

ISSN 1410 - 9735

 IEEE-J

JURNAL TEKNIK ELEKTRO

TESLA

VOL. 12 NO. 2 - OKTOBER 2010

Jurnal TESLA	Vol. 12	No. 2	Hlm. 51 - 102	Jakarta Oktober 2010	ISSN 1410 - 9735
--------------	---------	-------	------------------	-------------------------	---------------------

JURNAL TESLA



Pemimpin Umum : Dr. Ir. Danang Priatmojo, M.Arch. (Untar)
Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Ketua Dewan Penyunting : Ir. Endah Setyaningsih, MT. (Untar)

Dewan Penyunting Ahli : Prof. Dr. Ir. Dali Santun Naga, MMSI. (Untar)
Prof. Dr. Ir. Djoko Hartanto, M.Sc. (UI)
Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc. (UI)
Dr. Ing. Ihan Martoyo, ST., M.Sc. (UPH)
Ir. Hadian Satria Utama, MSEE. (Untar)
Dr. Ir. Eko Syamsuddin, M.Eng. (BPPT)

Penyunting Pelaksana : Fany Indriaty, ST., MT. (Untar)
Joni Fat, ST., ME. (Untar)
Yohanes Calvinus, ST., MT. (Untar)

Pelaksana Teknis : Siswadi Joko Santoso (Untar)

Penerbit : Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara

Alamat Penerbit : Jln. Letjen. S.Parman No. 1
Jakarta – 11440
Telp : 021-5638359 , 5672548
Fax : 021-5663277
Email : teslauntar@gmail.com
Web : teslauntar.blogspot.com

Nama "TESLA" diambil dari nama tokoh seorang ilmuwan listrik yang diabadikan menjadi satuan medan magnetik yaitu NIKOLA TESLA yang lahir di Kroasia.

Jurnal TESLA yang merupakan Jurnal Ilmiah Teknik Elektro yang diterbitkan 2 kali dalam setahun pada Bulan Maret dan Oktober. Sejak Bulan Oktober 2009, Jurnal TESLA telah menjalin kerjasama dengan *Indonesian Experts Electronics* – Jakarta (IEE-J) yang mempunyai visi dan misi dalam meningkatkan Jurnal Teknik Elektro menjadi berkualitas.

JURNAL TESLA

DAFTAR ISI

Daftar Isi

Editorial

1. <i>Metro Ring</i> sebagai Sarana Telekomunikasi Menggunakan <i>Fiber Optic</i> Shienny dan F.X. Sigit Wijono	51-57
2. Sistem Penetas Telur Ayam Berbasis Mikrokontroler Willy Jekson Wijaya, Hadian Satria Utama dan Sani M. Isa	58-63
3. Sistem Penanganan <i>Void</i> dan <i>Pass Code</i> pada Kasir Hipermarket Menggunakan Mikrokontroler dan Komputer David Santoso dan Yohanes Calvinus	64-68
4. Sistem Pemantau Grafikal pada Mesin Injeksi Plastik Berbasis <i>Personal Computer</i> Christian Susanto, Hadian Satria Utama dan Sani M. Isa	69-74
5. Model Sistem Pemantauan Keberadaan dan Nilai Siswa beserta Presensinya Pendy, Hary Budiarto, dan Handiyanta Kristiadji	75-80
6. Sistem Penyadap Suara dengan Metode Interferometri Michelson Lukas, Tjandra Susila dan F.X. Sigit Wijono	81-89
7. Karakteristik Redaman Atmosfer di Indonesia pada Sistem Transportasi Udara Marcelius Aditya Dwi Suharianto, Indra Surjati dan Endah Setyaningsih	90-100
Mitra Bestari	101
Indeks Pengarang	102

Karakteristik Redaman Atmosfer di Indonesia pada Frekuensi Sistem Transportasi Udara

Marcelius Aditya Dwi Suhariato¹, Indra Surjati² dan Endah Setyaningsih¹

ABSTRACT: This characteristic of atmosphere attenuation is made in to find out the effect of climate condition to the atmosphere attenuation and to make the characteristic of atmosphere attenuation in the form of graph. The atmosphere attenuation is the weakening process which happens in the radio communication from the air to the earth or vice versa which is the combination of four attenuations, such as gas attenuation, rain attenuation, cloud & smoke attenuation, and scintillation attenuation. The production of the atmosphere attenuation is based on the theory which is placed at the ITU-R recommendation and the counting itself uses the data of climate condition, such as temperature, air pressure, rainfall, and air humidity. The process of counting and plotting the graph of atmosphere attenuation in Indonesia is done by using a language programming, Matlab version 7.0, meanwhile the statistic counting from the data uses the SPSS. How big or small the characteristic of atmosphere attenuation is influenced by the condition of the climate. The model of characteristics of the attenuation of the atmosphere in Indonesia is classified by three kinds of area, which are equatorial, monsoon, and local which has a typical characteristic of atmosphere attenuation that is different.

KEYWORDS: modeling, atmospheric attenuation, attenuation characteristic

ABSTRAK: Karakteristik atenuasi atmosfer digunakan untuk mengetahui efek kondisi iklim terhadap atenuasi atmosfer dan untuk membuat karakteristik atenuasi atmosfer dalam bentuk grafik. Atenuasi atmosfer adalah proses pelemahan yang terjadi pada komunikasi radio dari udara ke bumi dan sebaliknya, yang merupakan kombinasi dari empat atenuasi, seperti atenuasi gas, atenuasi hujan, atenuasi asap dan awan, serta atenuasi sintilasi. Atenuasi atmosfer dihasilkan oleh teori yang berdasarkan rekomendasi ITU-R and penghitungannya sendiri menggunakan data kondisi iklim, seperti suhu, tekanan udara, curah hujan, dan kelembaban udara. Proses penghitungan dan pembuatan grafik atenuasi atmosfer di Indonesia dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab versi 7. Sedangkan penghitungan statistik data menggunakan SPSS. Besar kecilnya karakteristik atenuasi atmosfer dipengaruhi oleh kondisi iklim. Model karakteristik dari atenuasi atmosfer di Indonesia diklasifikasikan menjadi tiga jenis area, yaitu area ekuatorial, area monsoon, dan area lokal, yang masing-masing memiliki karakteristik atenuasi atmosfer yang berbeda.

