

ANALISIS PROPAGASI GELOMBANG RADIO PADA SIRKIT KOMUNIKASI DISTRIK PAMEUNGPEUK-BANDUNG DAN HUBUNGANNYA DENGAN KONDISI LAPISAN IONOSFER

[ANALYSIS OF RADIO WAVE PROPAGATION OVER PAMEUNGPEUK-BANDUNG DISTRICT COMMUNICATION CIRCUIT AND ITS RELATIONS WITH CONDITION OF IONOSPHERE]

Jiyo

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusat Sains Antariksa, Lapan
e-mail: jiyolpnbddg@yahoo.com

ABSTRACT

In this paper we discuss relation between 9 channel of Pameungpeuk-Bandung HF Radio communication circuit and ionosphere. The objective is to determine the dependence of the successful use of frequency channels in the circuits to the ionospheric variations. The success of communication is observed by the Automatic Link Establishment (ALE), and the ionospheric data is observed by using ionosonda IPS51 in Pameungpeuk (7.65°S, 107.96°E). As case study we use the data observed on June 2013. We concluded that 5 of 9 channels that can be used for 24 hour intervals, which are the frequency of 3.596 MHz, 7.0495 MHz, 7.102 MHz, 10.1455 MHz, 14.109 MHz. Four other channels cannot be used because it is too high so that a layer of the ionosphere is not capable of reflecting it. Frequency of 3.596 MHz channel can be used optimally at night because of the influence of the ionospheric absorption rate is higher during the day than it was during the nighttime. The frequencies of 7.0495 MHz, 7.102 MHz, and 10.1455 MHz can be used during the day because it is associated with an increase of ionospheric electron density during the day. The frequency of 14.109 MHz can still be used during the night due to the possibility of reflection by Sporadic-E layer with a value of $foEs$ approximately 13 MHz. The frequencies of 18.106 MHz, 21.096 MHz, 24.926 MHz, and 28.146 MHz could not be used because it is too high compared to the maximum frequency of the ionosphere. All these facts show that the successful use of the radio communication district circuit of Pameungpeuk-Bandung depend to the frequency changes of the ionospheric layer, the mainly is diurnal variation.

Keywords: *Propagation, District, Channel, Absorption, Electron density, Sporadic-E*

ABSTRAK

Makalah ini membahas kaitan antara keberhasilan 9 kanal frekuensi untuk sirkuit komunikasi distrik Pameungpeuk-Bandung dengan variasi harian lapisan ionosfer. Tujuannya untuk mengetahui ketergantungan keberhasilan kanal frekuensi yang dapat digunakan pada sirkuit tersebut terhadap variasi lapisan ionosfer. Keberhasilan kanal frekuensi diamati dengan perangkat *Automatic Link Establishment* (ALE) dan data ionosfer diamati menggunakan ionosonda IPS51 di Pameungpeuk (7,65°LS, 107,96°BT). Sebagai contoh kasus digunakan data pengamatan bulan Juni 2013. Dari analisis disimpulkan bahwa dari 9 kanal frekuensi hanya 5 kanal yang dapat digunakan yaitu frekuensi 3,596 MHz, 7,0495 MHz, 7,102 MHz, 10,1455 MHz, 14,109 MHz. Kanal frekuensi 3,596 MHz dapat digunakan optimal pada malam hari karena pengaruh peningkatan absorpsi pada siang hari. Frekuensi 7,0495 MHz, 7,102

MHz, dan 10,1455 MHz dapat digunakan dengan baik pada siang hari karena terjadi peningkatan kerapatan elektron lapisan ionosfer. Frekuensi 14,109 MHz dapat digunakan pada siang hingga malam hari karena adanya kemungkinan pemantulan oleh lapisan *E-Sporadis*. Frekuensi 18,106 MHz, 21,096 MHz, 24,926 MHz, 28,146 MHz tidak bisa digunakan karena lebih tinggi dari frekuensi maksimum lapisan ionosfer. Semua ini menunjukkan bahwa keberhasilan komunikasi radio pada sirkit Pameungpeuk-Bandung bergantung kepada perubahan frekuensi lapisan ionosfer.

Kata kunci: *Propagasi, Distrik, Kanal, Absorpsi, Kerapatan elektron, E-Sporadis*

1 PENDAHULUAN

Propagasi gelombang radio dimaksudkan sebagai proses penjalaran gelombang radio dari stasiun pemancar (Tx) hingga stasiun penerima (Rx). Sepanjang sirkit komunikasi Tx-Rx gelombang radio dapat menjalar secara langsung (*line of sight*), menjalar sepanjang permukaan Bumi melalui proses pemantulan oleh obyek-obyek yang ada di permukaan Bumi (*ground wave*), atau menjalar di angkasa dan mengalami pemantulan oleh lapisan ionosfer (*sky wave*). Penjalaran gelombang radio melalui pemantulan oleh lapisan ionosfer dipengaruhi oleh perubahan lapisan tersebut. Akibat dari perubahan lapisan ionosfer, maka kemampuan pantul lapisan ini terhadap gelombang radio pada rentang frekuensi (*band*) HF (*High Frequency*: 3 – 30 MHz) dan VHF-rendah (*Very High Frequency*: 30 – 60 MHz) juga berubah-ubah. Misalnya, gelombang radio dengan frekuensi 10 MHz biasanya sulit digunakan untuk komunikasi jarak dekat (~ 300 km) pada malam hingga pagi hari, dan baru bisa digunakan mulai tengah hari hingga sore hari. Hal ini sebagai akibat perubahan atau variasi harian lapisan ionosfer.

