

HASIL PREDIKSI FREKUENSI HF *

Mohamad Sjarifudin **
Agus Nuryanto ***

ABSTRAK

Sejak tahun 1981 pengamatan ionosfer Indonesia menggunakan ionosonda vertikal (IPS-41, IPS-42/DBD-43, IPS-51, IPS-71, DPS) yang ditempatkan di Pameungpeuk, Biak, Pontianak, Sumedang dan Manado. Mulai tahun 1990 hingga tahun 1994 berdasarkan data ionosfer yang didapat, dengan metoda prediksi AR (Auto Regression) diterbitkan buku prediksi frekuensi komunikasi radio HF tahunan antar ibukota propinsi, antar satuan MABES ABRI, antar satuan PEMDA di Kawasan Timur Indonesia dan Kawasan Tengah Indonesia. Mulai tahun 1995, metoda AR dilengkapi dengan metoda ASAPS (*Advanced Stand-Alone Prediction System*) untuk membuat prediksi tahunan dan bulanan yang berisi informasi LUF (*Lowest Useful Frequency*), MUF (*Maximum Usable Frequency*), dan OWF (*Optimum Working Frequency*). Penggunaan ionosonda digital yang dilengkapi dengan sistem komunikasi data, memungkinkan dibuatnya sistem manajemen frekuensi real-time. Untuk meningkatkan kecermatan prediksi yang mencakup seluruh kawasan Indonesia, perlu adanya ionosonda di Kupang dan Medan, pengembangan model prediksi, pembuatan indeks T Indonesia, uji komunikasi radio, dan penelitian *oblique sounding*. Diharapkan pada tahun 1996 sistem ionosonda oblique antara Manado-Sumedang sudah dapat dioperasikan (Kerjasama LAPAN-UNSRAT-DSTO Australia).

Mulai tahun 1995, diterbitkan buletin bulanan informasi ionosfer, matahari, dan medan magnet bumi. Gangguan pada ionosfer akibat aktivitas matahari, variasi medan magnet bumi, dan gangguan alam menimbulkan gangguan pada komunikasi radio, yang diinformasikan kepada pengguna melalui sistem peringatan dini. Untuk keperluan komunikasi radio VHF dan UHF dilakukan telaah propagasi gelombang radio melalui troposfer, dan dengan data TEC (*Total Electron Content*) ionosfer akan dibuat model ionosfer untuk keperluan analisa propagasi sinyal GPS (*Global Positioning System*) pada sistem navigasi di Indonesia.

Langkah selanjutnya adalah studi dan penelitian ionosfer untuk radar laut HF (sea state radar, sea wave radar, sea surface radar) yang merupakan awal untuk mempelajari OTHR (*Over-The-Horizon-Radar*).

-
- * Dipresentasikan pada Seminar Antariksa Nasional 1995, Jakarta, 16 Oktober 1995
 - ** Kadid. Komunikasi HF, Puslitbang Pengetahuan Ionosfer, LAPAN
 - *** Deputi Ketua Bidang Penelitian Media Dirgantara, LAPAN

1. PENDAHULUAN

Sampai saat ini komunikasi radio HF (*High Frequency*, 3 - 30 MHz) masih banyak digunakan untuk komunikasi suara (analog) ataupun komunikasi data (digital) [Komala dkk, 1994]. Komunikasi radio HF yang menggunakan lapisan ionosfer sebagai lapisan pemantul gelombang radio sangat tergantung pada kondisi lapisan ionosfer. Indonesia terletak di daerah anomali ionosfer, sehingga ionosfer di atas wilayah Indonesia sangat peka terhadap aktivitas matahari, gangguan medan magnet bumi, dan gangguan alam seperti *wind shear*, dan hujan meteor.

Aktivitas matahari dapat menimbulkan gangguan sesaat dan gangguan dalam jangka waktu lama pada lapisan ionosfer dan medan magnet bumi. Peningkatan sinar X dan sinar UV menimbulkan perubahan kerapatan elektron ionosfer dalam waktu singkat, yang menyebabkan terjadinya absorpsi gelombang radio. Selain itu aktivitas matahari juga menyebabkan peningkatan emisi partikel energetik yang bertahan dalam waktu beberapa hari. Emisi partikel menimbulkan perubahan pada kuat medan magnet bumi yang kemudian menimbulkan perubahan kerapatan elektron. Perubahan kerapatan elektron merupakan salah satu penyebab perubahan frekuensi komunikasi radio yang optimal untuk digunakan. Di samping itu, lapisan E sporadis yang disebabkan oleh adanya *windshear* atau hujan meteor dan *spread F* ionosfer yang disebabkan oleh adanya gradien suhu, juga dapat menimbulkan gangguan komunikasi radio.

Penelitian ionosfer yang telah dilaksanakan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengetahuan Ionosfer, Deputi Bidang Penelitian Media Dirgantara, Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional (LAPAN) adalah mengenai struktur ionosfer, identifikasi dan analisa gejala yang memperlihatkan dinamika ionosfer. Data ionosfer di atas wilayah Indonesia diperoleh dari ionosonda yang telah dipasang di Pameungpeuk (Jawa Barat), Biak (Irian Jaya), Pontianak (Kalimantan Barat), Sumedang (Jawa Barat) dan Manado (Sulawesi Utara). Data ionosfer ini dilengkapi dengan data matahari hasil pengamatan teleskop radio dan optik di Sumedang dan Watukosek (Jawa Timur), serta data medan magnet bumi hasil pengamatan magnetometer di Biak, Pontianak dan Sumedang.

Dari data pengamatan rutin ionosonda dapat diketahui frekuensi plasma maksimum, frekuensi plasma minimum, ketinggian maksimum dan ketinggian minimum dari lapisan ionosfer untuk tahun 1981 sampai dengan sekarang. Berdasarkan perhitungan metoda AR (*Auto Regression*) dan metoda ASAPS (*Advanced Stand-Alone Prediction System*), sejak tahun 1991 telah diterbitkan buku petunjuk prediksi frekuensi komunikasi radio tahunan antar ibukota propinsi, antar satuan Mabes ABRI, dan antar satuan Pemda di Kawasan Timur Indonesia dan Kawasan Barat Indonesia. Isi buku tersebut adalah informasi frekuensi maksimum, frekuensi minimum dan frekuensi optimum untuk komunikasi radio HF antara dua tempat tertentu pada jam dan bulan tertentu dalam satu tahun. Untuk meningkatkan kecermatan hasil prediksi dilakukan uji komunikasi radio dan *oblique sounding*.

Untuk memahami gangguan ionosfer dilakukan penelitian *Sudden Ionospheric Disturbance* (SID), dinamika lapisan E sporadis, *Spread F*, *Travelling Ionospheric Disturbance* (TID), gelombang gravitasi dan gelombang akustik. Sejak tahun 1995 diterbitkan buletin bulanan yang berisi data parameter ionosfer, aktivitas matahari, dan variasi medan magnet bumi yang dapat digunakan untuk mengetahui adanya gangguan di ionosfer Indonesia. Gangguan pada komunikasi radio yang terjadi diinformasikan kepada pengguna melalui sistem peringatan dini komunikasi radio.

Untuk keperluan komunikasi VHF dan UHF, dilakukan penelitian seperti telaah daya pada komunikasi troposkater, dan pembuatan model ionosfer untuk analisa propagasi sinyal GPS pada sistem navigasi di Indonesia.

Langkah selanjutnya adalah studi dan penelitian ionosfer untuk *sea state radar*, *sea wave radar*, dan *sea surface radar*, yang pada dasarnya adalah radar laut HF (*HF ocean radar*). Kemampuan penguasaan radar laut HF merupakan basis untuk mempelajari OTHR (*Over-The-Horizon-Radar*).

2. PENGAMATAN IONOSFER INDONESIA

Pengamatan ionosfer Indonesia oleh LAPAN dimulai pada tahun 1981, dengan dioperasikannya ionosonda analog IPS-42 di stasiun

ionosonda Pameungpeuk, Jawa Barat. Stasiun ionosonda yang terakhir didirikan adalah stasiun ionosonda Manado yang diresmikan pada tanggal 12 Agustus 1995, dan merupakan stasiun hasil kerjasama LAPAN dengan Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT). Untuk mengamati keadaan ionosfer di atas Indonesia, minimal perlu lima stasiun ionosonda yaitu di Pameungpeuk, Biak, Pontianak, Manado, Kupang, dan Medan berdasarkan perhitungan bahwa setiap ionosonda mengamati daerah dengan jari-jari 500 km (lihat gambar 1). Stasiun-stasiun ini dilengkapi dengan laboratorium ionosonda di Sumedang untuk keperluan pengembangan, perbaikan, dan pengujian ionosonda. Tabel 1 menunjukkan stasiun ionosonda yang telah ada dan direncanakan dibangun oleh LAPAN serta jenis ionosonda vertikal yang dioperasikan pada stasiun tersebut.

Ionosonda analog IPS-42, dan ionosonda digital IPS-42/DBD-43, dan IPS-51 hanya mampu memberikan informasi mengenai ketinggian semu lapisan ionosfer sebagai fungsi dari frekuensinya. Sedangkan IPS-71 dan DPS yang merupakan *Advanced Digital Ionosonde System* (ADIS) juga mampu mengukur fasa, polarisasi dan amplitudo yang diperlukan untuk menentukan sudut datang, pergeseran frekuensi Doppler, profil kerapatan elektron dan absorpsi gelombang elektromagnetik di ionosfer sebagai fungsi ruang dan waktu. Diharapkan semua stasiun yang telah ada (Pameungpeuk, Biak, Pontianak, Sumedang, Manado) maupun yang direncanakan untuk dibangun (Kupang, Medan) dilengkapi dengan ionosonda digital dengan kemampuan diatas. Hasil penelitian struktur dan dinamika ionosfer akan dapat meningkatkan pemahaman tentang mekanisme kopling magnetosfer-ionosfer, ionosfer-thermosfer dan perubahan medan magnet bumi. Di samping itu dapat juga digunakan untuk meningkatkan ketelitian prediksi frekuensi komunikasi radio HF yang dibuat oleh Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN. Tabel 2 menunjukkan informasi yang diberikan oleh IPS-71 serta pemanfaatannya.

3. PREDIKSI FREKUENSI HF

Dari data pengamatan rutin ionosonda di Pameungpeuk, Biak, Pontianak, Sumedang, dan Manado, dapat diketahui frekuensi plasma maksimum, frekuensi plasma minimum, ketinggian maksimum, dan ketinggian minimum dari lapisan ionosfer. Dengan menambahkan

koordinat antara dua tempat yang akan berkomunikasi, dapat diprediksi frekuensi maksimum dan frekuensi minimum untuk digunakan berkomunikasi antara dua tempat tersebut.

Dengan perhitungan metoda AR (*Auto Regression*) yang berdasarkan hukum Secant untuk frekuensi oblique-vertikal (lihat gambar 2), theorema lintasan Breit dan Tuve, teorema ekivalensi lintasan Martyn, serta theorema absorpsi Martyn, telah diterbitkan buku petunjuk prediksi frekuensi komunikasi radio HF tahunan antar ibukota propinsi, antar satuan Mabes ABRI, dan antar satuan Pemda Irian Jaya, Maluku, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Tengah, untuk tahun 1991, 1992, 1993, dan 1994. Buku ini berisi informasi frekuensi maksimum ($MUF = \text{Maximum Usable Frequency}$) dan frekuensi minimum ($LUF = \text{Lowest Useful Frequency}$) antara dua tempat pada jam dan bulan tertentu dalam satu tahun. Tabel 3 dan 4 menunjukkan contoh hasil prediksi metoda AR.

