

# LAPISAN IONOSFER DAN PERAMBATAN GELOMBANG RADIO HF

Sri Suhartini

*Kelompok Penelitian Ionosfer dan Propagasi Gelombang Radio  
Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN*

## Abstract

*Long range communications by using high frequency radio waves (3–30 MHz), exploit ionosphere layers as a "reflector" of the radio waves. Ionosphere characteristics influenced by nature's phenomena like solar and geomagnetic activities makes the HF communications depend on nature conditions. Besides that, radio waves that can return by ionosphere depend on the other parameter as the frequency, distance and elevation angle.*

## Abstrak

Gelombang radio dalam rentang frekuensi tinggi (HF : 3 – 30 MHz) yang digunakan dalam komunikasi SSB, memanfaatkan lapisan ionosfer untuk dapat menjangkau jarak jauh. Ketika gelombang radio sampai di ionosfer, akan dibelokkan secara bertahap sampai akhirnya keluar dari lapisan ionosfer dan kembali menuju bumi. Karakteristik ionosfer yang dipengaruhi oleh berbagai fenomena seperti aktivitas matahari dan medan magnet bumi membuat komunikasi jenis ini sangat bergantung pada kondisi alam. Selain itu, gelombang radio yang dapat dikembalikan oleh ionosfer juga tergantung pada parameter-parameter lain seperti frekuensi, jarak dan sudut pancarnya.

Kata kunci : *ionosfer, gelombang radio HF*

## 1. Pendahuluan

Gelombang radio HF (*High Frequency*) atau SW (*Short Wave*) telah menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia sehari-hari. Setiap waktu kita dapat dengan mudah mendengarkan

siaran radio dari berbagai penjuru dunia dan memilih siaran apa yang ingin kita dengarkan. Komunikasi menggunakan gelombang radio HF juga dilakukan di berbagai instansi pemerintah seperti TNI, Polri dan Pemda, yang secara umum disebut SSB (meskipun istilah ini sebenarnya kurang tepat). Bagaimana gelombang radio yang dipancarkan dari jarak sangat jauh dapat sampai ke pesawat radio kita? Siaran radio dari dalam dan luar negeri dapat sampai ke pesawat radio kita setelah melalui proses penjalaran di udara. Gelombang radio dari pemancar merambat menuju lapisan ionosfer. Ketika sampai di ionosfer, gelombang radio akan dibelokkan oleh lapisan tersebut, kemudian keluar dari ionosfer kembali ke bumi dan masuk ke antena pesawat radio kita.

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer yang terletak pada ketinggian sekitar 50 sampai lebih dari 1000 km di atas permukaan bumi dan mengandung partikel bermuatan listrik. Lapisan ini mampu memantulkan gelombang pendek. Ketika gelombang radio mencapai lapisan ionosfer sebagian energinya akan diserap oleh lapisan ionosfer dan sebagian lagi akan dipantulkan sehingga kembali lagi ke bumi dan sebagian lainnya akan menembus lapisan ionosfer ke angkasa luar. Kemampuan ionosfer dalam memantulkan gelombang radio tergantung pada kerapatan elektron di lapisan-lapisannya. Semakin tinggi kerapatan elektron, semakin tinggi pula frekuensi yang dapat dipantulkan. Selain kerapatan elektron, keberhasilan komunikasi juga ditentukan oleh faktor-faktor lain seperti jarak antara pemancar dan penerima serta sudut elevasi pemancaran gelombangnya.

Lapisan ionosfer bervariasi dari waktu ke waktu dan variasi ini mempengaruhi kemampuannya sebagai pemantul gelombang radio, terutama pada frekuensi HF (3 – 30 MHz). Salah satu penyebab variasi ionosfer adalah variasi aktivitas matahari, baik jangka pendek (harian) maupun jangka panjang (11 tahunan). Suatu perangkat komunikasi radio HF yang bekerja dengan baik

untuk suatu tempat pada suatu waktu belum tentu baik juga untuk tempat dan waktu yang berbeda.

Dalam komunikasi radio, gangguan pada penggunaan frekuensi dan menurunnya kualitas komunikasi dapat terjadi karena adanya gangguan pada proses perambatan gelombangnya. Gangguan ini diantaranya berupa derau (*noise*), suara keras-lemah (*fading*), bahkan komunikasi dapat terputus sama sekali (*blackout*) untuk waktu beberapa jam karena gangguan pada lapisan ionosfernya.

