Kunci : *Sistem Komunikasi High Frequency (HF), Sistem Komunikasi Kooperatif, Teknik Selection Combining Diversity.*

Performance Evaluation of High Frequency Space Wave Communication System with Cooperative Selection Diversity Combining

Supervisors : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

High Frequency (HF) communication system is a communication system using radio waves which works at frequency range of 3-30 MHz with wavelength range of 1-10 m. HF radio is usually used for long distance communication because its wave characteristic that could be reflected by the ionosphere, which is capable to send a signal from 80 km to 600 km above the earth's surface, so it can reach a long distance place without using repeaters. However, this causes a great effect of multipath fading in this communication system, so that decreasing the signal power at the receiver. Hence a technical communication system that aims to improve the quality of performance of the communications system is very needed. Moreover, the evaluation process was conducted by simulating signal transmission HF communication system using Proplab-Pro software. Further been cooperative communication system engineering by using relay Decode and Forward (DF) and also techniques Selection Combining Diversity is expected to improve the quality of the received signal power. In the receiving side (destination) is the performance evaluation process HF communication systems using Selection Diversity Combining techniques with selecting the best signal strength among path branch that used in this communication system. HF communication system performance will be measured using parameters Signal to Noise Ratio (SNR), Energy per Bit to Noise Ratio Power Spectral Density (Eb/No) and Probability of Error (Pe) in thereceiver.

Keywords: *Communication Systems High Frequency (HF), Cooperative Communication Systems, Engineering Selection Diversity Combining.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ,alamin, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

EVALUASI KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY (HF)* DENGAN DIVERSITAS KOOPERATIF *SELECTION COMBINING*

Penulis berterima kasih atas bantuan, bimbingan, dan kerjasama, khususnya kepada:

1. Kedua orangtua penulis yang selalu memberikan dukungan finansial, moral dan spiritual sampai akhirnya bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Adik penulis, Anindya Berliana Az-zahra, yang selalu ceria dan menjadi sumber semangat penulis.
3. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.dan Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik elektro ITS, khususnya dosen Lab. Antena dan Propagasi, yang telah ikut membimbing penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Semua pembimbing dari S3 di lab antena dan propagasi dan juga rekan - rekan, Pak Said, Mbak Umai, Bu Indah, Fauziah, Mas Hasrul, Adit, dan lain - lain. Bersama-sama selama mengerjakan proyek Tugas Akhir ini.
6. Semua teman menginap di lab B-304 : Aulia, Ajeng, Tiffany, Fahimah, Putrisa, Mbak Sheila, Mbak Wilda, dan Mbak Nurul yang selalu setia saling menyemangati untuk menyelesaikan tugas akhir dengan maksimal. Semoga di masa depan kita bertemu menjadi wanita sukses ! Amin.
7. Teman – teman lab B-306 yang selalu jahil dan rame sendiri mas radit, rendi, eko, mirza, rizky, kafabi, aris. Terimakasih telah mengisi kehidupan di B-306 sehingga penulis mendapatkan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga kita sama – sama menjadi orang besar di masa mendatang.
8. Teman – teman FLAC (Future Leaders and Anti Corruption) yang mengisi warna – warni di tahun keempat serta selalu mengerti

keadaan penulis dan terus men-support penulis menyelesaikan tugas akhir.

9. Teman – teman Himatektro khususnya teman – teman PSDM gandhi, alif, fenno, dan babeh yang telah membuat banyak perubahan pada diri penulis khususnya keahlian tahan banting 24 jam di kampus. *Work Hard, Play Hard !!*
10. Terimakasih kepada teman – teman FORMAD dan teman Kos Gang Makam mulai dari bang ali, fitra, yunnida, devin, devi, didin, dan lain – lain yang selalu memberi semangat untuk terus maju dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaikmungkin.

Penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

COVER.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
10.1 Latar Belakang.....	1
10.2 Permasalahan.....	2
10.3 Batasan Masalah.....	2
10.4 Tujuan.....	2
10.5 Metodologi Penelitian.....	3
10.6 Sistematika Pembahasan.....	4
10.7 Relevansi.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 High Frequency (HF).....	7
2.2 Lapisan <i>Ionosfer</i>	8
2.2.1 Lapisan D.....	9
2.2.2 Lapisan E.....	10
2.2.3 Lapisan F.....	10
2.3 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio HF.....	10
2.4 Komunikasi Radio <i>High Frequency</i> (HF).....	13
2.4.1 Mode Propagasi HF Ground Wave.....	13
2.4.2 Mode Propagasi HF NVIS (Near Vertical Incidence Skywave).....	14
2.4.3 Mode Propagasi HF Sky-wave.....	14
2.4.4 Pemilihan Antena untuk Propagasi Gelombang High Frequency (HF).....	15
2.5 Gangguan pada Propagasi Gelombang Radio HF.....	16
2.5.1 Multipath Fading.....	16
2.5.2 Sporadic E.....	17
2.5.3 Noise.....	17

2.6	Sistem Komunikasi Kooperatif	18
2.6.1	Konfigurasi Relaying	19
2.6.2	Strategi Pentransmision Kooperatif	19
2.7	Diversity	22
2.7.1	Selection Combining	24
2.7.2	Maximum Ration Combining (MRC)	24
2.8	Teori Haversine	26
2.9	Perhitungan SNR, Eb/No, dan Pe	27
BAB 3 PEMODELAN SISTEM KOMUNIKASI HF DENGAN TEKNIK DIVERSITAS KOOPERATIF SELECTION COMBINING		29
3.1	Parameter awal simulasi model sistem komunikasi HF dengan teknik Diversitas <i>Selection Combining</i>	29
3.2	Skenario pemodelan Sistem Komunikasi HF dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – Merauke dengan <i>software</i> Proplab-Pro	32
3.2.1	Penentuan lintasan propagasi	33
3.2.2	Penentuan waktu pengamatan	34
3.2.3	IRI Model Option	35
3.2.4	Kondisi Lapisan Ionosfer	35
3.2.5	Pemilihan Antenna (pada Transmitter dan Receiver) dan Daya Pancar	37
3.2.6	2D Raytracing	40
3.2.7	3D Raytracing	42
3.2.8	Converting	43
3.3	Pengolahan data hasil simulasi Proplab	45
3.4	Pengujian teknik Diversitas Kooperatif <i>Selection Combining</i>	45
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA		47
4.1	Pemilihan lintasan dari hasil simulasi dari <i>software</i> Proplab-Pro	47
4.2	Perhitungan parameter SNR, Eb/No, dan Pe dari hasil simulasi <i>software</i> Proplab-Pro	50
4.3	Pengujian pengaruh variasi waktu	52
4.4	Pengujian pengaruh penggunaan teknik diversitas kooperatif <i>selection combining</i>	54
4.5	Pengujian pengaruh penggunaan variasi frekuensi kerja	60
4.6	Sintesis	63

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A.....	69
LAMPIRAN B.....	71
LAMPIRAN C.....	75
LAMPIRAN D.....	77
RIWAYAT PENULIS	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alur pengerjaan tugas akhir	4
Gambar 2.1	Lapisan Ionosfer dalam susunan lapisan Atmosfer Bumi	8
Gambar 2.2	Struktur Ionosfer Variasi Waktu.....	9
Gambar 2.3	Propagasi Gelombang Radio	11
Gambar 2.4	Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari	12
Gambar 2.5	Skip zone	12
Gambar 2.6	Mode propagasi HF ground wave	14
Gambar 2.7	Mode propagasi HF NVIS	14
Gambar 2.8	Beberapa mode perambatan gelombang HF Sky-wave ..	16
Gambar 2.9	Mekanisme dari lapisan sporadic E	17
Gambar 2.10	Macam –macam topologi komunikasi kooperatif,.....	20
Gambar 2.12	Maximal Ratio Combining	25
Gambar 2.13	Ilustrasi Spherical law of cosines.....	26
Gambar 2.14	Rumus Busur	26
Gambar 3.1	Letak Source (S) dan Destination (D) yang digunakan.	29
Gambar 3.2	Sistem Komunikasi Kooperatif dengan node Source, Relay, dan Destination.....	30
Gambar 3.3	Diagram alur simulasi pada software Proplab-Pro.....	33
Gambar 3.4	Tampilan Main Option pada software Proplab – Pro.....	34
Gambar 3.5	IRI Model Option	35
Gambar 3.6	Menu Electron Density Profile pada software Proplab-Pro	36
Gambar 3.7	Menu Compute MUF pada software Proplab-Pro	36
Gambar 3.8	Pemilihan antenna dipol horizontal untuk lintasan Surabaya – Merauke pada software Proplab-Pro.....	39
Gambar 3.9	Pemilihan antenna dipol horizontal untuk lintasan Surabaya – Merauke pada software Proplab-Pro.....	39
Gambar 3.10	Tampilan 2D Raytrace pada software Proplab-Pro.....	40
Gambar 3.11	Alur tracing sinyal pada 2D Raytrace software Proplab-Pro	41
Gambar 3.12	Alur tracing sinyal pada 3D Raytrace software Proplab-Pro	41
Gambar 3.13	Tampilan 3D Raytrace pada software Proplab-Pro.....	42
Gambar 3.14	Proplab Conversion Utility	43

Gambar 3.15 Hasil dari converting 3D Raytrace pada simulasi Propalab-Pro.....	44
Gambar 4.1 Grafik Maximum Useable Frequencies dari software Proplab-Pro untuk lintasan Surabaya - Merauke	55
Gambar 4.2 Grafik Maximum Useable Frequencies dari software Proplab-Pro untuk lintasan Ternate – Merauke.	55
Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai SNR sebelum dan sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif selection combining pada frekuensi 7.0325 Mhz	57
Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai Eb/No penggunaan teknik diversitas kooperatif selection combining dengan sebelum diterapkan teknik pada frekuensi 7.0325 Mhz.....	57
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai Pe penggunaan teknik diversitas kooperatif selection combining dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi 7.0325 Mhz.....	58
Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai SNR penggunaan teknik diversitas kooperatif selection combining dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi 14,0845 Mhz	58
Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai Eb/No penggunaan teknik diversitas kooperatif selection combining dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi 14,0845 Mhz	59
Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai Pe penggunaan teknik diversitas kooperatif selection combining dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi 14.0845 Mhz.....	59
Gambar 4.9 Grafik perbandingan SNR terhadap pemakaian frekuensi kerja 7,0325 Mhz dan 14,0845 MHz dengan kondisi sebelum dan sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif selection combining	61
Gambar 4.11 Grafik perbandingan Pe terhadap pemakaian frekuensi kerja 7,0325 Mhz dan 14,0845 MHz dengan kondisi sebelum dan.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spektrum radio	7
Tabel 2.2	Beberapa contoh antena sederhana yang biasanya digunakan sesuai panjang lintasan dan sudut elevasi pada sistem komunikasi HF.	15
Tabel 3.1	Koordinat node yang digunakan	30
Tabel 3.2	Parameter awal simulasi Sistem Komunikasi HF dengan Diversitas Kooperatif.....	32
Tabel 3.3	<i>IRI Model Option</i>	35
Tabel 3.4	Pemilihan antena pada sistem komunikasi HF.....	37
Tabel 3.5	Parameter <i>2D Raytrace</i>	40
Tabel 3.6	Parameter <i>3D Raytrace</i>	42
Tabel 4.1	Daftar sudut elevasi yang diinputkan dalam <i>3DRaytrace</i>	48
Tabel 4.2	Hasil <i>3D Raytrace</i> dengan <i>Signal Strength</i>	49
Tabel 4.3	Hasil SNR, Eb/No, dan Pe dari Frekuensi kerja 7,0325 Mhz.....	51
Tabel 4.4	Hasil SNR, Eb/No, dan Pe dari Frekuensi kerja 14,0845 Mhz.....	51
Tabel 4.5	Hasil teknik Diversitas Kooperatif <i>Selection Combining</i>	52
Tabel 4.6	Hasil teknik Diversitas Kooperatif <i>Selection Combining</i> Frekuensi 14,0845 Mhz	52

BAB 1

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. Selain itu kondisi geografis Indonesia yang potensial terjadi bencana alam, menyebabkan kebutuhan informasi menjadi penting untuk bisa dijangkau oleh semua penduduk di Indonesia.

Sistem komunikasi radio *High Frequency* (HF) mempunyai kelebihan apabila dibandingkan dengan sistem komunikasi yang 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. Pada lingkup propagasi, sistem komunikasi HF mampu menjangkau jarak lintasan yang jauh. Selain itu, sistem ini juga 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 [1]. Hal ini jugalah yang 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.

Sistem komunikasi HF mampu menempuh jarak yang jauh dengan kondisi geografis yang beragam dengan bantuan *ionosfer* [1]. Namun hal ini menyebabkan besarnya efek *multipath fading* pada sistem komunikasi ini, sehingga daya sinyal pada receiver buruk. Penggunaan teknik sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan relay dan juga teknik *Selection Combining Diversity* pada sistem komunikasi ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas daya sinyal yang diterima. Sehingga mampu memperbaiki kinerja sistem komunikasi HF ini.

1.2 Permasalahan

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

1. Bagaimana membuat simulasi untuk mengukur hasil kinerja sistem komunikasi pada kanal HF dengan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining* ?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining* pada penerima dari Sistem Komunikasi Kooperatif HF ?

1.3 Batasan Masalah

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

- a) Propagasi sistem komunikasi gelombang radio *High Frequency* (HF) yang digunakan adalah mode propagasi gelombang langit atau *skywave*
- b) Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan demonstrasi adalah *software* Proplab-Pro ver 3.
- c) Demostrasi Sistem Komunikasi HF diturunkan dari simulasi pemodelan kanal IRI yang diterapkan dengan menggunakan perangkat lunak Proplab-Pro, pada kondisi frekuensi kerja 7.0325 MHz dan 14.0845 MHz. Dengan waktu pengamatan jam 01.00 UTC (08.00 WIB), 05.00 UTC (12.00 WIB), 09.00 UTC (16.00 WIB), 13.00 UTC (20.00 UTC), 17.00 UTC (00.00 WIB), dan 21.00 UTC (04.00 UTC) pada tanggal 11 Mei 2015, daya pancar 50 Watt, dan antena horizontal dipole.
- d) Pada komunikasi kooperatif menggunakan satu *relay* dengan metode *decode-and-forward*. Node *Source* berada di Surabaya, Node *Relay* berada di Ternater, dan Node *Destination* berada di Merauke.
- e) Parameter evaluasi hasil kinerja Sistem Komunikasi HF dengan Kooperatif dan *Selection Combining Diversity* adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio* (Eb/No), dan *Probability of Error* (Pe).

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat membuat simulasi dari transmisi sinyal sistem komunikasi HF dengan teknik *diversitas kooperatif*.

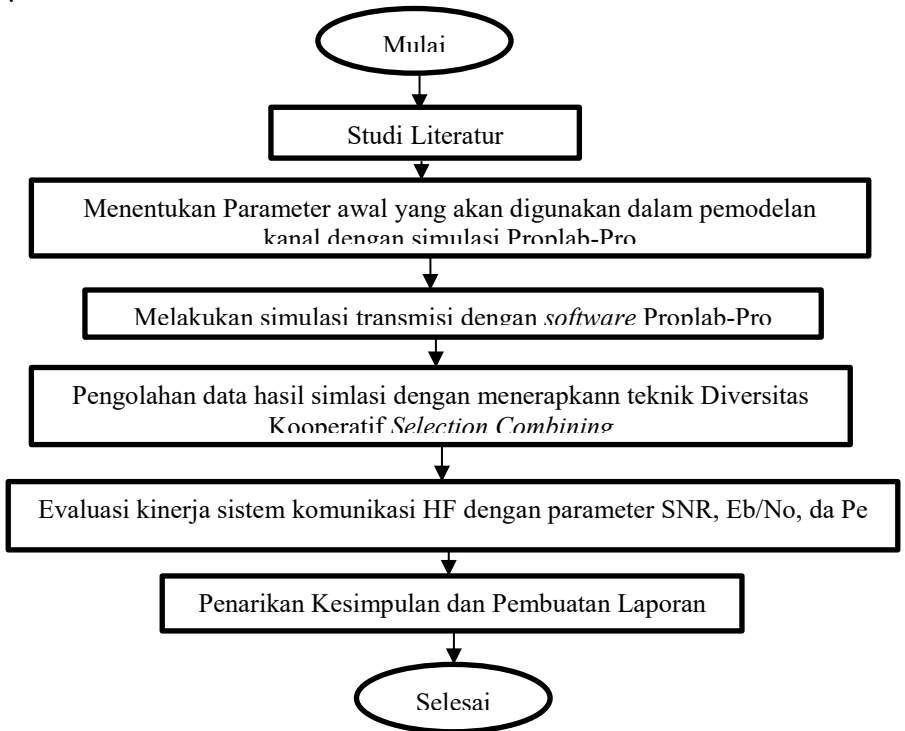
2. Untuk mendapatkan pengaruh penerapan teknik diversitas kooperatif *selection combining* pada sistem komunikasi *high frequency* (HF).
3. Mendapatkan data kualitas sistem komunikasi kooperatif HF antara Surabaya-Ternate-Merauke yang diukur dengan parameter berupa *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio* (Eb/No), dan *Probability of Error* (Pe).
4. Mendapatkan evaluasi kinerja Sistem Komunikasi HF dengan menggunakan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*
5. Untuk mendapatkan data karakteristik kualitas kinerja sistem komunikasi kooperatif HF yang menerapkan *selection combining diversity* sebagai referensi untuk sistem komunikasi HF yang lebih baik.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi yaitu studi literatur, pemodelan sistem komunikasi HF dengan menggunakan *software* Proplab-Pro, analisa *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio* (Eb/No), dan *Probability of Error* (Pe) dari hasil simulasi Sistem Komunikasi HF dengan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*, dan tahap terakhir yakni penyusunan laporan berupa buku tugas akhir, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1

Pada tahap studi literatur dipelajari mengenai lapisan *Ionosfer*, sistem komunikasi HF, dan sistem komunikasi kooperatif serta *diversity*. Selanjutnya dilakukan simulasi transmisi sinyal radio dengan lintasan kanal sesuai yang digunakan pada penelitian ini. Simulasi ini menggunakan *software* Proplab-Pro. Tujuan simulasi ini untuk mengamati perubahan model kanal HF terhadap waktu dan juga mendapatkan data karakteristik serta daya terima di receiver dari dua lintasan yang berbeda. Dari informasi yang telah didapat dari simulasi dengan *software* Proplab-Pro, akan diseleksi sinyal yang benar – benar sampai pada destinasi (Merauke). Selanjutnya untuk melihat pengaruh dari adanya sistem komunikasi dengan teknik diversitas kooperatif menggunakan metode *selection combining*, data akan diolah dengan mempertimbangkan beberapa parameter terkait dalam simulasi. Dari hasil yang didapatkan dapat diamati nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR),

Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio (E_b/N_0), dan *Probability of Error* (P_e) dari sistem komunikasi HF tersebut. Selanjutnya akan dianalisa hasil simulasi terhadap variasi waktu, sebelum dan sesudah menggunakan metode, dan variasi frekuensi



Gambar 1.1 Diagram alur pengerjaan tugas akhir

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 yang ingin dicapai, metodologi penelitian, sistematika laporan, serta relevansi dari penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka mengenai Lapisan *Ionosfer*, karakteristik propagasi gelombang radio HF, komunikasi *High-Frequency* (HF), karakteristik lapisan *Ionosfer*, Komunikasi Sistem Komunikasi HF, Gangguan sistem komunikasi HF, Sistem Komunikasi Kooperatif, dan Teknik Diversity.

BAB III PEMODELAN SISTEM KOMUNIKASI HF DENGAN TEKNIK DIVERSITAS KOOPERATIF *SELECTION COMBINING*

Bab ini membahas skenario simulasi kinerja sistem komunikasi HF dengan diversitas kooperatif *Selection Combining* pemodelan komunikasi seluler pada kanal HF berdasarkan dasar teori pada bab 2 dan parameter yang akan digunakan dalam pengujian sistem.

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisi hasil pengujian sistem yang berupa data dan grafik hasil simulasi sistem komunikasi HF dengan *software* Proplab-Pro, Perhitungan parameter, Pengujian hasil simulasi dengan variasi waktu, frekuensi, dan penerapan teknik diversitas kooperatif *selection combining* disertai analisis dari simulasi kinerja yang sudah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan 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 pengimplementasian sistem komunikasi seluler HF dengan diversitas kooperatif *selection combining* untuk meminimalisasi gangguan – gangguan sistem komunikasi HF. Sehingga diharapkan dapat

saling berkomunikasi menggunakan kanal HF *Ionosferik* dengan kualitas sinyal terima yang baik.

2. Bagi masyarakat

Sebagai sistem komunikasi alternatif di daerah atau pulau terpencil yang sulit dijangkau oleh alat komunikasi lain. Dalam hal ini terutama diperuntukkan wilayah timur Indonesia yang terdiri dari daerah kepulauan dan jangkauan sistem komunikasi yang masih minim.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 High Frequency (HF)

Gelombang HF (High Frequency) adalah gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3 sampai 30 MHz dengan panjang gelombang 10 sampai 100 m, yang biasanya digunakan untuk radio komunikasi jarak jauh dikarenakan sifat gelombangnya yang dapat dipantulkan oleh lapisan *Ionosfer*. *Ionosfer* merupakan salah satu atmosfer yang terionisasi oleh radiasi matahari. Proses pembentukan ion-ion yang ada di *Ionosfer* dikenal dengan istilah photoionization. Photoionization hanya terjadi pada siang hari ketika matahari berada diatas cakrawala [1].

Tabel 2.1 Spektrum radio [2]

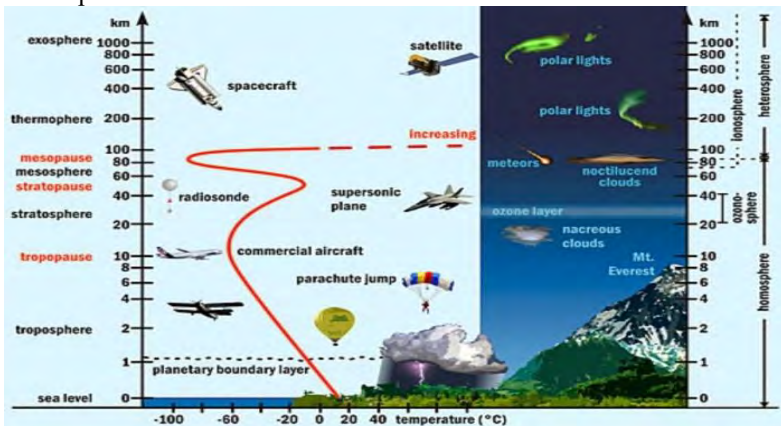
Nama Frekuensi	Singkatan	Range Frekuensi
<i>Extremely Low Frequency</i>	(ELF)	< 30 kHz
<i>Very Low Frequency</i>	(VLF)	3 – 30 kHz
<i>Low Frequency</i>	(LF)	30 – 300 kHz
<i>Medium Frequency</i>	(MF)	300 – 3000 kHz
<i>High Frequency</i>	(HF)	3 – 30 MHz
<i>Very High Frequency</i>	(VHF)	30 – 300 MHz
<i>Ultra High Frequency</i>	(UHF)	300 – 3000 MHz
<i>Super High Frequency</i>	(SHF)	3000 – 30000 MHz

Ada beberapa aplikasi sistem komunikasi yang menggunakan sistem komunikasi yang menggunakan frekuensi gelombang HF, yaitu:

- a. Sistem komunikasi fixed diantara dua titik, misalnya yaitu sirkuit point-to-point HF.
- b. Sistem komunikasi mobile antara station. Yaitu suatu sistem komunikasi yang digunakan secara sementara ketika bergerak atau selama berhenti pada point/titik yang telah ditentukan atau antara station tersebut dan fixed station.
- c. Komunikasi radio *Aeronautical* mobile, yaitu komunikasi radio antara station di darat dengan pesawat atau antar pesawat.
- d. Komunikasi radio maritim mobile antar station pantai dengan kapal atau antar kapal.
- e. Untuk broadcasting.
- f. Untuk para penggemar sistem komunikasi radio amatir.

2.2 Lapisan Ionosfer

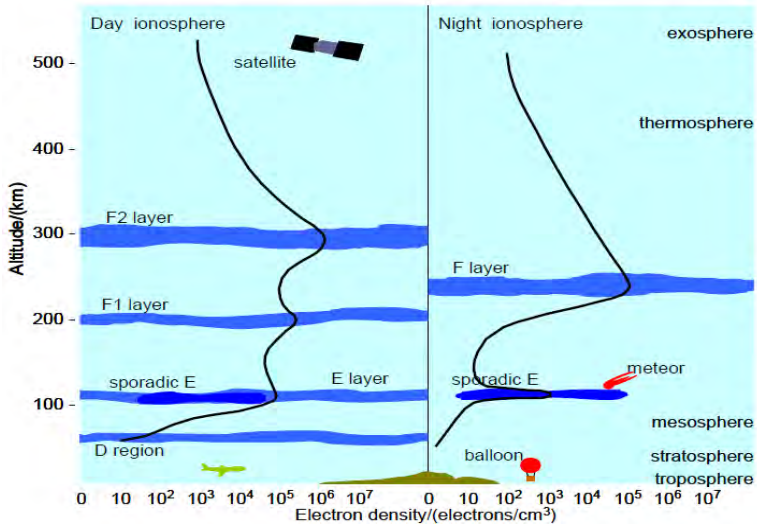
Gelombang HF (*High Frequency*) merupakan gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3 sampai 30 MHz dengan panjang gelombang 10 sampai 100 m, biasanya digunakan untuk radio komunikasi jarak jauh karena sifat gelombangnya yang dapat dipantulkan oleh lapisan *ionosfer*. *Ionosfer* adalah salah satu atmosfer yang terionisasi oleh radiasi matahari. Proses pembentukan ion-ion yang ada di *ionosfer* dikenal dengan istilah *photoionization*. *Photoionization* hanya terjadi pada siang hari ketika matahari berada diatas cakrawala[1]. Karena proses *photoionization*, refleksi *ionosfer* memiliki variasi waktu yang berbeda yang disebut dengan variasi *ionosfer*. *Ionosfer* merupakan salah satu lapisan pada atmosfer yang terletak pada 50-500 km diatas permukaan bumi. Lapisan *Ionosfer* terdiri dari molekul atmosfer yang terionisasi oleh radiasi matahari. Ionisasi merupakan proses memecah elektron yang keluar dari atom netral dan menjadi elektron bebas. Bagi propagasi radio HF keberadaan elektron bebas sangat penting, karena adanya elektron bebas inilah yang menyebabkan terpantulnya gelombang radio HF kembali ke bumi. Bila nilai kerapatan elektron bebas semakin tinggi maka semakin tinggi pula frekuensi yang bisa dipantulkan.[1] Adanya perbedaan derajat ionisasi pada lapisan ini menyebabkan terjadinya pembagian menjadi beberapa lapisan. Bentuk lapisan dalam susunan lapisan atmosfer Bumi dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Lapisan *Ionosfer* dalam susunan lapisan Atmosfer Bumi

[1]

Lapisan *Ionosfer* dapat dibagi dalam 3 layer (lapisan), yaitu lapisan D, lapisan E dan Lapisan F. Pada kondisi tertentu misalnya pada daerah *Low Latitude* atau daerah yang dekat dengan *Equatorial* memiliki keunikan tersendiri pada lapisan F. Pada daerah tersebut ketika siang hari lapisan F terbagi menjadi 2 lapisan lagi lapisan F1, dan F2 , tetapi bahkan pada kondisi tertentu lapisan F bisa terbagi sampai lapisan F3. Untuk kondisi malam hari akan kembali menjadi satu hanya lapisan F saja. Untuk pembagian lapisan dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur *Ionosfer* Variasi Waktu[1]

2.2.1 Lapisan D

Lapisan D merupakan salah satu lapisan yang terletak pada ketinggian 60-90 km diatas permukaan bumi dan merupakan lapisan terbawah dari . Lapisan ini tidak memantulkan gelombang HF melainkan menyerapnya[1]. Dimana ketika semakin kecil frekuensi dari gelombang HF maka semakin besar pula tingkat penyerapan dari lapisan ini. Lapisan D hanya muncul pada siang hari dan menghilang pada malam hari. Hal tersebut dikarenakan lapisan ini terbentuk dari sedikit elektron bebas, dan juga tingkat penyerapannya mencapai maksimal pada saat tingkat radiasi matahari bernilai maksimum di siang hari.

2.2.2 Lapisan E

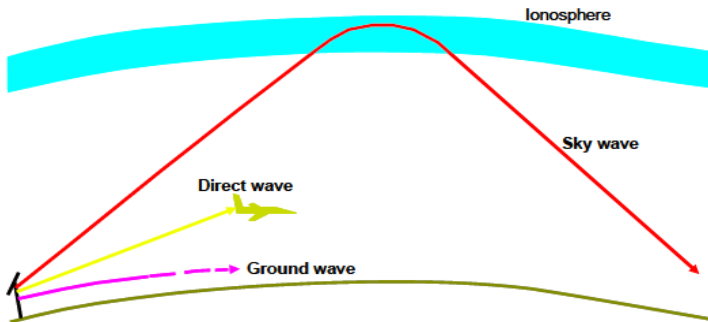
Lapisan E adalah lapisan yang terletak pada ketinggian 90-150 km diatas permukaan bumi. Pada lapisan E ini hanya frekuensi dibawah 10 MHz yang dapat dipantulkan kembali ke bumi, dan frekuensi yang mempunyai lebih tinggi akan diteruskan ke lapisan F[1]. Lapisan E hanya muncul disiang hari dan hilang dimalam hari dikarenakan tingkat kerapatan elektron yang rendah.