KATA KUNCI: pemodelan, atenuasi atmosfer

PENDAHULUAN

Komunikasi antara menara pengawas dengan pesawat atau sebaliknya, dalam dunia penerbangan, merupakan hal yang sangat penting. Komunikasi dilakukan untuk memantau dan memperoleh informasi status dari pesawat yang tertangkap di radar menara pengawas atau *Air Traffic Controller* (ATC). Teknologi sangat penting untuk berkomunikasi, baik data maupun suara, secara langsung dan cepat, terutama dalam operasi penerbangan yang digunakan antara menara pengawas dengan pesawat atau sebaliknya, yang sering terjadi salah interpretasi (*miscommunication*) dalam mengartikan suatu perintah. Kesalahan ini terjadi karena artikulasi yang tidak jelas atau buruknya kualitas suara akibat pengaruh faktor propagasi gelombang di udara dan gangguan dari perangkat komunikasi. Kesalahan ini dapat berakibat buruk bagi keselamatan penerbangan dikarenakan interpretasi yang berbeda antara menara pengawas dengan pilot pesawat. Adanya *Air Traffic Management* (ATM) untuk pengelolaan lalu lintas transportasi udara sangat penting karena menyangkut masalah keselamatan dan keamanan penerbangan. ATM mencakup mengenai komunikasi, navigasi dan pengawasan atau dinamakan *Communication, Navigation and Surveillance* (CNS).

Buruknya kualitas suara yang diterima oleh pesawat atau ATC disebabkan oleh faktor redaman atau atenuasi yang membuat sinyal diterima tidak sesuai dengan sinyal dikirim, atau dengan kata lain mengalami gangguan. Pada sistem transportasi udara di Indonesia, frekuensi yang digunakan untuk berkomunikasi atau *data link* antara pesawat dengan ATC adalah *Very High Frequency Air-Ground* (VHF A/G) yang sering disebut VHF *Data Link* (VDL). Dilihat pentingnya pengkajian faktor redaman dalam komunikasi radio, terutama pada komunikasi sistem transportasi udara, maka penelitian ini akan mengkaji faktor redaman atmosfer yang mempengaruhi baik atau tidaknya komunikasi pada sistem transportasi udara di Indonesia.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh redaman atmosfer terhadap propagasi gelombang radio, atau yang lebih spesifik terhadap frekuensi sistem transportasi udara di Indonesia yaitu pada *range* VHF A/G. Pengaruh redaman atmosfer ini akan diukur melalui perhitungan secara matematis berdasarkan rumus-rumus dari rekomendasi *International Telecommunication Union-Radiocommunication* (ITU-R) yang berkaitan dengan perhitungan redaman dalam komunikasi radio. Penelitian ini akan menggunakan data cuaca berupa kelembaban,

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

² Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti

suhu, curah hujan dan tekanan udara dari beberapa bandara di Indonesia yang nantinya diolah menggunakan rumus yang tersedia. Hasil perhitungan ini nantinya akan digunakan untuk membuat model karakteristik redaman atmosfer di Indonesia.

Permasalahan dalam penulisan penelitian ini dibatasi. Faktor redaman di dalam atmosfer yang mempengaruhi propagasi gelombang radio wilayah Indonesia yang diperhitungkan hanya berdasarkan rekomendasi ITU-R untuk redaman atmosfer yang disebabkan oleh efek dari empat sumber utama redaman atmosfer dan di luar *free space loss*. Karakteristik redaman atmosfer Indonesia yang akan dibuat hanya beberapa daerah yang mewakili tiga tipe cuaca di Indonesia serta memiliki Bandar Udara komersial di bawah naungan PT. Angkasapura1 dan PT. Angkasapura2 pada frekuensi sistem transportasi udara. Pembuatan karakteristik redaman atmosfer dan pengolahan data dalam penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab versi 7.0 dan SPSS versi 15.0 dengan mengolah data yang didapat dari BMG dan situs cuaca di internet <http://www.wunderground.com>.

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam penulisan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kondisi cuaca terhadap redaman atmosfer propagasi gelombang radio terutama pada frekuensi sistem transportasi udara di Indonesia, dan untuk mengetahui bagaimana karakteristik redaman atmosfer Indonesia pada frekuensi sistem transportasi udara berdasarkan rekomendasi ITU-R. Tujuan dari penulisan ini adalah mengetahui dan menghasilkan laporan teknis pengaruh kondisi cuaca terhadap redaman atmosfer serta hasil perhitungan redaman atmosfer pada frekuensi sistem transportasi udara di Indonesia dengan menggunakan rekomendasi ITU-R serta membuat karakteristik redaman atmosfer di Indonesia terhadap bulan dalam satu tahun dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab 7.0.

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data cuaca yang akan diolah menggunakan model propagasi yang terdapat pada model ITU-R yang merupakan standar internasional mengenai *radiocommunication*, dengan rekomendasi ini akan diperoleh variasi redaman atmosfer musiman yang terdiri dari redaman awan, redaman gas, redaman hujan dan *scintillation*. Model ITU-R yang digunakan untuk menghitung redaman total atmosfer adalah rekomendasi ITU-R P.618-8, yaitu estimasi redaman total yang disebabkan oleh efek dari empat sumber utama redaman atmosfer. Komponen redaman atmosfer yang dikombinasikan merupakan parameter yang penting untuk diperhitungkan di dalam atmosfer menurut ITU-R.