Untuk tahun 1995 dan 1996, disamping metoda AR juga digunakan metoda ASAPS (*Advanced Stand-Alone Prediction System*) yang berdasarkan model propagasi CCIR (*Consultative Committee of International Radio*) dan IPS (*Ionospheric Prediction Service*) untuk membuat buku petunjuk prediksi komunikasi radio HF tahunan antar ibukota propinsi, antar satuan Mabes ABRI, antar satuan Pemda Irian Jaya, Maluku, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah, Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara. Pada buku ini, selain MUF dan LUF juga diinformasikan frekuensi kerja optimum ($OWF = \text{Optimum Working Frequency}$) yang merupakan frekuensi yang optimal untuk digunakan berkomunikasi antara dua tempat tertentu. Tabel 5, 6, dan 7 menunjukkan contoh hasil prediksi metoda ASAPS.

Sejak tahun 1995 diterbitkan juga buletin bulanan yang berisi data parameter ionosfer, aktivitas matahari, dan variasi medan magnet bumi yang dapat digunakan untuk mengetahui adanya gangguan di ionosfer. Gangguan pada komunikasi radio akibat adanya gangguan pada ionosfer diinformasikan kepada pengguna melalui sistem peringatan dini komunikasi radio. Selain itu untuk keperluan pengguna dapat juga diberikan informasi parameter komunikasi radio seperti arah dan daya pancar diperlukan, jenis antena yang digunakan, S/N ratio, dan alokasi penggunaan frekuensi yang dimiliki. Tabel 8 menunjukkan contoh isi buletin bulanan.

4. UJI KOMUNIKASI RADIO DAN OBLIQUE SOUNDING

Untuk meningkatkan kecermatan prediksi frekuensi diperlukan uji komunikasi radio dan *oblique sounding*. Dengan alat uji komunikasi radio IFR COM-120A yang terdiri atas pemancar, penerima, dan pemroses data, dilakukan uji komunikasi radio antara berbagai tempat yang diprediksi frekuensi komunikasinya. Berdasarkan hasil uji komunikasi radio, hasil prediksi dengan metoda AR dan metoda ASAPS kurang cermat karena model ionosfer yang digunakan masih menggunakan data ionosfer global dunia dengan data ionosfer ekuator (khususnya Indonesia) yang sangat minim. Selain itu pada metoda AR, faktor letak geografis yang erat kaitannya dengan azimuth dan elevasi matahari, faktor jenis lapisan ionosfer pemantul gelombang radio, serta faktor *multiple hop* pada propagasi gelombang radio kurang diperhitungkan, sehingga hasil metoda AR hanya baik untuk digunakan untuk jarak komunikasi kurang dari 300 km. Sedangkan pada metoda ASAPS, meskipun profil MUF dan LUF hasil perhitungannya sesuai dengan MOF (*Maximum Observed Frequency*) dan LOF (*Lowest Observed Frequency*) hasil uji komunikasi radio, kekurang cermatannya selain karena model ionosfernya yang kurang cocok dengan kondisi Indonesia, juga karena menggunakan indeks T global untuk menyatakan aktivitas matahari dan ionosfer Indonesia [Sjarifudin, 1994].

Untuk mendapatkan hasil prediksi komunikasi radio HF di seluruh wilayah Indonesia yang cermat, diperlukan model prediksi yang berdasarkan karakteristik lapisan ionosfer di atas wilayah Indonesia. Diharapkan dengan menggunakan model ionosfer Indonesia yang dibuat berdasarkan data hasil pengamatan ionosonda, dan dilengkapi dengan data aktivitas matahari yang dinyatakan dengan indeks T Indonesia, serta data variasi medan magnet bumi, metoda AR dan metoda ASAPS akan dapat dikembangkan sehingga dihasilkan model prediksi Indonesia yang dituangkan dalam bentuk perangkat lunak prediksi komunikasi radio LAPAN.

Untuk meningkatkan kecermatan hasil prediksi, selain uji komunikasi radio diperlukan juga penelitian *oblique sounding* untuk mengamati lapisan ionosfer di atas daerah yang tidak tercap oleh ionosonda. Diharapkan pada tahun 1996 sistem ionosonda *oblique* antara Manado - Sumedang sudah dapat dioperasikan (Kerja-

sama penelitian LAPAN - UNSRAT - DSTO Australia). Sistem ini terdiri atas sebuah pemancar terarah di Manado dan sebuah penerima dan pemroses data di Sumedang (lihat gambar 3). Agar pemancar dan penerima beroperasi secara sinkron, diperlukan sinyal pewaktu (*timing signal*) yang dibangkitkan dari penerima sinyal GPS (*Global Positioning System*).

5. SISTEM MANAJEMEN FREKUENSI REAL-TIME

Kemampuan membuat prediksi frekuensi dengan metoda ASAPS dapat dikembangkan untuk pembuatan prediksi frekuensi *real-time* berupa Sistem Manajemen Frekuensi Real Time (*RTFMS = Real Time Frequency Management System*) yang terdiri atas sebuah ionosonda vertikal untuk menguji kondisi propagasi secara *real-time* dan perangkat lunak prediksi ASAPS [Lynn et al., 1994].

RTFMS yang dikembangkan untuk komunikasi taktis militer merupakan sistem untuk menentukan kondisi propagasi (alokasi frekuensi yang digunakan) berbagai sirkit komunikasi yang menggunakan titik pantul di dalam daerah dengan jari-jari 300 km dari suatu ionosonda vertikal. Ionogram vertikal *real-time* yang didapat dari ionosonda vertikal diubah menjadi ionogram oblique dengan menggunakan metoda yang dikembangkan oleh Davies (1990) dan Park serta Yeh (1990). Metoda ini menggunakan hukum Secant, theorem Martin, dan theorem Breit dan Tuve, dimana bumi dianggap bulat dengan lapisan ionosfer yang datar. Dengan cara ini kondisi ionosfer pada titik pantul dapat diprediksi secara *real-time*. Dengan menggunakan ionosonda oblique, kondisi ionosfer pada titik pantul dapat diamati secara langsung. Hasil prediksi ASAPS selanjutnya dapat dikoreksi dengan data MOF dan LOF yang didapat dari ionogram oblique. Untuk pengujian sistem ini, selain dengan sistem ionosonda oblique dapat juga digunakan alat uji komunikasi radio.

6. PENELITIAN KOMUNIKASI VHF DAN UHF

Selain penelitian komunikasi HF (*High Frequency*, 3 - 30 MHz), Puslitbang Pengetahuan Ionosfer memanfaatkan penelitian ionosfer untuk keperluan komunikasi radio VHF (*Very High Frequency*, 30 -

300 MHz) dan UHF (*Ultra High Frequency*, 300 MHz - 3000 MHz). Untuk memahami propagasi gelombang radio melalui troposfer dilakukan telaah daya pada komunikasi troposkater antara Surabaya dan Banjarmasin [Titiek dkk., 1994/1995]. Pada sistem pendaratan pesawat terbang (*landing system*) dengan GNSS (*Global Navigation Satellite System*), beberapa faktor lokal berpengaruh terhadap akurasi *enroute*, *precision approach*, dan pendaratan pesawat terbang. Diantara faktor-faktor lokal tersebut adalah pengaruh troposfer dan ionosfer pada propagasi sinyal GPS (*Global Positioning System*) dari satelit ke pesawat dan stasiun acuan DGPS (*Differential Global Positioning System*) di bandara udara (lihat gambar 4). Pengaruh ionosfer jauh lebih besar dibanding dengan pengaruh troposfer, dimana waktu tunda sinyal GPS sebanding dengan besarnya TEC (*Total Electron Content*) ionosfer. Dengan menggunakan TEC meter dapat diamati pola harian TEC. Dari hasil pengamatan ini ditambah dengan data ionosonda, dibuat model ionosfer (model TEC) untuk keperluan koreksi propagasi sinyal GPS. Selanjutnya dari model ionosfer dan data TEC yang diperoleh, dapat ditentukan besar waktu tunda sinyal GPS sehingga besarnya galat posisi sistem navigasi dapat diperkecil.

7. PENELITIAN IONOSFER UNTUK RADAR LAUT HF

Penginderaan jauh permukaan laut dengan gelombang radio memanfaatkan adanya hamburan balik (*back scattering*) gelombang radio oleh permukaan laut. Parameter laut yang diinginkan umumnya adalah tinggi gelombang laut, panjang gelombang laut, dan arah gelombang laut yang biasanya dinyatakan dalam diagram polar yang disebut spektrum arah. Penggunaan gelombang HF untuk penginderaan jauh permukaan laut ditandai oleh pengamatan Crombie [1955] dan juga Dominion Physical Laboratory di New Zealand, yaitu pengamatan *coherent radar scattering* oleh permukaan laut pada gelombang radio HF. Teknik ini disebut radar HF karena menggunakan frekuensi HF [Shearman, 1982].

Mekanisme utama pada peristiwa hamburan balik gelombang HF adalah proses hamburan balik resonansi Bragg, seperti terlihat pada gambar 5. Kondisi hamburan balik resonansi Bragg terjadi bila panjang gelombang laut adalah setengah panjang gelombang radio, atau dipenuhinya persamaan :

$$L \cos \Delta = \alpha/2$$

dimana α = panjang gelombang radio

L = panjang gelombang laut

Δ = sudut datang gelombang

Radarm untuk mengamati keadaan laut yang disebut *sea state radar*, *sea wave radar*, atau *sea surface radar* secara umum merupakan radar laut HF (*ocean HF radar*). Jenis pertama radar laut HF adalah *ground wave radar* yang menggunakan gelombang polarisasi vertikal yang merambat sepanjang permukaan bumi, dan mampu mendeteksi sinyal pantul dari jarak 300 km atau lebih, tergantung daya dan frekuensi yang digunakan. Jenis radar HF yang kedua adalah *sky wave radar* yang memanfaatkan pantulan gelombang radio oleh lapisan ionosfer, dengan jarak ukur 1000 km hingga 3000 km.

Bila arah gerak gelombang laut mendekati radar akan terjadi frekuensi Doppler positif dan sebaliknya bila gerak gelombang laut menjauhi radar akan terjadi frekuensi Doppler negatif. Kedua peristiwa diatas terlihat dengan timbulnya ARL (*Approaching Bragg Resonant Line*) dan RRL (*Receding Bragg Resonant Line*) pada spektrum Doppler radar, seperti terlihat pada gambar 6.

Bila arah angin rata-rata menjauhi radar, amplitudo komponen Doppler negatif akan lebih tinggi dari amplitudo komponen Doppler positif. Sebaliknya bila arah angin rata-rata mendekati radar, amplitudo komponen Doppler positif akan lebih tinggi dari amplitudo komponen Doppler negatif seperti terlihat pada gambar 7.

Pada *sky wave radar* digunakan antena terarah untuk memanfaatkan efek pantulan oleh lapisan ionosfer terhadap gelombang radio HF. Dengan radar ini dapat diamati arah dan kecepatan angin, tinggi gelombang, spektrum panjang gelombang, dan spektrum arah dari gelombang laut, dengan menganalisa adanya hamburan balik resonansi Bragg orde kedua dan orde ketiga (gambar 8).

Kemampuan radar laut HF untuk mengamati daerah yang jauhnya ribuan km dari tempat radar, merupakan awal untuk mengamati yang terjadi di sekitar kita (*area surveillance*) tanpa dibatasi oleh garis *line of sight* seperti pada radar gelombang mikro.

Prediksi frekuensi HF yang berdasarkan kondisi ionosfer setempat akan sangat membantu optimasi operasi radar laut HF untuk mengamati jarak tertentu, karena prediksi frekuensi HF dan pengamatan ionosfer mampu memberikan informasi seperti frekuensi yang harus digunakan, sudut elevasi dan sudut bearing antena, daya pemancar, *S/N ratio*, *losses*, pergeseran frekuensi Doppler (*Doppler shift*, *Doppler spread*), dan kemungkinan keberhasilan secara *real-time*.