2.2.3 Lapisan F

Lapisan F terletak pada ketinggian 150-500 km. Merupakan lapisan utama yang digunakan pada propagasi gelombang HF. Lapisan F terbagi menjadi dua lapisan berbeda, yaitu lapisan F1 dan lapisan F2. Lapisan F1 terletak pada ketinggian 150-210 km diatas permukaan bumi, lapisan ini hanya muncul pada siang hari dan pada malam hari lapisan F1 menyatu dengan F2 dan disebut lapisan F. Lapisan F2 terletak pada ketinggian diatas 210 km dan merupakan lapisan paling penting pada propagasi gelombang radio HF[1]. Dikarenakan memiliki kerapatan elektron bebas yang paling besar sehingga dapat memantulkan gelombang radio HF paling baik pada frekuensi yang paling tinggi. Lapisan F2 merupakan lapisan yang paling sering digunakan karena muncul 24 jam sehari dan ketinggian lapisan ini memungkinkan terjadinya jalur komunikasi yang terjauh. Pada malam hari lapisan F1 menyatu dengan F2 dan disebut lapisan F.

2.3 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio HF

Propagasi gelombang radio HF menggunakan frekuensi kerja 3-30 MHz[1]. Komunikasi ini biasanya digunakan untuk komunikasi jarak jauh dan memanfaatkan lapisan *Ionosfer* untuk memantulkan sinyal yang dipancar kembali ke bumi. Propagasi gelombang radio HF dibagi menjadi dua sistem yang mendasar, yaitu propagasi *groundwave* dan propagasi *skywave*. Pada propagasi *skywave* tidak ada pengaruh objek pemancar dan penerima dan pemantulan gelombang radio HF terhadap menyebabkan propagasi *skywave* dapat menjangkau daerah yang jauh[3]. Ilustrasi propagasi *groundwave* dan *skywave* ditunjukkan pada Gambar 2.3 Lapisan *Ionosfer* terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, F1, dan F2. Setiap lapisan memiliki pengaruh tersendiri terhadap propagasi gelombang radio HF. Lapisan D yang tidak memantulkan tetapi menyerap gelombang radio HF.



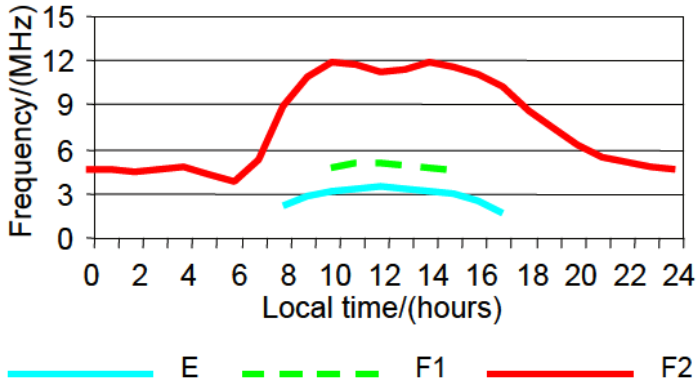
Gambar 2.3 Propagasi Gelombang Radio[4]

Lapisan E yang memiliki hanya mampu memantulkan gelombang radio HF rendah, serta F1 dan F2 sebagai pemantul gelombang radio HF utama karena memiliki kerapatan elektron bebas terbesar. Kondisi pada siang dan malam hari berbeda. Ilustrasi kondisi siang dan malam hari ditunjukkan pada Gambar 2.2

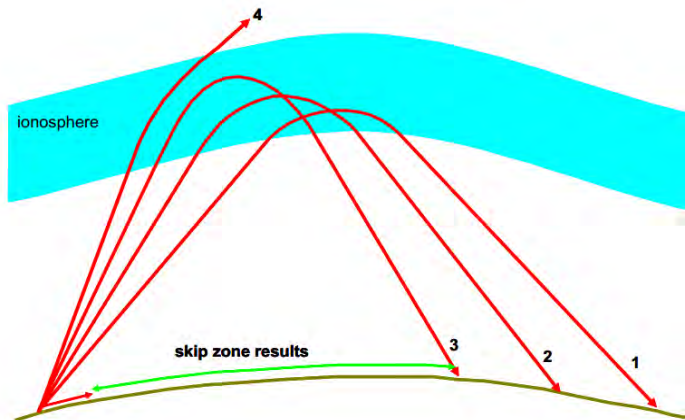
Propagasi gelombang radio HF ditentukan oleh tiga komponen yang penting, yaitu pemilihan frekuensi, daya pancar, dan besarnya sudut elevasi. Pemilihan frekuensi, daya pancar dan besarnya sudut elevasi harus tepat sehingga gelombang radio HF dapat dipantulkan dan mencapai penerima dengan baik. Propagasi gelombang radio HF biasanya menggunakan antena dipole dengan panjang gelombang ($\frac{1}{2} \lambda$)[3]. Pemilihan frekuensi bergantung pada kondisi kerapatan elektron bebas di , penentuan sudut elevasi ditentukan dengan memperhitungkan jarak antara pemancar dan penerima, dan besarnya daya pancar dipengaruhi oleh redaman yang terjadi sepanjang lintasan propagasi, semakin tinggi redaman maka dibutuhkan daya pancar yang lebih besar dari sensitifitas penerima agar sinyal yang dipancarkan tetap dapat diterima dengan baik.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah frekuensi kritis, *Maximum Usable Frequency* (MUF), dan *skip zone*. Frekuensi kritis merupakan hal penting yang dapat mengindikasikan keadaan dari yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang radio HF. Peralatan yang digunakan untuk mengukur frekuensi kritis disebut *ionosonde* yang mirip seperti satu set radar kecil tetapi bekerja pada *band* HF. *Ionosonde* mengirimkan pulsa sinyal langsung ke *Ionosfer*, pulsa yang terpantulkan ditangkap kembali oleh receiver pada posisi yang sama dan waktu yang

terukur memberikan indikator ketinggian dari lapisan *Ionosfer* . Sedangkan, nilai frekuensi yang terus ditingkatkan sampai pada nilai tertinggi yang dapat menembus lapisan *Ionosfer*. Frekuensi inilah yang disebut frekuensi kritis. Nilai frekuensi sudut kritis lebih besar pada siang hari karena kondisi kerapatan elektron bebas lebih besar sehingga frekuensi yang dapat dipantulkan bernilai lebih tinggi.



Gambar 2.4 Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari[4]



Gambar 2.5 Skip zone[4]

Maximum useable frequency (MUF) merupakan batasan nilai frekuensi radio gelombang HF yang dapat dipantulkan kembali ke bumi, apabila frekuensi yang digunakan melebihi MUF, maka frekuensi tersebut akan melewati lapisan . Nilai dari MUF bergantung pada nilai frekuensi kritis (f_c)[4]. Nilai MUF lebih tinggi pada siang hari seperti halnya nilai frekuensi kritis yang mempengaruhinya, seperti pada Gambar 2.4.

Skip zone adalah daerah dimana transmisi radio tidak dapat diterima. *Skip zone* terletak antara titik terjauh *groundwave* dapat diterima dan titik terdekat dimana *skywave* dipantulkan dan dapat diterima. Ilustrasi *skip zone* ditunjukkan pada Gambar 2.5.

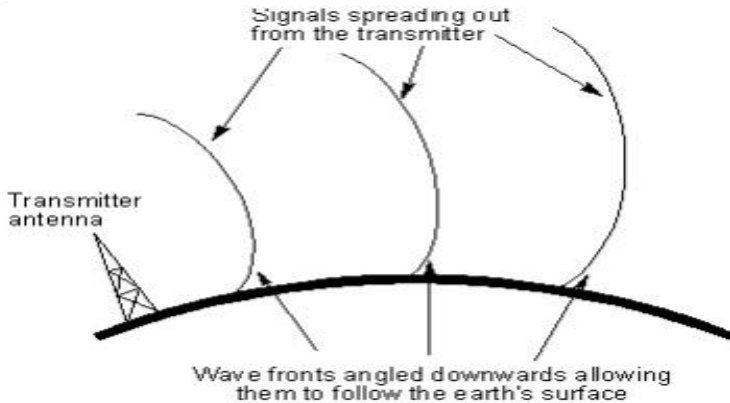
2.4 Komunikasi Radio *High Frequency* (HF)

Komunikasi radio *High Frequency* merupakan komunikasi radio yang memanfaatkan sifat khusus lapisan *Ionosfer* yang dapat memantulkan gelombang radio HF dan bekerja pada rentang frekuensi 3–30 MHz yang sudah didefinisikan pada pembagian *band* frekuensi berdasarkan ITU-T yang bisa dilihat pada Tabel 2.1. Gelombang angkasa (*skywave*) yang dipancarkan, tergantung pada frekuensi, waktu dan kondisi *ionosfer*. Ada tiga komponen yang menentukan keberhasilan komunikasi dengan gelombang angkasa, yaitu frekuensi, sudut elevasi, dan daya pancar [1]

Lapisan *Ionosfer* merupakan lapisan di atmosfer bumi yang terletak 50-500 km diatas permukaan bumi. Lapisan ini terionisasi dikarenakan radiasi matahari.[4] Mode propagasi gelombang radio HF secara umum dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu *mode* propagasi gelombang tanah (*ground wave*), propagasi NVIS (*Near-Vertical Incidence Skywave*), dan propagasi gelombang langit atau *skywave*[5].

2.4.1 Mode Propagasi HF *Ground Wave*

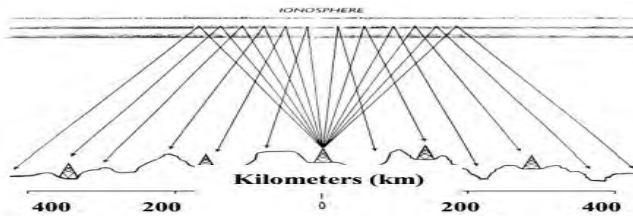
Propagasi *groundwave* digunakan pada daerah diantara permukaan bumi dan lapisan *Ionosfer*. Propagasi ini digunakan untuk komunikasi yang berjarak sekitar 100 km, dan frekuensi yang digunakan lebih kecil dari 10 MHz. Kondisi propagasi ini lebih baik bila melewati permukaan laut dan kondisi terburuk ketika melewati daerah padang pasir. Transmisi propagasi *groundwave* bersifat langsung antar dua antena dan dapat dipantulkan oleh beberapa objek yang menghalangi *path*, seperti permukaan bumi, bukit, dan gedung-gedung bertingkat. Ilustrasi mode propagasi *groundwave* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mode propagasi HF ground wave[6]

2.4.2 Mode Propagasi HF NVIS (Near Vertical Incidence Skywave)

Mode propagasi HF *skywave* yang memanfaatkan pantulan dengan sudut sinyal yang dipancarkan hampir tegak lurus, dengan sudut antara 65° - 90° . Mode propagasi ini memiliki cakupan sampai 400 km di daerah sekitar pemancar dan dapat digunakan pada daerah dataran rendah atau lereng karena bukan halangan bagi mode propagasi ini[5]. Ilustrasi mode propagasi NVIS ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Mode propagasi HF NVIS[6]

2.4.3 Mode Propagasi HF Sky-wave

Mode propagasi *skywave* merupakan mode yang paling sering digunakan untuk komunikasi gelombang radio HF. Propagasi *skywave* memanfaatkan karakteristik lapisan *Ionosfer* yang memantulkan gelombang radio HF kembali ke bumi. Lapisan *Ionosfer* yang digunakan

untuk memantulkan kembali gelombang radio HF adalah lapisan E dan F1, dan F2, karena memiliki kerapatan elektron bebas yang tinggi, akan tetapi hanya lapisan F2 saja yang bisa digunakan pada malam hari. Propagasi *skywave* memiliki jangkauan yang lebih jauh jika dibandingkan dengan mode propagasi HF lainnya, yaitu mencapai 4000 km [5]. Dalam proses pemantulan dapat terjadi lebih dari satu pantulan, atau dikenal dengan sebutan hop. Mode single hop digunakan untuk menjangkau daerah yang dekat sedangkan multihop digunakan untuk menjangkau daerah yang cukup jauh. Ilustrasi mode propagasi NVIS ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pada penelitian ini digunakan mode propagasi HF *Sky-Wave*.

2.4.4 Pemilihan Antena untuk Propagasi Gelombang High Frequency (HF)

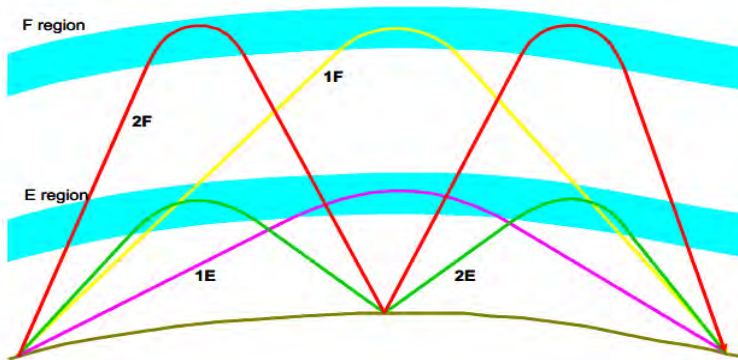
Pada dasarnya, terdapat satu alasan dalam pemilihan antena yang benar sehingga sinyal dapat merambat melalui lintasan yang diharapkan dan sampai ke penerima dengan mode propagasi terbaik yang mungkin dilakukan. Pemilihan antena bervariasi sesuai aplikasi yang dibutuhkan. Satu antena mungkin ideal untuk satu kondisi tetapi hampir tidak mungkin untuk kondisi yang lainnya.

Tabel 2.2 Beberapa contoh antena sederhana yang biasanya digunakan sesuai panjang lintasan dan sudut elevasi pada sistem komunikasi HF.[1]

Panjang lintasan (km)	Sudut elevasi yang dibutuhkan	Antena yang sesuai
0-200	$60^0 - 90^0$	Dipol horizontal
200-500	$40^0 - 70^0$	Dipol horizontal
500-1000	$25^0 - 50^0$ $10^0 - 20^0$	0.25λ monopol vertikal atau horizontal dipol
1000-2000	$10^0 - 30^0$ dan sudut rendah	Monopol vertikal
2000-3000	$5^0 - 15^0$ dan $20^0 - 30^0$	Monopol vertikal
>3000	Sudut rendah	Monopol vertikal

Sebelum memilih sebuah antena, pertama kali harus mengetahui geometri dari lintasan yang biasanya diasumsikan sama antara *transmitter* dan *receiver*. Berikut ini pada Tabel 2.2 merupakan contoh antena sederhana yang direkomendasikan untuk sistem komunikasi HF,

dengan digunakan sesuai panjang lintasan dan sudut elevasi yang dibutuhkan, mode propagasi diasumsikan mode satu hop.



Gambar 2.8 Beberapa mode perambatan gelombang HF *Sky-wave*[4]

2.5 Gangguan pada Propagasi Gelombang Radio HF

Dalam propagasi gelombang radio HF, terdapat beberapa gangguan yang dapat mengganggu komunikasi menggunakan gelombang radio HF tersebut. Berikut terdapat beberapa mode perambatan gelombang pada sistem komunikasi HF.

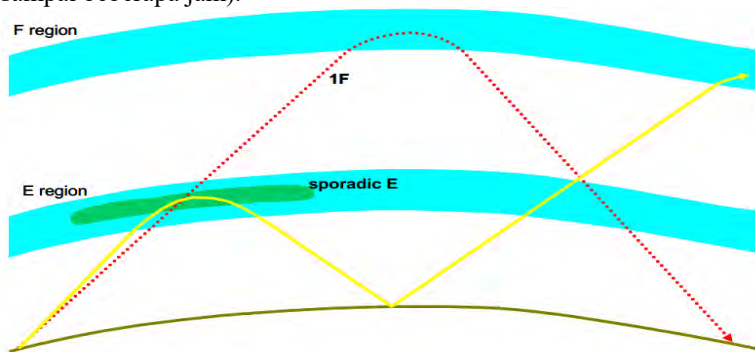
2.5.1 Multipath Fading

Fading adalah kondisi dimana diterimanya sinyal dengan dua versi atau lebih dari pemancar yang sama, dan diterima pada waktu yang sedikit berbeda, dengan level sinyal yang berbeda-beda pula. Fading pada sistem komunikasi HF disebabkan oleh *multipath fading*, dimana sinyanya berpropagasi melalui beberapa jalur secara simultan, yang dapat saling menginterferensi, dan menyebabkan *fading*[3]. Oleh karena itu akan lebih baik jika dalam satu sirkuit komunikasi hanya berpropagasi dalam satu mode propagasi.

Ada dua cara untuk menghindari *multipath* pada propagasi gelombang radio HF. Yang paling sederhana adalah dengan menggunakan frekuensi yang cukup tinggi, lebih tinggi dari nilai MUF mode lain, selain mode terendah [1]. Contoh mudahnya adalah bahwa MUF 1F akan selalu lebih besar dari MUF 2F, dan seterusnya. Cara kedua, yang mana tidak sesederhana itu, adalah dengan memilih antena yang memungkinkan hanya satu mode propagasi.

2.5.2 Sporadic E

Lapisan E sporadik adalah sebuah lapisan di *ionosfer* yang memiliki kerapatan elektron yang cukup besar di daerah lapisan E, yang kemunculannya sulit untuk diprediksi. Dia bisa muncul kapan saja, baik siang ataupun malam pada ketinggian 90-140 km. Kemunculannya sangat bervariasi, baik dari area yang di-cover (beberapa kilometer sampai ratusan kilometer), dan berapa lama dia muncul (hitungan menit sampai beberapa jam).



Gambar 2.9 Mekanisme dari lapisan *sporadic E*[4]

Lapisan E sporadik, memiliki kerapatan elektron yang hampir sebanding dengan lapisan F, yang berarti lapisan ini bisa memantulkan jenis gelombang HF yang seharusnya menggunakan lapisan F. Terkadang bisa juga lapisan E sporadik bersifat transparan, dan melewatkan sinyal menuju lapisan F. Namun bagaimanapun, pada saat lapisan E sporadik menutupi lapisan F sepenuhnya, maka sinyal tidak dapat mencapai lapisan F sama sekali, sehingga sinyal juga tidak dapat mencapai titik penerima yang ditentukan[1]. Hal inilah yang menyebabkan kemunculan lapisan E sporadik akan menjadi gangguan yang cukup serius bagi propagasi gelombang radio HF.

2.5.3 Noise

Noise adalah suatu fenomena gangguan yang muncul hampir di semua jenis propagasi, yang tentu saja juga akan muncul dalam propagasi gelombang HF. Definisi noise secara umum adalah sinyal yang tidak diinginkan yang bercampur dengan sinyal utama, sehingga mengganggu komunikasi. Noise pada propagasi gelombang radio, dapat

berasal dari sumber internal dan eksternal sistem komunikasi tersebut. Sumber noise internal atau thermal noise muncul pada subsistem penerima pada sistem komunikasi, dan biasanya dapat dianggap tidak ada pada penerima dengan kualitas yang baik, saat dibandingkan dengan nilai noise dari sumber eksternal. Sumber noise eksternal dapat berasal dari alam seperti atmospheric noise dan galactic noise, maupun karena buatan manusia.

Atmospheric noise, adalah kontributor terbesar terhadap noise gelombang radio pada *band* HF. Nilai dari atmospheric noise akan lebih besar pada daerah khatulistiwa, dan berkurang jika nilai lintang meningkat. Efeknya juga akan lebih besar pada frekuensi yang lebih rendah, sehingga akan menjadi masalah saat kondisi radiasi matahari rendah atau saast malam hari, dimana frekuensi yang lebih rendah digunakan[3].

Galactic noise, disebabkan oleh galaksi alam semesta ini. Karena hanya nilai frekuensi tertinggi yang bisa melewati *ionosfer* dari atas, karena galaksi ada diluar bumi, maka noise jenis ini hanya berpengaruh pada frekuensi yang tinggi.

Noise buatan manusia, bisa berasal dari berbagai macam aktifitas yang dilakukan manusia. Terutama dihasilkan dari penggunaan arus dan tegangan yang besar, seperti lampu neon, kabel listrik, sistem transmisi jaringan listrik, dan mesin pengelasan. Noise jenis ini bervariasi nilainya tergantung dari penggunaan teknologi yang digunakan di suatu daerah tersebut.

2.6 Sistem Komunikasi Kooperatif

Komunikasi kooperatif merupakan sistem untuk mengatasi fenomena fading shadowing, maupun pathloss yang dihasilkan dari propagasi multipath. Komunikasi kooperatif ini terdiri dari node *Source*, node *relay*, dan *Destination*. Informasi yang diterima *Destination* dari *Source* dapat juga diperoleh dari *relay*. Dengan kata lain, masing – masing node bekerjasama dengan node lain, sehingga sinyal transmisi yang diterima *Destination* dari *Source* dan *relay* merupakan multiple-access terkombinasi. Ide dasar yang digunakan adalah semua mobile user pada jaringan wireless, masing – masing bekerjasama dengan user lainnya dalam pentransmisi informasi. Sehingga, masing – masing user tidak hanya mengirim informasi datanya sendiri tetapi juga informasi data user lain, kemudian *Destination* akan mendeteksi data dengan membandingkan sinyal transmisi dari kedua user. Hal ini tidak hanya

menghemat waktu proses tetapi juga informasi data user lain, kemudian *Destination* akan mendeteksi data dengan membandingkan sinyal transmisi dari kedua user. Hal ini tidak hanya menghemat waktu proses tetapi juga menghindari kesalahan deteksi yang dapat merusak performansi *Destination* secara keseluruhan. Sistem ini memungkinkan diperolehnya data transmisi yang lebih reliable dan mengurangi efek pengganggu pada frequency selective-fading melalui teknik penggabungan diversity.

Kelemahan dari sistem komunikasi kooperatif adalah ketika data yang melewati interuser channel dalam keadaan rusak, maka secara otomatis data yang akan diterima *Destination* akan mengalami kecacatan pula. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode pentransmisi data yang sesuai (signaling) sehingga kecacatan tersebut dapat diminimalisasi.

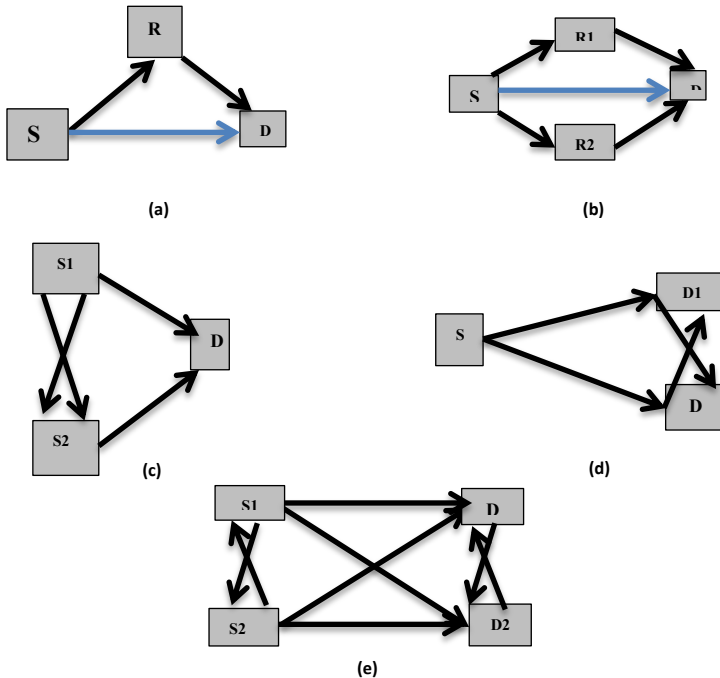
2.6.1 Konfigurasi Relaying

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 bahwa terdapat banyak konfigurasi relaying pada cooperative diversity yang ditawarkan dalam jaringan wireless, antara lain :

- a. Kanal Classical Relay, dimana data ditransmisikan langsung menuju relay, dan akan berlanjut ketika *Destination* tidak menerima data dari *Source*. User bersifat half-duplex.
- b. Kanal Parallel Relay, dimana *Destination* menerima semua data *Source* melalui transmisi yang dilakukan relay
- c. Kanal Multiple – Access dengan Relaying, dimana *Source* memiliki peran ganda yaitu sebagai *Source* itu sendiri sekaligus sebagai relay.
- d. Kanal Broadcast dengan Relaying, dimana *Destination* berperan sebagai relay untuk *Destination* lain.
- e. Kanal Interference dengan Relaying, dimana *Source* dan *Destination* masing – masing juga berperan sebagai relay untuk *Source* dan *Destination* lain.

2.6.2 Strategi Pentransmisi Kooperatif

Pada komunikasi kooperatif terdapat beberapa strategi pentransmisi yang terbagi dalam tiga protocol, yaitu *fixed protocol*, *adaptive protocol*, dan *protocol with feedback*.



Gambar 2.10 Macam –macam topologi komunikasi kooperatif, (a) *Relay sederhana*, (b) *Parallel Relaying*, (c) *multiple access relaying*, (d) *broadcast relaying*, (e) *interference relaying*.

Masing-masing protokol mempunyai tipe *processing* pada terminal relay dan combining pada terminal *Destination* yang berbeda. *Fixed protocol* terbagi menjadi beberapa metode signalling. Dua diantaranya sebagai berikut :

a. Amplify and Forward (AF)

Dalam AF, relay menguatkan sinyal yang diterima sampai nilai tertentu. Berdasarkan Gambar 2.10 yaitu teknik relaying dengan menggunakan relay tunggal, misalkan pengirim mengirimkan data $X_s[k]$ untuk $k = 1, 2, \dots, n$. Relay akan memproses data tersebut sehingga menghasilkan $Y_r[k]$ untuk $k = 1, 2, \dots, n$ dan meneruskan informasi ke penerima dengan mengirimkan $X_r[k] = \beta y_r[k - n]$ dengan $k = n +$

1, n + 2, ..., 2n. Untuk menguatkan sinyal yang dikirimkan, penguatan (β_r) yang dilakukan oleh relay .

Penguatan (β_r) yang dilakukan oleh relay adalah sebesar :

$$\beta_r = \sqrt{\frac{P_s}{|\theta_{s,r}|^2 P_s + N_o}} \quad (2-1)$$

Dengan

P_s : Daya sinyal yang dipancarkan

$\theta_{s,r}$: adalah redaman kanal antara pengirim dan penerima

N_o : adalah Daya Noise

Dari persamaan 2-1 di atas dapat diketahui bahwa besarnya penguatan tergantung dari koefisien fading $\theta_{s,r}$ antara pengirim dan relay. Penerima memproses sinyal yang dikirim oleh relay sehingga menghasilkan $Y_d[k]$ untuk $k=1,2,\dots,n$.

Jika terdapat beberapa relay yang aktif, blok – blok data tersebut dapat dikirimkan ke masing – masing relay melewati kanal yang saling independen, sehingga saat dideteksi pada penerima, blok – blok data tersebut tidak saling mempengaruhi. Permasalahan yang timbul jika *relay* dapat melakukan estimasi gain adalah nilai *noise* yang juga ikut membesar.

b. Decode and Forward (DF)

Pada penelitian ini teknik *processing relay* inilah yang digunakan. Dimana pada DF, *relay* menggunakan beberapa bentuk deteksi atau algoritma decoding untuk sistem penerimaannya. Hal ini dikarenakan relay harus mengodekan ulang sinyal yang diterima dari pengirim untuk dikirimkan ke penerima. Proses decoding pada relay mempunyai keuntungan untuk mengurangi pengaruh noise pada sinyal yang diterima. Sama seperti AF, misalkan terdapat arsitektur relaying seperti Gambar 2.10 yaitu relaying dengan menggunakan relay tunggal, algoritma sederhana yang digunakan adalah membagi transmisi ke dalam dua blok yang mempunyai durasi sama, satu blok untuk transmisi dari pengirim, dan satu blok lainnya untuk transmisi dari relay.