Salah satu piranti pengamatan penjalaran atau propagasi gelombang radio HF adalah perangkat radio yang dilengkapi sistem *Automatic Link Establishment (ALE)*. Data yang diperoleh dapat digunakan secara langsung sebagai rujukan untuk mengevaluasi kanal frekuensi HF secara *real time* (Dear, 2013) dan dapat juga digunakan untuk penelitian tentang pengaruh ionosfer dan propagasi gelombang radio. Berkaitan dengan hal tersebut, saat ini Pusat Sains Antariksa-LAPAN telah membangun jaringan stasiun ALE di beberapa balai/loka pengamatan dan stasiun kerjasama, termasuk di Balai Produksi dan Peluncuran Roket (BPPR) Pameungpeuk. Stasiun ALE di BPPR Pameungpeuk telah beroperasi dan menghasilkan data sejak Juni 2013. Sinyal radio yang dikirimkan stasiun ALE Pameungpeuk (7,65°LS, 107,96°BT) diterima oleh stasiun ALE Bandung (6,9°LS, 107,6°BT) yang keduanya berjarak sekitar 92 km. Data penerimaan sinyal di stasiun ALE Bandung dapat digunakan untuk menganalisis kemungkinan pemantulan oleh ionosfer di atas titik tengah sirkit Pameungpeuk-Bandung (7,28°LS, 107,78°BT).

Analisis tentang pemantulan gelombang radio HF oleh lapisan ionosfer, pada sirkit komunikasi jarak dekat, perlu dilakukan karena komunikasi radio jarak dekat ini banyak digunakan, terutama di lingkungan Kabupaten (Suhartini, 2011). Sirkit komunikasi radio dengan jarak dekat mempunyai jarak Tx-Rx kurang dari 300 km dan disebut komunikasi *mode distrik* atau *Near Vertical Incidence Skywave (NVIS)*. Rata-rata radius wilayah suatu Kabupaten di Indonesia sekitar 300 km, sehingga *mode* komunikasi radio HF yang digunakan termasuk kedalam mode distrik atau NVIS (Ibáñez, 2014; Irving, 2012). Dengan analisis ini dapat dipahami perilaku propagasi gelombang radio dan pada akhirnya dapat mengoptimalkan penggunaan komunikasi radio di lingkungan Kabupaten.

Tujuan dari pembahasan ini adalah mengetahui kesesuaian antara variasi parameter ionosfer hasil pengamatan ionosonda di Pameungpeuk/Tanjungsari dengan

rentang frekuensi yang dapat digunakan pada sirkuit komunikasi gelombang radio pada sirkuit komunikasi Pameungpeuk-Bandung. Dengan informasi tersebut akan diperoleh suatu bukti bahwa parameter ionosfer dapat digunakan untuk memprakirakan rentang frekuensi yang *usable* pada sirkuit *distrik* atau *NVIS*.

2 LANDASAN TEORI

Syarat terjadinya pemantulan gelombang radio HF oleh lapisan ionosfer adalah frekuensinya harus sama dengan frekuensi lapisan ionosfer. Gelombang radio HF dengan frekuensi f (MHz) yang menjalar dari Tx menuju Rx dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer jika memenuhi persamaan berikut (Jiyo, 2009):

$$f = f_v \frac{\sqrt{\frac{1}{4} \left(2R_B \sin\left(\frac{d}{2R_B}\right) \right)^2 + \left(h + \left(1 - \cos\left(\frac{d}{2R_B}\right) \right) R_B \right)^2}}{\left(h + \left(1 - \cos\left(\frac{d}{2R_B}\right) \right) R_B \right)} \quad (2-1)$$

Dengan f_v adalah frekuensi lapisan ionosfer dalam satuan MHz, h (km) menyatakan ketinggian lapisan ionosfer, d (km) merupakan jarak antara Tx dan Rx, serta R_B (km) adalah jari-jari Bumi.

Near Vertical Incidence Skywave (NVIS) adalah gelombang radio yang menjalar di angkasa dengan arah hampir vertikal (Irving, 2012) dengan sudut elevasi $70^\circ - 90^\circ$ dan dipantulkan oleh lapisan ionosfer sehingga menjangkau radius/jarak (d) sampai 200 mil atau 360 km (Ibáñez, 2012). Oleh karena itu, rentang frekuensi NVIS sebanding dengan rentang frekuensi lapisan ionosfer, sehingga frekuensi lapisan ionosfer dapat digunakan sebagai rujukan untuk komunikasi jarak dekat.

Frekuensi lapisan ionosfer mempunyai rentang antara frekuensi minimum (f_{min}) hingga frekuensi maksimum. Karena proses polarisasi, maka diperoleh dua nilai frekuensi maksimum lapisan ionosfer yaitu frekuensi maksimum gelombang ordiner ($foF2$) dan gelombang ekstra-ordiner ($fxF2$). Frekuensi maksimum gelombang ordiner ($foF2$) sering disebut frekuensi kritis lapisan ionosfer. Berdasarkan metode interpretasi data ionosfer (Piggott dan Rawer, 1978), frekuensi maksimum lapisan ionosfer ditentukan berdasarkan $foF2$.