8. OVER-THE-HORIZON-RADAR

Over-the-horizon-radar (OTHR) sebenarnya mengandung pengertian radar yang beroperasi pada frekuensi HF antara 3 dan 30 MHz, untuk penginderaan jauh pada jarak diluar *line-of-sight* (300 - 3000 km dari tempat radar) dengan memanfaatkan efek pantulan oleh lapisan ionosfer terhadap gelombang radio HF dan terjadinya hamburan balik gelombang radio oleh sasaran yang terkena sinyal.

Radar HF mula-mula digunakan untuk penginderaan permukaan laut. Setelah perang dunia II, US Naval Research Laboratory melakukan eksperimen dengan radar HF untuk mendeteksi sasaran bergerak selain permukaan laut. Kemudian kemampuan mendeteksi kapal laut dengan OTHR menjadi aplikasi yang penting dari radar HF [Washburn et al., 1979]. Pada dasarnya, kapal dideteksi dengan mengamati garis spektra dari spektrum Doppler sinyal pantul radar yang diterima. Maresca dan Barnum [1982] melakukan studi teori batas kemampuan mendeteksi kapal yang tergantung pada luas penampang radar, kecepatan radial kapal, kondisi permukaan laut, frekuensi operasi, waktu integrasi dan resolusi pemisahan radar. Pada teori ini tidak diperhitungkan efek pantulan ganda (*multiple hoop*) ionosfer dan derau akibat gema laut yang melebarkan garis resonansi Bragg sehingga menyukarkan analisisnya. Untuk meningkatkan kemampuan deteksi kapal, digunakan analisa spektrum entropi maksimum [Bourdillon et al., 1986] yang berdasarkan *maximum entropy method* (MEM) yang diperkenalkan oleh Burg [1967]. Burdillon melakukan percobaan menggunakan antena pemancar bidang lebar dengan daya pulsa peak 100 kW (daya rata-rata 2 kW), dan antena penerima yang disusun dari 96 pasang antena vertikal monopole (panjang total antena 1160 m). Frekuensi operasi 15 MHz, lebar pulsa 150 μ s, dan perioda pulsa 20 ms. Sistem ini berhasil mende-

tekski kapal meteorologi France I yang jaraknya 1800 km.

Pada tahun 90an, OTHR merupakan radar yang mencakup lautan dan udara, liputan melampaui lengkungan permukaan bumi, mampu mendeteksi kapal laut dan kapal udara sampai jarak 2000-3000 km. Sistem OTHR memerlukan dua lokasi yang terpisah sekitar 100-200 km, untuk tempat pemancar dan tempat penerima. Daerah aman lokasi pemancar sekitar 200 ha, yang merupakan daerah penyangga radiasi sekeliling antena pemancar. Diluar daerah aman diperlukan daerah penyangga tambahan sekitar 20 ha, untuk mencegah interferensi kepada lingkungan. Antena penerima OTHR mencakup daerah 3 km kali 300 m. Untuk mencegah interferensi sinyal dari luar, diperlukan sejumlah daerah penyangga dengan luas sekitar 135.000 ha. Gambar 9 menunjukkan contoh susunan antena pemancar OTHR, sedangkan gambar 10 menunjukkan contoh susunan antena penerima OTHR.

Dapat disimpulkan bahwa prinsip OTHR untuk mendeteksi sasaran bergerak seperti kapal laut atau kapal terbang ialah terjadinya pergeseran frekuensi (*Doppler shift*) pada sinyal hamburan balik akibat gerakan kapal (sasaran). Untuk aplikasi teknik Doppler pada OTHR, ionosfer harus cukup stabil sehingga tidak membingungkan akibat adanya pergeseran frekuensi yang kecil pada sinyal yang diterima. Untuk itu penelitian stabilitas ionosfer menjadi langkah penting pada penelitian OTHR [D.H. Sinnott, 1986]. Kunci lainnya ialah kemampuan menggunakan analisa Doppler untuk memisahkan sinyal hamburan balik radar akibat sasaran yang bergerak, dari sinyal balik hamburan latar belakang stasioner.

9. KESIMPULAN

Dari isi tulisan yang telah dikemukakan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Pertama, pengamatan ionosfer Indonesia telah dilakukan dengan ionosonda IPS-42, IPS-42/DBD-43, DPS, IPS-71, dan IPS-51 yang ditempatkan di Pameungpeuk, Biak, Pontianak, Sumedang, dan Manado. Agar pengamatan mencakup seluruh wilayah Indonesia, diperlukan penempatan ionosonda di Kupang dan Manado.

Kedua, dengan menggunakan metoda AR telah diterbitkan buku petunjuk prediksi frekuensi komunikasi radio HF tahunan antar ibukota propinsi, antar satuan MABES ABRI, antar satuan PEMDA

Irian Jaya, Maluku, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Timur untuk tahun 1990 hingga tahun 1994, yang berisi informasi frekuensi kerja maksimum (MUF) dan frekuensi kerja minimum (LUF).

Ketiga, digunakan metoda ASAPS untuk menerbitkan buku petunjuk prediksi frekuensi komunikasi radio HF tahunan antar ibukota propinsi, antar satuan MABES ABRI, antar satuan PEMDA Irian Jaya, Maluku, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara untuk tahun 1995 dan 1996, yang berisi informasi frekuensi kerja maksimum (MUF), frekuensi kerja minimum (LUF), dan frekuensi kerja optimal (OWF).

Keempat, mulai tahun 1995 diterbitkan buletin bulanan informasi ionosfer, aktivitas matahari, dan variasi medan magnet bumi yang berguna untuk mengetahui adanya gangguan pada ionosfer. Gangguan pada komunikasi radio diinformasikan kepada pengguna melalui sistem peringatan dini komunikasi radio.

Kelima, untuk meningkatkan kecermatan hasil prediksi diperlukan adanya ionosonda di Kupang dan Manado, pengembangan model prediksi, pembuatan indeks T Indonesia, uji komunikasi radio, dan penelitian *oblique sounding*. Diharapkan pada tahun 1996 sistem ionosonda *oblique* antara Manado dan Sumedang dapat dioperasikan (Kerjasama LAPAN-UNSRAT-DSTO Australia).

Keenam, dengan menggunakan ionogram *oblique* yang dikonversi dari ionogram vertikal dan metoda prediksi ASAPS dapat dibuat Sistem Manajemen Frekuensi Real-Time (RTFMS).

Ketujuh, untuk keperluan komunikasi VHF dan UHF dilakukan penelitian komunikasi troposkater dan pembuatan model ionosfer (TEC) untuk keperluan koreksi sinyal GPS pada sistem navigasi di Indonesia.

Kedelapan, kemampuan prediksi frekuensi HF dan pengamatan ionosfer menunjang optimisasi pengoperasian radar laut HF (*sea state radar, sea wave radar, sea surface radar*) yang mampu mendeteksi parameter permukaan laut hingga jarak 3000 km, berdasarkan adanya hamburan balik resonansi Bragg oleh permukaan laut.

Kesembilan, Over-The-Horizon-Radar (OTHR) yang dikembangkan dari radar laut HF untuk mendeteksi sasaran yang bergerak seperti kapal laut dan pesawat udara, membutuhkan penguasaan kondisi stabilitas ionosfer yang hanya dapat diperoleh berdasarkan pengamatan ionosfer secara langsung.

10. DAFTAR PUSTAKA

- Komala M., M. Pakpahan, Koeswadi, Zulfakar Rasyidin, Donatina M.H., *Analisa hasil survey pemanfaatan buku petunjuk penggunaan frekuensi komunikasi HF Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, LAPAN, 1994.*
- P.A. Bradley, E.N. Bramley, A.J. Gibson, J.W. King, *Ionospheric Factors affecting the performance of HF sky-wave sea state radars, International Conference RADAR-77, 13-1 - 13-10, 25-28 October 1977.*
- P.A. Bradley, E.N. Bramley, W.A. Sandham, E.D. R. Shearman, S.Theodoridis, *Sky-wave radar sea-state sensing : Effects of ionospheric movement and propagation geometry, INT. J. REMOTE SENSING, Vol 3, No 4, 373-384, 1982.*
- E.D.R. Shearman, *Radio science and oceanography, Radio Science, Vol 18, No 3, Hal 299-320, Mei-Juni 1983.*
- E.D.R. Shearman, *Propagation and scattering in MF/HF groundwave radar, IEE Proceedings, Vol 130, No 7, Desember 1983.*
- M.L. Heron, P.E. Dexter, B.T. McGann, *Parameters of air-sea interface by high-frequency ground-wave Doppler Radar, Aust. J. Mat. Freshw. Rev., 36, 655-670, 1985.*
- Malcolm L. Heron, *Line broadening on HF ocean radar Backscatter spectra, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol 01.10, No 4, Oktober 1985.*
- A. Bourdillon, F. Gauthier, *Use of maximum entropy spectral analysis to improve ship detection by over-the-horizon radar, Radio Science, Vol 22, No 2, Hal 313 - 320, Maret-April 1987.*
- Denis B. Trisna, Robert W. Bogle, John C. Moore, Lione I. Moskowitz, *Remote sensing of the sea surface wave height spectrum using over-the-horizon radar, Radio Science, Vol 22, No 2, Hal 647 - 651, Maret - April 1987.*
- K.J.W. Lynn, T.D. Kelly, *A new real-time frequency management technique based on vertical sounding demonstrated over 2598 km circuit, DSTO, 1994.*

L A M P I R A N

Tabel 1 : Stasiun ionosonda

STASIUN	KOORDINAT	IONOSONDA	DATA	KOMDAT
Pameungpeuk (1982)	7,64LS 107,69BT	IPS-42	Analog	
Biak (1984)	1,10LS 136.05BT	IPS-42/DBD-43	Digital	Tilpun
Pontianak (1986)	0,03LS 109,33BT	DPS	Digital	Tilpun
Sumedang (1990)	6,90LS 107,50BT	IPS-71	Digital	Tilpun
Manado (1995)	1,48LU 120,85BT	IPS-51	Digital	Tilpun
Kupang ()	10,17LS 123,98BT		Digital	
Medan ()	3,58LU 98,67BT		Digital	

Tabel 2 : Parameter dan aplikasi IPS-71

THE IPS-71 ADVANCED DIGITAL IONOSONDE SYSTEM

DATA ACQUISITION MODES OF THE IPS-71	PARAMETER	DATA OUTPUT OPTIONS	ROUTINE & SCIENTIFIC RESEARCH APPLICATIONS
Conventional Ionogram	Group Delay (Height) and Amplitude, versus Frequency	.AMP File SMARTIST Data SMARTPOL Data PRINTOUTS 1,2,4,96	Standard Monthly URSI Reporting Study of Ionospheric Dynamics Nowcasting Monthly Predictions Yearly Predictions Real-Time Remote Control Absorption available from Amplitude Data
Doppler Ionogram	Group Delay (Height) and Amplitude and Doppler Spectrum versus Frequency	.DOP File .AMP File (Optional) SMARTIST Data Files SMARTPOL Data Files PRINTOUTS 1,2,4,96	All Conventional Ionogram features plus Additional data for study of Ionospheric Structure and Dynamics Doppler Shift and Doppler Spread
Surveillance Mode	Amplitude versus Frequency across RF Spectrum	.SUR File PRINTOUTS 1,2,4	Routine HF Spectrum Monitoring HF Field Strength Monitoring for nominated HF Transmitters Remote monitoring of ionospheric disturbances
Phase Sounding	Group Delay (Height) and Phase versus Frequency	.PHA File PRINTOUTS 1,2,4	Analysis of precise structure of the Ionosphere at nominated Frequencies Analysis of Phase Height when using 'delta f' technique.
Sky Map	Group Delay (Height) and Amplitude versus Azimuth and Elevation	.SKM File PRINTOUTS 1,2,4	Detailed Analysis of Ionospheric Dynamics, studying the directions of movement and ionospheric echoes.