## 2. Pembagian Lapisan Ionosfer

Pada ketinggian sekitar 50 km sampai lebih dari 1000 km di atas permukaan bumi, sebagian molekul di lapisan atmosfer terionisasi oleh energi dari matahari dan menghasilkan gas yang terionisasi. Daerah ini disebut ionosfer.

Ionisasi adalah proses adalah proses terlepasnya elektron-elektron yang bermuatan negatif dari atom netral atau molekul sehingga membentuk ion-ion bermuatan positif dan elektron bebas. Ion-ion inilah yang dipakai untuk menamakan daerah tersebut ionosfer. Tetapi sesungguhnya elektron-elektron yang lebih berperan penting dalam perambatan gelombang radio frekuensi tinggi yang seringkali disebut sebagai komunikasi HF dengan frekuensi 3 – 30 MHz. Secara umum, semakin banyak jumlah elektron, semakin tinggi frekuensi HF yang dapat dipantulkan.

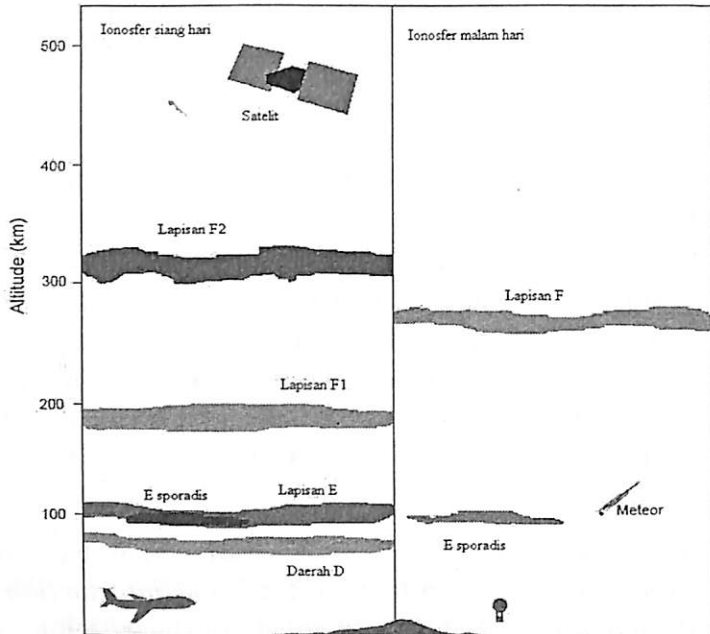
Pada siang hari ionosfer terdiri dari empat lapisan yang disebut lapisan D, E, F1 dan F2 (gambar 2-1) (*Introduction to HF Radio Propagation*, 2003). Ketinggian masing-masing lapisan kira-kira adalah sebagai berikut :

- Lapisan D : 50 sampai 90 km
- Lapisan E : 90 sampai 140 km

- Lapisan F1 : 140 sampai 210 km
- Lapisan F2 : di atas 210 km.

Pada siang hari, kadang-kadang teramati adanya bagian lapisan E yang muncul secara sporadis (disebut lapisan E Sporadis). Pada malam hari jumlah elektron di lapisan D, E dan F1 menjadi sangat sedikit, dan hanya lapisan F2 yang dapat digunakan untuk komunikasi. Akan tetapi kadang-kadang ada juga lapisan E sporadis pada malam hari.

Hanya lapisan E, E sporadis bila ada, F1 dan F2 yang memantulkan gelombang radio HF, sementara lapisan D tidak memantulkan tetapi justru menyerap energinya atau melemahkannya.



Gambar 2-1 Skema lapisan-lapisan ionosfer

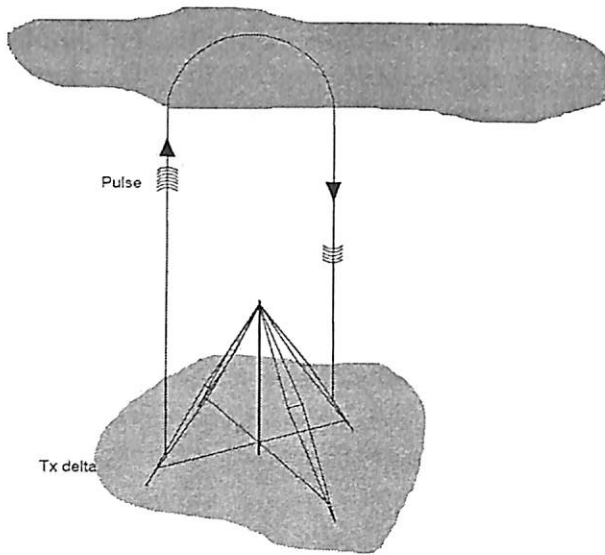
Lapisan F2 adalah lapisan paling penting untuk perambatan gelombang radio HF karena :

- Ada selama 24 jam sehari,
- Letaknya yang tinggi memungkinkan untuk jarak komunikasi terjauh,
- Biasanya memantulkan gelombang radio pada frekuensi-frekuensi tertinggi dalam rentang HF.