Lapisan ionosfer mempunyai ketebalan beberapa ratus kilometer dan menempati ruang angkasa dari ketinggian sekitar 50 km hingga 600 km atau lebih di atas permukaan Bumi. Ketinggian lapisan ionosfer ditentukan berdasarkan ketinggian terendah dari lapisan yaitu batas bawah dari ketebalan lapisan. Hingga kini telah diketahui bahwa lapisan ionosfer terdiri dari beberapa lapisan - yang mampu memantulkan gelombang radio - yaitu lapisan *E*, lapisan *E-Sporadis*, lapisan *F1*, dan lapisan *F2*. Di daerah lintang rendah sering muncul lapisan *F3* di atas lapisan *F2* dan frekuensi kritisnya ($foF3$) lebih tinggi dari dari $foF2$. Adanya lapisan-lapisan ini menghasilkan beberapa kemungkinan pemantulan yaitu pemantulan oleh lapisan tertentu yang disebut juga sebagai propagasi. Propagasi ionosfer terdiri dari propagasi *E*, propagasi *E-Sporadis*, propagasi *F1*, propagasi *F2*, dan propagasi *F3*. Masing-masing propagasi bergantung kepada frekuensi kritis dan ketinggian lapisan.

3 DATA DAN METODOLOGI

Pengamatan propagasi gelombang radio HF dapat dilakukan dengan perangkat *Automatic Link Establishment* (ALE). Sirkuit komunikasi radio ALE antara Pameungpeuk dengan Bandung dapat digunakan untuk mengamati keberhasilan suatu kanal frekuensi. Sedangkan kemampuan pantul lapisan ionosfer di antara Pameungpeuk dan

Bandung (7,28°LS, 107,78°BT) dapat diamati menggunakan ionosonda di Tanjungsari (6,91°LS; 107,83°BT) atau Pameungpeuk (7,65°LS; 107,96°BT). Sebagai studi kasus, maka data yang akan dianalisis dalam makalah ini merupakan hasil pengamatan bulan Juni 2013.

Perangkat radio yang dilengkapi sistem ALE mampu mengirimkan dan menerima sinyal secara otomatis melalui 9 kanal frekuensi (Tabel 3-1). Setiap jam perangkat radio ALE mengirimkan dan menerima sinyal dari stasiun ALE lainnya dalam jaringan stasiun ALE sebanyak dua kali. Dalam satu kali penerimaan diperoleh informasi kanal frekuensi yang dapat digunakan untuk komunikasi pada satu sirkit (*kontak*), kualitas sinyal digital yang dinyatakan dalam *Bit Error Rate* (BER), dan kejernihan sinyal dalam *Signal Noise* (SN).

Tabel 3-1: KANAL FREKUENSI STASIUN ALE

Kanal	Frekuensi (MHz)
1	3,5960
2	7,0495
3	7,1020
4	10,1455
5	14,109
6	18,106
7	21,096
8	24,926
9	28,146

Jumlah kontak satu kanal frekuensi dari satu sirkit komunikasi dalam 1 jam selama sebulan didefinisikan sebagai *koneksitas*. Karena perangkat ALE secara otomatis mengirimkan dan menerima sinyal sebanyak 2 kali setiap jam untuk masing-masing kanal frekuensi, maka nilai maksimal *koneksitas* suatu kanal frekuensi adalah 2 x jumlah hari dalam satu bulan. Kemudian, kualitas sinyal digital mempunyai rentang nilai dari 0 hingga 30, dengan pengelompokan menjadi 5 kelas yaitu *Excellent*, *Good*, *Moderate*, *Low*, dan *Very Low*. Kejernihan sinyal mempunyai nilai 0 hingga 10 dengan 4 tingkatan yakni *Very Clear*, *Clear*, *Noisy*, dan *Very Noisy*. Rentang nilai untuk masing-masing tingkatan kualitas dan kejernihan diuraikan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: PARAMETER KUALITAS SINYAL (HFLink, 2014)

Nilai BER	Kualitas	Nilai SN	Kejernihan
30	<i>Excellent</i>	10	<i>Very Clear</i>
27-29	<i>Good</i>	7-9	<i>Clear</i>
24-26	<i>Moderate</i>	4-6	<i>Noisy</i>
21-23	<i>Low</i>	0-3	<i>Very Noisy</i>
<20	<i>Very Low</i>		

Pengamatan lapisan ionosfer di stasiun Pameungpeuk menggunakan ionosonda IPS51 dan menghasilkan data mentah berupa ionogram. Kemudian dilakukan interpretasi terhadap ionogram menggunakan metode khusus (Piggott dan Rawer, 1978), sehingga menghasilkan informasi frekuensi minimum dan frekuensi kritis masing-masing lapisan (Tabel 3-3). Frekuensi kritis merupakan batas atas (maksimum) frekuensi gelombang radio HF yang menjalar vertikal dan dipantulan oleh masing-

masing bagian dari lapisan ionosfer. Pemantulan gelombang radio HF yang merambat vertikal dan dipantulkan oleh lapisan ionosfer disebut propagasi vertikal.

Tabel 3-3: FREKUENSI (KRITIS) LAPISAN IONOSFER DAN PROPAGASI

Frekuensi	Keterangan
f_{min}	Frekuensi minimum untuk propagasi lapisan ionosfer.
foE	Frekuensi maksimum untuk propagasi E .
$foEs$	Frekuensi maksimum untuk propagasi $E-Sporadis$.
$foF1$	Frekuensi maksimum untuk propagasi $F1$.
$foF2$	Frekuensi maksimum untuk propagasi $F2$.
$foF3$	Frekuensi maksimum untuk propagasi lapisan $F3$.