Pengirim mengirimkan $X_s[k]$ untuk $k = 1, 2, \dots, n$. Relay melakukan estimasi $X_{es}[k]$ untuk $k = 1, 2, \dots, n$ pada setiap sinyal $Y_r(k)$ untuk

$k = 1, 2, \dots, n$ yang diterima. Sebagai contoh, relay dapat menggunakan kode repetisi dengan mengirimkan sinyal sebagai berikut ini, yaitu :

$$X_r(k) = \sqrt{\frac{P_r}{P_s}} X_{es}[k - n], \quad k = n + 1, n + 2, \dots, 2n \quad (2-2)$$

Penerima memproses sinyal yang diterima $Y_d[k]$ untuk $k = 1, 2, \dots, n$. Dengan menggunakan teknik diversity combining dua blok dengan panjang n . Dengan digunakannya kode repetisi, relay dapat mengodekan sinyal dengan menggunakan *codeword* yang sesuai dengan *codeword* pada pengirim. Jika transmisi dilakukan dengan menggunakan beberapa relay, pemakaian kode repetisi atau pemakaian *space-time code* yang umum, dapat dilakukan untuk mengirim data secara bersama – sama dari pengirim ke penerima. Kode repetisi pada blok yang terpisah tersebut memberikan keuntungan yaitu mengurangi tingkat kompleksitas, tetapi mempunyai kekurangan pada tingkat efisiensinya. Skema *Decode and Forward* yang digunakan pada penelitian ini adalah *basic decode and forward*. Pada skema ini relay dianggap selalu berhasil men-decode pesan dari *source*. Sehingga sinyal pada relay yang akan diteruskan ke *destination* sama dengan pesan yang ada di *source*, yaitu $X_r = X_s$ dengan X_r adalah pesan yang telah di-decode relay dan X_s adalah pesan pada *source* [7]

2.7 Diversity

Pada sistem komunikasi nirkabel banyak sekali gangguan-gangguan yang dapat memperburuk kinerja sistem, salah satunya yaitu multipath fading. *Multipath fading* umumnya terjadi karena pantulan-pantulan yang disebabkan oleh benda-benda di sekitar jalur transmisi. Pantulan-pantulan ini akan menyebabkan perbedaan panjang lintasan sinyal sehingga sinyal yang diterima merupakan penjumlahan dari sinyal-sinyal tersebut. Hal ini tentu saja akan memperburuk kinerja sistem komunikasi nirkabel. Berbagai macam penelitian telah dilakukan oleh para ahli untuk mengatasi fading. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi fading adalah dengan menggunakan teknik diversity. Teknik diversity merupakan suatu teknik dimana sinyal informasi dikirim melalui beberapa lintasan yang berbeda. Hal ini dilakukan agar terbentuk informasi redundant yang akan membantu proses deteksi pada *Destination*. Jadi bila sinyal informasi pada salah satu lintasan mengalami kerusakan karena pengaruh fading, maka proses

deteksi pada *Destination* masih dapat dilakukan dengan baik karena masih terdapat sinyal informasi yang berasal dari lintasan lain.

Teknik diversity secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu: space diversity, frequency diversity, dan time diversity.

a. Space diversity

Teknik diversity ini biasa disebut juga dengan istilah antenna diversity. Disebut demikian karena pada teknik ini *Destination* memiliki lebih dari satu antena yang terpisah dengan jarak minimal 10 kali panjang gelombang.

Karena pada *Destination* terdapat lebih dari satu antena penerima, maka bila salah satu antena menerima sinyal informasi dengan level daya yang rendah, *Destination* masih dapat mendeteksi sinyal informasi tersebut dengan baik. Hal ini dikarenakan masih terdapat kemungkinan bahwa sinyal yang diterima oleh antena yang lain menerima sinyal dengan level daya yang lebih tinggi. Semua sinyal yang diterima selanjutnya akan diproses dengan melakukan combining untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan.

b. Frequency diversity

Teknik ini merupakan teknik yang membedakan frekuensi carrier pada saat pengiriman sinyal informasi. *Source* mengirimkan satu sinyal informasi ke *Destination* dengan frekuensi carrier yang berbeda-beda. Dengan demikian *Destination* menerima beberapa sinyal informasi yang selanjutnya akan diproses dengan melakukan combining untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan.

Perbedaan frekuensi carrier untuk setiap sinyal yang dikirimkan harus lebih besar daripada bandwidth koheren dari kanal. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa antar kanal memiliki kondisi yang saling bebas.

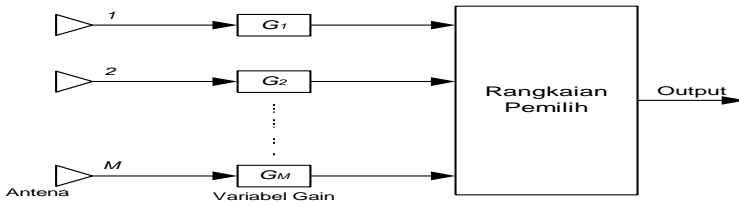
c. Time diversity

Time diversity merupakan salah satu teknik diversity dimana satu sinyal informasi dikirim dalam time-slot yang berbeda dan dipisah dalam interval yang panjangnya lebih besar daripada waktu koheren kanal. Teknik ini sangat efisien dalam mengatasi masalah yang disebabkan oleh kanal fast fading. Masing-masing sinyal informasi yang diterima pada time-slot yang berbeda-beda kemudian diproses dengan melakukan combining untuk mendapatkan estimasi data yang

dikirimkan. Jenis diversity inilah yang akan digunakan pada penelitian ini.

2.7.1 Selection Combining

Selection combining merupakan teknik diversity combining yang paling sederhana. Pada teknik ini, penerima memilih sinyal yang paling baik, dalam hal ini sinyal dengan SNR terbesar. Blok diagram dari metoda ini ditunjukkan pada gambar, ada M cabang diversitas untuk sinyal yang masuk ke rangkaian pemilih, y merupakan sinyal terkuat yang dipilih dan merupakan output dari rangkaian ini.



Gambar 2.11 Selection Combining[8]

Output combiner menjadi :

$$y(t) = Ae^{j\theta_i}d(t) + G(t) \text{ dimana } A = \max\{A_0, A_1, \dots, A_{M-1}\} \quad (2-3)$$

Dengan sumber sinyal yang berasal dari MS diasumsikan memiliki harga rata – rata SNR yang sama besar, yang dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$SNR = \Gamma = \frac{E_b}{N_0} A^2 = \max\{\Gamma_0, \Gamma_1, \dots, \Gamma_{M-1}\} \quad (2-4)$$

Teknik *Selection Combining* Diversity menawarkan perbaikan pada link margin tanpa membutuhkan tambahan daya pengirim. Metode ini sangat mudah diimplementasikan, tapi tidak menghasilkan hasil yang optimal karena tidak menggunakan semua cabang yang memungkinkan.

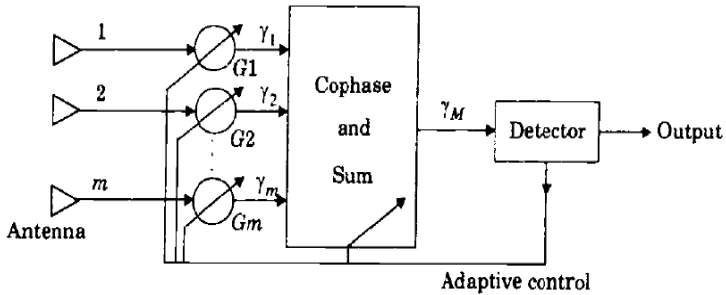
2.7.2 Maximum Ration Combining (MRC)

Metode ini pertama kali diusulkan oleh Kahn, sinyal dari semua cabang di co-phase dan masing – masing diberi bobot untuk menyediakan SNR yang optimal pada sisi output. Gambar 2.12 menunjukkan blok diagram

dari metode ini, dimana ada M cabang yang masuk ke rangkaian dan setiap cabang memiliki gain tertentu[7]. Untuk semua cabang M, jika masing – masing cabang memiliki sinyal tegangan r_i serta gain untuk cabang ke-i adalah G_i , maka selubung sinyal combiningnya adalah :

$$y(t) = \sum_{i=1}^M G_i r_i(t) \quad (2-5)$$

Dimana $y(t)$ adalah output dari rangkaian combining.



Gambar 2.12 Maximal Ratio Combining[8]

Estimasi bobot G_i untuk gain kanal konjugat :

$$\begin{aligned} y(t) &= \sum_{i=1}^M A_i e^{-j\theta_i} r_i(t) \quad (2-6) \\ &= \sum_{i=1}^M A_i e^{-j\theta_i} [A_i e^{j\theta_i} d(t) + G_i(t)] \\ &= \left(\sum_{i=1}^M A_i^2 \right) d(t) + \sum_{i=1}^M A_i e^{-j\theta_i} G_i(t) \end{aligned}$$

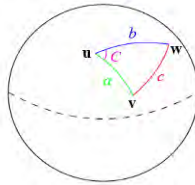
SNR dari sinyal combined adalah :

$$\text{SNR} = \Gamma = \frac{\sum_i^M A_i^2 E_b}{N_0} = \sum_{i=1}^M \Gamma_i \quad (2-7)$$

Dari segi performansi, maximal ratio combining memiliki kinerja yang lebih bagus dibandingkan dengan *selection combining diversity*. Tetapi memiliki konfigurasi yang lebih kompleks dan memerlukan cost yang lebih besar dalam penerapannya.

2.8 Teori Haversine

Teorema Haversine adalah sebuah persamaan yang penting dalam bidang navigasi, untuk mencari jarak busur antara dua titik pada bola dari longitude dan latitude. Ini merupakan bentuk persamaan khusus dari trigonometri bola, *law of haversines*, mencari hubungan sisi dan sudut pada segitiga dalam bidang bola.

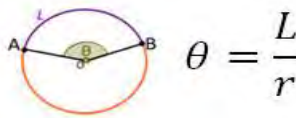


Gambar 2.13 Ilustrasi *Spherical law of cosines*

Spherical law of cosines:

$$\cos(c) = \cos(a) \cos(b) + \sin(a) \sin(b) \cos(C) \quad (2-8)$$

Dimana a,b,c ialah jarak yang bersatuan radian/sudut karena berada dalam bidang bola, yang bisa dikorelasikan dengan persamaan busur dibawah ini :



Gambar 2.14 Rumus Busur

Kemudian dapat diimplementasikan persamaan haversin dibawah ini

$$\text{haversin}(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2} \quad (2-9)$$

Sehingga dari Formula diatas dapat implementasi menjadi :

$$S = 2r \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{Lat1-Lat2}{2} \right) + \cos(Lat1) \cdot \cos(Lat2) \cdot \sin^2 \left(\frac{Lon1-Lon2}{2} \right)} \right\} \quad (2-10)$$

2.9 Perhitungan SNR, Eb/No, dan Pe

a. Signal to Noise ratio (SNR)

SNR merupakan Perbandingan (ratio) antara kekuatan Sinyal (*signal strength*) dengan kekuatan Derau (noise level). Nilai SNR dipakai untuk menunjukkan kualitas jalur (medium) koneksi. Makin besar nilai SNR, makin tinggi kualitas jalur tersebut. Satuan ukuran SNR adalah decibel (dB). Rumus SNR[10] :

$$\frac{S}{N} = \frac{S(\text{watt})}{KTB} \quad (2-11)$$

Keterangan :

S = daya sinyal dalam watt

K= 1.380×10^{-23} J/K (Konstanta Boltzman)

T=Temperature (300K)

B=Bandwidth penerima

b. Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio (Eb/No)

Eb/No (*Energy per bit to Noise power spectral density ratio*) adalah parameter penting dalam komunikasi digital dan transmisi data. Eb/No adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR) ternormalisasi, yang juga dinamakan SNR per bit. Eb/N sangat berguna saat membandingkan kinerja *Bit Error Rate* (BER) dari skema modulasi digital yang berbeda tanpa memperhitungkan bandwidth[10].

$$A = \sqrt{\frac{2Eb}{T}} \quad (2-12)$$

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{A^2}{2} \frac{1}{R_b} \frac{1}{K T B} \quad (2-13)$$

Keterangan :

E_b/N_o = Energy per bit to power spectral density ratio

A = Signal Strength (Volt)

R_b = Bit rate/ Symbol rate

K = 1.380×10^{-23} J/K (Konstanta Boltzman)

T = Temperature (300K)

B = Bandwidth penerima

c. *Probability of Error (Pe)*

Besarnya P_e tergantung pada besarnya E_b/N_o sistem, dimana E_b/N_o merupakan perbandingan antara energi bit dengan rapat daya derau pada keluaran demodulator. Energi bit tiap informasi didefinisikan sebagai energi yang terakumulasi pada penerima dari penerimaan power carrier (C), atau juga bisa dengan daya sinyal (S) selama interval waktu yang setara dengan waktu yang diperlukan untuk menerima bit informasi. Hubungan antara E_b/N_o dan BER tergantung pada tipe modulasi. Pada penelitian ini memakai modulasi BPSK sehingga didapatkan rumus P_e [10]:

$$P_e = Q \sqrt{2 \frac{E_b}{N_o}} \quad (2-14)$$

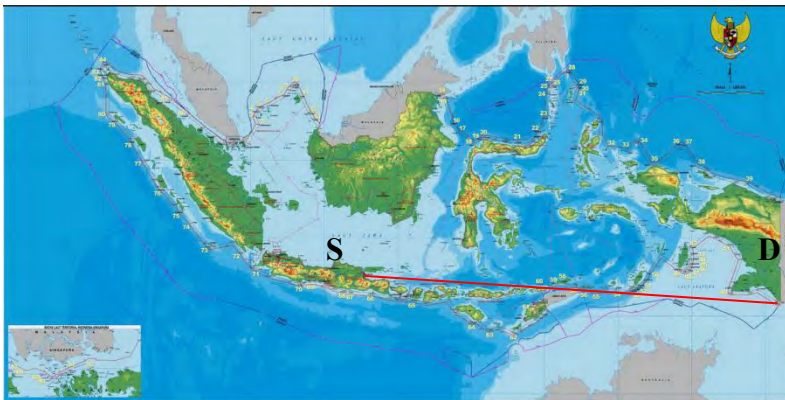
BAB 3

PEMODELAN SISTEM KOMUNIKASI HF DENGAN TEKNIK DIVERSITAS KOOPERATIF *SELECTION COMBINING*

Pada bab ini akan dijelaskan pemodelan Sistem Komunikasi HF dengan Diversitas Kooperatif *Selection Combining* dengan menggunakan *software* Proplab-pro. Di bab ini akan dirincikan metode-metode dalam proses demonstrasi sistem komunikasi HF dengan Proplab-Pro dan juga proses pengambilan hasil data dari simulasi yang nantinya hasil data tersebut akan diolah dan digunakan sebagai bahan evaluasi dari Sistem Komunikasi HF. Berikut ini adalah tahapan – tahapan dalam pengerjaan pemodelan sistem komunikasi HF dengan Diversitas Kooperatif *Selection Combining*.

3.1 Parameter awal simulasi model sistem komunikasi HF dengan teknik Diversitas *Selection Combining*.

Pada Sistem Komunikasi HF ini digunakan mode propagasi *Sky Wave* sehingga dapat menjangkau jarak yang jauh. Untuk titik *Source* diambil di Kota Surabaya, tepatnya di Jurusan Teknik Elektro ITS. Kemudian *Destination* diambil di Kota Merauke.



Gambar 3.1 Letak *Source* (S) dan *Destination* (D) yang digunakan.

Dapat dilihat pada Gambar 3.1 bahwa jarak antara *Source* dan *Destination* yang jauh yaitu berkisar ± 3049 Km, maka dikhawatirkan banyak terjadi losses akibat jarak yang ditempuh sangat jauh. Dan akan sangat mungkin terjadi lebih dari satu pantulan(hop) dari permukaan bumi ke lapisan *ionosfer* untuk mencapai titik *Destination*. Sehingga dikhawatirkan gangguan – gangguan Sistem Komunikasi HF ini(yang telah dijelaskan di subbab 2.5) akan semakin besar terjadi pada lintasan komunikasi ini.

Tabel 3.1 Koordinat node yang digunakan

Node	Tempat	Latitude	Longitude
<i>Source</i>	Surabaya	-7.284941	112.796151
<i>Relay</i>	Ternate	0.762599	127.336543
<i>Destination</i>	Merauke	-8.531852	140.417236



Gambar 3.2 Sistem Komunikasi Kooperatif dengan node *Source*, *Relay*, dan *Destination*.

Untuk mengurangi hal tersebut maka digunakan model Sistem Komunikasi kooperatif untuk mengatasi fenomena fading shadowing, maupun *pathloss* yang dihasilkan dari propagasi multipath. Komunikasi kooperatif ini terdiri dari node *Source*, node relay, dan *Destination*. Informasi yang diterima *Destination* dari *Source* dapat juga diperoleh dari relay. Dengan kata lain, masing – masing node bekerjasama dengan node lain, sehingga diharapkan dapat memperbaiki kualitas sinyal transmisi yang diterima *Destination*. Node Relay diletakkan di Kota Ternate seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.2. Berikut ini adalah koordinat Latitude dan Longitude dari node *Source*,

node Relay, dan node *Destination*. Salah satu kelemahan dari sistem komunikasi kooperatif adalah ketika data yang melewati relay dalam keadaan rusak, maka secara otomatis data yang akan diterima *Destination* akan mengalami kecacatan pula. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode pentransmisian data yang sesuai sehingga kecacatan tersebut dapat diminimalisasi. Strategi pentransmisian yang digunakan dalam penelitian ini adalah fixed protocol. Dengan menyiasati pada tipe processing yang digunakan, yaitu dengan menggunakan tipe *Decode and Forward (DF)*. Pada Relay Decode and Forward (DF), menggunakan skema *basic decode and forward*. Pada skema ini relay dianggap selalu berhasil men-*decode* pesan dari *source*. Sehingga pesan pada relay sama dengan pesan pada *source*. Proses decoding pada relay mempunyai keuntungan untuk mengurangi pengaruh noise pada sinyal yang diterima.

Pada penelitian ini tipe processing inilah yang diambil sehingga sinyal yang diterima relay dianggap sebagai sinyal baru yang sama dengan sinyal awal dari *Source*. Sinyal dari relay akan diasumsikan mempunyai daya yang sama dengan sinyal di *Source*. Selain itu sinyal informasi pada relay diasumsikan mempunyai kualitas informasi sama dengan sinyal informasi di *Source*. Pada simulasi ini semua kanal baik kanal Surabaya – Merauke, kanal Surabaya – Ternate, dan kanal Ternate – Merauke diasumsikan awal sebagai kanal yang baik dan bisa mentransmisikan sinyal informasi. Sehingga pada pembuatan simulasi sistem komunikasi kooperatif HF dengan teknik Diversitas Kooperatif ini hanya akan mempertimbangkan kondisi lintasi Surabaya (*Source*) – Merauke (*Destination*) dan Ternate (Relay) – Merauke (*Destination*). Dimana untuk lintasan Surabaya (*Source*) – Ternate (Relay) dengan menggunakan skema *basic decode and forward*, tidak berpengaruh terhadap pesan yang dikirimkan dari source ke relay. Karena dianggap selalu berhasil mentransmisikan sinyal sehingga sinyal bisa di-*decode* seperti pesan awal pada *source*. Sehingga sinyal informasi di Ternate (Relay) yang akan ditransmisikan ke *Destination* dianggap sama seperti sinyal awal di *Source*.

Kondisi selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah kondisi lapisan *ionosfer*. Lapisan terdiri dari molekul atmosfer yang terionisasi oleh radiasi matahari. Ionisasi merupakan proses memecah elektron yang keluar dari atom netral dan menjadi elektron bebas. Bagi propagasi radio HF keberadaan elektron bebas sangat penting, karena adanya elektron bebas inilah yang menyebabkan terpantulnya gelombang radio

HF kembali ke bumi. Oleh karena itu dalam komunikasi HF terdapat variasi propagasi terhadap waktu dalam sehari.

Dengan kondisi lapisan *Ionosfer* yang bervariasi terhadap waktu, pada penelitian ini akan didapatkan kondisi kanal lintasan Surabaya (*Source*) – Merauke (*Destination*) dan Ternate (Relay) – Merauke (*Destination*) terhadap variasi waktu tertentu. Variasi waktu tersebut yaitu : Jam 00.00 WIB (17.00 UTC), 04.00WIB(21.00 UTC), 08.00 WIB(01.00 UTC), 12.00 WIB(05.00 UTC), 16.00 WIB (09.00 UTC), dan 20.00 WIB(13.00 UTC). Pada Tabel 3.2 merupakan beberapa parameter awal yang digunakan untuk pembuatan simulasi Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF) dengan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*.

Tabel 3.2 Parameter awal simulasi Sistem Komunikasi HF dengan Diversitas Kooperatif

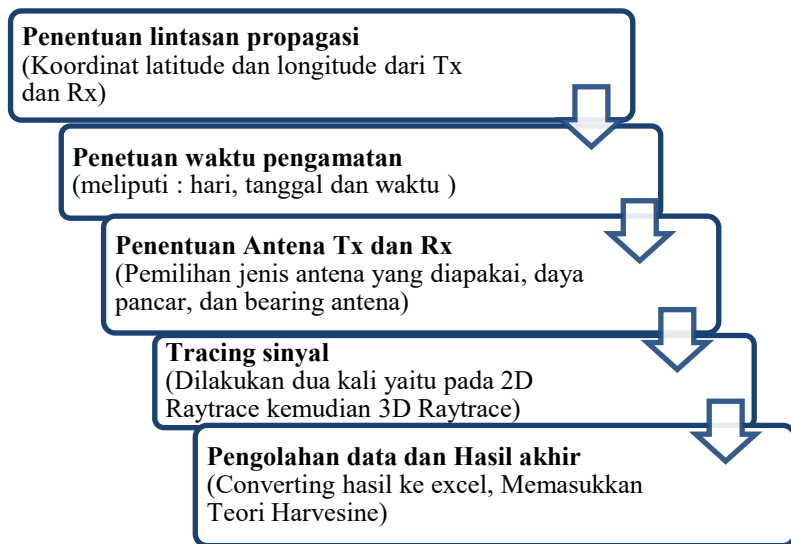
Mode Propagasi HF	<i>Sky Wave</i>
Strategi transmisi kooperatif	<i>Fixed Protocol</i>
Tipe processing pada relay	<i>Decode and Forward (DF) Relay</i>
Lintasan yang diamati	Surabaya – Merauke
	Ternate – Merauke
Tanggal pengamatan	11 Mei 2015
Waktu pengamatan	00.00 WIB (17.00 UTC)
	04.00WIB(21.00 UTC)
	08.00 WIB(01.00 UTC)
	12.00 WIB(05.00 UTC)
	16.00 WIB (09.00 UTC)
	20.00 WIB(13.00 UTC)
Frekuensi yang diamati	7.0325 Mhz
	14.0845 Mhz
Antenna Tx	<i>Horizontal Dipole</i>
Antenna Rx	<i>Horizontal Dipole</i>
Daya Pancar Tx	50 Watt

3.2 Skenario pemodelan Sistem Komunikasi HF dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – Merauke dengan *software* Proplab-Pro

Dalam skenario pemodelan kanal ini menggunakan *software* Proplab-Pro. Tujuan simulasi ini adalah untuk mendemonstrasikan

transmisi sinyal propagasi pada lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – Merauke sebagai model sistem komunikasi HF. Hasil simulasi tersebut nantinya akan diolah dan diuji dengan teknik diversitas kooperatif *selection combining* untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan model sistem komunikasi ini.

Proplab-Pro versi 3 merupakan sebuah *software simulator* yang dapat digunakan sebagai model propagasi dan kondisi suatu kanal radio *Ionosphere*. Simulator ini digunakan untuk mensimulasikan transmisi sinyal radio dengan menggunakan teknik *ray – tracing*. Proplab-Pro memanfaatkan model kanal *International Reference Ionosphere (IRI)* yang dikembangkan oleh organisasi *URSI* dan *CCIR* yang memodelkan ketinggian suatu lapisan *ionosfer* dari kerapatan elektron pada suatu titik koordinat tertentu. Pada Gambar 3.3 merupakan alur simulasi pada *software* Proplab-Pro

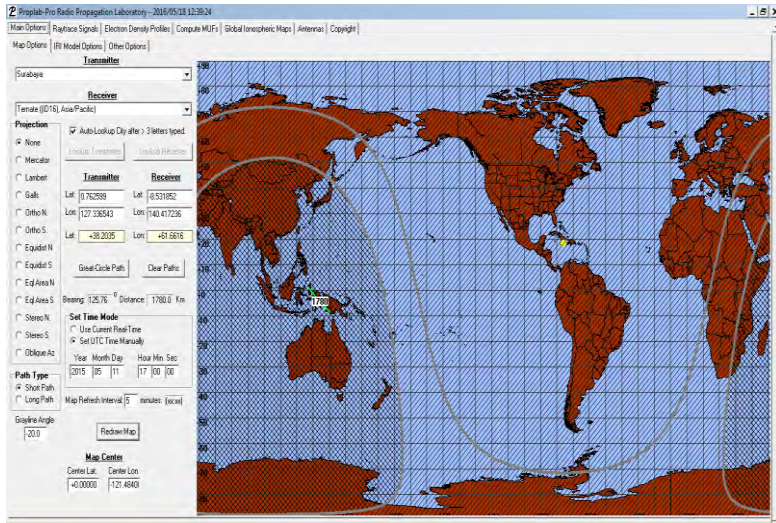


Gambar 3.3 Diagram alur simulasi pada *software* Proplab-Pro

3.2.1 Penentuan lintasan propagasi

Untuk menentukan lintasan propagasi yang akan diamati pada *software* Proplab-Pro ini, yaitu dengan cara memasukkan Latitude dan Longitude dari *Transmitter dan Receiver* yang akan diamati. Terdapat

dua kali pengamatan, yaitu Surabaya-Merauke dan Ternate-Merauke. Pengaturan ini terdapat pada menu *Main Option*. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3.4. Sedangkan koordinat untuk masing – masing node terdapat pada Tabel 3.1.



Gambar 3.4 Tampilan *Main Option* pada *software* Proplab – Pro

3.2.2 Penentuan waktu pengamatan

Variasi waktu menjadi salah satu faktor yang diamati pada simulasi propagasi dengan *software* Proplab-Pro ini. Waktu yang diamati yaitu pada jam 00.00 WIB (17.00 UTC), 04.00 WIB(21.00 UTC), 08.00 WIB(01.00 UTC), 12.00 WIB(05.00 UTC), 16.00 WIB (09.00 UTC), dan 20.00 WIB(13.00 UTC). Pada jam 00.00 WIB (17.00 UTC) adalah waktu yang mewakili kondisi lapisan *ionosfer* dengan radiasi matahari minimum dalam sehari. Kemudian untuk jam 12.00 WIB(05.00 UTC) adalah waktu yang mengamati kondisi lapisan *ionosfer* dengan radiasi matahari maximum dalam sehari. Sedangkan jam 04.00 WIB(21.00 UTC), 08.00 WIB(01.00 UTC), 16.00 WIB (09.00 UTC), dan 20.00 WIB(13.00 UTC) adalah kondisi peralihan lapisan *ionosfer* dengan radiasi matahari dari kondisi maximum ke minimum dan sebaliknya. Pada simulasi dengan menggunakan *software* Proplab-

pro ini pengaturan tanggal dan waktu pengamatan terdapat pada menu *Main Option* pada bagian *Set Time Option* yang bisa dilihat pada Gambar 3.4.

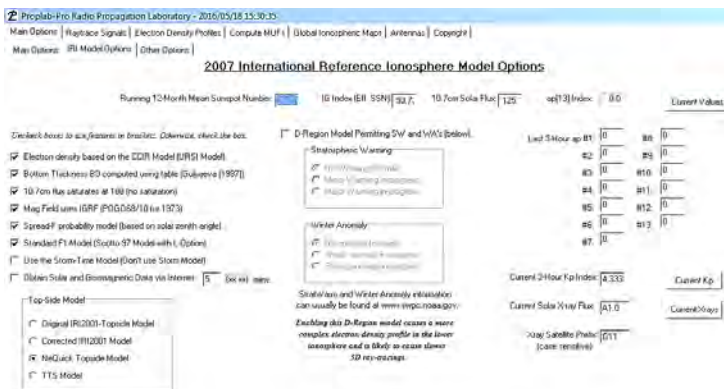
3.2.3 IRI Model Option

Proplab-Pro memanfaatkan model kanal *International Reference Ionosphere (IRI)* yang dikembangkan oleh organisasi URSI dan CCIR yang memodelkan ketinggian suatu lapisan *ionosfer* dari kerapatan elektron pada suatu titik koordinat tertentu.

Pada menu ini diinputkan nilai Sun Spot Number (SSN), effective Sun Spot Number (eff SSN), dan juga jumlah flux. Tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.5. Pada Tabel 3.3 nilai yang diinputkan sesuai dengan lintasan yang dipakai.

Tabel 3.3 IRI Model Option

Sunspot Number	93,73
IG Index (Eff. SSN)	93,73
10,7 cm solar flux	125,1

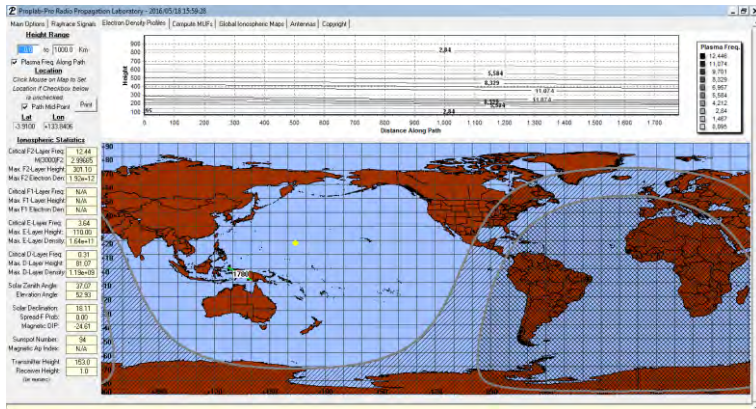


Gambar 3.5 Menu IRI Model Option

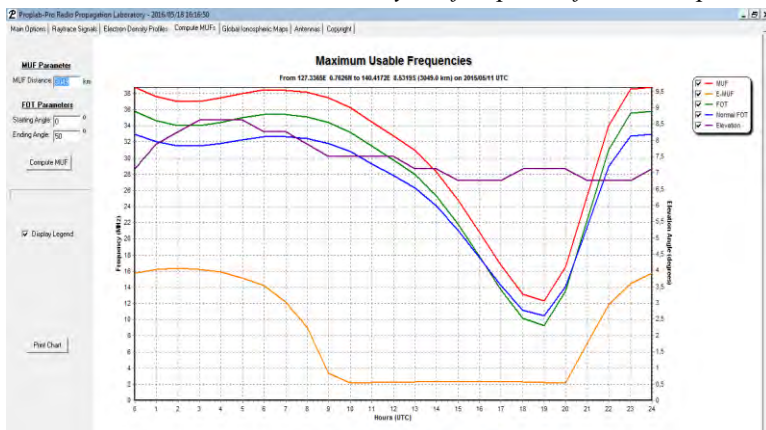
3.2.4 Kondisi Lapisan Ionosfer

Kondisi lapisan *ionosfer* bervariasi baik terhadap tempat pengamatan dan waktu. Pada *software* Proplab-Pro ini dapat diamati

variasi *electron density* dari lintasan propagasi yang akan diamati terhadap ketinggian vertikal dan jarak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Selain itu bisa diamati *Maximum Usable Frequency (MUF)* yang bisa digunakan pada variasi waktu dalam sehari. Pada *software* Proplab-Pro akan menampilkan perhitungan MUF sesuai dengan jarak antara *Transmitter* dan *Receiver* serta sudut elevasi sinyal dipancarkan.