### 3. Pengamatan Ionosfer

Sifat paling penting dari ionosfer dalam kaitannya dengan komunikasi radio adalah kemampuannya untuk memantulkan gelombang radio HF. Akan tetapi hanya gelombang dengan rentang frekuensi tertentu saja yang dapat dipantulkan. Rentang frekuensi yang dapat dipantulkan ini tergantung pada banyak faktor. Berbagai metoda telah digunakan untuk mempelajari ionosfer dan alat yang paling banyak digunakan adalah ionosonda. Ionosonda adalah radar (pemancar dan penerima) dengan frekuensi tinggi (HF) yang memancarkan pulsa sangat pendek secara tegak lurus ke atas ke lapisan ionosfer (Gambar 3-1).

Pulsa yang dipancarkan secara berurutan dari frekuensi terendah ke frekuensi yang lebih tinggi akan dikembalikan ke bumi secara berurutan juga. Ionosonda merekam waktu perjalanan gelombang dari saat pemancaran sampai pulsa diterima kembali oleh penerima ionosonda. Waktu perjalanan pulsa ini menunjukkan jarak yang telah ditempuh pulsa tersebut. Hasil rekaman berupa kurva hubungan antara frekuensi dan ketinggian lapisan ionosfer disebut *ionogram*.



*Gambar 3-1* Prinsip dasar ionosonda

Pada umumnya ionosonda bekerja pada rentang frekuensi 2 - 22 MHz. Dengan bertambahnya frekuensi, gambar terekam pertama-tama dari bagian bawah lapisan E dan secara bertahap ke frekuensi yang lebih tinggi, sampai lapisan F1 dan F2. Pada malam hari hanya ada gambar rekaman dari lapisan F2 dan mungkin dari lapisan E Sporadis, karena lapisan lainnya telah hilang.

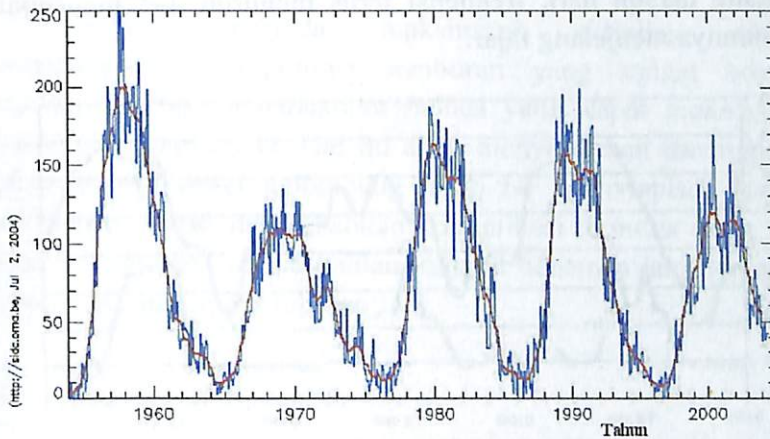
Saat ini, ionosfer tidak hanya diamati dengan sinyal yang dipancarkan tegak lurus. Ionosonda bersudut memancarkan pulsa secara miring ke ionosfer (pemancar dan penerima terpisah letaknya). Ionosonda jenis ini akan memantau perambatan gelombang pada sirkuit tertentu dan pengamatan berbagai model perambatan gelombang radio yang didukung oleh ionosfer dapat dilakukan.

#### 4. Variasi Lapisan Ionosfer

Ionosfer bukan suatu lapisan yang bersifat stabil yang memungkinkan penggunaan satu frekuensi sepanjang tahun atau selama 24 jam. Ada beberapa variasi yang mempengaruhi karakteristik ionosfer dan dua diantaranya yaitu variasi karena siklus matahari dan variasi harian. Variasi - variasi ini menyebabkan frekuensi yang dapat digunakan dengan baik pada saat ini belum tentu untuk jam berikutnya.

