

# ANALISIS PENJALARAN GELOMBANG RADIO ANTARA STASIUN KONTROL DAN PESAWAT TERBANG

Jiyo

*Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN  
jiyolpnbdg@yahoo.com*

## ABSTRACT

This paper discuss about radio wave propagation between a control station and the aircraft in the flight. Two of three ways of radio wave propagation which to be the main of analysis are direct wave (line of sight) and sky wave. By using the way of radio wave propagation, we can determine elevation angle and range distance of that radio wave, especially for the direct wave. Elevation angle and range distance were evaluated by using simple formulae in the last paper (Jiyo, 2009). The analysis of the simulation data result 5 conclusions. Firstly, curve of earth surface cause the range distance of direct wave will be finite. Second, the range distance of direct wave will depend on the height of flight and the distance of the aircraft from control station. Third, the lower flight of the aircraft caused shorter of range distance and the higher flight caused a longer of range distance. if the aircraft height is lower, then the range distance will be shorter. Fourth, coverage of radio communication of a control station can be extended by using sky wave which it depend on ionosphere. It can do by choosing a good working frequency using an ionospheric model. Fifth, good choosing of working frequency can reduce amount of control station.

**Keywords:** *control station, direct wave, sky wave, elevation angle, range distance.*

## ABSTRAK

Dalam makalah ini dibahas tentang penjaluran gelombang radio antara suatu stasiun kontrol dengan pesawat udara yang sedang terbang. Dua dari tiga macam cara perambatan gelombang radio yang menjadi pokok bahasan adalah gelombang langsung dan gelombang angkasa. Dengan meninjau cara perambatan gelombang radio yang terjadi, maka dapat ditentukan sudut pancar gelombang radio dan jangkauan rambatnya, khususnya untuk gelombang langsung (*direct wave* atau *line of sight*). Sudut pancar dan jangkauan rambat dihitung menggunakan rumus sederhana dari makalah terdahulu (Jiyo, 2009). Dari pembahasan data hasil simulasi diperoleh 5 kesimpulan. Pertama, kelengkungan permukaan bumi mengakibatkan jangkauan gelombang langsung menjadi terbatas. Kedua, jangkauan rambat gelombang langsung bergantung kepada ketinggian pesawat dan jaraknya terhadap stasiun kontrol. Ketiga, semakin rendah ketinggian terbang suatu pesawat semakin dekat jangkauan gelombang langsungnya dan semakin tinggi terbang suatu pesawat semakin jauh jangkauan gelombang langsungnya. Keempat, cakupan komunikasi radio suatu stasiun kontrol dapat diperluas dengan memanfaatkan gelombang angkasa (*sky wave*) yang bergantung kepada lapisan ionosfer. Caranya dengan memilih frekuensi kerja yang tepat menggunakan model lapisan ionosfer. Kelima, pemilihan frekuensi yang tepat juga dapat mengurangi jumlah stasiun kontrol.

**Kata kunci :** *stasiun kontrol, gelombang langsung, gelombang angkasa, sudut pancar, jangkauan rambat.*

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan cara perambatannya, gelombang radio dikelompokkan menjadi 3 jenis yakni gelombang langsung (*direct wave* atau *line of sight*), gelombang permukaan bumi (*ground wave*), dan gelombang angkasa (*sky wave*). Gelombang langsung merambat dari stasiun pemancar menuju stasiun penerima secara langsung tanpa mengalami pemantulan dan pembiasan. Gelombang permukaan mengalami proses pemantulan oleh obyek-obyek di permukaan bumi sebelum sampai di stasiun penerima. Kemudian, gelombang angkasa mengalami pemantulan dan pembiasan sebelum mencapai stasiun penerima. Suatu gelombang radio yang dipancarkan oleh stasiun radio dapat mengalami tiga cara penjaran tersebut.

Terjadinya gelombang langsung memerlukan syarat yaitu antena stasiun pemancar dengan antena stasiun penerima harus saling melihat. Artinya, antara stasiun pemancar dengan stasiun penerima tidak ada obyek yang menghalanginya. Karena tidak ada penghalangnya, maka pada umumnya komunikasi radio dengan gelombang langsung mempunyai sinyal yang lebih kuat dibandingkan dengan gelombang permukaan atau gelombang angkasa. Salah satu contoh gelombang langsung adalah gelombang radio pada komunikasi pesawat udara dengan stasiun kontrol.