Faktor penentu baik atau tidaknya kualitas pengiriman informasi melalui komunikasi radio adalah pada berbagai jenis redaman yang terdapat di dalam atmosfer, serta besar atau kecilnya redaman yang dialami oleh gelombang radio tersebut. Faktor cuaca sangat mempengaruhi kualitas dari informasi yang dikirim dalam komunikasi radio. Semakin buruk kondisi cuaca, maka komunikasi radio antara menara pengawas dengan pesawat akan semakin terganggu. Redaman total dalam komunikasi radio memiliki beberapa komponen diluar dari *free space loss*. Redaman atmosfer merepresentasikan kombinasi dari efek hujan, gas, awan dan asap, serta *scintillation*. Masing-masing parameter redaman memiliki pengaruh dalam komunikasi radio dan jika dikombinasikan menjadi redaman atmosfer.

Besar atau kecilnya redaman hujan, gas, awan dan asap, serta *scintillation* sangat bergantung pada kondisi cuaca yang meliputi curah hujan, tekanan udara, suhu, kelembaban udara. Data kondisi cuaca ini diolah dengan menggunakan teknik perhitungan dari rekomendasi ITU-R dan hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui model karakteristik redaman atmosfer. Redaman atmosfer yang sudah ada dengan menggunakan rekomendasi ITU-R untuk daerah Indonesia adalah redaman atmosfer wilayah Surabaya yang telah dihitung oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Redaman daerah Surabaya yang telah dihitung memiliki variasi nilai yang cukup signifikan antara musim hujan dan kemarau, dengan nilai redaman yang cukup tinggi saat musim hujan. Selain itu terdapat model redaman hujan negara Malaysia yang membandingkan data pengukuran langsung dari USM dengan model perhitungan ITU-R dan VIHT pada frekuensi KU-band. Prediksi redaman yang dihitung dengan menggunakan rekomendasi ITU-R, hasilnya mendekati hasil pengukuran yang dilakukan USM secara langsung, sedangkan hasil perhitungan dengan menggunakan model prediksi VIHT kurang mendekati hasil pengukuran secara langsung. Berdasarkan kerangka berpikir, maka dapat ditarik hipotesis yaitu : **besar atau kecilnya redaman atmosfer dalam komunikasi radio antara menara pengawas dengan pesawat sangat berpengaruh terhadap kondisi cuaca, hal ini dapat dibuktikan dari hasil redaman atmosfer daerah Surabaya.** Berdasarkan teknik perhitungan rekomendasi ITU-R, dapat mengetahui karakteristik redaman atmosfer daerah

Surabaya. Hal ini menunjukkan bahwa dengan rekomendasi ITU-R dapat mengetahui model karakteristik redaman atmosfer di Indonesia.

REDAMAN GAS

Besar-kecilnya redaman gas dalam atmosfer disebabkan oleh penyerapan yang bergantung pada frekuensi, sudut elevasi, ketinggian di atas permukaan air laut dan kepadatan uap air. Metode penghitungan redaman gas terdapat pada rekomendasi ITU-R P.676-3 yang terdiri dari redaman akibat oksigen dan uap air. Model perhitungan ini juga dapat digunakan untuk frekuensi hingga 1000 GHz. Metode perhitungannya dinyatakan dalam bentuk Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (11). Untuk sudut elevasi (θ) antara 10° - 90° diperoleh:

$$Ag = \frac{h_o \gamma_o + h_w \gamma_w}{\sin \theta} \text{ dB} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk sudut elevasi (θ) dari 0° - 10° :

$$Ag = \frac{\sqrt{Re}}{\cos \theta} \left[\gamma_o \sqrt{h_o} F \left(\tan \theta \sqrt{\frac{Re}{h_o}} \right) + \gamma_w \sqrt{h_w} F \left(\tan \theta \sqrt{\frac{Re}{h_w}} \right) \right] \text{ dB} \dots\dots\dots(2)$$

dengan F merupakan fungsi sebagai berikut :

$$F(x) = \frac{1}{0.661x + 0.339\sqrt{x^2 + 5.51}} \dots\dots\dots(3)$$

Redaman spesifik untuk udara kering / oksigen γ_o (dB/km):

$$\gamma_o = \left[\frac{7.27r_i}{f^2 + 0.351r_p^2 r_i^2} + \frac{75}{(f - 57)^2 + 2.44r_p^2 r_i^5} \right] f^2 r_p^2 r_i^2 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(4)$$

Redaman spesifik untuk uap air γ_w (dB/km):

$$\gamma_w = \left[\frac{3.27 \times 10^{-2} r_i + 1.67 \times 10^{-3} \frac{\rho r_i^7}{r_p} + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5}}{3.79} + \frac{11.73 r_i}{(f - 22.235)^2 + 9.81 r_p^2 r_i} + \frac{11.73 r_i}{(f - 183.31)^2 + 11.85 r_p^2 r_i} \right] f^2 \rho r_p r_i \times 10^{-4} \dots\dots\dots(5)$$

dengan ρ diperoleh dari persamaan:

$$\rho = \frac{216.7e}{T} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Dan } e = \frac{Hes}{100} \text{ hPa} \dots\dots\dots(7)$$

$$e_s = a \exp \left(\frac{bt}{t+c} \right) \text{ hPa} \dots\dots\dots(8)$$

dengan :

$$a = 6.1121 \quad c = 240.97$$

$$b = 17.502$$

$$r_p = \frac{p}{1013} \dots\dots\dots(9)$$

$$r_i = \frac{288}{(273+t)} \dots\dots\dots(10)$$

ketinggian ekivalen untuk udara kering $f < 50\text{GHz}$:

$$h_o = 6 \text{ km}$$

ketinggian ekivalen untuk uap air :

$$h_w = h_{wo} \left\{ 1 + \frac{3}{(f - 22.2)^2 + 5} + \frac{5}{(f - 183.3)^2 + 6} + \frac{2.5}{(f - 325.4)^2 + 4} \right\} \text{ km} \dots\dots\dots(11)$$

dengan:

$h_{wo} = 1.6$ km untuk cuaca cerah atau

$h_{wo} = 2.1$ km dalam keadaan hujan

keterangan :

A_g : redaman gas

f : frekuensi (GHz)

p : tekanan atmosfer (hPa)

H : Kelembaban relatif (%)

t : suhu ($^{\circ}\text{C}$)

T : suhu absolut (K)

Re : jarak efektif bumi termasuk refraksi (8500 km)

θ : sudut elevasi (5° = sudut minimum antena)

es : tekanan saturasi uap air (hPa)

γ_o : redaman spesifik untuk udara kering / oksigen (dB/km)

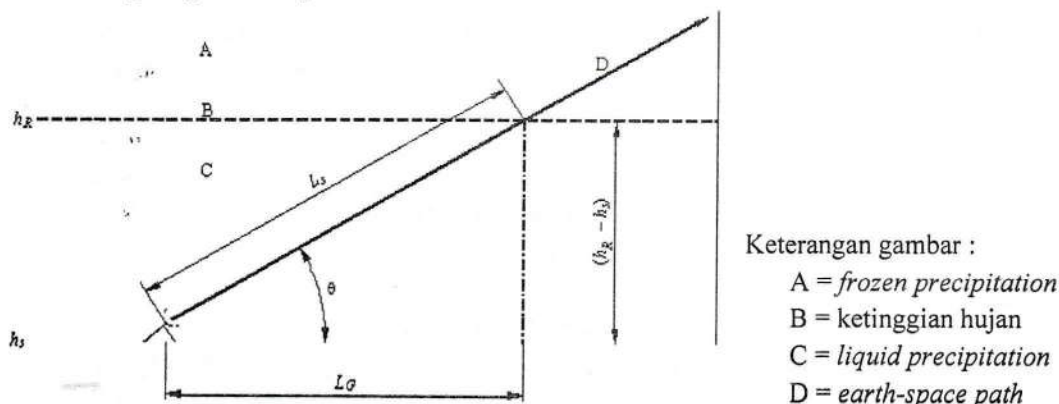
γ_w : redaman spesifik

ρ : kepadatan uap air (g/m^3)

REDAMAN HUJAN

Curah hujan merupakan suatu langkah awal untuk memprediksi redaman hujan. Hujan berkarakteristik tidak merata (*inhomogeneous*) dalam arah horizontal dan secara statistik dibutuhkan model untuk mengestimasi pengaruh ketidak merataan (*inhomogeneity*) pada estimasi redaman. Untuk aplikasi pemodelan redaman, hujan sering dibagi ke dalam dua kelas, *stratiform* dan *convective* atau volume sel dan jatuhan. Aplikasi konvektif pada atmosfer, parameter cairan secara dinamik biasanya berkarakteristik mengalir dengan lambat tergantung pada iklim, oleh karena struktur horizontal hujan seharusnya tidak tergantung pada iklim wilayah.

Model prediksi variasi laju hujan sepanjang lintasan horizontal (permukaan lintasan) cocok digunakan dalam merancang sistem komunikasi terrestrial. Sedangkan untuk lintasan vertikal digunakan untuk sistem komunikasi satelit. Analisis secara teori menunjukkan bahwa *precipitation* yang beku dalam bentuk es dan salju tidak menghasilkan redaman secara signifikan. Air, ketika dinyatakan dalam bentuk titik hujan atau lapisan air atas ukuran titik hujan partikel-partikel es, menghasilkan redaman signifikan. Penggunaan curah hujan menunjukkan bahwa air dapat diakumulasikan untuk memperkirakan berapa besar redaman hujan pada daerah tertentu di bumi, misalnya pada stasiun bumi. Perhitungan redaman hujan berhubungan dengan redaman gelombang radio dan curah hujan ini dihitung dalam millimeter per jam (mm/h). Metode perhitungan menggunakan rekomendasi ITU-R P.618-8 yang dapat digunakan perhitungannya hingga frekuensi 55 GHz. Presentasi *earth-space path* ditunjukkan oleh Gambar 1.



■ Gambar 1. Presentasi *earth-space path* dengan parameter yang digunakan dalam perhitungan redaman hujan

Beberapa data input yang dibutuhkan untuk model dan prosedur perhitungan distribusi redaman; $R_{0.01}$ = curah hujan rata-rata pada suatu tempat untuk 0.01% (mm/h), h_s = tinggi letak stasiun bumi terhadap permukaan air laut (km), θ = sudut elevasi ($^\circ$), φ = posisi lintang stasiun bumi ($^\circ$), f = frekuensi (GHz) dan R_e = jarak efektif bumi (8500km). Menggunakan metode ITU-R P. 618-8, dalam menentukan besarnya redaman untuk frekuensi tertentu, dapat dilakukan dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

Langkah 1 : Menentukan ketinggian hujan di atas permukaan air laut (h_R) dengan menggunakan rekomendasi ITU-R P. 839-3:

$$h_R = h_o + 0.36 \text{ km} \dots\dots\dots (12)$$

dengan : h_o = tinggi rata-rata 0°C isotherm dihitung dari permukaan laut dan berdasarkan rekomendasi ITU-R P.839-3 daerah Indonesia nilai $h_o=4.5$ km

Langkah 2 : panjang lintasan miring (L_s) di bawah ketinggian hujan :

$$\text{Untuk } \theta \geq 5^\circ : L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \text{ km} \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{Untuk } \theta < 5^\circ : L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e}\right)^{1/2} + \sin \theta} \text{ km} \dots\dots\dots (14)$$

Jika $h_R - h_s$ nilainya kurang dari atau sama dengan nol, nilai redaman nol dan langkah-langkah selanjutnya tidak perlu dilanjutkan.