Data ionosfer di atas Pameungpeuk dapat digunakan untuk mendekati kondisi ionosfer di atas titik tengah sirkuit Pameungpeuk-Bandung. Frekuensi kritis yang diperoleh dari stasiun tersebut dapat dibandingkan dengan koneksitas setiap kanal ALE untuk mengetahui propagasi yang mungkin terjadi antara Pameungpeuk dengan Bandung. Rataan BER dan SN selama satu bulan digunakan untuk menganalisis kualitas komunikasi data dan kejernihan penerimaan pada sirkuit tersebut berkaitan dengan kondisi ionosfer pada bulan itu. Sebagai studi kasus digunakan data pengamatan bulan Juni 2013.

Parameter statistik dari frekuensi kritis lapisan ionosfer digunakan untuk analisis hubungan antara propagasi gelombang radio dengan kondisi lapisan ionosfer. Banyak parameter statistik yang dapat diperoleh, namun untuk pembahasan pada tulisan ini digunakan beberapa diantaranya. Parameter desil atas f_{min} ($UD-f_{min}$) digunakan sebagai batas minimum frekuensi gelombang radio yang dapat dipantulkan lapisan ionosfer. Kemudian, median $foEs$ ($MD-foEs$) merupakan batas atas frekuensi gelombang radio yang dipantulkan oleh lapisan E atau $E-Sporadis$. Desil bawah $foF2$ ($LD-foF2$) adalah batas atas frekuensi gelombang radio yang dipantulkan oleh lapisan F dengan peluang keberhasilan lebih dari 90%. Median $foF2$ ($MD-foF2$) adalah batas atas frekuensi gelombang radio yang dipantulkan oleh lapisan F dengan peluang keberhasilan minimal 50%. Terakhir, desil atas $foF2$ ($UD-foF2$) adalah batas atas frekuensi gelombang radio yang dipantulkan oleh lapisan F dengan peluang keberhasilan kurang dari 10%.

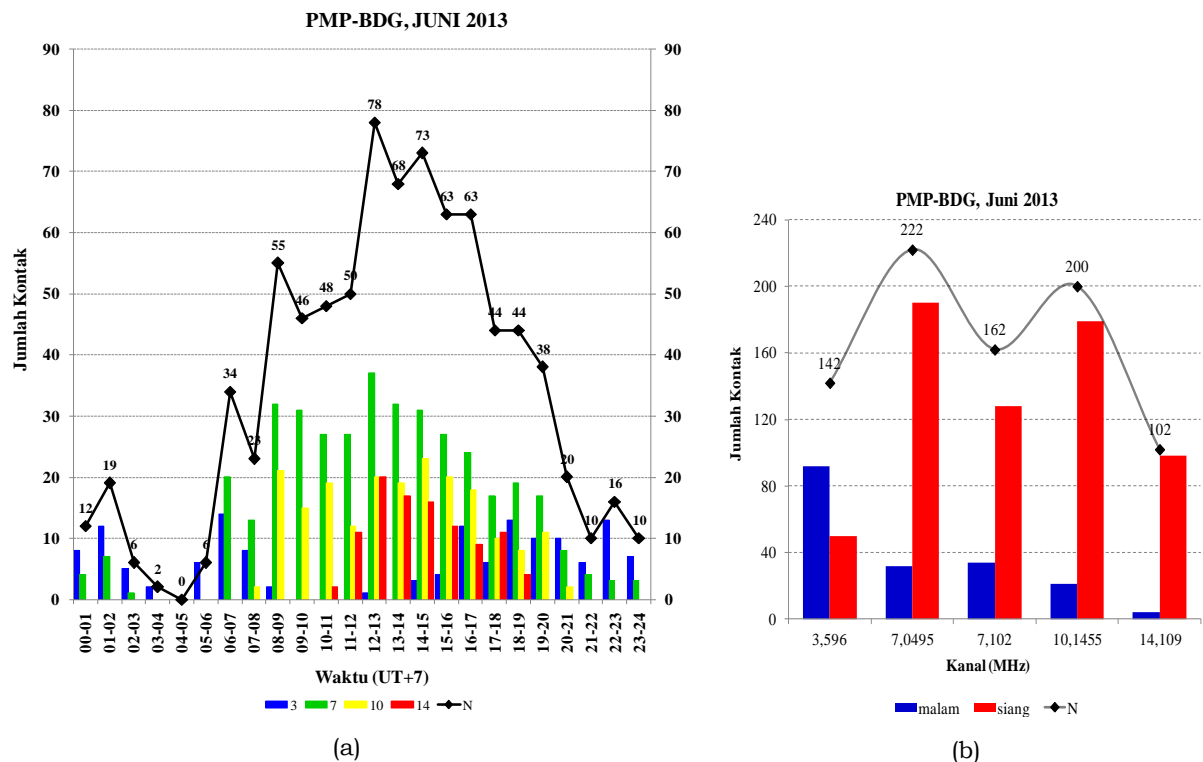
Sebagai pembanding tambahan maka digunakan prediksi frekuensi yang diperoleh dari model empiris yang terkandung dalam paket program *Advanced Stand-Alone Prediction System/ASAPS* (Bureau of Meteorology, 2014). Parameter *Absorption Limiting Frequency* (ALF) adalah sama dengan $UD-f_{min}$, *E-Maximum Usable Frequency* (E-MUF) sebanding dengan $MD-foEs$, *Optimum Working Frequency* (OWF) sama dengan $LD-foF2$, *F-Maximum Usable Frequency* (F-MUF) setara dengan $MD-foF2$, dan *Upper Decile* (UD) sama dengan $UD-foF2$.