Gambar 3.6 Menu *Electron Density Profile* pada *software* Proplab-Pro



Gambar 3.7 Menu *Compute MUF* pada *software* Proplab-Pro

Pada *software* Proplab-Pro ini bisa diamati pada menu *Compute MUF* yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Ada dua grafik parameter

yang perlu diperhatikan yaitu MUF dan FOT(Frequency of optimum Transmision). FOT menunjukkan frekuensi optimum untuk transmisi, yang didapatkan dari perhitungan 85% dari MUF. Yang berarti frekuensi tertinggi yang diizinkan dapat memantulkan 85% sinyal ke bumi. Dan MUF adalah frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan ke bumi.

3.2.5 Pemilihan Antenna (pada Transmitter dan Receiver) dan Daya Pancar

Salah satu yang perlu diatur dalam skenario pemodelan kanal Surabaya – Merauke dan Ternate – Merauke adalah pemilihan jenis antenna. Pada penelitian ini menggunakan jenis antenna *Horizontal Dipole*. Alasan dari dipilihnya antenna Horizontal Dipole adalah berdasarkan rekomendasi antenna untuk sistem komunikasi HF seperti yang dijelaskan pada subbab 2.4.4 dan pada Tabel 2.2. Pada tabel tersebut dijelaskan untuk penggunaan satu hop. Pada simulasi ini berfokus pada sudut elevasi antena sebesar $10^{\circ} - 30^{\circ}$. Untuk sudut dibawah 10° tidak digunakan dikarenakan menyesuaikan penggunaan antena pada kondisi sesungguhnya, yang mana banyak terdapat obstacle di sekeliling antenna seperti gedung dan bangunan. Apabila memakai sudut elevasi lebih kecil dari 10° ditakutkan akan sinyal terhalang oleh gedung dan bangunan di sekelilingnya sehingga tidak bisa dipancarkan maksimal. Sudut diatas 30° tidak digunakan karena hasilnya lebih banyak diteruskan ke angkasa daripada dipantulkan kembali ke bumi oleh lapisan *ionosfer*. Dengan pemilihan sudut diatas maka kita dapat melihat pada Tabel 2.2 jarak tempuh yang dapat dilintasi untuk satu hop minimal 500-1000 Km. Pada pilihan tersebut dapat kita lihat bahwa ada dua pilihan antenna yaitu vertikal monopul dan horizontal dipol seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pemilihan antenna pada sistem komunikasi HF

Panjang lintasan (km)	Sudut elevasi yang dibutuhkan	Antena yang sesuai
500-1000	$25^0 - 50^0$ $10^0 - 20^0$	0.25λ monopul vertikal atau horizontal dipol

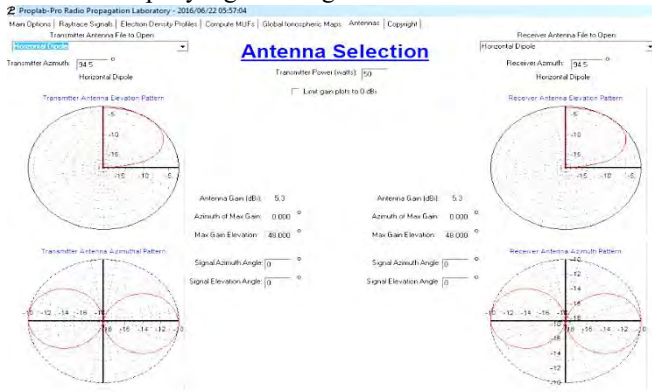
Pada penelitian ini dipilih antenna horizontal dipol karena beberapa alasan diantaranya adalah kekurangan dari antena vertikal dipol dibandingkan horizontal dipol, mode propagasi, harga antena,

dimensi antenna, dan kondisi tempat untuk pemasangan antenna. Antena vertikal monopol akan maksimal digunakan dalam mode propagasi groundwave dan mempunyai beamwidth lebih kecil daripada antena horizontal dipol.

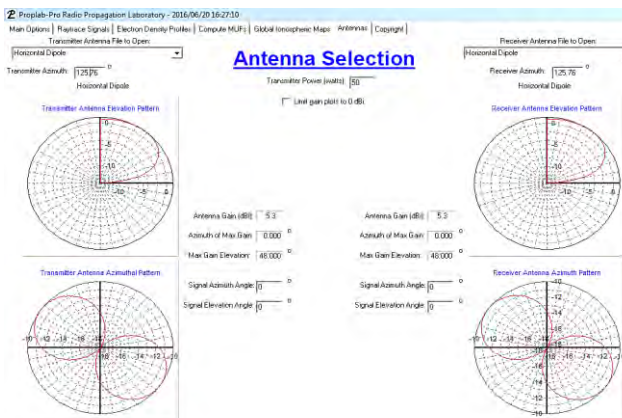
Alasan selanjutnya merupakan salah satu kondisi dalam sistem komunikasi high frequency (HF) adalah sinyal dapat merambat melalui mode propagasi yang mungkin dilakukan. Sinyal dapat merambat melalui satu mode seperti mode 1F, dua mode seperti 1F dan 2F, maupun bisa merambat lebih dari dua mode seperti 1F, 2F, 3F, dan sebagainya. Mode propagasi gelombang HF bergantung pada beamwidth antena yang digunakan. Semakin besar sudut beamwidth maka semakin banyak mode propagasi gelombang HF yang mungkin dilakukan (dua mode atau lebih) dan semakin kecil sudut beamwidth maka semakin sedikit mode propagasi gelombang HF yang mungkin dilakukan (satu mode). Pada *software* Proplab – pro didapatkan beamwidth untuk vertikal monopol sebesar 23° , sedangkan untuk antena horizontal dipol sebesar 48° . Dengan nilai ini maka antena horizontal dipol mampu mentransmisikan sinyal dalam dua mode atau lebih. Dan kualifikasi inilah yang nantinya ingin diwujudkan dalam sistem pengukuran pada kondisi sebenarnya.

Selain itu juga pada *software* Proplab-Pro diperlihatkan nilai gain antena vertikal monopol sebesar -0,3 dBi sedangkan untuk antena horizontal dipol sebesar 5,3 dBi. Sehingga menguatkan alasan pemilihan antena horizontal dipol pada simulasi penelitian ini. Selanjutnya untuk keperluan penerapan penelitian ini untuk sistem pengukuran dibutuhkan diinginkan sistem komunikasi high frequency (HF) menggunakan antena yang sederhana, murah dan mempunyai dimensi yang kecil dan kualifikasi ini ada pada horizontal dipole. Selanjutnya untuk proses instalasi antena, apabila digunakan untuk pengukuran sistem komunikasi HF yang dirancang oleh Laboratorium Antena dan Propagasi B306 oleh Laboratorium Antena dan Propagasi pada pengukuran jarak jauh Surabaya-Merauke (3049 km) dan Surabaya-Ternate (1780 km) direkomendasikan menggunakan antena dipol horizontal. Pertimbangan khusus yaitu dimensi antena yang kecil diantara antena yang lain sehingga tidak membutuhkan ruang yang lebar yang disesuaikan dengan ruang di Kampus Elektro ITS, Universitas Musamus Merauke, dan Universitas Khairun Ternate. Selain itu, antena tersebut juga direkomendasikan untuk sistem komunikasi HF dengan dua mode propagasi atau lebih yang cocok digunakan untuk sistem

komunikasi HF jarak jauh. Perkiraan adalah Sementara diketahui untuk lintasan Surabaya – Merauke. Dan juga untuk konfigurasi pemasangan antenna bisa memakai beberapa konfigurasi seperti *horizontal, inverted V, slopper, dan lazy Y*. Sehingga memudahkan fleksibilitas pemasangan antenna sesuai tempat yang akan digunakan.



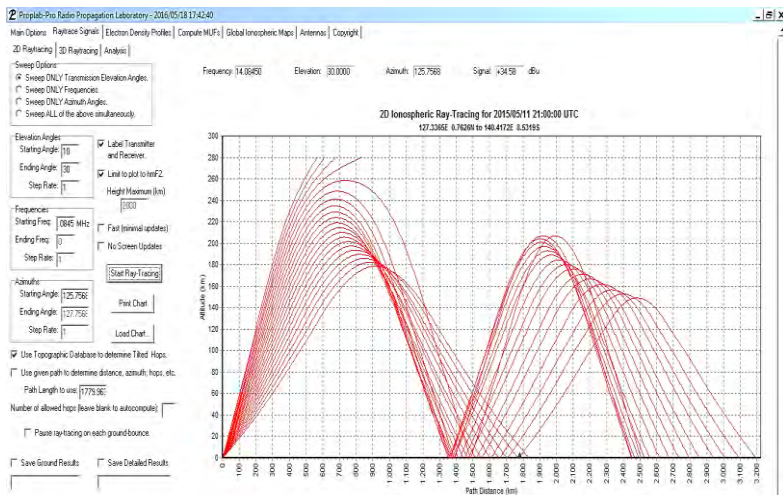
Gambar 3.8 Pemilihan antenna dipol horizontal untuk lintasan Surabaya – Merauke pada *software* Proplab-Pro



Gambar 3.9 Pemilihan antenna dipol horizontal untuk lintasan Ternate – Merauke pada *software* Proplab-Pro

3.2.6 2D Raytracing

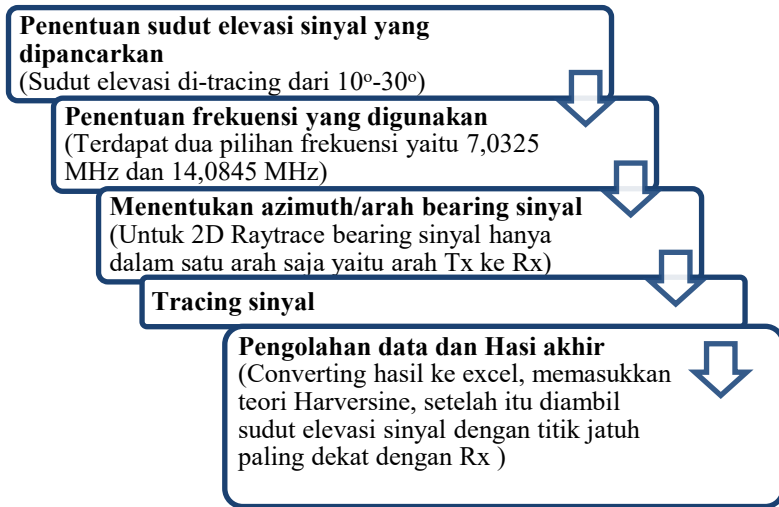
Untuk mengetahui propagasi sinyal dari *Transmitter* ke *Receiver* secara dua dimensi, *software* Proplab-pro mempunyai menu *2D Raytrace* untuk mengetahui jalanya propagasi sinyal. Pada *2D Raytrace* ini ada beberapa parameter yang bisa diatur sesuai kebutuhan penelitian, yaitu sudut elevasi, frekuensi, dan *azimuth* (*bearing* antenna *Transmitter*). Pada *2D Raytrace* ini sudah bisa didapatkan hasil kasar pada sudut elevasi/frekuensi/*azimuth* berapa sinyal bisa sampai ke *Receiver*, atau kondisi sinyal yang diteruskan ke angkasa oleh lapisan *ionosfer*. *2D Raytrace* ini juga tergantung kondisi waktu dan lintasan yang ditempuh. Pada Proplab-Pro pengaturan parameter ini dilakukan setelah mengatur koordinat *Transmitter* dan *Receiver*, waktu dan tanggal pengamatan, IRI model (*SSN*, *effective SSN*, *flux*), dan Antenna. Tampilan dari *2D Raytrace* bisa dilihat pada Gambar 3.10. Sementara untuk pengaturan parameter *2D Raytrace* ini terdapat pada Tabel 3.5. Kemudian untuk alur tacing sinyal terdaat pada Gambar 3.11.



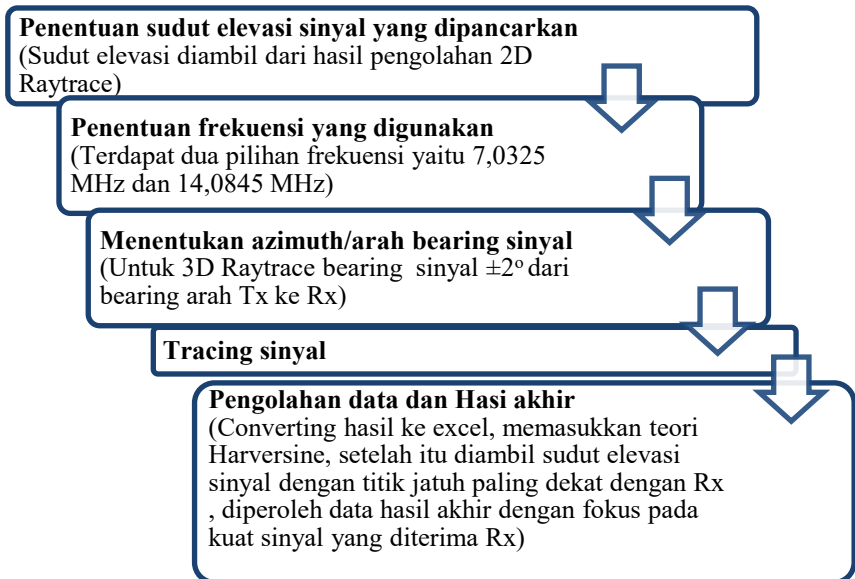
Gambar 3.10 Tampilan *2D Raytrace* pada software Proplab-Pro

Tabel 3.5 Parameter *2D Raytrace*

Sudut Elevasi	10° - 30° dengan <i>step rate</i> 1°
Frekuensi	7.0325 dan 14.0845 MHz
<i>Azimuth</i>	<i>Bearing</i> Tx ke Rx



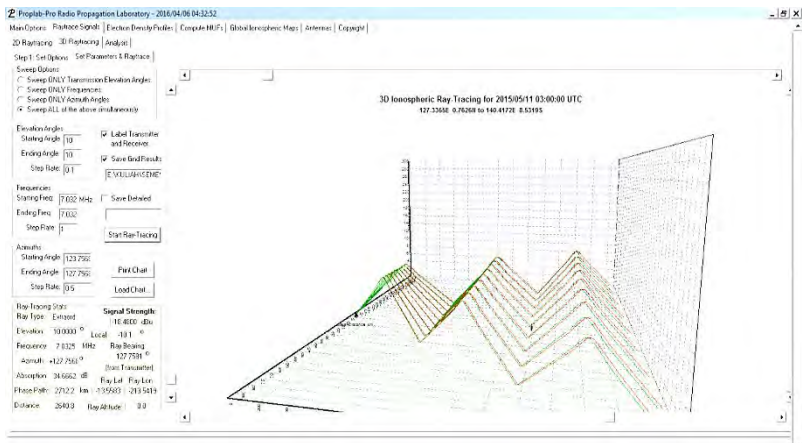
Gambar 3.11 Alur *tracing* sinyal pada 2D Raytrace *software* Proplab-Pro



Gambar 3.12 Alur *tracing* sinyal pada 3D Raytrace *software* Proplab-Pro

3.2.7 3D Raytracing

Pada *2D Raytrace* semua jam dilakukan tracing sesuai dengan Tabel 3.5. Kemudian diseleksi berdasarkan *teori Harvesine* untuk mengetahui jarak koordinat titik jatuh sinyal terhadap koordinat destinasi dengan mengacu pada hop terakhir yang menyatakan pantulan terakhir atau titik jatuh terakhir dari berkas sinyal pada permukaan bumi. Setelah itu berkas sinyal yang mempunyai jarak koordinat paling mendekati dengan koordinat destinasi akan di-tracing kembali pada *3D Raytrace* untuk mendapatkan kualitas data yang mendekati kondisi real dengan memasukan sudut elevasi yang telah didapatkan dari hasil seleksi berkas sinyal hasil simulasi *2D Raytrace*. Dimana variasi frekuensi dan variasi *azimuth* masih sama dengan parameter awal dari Tabel 3.2. Hasil dari *3D Raytrace* ini akan kembali diseleksi dengan menggunakan teori harvesine untuk memilih sinyal dengan titik jatuh paling mendekati koordinat desrinasi. Alur tracing sinyal pada 3D Raytrace terdapat pada Gambar 3.12. Dan parameter raytracing pada 3D Raytrace terdapat pada Tabel 3.6



Gambar 3.13 Tampilan *3D Raytrace* pada *software* Proplab-Pro

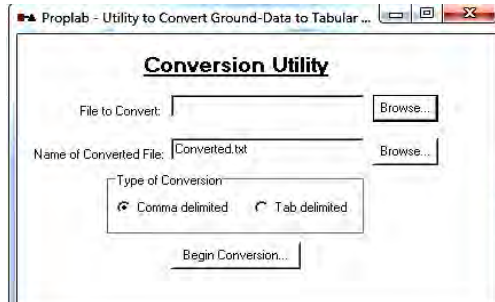
Tabel 3.6 Parameter 3D Raytrace

Sudut Elevasi	10° - 30° dengan <i>step rate</i> 1°
Frekuensi	7.0325 dan 14.0845 MHz
Azimuth	Bearing $\pm 2^\circ$ dari arah Tx ke Rx

3.2.8 Converting

Hasil dari tracing *3D Raytrace* untuk dapat diolah harus diconverting dahulu. Converting yang dilakukan dengan menggunakan Proplab converting seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 3.14



Gambar 3.14 Proplab Conversion Utility

Pada Gambar 3.15 ditunjukkan hasil dari converting *3D Raytrace* dengan simulasi Proplab-Pro yang mana terdapat beberapa nama parameter yang harus diperhatikan karena berkaitan dengan proses pengolahan data selanjutnya.

- a) *Type* adalah keterangan apakah berkas sinyal tersebut jenis ordinary ataupun extra-ordinary. Namun dalam penelitian ini keduanya dianggap sama.
- b) *Distance* adalah kolom yang menyajikan jarak tempuh terestrial dari sinyal yang ditransmisikan, baik sinyal dengan pantulan pertama sampai pantulan terakhir (titik jatuh akhir dari berkas sinyal). Parameter ini menjadi salah satu parameter yang akan menyeleksi berkasi sinyal hasil *2D Raytrace* mana yang akan di-tracing lanjut pada *3D Raytrace* untuk mengetahui jalannya sinyal transmisi dengan mendekati kondisi real.
- c) *Height* menyatakan pada ketinggian berapa sinyal dipantulkan permukaan bumi. Parameter ini tidak perlu dipertimbangkan karena tidak menjadi bahan pertimbangan proses pengolahan data hasil simulasi.
- d) *Lat (latitude) dan Lon (longitude)* merupakan koordinat titik tempat jatuhnya berkas sinyal pada permukaan bumi. Nantinya parameter

ini akan digunakan untuk menyeleksi berkas sinyal yang jatuh paling mendekati koordinat destinasi.

Type	Distance	Height	Lat	Lon	Signal_Strength	Elevation_Angle	Azimuth	Total_Dist	Frequenc	Hops
1	1034,506	0	-7,59123	122,1752	30,200447	10	92,4905	1063,114	14,0845	1
1	2092,705	0	-7,69472	131,7783	23,6728	10	92,4843	2150,277	14,0845	2
1	3216,055	0	-7,56859	141,9721	19,943066	10	92,47627	3303,552	14,0845	3
-1	1031,469	0	-7,59072	122,1477	30,225674	10	92,49113	1060,008	14,0845	1
-1	2084,426	0	-7,69258	131,7031	23,706762	10	92,47761	2141,814	14,0845	2
-1	3189,694	0	-7,56736	141,7328	20,013727	10	92,46196	3276,675	14,0845	3
1	1034,679	0	-7,6719	122,1746	30,19903	10	92,98931	1063,285	14,0845	1
1	2093,29	0	-7,85569	131,7829	23,670372	10	92,9831	2150,865	14,0845	2
1	3218,26	0	-7,80952	141,9971	19,937124	10	92,97514	3305,793	14,0845	3
-1	1031,593	0	-7,67151	122,1466	30,224651	10	92,9922	1060,13	14,0845	1
-1	2085,477	0	-7,85366	131,712	23,702236	10	92,97854	2142,861	14,0845	2
-1	3192,711	0	-7,80718	141,765	20,005438	10	92,96252	3279,698	14,0845	3
1	1035,03	0	-7,75265	122,1749	30,196032	10	93,48816	1063,631	14,0845	1
1	2094,173	0	-8,01678	131,789	23,666508	10	93,48187	2151,73	14,0845	2
1	3220,62	0	-8,05074	142,0216	19,930624	10	93,47398	3308,126	14,0845	3
-1	1031,69	0	-7,75229	122,1446	30,223839	10	93,49325	1060,226	14,0845	1
-1	2086,325	0	-8,01487	131,7177	23,698654	10	93,47951	2143,714	14,0845	2
-1	3195,912	0	-8,04744	141,7971	19,996759	10	93,46311	3282,929	14,0845	3
1	1035,294	0	-7,83339	122,1738	30,193838	10	93,98704	1063,892	14,0845	1
1	2094,953	0	-8,17795	131,7928	23,663212	10	93,98064	2152,511	14,0845	2
1	3223,168	0	-8,29228	142,046	19,923752	10	93,97275	3310,689	14,0845	3
-1	1031,764	0	-7,83303	122,1417	30,223215	10	93,99426	1060,3	14,0845	1
-1	2086,783	0	-8,1761	131,7186	23,696898	10	93,9805	2144,195	14,0845	2
-1	3199,368	0	-8,28814	141,8297	19,987566	10	93,96366	3286,479	14,0845	3

Gambar 3.15 Hasil dari *converting 3D Raytrace* pada simulasi Propalab-Pro

- e) *Signal_Strength* adalah nilai dari daya terima pada titik terakhir sinyal jatuh. Nantinya pada berkas sinyal dengan koordinat terdekat dengan destinasi, nilai ini akan dianggap sebagai daya terima pada *destinasi/receiver*.
- f) *Elevation_angle* adalah sudut pancar sinyal pada *Transmitter*. Pada *2D Raytrace* range sudut yang disimulasikan adalah 10-30 derajat, namun pada *3D Raytrace* hanya beberapa sudut saja yang disimulasikan dikarenakan penyeleksian dengan teori harvesine diketahui beberapa sinyal transmisi yang dipancarkan dengan *elevation angle* tertentu menghasilkan koordinat titik jatuh sinyal yang terlampaui jauh dari koordinat destinasi, sehingga tidak ditracing pada *3D Raytrace* karena hasilnya sudah pasti diketahui tidak tepat sasaran.
- g) *Azimuth* menyatakan bearing sinyal dari titik jatuh terakhir terhadap koordinat *transmitter*.

- h) *Total distance* adalah jarak total path yang dilalui sinyal mulai dari *transmitter* sampai titik akhir jatuhnya sinyal permukaan bumi.
- i) *Frequency* adalah frekuensi kerja yang digunakan dalam proses *tracing*
- j) *Hops* adalah menyatakan pantulan ke-n.

3.3 Pengolahan data hasil simulasi Proplab

Setelah melakukan demonstrasi Sistem Komunikasi dengan menggunakan *software* Proplab – Pro akan didapatkan hasil data dengan sinyal dengan beberapa keterangan yang akan dibutuhkan untuk proses selanjutnya. Beberapa keterangan data hasil demonstrasi tersebut yaitu : *Distance* (jarak terestrial *Transmitter* dan *Receiver*), Koordinat *Latitude* dan *Longitude*, *Signal Strength* (daya terima sinyal, namun masih dalam satuan dB μ V), *Elevation angle* (sudut pancar sinyal oleh *Transmitter*), *Azimuth* (*Bearing* dari sinyal yang dipancarkan *Transmitter*), *Total Distance* (Panjang lintasan propagasi yang dilalui sinyal dari *Transmitter* hingga sampai ke *Receiver*), Frekuensi, serta *Hops*(yang menyatakan pantulan ke-n untuk sinyal dalam proses transmisi menuju *Receiver*).

Hasil dari *3D Raytrace* akan menunjukkan jalannya sinyal yang mendekati kondisi real. Berkas berkas sinyal yang telah di-tracing dengan sudut elevasi tertentu dan range *azimuth* tertentu akan menunjukkan hasil dengan salah satu keterangan koordinat jatuh sinyal yang transmisikan. Koordinat jatuh ini akan diplotting-kan bersama koordinat dari node Destinasi untuk mengetahui jalur jatuh sinyal apakah melewati node Destinasi. Plotting ini dilakukan dengan menghitung jarak antara koordinat jatuh sinyal dengan koordinat destinasi dengan menggunakan teori *harvesine*.

Dari hasil *raytracing* 3D didapatkan nilai *signal strength* (dB μ V), nilai inilah yang digunakan untuk proses selanjutnya. Nilai ini akan dikonversi ke dalam daya terima/ P_r (Watt). Daya terima dalam bentuk watt ini akan diolah untuk mendapatkan SNR, E_b/N_o , dan P_e sesuai dengan persamaan 2-11, 2-12, dan 2-13.

3.4 Pengujian teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*

Pada pengujian ini ada dua tahapan yaitu penerapan sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *processing relay decode and*

forward (DF). Dimana didapatkan perbandingan kanal dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate Merauke. Sehingga pada penerima terdapat dua hasil sinyal yaitu dari kanal dengan lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – Merauke.

Setelah mendapatkan hasil tersebut, diterapkan metode *selection combining diversity* untuk mendapatkan hasil sinyal dengan kualitas terbaik di penerima. Dimana pada penerima akan diseleksi sinyal dengan daya maksimum diantara dua sinyal dari dua lintasan tersebut. Setelah itu akan dihitung parameter *Signal to Noise Ratio (SNR)*, *Energi per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio (Eb/No)*, dan *Probability of Error (Pe)* dari hasil teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*. Dari parameter – parameter inilah akan dievaluasi kinerja Sistem Komunikasi *High Frequency (HF)* dengan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*, dengan membandingkan parameter penggunaan teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining*, dua frekuensi yang digunakan untuk pengamatan, serta variasi waktu pengamatan.

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas hasil dari simulasi sistem komunikasi HF dengan menggunakan *software* Proplab-Pro sesuai dengan parameter yang terdapat pada Tabel 3.2. Kemudian hasil dari simulasi tersebut diolah sesuai dengan prinsip sistem komunikasi kooperatif yang kemudian menerapkan teknik *selection combining diversity* pada sisi penerima. Sistem komunikasi kooperatif dengan teknik *processing relay Decode and Forward (DF)* akan mengamati lintasan Surabaya(*source*) – Merauke(*destination*) dan Ternate(*relay*) – Merauke(*destination*). Sinyal yang diterima *relay* di-*decode* ulang menyerupai sinyal pada *transmitter*. Setelah itu akan diperbandingkan hasil dari pengolahan data tersebut terhadap variasi waktu, variasi frekuensi kerja, dan variasi teknik transmisi sinyal (dalam hal ini membandingkan penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dengan tanpa penggunaan teknik tersebut). Dan kemudian akan dianalisa sesuai teori yang berkaitan.

4.1 Pemilihan lintasan dari hasil simulasi dari *software* Proplab-Pro

Pada subbab ini akan dijelaskan proses seleksi hasil simulasi propagasi sinyal dari *software* Proplab-Pro. Hasil seleksi dari *2D Raytrace* untuk bahan simulasi *3D Raytrace* ditampilkan pada Tabel 4.1

Simulasi sistem komunikasi HF dengan *3D Raytrace* mencoba kemungkinan semua sudut elevasi dengan list yang ada pada Tabel 4.1 untuk mencari berkas sinyal yang mempunyai koordinat titik jatuh paling dekat dengan koordinat destinasi (Merauke). Perhitungan jarak antara koordinat titik jatuh sinyal dengan koordinat destinasi dilakukan dengan teori harversine pada persamaan 2-10 .Dan didapatkan hasil pendekatan berikut ditampilkan pada Tabel 4.2

Pada Tabel 4.2 terdapat dua waktu yang tidak ditemukan sinyal yang paling mendekati dengan titik destinasi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran. Oleh karena itu diasumsikan daya terima di *receiver* sama dengan $0 \text{ dB}\mu\text{V}$. Kolom *signal strength* menampilkan nilai daya terima pada titik terakhir jatuh sinyal dalam satuan $\text{dB}\mu\text{V}$. Nilai ini dianggap sebagai daya terima *receiver* di masing – masing waktu. Tabel 4.2 menunjukkan hasil akhir dari rangkaian simulasi sistem komunikasi HF dengan menggunakan *software* Proplab-Pro.