##### 4.1. Variasi siklus matahari

Aktivitas matahari mengalami proses naik dan turun secara periodik dan berpengaruh pada komunikasi HF. Siklus matahari bervariasi secara rata-rata sekitar 11 tahun. Aktivitas matahari secara umum dinyatakan dengan bilangan sunspot (Gambar 4-1).



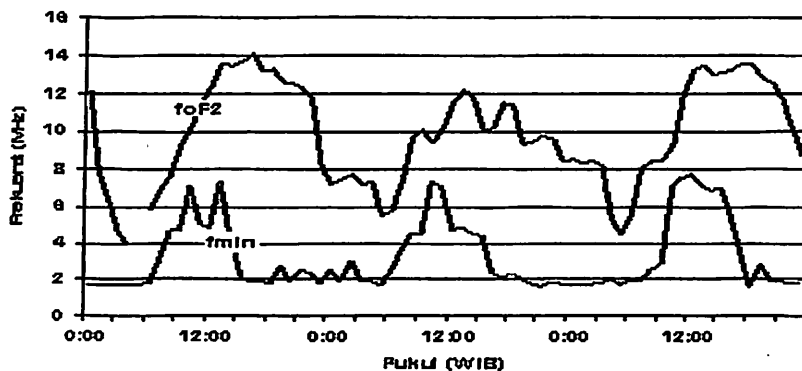
Gambar 4-1 Variasi bilangan sunspot selama 5 siklus aktivitas matahari

Pada saat aktivitas matahari rendah hanya frekuensi-frekuensi yang rendah dari rentang frekuensi HF yang akan dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Sedangkan saat aktivitas

matahari tinggi menghasilkan elektron lebih banyak di ionosfer sehingga memungkinkan penggunaan frekuensi gelombang radio yang lebih tinggi.

## 4.2 Variasi harian

Pada umumnya, gelombang radio yang dipantulkan kembali oleh ionosfer ke bumi (berarti dapat digunakan untuk komunikasi radio HF) pada siang hari mempunyai frekuensi lebih tinggi dibandingkan pada malam hari (gambar 4-2). Dengan terbitnya matahari, radiasi matahari menyebabkan peningkatan produksi elektron di ionosfer dan frekuensi bertambah hingga mencapai maksimumnya pada sekitar tengah hari. Pada sore harinya frekuensi mulai menurun karena berkurangnya elektron dan pada malam hari lapisan D, E dan F1 menghilang. Jadi, komunikasi radio pada malam hari hanya didukung oleh lapisan F2. Sepanjang malam hari, frekuensi terus menurun dan mencapai minimumnya menjelang fajar.



Gambar 4-2 Variasi harian Frekuensi minimum ( $f_{min}$ ) dan frekuensi maksimum lapisan F2 ( $foF2$ ) ionosfer di atas Sumedang, hasil pengamatan dengan ionosonda tanggal 5 – 7 Januari 2000.



## 5. Penyerapan Energi (*Absorpsi*)

Dalam perjalanannya dari pemancar menuju penerima, gelombang radio frekuensi tinggi (HF) akan menembus lapisan D ionosfer, dipantulkan oleh lapisan E atau F ionosfer dan kemudian menuju ke penerima. Dalam perjalanan tersebut, gelombang radio akan mengalami penyerapan energi (*absorpsi*). Penyerapan energi gelombang radio HF terjadi hampir seluruhnya di lapisan D dan makin meningkat bila kerapatan elektron di lapisan ini meningkat.

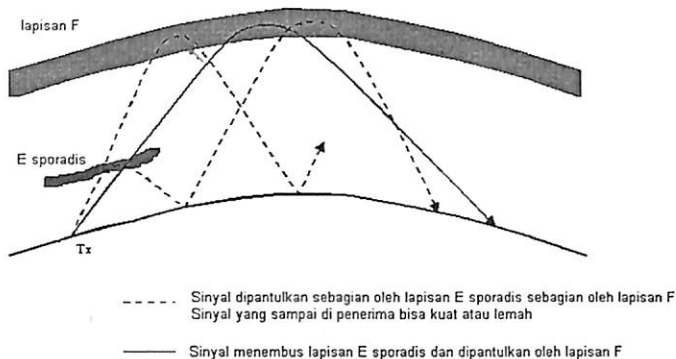
Penyerapan energi gelombang radio oleh lapisan D mencapai maksimum pada tengah hari. Sedangkan pada malam hari mencapai minimum. Variasi lapisan D inilah yang menyebabkan penerimaan gelombang radio SW yang pada malam hari lebih baik dibandingkan siang hari dikarenakan penyerapan oleh lapisan D pada malam hari lebih kecil.