4 HASIL PEMBAHASAN

Statistik koneksitas kanal frekuensi ALE pada sirkuit komunikasi Pameungpeuk-Bandung selama bulan Juni 2013 seperti pada Gambar 4-1. Grafik dalam gambar tersebut menunjukkan bahwa dari 9 kanal frekuensi (Tabel 2-1), hanya 5 kanal yang dapat digunakan yaitu kanal-1(3,596 MHz), kanal-2 (7,0495 MHz), kanal-3 (7,102 MHz), kanal-4 (10,1455 MHz), dan kanal-5 (14,109 MHz). Sedangkan kanal-6 (18,106 MHz), kanal-7 (21,096 MHz), kanal-8 (24,926 MHz), dan kanal-9 (28,146 MHz) sama

sekali tidak dapat digunakan. Secara umum jumlah semua kontak (N) pada siang hari lebih besar dibandingkan pada dini hari dan malam hari.

Selama bulan Juni 2013, sejak tengah malam jumlah kontak mulai menurun dan mencapai minimum pada pukul 5:00 WIB (Gambar 4-1(a)). Setelah itu jumlah kontak mulai naik lebih cepat pada pagi hari dan mencapai maksimum pada tengah hari (pukul 12:00 WIB-13:00WIB), kemudian menurun sepanjang sore dan malam hari. Kemudian Gambar 4-1(b) menunjukkan jumlah kontak berdasarkan kanal frekuensi selama bulan Juni 2013. Grafik pada gambar ini memberikan informasi bahwa dari 5 kanal frekuensi yang dapat digunakan pada sirkit Pameungpeuk-Bandung, frekuensi 7,049 MHz, 7,102 MHz, dan 10,1455 MHz mempunyai koneksitas lebih tinggi (*dominan*) dibandingkan 2 kanal lainnya.

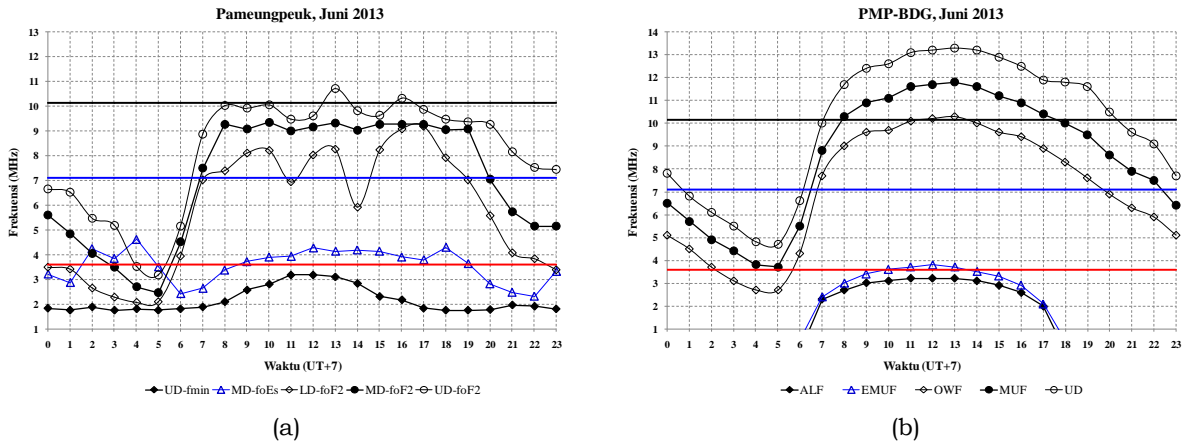


Gambar 4-1: Jumlah kontak komunikasi Pameungpeuk-Bandung selama bulan Juni 2013: jumlah kontak berdasarkan waktu (a), jumlah kontak berdasarkan kanal (b)

Grafik pada Gambar 4-2 memperlihatkan perbandingan antara kanal frekuensi dengan parameter statistik dari frekuensi lapisan ionosfer. Dua sumber data parameter statistik frekuensi lapisan ionosfer yaitu hasil pengamatan (Gambar 4-2(a)) dan simulasi menggunakan model empiris IPS (Gambar 4-2(b)). Gambar 4-2 juga menunjukkan kemampuan pantul lapisan ionosfer di atas Pulau Jawa bagian barat berdasarkan pengamatan dan model. Dari 5 kanal frekuensi semuanya tidak selalu berada pada rentang frekuensi $UD-fmin - UD-foF2$ dari data pengamatan (Gambar 4-2(a)) dan berada pada rentang $ALF - UD$ dari model (Gambar 4-2(b)). Artinya, tidak ada satu kanal pun yang dapat menyambungkan komunikasi Pameungpeuk-Bandung selama 24 jam.

Dalam rentang waktu pagi hari (~ pukul 7:00 WIB) hingga tengah malam (pukul 24:00 WIB), frekuensi 7,049 MHz dan 7,102 MHz berada dalam rentang frekuensi $UD-fmin - UD-foF2$. Sedangkan frekuensi 10,1455 MHz pada rentang waktu yang sama berada sedikit di atas nilai $UD-foF2$. Artinya, kanal-2 dan kanal-3 ini dapat dipantulkan dengan baik oleh lapisan ionosfer dengan peluang keberhasilan lebih tinggi, sedangkan kanal-4 masih bisa dipantulkan lapisan F dengan peluang keberhasilan lebih rendah.