Langkah 3 : Menghitung proyeksi horizontal (L_G) dari panjang lintasan miring :

$$L_G = L_s \cos \theta \text{ km} \dots\dots\dots (15)$$

Langkah 4 : Menentukan intensitas hujan R (mm/h) dari rata-rata tahunan 0.01% (data didapat dari BMG dan situs <http://www.wunderground.com>)

$$R_{0.01} = \frac{R}{d \times 5}$$

Dengan : R = curah hujan bulanan

d = jumlah hari terjadinya hujan

Langkah 5 : Menentukan redaman spesifik hujan (γ_R), menggunakan koefisien regresi rekomendasi ITU-R P.838 dan intensitas hujan rata-rata pada langkah 4 :

$$\gamma_R = k R_{0.01}^\alpha \text{ dB/km} \dots\dots\dots (16)$$

Langkah 6 : Menghitung faktor reduksi horizontal ($r_{0.01}$) untuk 0.01% waktu :

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}} \dots\dots\dots (17)$$

Langkah 7 : Menghitung faktor penyesuaian vertikal ($v_{0.01}$) untuk 0.01% waktu

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right) \text{ derajat} \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{untuk } \zeta > \theta : L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta} \text{ km} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{untuk } \zeta \leq \theta : L_R = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \text{ km} \dots\dots\dots (20)$$

dengan : $\chi = 36 - |\varphi|$

untuk $|\varphi| < 36^\circ$, $\chi = 0$

untuk $|\varphi| \geq 36^\circ$

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31 \left(1 - e^{-\left(\frac{\theta}{1+\chi} \right)} \right) \sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f^2}} - 0.45 \right)} \dots\dots\dots (21)$$

Langkah 8 : panjang lintasan efektif LE :

$$L_E = L_{R\sqrt{0.01}} \text{ km} \dots\dots\dots(22)$$

Langkah 9 : prediksi redaman yang terlampaui untuk 0.01% rata-rata tahunan

$$A_{0.01} = \gamma L_E \text{ dB} \dots\dots\dots(23)$$

Untuk menghitung nilai k dan α pada redaman spesifik digunakan formulasi sebagai berikut:

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10} f + c_k \dots\dots\dots(24)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha \dots\dots\dots(25)$$

dengan : f = frekuensi
 k = kH atau kV
 α = αH atau αV

Nilai konstanta untuk koefisien kH untuk polarisasi horizontal diberikan dalam Tabel 1 dan untuk koefisien kV untuk polarisasi vertikal diberikan dalam Tabel 2 dan untuk koefisien αH dan αV diberikan dalam Tabel 3 dan 4.

■ Tabel 1. Koefisien untuk kH

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5.33980	-0.10008	1.13098	-0.18961	0.71147
2	-0.35351	1.26970	0.45400		
3	-0.23789	0.86036	0.15354		
4	-0.94158	0.64552	0.16817		

■ Tabel 2. Koefisien untuk kV

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3.80595	0.56934	0.81061	-0.16398	0.63297
2	-3.44965	-0.22911	0.51059		
3	-0.39902	0.73042	0.11899		
4	0.50167	1.07319	0.27195		

■ Tabel 3. Koefisien untuk αH

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.14318	1.82442	-0.55187	0.67849	-1.95537
2	0.29591	0.77564	0.19822		
3	0.32177	0.63773	0.13164		
4	-5.37610	-0.96230	1.47828		
5	16.1721	-3.29980	3.43990		

■ Tabel 4. Koefisien untuk αV

i	a_i	b_i	c_i	m_α	c_α
1	-0.07771	2.33840	-0.76284	-0.053739	0.83433
2	0.56727	0.95545	0.54039		
3	-0.20238	1.14520	0.26809		
4	-48.2991	0.791669	0.116226		
5	48.5833	0.791459	0.116479		

REDAMAN AWAN DAN ASAP

Metode perhitungan redaman awan terdapat pada rekomendasi ITU-R P.840-3 yang dinyatakan dalam bentuk berikut:

$$A_c = \frac{LK_l}{\sin \theta} \text{ dB} \quad (26)$$

dengan :

$$K_L = \frac{0.819f}{\varepsilon''(1+\eta^2)} \text{ (dB/km)/(g/m}^3\text{)} \quad (27)$$

$$\eta = \frac{2 + \varepsilon'}{\varepsilon''} \quad (28)$$

permitivitas dielektrik kompleks dari air :

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{f_p \left[1 + \left(\frac{f}{f_p} \right)^2 \right]} + \frac{f(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{f_s \left[1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2 \right]} \quad (29)$$

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\left[1 + \left(\frac{f}{f_p} \right)^2 \right]} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\left[1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2 \right]} + \varepsilon_2 \quad (30)$$

$$\varepsilon_0 = 77.6 + 103.3(\theta - 1)$$

$$\varepsilon_1 = 5.48$$

$$\varepsilon_2 = 3.51$$

$$\theta = 300/T$$

$$f_p = 20.09 - 142(\theta - 1) + 294(\theta - 1)^2 \text{ GHz} \quad (31)$$

$$f_s = 590 - 1500(\theta - 1) \text{ GHz} \quad (32)$$

keterangan :