Jangkauan gelombang permukaan bergantung kepada topografi, konduktivitas, dan permitivitas dari permukaan antara stasiun pemancar dengan stasiun penerima (IPS Radio and Space Service, 2000). Untuk permukaan yang datar tanpa perbukitan atau pegunungan dan berupa tanah kering, jarak rambat terjauh gelombang ini hanya belasan kilometer (Jiyo, 2009). Untuk permukaan berupa tanah basah, jarak rambat terjauhnya puluhan kilometer. Sedangkan untuk permukaan berupa lautan gelombang permukaan bisa mencapai 100 – 300 km. Gelombang ini akan mencapai jarak yang lebih jauh jika dilengkapi dengan perangkat *repeater*. Semakin banyak jaringan *repeater* akan semakin luas jangkauannya. Namun pembangunan dan operasional perangkat tambahan ini cukup mahal karena harus ditempatkan di lereng gunung atau di tengah hutan.

Gelombang angkasa yang dipancarkan oleh stasiun radio di permukaan bumi akan mencapai stasiun radio lainnya jika terjadi pemantulan oleh lapisan ionosfer atau dipancarkan ulang oleh perangkat *transponder* pada satelit komunikasi. Karena proses pemantulan oleh lapisan ionosfer atau satelit komunikasi, maka jangkauan rambat gelombang ini mencapai ribuan kilometer, dan bahkan mencakup seluruh dunia. Proses pemantulan gelombang angkasa oleh lapisan ionosfer bergantung kepada frekuensi gelombangnya dan kerapatan elektron lapisan tersebut.

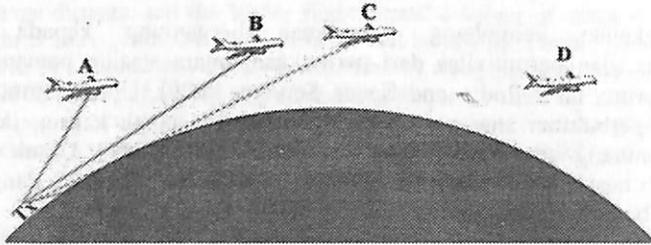
Pembahasan penjaran gelombang radio untuk komunikasi penerbangan perlu dilakukan untuk mengetahui ketergantungannya terhadap lapisan ionosfer. Pada saat pesawat udara melakukan persiapan lepas landas, komunikasi radio yang terjadi kemungkinan besar menggunakan gelombang langsung atau gelombang permukaan. Sesaat setelah lepas landas sampai radius beberapa kilometer dari bandar udara, komunikasi radio yang terjadi kemungkinan besar menggunakan gelombang langsung. Namun, untuk radius ratusan kilometer sangat kecil kemungkinannya terjadi gelombang langsung atau gelombang permukaan. Pada

jarak itulah komunikasi radio menggunakan gelombang angkasa yang dipantulkan lapisan ionosfer.

Melalui pembahasan ini akan diperoleh informasi jarak terjauh gelombang langsung yang terjadi pada komunikasi antara pesawat udara dan menara kontrol. Dengan informasi ini, maka akan diketahui jarak terdekat berlangsungnya komunikasi radio dengan gelombang angkasa yang sangat bergantung kepada lapisan ionosfer. Pada akhirnya, jika terjadi gangguan terhadap komunikasi antara bandar udara dengan pesawat yang sedang mengangkasa, maka akan diketahui dengan tepat sumbernya, kerusakan peralatan atau frekuensinya yang kurang tepat.

## 2. METODOLOGI

Perambatan gelombang langsung dari stasiun kontrol menuju pesawat udara atau sebaliknya bergantung kepada sudut pancar, seperti skema pada gambar 2-1. Sudut pancar adalah sudut yang dibentuk oleh garis yang menghubungkan stasiun pemancar dengan pesawat udara. Dari skema tersebut, sudut pancar bergantung kepada jarak stasiun kontrol dengan pesawat udara dan ketinggian pesawat tersebut.