Selama periode maksimum aktivitas matahari memungkinkan terjadinya semburan yang sangat besar di matahari dan memancarkan radiasi yang dapat meningkatkan ionisasi di lapisan D. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya penyerapan energi gelombang radio HF oleh lapisan tersebut. Akibatnya dapat menyebabkan komunikasi terputus sama sekali selama beberapa menit, bahkan sampai beberapa jam, tergantung lama dan besarnya semburan.

## 6. Lapisan E Sporadis

Lapisan E Sporadis dapat terjadi terutama pada siang hari. Lapisan ini berada pada ketinggian antara 90 – 140 km (daerah E) (Gambar 6-1), dan dapat menyebar pada daerah yang luas atau hanya terjadi di daerah yang sempit. Sulit untuk mengetahui dimana dan kapan dia akan terjadi dan berapa lama keberadaannya (*Introduction to HF propagation, 2005*). Lapisan

E sporadis dapat mempunyai kerapatan elektron sebanding dengan daerah F. Hal ini berarti bahwa dia dapat memantulkan frekuensi yang sama dengan daerah F. Kadang-kadang lapisan E sporadis dapat ditembus oleh gelombang radio yang melewatinya menuju daerah F, tetapi disaat lain lapisan E sporadis menutup seluruh daerah F. Bila lapisan E sporadis dapat ditembus, sebagian gelombang radio dipantulkan oleh lapisan F dan sebagian lagi oleh lapisan E sporadis. Hal ini mengakibatkan sinyal yang sampai pada penerima berasal dari pemantulan dari tempat yang berbeda. Suatu saat sinyal-sinyal ini akan saling memperkuat dan di saat lain mungkin saling melemahkan, sehingga suara akan terdengar keras-lemah secara bergantian. Gangguan ini disebut *fading*.

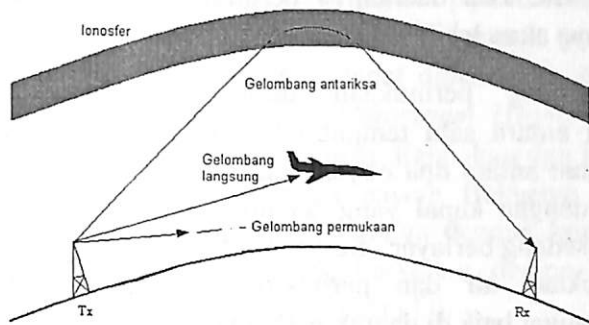


Gambar 6-1 Lintasan yang mungkin ditempuh gelombang radio ketika ada lapisan E sporadis

## 7. Perambatan Gelombang Radio

Bagaimana sinyal merambat dari antenna pemancar sampai ke antenna penerima teman komunikasi kita? Inilah yang disebut propagasi gelombang. Gelombang radio dapat merambat melalui tiga cara (Gambar 7-1), yaitu merambat secara langsung (gelombang langsung, *direct wave*), merambat melalui

Permukaan (gelombang permukaan, *ground wave*) dan merambat melalui antariksa (gelombang antariksa, *sky wave*), (Terry R. Dettmann, *WX7S, download*).



Gambar 7-1 Tipe perambatan gelombang radio HF

### 7.1 Gelombang Langsung (*direct wave*)

Cara yang paling mudah dimengerti untuk perambatan gelombang dari pemancar ke penerima adalah perambatan langsung. Perambatan langsung memerlukan jalur dimana antena pemancar dan antena penerima dapat “saling melihat” dan tidak ada penghalang diantaranya, sehingga ketinggian antena merupakan kendala dalam menentukan jarak komunikasi. Pada umumnya komunikasi yang menggunakan perambatan ini adalah komunikasi dengan frekuensi VHF (30-300 MHz) dan UHF(300-3.000 MHz).

### 7.2 Gelombang Permukaan (*ground wave*)

Seperti namanya, gelombang permukaan merambat di permukaan dan mengikuti kelengkungan bumi. Gelombang permukaan mengalami penyerapan energi oleh obyek di permukaan bumi. Jarak jangkauannya tergantung pada frekuensi

dan konduktivitas, serta topografi permukaan yang dilalui. Di atas lautan, jarak jangkauannya bisa mencapai 300 km, sementara di daerah datar yang gersang, berbatu, jarak jangkauannya hanya sampai 30 km. Jika daerahnya bergunung-gunung maka jarak jangkauannya akan lebih rendah lagi.