Tabel 4.1 Daftar sudut elevasi yang diinputkan dalam *3D Raytrace*.

Frekuensi (MHz)	Jam (WIB)	Sudut Elevasi yang diinputkan (derajat)
<i>Lintasan Surabaya - Merauke</i>		
7.0325	00.00	23, 13, 13,7, 13,5
	04.00	24, 24.2, 24.1
	08.00	10, 10.1, 10.5, 11, 12, 12.1, 12.3, 12.5, 13, 14, 15, 15.5, 15.9, 16, 16.2, 16.5, 16.6, 18, 19, 21.
	12.00	16, 17, 18, 19, 20, 20.1, 20.4, 20.6, 20.8, 21, 22, 25, 25.1, 25.2, 25.2, 25.5, 25.8
	16.00	20.3, 20.1
	20.00	11, 22,24
14.0845	00.00	-
	04.00	-
	08.00	23
	12.00	10, 25, 28
	16.00	16, 23
	20.00	13,15
<i>Lintasan Ternate - Merauke</i>		
7.0325	00.00	27, 27,3
	04.00	19, 10
	08.00	12.5, 13, 13.5, 16.5, 16.6, 16.8, 16.9, 17, 17.1, 17.5
	12.00	16.5, 16.8, 17, 17.5, 24.5, 25, 25.5, 26
	16.00	18 18,5 30
	20.00	25 25,5
14.0845	00.00	14, 14,5, 22
	04.00	10
	08.00	28, 28,5, 29
	12.00	30
	16.00	10, 29, 29.3, 29.5
	20.00	11,14

Tabel 4.2 Hasil 3D Raytrace dengan *Signal Strength*

Frekuensi (MHz)	Jam (WIB)	Sudut elevasi (derajat)	Signal strength (dBμV)
<i>Lintasan Surabaya – Merauke</i>			
7.0325	00.00	13	18,86
	04.00	24,2	14,34
	08.00	12,3	17,81
	12.00	25,8	26,34
	16.00	20	16,09
	20.00	24	20,21
14.0845	00.00	-	0
	04.00	-	0
	08.00	23	7,72
	12.00	28	20,02
	16.00	23	20,17
	20.00	15	19,98
<i>Lintasan Ternate – Merauke</i>			
7.0325	00.00	27,3	26,07
	04.00	19	3,54
	08.00	17,1	27,24
	12.00	25,5	31,48
	16.00	18	22,42
	20.00	25	14,97
14.0845	00.00	14,5	25,28
	04.00	10	16,71
	08.00	28,5	32,52
	12.00	30	31,85
	16.00	29	32,57
	20.00	11	25,69

4.2 Perhitungan parameter SNR, Eb/No, dan Pe dari hasil simulasi software Proplab-Pro

Setelah mendapatkan hasil dari *3D Raytrace* yang berupa nilai daya terima pada masing – masing waktu seperti Tabel 4.2, selanjutnya nilai tersebut diolah untuk mendapatkan nilai SNR, Eb/No, dan Pe sebagai parameter utama evaluasi kinerja dari sistem komunikasi HF dengan diversitas kooperatif *selection combining* ini.

Dengan menggunakan rumus 2-11 , maka SNR dapat dihitung. Contoh untuk frekuensi 14,0845 MHz lintasan Ternate – Merauke didapatkan hasil 25,28 dBμV, dikonversikan ke volt dan kemudian ke watt menjadi:

$$\text{Signal Strength} = 25,28 \text{ dB}\mu\text{V}$$

$$\text{Signal Strength} = 10^{\frac{25,28}{10}} = 1,84 \times 10^{-5} \text{ Volt}$$

$$\text{Signal Strength} = \frac{(1,84 \times 10^{-5})^2}{50} = 6,74 \times 10^{-12} \text{ Watt}$$

$$\text{SNR} = 10 \times \log\left(\frac{\text{Signal strength}}{K T B}\right) = 10 \times \log\left(\frac{6,74 \times 10^{-12}}{7,8 \times 10^{-16}}\right) = 39,37 \text{ dB}$$

Selanjutnya untuk menghitung Eb/No dan Pe digunakan rumus 2-12, 2-13, 2-14 , dengan memakai data *signal strength* yang sama, maka Eb/No dan Pe dapat dihitung :

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{A^2}{2} \frac{1}{R_b} \frac{1}{K T B}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 10 \times \log\left(\frac{(1,84 \times 10^{-5})^2}{2} \frac{1}{50000} \frac{1}{7,8 \times 10^{-16}}\right) = 6,35 \text{ dB}$$

$$P_e = Q \sqrt{\left(\frac{(1,84 \times 10^{-5})^2}{2} \frac{1}{50000} \frac{1}{7,8 \times 10^{-16}}\right)} = 0,00165$$

Sehingga didapatkan hasil SNR, Eb/No dan Pe yang ada pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Selanjutnya untuk data perhitungan yang lebih lengkap bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 4.3 Hasil SNR, Eb/No, dan Pe dari Frekuensi kerja 7,0325 Mhz.

Jam (WIB)	Lintasan					
	Surabaya - Merauke			Ternate – Merauke		
	SNR (dB)	Eb/No (dB)	Pe	SNR (dB)	Eb/No (dB)	Pe
0	32,95	-0,06	0,08008	40,16	7,15	0,00064
4	28,42	-4,59	0,20211	17,63	-15,38	0,404927
8	31,89	-1,12	0,10681	41,33	8,32	0,00011
12	40,43	7,42	0,00045	45,56	12,55	1×10^{-9}
16	30,18	-2,83	0,15375	36,51	3,50	0,01716
20	34,30	1,29	0,05038	29,05	-3,96	0,1849

Tabel 4.4 Hasil SNR, Eb/No, dan Pe dari Frekuensi kerja 14,0845 Mhz

Jam (WIB)	Lintasan					
	Surabaya - Merauke			Ternate - Merauke		
	SNR (dB)	Eb/No (dB)	Pe	SNR (dB)	Eb/No (dB)	Pe
0	14,09	-18,92	0,43639	39,36	6,35	0,001645
4	14,09	-18,92	0,43639	30,80	-2,21	0,136377
8	21,81	-11,21	0,34854	46,61	13,60	$6,64 \times 10^{-12}$
12	34,11	1,10	0,05432	45,94	12,93	$1,83 \times 10^{-10}$
16	34,26	1,25	0,0513	46,66	13,65	$4,86 \times 10^{-12}$
20	34,07	1,06	0,05514	39,78	6,77	$1,03 \times 10^{-3}$

Dan juga dari hasil pada Tabel 4.2 akan diuji teknik diversitas kooperatif *selection combining*, dimana pada penerima ini akan difokuskan penggunaan metode *selection combining* dengan cara memilih sinyal terkuat diantara sinyal yang dihasilkan dari lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate-Merauke. Pada masing – masing jam akan dipilih salah satu nilai terbesar dari dua nilai *signal strength* yang dihasilkan dua lintasan. Nilai inilah yang akan dipakai sebagai hasil teknik *selection combining*. Hasil dari teknik tersebut untuk frekuensi 7.0325 Mhz dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan untuk frekuensi 14.0845 Mhz dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Hasil teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining* Frekuensi 7,0325 Mhz

Jam (WIB)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	Pe
0	40,16	7,15	0,00064
4	28,42	-4,59	0,20211
8	41,33	8,32	0,00011
12	45,56	12,55	1×10^{-9}
16	36,51	3,50	0,01716
20	34,30	1,29	0,05038

Tabel 4.6 Hasil teknik Diversitas Kooperatif *Selection Combining* Frekuensi 14,0845 Mhz

Jam (WIB)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	Pe
0	39,36	6,35	0,001645
4	30,80	-2,21	0,136377
8	46,61	13,60	$6,64 \times 10^{-12}$
12	45,94	12,93	$1,83 \times 10^{-10}$
16	46,66	13,65	$4,86 \times 10^{-12}$
20	39,78	6,77	0,001028

4.3 Pengujian pengaruh variasi waktu

Pada Bab 2 telah dijelaskan bahwa lapisan *ionosfer* berpengaruh pada kerapatan elektron, dimana kondisi ini mempengaruhi kualitas sinyal pantulan menuju permukaan bumi yang menjadi sinyal terima pada receiver. Kondisi lapisan *ionosfer* dengan radiasi matahari paling tinggi pada umumnya akan terjadi pada siang hari, dan kondisi radiasi matahari paling buruk terjadi pada malam hari. Radiasi matahari yang tinggi menyebabkan semakin besar laju ionisasi pada lapisan *ionosfer*. Sehingga akan semakin banyak pula elektron bebas akibat terpantulnya elektron tersebut dari atom netralnya. Elektron – elektron bebas inilah yang memantulkan sinyal kembali ke permukaan bumi. Apabila semakin

padat elektron bebas (ion – ion) pada lapisan *ionosfer* maka akan semakin tinggi frekuensi dan juga semakin bagus kualitas sinyal hasil pantulan dari sinyal yang ditransmisikan. Penjelasan selengkapnya sesuai dengan subbab 2.1 sampai subbab 2.4. Apabila teori ini sesuai maka hasil akan menunjukkan nilai maksimal pada siang hari. Karena pada kondisi ini lapisan – lapisan *ionosfer* memiliki kepadatan elektron tertinggi.

Pada hasil pengamatan yang ada pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 didapatkan untuk nilai SNR dan Eb/No terbesar pada lintasan Surabaya-Merauke untuk frekuensi 7.0325 Mhz dan lintasan Ternate – Merauke frekuensi 7.0325 Mhz berada pada jam 12.00 WIB. Dengan nilai SNR masing- masing kondisi yaitu 40,43 dB dan 45,56 dB. Lalu untuk Eb/No sebesar 7,42 dB dan 12,55 dB. Sedangkan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – merauke pada frekuensi 14.0845 mempunyai nilai SNR dan Eb/No terbesar berada pada jam 16.00 WIB .Dengan nilai SNR sebesar 34,26 dB dan 46,66 dB. Dengan Eb/No sebesar 1,25 dB dan 13,65 dB. Sama halnya dengan Pe yang dihasilkan mempunyai nilai terkecil pada lintasan Surabaya-Merauke dan lintasan Ternate – Merauke untuk frekuensi 7.0325 Mhz berada pada jam 12.00 WIB. Dengan nilai masing- masing sebesar 0,00045 dan 1×10^{-9} dB. Sedangkan pada lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – merauke pada frekuensi 14.0845 mempunyai Pe terkecil pada 16.00 WIB. Dengan nilai 0,0513 dan $4,86 \times 10^{-12}$.

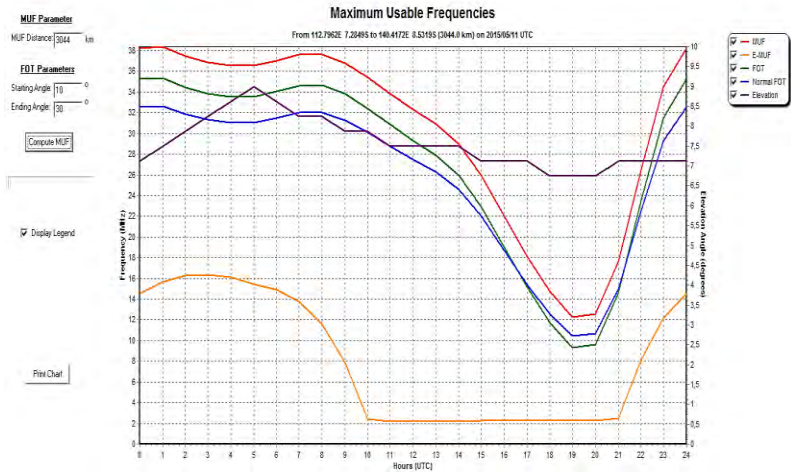
Pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 untuk di lintasan Surabaya – Merauke dan Ternate – Merauke pada frekuensi kerja 7,0325 dan 14,0845 mendapatkan kualitas SNR, Eb/No, dan Pe pada jam 12.00 WIB dan 16.00 WIB. Dan untuk kondisi terburuk selalu berada pada jam 04.00 WIB. Kondisi tersebut bisa dibandingkan dengan hasil dari grafik *Maximum Useable Frequencies* (MUF) yang dihitung secara otomatis oleh *software* Proplab-Pro untuk kondisi lintasan tertentu. Apabila dibandingkan dengan grafik MUF dari *software* Proplab-Pro, beberapa kondisi tidak sesuai dengan grafik., yaitu rentang waktu optimum untuk transmisi sinyal pada frekuensi kerja 7,0325 MHz dan 14,0845 Mhz. Salah satu yang dimungkinkan menyebabkan perbedaan tersebut adalah adanya rentang sudut elevasi pada Proplab-Pro lebih kecil dari rentang sudut elevasi dari parameter *raytracing* sesuai pada Tabel 3.2. Pada tabel tersebut rentang sudut elevasi yang digunakan baik dalam *2D Raytrace* dan *3D Raytrace* adalah 10° - 30° . Namun pada hasil grafik MUF pada *software* Proplab-Pro menunjukkan sudut elevasi yang

digunakan disekitar rentang 0° - 20° . Pada penelitian ini digunakan sudut elevasi 10° - 30° dikarenakan, banyak *obstacle* seperti gedung – gedung, pegunungan dan perbukitan dengan lintasan yang jauh sehingga sudut elevasi 10° besar sudut yang sangat rendah untuk dipantulkan di ke angkasa. Apabila diterapkan dalam kondisi real, sangat besar kemungkinan untuk menabrak *obstacle* – *obstacle* tersebut. Kemungkinan kedua yaitu pada pagi hari (pukul 08.00 WIB dan 12.00 WIB) sudah terbentuk lapisan elektron – elektron bebas dibawah lapisan F2 (yang menghasilkan nilai MUF) sehingga sinyal dapat terpantulkan kembali ke bumi. Selain kondisi ini, pada data grafik MUF pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa jam 04.00 WIB menjadi salah satu kondisi peralihan. Sehingga dimungkinkan kepadatan elektron pada jam ini tidak menentu, dan dibuktikan dengan hasil dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, kualitas sinyal pada jam 04.00 WIB adalah kondisi dengan nilai SNR dan Eb/No paling kecil dan Pe yang paling besar pada jam 04.00 WIB.

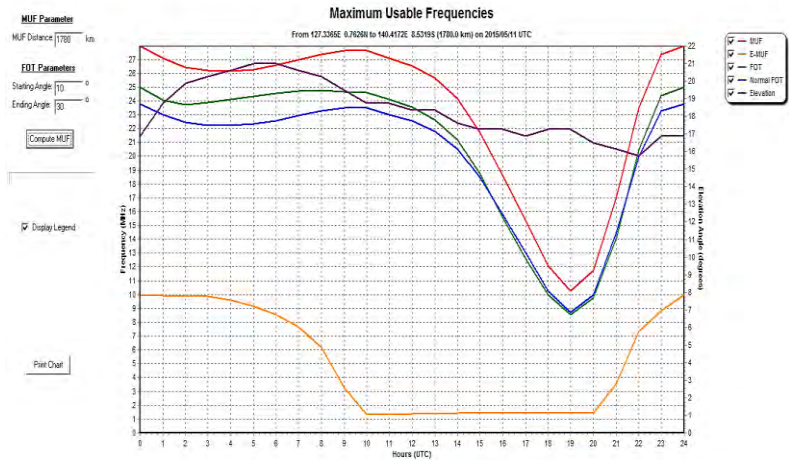
Penjelasan tentang kondisi – kondisi diatas dapat disimpulkan bahwa secara umum bahwa penjelasan tentang radiasi matahari , yang telah disampaikan pada subbab 2.2 sampai 2,4 mempengaruhi kualitas sinyal pada komunikasi HF sesuai dengan analisa hasil data simulasi. Untuk beberapa data yang menunjukkan kondisi tidak sesuai dengan keterangan bahwa kualitas sinyal terbaik didapatkan pada waktu siang dan kondisi terburuk terjadi pada malam hari, ada beberapa faktor yang dimungkinkan menyebabkan kondisi – kondisi tersebut. Diantaranya yaitu banyaknya pantulan yang terjadi pada berkas sinyal, letak jatuhnya sinyal ataupun kondisi dari lapisan – lapisan *ionosfer* yang sering berubah.

4.4 Pengujian pengaruh penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining*

Penggunaan metode *selection combining* membuat penerima akan memilih nilai *signal strength* terbesar dari dua lintasan yang ada, sebagai output nilai dari sistem penerima. Pada kondisi ini hasil dari penggunaan teknik *selection combining* pada penerima telah diukur dalam parameter SNR, Eb/No, dan Pe. Kondisi sebelum diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* diambil dari hasil lintasan Surabaya- Merauke. Dan kondisi dengan menggunakan teknik diversitas *selection combining* diambil dari membandingkan *signal strength* terbaik dari hasil dua lintasan yang disimulasikan.



Gambar 4.1 Grafik *Maximum Useable Frequencies* dari software Proplab-Pro untuk lintasan Surabaya - Merauke

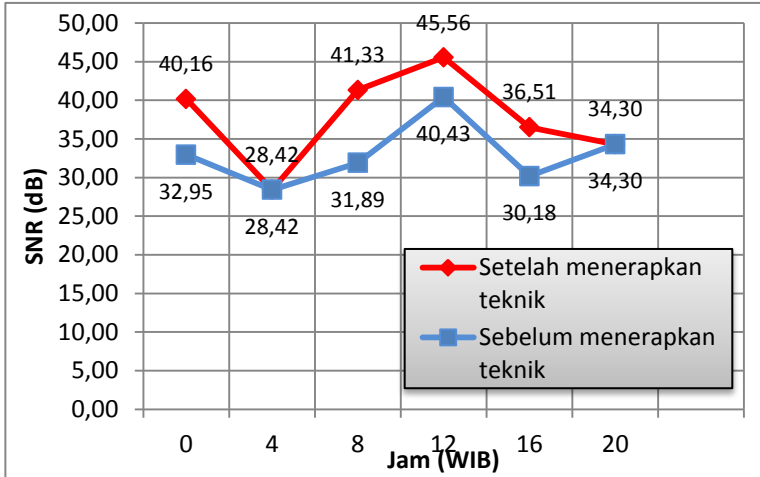


Gambar 4.2 Grafik *Maximum Useable Frequencies* dari software Proplab-Pro untuk lintasan Ternate – Merauke.

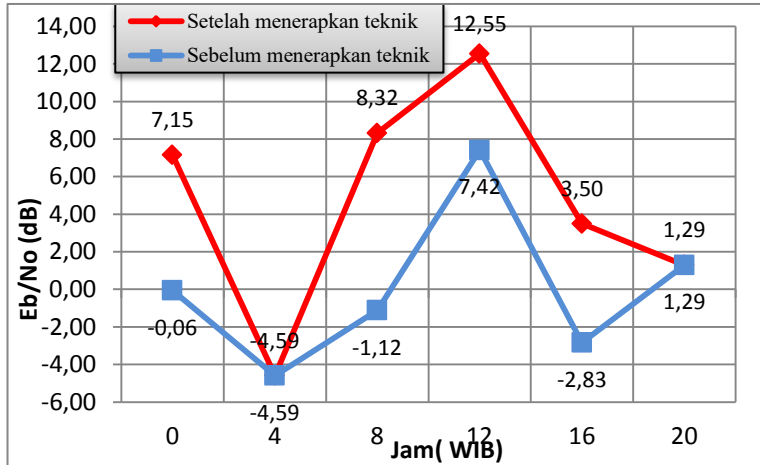
. Pada Gambar 4.3 dan pada Gambar 4.5 menunjukkan grafik SNR, Eb/No, dan Pe dengan frekuensi 7,0325 Mhz yang bertujuan untuk membandingkan pengaruh kualitas sinyal yang diterima dengan dua kondisi yaitu kondisi sistem komunikasi HF sebelum diberi teknik diversitas kooperatif *selection combining* dan setelah diterapkan teknik tersebut pada sistem komunikasi ini. Untuk memperkuat analisa, ditampilkan pula grafik dari SNR, Eb/No, dan Pe pada frekuensi 14,0845 MHz dengan tujuan juga untuk membandingkan dua kondisi sama seperti diatas, yaitu kondisi sistem komunikasi HF sebelum diberi teknik diversitas kooperatif *selection combining* dan setelah diterapkan teknik tersebut pada sistem komunikasi ini

Pada Gambar 4.3 ditampilkan grafik SNR dan pada Gambar 4.4 ditampilkan grafik Eb/No untuk frekuensi 7.0325 Mhz. Pada kedua gambar tersebut parameter SNR dan Eb/No mengalami kenaikan pada jam 00.00 WIB sampai jam 16.00 WIB, kecuali pada jam 20.00 WIB dan 04.00 WIB tidak terjadi perubahan kenaikan SNR dan Eb/No. Kondisi ini dimungkinkan kondisi lintasan Surabaya – Merauke pada jam 04.00 WIB dan 20.00 WIB lebih baik daripada kondisi dari lintasan Ternate – Merauke untuk melakukan transmisi sinyal komunikasi HF. Selain itu, didapatkan kondisi terbaik dari SNR dan Eb/No pada jam 12.00 WIB.

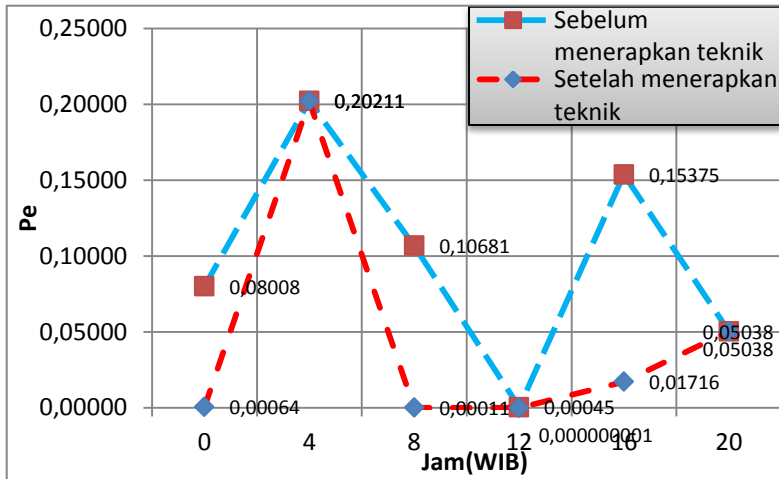
Pengaruh yang sama bisa didapatkan pada grafik selanjutnya untuk Pe pada Gambar 4.5 didapatkan terjadi penurunan laju bit error dari kondisi sebelum menggunakan teknik diversitas kooperatif *selection combining* ke kondisi sistem yang menggunakan teknik tersebut, terutama pada jam 12.00 WIB hingga jam 16.00 WIB. Dan Pe paling kecil terjadi pada jam 12.00 WIB. Dari hal ini bisa disimpulkan bahwa pemakaian teknik diversitas kooperatif *selection combining* berpengaruh positif terhadap kualitas sinyal Selain itu pada Gambar 4.6 ditampilkan grafik SNR dan pada Gambar 4.7 ditampilkan grafik Eb/No untuk frekuensi 14,0845 Mhz. Pada kedua gambar tersebut parameter SNR dan Eb/No mengalami kenaikan pada semua jam. Dan nilai SNR dan Eb/No terbaik terjadi pada jam 16.00 WIB. Selain itu untuk Pe pada Gambar 4.8 didapatkan terjadi penurunan laju bit error pada semua jam dari kondisi tanpa menggunakan teknik diversitas kooperatif *selection combining* ke kondisi sistem yang menggunakan teknik tersebut. Dan Pe paling kecil terjadi pada jam 16.00 WIB.



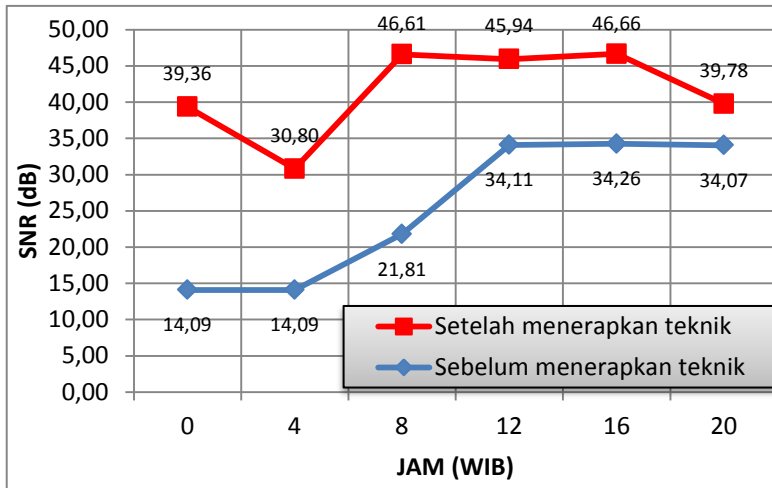
Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai SNR sebelum dan sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* pada frekuensi 7.0325 Mhz



Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai Eb/No penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dengan sebelum diterapkan teknik pada frekuensi 7.0325 Mhz

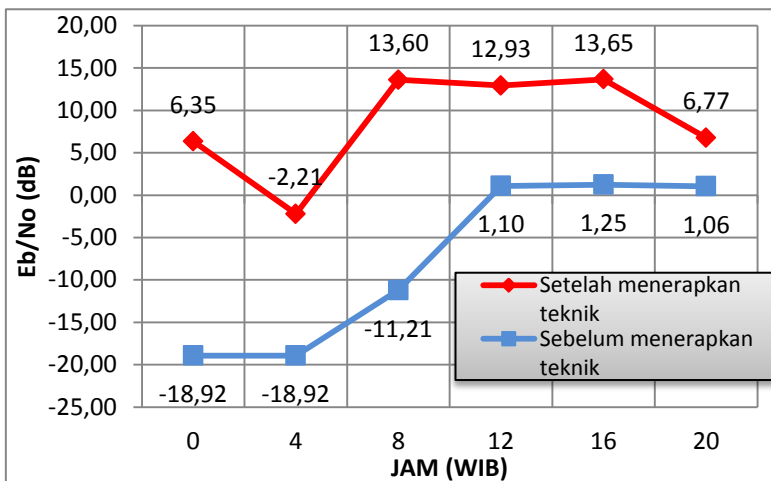


Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai P_e penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dengan tanpa penggunaan teknik pada

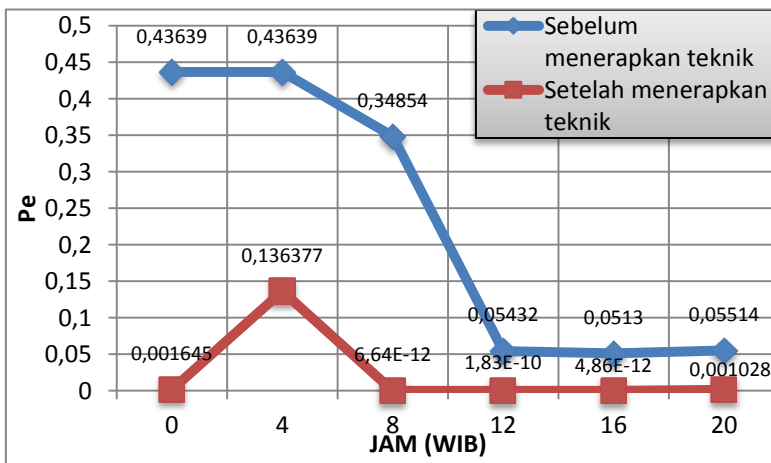


frekuensi 7.0325 Mhz

Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai SNR penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi 14,0845 Mhz



Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai E_b/N_0 penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi **14,0845 Mhz**



Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai P_e penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dengan tanpa penggunaan teknik pada frekuensi **14.0845 Mhz**

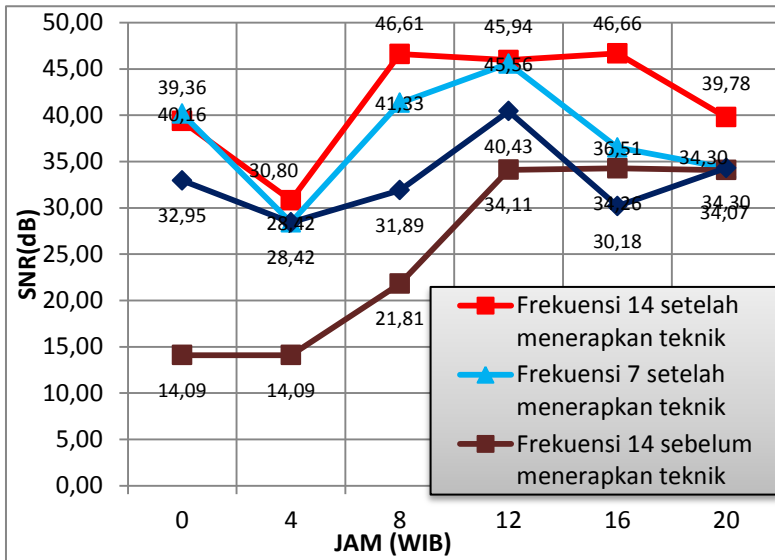
Dari penjelasan grafik – grafik diatas dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh kepada sistem komunikasi HF terhadap pemberian pengaruh teknik diversitas kooperatif selection combining. Dapat dibuktikan dengan kenaikan setiap nilai SNR dan Eb/No serta penurunan P_e dari kondisi tanpa menggunakan teknik diversitas kooperatif *selection combining* ke kondisi sistem yang menggunakan teknik tersebut. Pengaruh dari penerapan teknik diversitas kooperatif selection combining ini bersifat positif karena mampu memperbaiki kualitas *signal strength* yang diukur dengan parameter SNR, Eb/No, dan P_e .