Tabel 3 : MUF hasil prediksi metoda AR

PREDIKSI MUF (FREKUENSI KOMUNIKASI MAXIMUM) TAHUN 1993
 ANTARA KOTA : BANDUNG - M E D A N
 DENGAN JARAK : 1526. KM

JAM/BLN	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
0.00	31.7	39.3	41.9	41.5	45.1	21.1	25.0	32.4	36.4	38.0	29.1	29.7
1.00	37.0	41.6	41.2	41.6	44.0	31.1	27.1	27.2	33.4	42.8	34.0	23.9
2.00	29.6	40.6	42.3	37.5	42.8	19.9	21.6	19.7	31.9	38.7	30.7	28.8
3.00	24.5	34.2	39.7	27.1	29.9	20.5	19.2	19.5	18.4	40.2	30.9	27.1
4.00	24.5	36.5	38.0	23.1	19.4	18.4	22.7	13.3	14.4	32.0	31.2	26.2
5.00	20.9	34.9	35.5	23.4	17.5	14.5	24.0	20.5	19.9	32.9	33.9	25.2
6.00	25.9	31.8	31.3	27.3	25.5	18.2	22.4	15.2	21.3	37.6	31.9	28.6
7.00	28.6	35.3	33.6	37.2	34.5	23.7	26.9	26.3	31.7	39.3	34.4	28.0
8.00	32.3	36.5	34.6	37.7	48.9	26.1	30.2	32.9	38.4	40.7	36.4	33.2
9.00	26.3	36.6	40.4	36.3	37.6	29.0	30.9	31.2	42.2	35.8	34.9	30.7
10.00	30.6	35.2	38.0	30.3	37.8	28.5	28.7	26.9	36.2	33.0	35.8	30.0
11.00	28.6	30.5	40.3	33.0	31.1	28.2	31.7	26.0	36.7	31.8	25.3	23.2
12.00	26.9	36.2	38.7	33.7	37.9	25.4	24.0	25.2	34.1	26.9	27.8	29.0
13.00	29.6	30.2	39.4	27.4	36.4	26.9	26.9	22.3	33.4	27.7	33.1	18.9*
14.00	29.6	23.4	32.9	27.6	31.7	21.1	21.8	27.7	24.2	29.5	33.1	19.4*
15.00	41.2	26.9	41.9	33.0	36.4	22.1	24.8	26.4	38.4	36.1	29.6	24.1
16.00	38.1	26.3	41.4	29.2	38.5	24.7	25.0	23.2	34.6	32.4	30.2	21.4
17.00	30.7	27.8	36.7	36.4	37.3	28.7	27.3	25.6	30.3	31.5	28.9	23.4
18.00	28.9	28.3	38.8	36.4	39.0	24.5	32.3	31.1	29.7	30.1	26.1	23.0
19.00	35.1	25.7	35.4	32.0	40.9	27.9	32.7	31.2	41.4	28.0	21.6	19.8
20.00	32.5	29.4	33.3	36.9	41.1	28.2	34.0	29.9	31.1	31.2	34.8	17.7
21.00	38.4	35.0	41.4	41.9	40.3	27.2	31.9	36.9	39.2	31.2	30.1	23.1
22.00	38.2	42.9	36.3	39.9	45.4	24.9	31.0	28.7	32.9	41.2	32.2	25.7
23.00	27.1	39.3	44.4	42.6	40.2	28.5	28.9	32.2	28.0	35.5	29.8	24.7

Tabel 4 : LUF hasil prediksi metoda AR

PREDIKSI LUF (FREKUENSI KOMUNIKASI MINIMUM) TAHUN 1993
 ANTARA KOTA : BANDUNG - M E D A N
 DENGAN JARAK : 1526. KM

JAM/BLN	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DES
0.00	10.8	10.8	9.4	8.8	11.7	9.7	9.0	8.7	10.5	8.1	8.1	8.6
1.00	9.8	9.6	9.6	8.8	11.7	8.9	9.3	8.2	10.2	9.5	9.5	10.1
2.00	10.4	9.8	8.7	8.4	11.8	8.6	8.6	9.0	10.2	9.6	9.6	9.6
3.00	9.7	9.5	8.9	8.7	8.9	7.6	6.9	8.2	10.1	9.5	9.5	9.5
4.00	9.6	9.3	9.0	8.2	8.5	7.1	7.5	8.6	10.1	8.9	9.5	10.1
5.00	9.4	8.9	8.6	6.3	12.2	8.1	7.2	6.8	9.4	10.4	11.0	11.0
6.00	10.5	9.2	9.2	13.4	12.6	8.1	8.1	8.8	10.8	13.8	10.6	13.8
7.00	11.2	11.9	9.9	8.6	12.7	9.5	8.1	9.2	12.7	17.0	12.8	13.3
8.00	15.3	10.4	14.2	13.1	12.5	7.1	10.3	9.0	13.2	21.1	22.6	15.3
9.00	13.5	11.5	14.9	16.9	11.1	10.9	10.2	11.1	13.7	22.4	25.7	16.4
10.00	20.6	11.0	23.5	18.9	24.6	11.5	8.3	11.8	13.4	24.6	25.9	24.8
11.00	19.4	23.0	23.0	29.6	25.6	11.6	7.9	11.6	13.1	23.4	12.3	13.8
12.00	22.8	28.3	22.0	28.6	30.6	13.0	7.9	11.7	14.0	21.1	13.3	25.5
13.00	18.5	12.3	11.3	16.1	18.6	11.8	12.2	12.4	13.8	23.2	26.2	24.3*
14.00	16.0	17.4	12.8	23.7	14.6	10.7	8.6	11.8	13.0	21.9	18.0	25.9*
15.00	15.3	16.0	19.7	16.8	11.4	11.0	10.9	12.5	13.1	15.8	20.7	13.4
16.00	13.2	18.8	18.4	15.1	17.4	9.1	10.0	8.9	12.8	15.2	16.7	13.6
17.00	9.4	10.9	10.7	11.3	14.8	7.5	8.7	10.7	12.0	13.0	13.6	10.1
18.00	8.7	9.5	8.6	10.5	14.7	8.1	8.0	8.3	12.2	12.1	11.0	9.4
19.00	9.6	11.0	7.7	9.5	10.6	8.9	8.7	8.9	9.6	10.4	10.9	9.8
20.00	9.8	9.8	10.6	10.4	13.8	8.7	8.9	7.1	13.2	10.4	10.4	10.4
21.00	10.3	12.2	9.7	9.7	13.0	8.1	8.2	8.7	13.4	11.4	10.4	10.9
22.00	10.2	10.8	9.6	9.2	14.2	9.2	8.9	8.7	13.7	10.3	11.5	10.3
23.00	10.1	11.2	8.9	9.5	14.5	8.6	8.5	8.8	9.5	9.3	10.3	10.3

PREDIKSI FREKUENSI KOMUNIKASI RADIO HF TAHUN 1995
L A P A N

Prediksi Frekuensi Komunikasi Radio HF Maksimum (MUF)

Tahun : 1995
 Antara : BANDUNG - MEDAN
 Pemancar (TX) : BANDUNG (6.90 LS 107.60 BT)
 Penerima (RX) : MEDAN (3.58 LU 98.67 BT)
 Jarak : 1530 km
 Sudut Bearing Antena : TX = 319° RX = 140°
 Sudut Elevasi Antena : 14° - 30°

WIB	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DEC
0	8.3	10.4	14.3	13.1	10.4	7.8	8.3	10.0	11.1	11.6	11.1	8.5
1	7.4	7.6	10.4	12.5	10.1	8.0	8.0	8.8	8.6	10.2	9.6	7.1
2	7.0	7.4	8.5	9.3	7.7	6.8	7.2	7.4	7.4	9.6	9.0	6.9
3	5.9	6.7	8.2	7.5	6.3	5.6	6.2	6.4	6.4	8.4	8.2	6.4
4	5.3	6.3	7.3	6.5	5.5	4.7	5.3	5.7	5.8	7.2	6.8	6.3
5	5.0	5.8	6.5	5.3	4.4	4.2	4.8	5.1	5.6	6.4	6.4	5.7
6	6.4	6.6	7.1	7.7	7.9	7.5	6.6	7.1	8.6	10.1	9.8	8.2
7	11.0	12.5	13.7	14.9	14.0	13.1	12.1	12.8	14.9	15.8	14.1	12.7
8	12.9	14.3	15.4	18.0	17.5	16.5	15.7	16.1	17.4	16.7	14.2	13.5
9	12.8	13.7	15.8	18.4	19.5	17.8	16.7	17.2	17.5	15.5	13.6	12.6
10	12.2	13.4	15.8	18.1	19.0	17.9	17.3	16.8	16.8	15.3	13.9	12.6
11	12.7	14.2	16.5	18.0	17.7	17.7	16.2	16.3	15.8	15.7	14.8	13.0
12	13.5	15.1	17.0	18.3	17.8	16.6	15.8	15.8	15.8	15.8	15.4	13.5
13	14.4	15.3	18.4	19.2	18.1	16.2	15.8	16.1	16.4	16.8	15.8	14.6
14	15.4	15.7	19.8	19.1	18.0	16.0	15.8	15.9	16.9	18.0	16.3	15.4
15	15.7	16.3	20.0	18.6	18.2	16.2	15.4	16.5	17.0	18.5	16.7	15.2
16	15.4	16.3	19.6	18.1	17.7	17.3	15.9	16.3	17.1	18.8	17.1	15.1
17	15.3	15.9	19.3	18.7	18.7	17.3	15.9	16.4	17.6	18.3	17.3	15.2
18	14.6	16.1	17.6	19.1	19.4	16.6	15.6	16.7	18.0	17.8	16.8	14.7
19	13.4	15.2	17.2	18.6	18.2	15.6	15.0	16.4	17.6	16.9	15.9	13.8
20	12.4	14.0	18.1	18.1	16.7	13.8	14.9	15.5	17.5	16.7	15.3	13.2
21	12.5	14.4	18.6	18.0	14.6	11.4	12.6	14.9	17.3	17.8	16.2	14.0
22	13.3	15.9	18.6	17.0	11.4	9.0	9.7	12.5	17.1	19.4	18.4	14.7
23	11.6	15.0	18.9	14.8	9.5	7.7	8.6	11.0	14.5	16.0	14.9	10.7

Tabel 5 : MUF hasil prediksi metoda ASAPS

PREDIKSI FREKUENSI KOMUNIKASI RADIO HF TAHUN 1995
L A P A N

Prediksi Frekuensi Komunikasi Radio HF Minimum (LUF)

Tahun : 1995
 Antara : BANDUNG - MEDAN
 Pemancar (TX) : BANDUNG (6.90 LS 107.60 BT)
 Penerima (RX) : MEDAN (3.58 LU 98.67 BT)
 Jarak : 1530 km
 Sudut Bearing Antena : TX = 319° RX = 140°
 Sudut Elevasi Antena : 14° - 30°