Kanal-5 (14,109 MHz) meskipun jauh lebih tinggi dari nilai $UD-foF2$, namun masih memiliki peluang untuk dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Sedangkan kanal-6 (18,106 MHz), kanal-7 (21,096 MHz), kanal-8 (24,926 MHz), dan kanal-9 (28,146 MHz) sama sekali tidak dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer karena nilainya terlalu tinggi dibandingkan frekuensi lapisan ionosfer.



Gambar 4-2: Parameter ionosfer di atas Pameungpeuk yang menunjukkan kemampuan pantul lapisan tersebut selama bulan Juni 2013(a), simulasi menggunakan model IPS yang terkandung dalam paket program ASAPS (b)

Analisis Kanal-1

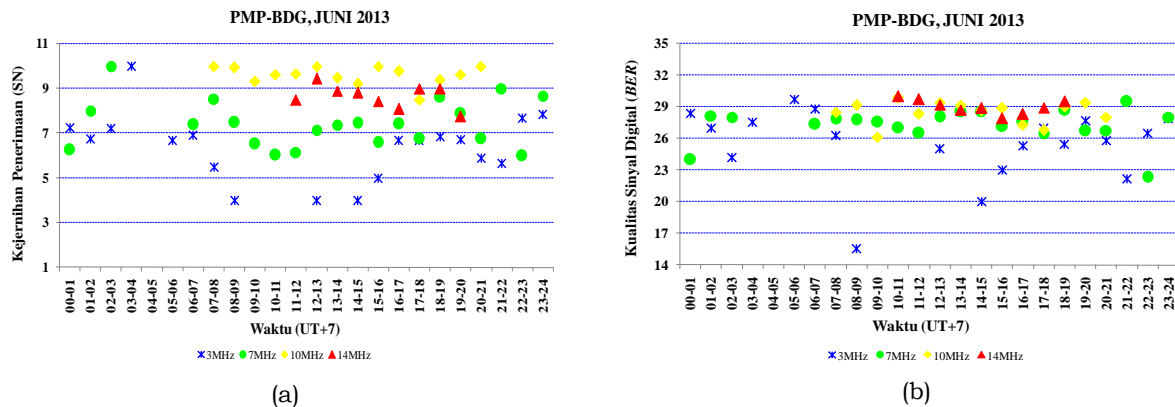
Frekuensi 3,596 MHz hanya bisa digunakan lepas tengah malam, pagi hari hingga sekitar pukul 8:00 WIB, siang hari mulai pukul 14:00 WIB hingga malam hari. Kanal ini sulit digunakan pada siang hari karena kemampuan pantul lapisan ionosfer dan peningkatan absorpsi pada siang hari. Seperti ditunjukkan oleh Gambar 4-2(a), kanal ini ada pada rentang $UD-fmin - UD-foF2$ pada tengah malam hingga pagi hari dan malam hari. Pada pukul 4:00-5:00 WIB nilai frekuensi kanal ini lebih tinggi dari nilai *Upper Decile* (UD), sehingga lapisan ionosfer tidak mampu memantulkan gelombang radio dengan frekuensi 3,596 MHz. Sedangkan berdasarkan model IPS (Gambar 4-2(b)) kanal-1 berada antara ALF dan OWF, sehingga lapisan ionosfer mampu memantulkannya. Pada siang hari terjadi peningkatan kerapatan lapisan *D* – yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai $UD-fmin$ – sehingga menaikkan penyerapan gelombang radio pada kanal ini. Akibatnya gelombang radio tidak mampu mencapai stasiun penerima karena energinya habis dalam penjalaran melalui lapisan *D*.

Jumlah kontak pada kanal-1 pada malam hari lebih tinggi dibandingkan jumlah kontak pada siang hari (Gambar 4-1(b)). Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi yang terlalu rendah sangat dipengaruhi lapisan *D*. Pada siang hari ionisasi di lapisan *D* lebih aktif karena intensitas energi untuk ionisasi yang berasal dari matahari lebih tinggi. Sementara pada malam hari energi ionisasi berkurang atau bahkan sangat rendah. Peningkatan kerapatan lapisan *D* berarti peningkatan tingkat penyerapan (*absorpsi*) terhadap energi gelombang radio yang menjalar di lapisan *D*. Nilai absorpsi (*A*) oleh lapisan *D* berbanding terbalik dengan kuadrat frekuensi gelombang radio seperti persamaan (4-1) (Oyekola et al., 2006; Poole, 2014).

$$A \approx \frac{1}{f^2} \tag{4-1}$$

Dengan persamaan (4-1) menjadi jelas bahwa absorpsi terhadap kanal-1 merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan kanal-kanal lainnya yang memiliki

frekuensi lebih tinggi dari kanal-1. Tingginya absorpsi pada siang hari diperkuat oleh data kejernihan penerimaan (Gambar 4-3(a)) dan kualitas sinyal digital (Gambar 4-3(b)) dari kanal-1. Penerimaan kanal-1 dari pukul 5:00 WIB hingga pukul 22:00 WIB dalam kondisi sangat buruk (*Very Noisy*) hingga buruk (*Noisy*) dengan $SN \leq 6$, sedangkan pada jam lainnya rata-rata jernih (*Clear*) hingga sangat jernih (*Very Clear*) dengan nilai $SN > 6$. Kemudian kualitas sinyal digital pada siang hari adalah *Very Low* hingga *Moderate* ($BER < 27$). Hal demikian menjadi penjelasan atas fakta bahwa frekuensi 3,596 MHz lebih baik jika digunakan pada malam hari, utamanya menjelang tengah malam hingga lepas tengah malam. Fakta ini juga menunjukkan bahwa prediksi menggunakan model IPS untuk selang waktu pukul 04:00 – 05:00 WIB kurang tepat.