Gelombang permukaan umumnya digunakan untuk komunikasi antara satu tempat tetap dengan satu obyek yang bergerak, atau antara dua obyek yang bergerak, misalnya antara pelabuhan dengan kapal yang sedang berlayar atau antara dua kapal yang sedang berlayar. Sinyal VHF merambat sangat baik di atas permukaan air dan perbukitan sementara sinyal UHF merambat sangat baik di daerah perkotaan dengan gedung-gedung tinggi. Bila gelombang VHF dan UHF digunakan untuk jarak lebih dari 150 km diperlukan stasiun relay (*repeater*) supaya gelombang dapat mencapai jarak cukup jauh.

### **7.3 Gelombang Antariksa (*sky wave*)**

Gelombang antariksa memungkinkan komunikasi dengan jangkauan melebihi jarak pandang dapat dilakukan. Pada frekuensi tertentu, gelombang radio dibelokkan atau dipantulkan dan kembali ke bumi pada jarak ratusan bahkan ribuan kilometer dari pemancar. Tergantung pada frekuensi, waktu dan kondisi ionosfer, sinyal dapat dipantulkan beberapa kali sebelum mencapai penerima (*Radio Communications In The Digital Age volume one : HF Tehnology, 1996*). Komunikasi ini menggunakan frekuensi HF.

## **8. Beberapa Variasi Perambatan Gelombang Radio HF**

Ketika terjadi komunikasi menggunakan frekuensi HF, gelombang yang keluar dari pemancar akan merambat menuju ionosfer, kemudian akan dibelokkan dan kembali ke bumi. Sudut

datang gelombang ke lapisan ionosfer sama dengan sudut ketika gelombang meninggalkan ionosfer kembali ke bumi. Gelombang radio dipantulkan di lokasi antara pemancar dan penerima, sehingga yang berpengaruh pada proses pemantulan gelombang radio adalah ionosfer di posisi tengah antara pemancar dan penerima. Batas frekuensi yang dapat dipantulkan oleh ionosfer biasa dinyatakan dengan MUF (*Maximum Usable Frequency*), yaitu batas atas frekuensi yang dapat digunakan dan LUF (*Lowest Usable Frequency*), yaitu batas bawah frekuensi yang dapat digunakan. MUF sangat erat kaitannya dengan kondisi lapisan ionosfer, sedangkan LUF lebih berkaitan dengan penyerapan gelombang radio oleh ionosfer (lapisan D).

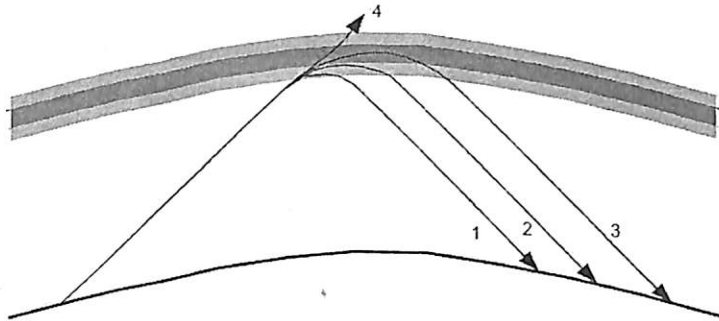
Selain kondisi lapisan ionosfer, untuk komunikasi antara dua tempat terdapat tiga komponen yang saling bergantung (*Introduction to HF radio propagation, 2003*). Ketiga komponen tersebut adalah

1. Frekuensi
2. Jarak antara pemancar dan penerima
3. Sudut elevasi

Berikut ini akan ditunjukkan perubahan lintasan gelombang bila salah satu dari variabel tersebut dibuat tetap.