WIB	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DEC
0	4.1	5.1	6.7	5.7	4.9	3.9	4.1	4.7	5.6	6.2	5.2	3.8
1	3.6	4.0	5.3	5.5	4.7	3.9	4.0	4.2	4.6	5.2	4.6	3.4
2	3.4	3.8	4.1	4.1	3.7	3.6	3.7	3.8	3.5	4.7	4.3	3.3
3	3.0	3.5	3.6	3.3	3.4	3.2	3.4	3.4	3.0	3.8	4.0	3.2
4	2.7	3.3	3.4	3.0	3.0	2.7	2.9	3.1	2.8	3.4	3.6	3.1
5	2.5	3.0	3.1	2.7	2.6	2.4	2.8	2.8	2.6	2.9	3.1	2.9
6	3.2	3.4	3.7	4.0	4.2	4.0	3.8	3.8	4.2	4.8	4.7	4.0
7	5.9	6.4	7.4	8.2	7.5	7.0	6.5	6.9	8.1	8.8	7.6	6.9
8	7.3	7.9	8.6	10.1	9.4	8.9	8.4	8.7	9.6	9.4	7.8	7.5
9	7.4	7.9	9.1	10.5	10.1	9.6	9.1	9.3	10.0	9.3	8.4	7.7
10	7.7	8.2	9.7	10.7	10.2	9.7	9.4	9.5	10.0	9.5	8.4	7.8
11	7.7	8.4	10.1	11.0	10.1	9.8	9.2	9.3	9.7	9.9	8.7	7.9
12	7.9	8.7	10.1	11.0	10.1	9.6	8.9	8.9	9.5	9.7	8.9	8.0
13	8.2	8.8	10.5	11.2	10.1	9.4	8.7	8.9	9.6	9.9	9.0	8.4
14	8.7	8.9	10.7	11.1	10.1	9.2	8.8	9.0	9.7	10.3	9.2	8.5
15	9.0	9.3	10.9	11.0	10.2	9.6	9.0	9.2	9.8	10.5	9.6	8.8
16	8.9	9.4	10.8	11.0	9.6	9.8	9.0	9.2	10.0	10.9	9.8	8.9
17	8.8	9.4	11.0	11.2	10.3	9.5	9.1	9.5	10.3	10.8	10.0	8.9
18	8.0	8.7	9.9	10.4	9.3	8.3	7.9	8.9	9.7	9.7	9.1	8.2
19	7.1	7.9	8.7	8.9	8.0	7.3	6.9	8.0	8.9	8.7	8.1	7.2
20	6.5	7.4	8.9	8.2	7.4	6.4	6.4	7.3	8.6	8.6	7.6	6.6
21	6.3	7.2	8.8	7.5	6.0	5.3	5.5	6.6	8.0	8.7	7.8	6.8
22	6.5	7.2	8.3	6.7	4.8	4.5	4.4	5.3	7.5	8.8	8.2	6.8
23	5.4	6.5	8.0	6.3	4.3	3.9	4.1	4.9	6.6	7.5	6.7	5.0

Tabel 6 : LUF hasil prediksi metoda ASAPS

PREDIKSI FREKUENSI KOMUNIKASI RADIO HF TAHUN 1995
L A P A N

Prediksi Frekuensi Komunikasi Radio HF Optimum (OWF)

Tahun : 1995
 Antara : BANDUNG - MEDAN
 Pemancar (TX) : BANDUNG (6.90 LS 107.60 BT)
 Penerima (RX) : MEDAN (3.58 LU 98.67 BT)
 Jarak : 1530 km
 Sudut Bearing Antena : TX = 319° RX = 140°
 Sudut Elevasi Antena : 14° - 30°

WIB	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DEC
0	5.6	7.1	10.5	9.5	7.0	5.1	5.5	6.7	8.1	8.5	7.5	5.7
1	5.0	5.2	7.6	9.1	6.7	5.3	5.3	5.8	6.2	7.4	6.5	4.7
2	4.7	4.9	5.6	6.2	5.1	4.5	4.8	4.9	4.9	6.4	6.1	4.6
3	4.0	4.6	4.9	4.5	4.2	3.8	4.2	4.4	3.8	5.1	5.7	4.4
4	3.5	4.2	4.4	3.8	3.7	3.1	3.6	3.8	3.4	4.3	4.7	4.3
5	3.3	3.9	3.8	3.1	2.9	2.7	3.2	3.4	3.2	3.8	4.3	3.9
6	4.7	4.8	5.0	5.5	5.9	5.6	4.9	5.3	6.1	7.3	7.4	6.1
7	9.0	10.2	11.6	12.6	11.5	10.7	9.8	10.5	12.7	13.4	11.5	10.3
8	10.6	11.7	13.1	15.3	14.4	13.5	12.9	13.2	14.8	14.2	11.6	11.0
9	11.4	11.5	13.5	15.7	16.0	14.6	13.7	14.1	15.0	13.2	11.3	11.2
10	12.2	12.3	13.6	15.6	15.6	14.7	14.2	13.8	14.5	13.2	12.1	12.0
11	12.7	12.8	14.6	15.9	14.5	14.5	13.3	13.4	14.0	13.9	12.6	12.4
12	12.8	13.0	15.0	16.2	14.7	13.7	13.0	13.0	14.0	14.0	12.8	12.6
13	12.7	12.9	16.3	17.0	14.8	13.4	13.0	13.2	14.5	14.9	13.0	12.5
14	12.7	12.9	17.1	16.6	14.8	13.2	13.0	13.1	14.6	15.6	13.4	12.7
15	13.1	13.6	17.1	15.9	15.1	13.5	12.8	13.7	14.5	15.8	13.9	12.6
16	12.8	13.6	16.8	15.5	14.8	14.4	13.3	13.5	14.6	16.0	14.2	12.6
17	12.7	13.3	16.5	16.0	15.5	14.4	13.3	13.7	15.0	15.6	14.4	12.7
18	11.3	12.4	13.9	15.1	14.9	12.8	12.0	12.8	14.1	13.9	13.0	11.3
19	9.6	10.9	12.6	13.5	13.0	11.2	10.7	11.7	12.6	12.1	11.4	9.9
20	8.8	10.0	13.2	13.2	11.9	9.8	10.6	11.1	12.5	12.0	11.0	9.4
21	8.9	10.3	13.5	13.1	10.4	8.0	8.9	10.6	12.4	12.8	11.6	10.0
22	9.3	11.2	13.5	12.3	7.8	6.1	6.6	8.6	12.4	14.0	12.8	10.1
23	8.0	10.4	13.9	10.9	6.3	5.1	5.7	7.4	10.6	11.7	10.1	7.2

Tabel 7 : (a) OWF hasil prediksi metoda ASAPS

PREDIKSI FREKUENSI OPTIMUM KOMUNIKASI RADIO HF
ANTAR IBUKOTA PROPINSI
UNTUK 17 AGUSTUS 1995 JAM 10 WIB
OLEH
LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL (LAPAN)

IBUKOTA PROPINSI	
OWF	AMB BAC BDL BDG BJM BKL DPS DIL JKT JMB JYP KND KPG MND MTH MDN PDG PKB PKR PLB PAL PTK SMD SHR SBY UPD YOG
AMB	20.9 20.2 20.5 15.0 21.2 11.4 9.9 20.6 20.2 14.8 9.4 11.7 9.2 15.7 20.6 21.3 20.7 15.0 20.2 11.0 17.3 12.8 11.1 17.8 11.6 19.2
BAC	20.9 14.3 16.3 17.3 12.5 19.5 21.9 15.5 11.6 18.3 20.9 21.8 18.7 19.6 7.2 10.2 10.1 16.9 12.8 18.8 13.5 18.0 17.1 18.2 19.6 17.7
BDL	20.2 14.3 8.0 11.1 7.7 13.0 20.2 7.9 8.0 24.6 17.1 19.1 17.8 13.5 12.0 9.3 9.0 11.0 7.6 15.1 9.3 13.4 9.1 10.7 15.7 9.1
BDG	20.5 16.3 8.0 10.8 9.3 10.9 18.8 7.5 9.2 24.6 16.6 17.5 17.3 11.3 13.8 10.8 10.5 10.3 8.3 14.5 9.6 12.7 8.1 9.0 14.1 8.6
BJM	15.0 17.3 11.1 10.8 13.1 9.2 14.7 10.6 12.1 22.3 10.5 14.4 12.1 9.5 15.4 14.1 13.4 9.1 11.2 9.0 9.1 8.3 9.3 9.6 9.0 9.7
BKL	21.2 12.5 7.7 9.3 13.1 15.3 21.5 8.4 7.8 18.8 18.5 20.9 18.8 16.0 10.4 7.9 8.0 12.7 7.7 16.4 10.0 14.7 11.1 13.0 16.8 11.5
DPS	11.4 19.5 13.0 10.9 9.2 15.3 13.4 11.6 15.2 24.1 11.9 11.7 15.2 7.5 17.8 16.1 15.7 10.0 14.0 11.6 12.2 10.9 9.0 8.1 9.5 8.7
DIL	9.9 21.9 20.2 18.8 14.7 21.5 13.4 19.3 20.9 19.1 9.8 8.1 12.5 12.6 21.5 21.5 21.1 15.6 20.5 12.3 17.9 13.6 17.2 15.6 10.8 17.2
JKT	20.6 15.5 7.9 7.5 10.6 8.4 11.6 19.3 8.7 24.6 17.1 18.1 17.6 12.8 13.1 10.2 10.0 10.5 7.9 14.7 9.4 12.9 8.3 9.5 14.4 8.3
JMB	20.2 11.6 8.0 9.2 12.1 7.8 15.2 20.9 8.7 17.9 17.4 20.5 17.7 15.5 9.4 8.1 8.0 11.4 7.7 15.3 9.1 13.4 10.6 12.0 15.7 10.9
JYP	14.8 18.3 24.6 24.6 22.3 18.8 24.1 19.1 24.6 17.9 18.9 20.6 16.5 24.0 17.9 18.5 18.0 22.1 24.1 19.4 22.3 20.4 24.1 24.7 20.7 25.3
KND	9.4 20.9 17.1 16.6 10.5 18.5 11.9 9.8 17.1 17.4 18.9 10.1 9.2 11.3 19.1 18.8 18.3 11.0 17.0 8.5 13.9 9.5 14.7 12.9 8.4 15.1
KPG	11.7 21.8 19.1 17.5 14.4 20.9 11.7 8.1 18.1 20.5 20.6 10.1 14.1 10.9 21.5 22.0 21.6 15.0 19.8 13.3 18.1 14.2 15.7 14.1 10.4 15.7
MND	9.2 18.7 17.8 17.3 12.1 18.8 15.2 12.5 17.6 17.7 16.5 9.2 14.1 14.5 19.0 18.8 18.7 11.9 17.3 8.6 14.0 9.6 16.4 15.4 10.8 16.8
MTH	15.7 19.6 13.5 11.3 9.5 16.0 7.5 12.6 12.8 15.5 24.0 11.3 10.9 14.5 18.2 16.6 16.1 10.1 14.3 11.3 12.6 10.9 9.3 8.2 9.1 9.2
MDN	20.6 7.2 12.0 13.8 15.4 10.4 17.8 21.5 13.1 9.4 17.9 19.1 21.5 19.0 18.2 8.6 8.6 14.8 10.5 17.5 11.6 16.1 15.2 16.2 18.2 15.5
PDG	21.3 10.2 9.3 10.8 14.1 7.9 16.1 21.5 10.2 8.1 18.5 18.8 22.0 18.8 16.6 8.6 7.7 13.7 8.5 16.9 10.7 15.3 12.4 14.1 17.6 12.8
PKB	20.7 10.1 9.0 10.5 13.4 8.0 15.7 21.1 10.0 8.0 18.0 18.3 21.6 18.7 16.1 8.6 7.7 12.7 8.3 16.1 12.7 14.4 12.1 13.7 17.1 12.4
PKR	15.0 16.9 11.0 10.3 9.1 12.7 10.0 15.6 10.5 11.4 22.1 11.0 15.0 11.9 10.1 14.8 13.7 12.7 10.9 9.1 8.7 8.3 9.3 8.9 9.4 10.0
PLB	20.2 12.8 7.6 8.3 11.2 7.7 14.0 20.5 7.9 7.7 24.1 17.0 19.8 17.3 14.3 10.5 8.5 8.3 10.9 14.7 8.9 13.1 9.6 11.6 15.1 10.3
PAL	11.0 18.8 15.1 14.5 9.0 16.4 11.6 12.3 14.7 15.3 19.4 8.5 13.3 8.6 11.3 17.5 16.9 16.1 9.1 14.7 11.3 8.0 12.6 11.7 8.6 13.0
PTK	17.3 13.5 9.3 9.6 9.1 10.0 12.2 17.9 9.4 9.1 22.3 13.9 18.1 14.0 12.6 11.6 10.7 12.7 8.7 8.9 11.3 9.8 9.6 10.2 12.5 10.2
SMD	12.8 18.0 19.4 12.7 8.3 14.7 10.9 13.6 12.9 13.4 20.4 9.5 14.2 9.6 10.9 16.1 15.3 14.4 8.3 13.1 8.0 9.8 11.2 10.4 8.9 11.9
SHR	11.1 17.1 9.1 8.1 9.3 11.1 9.0 17.2 8.3 10.6 24.1 14.7 15.7 16.4 9.3 15.2 12.4 12.1 9.3 9.6 12.6 9.6 11.2 8.1 12.0 7.5
SBY	17.8 18.2 10.7 9.0 9.6 13.0 8.1 15.6 9.5 12.0 24.7 12.9 14.1 15.4 8.2 16.2 14.1 13.7 8.9 11.6 11.7 10.2 10.4 8.1 10.4 8.0
UPD	11.6 19.6 15.7 14.1 9.0 16.8 9.5 10.8 14.4 15.7 20.7 8.4 10.4 10.8 9.1 18.2 17.6 17.1 9.4 15.1 8.6 12.5 8.9 12.0 10.4 12.0
YOG	19.2 17.7 9.1 8.6 9.7 11.5 8.7 17.2 8.3 10.9 25.3 15.1 15.7 16.8 9.2 15.5 12.8 12.4 10.0 10.3 13.0 10.2 11.9 7.5 8.0 12.0