**Gambar 2-1.** Skema perambatan gelombang langsung (*line of sight*) dari stasiun kontrol menuju pesawat udara.

Besarnya sudut pancar atau sudut elevasi gelombang dapat dihitung menggunakan rumus (2-1) berikut (Jiyo, 2009):

$$\text{sudut-pancar} = \arctan \left( \frac{h + \left( 1 - \cos \left( \frac{d}{2R_B} \right) \right) R_B}{2R_B \sin \left( \frac{d}{2R_B} \right)} \right) - \frac{d}{2R_B} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan  $h$  adalah ketinggian pesawat,  $d$  menyatakan jarak antara stasiun kontrol dengan pesawat,  $R_B$  adalah radius Bumi yang nilainya 6378,388 kilometer (*Esiklopedia Indonesia*). Satuan sudut pancar pada perumusan ini adalah radian. Satuan sudut pancar dalam derajat harus dikalikan dengan  $(180/\pi)$ .

Ketika pesawat udara sedang terbang semakin menjauhi stasiun kontrol, maka sudut pancar gelombangnya akan semakin kecil. Jika pesawat udara tersebut semakin jauh dan mencapai jarak  $d$  tertentu, maka sudut pancar gelombangnya sangat kecil atau bahkan sama dengan  $0^\circ$ . Karena kelengkungan permukaan bumi,

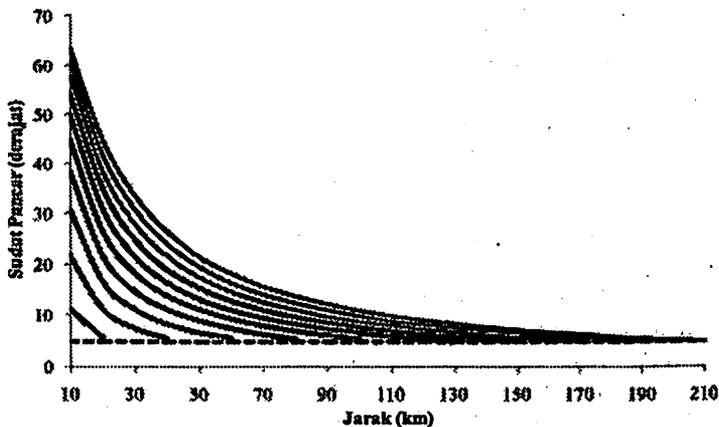
maka jika pesawat udara semakin menjauh lagi, maka sudut elevasinya negatif. Ini artinya gelombang langsung dari stasiun kontrol terhalang bumi dan komunikasi radio dengan gelombang langsung tidak terjadi.

Pada saat sudut pancar gelombang sangat kecil atau mendekati nilai  $0^\circ$ , maka gelombang radio akan dipengaruhi oleh permukaan bumi dan akan mengalami pemantulan oleh obyek di permukaan bumi sehingga menjadi gelombang permukaan. Seperti telah dijelaskan pada pendahuluan, jangkauan gelombang permukaan bergantung kepada jenis permukaan. Untuk permukaan berupa tanah basah misalnya, jarak jangkauan gelombang permukaan kurang dari 100 kilometer. Dalam keadaan seperti ini gelombang yang mungkin menjangkau pesawat udara hanyalah gelombang angkasa.

Simulasi menggunakan rumus (2-1) dengan ketinggian satu kilometer hingga 10 kilometer dan jarak satu kilometer hingga beberapa ratus kilometer dapat dilakukan untuk menghasilkan sudut pancar gelombang langsung. Kemudian, dari pengalaman praktis terungkap bahwa sudut pancar lebih rendah dari  $5^\circ$  sudah kurang efektif digunakan (ARRL Antenna Handbook), sehingga jarak  $d$  tertentu dengan nilai sudut pancar kurang dari  $5^\circ$  dianggap tidak terjangkau oleh gelombang langsung dari stasiun kontrol. Dengan menggunakan data simulasi ini, maka dapat diketahui jarak  $d$  sehingga komunikasi radio yang terjadi hanya bergantung kepada lapisan ionosfer.

### 3. SIMULASI

Simulasi telah dilakukan menggunakan rumus (2-1) untuk ketinggian terbang pesawat 1 km hingga 10 km dan jarak sampai dengan 200 km lebih. Untuk sudut pancar yang nilainya lebih tinggi atau sama dengan  $5^\circ$ , grafiknya seperti pada gambar 2-1. Grafik paling kanan merupakan grafik sudut pancar untuk ketinggian terbang dari pesawat udara 1 km. Kemudian berturut-turut kekanan merupakan grafik sudut pancar gelombang langsung untuk ketinggian terbang pesawat 2 km hingga 10 km dari permukaan bumi.