4.5 Pengujian pengaruh penggunaan variasi frekuensi kerja

Pada subbab ini akan diamati pengaruh dari penggunaan variasi frekuensi kerja hasil simulasi sistem komunikasi HF dengan teknik diversitas kooperatif selection combining. Pada simulasi ini, diketahui bahwa digunakan dua frekuensi kerja yaitu 7,0325 MHz dan 14,0845 Mhz

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat grafik perbandingan SNR untuk empat macam kondisi yaitu kondisi penggunaan frekuensi 7,0325 MHz dan 14,0845 Mhz ketika digunakan dalam keadaan tanpa menggunakan teknik diversitas kooperatif *selection combining* dan dalam keadaan menerapkan teknik diversitas kooperatif selection combining. Pada Gambar 4.9 ini dapat dilihat bahwa ketika dalam kondisi sistem sebelum menerapkan teknik diversitas kooperatif selection combining, hasil dari frekuensi 14,0845 MHz menunjukkan hasil yang paling rendah dibandingkan dengan hasil dari frekuensi 7,0325 Mhz.

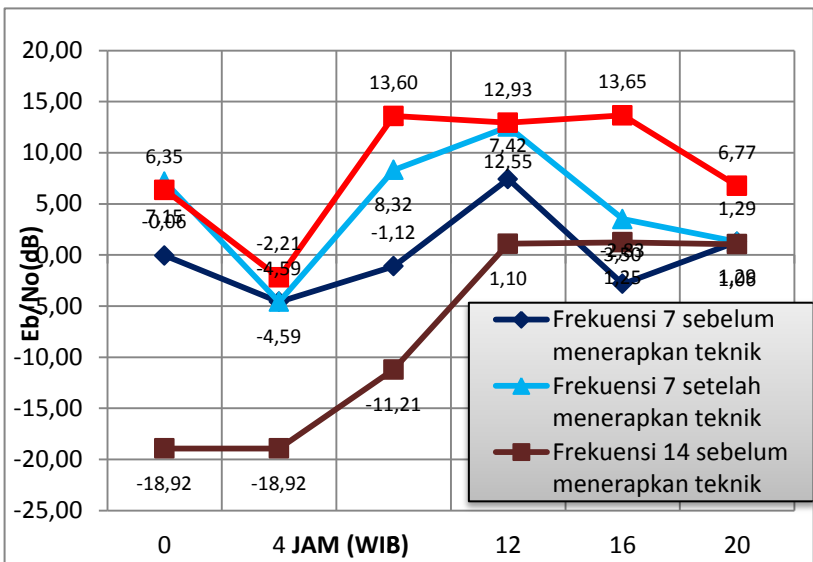
Selanjutnya juga terdapat grafik SNR yang menunjukkan hasil dari sistem komunikasi HF setelah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*. Dari grafik pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa nilai SNR terbaik terdapat pada frekuensi 14,0845 MHz. Dari grafik pada Gambar 4.9 ini dapat dilihat pemakaian frekuensi 14,0845 Mhz pada sistem komunikasi HF yang menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* adalah yang paling baik digunakan pada semua jam dibandingkan dengan pemakaian frekuensi yang lain. Hal tersebut juga dapat ditemukan pada Gambar 4.10, dimana pada grafik tersebut juga penggunaan frekuensi 14,0845 Mhz mendapatkan nilai Eb/No terbaik diantara yang lain.



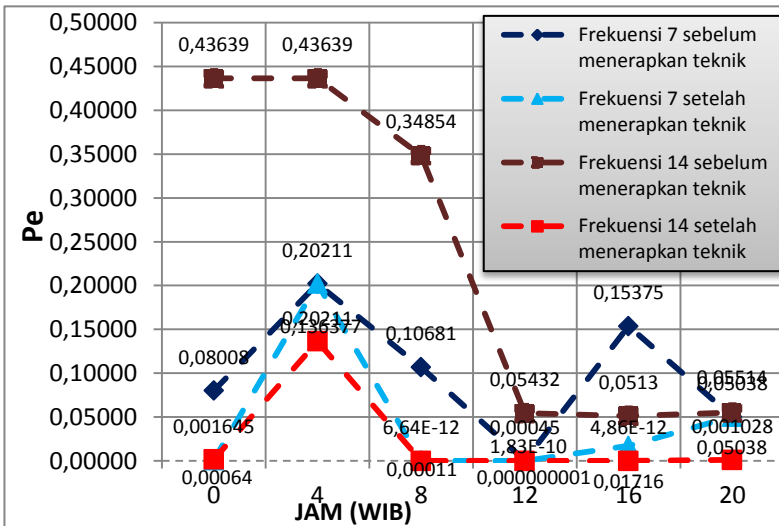
Gambar 4.9 Grafik perbandingan SNR terhadap pemakaian frekuensi kerja 7,0325 Mhz dan 14,0845 MHz dengan kondisi sebelum dan sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*

Setelah itu pada Gambar 4.11 dapat dilihat P_e pada setiap jam dengan penggunaan frekuensi yang berbeda. Pada jam 00.00 WIB P_e terendah didapatkan saat kondisi pemakaian frekuensi 14,0845 Mhz yang sudah diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*. Dan kondisi dengan P_e terbesar didapatkan pada saat pemakaian frekuensi 14,0845 Mhz sebelum diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*. Hal yang sama dapat didapatkan pada jam 04.00 WIB, 08.00 WIB, 12.00 WIB, 16.00 WIB dan 20.00 WIB.

Pada Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 untuk grafik SNR, E_b/N_0 , dan P_e dapat disimpulkan bahwa pemakaian frekuensi 14,0845 MHz pada semua jam sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* adalah kondisi terbaik dari kualitas sinyal yang diterima pada receiver. Sehingga pemakaian kondisi ini dirokomendasikan untuk digunakan pada penelitian selanjutnya dari sistem komunikasi HF.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan E_b/N_0 terhadap pemakaian frekuensi kerja 7,0325 Mhz dan 14,0845 MHz dengan kondisi sebelum dan sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*



Gambar 4.11 Grafik perbandingan P_e terhadap pemakaian frekuensi kerja 7,0325 Mhz dan 14,0845 MHz dengan kondisi sebelum dan sesudah diterapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*

4.6 Sintesis

Pada penelitian ini adalah untuk memperbaiki kualitas daya sinyal pada *receiver* dari sistem komunikasi HF. Hal ini sama dengan latar belakang penelitian ini dilakukan. Setelah itu dirancanglah penggunaan sistem komunikasi kooperatif sebagai upaya untuk mengatasi beberapa efek negatif dari sistem komunikasi HF. Diantaranya adalah efek *multipath fading*, fluktuasi kondisi, dan lain – lain, sehingga mampu mengurangi kualitas daya sinyal yang diterima *receiver*. Sebelum menerapkan teknik diversitas kooperatif ini pada pengukuran/ praktek sesungguhnya, dirancanglah simulasi untuk sistem komunikasi ini. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah teknik ini mempunyai pengaruh positif terhadap kinerja sistem komunikasi HF.

Simulasi sistem komunikasi HF dengan menggunakan software Proplab-Pro adalah jawaban dari permasalahan ini. *Software* Proplab – Pro merupakan sebuah *software simulator* yang dapat digunakan sebagai model propagasi dan kondisi suatu kanal radio *Ionosphere*. Sebelum melakukan simulasi ini, terdapat beberapa parameter awal yang ditentukan dengan kondisi dan pertimbangan lebih lanjut. Parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2. Setelah itu dilakukan dua kali raytracing sinyal untuk memastikan pemilihan berkas sinyal seakurat mungkin dengan berusaha mendekati kondisi yang diinginkan. Berkas sinyal ini akan direkam oleh *software* Proplab-Pro dengan parameter – parameter seperti yang telah disebutkan pada subbab 3.2.8. Salah satu parameter yang akan digunakan sebagai langkah awal meneliti pengaruh penerapan teknik diversitas kooperatif *selection combining* pada sistem komunikasi HF ini adalah *signal strength*. *Signal strength* ini yang nantinya diproses dan diamati dalam bentuk parameter SNR, Eb/No, dan Pe. Fluktuasi hasil inilah yang telah dijelaskan pada subbab - subbab sebelumnya pada bab empat ini.

Didapatkan dari keseluruhan hasil dan analisa penelitian ini bahwa sudut elevasi, frekuensi kerja, waktu, dan kondisi *ionosfer* menjadi faktor - faktor yang menentukan keberhasilan dalam simulasi transmisi sinyal pada sistem komunikasi *high frequency* (HF) dengan mode propagasi gelombang angkasa (*sky wave*) dengan menggunakan *software* Proplab-Pro. Kondisi lapisan *ionosfer* yang dimaksud disini adalah kepadatan elektron bebas pada lapisan yang telah diketahui berubah seiring besar kecilnya radiasi matahari pada atmosfer bumi. Pada Tabel 4.1 didapatkan sudut elevasi paling efektif untuk

memancarkan sinyal untuk komunikasi HF pada kondisi waktu, frekuensi dan lintasan seperti pada tabel tersebut.

Dengan berdasarkan dari hasil simulasi transmisi sinyal untuk sistem komunikasi *high frequency* (HF) menghasilkan *signal strength* paling besar saat siang hari. Hasil simulasi menunjukkan jam 12.00 WIB dan 16.00 WIB sebagai waktu pengamatan yang menghasilkan kualitas sinyal yang paling baik, ditinjau dari parameter SNR, Eb/No, dan Pe. Hal ini telah dijelaskan dan dianalisa pada subbab 4.3.

Selanjutnya dengan menganalisa hasil simulasi, didapatkan bahwa penggunaan teknik diversitas *selection combining* mempunyai pengaruh positif untuk memperbaiki kualitas sinyal transmisi dalam sistem komunikasi *high frequency* (HF). Dibuktikan dengan hasil parameter SNR dan Eb/No yang meningkat serta Pe yang menurun dari kondisi sebelum ke sesudah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*. Hal ini dijelaskan pada subbab 4.4. Dan dengan analisa ini telah menjawab rumusan masalah di awal, bahwa terdapat pengaruh positif dari penggunaan teknik diversitas kooperatif *selection combining* pada perbaikan kualitas daya sinyal pada *receiver*.

Selain itu penggunaan frekuensi kerja yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda pada kualitas sinyal yang diterima. Seperti yang diketahui terdapat dua frekuensi kerja yang digunakan yaitu frekuensi 7,0325 MHz dan frekuensi 14,0845 MHz. Hasil simulasi beserta analisisnya dapat dilihat pada subbab 4.5. Dan dapat disimpulkan bahwa frekuensi 14,0845 MHz setelah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* mempunyai hasil paling baik pada semua jam. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai SNR dan Eb/No terbesar dan Pe yang paling kecil dihasilkan dari transmisi dengan frekuensi kerja yang telah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*. Dengan analisa ini didapatkan bahwa penggunaan frekuensi 14,0845 MHz sesudah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* menjadi satu poin untuk memperbaiki kualitas daya sinyal yang diterima pada *receiver*.

Dari semua penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa simulasi komunikasi HF yang dilakukan dengan *software* Proplab-Pro yang kemudian hasilnya digunakan untuk pengujian teknik diversitas kooperatif *selection combining* telah menghasilkan pengaruh positif terhadap kualitas sinyal di *receiver*. Sehingga perbaikan kinerja dari sistem komunikasi HF dengan menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* terbukti berhasil.

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri – ITS

LAMPIRAN A

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Uifi Widya Astuti
Nomor Pokok : 2212 100 049
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2015/2016
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng, Ph.D
2. Dr.Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

10 FEB 2016

Judul Proposal Tugas Akhir: **Evaluasi Kinerja Sistem Komunikasi High Frequency (HF) dengan Diversitas Kooperatif Selection Combining**
(Performance Evaluation of High Frequency Space Wave Communication System with Cooperative Selection Diversity Combining)

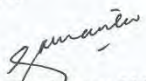
Uraian Proposal Tugas Akhir :

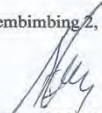
High Frequency (HF) merupakan sistem komunikasi menggunakan gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3-30 MHz dengan panjang gelombang 1-10 m. HF biasanya digunakan untuk radio komunikasi jarak jauh karena sifat gelombangnya dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer, yakni mampu mengirimkan sinyal 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan repeater. Sistem komunikasi HF memiliki kelebihan karena menggunakan peralatan yang relatif murah dibandingkan dengan sistem komunikasi yang lain. Gelombang radio yang digunakan tidak memerlukan infrastruktur baru karena hanya menggunakan lapisan ionosfer sehingga tidak dikenakan biaya koneksi. Diharapkan mampu memiliki kecepatan transmisi pita lebar. Namun komunikasi HF ini bergantung pada kondisi ionosfer. Faktor yang mempengaruhi perubahan kondisi lapisan ionosfer yaitu ketinggian lapisan ionosfer, lokasi secara geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Karena beberapa kondisi yang fluktuatif tersebut, maka diperlukannya suatu teknik sistem komunikasi kooperatif yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas kinerja sistem komunikasi. Pada sisi penerima (destination) terdapat proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan menggunakan teknik Selection Combining Diversity dengan parameter SNR (Signal to Noise Ratio) delay dan Bit Error Rate (BER) pada receiver.

Kata Kunci : Sistem Komunikasi High Frequency (HF), sistem komunikasi kooperatif, teknik Selection Combining Diversity.

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,


Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng, Ph.D.
NIP. 1970 11 11 1993 03 1002


Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
NIP. 1961 09 03 1989 03 1001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,




Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP. 1973-09-27 1998 03 1004


Dr. Ir. Endroyono, DEA
NIP. 1965 04 04 1991 02 1001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN B

1. Hasil simulasi Proplab-Pro untuk lintasan Surabaya – Merauke Frekuensi 7,0325 MHz dengan perhitungan teori *Haversine*

Jam	Distance (Km)	Lat	Lon	<i>Signal Strength</i>	Elevation Angle	Azimuth	Total Distance	Frequency	Hops	D (Km)
0	3.144	-8,154	141,330	18,861	13,0	94,442	3.309,000	7,0325	2	108,846
4	3.067	-7,858	140,625	14,335	24,2	93,035	3.869,000	7,0325	5	78,364
8	3.052	-8,522	140,495	17,805	12,3	94,471	3.164,000	7,0325	4	8,609
12	3.045	-8,485	140,434	26,339	25.8	94,394	3.384,000	7,0325	7	5,490
16	3.048	-8,374	140,454	16,087	20,0	94,151	3.204,000	7,0325	3	18,055
20	3.055	-8,060	140,518	20,214	24,0	93,471	3.351,000	7,0325	3	53,607

2. Hasil simulasi Proplab-Pro untuk lintasan Surabaya – Merauke Frekuensi 14,0845 MHz dengan perhitungan teori *Haversine*

Jam	Distance	Lat	Lon	<i>Signal Strength</i>	Elevation Angle	Azimuth	Total Distance	Frequency	Hops	D(Km)
00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
08	3.061	-8,592880	142,678162	7,715755	23	94,583	3.668	14,0845	4	248,6937
12	3.054	-9,117911	140,50237	20,016598	28	95,764	3.413	14,0845	3	65,83475
16	3.056	-9,973005	140,47504	20,166842	23	97,618	3.340	14,0845	3	160,3744
20	3.200	-7,393557	141,8291	19,976229	15	92,106	3.390	14,0845	3	200,4827

3. Hasil simulasi Proplab-Pro untuk lintasan Ternate – Merauke Frekuensi 7,0325 MHz dengan perhitungan teori *Haversine*

Jam	Distance	Lat	Lon	<i>Signal Strength</i>	Elevation Angle	Azimuth	Total Distance	Frequency	Hops	D (Km)
00	1.802	-8,099541	140,959244	26,072544	27.3	123,3	2.030	7.0325	2	76,597
04	2.207	-11,503611	143,054794	3,537045	19	128,6	2.401	7.0325	3	438,845
08	1.780	-8,525247	140,426178	27,238779	17,1	125,7	1.882	7.0325	3	1,227
12	1.781	-8,503452	140,451401	31,467583	25.5	125,6	1.972	7.0325	4	4,907
16	1.891	-9,330616	141,090027	22,422232	18	126,7	2.023	7.0325	2	115,544
20	2.648	-12,754215	147,107025	14,965178	25	125,2	2.982	7.0325	3	868,686

4. Hasil simulasi Proplab-Pro untuk lintasan Ternate – Merauke Frekuensi 14,0845 MHz dengan perhitungan teori *Haversine*

Jam	Distance	Lat	Lon	<i>Signal Strength</i>	Elevation Angle	Azimuth	Total Distance	Frequency	Hops	D(Km)
00	1.863	-8,526	141,327957	25,275122	15	123,959	1.964	14,0845	1	100,1497
04	3.021	-14,273.	150,199.905	16,712744	10	124,462.	3.136	14,084	2	1242,33
08	1.792	-8,670	140,454544	32,516712	29	126,090	2.019	14,0845	2	15,89956
12	2.016	-9,919	142,061295	31,853230	30	126,449	2.308	14,0845	2	237,3822
16	1.796	-8,626	140,532745	32,574188	29	125,802	2.033	14,0845	2	16,45883
20	1.787	-8,612	140,436.264	25,687677	11	125,955	1.873	14,084	1	9,154337

LAMPIRAN C

1. Berikut ini adalah perhitungan SNR, Eb/No, dan Pe dari hasil simulasi 3D Raytrace yang berupa signal strength (dalam dB μ V) untuk lintasan Surabaya – Merauke frekuensi = 7,0325 MHz.

Jam(WIB)	Signal Strength			SNR (dB)	Eb/No(dB)	Pe
	dB μ V	Volt	Watt			
0	18,86	$7,77 \times 10^{-6}$	$1,54 \times 10^{-12}$	32,95	-0,06	0,080083
4	14,34	$2,07 \times 10^{-5}$	$5,43 \times 10^{-13}$	28,42	-4,59	0,202108
8	17,80	$6,37 \times 10^{-6}$	$1,21 \times 10^{-12}$	31,89	-1,12	0,106808
12	26,34	$1,02 \times 10^{-5}$	$8,61 \times 10^{-12}$	40,43	7,42	0,000447
16	16,09	$8,77 \times 10^{-6}$	$8,12 \times 10^{-13}$	30,18	-2,83	0,153754
20	20,21	$5,21 \times 10^{-6}$	$2,10 \times 10^{-12}$	34,30	1,29	0,050384

2. Berikut ini adalah perhitungan SNR, Eb/No, dan Pe dari hasil simulasi 3D Raytrace yang berupa signal strength (dalam dB μ V) untuk lintasan Surabaya – Merauke frekuensi = 14,0845 MHz.

Jam(WIB)	Signal Strength			SNR (dB)	Eb/No(dB)	Pe
	dB μ V	Volt	Watt			
0	0	0,000001	2×10^{-14}	14,09	-18,92	0,43639
4	0	0,000001	2×10^{-14}	14,09	-18,92	0,43639
8	7,72	$2,43 \times 10^{-6}$	$1,182 \times 10^{-13}$	21,81	-11,21	0,348537
12	20,02	$1,00 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-12}$	34,11	1,10	0,054319
16	20,17	$1,02 \times 10^{-5}$	$2,08 \times 10^{-12}$	34,26	1,25	0,051304
20	19,98	$9,97 \times 10^{-6}$	$1,99 \times 10^{-12}$	34,07	1,06	0,055143

3. Berikut ini adalah perhitungan SNR, Eb/No, dan Pe dari hasil simulasi 3D Raytrace yang berupa signal strength (dalam dB μ V) untuk lintasan Ternate – Merauke frekuensi = 7,0325 MHz

Jam(WIB)	Signal Strength			SNR (dB)	Eb/No(dB)	Pe
	dB μ V	Volt	Watt			
0	26,07	$2,01 \times 10^{-5}$	$8,10 \times 10^{-12}$	40,16	7,15	0,000637
4	3,54	$1,50 \times 10^{-6}$	$4,52 \times 10^{-14}$	17,63	-15,38	0,40492735
8	27,24	$2,30 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-13}$	41,33	8,32	0,00011447
12	31,47	$3,74 \times 10^{-5}$	$2,80 \times 10^{-11}$	45,56	12,55	1,0125E-09
16	22,42	$1,32 \times 10^{-5}$	$3,49 \times 10^{-12}$	36,51	3,50	0,01715922
20	14,97	$5,60 \times 10^{-6}$	$6,27 \times 10^{-13}$	29,05	-3,96	0,18489574

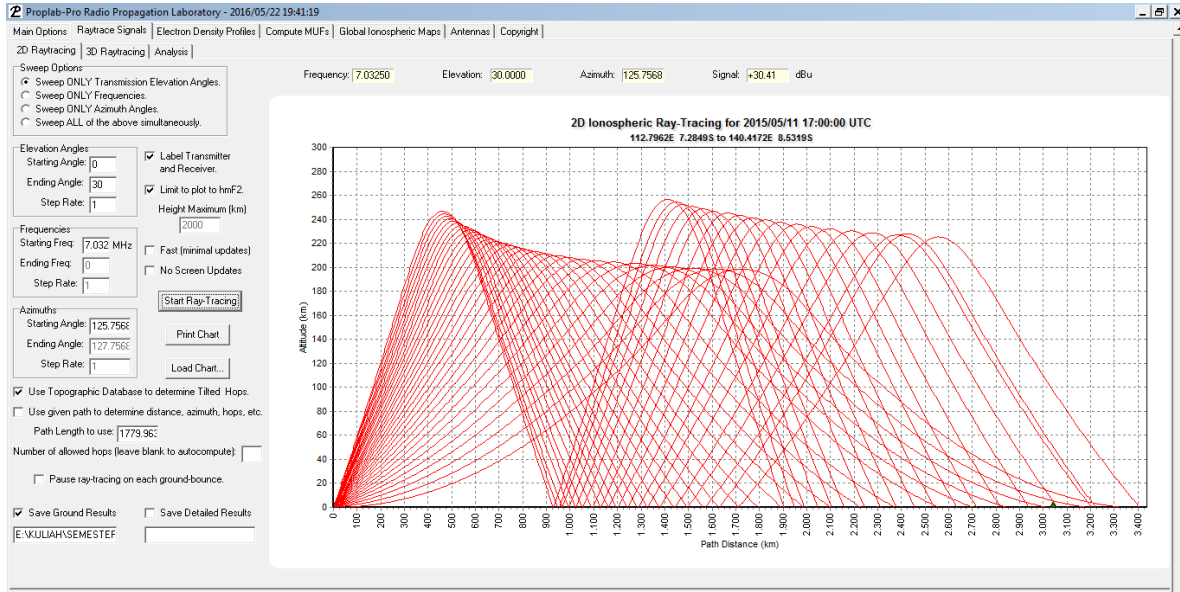
4. Berikut ini adalah perhitungan SNR, Eb/No, dan Pe dari hasil simulasi 3D Raytrace yang berupa signal strength (dalam dB μ V) untuk lintasan Ternate – Merauke frekuensi = 7,0845 MHz.

Jam(WIB)	Signal Strength			SNR (dB)	Eb/No(dB)	Pe
	dB μ V	Volt	Watt			
0	25,28	$1,84 \times 10^{-5}$	$6,74 \times 10^{-12}$	39,36	6,35	0,001645
4	16,71	$6,85 \times 10^{-6}$	$9,38 \times 10^{-13}$	30,80	-2,21	0,136377
8	32,52	$4,23 \times 10^{-5}$	$3,57 \times 10^{-11}$	46,61	13,60	6,64E-12
12	31,85	$3,91 \times 10^{-5}$	$3,06 \times 10^{-11}$	45,94	12,93	1,83E-10
16	32,57	$4,25 \times 10^{-5}$	$3,62 \times 10^{-11}$	46,66	13,65	4,86E-12
20	25,69	$1,92 \times 10^{-5}$	$7,41 \times 10^{-12}$	39,78	6,77	0,001028

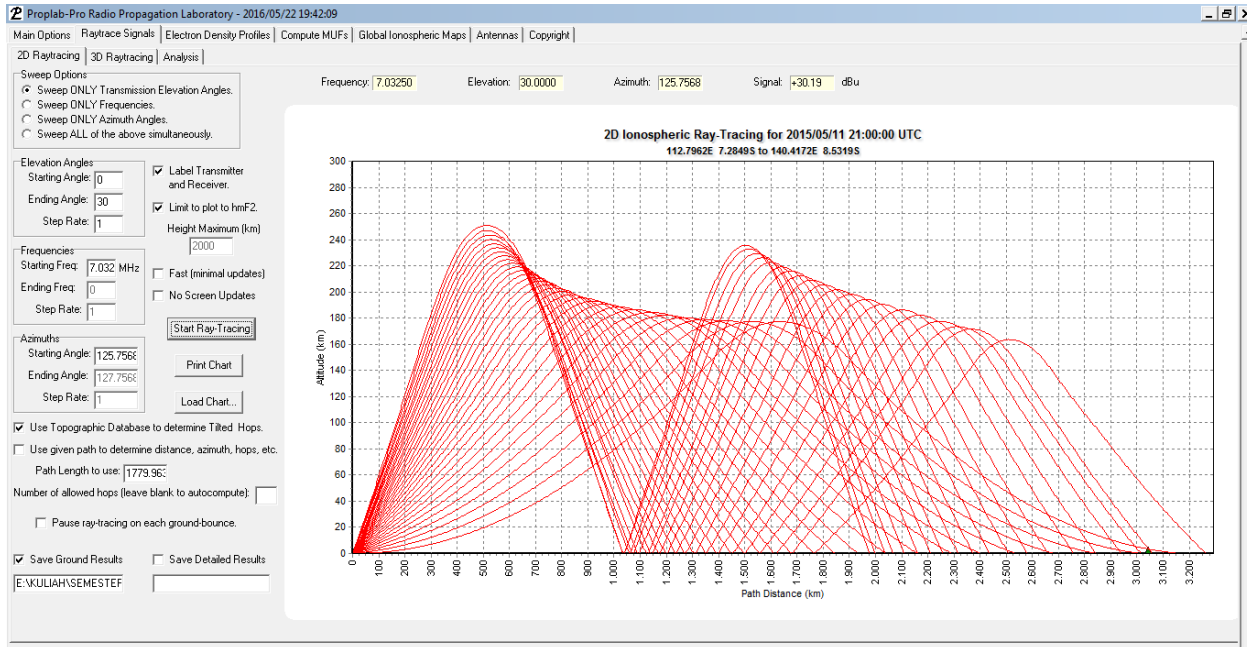
LAMPIRAN D

1. 2D Raytrace untuk Lintasan Surabaya –Merauke frekuensi 7,0325 MHz.