K_L : koefisien redaman spesifik ((dB/km)/(g/m³))

L : statistik dari total kandungan air (kg/m³)

f_p : frekuensi relaksasi utama (*principal relaxation frequencies*)

f_s : frekuensi relaksasi sekunder (*secondary relaxation frequencies*)

θ : sudut elevasi

A : redaman awan

REDAMAN SCINTILLATION

Scintilasi adalah fluktuasi dari satu atau beberapa karakteristik sinyal seperti amplitudo, fasa, polarisasi, arah kedatangan secara acak dan cepat. Hal ini disebabkan oleh perubahan indeks bias dari atmosfer. Metode perhitungan redaman scintilasi terdapat pada rekomendasi ITU-R P.618-8 dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Langkah 1 : Untuk nilai dari t dan perhitungan dari tekanan saturasi uap air (e_s), didapat dari persamaan 2.7 dan 2.8

Langkah 2 : menghitung indeks bias radio

$$N_{wet} = 3.732 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (33)$$

Langkah 3 : menghitung standar deviasi dari amplitudo sinyal

$$\sigma_{ref} = 3.6 \times 10^{-3} + 10^{-4} \times N_{wet} \text{ dB} \quad (34)$$

Langkah 4 : menghitung panjang lintasan efektif :

$$L = \frac{2h_L}{\sqrt{\sin^2 \theta + 2.35 \times 10^{-4}} + \sin \theta} \text{ m} \quad (35)$$

Langkah 5 : mengestimasi diameter efektif antenna (D_{eff}) dari diameter geometris (D) dan efisiensi antenna (η):

$$D_{eff} = \sqrt{\eta} D \text{ m} \dots\dots\dots(36)$$

Langkah 6 : menghitung faktor rata-rata antenna :

$$g(x) = \sqrt{3.86(x^2 + 1)^{1/2} \cdot \sin\left[\frac{11}{6} \arctan \frac{1}{x}\right] - 7.08x^{5/6}} \dots\dots\dots(37)$$

dengan :

$$x = 1.22 D_{eff}^2 (f / L) \dots\dots\dots(38)$$

{NB : Jika nilai dari akar adalah negatif (ketika $x \geq 7$), maka prediksi redaman *scintillation* bernilai nol dan langkah selanjutnya tidak perlu dilanjutkan}

Langkah 7 : menghitung standar deviasi dari sinyal berdasarkan periode dan propagasi :

$$\sigma = \sigma_{ref} f^{7/2} \frac{g(x)}{(\sin \theta)^{1.2}} \dots\dots\dots(39)$$

Langkah 8 : menghitung faktor persentasi waktu $a(p)$

$$a(p) = -0.061(\log_{10} p)^3 + 0.072(\log_{10} p)^2 - 1.71 \log_{10} p + 3.0 \dots\dots\dots(40)$$

Langkah 9 : menghitung redaman *scintillation*:

$$A_s(p) = a(p) \cdot \sigma \text{ dB} \dots\dots\dots(2.41)$$

keterangan :

- t : temperature (°C)
- H : kelembaban / humidity (%)
- f : frekuensi (GHz)
- θ : sudut elevasi
- D : diameter antenna bumi
- η : efisiensi antenna, jika tidak diketahui $\eta = 0.5$
- L : panjang lintasan efektif
- $g(x)$: faktor rata-rata antenna
- p : persentasi waktu = 0.01

REDAMAN TOTAL ATMOSFER

Redaman total atmosfer ini merupakan kombinasi dari redaman gas, hujan, awan dan *scintillation*, dimana metode yang digunakan berdasarkan rekomendasi ITU-R P.618-8 sebagai berikut :

$$A_T = A_G + \sqrt{(A_R + A_C)^2 + A_S^2} \dots\dots\dots(42)$$

dengan :

- A_T : redaman total atmosfer (dB)
- A_G : redaman gas (dB)
- A_R : redaman hujan (dB)
- A_C : redaman awan (dB)
- A_S : redaman *scintillation* (dB)

TEKNIK PENGOLAHAN DATA

Validitas dan reliabilitas dari instrumen yang ada sangat penting untuk mengetahui apakah instrumen yang digunakan valid dan handal. Parameter dari instrumen yang akan diuji validitas dan reliabilitasnya adalah suhu udara, tekanan udara, curah hujan dan kelembaban udara. Pengujian validitas dari data yang digunakan di penelitian ini menggunakan rumus *Pearson Product Moment* terkoreksi.

$$r_{hitung} = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \dots\dots\dots(43)$$

Rumus koreksi koefisien korelasi *Pearson Product Moment*:

$$\rho'_{xy} = \frac{\rho_{xy}}{\sqrt{\rho_{xx}\rho_{yy}}} \dots\dots\dots(44)$$

dengan:

- r_{hitung} = koefisien korelasi X dan Y
- $\sum Xi$ = jumlah skor item
- $\sum Yi$ = jumlah skor total (seluruh item)
- n = jumlah data
- ρ'_{xy} = r_{hitung} terkoreksi
- ρ_{xy} = r_{hitung}
- ρ_{xx} = r_{hitung} korelasi X dengan X

Selanjutnya dihitung dengan uji-t dengan rumus :

$$t_{hitung} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots\dots\dots(45)$$

dengan : t = nilai thitung

r = koefisien korelasi hasil r_{hitung}

n = jumlah data

distribusi (tabel t) untuk $\alpha = 0,05$ dan derajat kebebasan ($dk = n - 2$)

Kaidah keputusan :