Gambar 2-1. Grafik sudut pancar (elevasi) sebagai fungsi dari jarak untuk perambatan gelombang langsung hasil simulasi menggunakan rumus (2-1).

Grafik gambar 2-1 menunjukkan bahwa semakin jauh jarak pesawat dengan menara kontrol maka sudut pancarnya semakin rendah. Sebaliknya semakin dekat posisi pesawat udara dengan stasiun kontrol, maka semakin besar sudut pancarnya.

Pesawat udara yang terbang pada ketinggian 1 km dari permukaan bumi akan mulai tidak terjangkau oleh gelombang langsung dari stasiun kontrol pada jarak 20 km. Pada jarak berikutnya komunikasi radio akan berlangsung dengan gelombang angkasa atau gelombang permukaan. Untuk pesawat udara yang terbang pada ketinggian 10 km dari permukaan bumi masih mungkin terjangkau oleh gelombang langsung dari menara kontrol hingga jarak 210 km dari menara kontrol.

#### 4. PEMBAHASAN

Gambar 2-1 menunjukkan bahwa komunikasi radio dengan perambatan langsung antara menara kontrol dengan pesawat udara yang sedang terbang di atas permukaan bumi mempunyai batas tertentu. Semakin tinggi ketinggian terbang pesawat, maka semakin jauh jangkauan komunikasi radio dengan perambatan langsung.

Misalkan sebuah pesawat udara lepas landas dari bandar udara Sukarno-Hatta di Cengkareng ( $-6,17^{\circ}$ ;  $106,50^{\circ}$ ) dan kemudian terbang pada ketinggian 10 km menuju bandar udara Juanda di Surabaya ( $-7,25^{\circ}$ ;  $112,75^{\circ}$ ). Komunikasi radio antara stasiun kontrol di Cengkareng dengan pesawat udara akan terjadi dengan perambatan langsung hingga posisi terbangnya di sekitar Cirebon ( $\sim 239$  km dari Cengkareng). Setelah posisi pesawat berada di sekitar Tegal ( $\sim 299$  km dari Cengkareng) hingga Surabaya tidak terjadi perambatan langsung. Pada sisa perjalanannya, pesawat udara masih bisa berkomunikasi melalui radio dengan stasiun kontrol di Cengkareng jika frekuensinya tepat. Frekuensi yang tepat adalah frekuensi yang memungkinkan terjadinya perambatan gelombang angkasa melalui pemantulan oleh lapisan ionosfer.

Contoh lainnya adalah sebuah pesawat udara yang terbang dari bandar udara Sukarno-Hatta di Cengkareng menuju Padang ( $\sim 904$  km dari Cengkareng). Jika ketinggian terbang dari pesawat di sekitar 10 km, maka komunikasi radio antara stasiun kontrol Cengkareng dengan pesawat dapat terjadi dengan gelombang langsung hingga posisi terbangnya di atas Bandar Lampung karena jaraknya sekitar 160 km dari bandar udara Sukarno-Hatta. Pada posisi ini pesawat masih dalam jangkauan gelombang langsung yang jarak jangkauannya 210 km. Setelah memasuki wilayah Bengkulu ( $\sim 537$  km dari Cengkareng) hingga sampai di Padang komunikasi radio dengan gelombang langsung tidak mungkin terjadi. Pada posisi ini pesawat masih mungkin berkomunikasi dengan bandar udara Sukarno-Hatta melalui komunikasi radio dengan pemantulan lapisan ionosfer.

Dari kedua contoh kasus tersebut diperoleh kesimpulan bahwa terdapat jarak tertentu sehingga kontak radio antara pesawat dengan stasiun kontrol memerlukan bantuan lapisan ionosfer. Permasalahan akan muncul jika frekuensi gelombang radio yang digunakan terlalu tinggi sehingga lapisan ionosfer tidak mampu memantulkannya. Dalam kasus seperti ini biasanya komunikasi akan terputus setelah posisi pesawat sudah melewati jangkauan gelombang langsung.

Jika frekuensinya tepat sedemikian sehingga lapisan ionosfer mampu memantulkannya, maka kontak komunikasi tetap berjalan meski pesawat telah terbang melampaui radius jangkauan gelombang langsung.