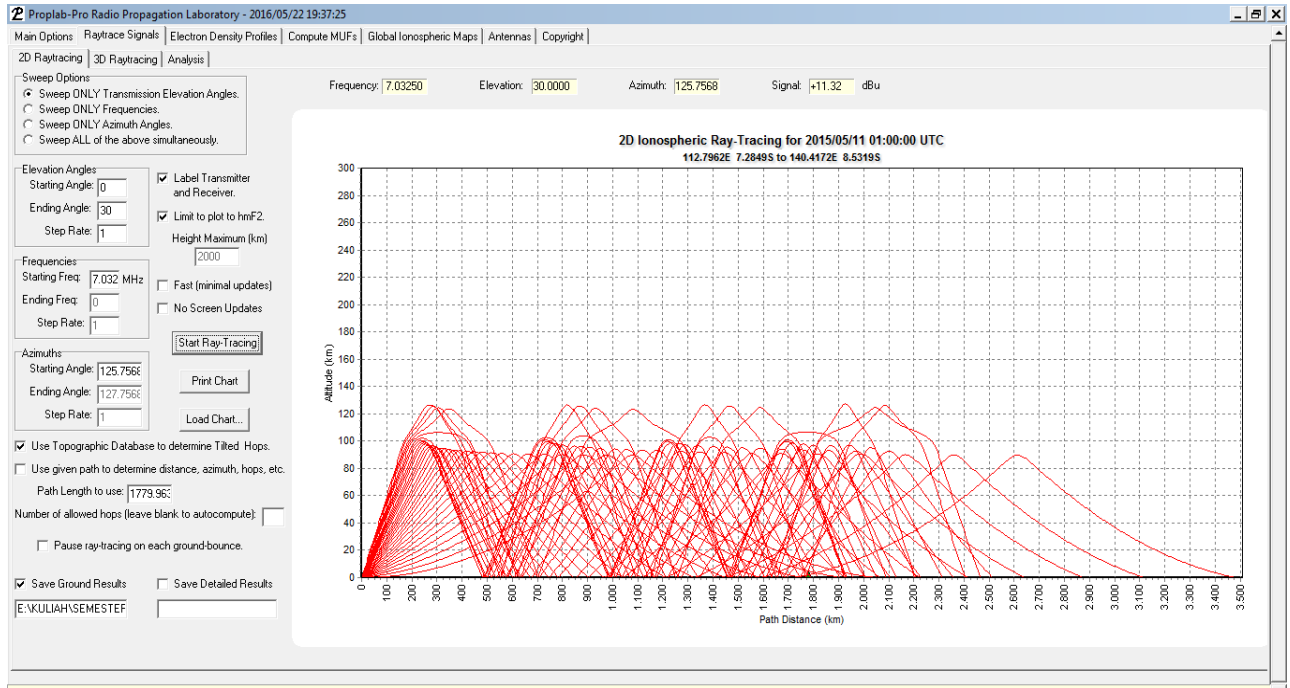
a. Pukul 00.00 WIB



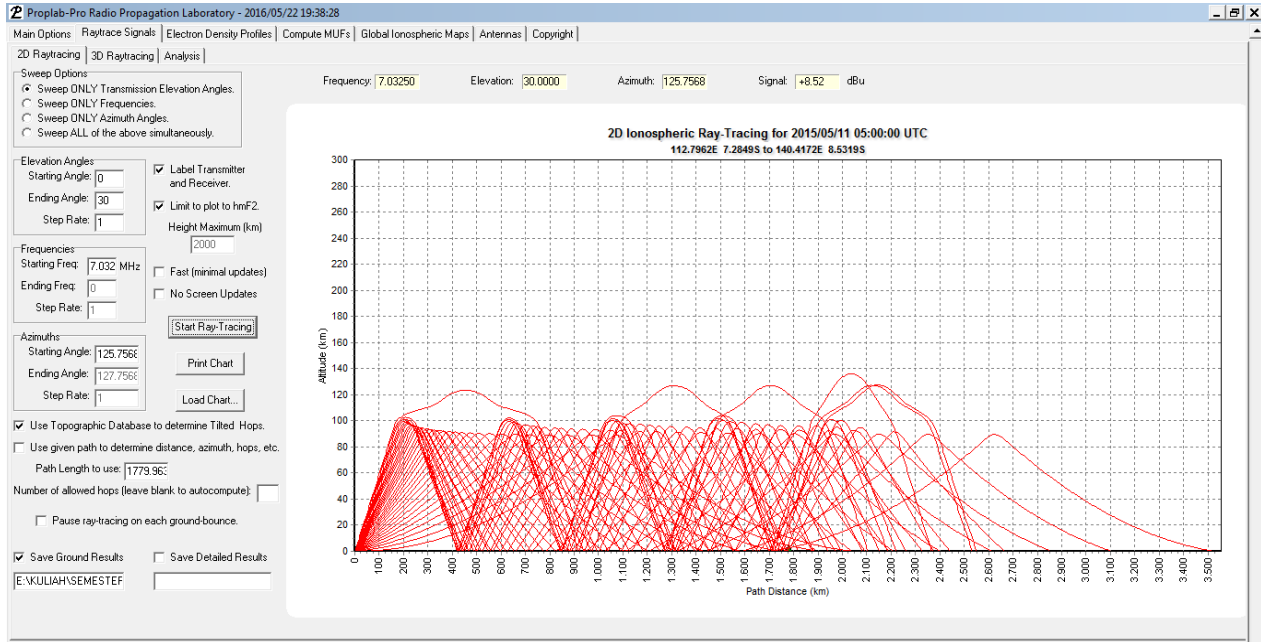
b. Pukul 04.00 WIB



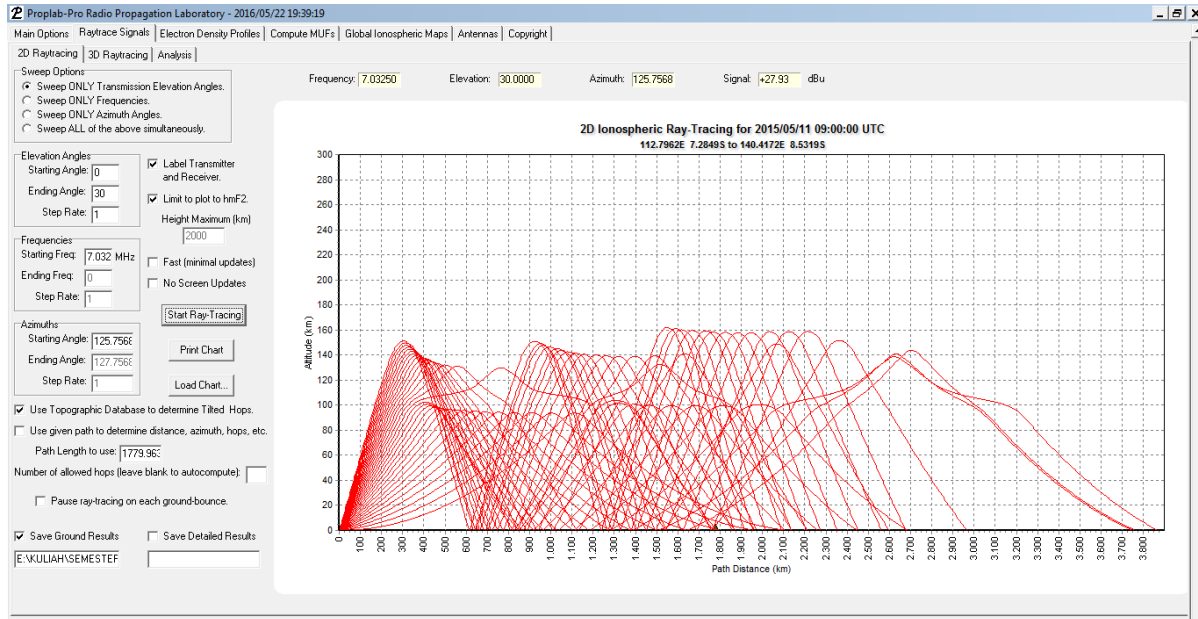
c. Pukul 08.00 WIB



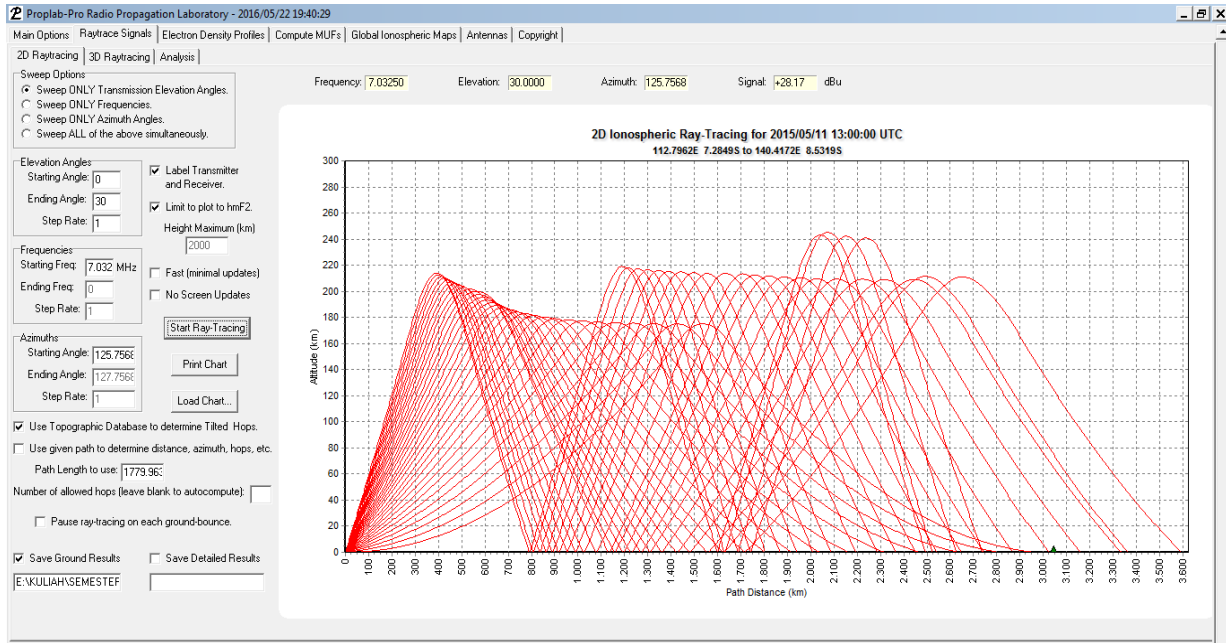
d. Pukul 12.00 WIB



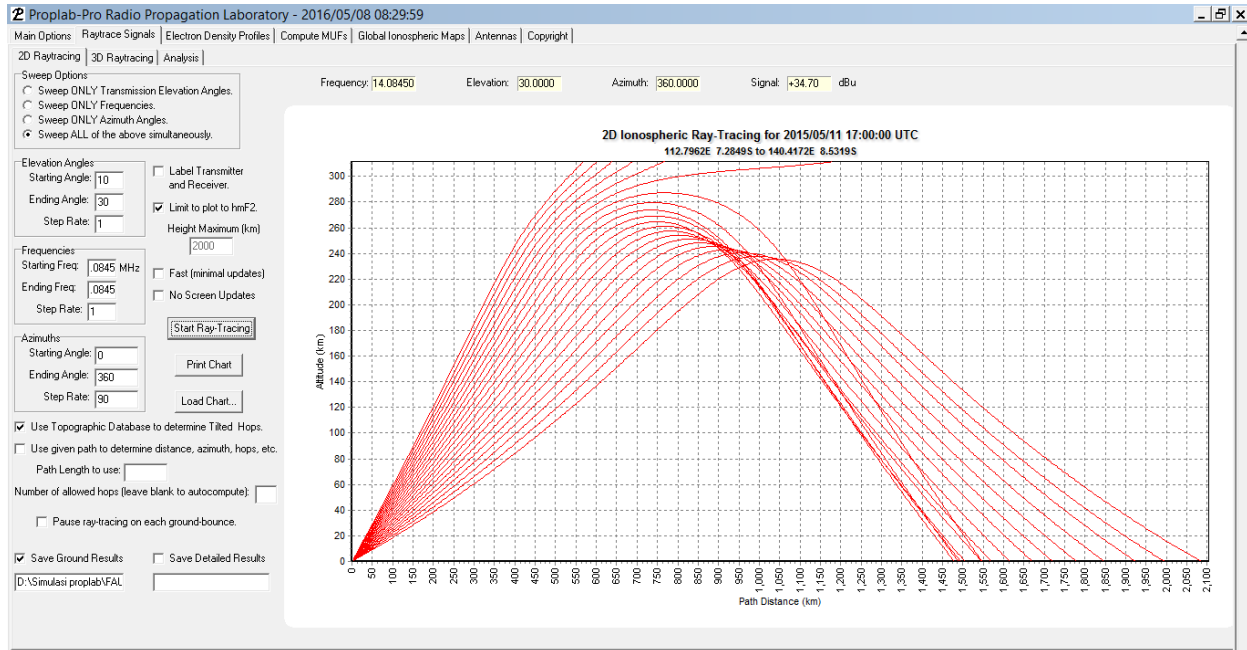
e. Pukul 16.00 WIB



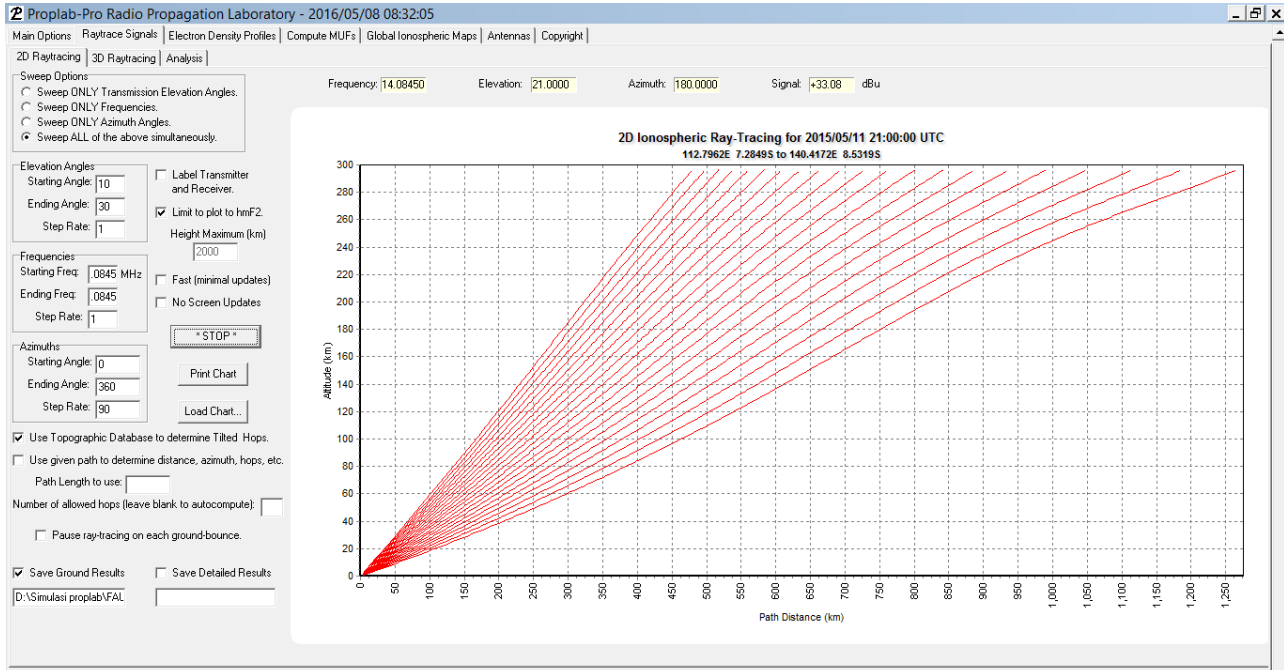
f. Pukul 20.00 WIB



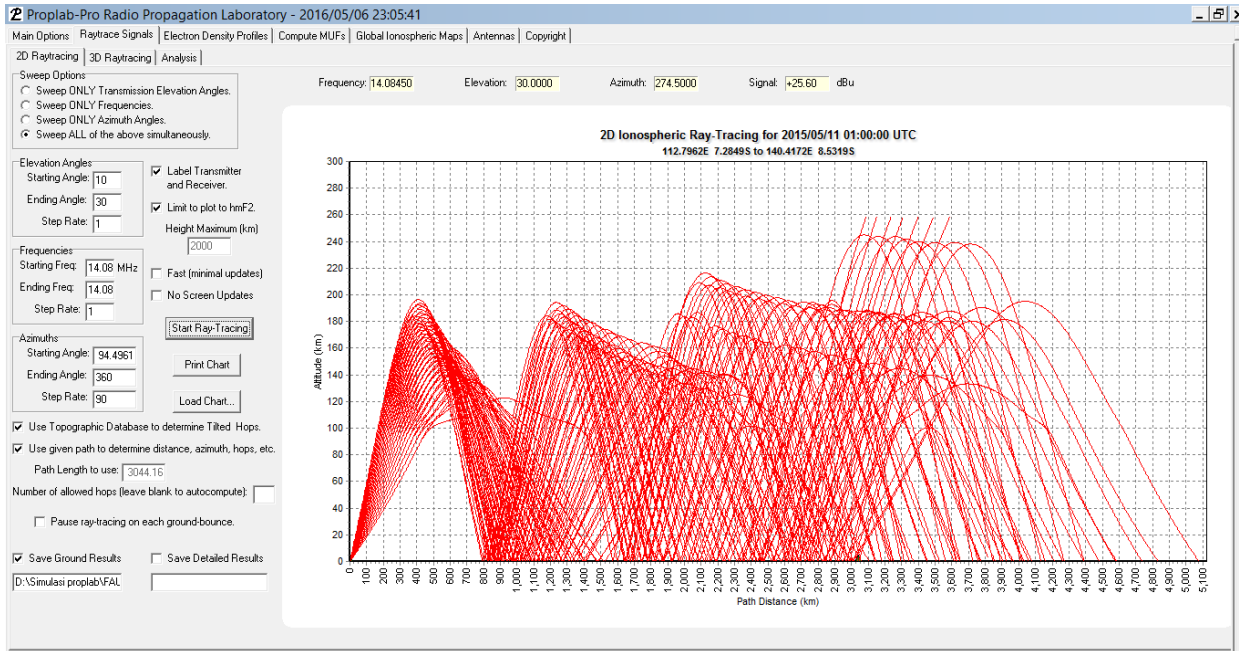
2. 3D Raytrace untuk Lintasan Surabaya –Merauke frekuensi 14,0845 MHz
a. Pukul 00.00 WIB



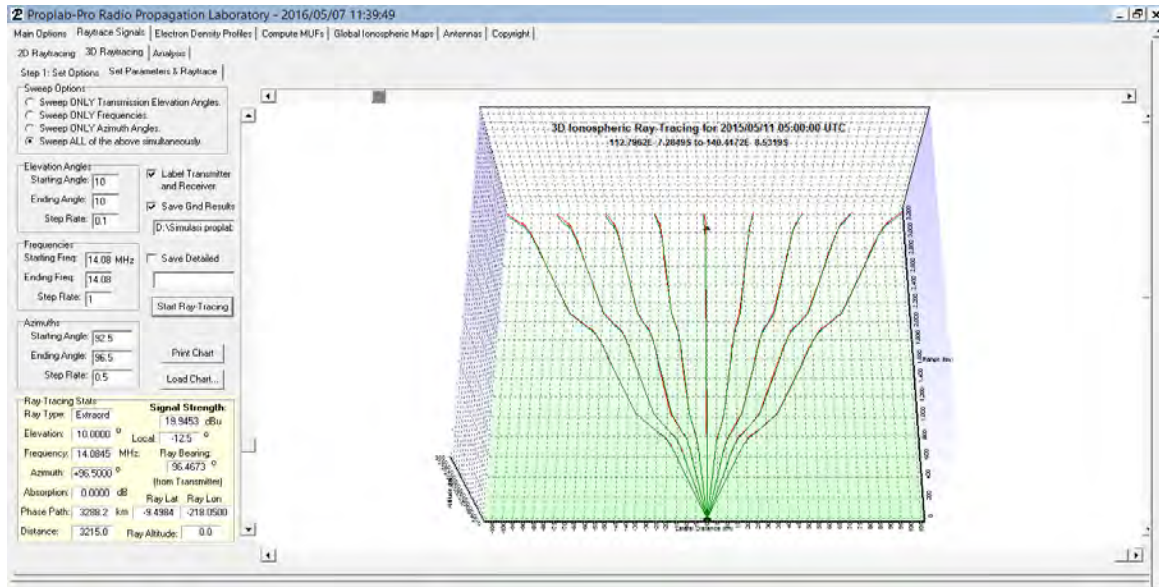
b. Pukul 04.00 WIB



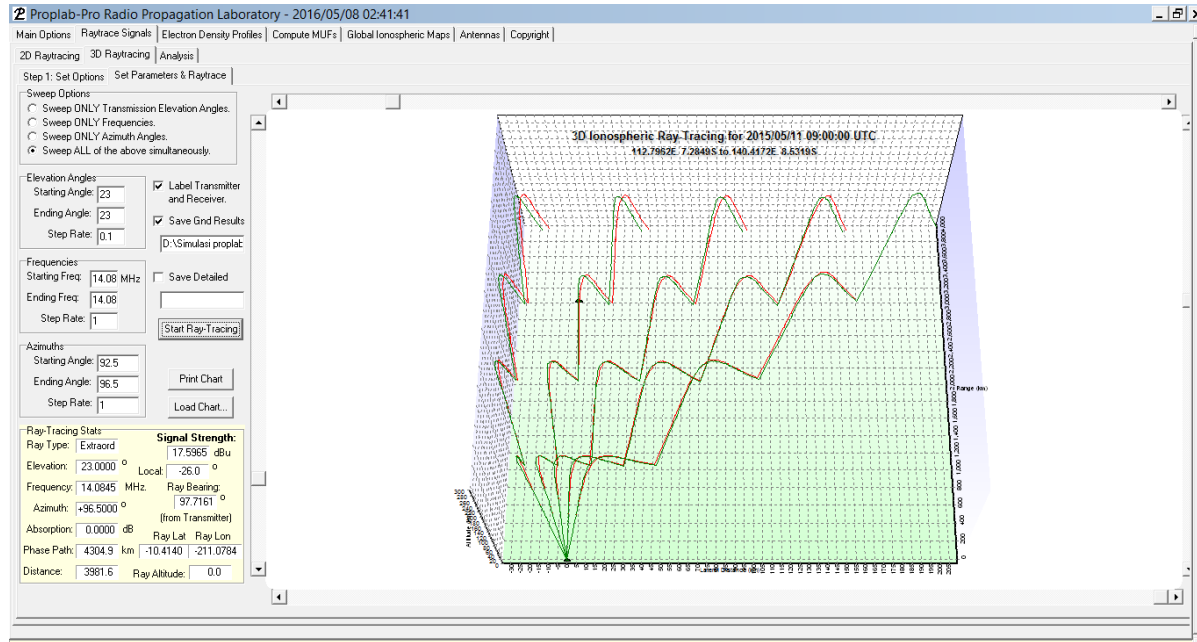
c. Pukul 08.00 WIB



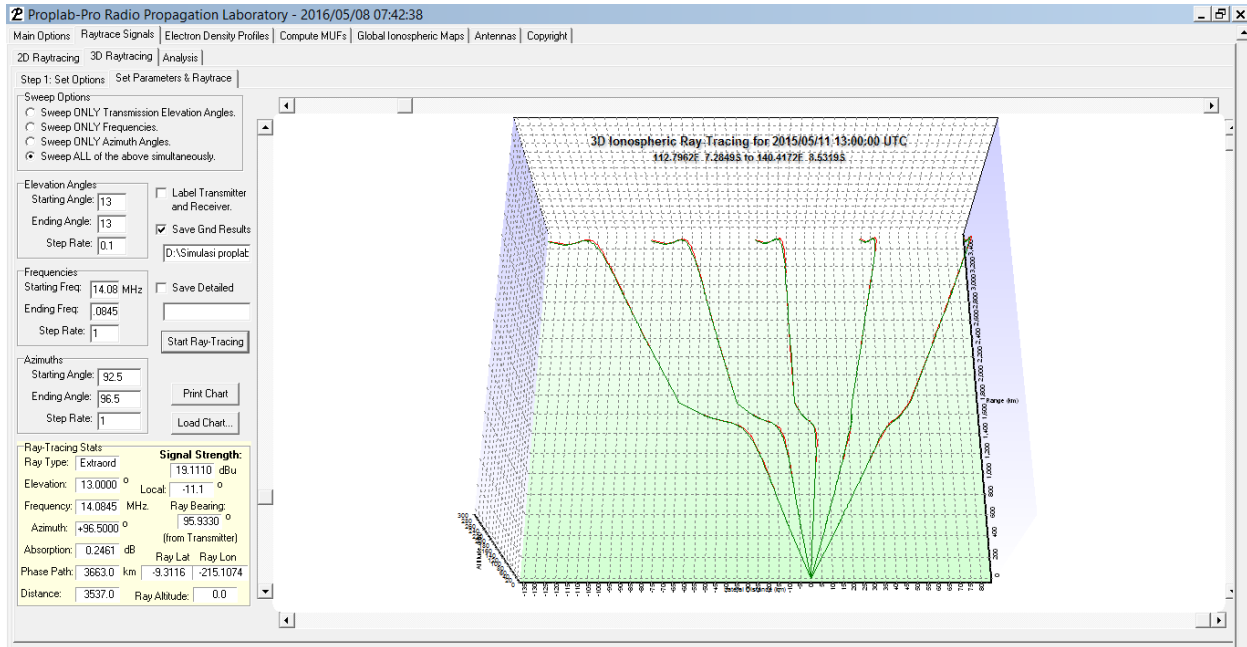
d. Pukul 12.00 WIB (3D Raytrace)



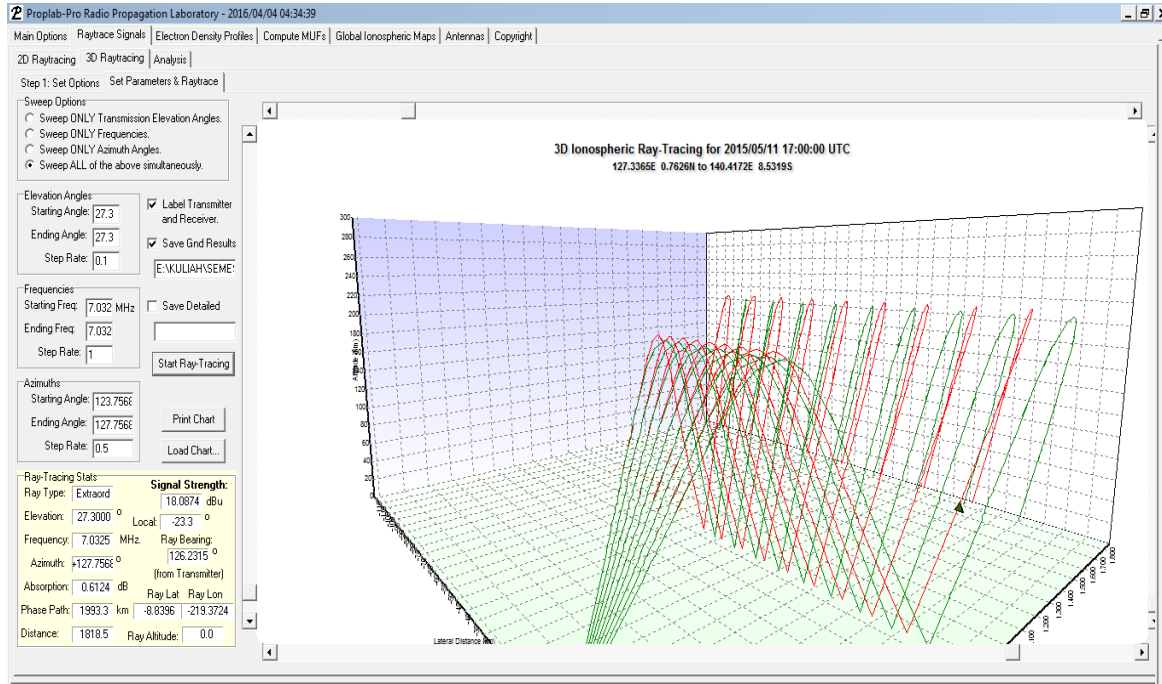
e. Pukul 16.00 WIB (3D Raytrace)



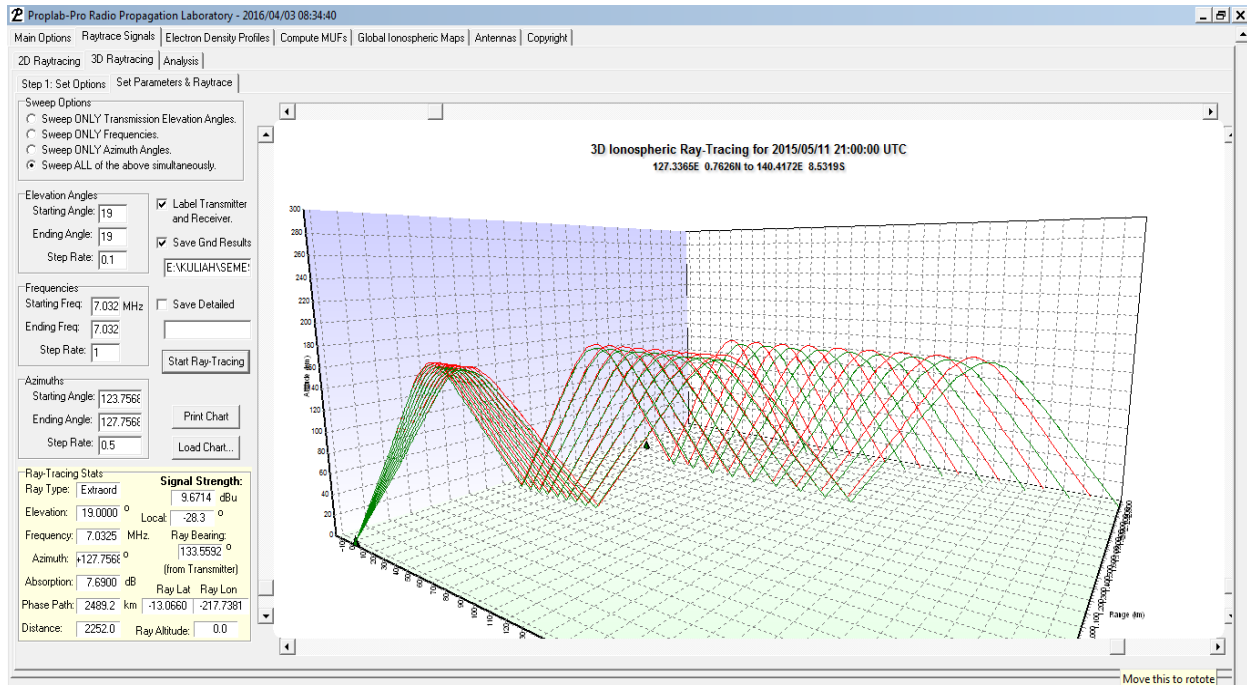
f. Pukul 20.00 WIB



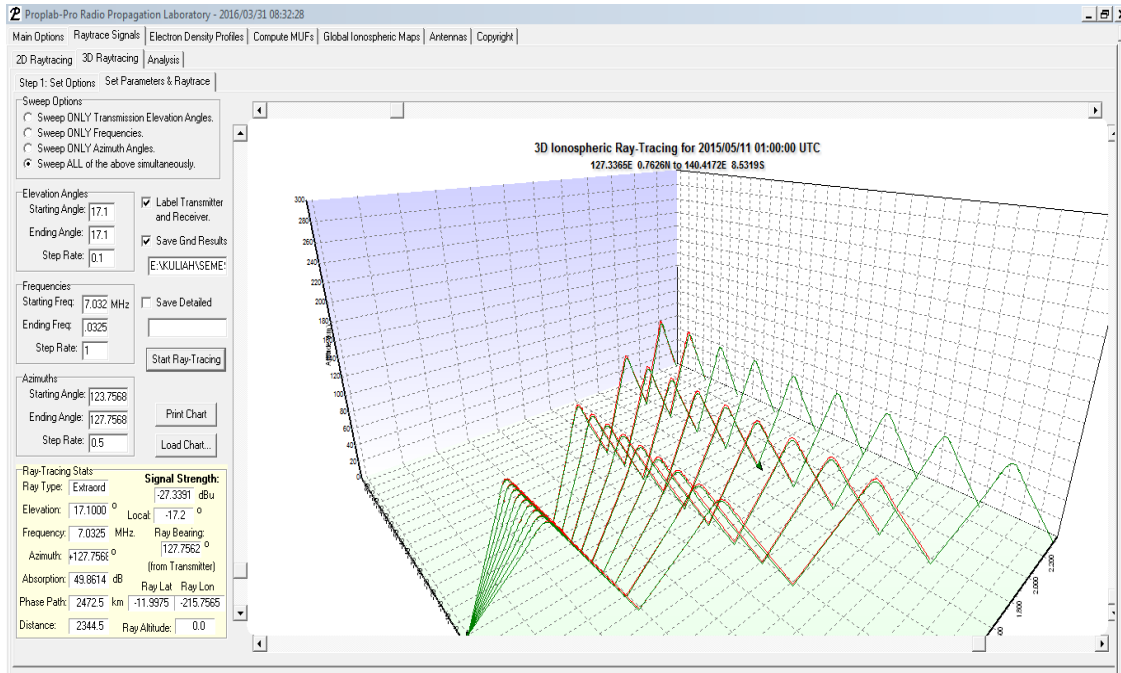
3. *3D Raytrace* untuk Lintasan Ternate –Merauke frekuensi 7,0325 MHz.
 a. Pukul 00.00 WIB\