### 8.1 Sudut elevasi tetap (Gambar 8-1)

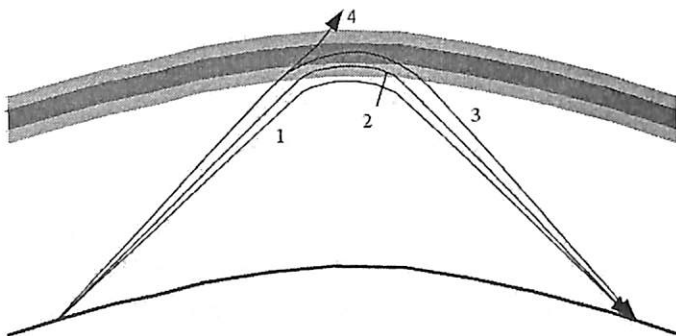
- Bila frekuensi dinaikkan, jarak komunikasi menjadi makin jauh (jalur 1 dan 2)
- Pada frekuensi sama dengan MUF, maka jarak komunikasi mencapai maksimum (jalur 3)
- Bila frekuensi yang digunakan lebih besar dari MUF, gelombang radio akan menembus ionosfer (jalur 4).



Gambar 8-1 Sudut elevasi tetap

## 8.2 Jarak komunikasi tetap (Gambar 8-2)

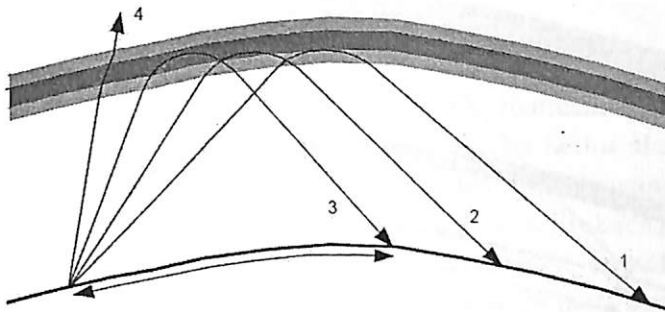
- Bila frekuensi dinaikkan, sudut elevasi harus dinaikkan untuk dapat berkomunikasi pada jarak yang tetap. Gelombang dipantulkan oleh lapisan ionosfer yang lebih tinggi (jalur 1 dan 2)
- Pada frekuensi sama dengan MUF, sudut elevasi maksimum tercapai (jalur 3)
- Bila frekuensi lebih besar dari MUF, gelombang radio menembus ionosfer (jalur 4).



Gambar 8-2 Jarak komunikasi tetap

### 8.3 Frekuensi tetap (Gambar 8-3)

- Bila sudut elevasi makin rendah, jarak komunikasi makin jauh (jalur 1)
- Bila sudut elevasi makin besar, jarak makin dekat dan gelombang dipantulkan oleh lapisan ionosfer yang lebih tinggi
- Daerah bisu akan terjadi bila frekuensi yang digunakan lebih besar dari frekuensi maksimum lapisan F2 ionosfer. Jarak minimum yang dapat ditempuh disebut „*skip distance*“, yang akan terjadi bila dicapai sudut elevasi kritis (jalur 3). Di dalam daerah sekeliling pemancar dengan jarak sebesar *skip distance* dari pemancar tidak bisa dilakukan komunikasi radio dengan frekuensi tersebut. Daerah ini disebut dengan daerah bisu. Bila sudut elevasi dinaikkan lagi, gelombang akan menembus lapisan ionosfer (jalur 4).



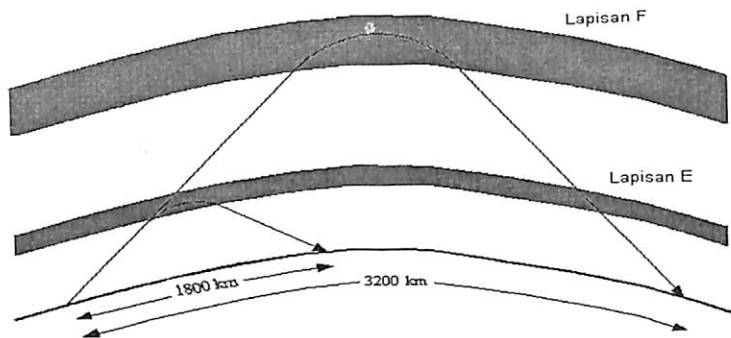
Gambar 8-3 Frekuensi tetap

## 9. Panjang Lompatan dan Beberapa Model Perambatan

Terdapat banyak model atau jalan yang dapat ditempuh oleh gelombang radio dalam perjalanannya dari pemancar ke penerima melalui ionosfer. Gelombang radio dapat dipantulkan

satu kali atau lebih, oleh lapisan E, F1, F2 maupun kombinasinya. Perambatan dengan satu kali pantulan ionosfer disebut lompatan tunggal (*single hop*) dan jarak maksimum yang dapat ditempuhnya disebut panjang lompatan (*hop length*). Panjang lompatan adalah jarak yang dapat ditempuh oleh gelombang radio setelah dipantulkan sekali oleh ionosfer dan kembali ke bumi (Gambar 9-1).