Pada kedua contoh kasus tersebut, jika ketinggian terbang pesawat 5 km di atas permukaan bumi, maka radius jangkauan gelombang langsung hanya sekitar 60 km dari stasiun kontrol. Setelah pesawat tersebut terbang melewati radius 60 km maka diperlukan pemantulan oleh lapisan ionosfer. Jika pesawat kecil yang terbang rendah pada ketinggian 1 km dari permukaan bumi, maka ketika pesawat berada pada radius 30 km dari stasiun kontrol kemungkinan komunikasi akan terputus jika tidak ada pemantulan oleh lapisan ionosfer. Jadi, semakin rendah ketinggian terbang suatu pesawat udara makin pendek radius jangkauan gelombang langsung. Akibatnya, semakin besar kemungkinan terputusnya komunikasi radio antara pesawat dengan stasiun kontrol.

Dengan menggunakan informasi jangkauan perambatan gelombang langsung dan pemilihan frekuensi yang tepat sehingga gelombang radio dengan frekuensi tersebut dapat dipantulkan lapisan ionosfer, maka komunikasi radio antara stasiun kontrol dengan pesawat udara dapat digunakan dengan optimal. Pemilihan frekuensi yang tepat memerlukan informasi prediksi frekuensi menggunakan model ionosfer.

Penggunaan frekuensi yang tepat juga bisa mengoptimalkan jumlah stasiun kontrol dalam jaringan penerbangan. Jika komunikasi radio antara stasiun kontrol dengan pesawat hanya menggunakan gelombang langsung, maka akan diperlukan banyak stasiun kontrol. Sebagai contoh, misalnya pesawat kecil yang terbang pada ketinggian 2 km dalam perjalanan dari Cengkareng menuju Semarang ( $-6,94^{\circ}$ ;  $109,12^{\circ}$ ) yang jaraknya sekitar 410 km. Berdasarkan gambar 2-1, radius jangkauan gelombang langsung hanya mencapai 60 km. Untuk mengontrol perjalanan pesawat dari posisi 60 km dari stasiun kontrol utama hingga jarak 180 km diperlukan satu stasiun kontrol kedua yang berjarak 120 km dari stasiun kontrol utama. Jadi sepanjang perjalanan Jakarta-Semarang diperlukan 3 stasiun kontrol tambahan pada jarak 120 km, 240 km, dan 360 km dari Jakarta arah Semarang. Jika komunikasi radio tersebut juga menggunakan gelombang angkasa, maka 3 stasiun kontrol tambahan tersebut tidak diperlukan.

## 5. KESIMPULAN

Dari pembahasan data hasil simulasi diperoleh 5 kesimpulan. Pertama, kelengkungan permukaan bumi mengakibatkan jangkauan gelombang langsung menjadi terbatas. Kedua, jangkauan rambat gelombang langsung bergantung kepada ketinggian pesawat dan jaraknya terhadap stasiun kontrol. Ketiga, semakin rendah ketinggian terbang suatu pesawat semakin dekat jangkauan gelombang langsungnya dan semakin tinggi terbang suatu pesawat semakin jauh jangkauan gelombang langsungnya. Keempat, cakupan komunikasi radio suatu stasiun kontrol dapat diperluas dengan memanfaatkan gelombang angkasa (*sky wave*) yang bergantung kepada lapisan ionosfer. Caranya dengan memilih frekuensi kerja yang tepat menggunakan model lapisan ionosfer. Kelima, pemilihan frekuensi yang tepat juga dapat mengurangi jumlah stasiun kontrol.

## DAFTAR RUJUKAN

IPS Radio and Space Service, 2000, *Ground Wave Prediction System V2*, User Guide.

Jiyo, 2009, *Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio dan Sudut Elevasi Antena*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 4, No. 1, halaman 25 - 30.

Jiyo, 2009, *Telaah Jarak Rambat Terjauh Gelombang Permukaan Menggunakan Model GWPS*, persiapan penerbitan buku ilmiah LAPAN.

Straw, R., Dean, 2003, *The ARRL Antenna Handbook, 20<sup>th</sup> Edition*, The ARRL Incorporation, halaman 23-1 sampai 23-46

—, *Ensiklopedia Indonesia, Edisi Khusus*, P.T. Ichtiar Baru – Van Hove, Jakarta, halaman 543.