KETERANGAN :

AMB - AMBON	DIL - DILI	MTH - MATARAM	PTK - PONTIANAK
BAC - BANDA ACEH	JKT - JAKARTA	MDN - MEDAN	SMD - SAMARINDA
BDL - BANDAR LAMPUNG	JMB - JAMBI	PDG - PADANG	SHR - SEMARANG
BDG - BANDUNG	JYP - JAYAPUR	PKB - PAKANBARU	SBY - SURABAYA
BJM - BANJARHMASIN	KND - KENDARI	PKR - PALANGKARAYA	UPD - UJUNG PANDANG
BKL - BENGKULU	KPG - KUPANG	PLB - PALEMBANG	YOG - YOGYAKARTA
DPS - DENPASAR	MND - MAHADO	PAL - PALU	

OWF (Optimum Working Frequency) = Frekuensi kerja optimum yang sebaiknya digunakan pada tanggal 17 Agustus 1995 jam 10 WIB (dalam satuan MHz)

Tabel 7 : (b) OWF antar ibukota propinsi
tgl 17 Agustus 1995 jam 10.00 WIB.

Tabel 8 : (a) Data f_{min} Biak November 1994

3 IONOSPHERIC DATA

3.1. HOURLY VALUES OF FMIN AT BIAK (1.1 °S, 136.05 °E)
NOVEMBER 1994

D/H	AUTOMATIC SCALING																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1		2.34	2.08	2	2.54	2.54	2.59	4.4									4.18			3.46	2.68	2.76	2.64	2.64	
2	2.86	2.16	2.46		2.4		4.84	4.76		.8	.8	.8	.8	.8	.8	.8		2.76	2.7	2.66	2.66	2.68	2.64	2.76	
3				.8		.8			.8	.8	.8		.8	.8	.8	.8	.8								
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14									3.26		4.85							2.64	2.78	2.86	2.68		1.86	2.7	
15	2.08	2.46	2	2.08	1.86	2.7	2.16	3.28	3.6		.8		4.44	.8	.8	.8	3.34	3.4	2.65		2.76	.8	2.46	2.66	
16	2.46	2.46	2.7	2.76	2.7	2.68	2.7	2.76		.8	4.8			.8	.8	.8	3.84	3.25	2.28	2.8	2.68	2.46	2.65	2.8	
17	2.86	2.08	2.64			2.68	2.7			.8	4.44		.8	.8	.8		4.18		2.68	3.46	2.85	2.7	2.68	2.65	
18	2.7		1.76		.8	.8		2.86	4.16	3.34		.8		.8	.8	4.76	4.3	4.44	3.04	2.86	2		2.7	2.6	
19	2.76		.8	2.7	2.16	2	2.08	2.58	2.76	3.76		.8	.8	.8				2.7		2.34	2.7	2.65	2.7	2.76	4.6
20		.8	.8	2.4	2.7			2.58				.8	.8	.8			4.88	2.68	2.86	2.6	2.86	2.68			
21									4.34	4.18	4.3		.8	.8	.8	.8		4.44	2.7	2.65	2.08	2.7	1.88	1.85	2.54
22	2.08	2.16		.8	1.86	2.7	2.54	2	2.08			4.44		.8	.8	.8	.8	3.26		2.7		2.7	2.7	2.46	
23	2.7		.8	2.16	2.08	1.86	1.85						.8	.8	.8	.8			.8						
24		.8	.8																						
25																									
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									

D Day
H: Hour (Local Time)

Tabel 8 : (b) Data bilangan sunspot Biak November 1994

2. RELATIVE SUNSPOT NUMBERS.

WATUKOSEK (7.57 °S, 112.65 °E)

November 1994

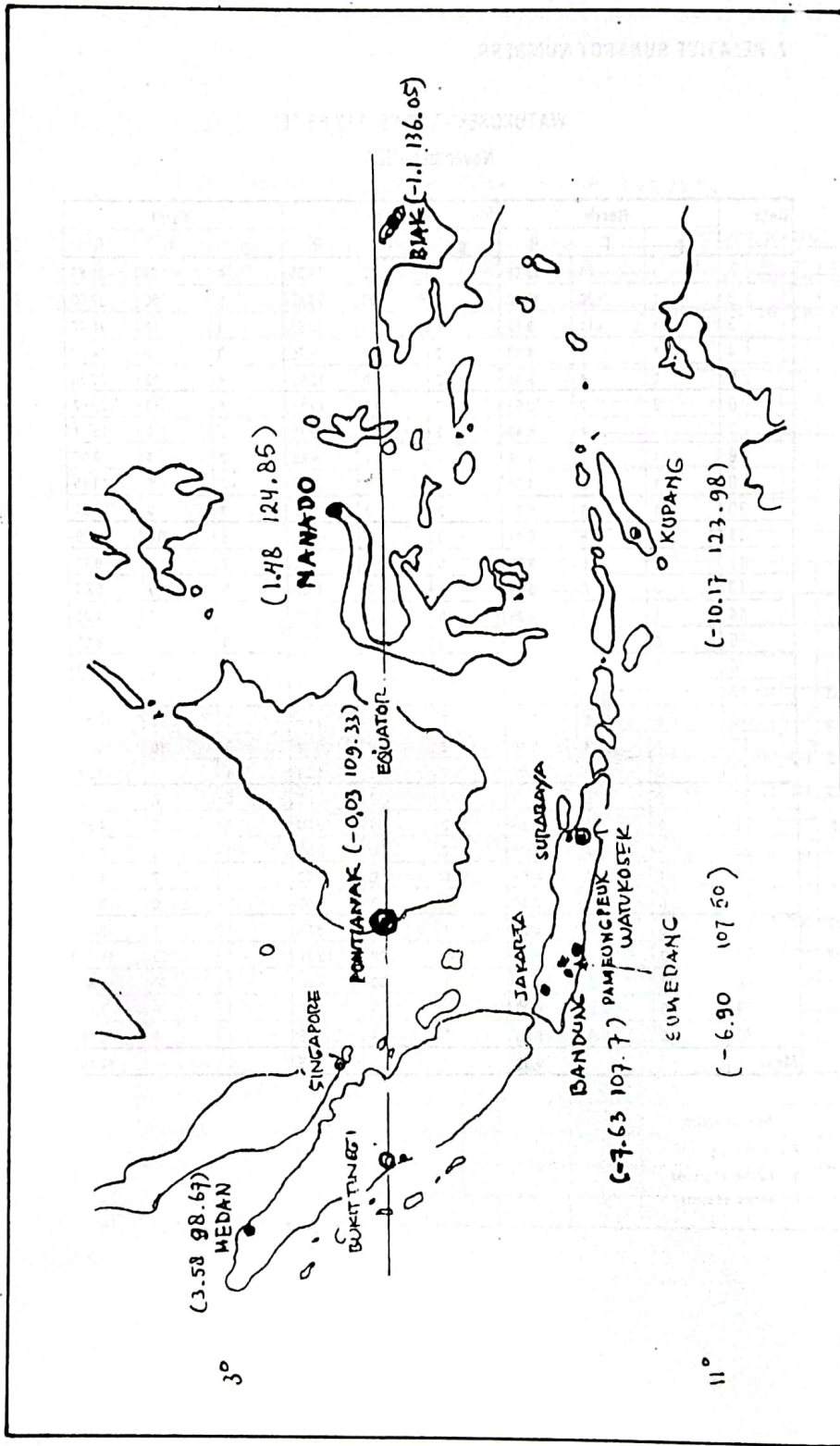
Date	North			South			Total		
	g	f	R	g	f	R	g	f	R
1	1	24	13.26	3	15	17.55	4	39	30.81
2	1	30	15.60	4	20	23.40	5	50	39.00
3	1	11	8.19	2	7	10.53	3	18	18.72
4	1	2	4.68	2	5	9.75	3	7	14.43
5	2	4	9.36	2	8	10.92	4	12	20.28
6	2	7	10.53	2	6	10.14	4	13	20.67
7	1	4	5.46	2	5	9.75	3	9	15.21
8	1	2	4.68	1	2	4.68	2	4	9.36
9	1	2	4.68	2	3	8.97	3	5	13.65
10	1	3	5.07	2	3	8.97	3	6	14.04
11	2	5	9.75	3	6	14.04	5	11	23.79
12	2	5	9.75	0	0	0	2	5	9.75
13	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
14	1	1	4.29	0	0	0.00	1	1	4.29
15	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
16	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
17									
18	0	0	0.00	2	12	12.48	2	12	12.48
19	1	4	5.46	2	6	10.14	3	10	15.60
20	0	0	0.00	1	1	4.29	1	1	2.29
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	2	4.68	0	0	0.00	1	2	4.68
23	1	2	4.68	0	0	0.00	1	2	4.68
24	1	2	4.68	0	0	0.00	1	2	4.68
25	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
26	0	0	0.00	1	11	8.19	1	11	8.19
27	0	0	0.00	1	29	15.21	1	29	15.21
28	0	0	0.00	1	30	15.60	1	30	15.60
29	0	0	0.00	1	9	7.41	1	9	7.41
30	0	0	0.00	1	4	5.46	1	4	5.46
Mean			4.30			7.15			11.46

: No observation.