Gambar 4-3: Tingkat kejernihan sinyal gelombang radio (a) dan kualitas sinyal digital (b) pada sirkit komunikasi Pameungpeuk-Bandung selama bulan Juni 2013

Analisis Kanal-2, Kanal-3, dan Kanal-4

Frekuensi 7,0495 MHz, 7,102 MHz, dan 10,1455 MHz merupakan kanal yang mempunyai jumlah kontak tinggi pada siang hari dan rendah pada malam hari. Hal ini dapat dipahami karena kanal-kanal tersebut berada dalam rentang kemampuan pantul lapisan ionosfer, baik berdasarkan data pengamatan (Gambar 4-2(a)) maupun simulasi menggunakan model (Gambar 4-2(b)). Pada siang hari kerapatan elektron lapisan ionosfer meningkat seiring dengan kenaikan intensitas energi matahari sebagai energi ionisasi di lapisan ionosfer. Meningkatnya kerapatan lapisan ionosfer akan menaikkan frekuensi lapisan ini dan akibatnya frekuensi gelombang radio yang mampu dipantulkannya juga meningkat.

Sebaliknya, pada malam hari terjadi penurunan kerapatan elektron akibat menurunnya intensitas energi dari matahari dan terjadinya proses rekombinasi sehingga jumlah partikel netral meningkat. Berkurangnya kerapatan elektron menyebabkan frekuensi lapisan ionosfer menurun sehingga tidak mampu memantulkan gelombang radio pada kanal-kanal frekuensi yang lebih tinggi, termasuk kanal-2 hingga kanal-4. Pada Gambar 4-1(b) terlihat jelas bahwa jumlah kontak kanal-kanal ini pada siang hari sangat dominan dibandingkan jumlah kontak pada malam hari.

Pada siang hari, penerimaan sinyal untuk kanal-kanal ini pada umumnya cukup jernih hingga sangat jernih dengan nilai $SN > 6$, kecuali kanal -2 dan kanal-3 pada pukul 10:00 - 12:00 WIB dan pukul 22:00 – 23:00 WIB nilai SN sekitar 6. Bahkan penerimaan sinyal untuk kanal-4 rata-rata sangat jernih dengan nilai SN 9 hingga 10. Kemudian rata-rata kualitas sinyal digital dari tiga kanal ini adalah bagus (*Good*) hingga sangat bagus (*Excellent*) dengan nilai BER antara 26 hingga 29. Pada malam hari kanal-2 dan kanal-3 kadang-kadang masih bisa digunakan dengan penerimaan cukup jernih hingga sangat jernih ($SN > 6$) dan kualitas sinyal dari moderate hingga bagus (BER: 23-29), sedangkan kanal-4 (10,1455 MHz) sangat sulit digunakan (lihat

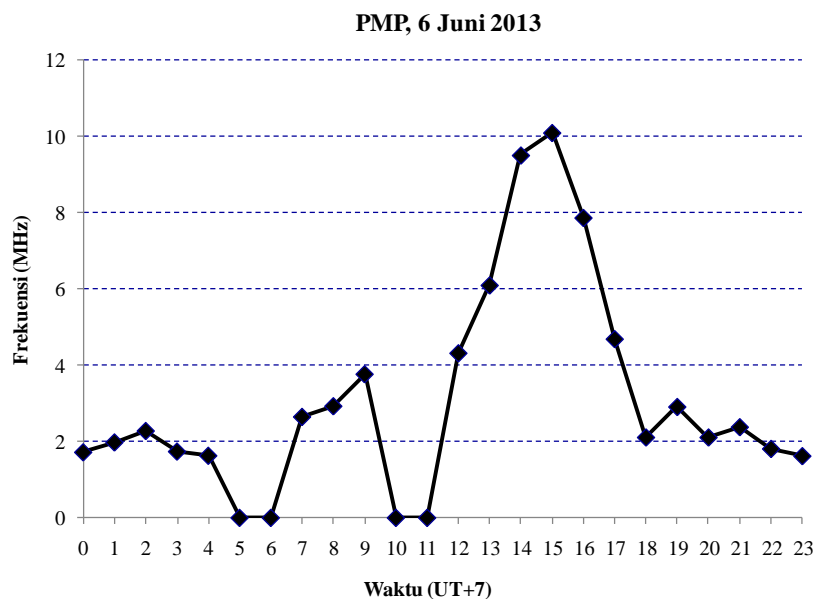
Gambar 4-1(a)) kecuali pada awal malam hari (pukul 18:00-21:00 WIB) masih bisa kontak meskipun jumlahnya kecil. Fakta ini menunjukkan bahwa kanal-2, kanal-3, dan kanal-4 baik dan cocok digunakan untuk komunikasi siang hari.