Besarnya panjang lompatan ditentukan oleh ketinggian ionosfer dan kelengkungan bumi. Untuk lapisan E dan F dengan ketinggian antara 100 dan 300 km, panjang lompatan maksimum masing-masing adalah 2000 dan 4000 km, untuk sudut elevasi antenna  $0^\circ$ . Dalam kenyataannya, sudut elevasi  $0^\circ$  tidak mungkin dapat dilakukan, jadi dalam praktek panjang lompatan maksimum adalah 1800 km untuk lapisan E dan 3200 km untuk lapisan F. Batas ini dapat dicapai dengan sudut elevasi antenna  $4^\circ$ , dengan ketinggian lapisan seperti di atas.



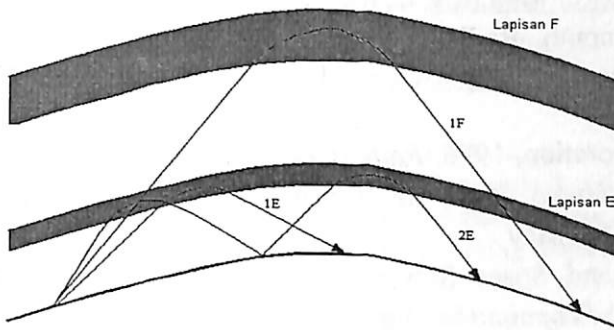
Gambar 9-1 Panjang lompatan, pemantulan oleh lapisan E dan F

Komunikasi radio melalui jalur dengan jumlah pantulan paling sedikit disebut dengan model orde satu. Model yang menggunakan satu tambahan pantulan disebut dengan model orde dua. Untuk jarak komunikasi 5.000 km, model orde satu melalui lapisan F memakai 2 pantulan, sedangkan bila menggunakan lapisan E mempunyai 3 pantulan. Orde ke dua dengan lapisan F



dan E dari komunikasi ini mempunyai masing-masing 3 dan 4 pantulan.

Model pemantulan sederhana adalah pemantulan oleh satu lapisan (Gambar 9-2), misalnya lapisan F. Model pemantulan yang lebih kompleks terdiri dari kombinasi antara pemantulan oleh lapisan E dan F.



Gambar 9-2 Contoh model pemantulan sederhana

## 10. Penutup

Selain faktor alat dan sumberdaya manusia (operator), komunikasi radio HF dipengaruhi oleh berbagai faktor alam yang sangat menentukan keberhasilannya. Kondisi ionosfer yang selalu berubah, tidak memungkinkan penggunaan satu frekuensi untuk selamanya, bahkan untuk satu sirkuit komunikasi tertentu, satu frekuensi belum tentu dapat digunakan selama 24 jam. Penentuan frekuensi kerja yang tepat memerlukan pengetahuan tentang karakteristik lapisan ionosfer yang akan mendukung berlangsungnya komunikasi. Selain itu, jarak antara dua tempat yang berkomunikasi juga menentukan frekuensi yang akan digunakan. Operator radio yang dibekali pengetahuan dasar tentang berbagai faktor yang mempengaruhi keberhasilan komunikasi radio HF tidak akan terburu-buru mengambil

keputusan bahwa alatnya rusak apabila suatu saat mengalami kesulitan atau kegagalan dalam berkomunikasi.

### **Daftar Rujukan**

- Dettmann, T. R., (WX7S). *Types of Propagation*, [www.grc.nasa.gov](http://www.grc.nasa.gov), download Agustus 2004
- Great Yarmouth Radio Club England. *Introduction to HF propagation*, <http://www.qsl.net/g3yrc>, download 22 Juni 2005
- Harris Corporation, 1996. *Radio Communications In The Digital Age volume one : HF Technology*, RF Communications Division, May
- IPS Radio and Space Services Australia. *Introduction to HF Radio Propagation*, <http://www.ips.gov.au>, download 25 Februari 2003
- , Plot  $f_{min}$  dan  $f_oF_2$  dibuat dari pengolahan data hasil pengamatan dengan ionosonda vertikal di Stasiun Pengamat Dirgantara LAPAN di Sumedang
- , Plot bilangan sunspot dari <http://sidc.cma.be>, Juli 2004