Jika $t_{hitung} > t_{tabel}$ berarti valid dan $t_{hitung} < t_{tabel}$ berarti tidak valid. jika instrumen itu valid, maka dilihat kriteria penafsiran mengenai indeks korelasi r sebagai berikut : antara 0,800-1,000 : sangat tinggi ; antara 0,600-0,799 : tinggi ; antara 0,400-0,599 : cukup tinggi; antara 0,200-0,399 : rendah ; antara 0,000-0,199 : sangat rendah (tidak valid)

Pengujian reliabilitas instrumen dalam penelitian ini menggunakan model Cronbach Alpha yang rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{n}{n-1} \frac{\sigma_t^2 - \sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \dots\dots\dots(46)$$

dengan : ρ = koefisien reliabilitas (Cronbach Alpha)

n = Banyaknya butir

σ_t^2 = variansi total sekor data

σ_i^2 = Variansi pada setiap butir

Kaidah keputusan :

sudah mantap = diharapkan $\rho \geq 0,8$; belum mantap = $0,3 \leq \rho \leq 0,8$ sudah cukup baik (*reliable*), diharapkan $\rho \geq 0,7$

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Frekuensi yang digunakan oleh bandar udara di Indonesia berbeda-beda, yaitu terletak antara frekuensi 117,975 MHz – 137 MHz sesuai dengan ketentuan yang dibuat oleh badan standarisasi nasional atau Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk komunikasi darat-udara berfrekuensi amat tinggi (*VHF Air-Ground* atau *VHF A-G*). Frekuensi yang digunakan dalam perhitungan redaman atmosfer adalah 117,975 MHz, 123 MHz, 130 MHz dan 137 MHz. Nilai signifikansi dan koefisien korelasi data pada ketiga frekuensi dapat dilihat pada Tabel 5. Metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui korelasi antara redaman atmosfer dengan kondisi cuaca adalah uji statistik nonparametrik (Spearman) karena data yang digunakan dalam penelitian ini kurang dari 30 unit. Metode pengujian hipotesis statistik yang digunakan dapat dilihat di bawah ini:

H_0 : Kondisi cuaca tidak mempengaruhi besar atau kecilnya redaman atmosfer

H_1 : Kondisi cuaca mempengaruhi besar atau kecilnya redaman atmosfer

Berdasarkan hasil perhitungan, pada tingkat signifikansi 0.05 H_0 selalu ditolak atau H_1 diterima. Ini berarti bahwa hubungan antara redaman atmosfer dengan kondisi cuaca suatu daerah sangat signifikan.

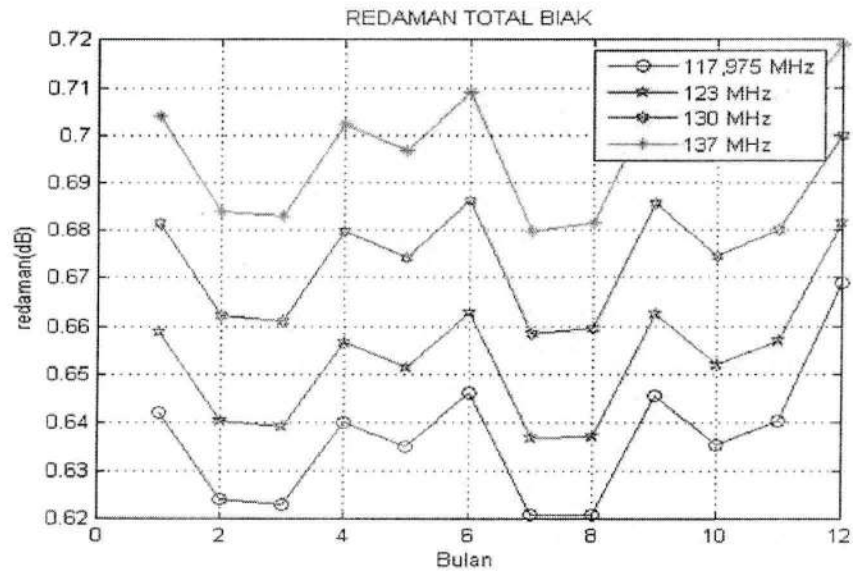
■ Tabel 5. Nilai Signifikansi dan Koefisien Korelasi Data

Frekuensi	Temperature		Pressure		Rain rate		Humidity	
	sign	ρ	sign	ρ	sign	ρ	sign	ρ
117.975 MHz	0.002	0.314	0.001	-0.323	0.000	0.376	0.000	0.487
123 MHz	0.001	0.321	0.001	-0.33	0.000	0.362	0.000	0.486
130 MHz	0.001	0.324	0.001	-0.335	0.000	0.354	0.000	0.486
137 MHz	0.001	0.329	0.001	-0.341	0.001	0.345	0.000	0.484

Keterangan : Signifikansi (α) = 0.05

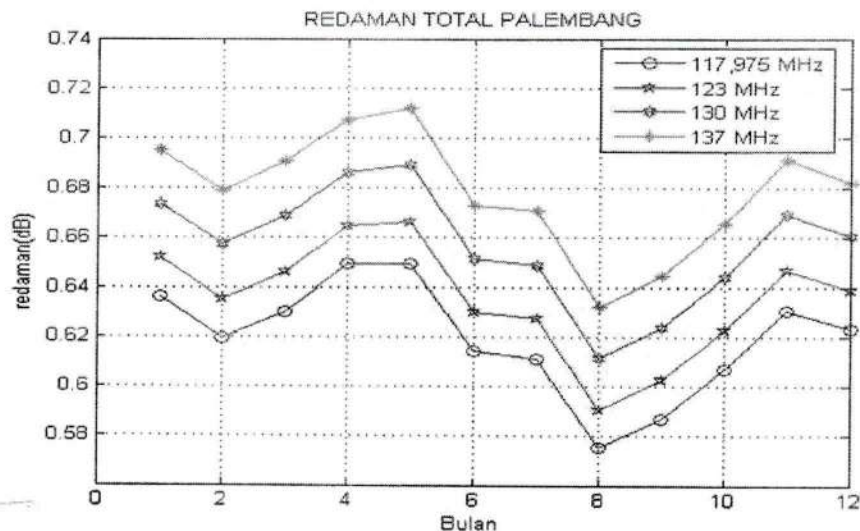
Berdasarkan karakteristik yang dihasilkan dapat dilihat bahwa ada perbedaan karakteristik dari redaman atmosfer di ketiga wilayah, yaitu:

1. Wilayah Equatorial : Puncak redaman atau redaman tertinggi berbentuk bimodial (dua puncak). Gambar 2 adalah karakteristik redaman atmosfer wilayah equatorial.



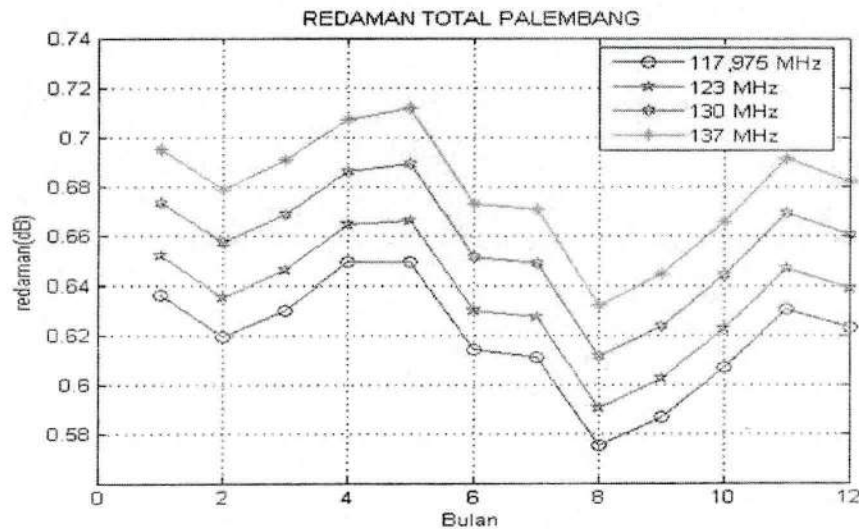
■ Gambar 2. Salah Satu Karakteristik Redaman Atmosfer Wilayah Equatorial

2. Wilayah Monsoon : Puncak redaman atau redaman tertinggi bersifat unimodial (satu puncak). Gambar 3 adalah karakteristik redaman atmosfer wilayah monsoon.



■ Gambar 3. Salah Satu Karakteristik Redaman Atmosfer Wilayah Monsoon

3. Wilayah lokal : Puncak redaman atau redaman tertinggi bersifat unimodial (satu puncak) seperti wilayah Monsoon, tetapi distribusi redamannya kebalikan dengan pola monsoon. Gambar 4 adalah karakteristik redaman atmosfer wilayah lokal.



■ Gambar 4. Salah Satu Karakteristik Redaman Atmosfer Wilayah Lokal

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, ditarik kesimpulan sebagai berikut besar atau kecilnya nilai dari redaman atmosfer sangat bergantung dengan kondisi cuaca suatu daerah. Perbedaan redaman atmosfer masing-masing wilayah tiap bulannya berbeda-beda, hal ini disebabkan pola cuaca di ketiga wilayah berbeda-beda. Berdasarkan kombinasi keempat redaman yang ditotal menjadi redaman atmosfer, redaman *scintillation* merupakan redaman yang paling berpengaruh terhadap hasil dari redaman atmosfer.

Pembuatan karakteristik hanya menggunakan data cuaca pada tahun 2007 saja. Diharapkan di kemudian hari ada yang membuat karakteristik redaman atmosfer wilayah Indonesia menggunakan data cuaca lebih banyak agar mewakili karakteristik redaman atmosfer beberapa tahun ke belakang. Diharapkan agar nantinya penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menggunakan data cuaca dari BMG yang diambil langsung dari masing-masing daerah. Ketidaklengkapan data cuaca BMG dikarenakan oleh masing-masing stasiun cuaca daerah belum melengkapi laporan teknis kondisi cuaca, sehingga pengarsipan data pada kantor BMG pusat kurang lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. T. Wells and S. B. Young, *Airport Planning and Management*, 5th ed, USA: McGraw-Hill, 2004, chap: 13, pp. 501.
- [2] ITU-R, *Radio Regulations Edition of 2004 (Internasional Telecommunication Union, Geneva, 2004)*.
- [3] M. S. J. Singh, S. I. S. Hasan, and M. F. Ain, "Rainfall Attenuation an Rainfall Rate Measurements in Malaysia Comparison with Prediction Models", *American Journal of Applied Sciences*, 2007.
- [4] Riduwan, *Belajar Mudah Penelitian untuk Guru-Karyawan dan Peneliti Pemula*, Bandung: Alfabeta, 2004, hal. 77.
- [5] D. S. Naga, *Bahan Kuliah Metodologi Penelitian*, Jakarta : Universitas Tarumanagara, 2001
- [6] Standar Nasional Indonesia. "Kriteria Penempatan Fasilitas Komunikasi Darat-Udara Berfrekuensi Amat tinggi (VHF Air-Ground atau VHF-A/G)," SNI 03-7048-2004.
- [7] Departemen Perhubungan. *Studi CNS / ATM di Indonesia*. Jakarta: Departemen Perhubungan, 2007.