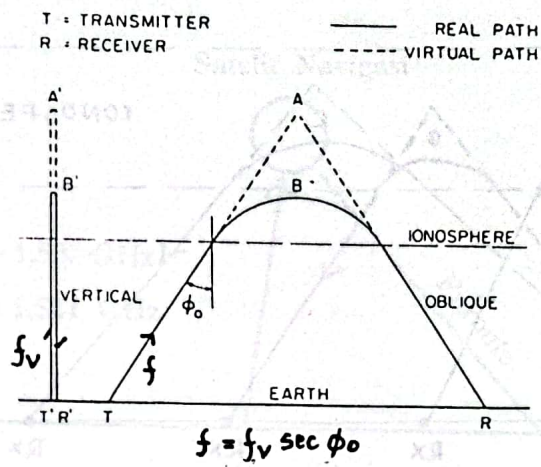
$R = 0.39 (10g + f)$

g : number of groups

f : number of spots

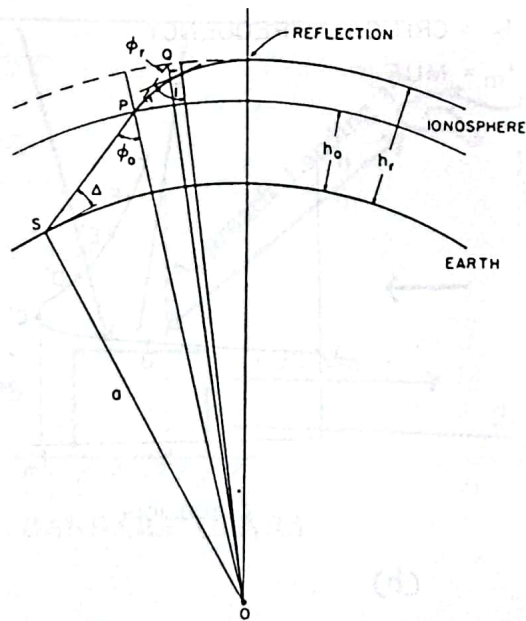


Gambar 1 : Stasiun ionosonda di Indonesia



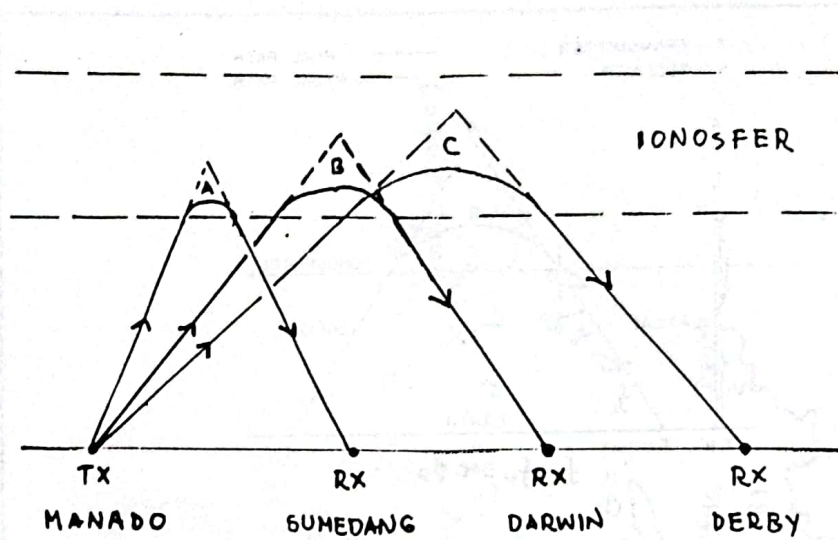
(a)

OBLIQUE PROPAGATION



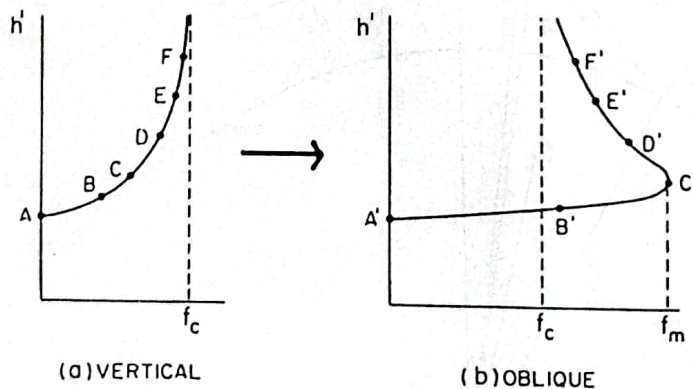
(b)

Gambar 2 : (a) Hubungan frekuensi oblique dengan frekuensi vertikal
(b) Propagasi sinyal oblique



(a)

f_c = CRITICAL FREQUENCY
 f_m = MUF

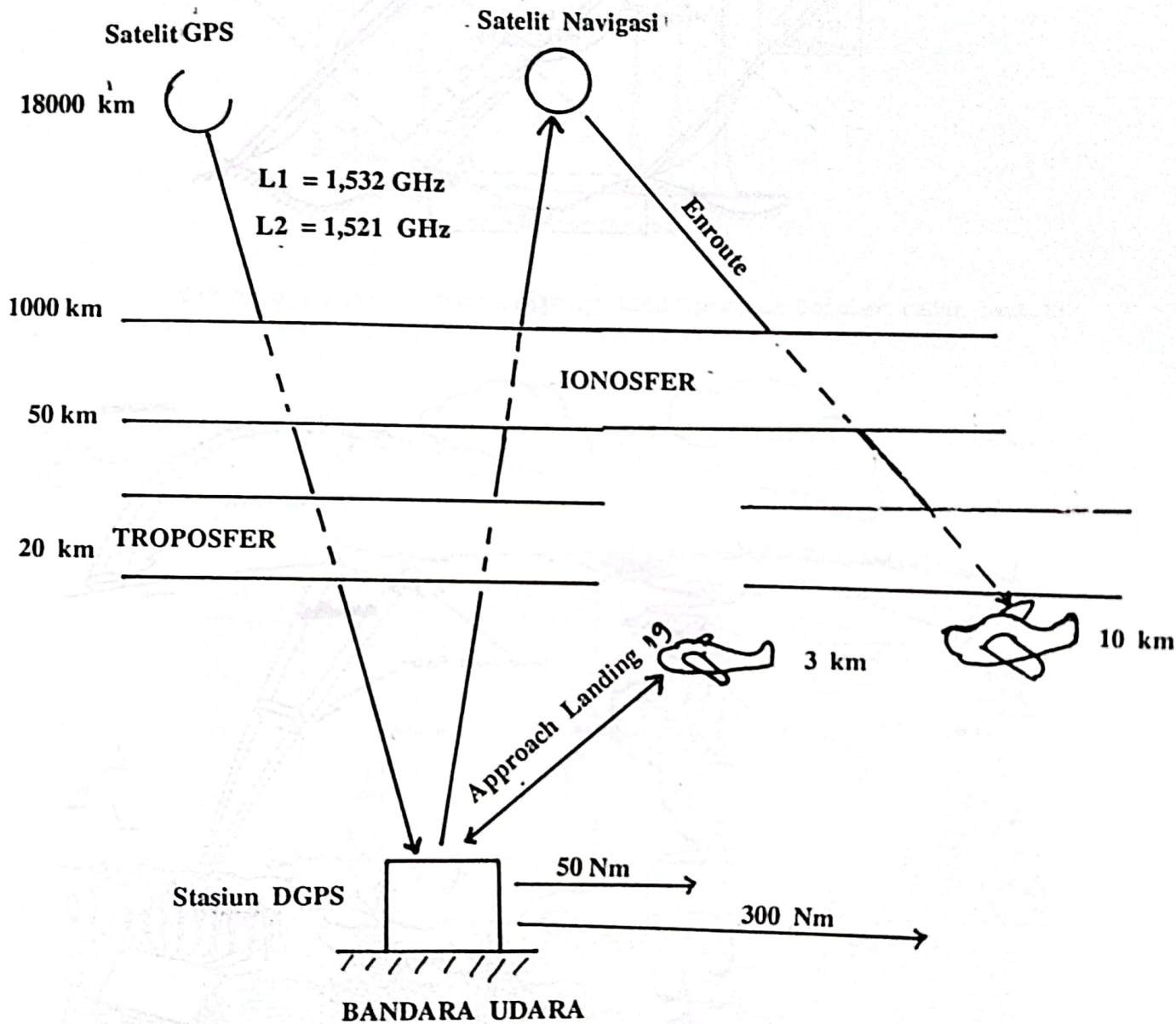


(a) VERTICAL

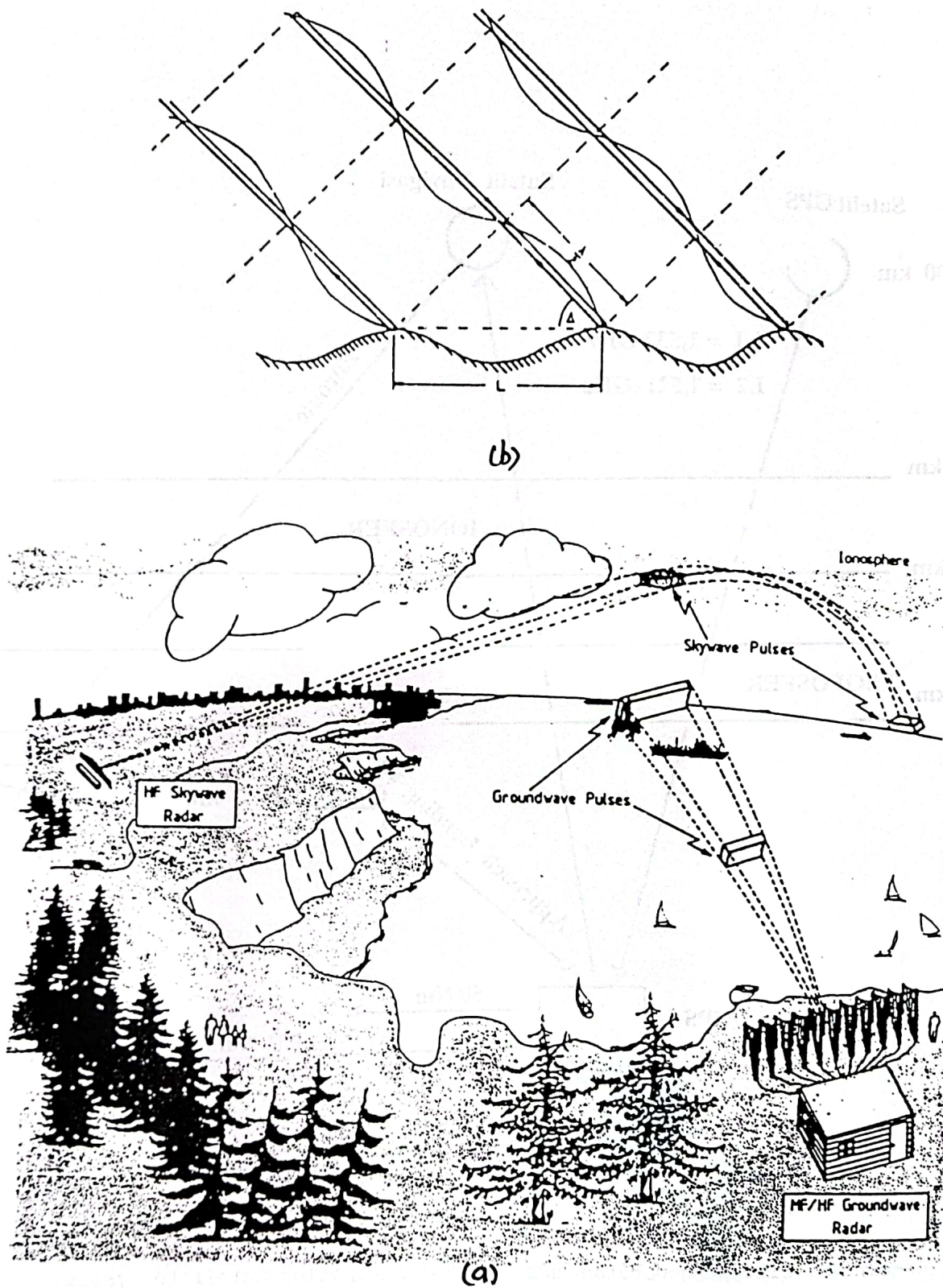
(b) OBLIQUE

(b)