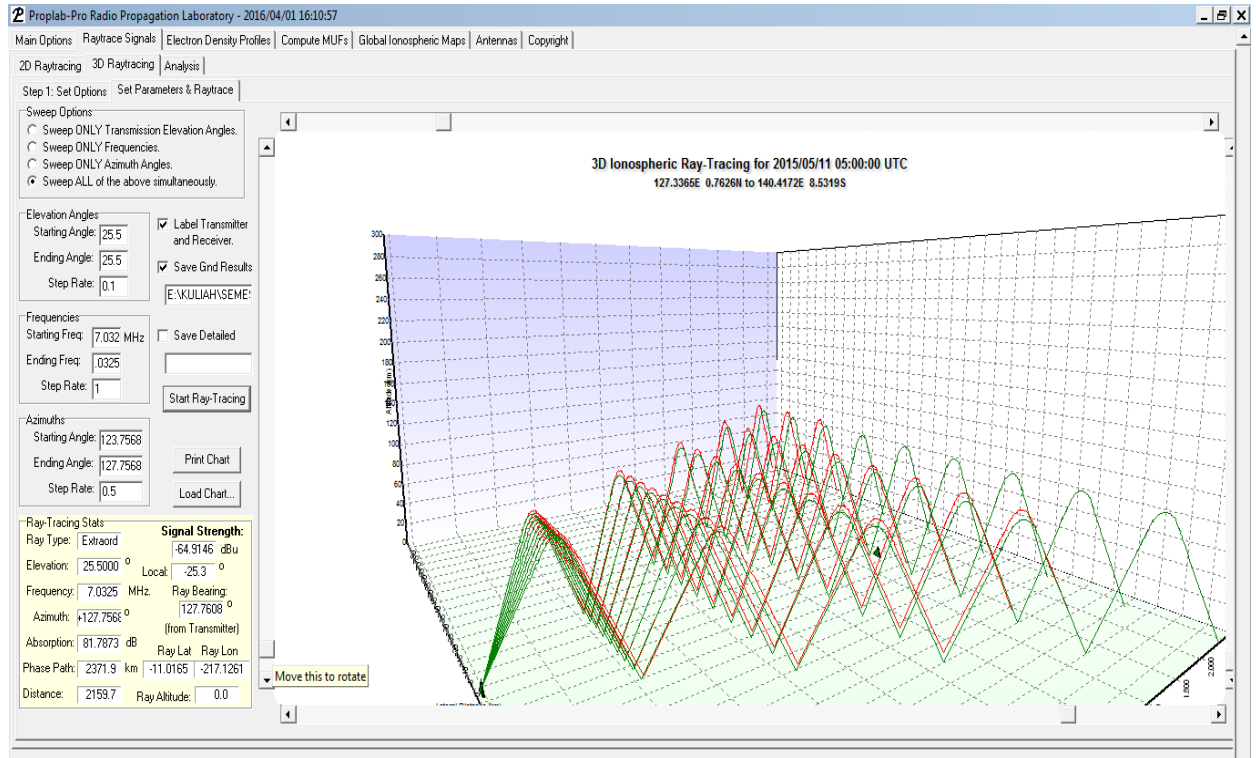
b. Pukul 04.00 WIB



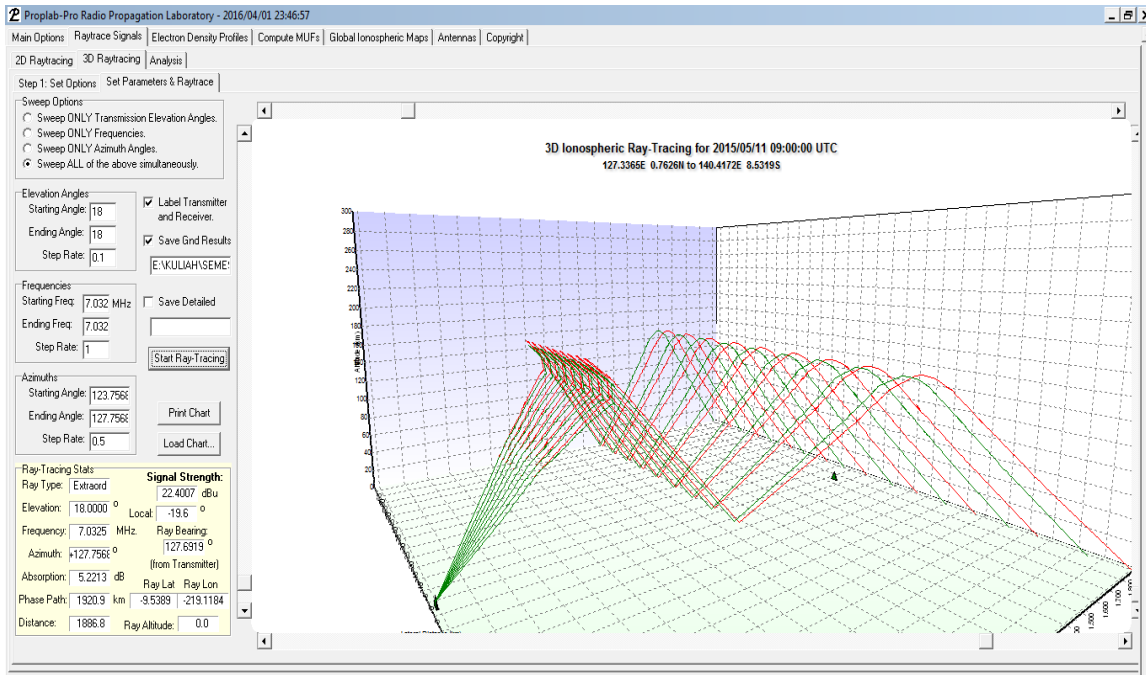
c. Pukul 08.00 WIB



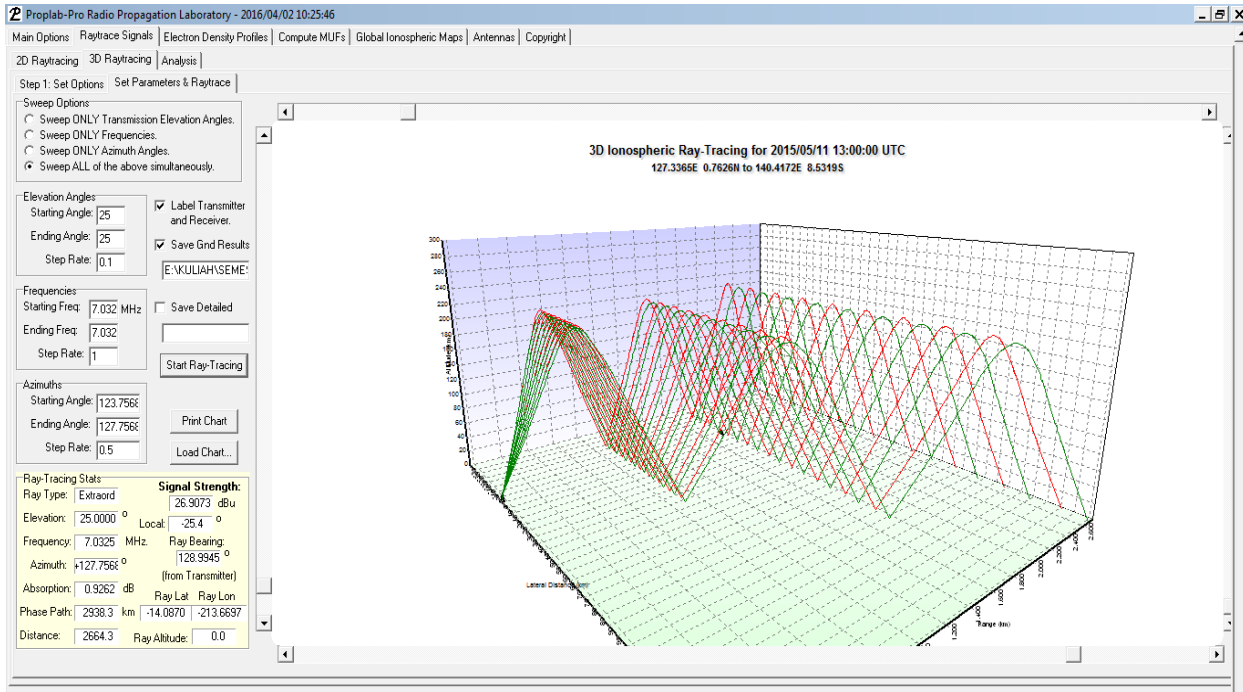
d. Pukul 12.00 WIB



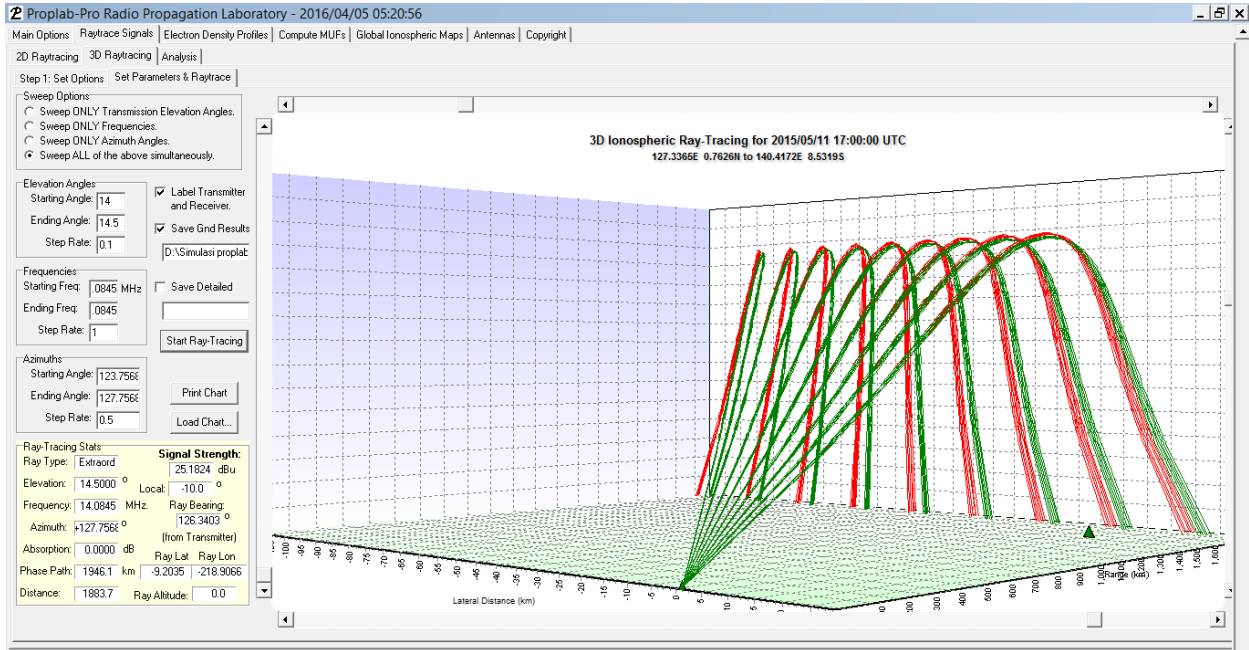
e. Pukul 16.00 WIB



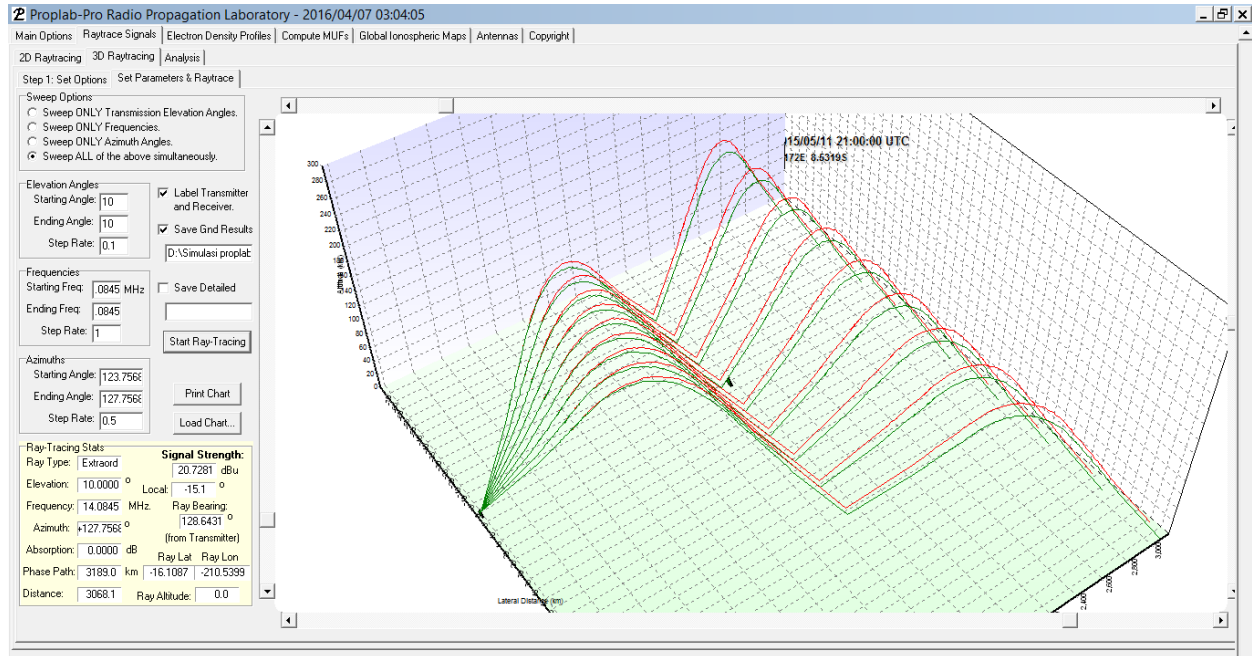
f. Pukul 20.00 WIB



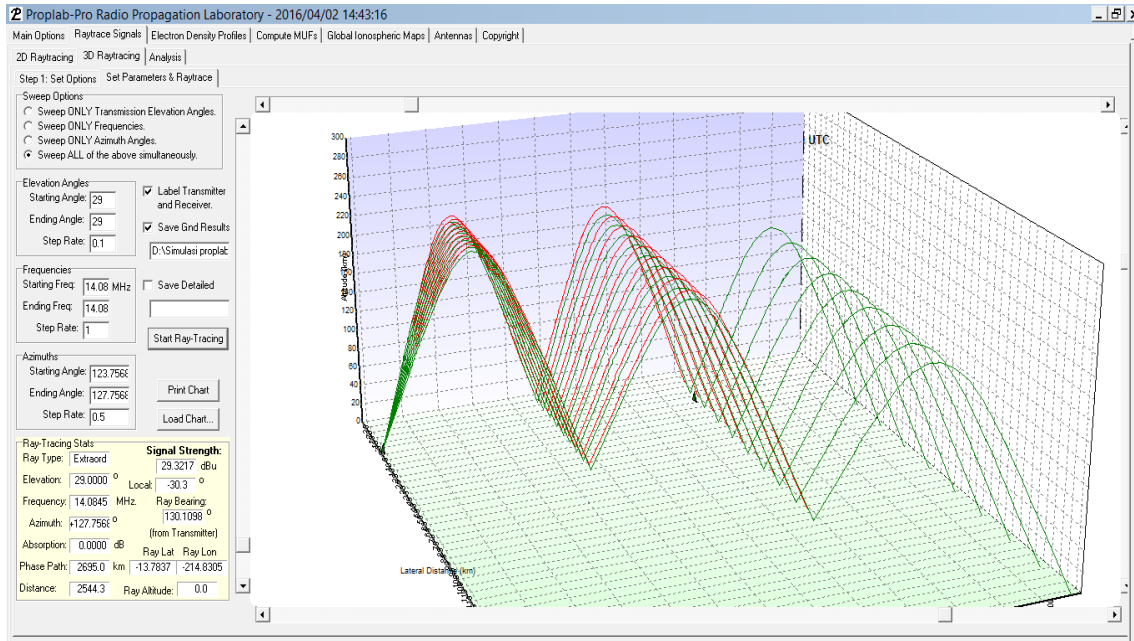
4. 2D and 3D Raytrace untuk Lintasan Surabaya –Merauke frekuensi 7,0325 MHz.
 - a. Pukul 00.00 WIB



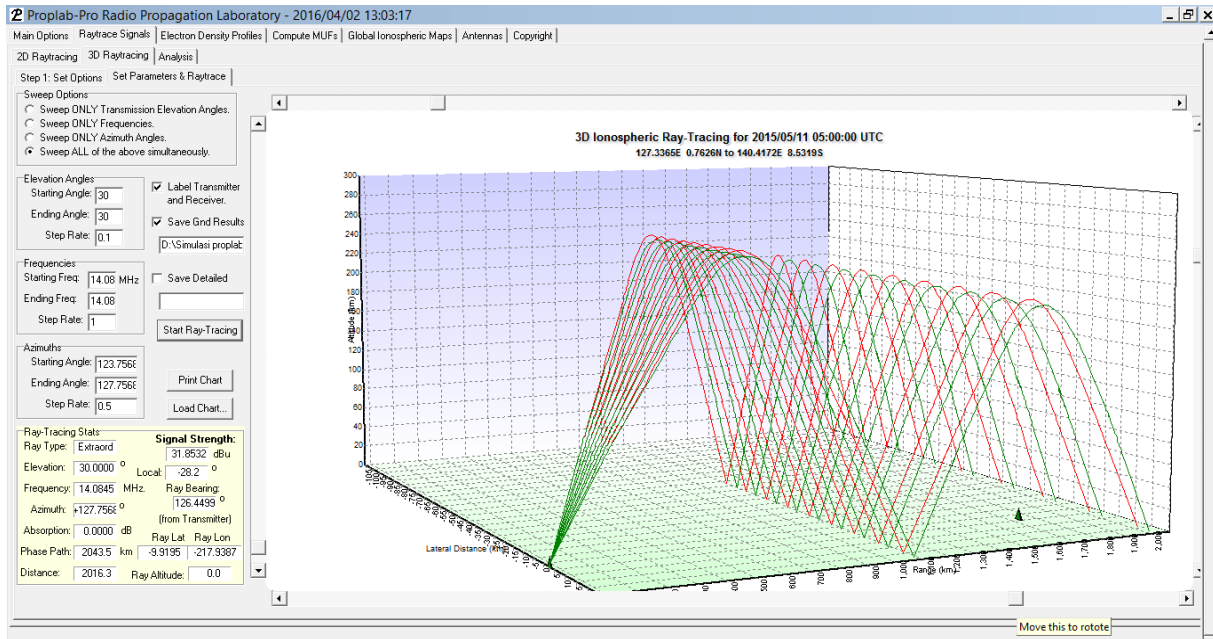
b. Pukul 04.00 WIB



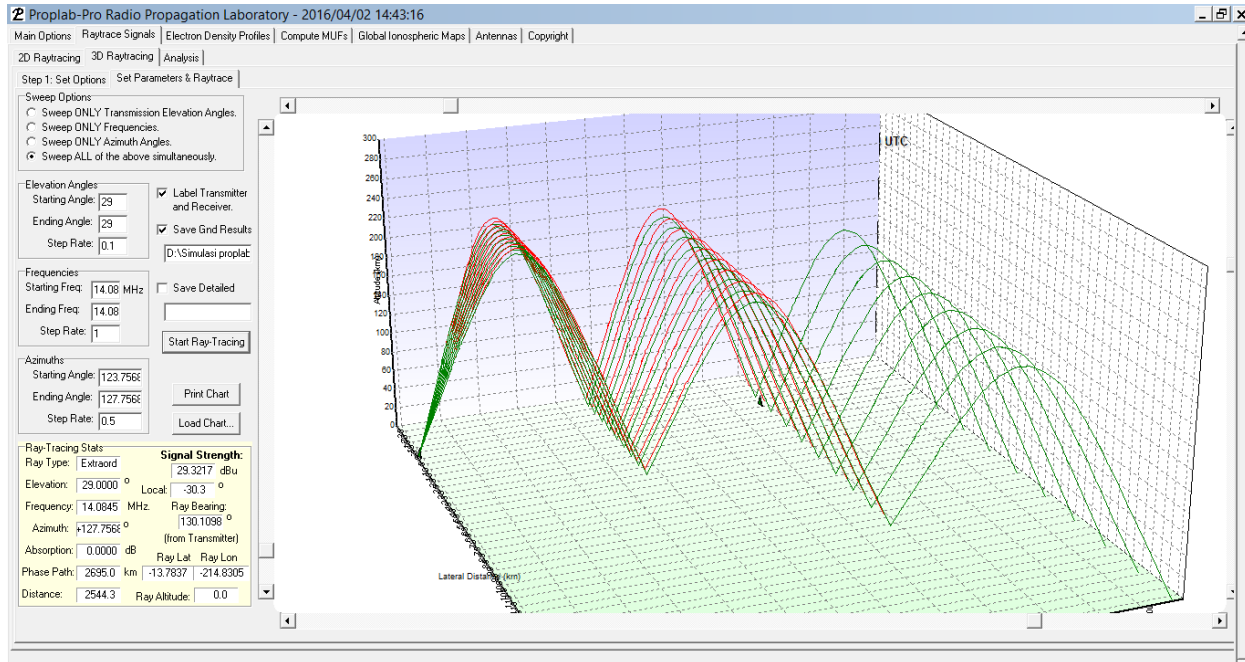
c. Pukul 08.00 WIB



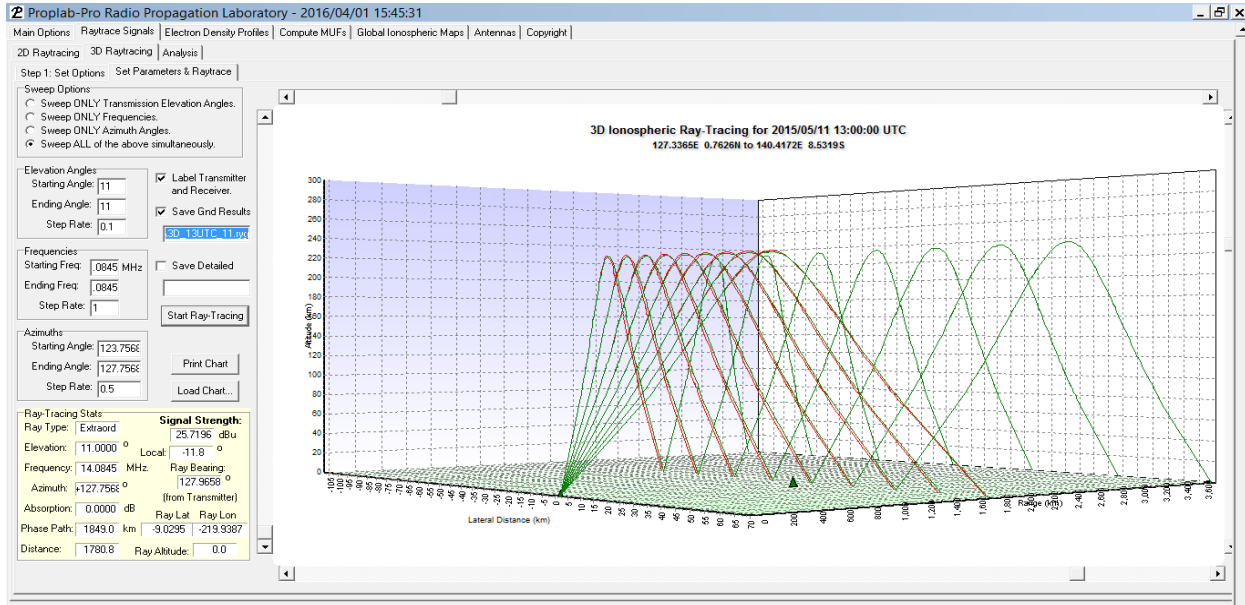
d. Pukul 12.00 WIB



e. Pukul 16.00 WIB



f. Pukul 20.00 WIB



KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi dari sistem komunikasi *High Frequency* (HF) dengan menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* maka didapatkan beberapa kesimpulan seperti dibawah ini :

1. Sudut elevasi, frekuensi kerja, waktu, dan kondisi *ionosfer* menjadi faktor - faktor yang menentukan keberhasilan dalam simulasi transmisi sinyal pada sistem komunikasi *high frequency* (HF) dengan mode propagasi gelombang angkasa (*sky wave*) dengan menggunakan *software* Proplab-Pro.
2. Berdasarkan hasil simulasi transmisi sinyal untuk sistem komunikasi *high frequency* (HF) menghasilkan *signal strength* paling besar saat siang hari. Hasil simulasi menunjukkan jam 12.00 WIB dan 16.00 WIB sebagai waktu pengamatan yang menghasilkan kualitas sinyal yang paling baik, ditinjau dari parameter SNR, Eb/No, dan Pe.
3. Setelah menganalisa hasil simulasi, didapatkan bahwa penggunaan teknik diversitas *selection combining* mempunyai pengaruh positif untuk memperbaiki kualitas sinyal transmisi dalam sistem komunikasi *high frequency* (HF). Dibuktikan dengan hasil parameter SNR dan Eb/No yang meningkat serta Pe yang menurun dari kondisi sebelum ke sesudah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*.
4. Penggunaan frekuensi kerja yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda pada kualitas sinyal yang diterima. Frekuensi 14,0845 Mhz setelah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining* mempunyai hasil paling baik pada semua jam. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai SNR dan Eb/No terbesar dan Pe yang paling kecil dihasilkan dari transmisi dengan frekuensi kerja yang telah menerapkan teknik diversitas kooperatif *selection combining*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mc Namara, "The Ionosphere :Communications, Surveillance, and Direction Finding", 1991.
- [2] ITU-R P-533-11,"Method For The Prediction of The Performance of HF Circuit", *Radio Propagation*, 2012.
- [3] Suhartini, Sri, "Sudut Elevasi dan Ketinggian Antena Untuk Komunikasi Radio HF", LAPAN, Indonesia, September, 2008
- [4] Australian Government, "IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation.pdf" Sidney, Australia, 2007.
- [5] Suhartini, Sri, "Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat", *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara* Vol.6 No.1, Maret, 2011.
- [6] Foose, B. , "High Frequency Communication - an Introductory Overview," , HIARC Meeting, 2012.
- [7] Hong,Y.-W. Peter , Wan-Jen Huang dan C-C. Jay Kuo. (2010), *Cooperative Communications and Networking*, Springer, Minnesota, USA ,2010.
- [8] T.S. Rappaport, "Wireless Communication Principles and Practice", Prentice Hall, hal 386, 2002.
- [9] Smart, W.M "Spherical Astronomy" fifth edition. Cambridge University Press. 1971.
- [10] Sklar, Bernard, "Digital Communication : Fundamentals and Applications" , Prentice Hall, 2001.

RIWAYAT PENULIS



Ufi Widya Astuti, seorang mahasiswi yang lahir pada tanggal 2 Januari 1995. Memulai pendidikan formal di MI PENI Bukur, lulus pada tahun 2006. Melanjutkan di SMP Negeri 2 Madiun, lulus pada tahun 2009. Kemudian melanjutkan ke SMAN 3 Madiun dan lulus pada tahun 2012. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang sarjana (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil bidang konsentrasi Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia. Selama kuliah, penulis juga aktif di berbagai organisasi kampus, khususnya di HIMATEKTRO dan BEM FTI-ITS , maupun luar kampus yakni di FLAC(Future Leader for Anti Corruption).

Pada bulan Mei 2016 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: ulfi.widya1@gmail.com