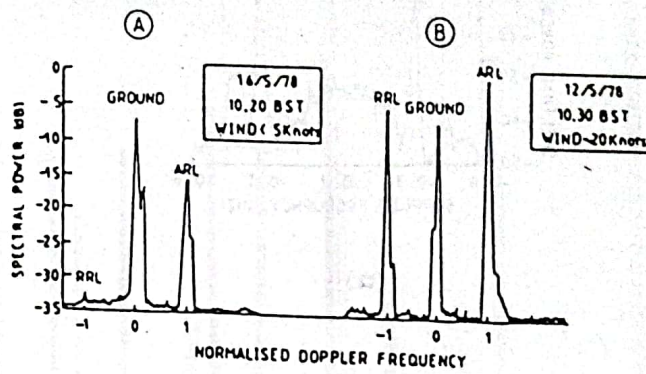
Gambar 3 : (a) Sistem ionosonda oblique Manado - Sumedang
 (b) Konversi ionosonda vertikal ke ionosonda oblique



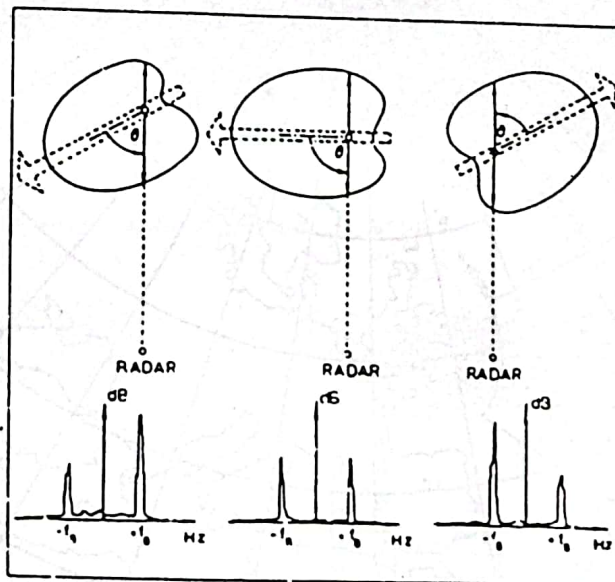
Gambar 4 : Sistem pendaratan GNSS (Global Navigation Satellite System)



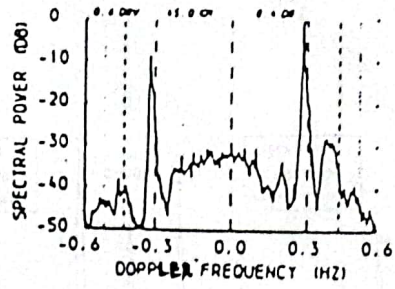
Gambar 5 : (a) Radar laut HF ground wave dan sky wave
 (b) Hamburan balik resonansi Bragg



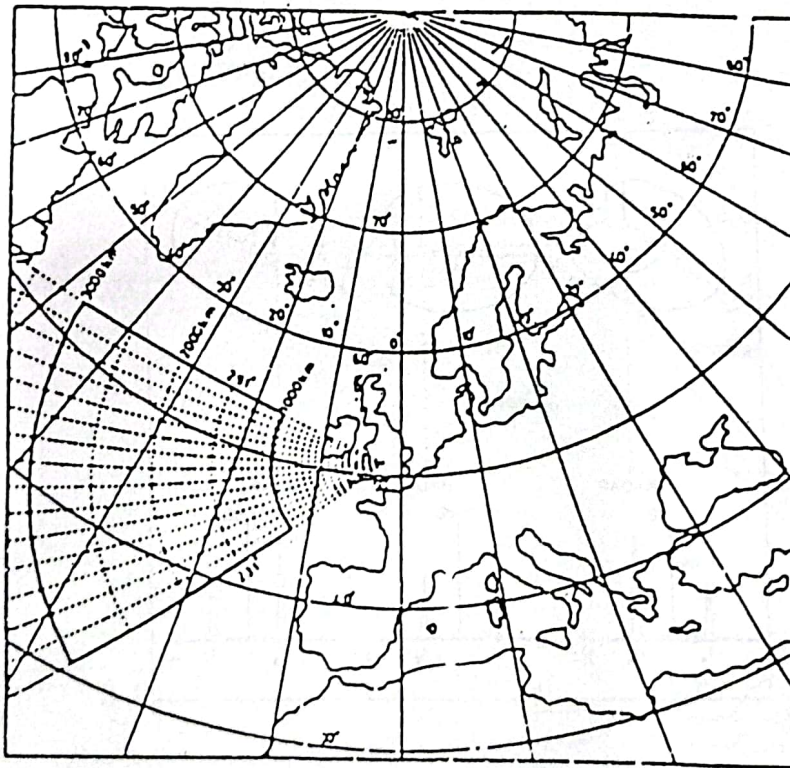
Gambar 6 : Garis resonansi Bragg pada spektrum Doppler radar laut HF



Gambar 7 : Hubungan arah angin dengan garis resonansi Bragg

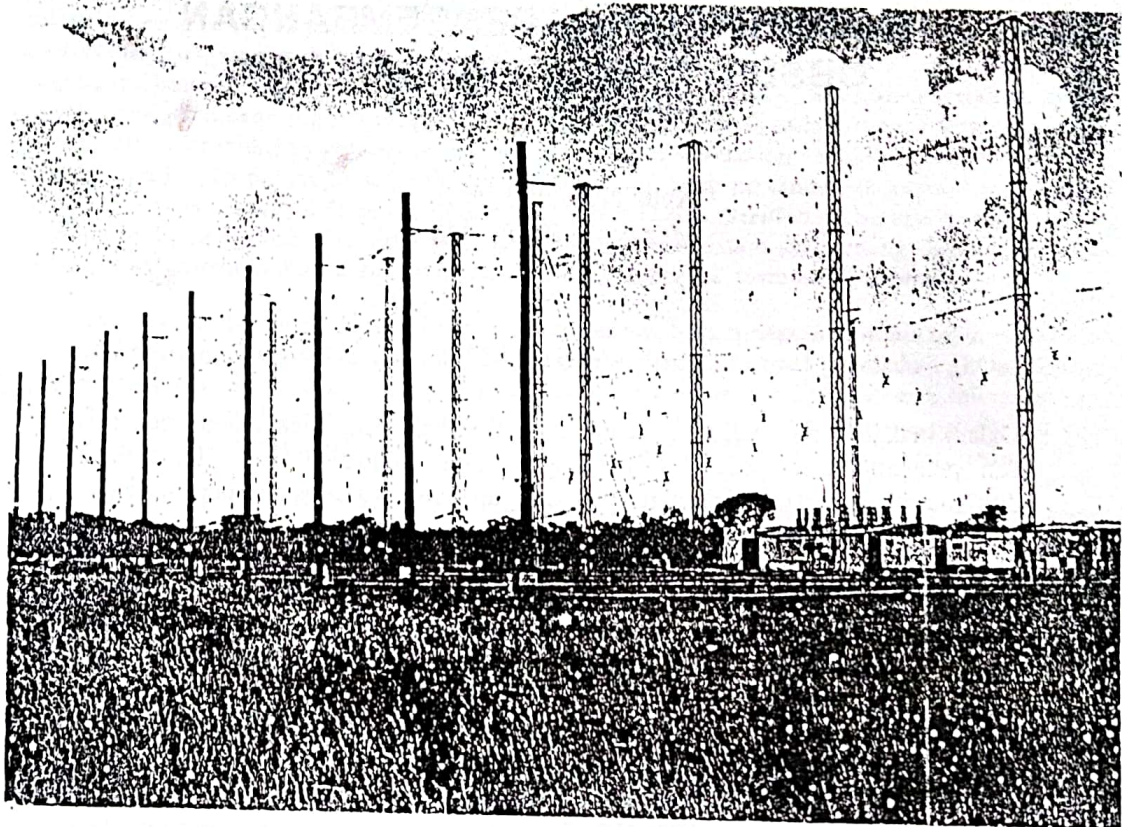


(a)

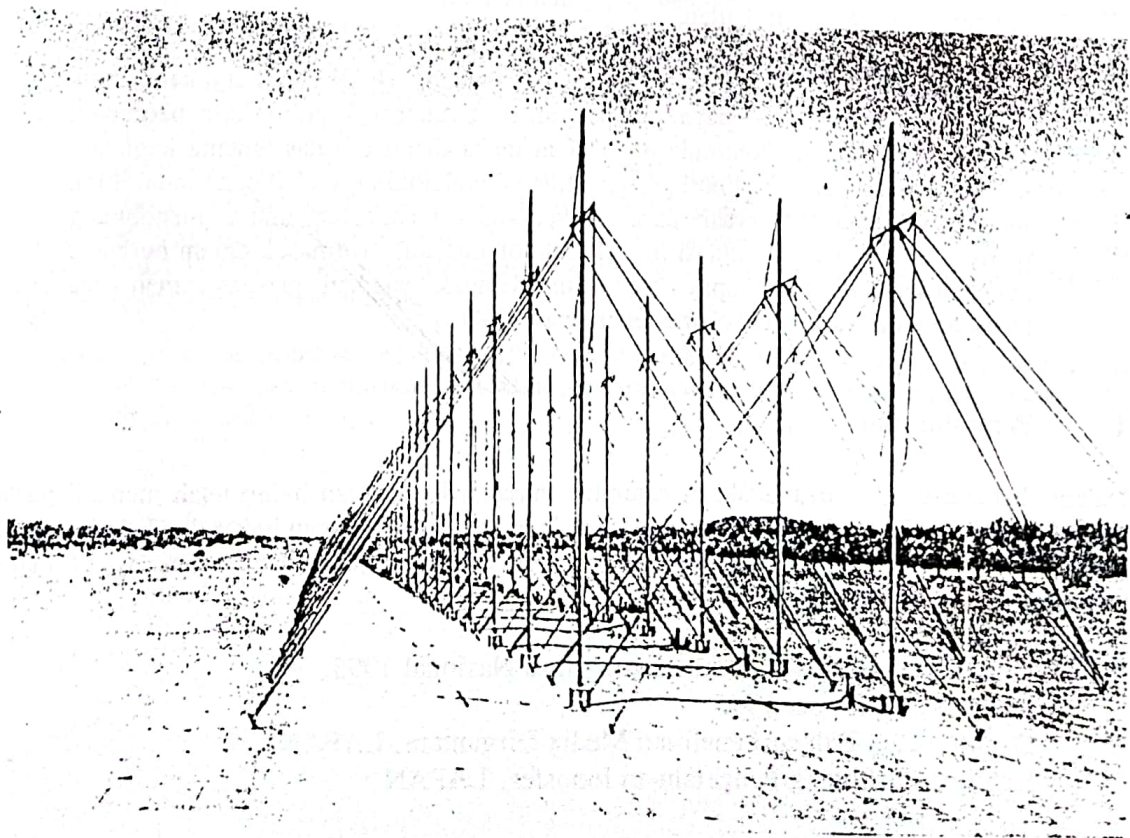


(b)

Gambar 8 : (a) Garis resonansi Bragg orde dua
(b) Liputan radar laut HF sky-wave



Gambar 9 : Susunan antena pemancar OTHR



Gambar 10 : Susunan antena penerima OTHR