Analisis Kanal-5

Fakta unik terjadi pada kanal frekuensi 14,109 MHz yang meskipun nilainya lebih tinggi dari batas atas frekuensi ionosfer ($UD-foF2$) namun masih bisa menyambungkan komunikasi Pameungpeuk-Bandung mulai pukul 10:00 WIB hingga pukul 19:00 WIB. Batas atas frekuensi ionosfer seperti pada Gambar 4-2(a) bervariasi sepanjang hari dan mencapai nilai maksimum hampir 11 MHz pada pukul 13:00 WIB, sehingga kanal ini lebih tinggi 3 MHz dari maksimum batas atas frekuensi ionosfer pada bulan Juni 2013. Tingkat kejernihan penerimaan pada level jernih (*Clear*) dengan nilai SN antara 7 hingga 9 dan kualitas sinyal digital pada level bagus (*Good*) dengan nilai BER antara 28 hingga 29.

Lapisan *E-Sporadis* terjadi pada ketinggian sekitar 90 km hingga 110 km. Jika terjadi lapisan *E-Sporadis* pada ketinggian 90 km dengan frekuensi kritis ($foEs$) sekitar 13 MHz, maka berdasarkan persamaan (2-1) lapisan ini dapat memantulkan gelombang radio pada kanal-5 yang dipancarkan oleh stasiun ALE Pameungpeuk sehingga diterima oleh stasiun ALE Bandung. Kemungkinan kemunculan lapisan *E-Sporadis* sangat besar mengingat bulan Juni termasuk puncak distribusi kemunculan lapisan *E-Sporadis* (Jiyo dan Dear, 2009).

Meskipun hanya bisa digunakan mulai pukul 10:00 WIB hingga pukul 19:00 WIB, namun kejernihan penerimaan dan kualitas sinyalnya relatif lebih baik dibandingkan kanal-kanal lainnya. Tingkat kejernihan penerimaan pada level *Clear* dengan nilai SN antara 8 hingga 9. Sementara kualitas sinyal digitalnya pada level *Good-Excellent* dengan nilai BER antara 28 hingga 30. Tingginya nilai SN dan BER untuk kanal-5 ini menguatkan dugaan pemantulan oleh lapisan *E-Sporadis*, dengan $foEs$ cukup tinggi (Gambar 4-4), bukan oleh lapisan F pada ketinggian sekitar 300 km. Pemantulan oleh lapisan *E-Sporadis* pada ketinggian 90 km akan menghasilkan panjang lintasan gelombang (*path*) kurang dari 1/3 dari panjang lintasan gelombang yang dipantulkan oleh lapisan F. Dengan *path* yang lebih pendek maka absorpsi yang dialami gelombang radio akan sedikit lebih kecil sehingga nilai SN dan BER tinggi yang berarti penerimaannya jernih dan sinyalnya bagus.



Gambar 4-4: Frekuensi kritis lapisan *E-Sporadis* ($foEs$) di atas Pameungpeuk pada tanggal 6 Juni 2013

Kualitas sinyal (BER) dan kejernihan (SN) yang digunakan dalam pembahasan ini berdasarkan komunikasi digital (data), bukan komunikasi suara (*voice*). Meskipun karakteristik komunikasi digital dengan komunikasi suara agak berbeda namun mengingat nilai BER dan SN untuk kanal-5 ini tinggi, maka kanal ini juga akan baik jika digunakan untuk komunikasi suara.

5 KESIMPULAN

Dari 9 kanal frekuensi hanya 5 kanal yang dapat digunakan dalam rentang waktu 24 jam yaitu frekuensi 3,596 MHz, 7,0495 MHz, 7,102 MHz, 10,1455 MHz, 14,109 MHz. Empat frekuensi lainnya tidak dapat digunakan karena terlalu tinggi sehingga lapisan ionosfer tidak mampu memantulkannya. Kanal frekuensi 3,596 MHz dapat digunakan dengan optimal pada malam hari karena pengaruh tingkat absorpsi pada siang hari lebih tinggi dibandingkan nilainya pada siang hari. Frekuensi 7,0495 MHz, 7,102 MHz, dan 10,1455 MHz baik digunakan pada siang hari karena berkaitan dengan peningkatan kecepatan elektron lapisan ionosfer pada siang hari. Frekuensi 14,109 MHz masih dapat digunakan pada siang hingga malam hari karena adanya kemungkinan pemantulan oleh lapisan *E-Sporadis* dengan nilai *foEs* sekitar 13 MHz. Frekuensi 18,106 MHz, 21,096 MHz, 24,926 MHz, 28,146 MHz tidak bisa digunakan karena terlalu tinggi dibandingkan frekuensi maksimum lapisan ionosfer. Semua fakta ini menunjukkan bahwa keberhasilan komunikasi radio pada sirkuit distrik Pameungpeuk-Bandung bergantung kepada perubahan frekuensi lapisan ionosfer, utamanya variasi harian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim Bank Data Ionosfer Regional yang telah membantu menyediakan data ionosfer untuk makalah ini. Kemudian ucapan terima kasih kepada operator perangkat *Automatic Link Establishment* di Pameungpeuk dan Bandung yang telah melaksanakan tugasnya sehingga data propagasi gelombang radio tersedia dengan lengkap.

DAFTAR RUJUKAN

- Dear, V., 2013. *Penentuan Rentang Frekuensi Kerja Sirkuit Komunikasi Radio HF Berdasarkan Data Jaringan ALE (Automatic Link Establishment) Nasional*, Berita Dirgantara, Vol. 14, No. 1.
- Jiyo, 2009. *Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio dan Sudut Elevasi Antena*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 4/No. 1 2009, halaman 25-30.
- Jiyo dan V. Dear, 2009. *Distribusi Kemunculan Lapisan E Sporadis di Atas Biak dan Tanjungsari*, Buku Ilmiah: Ionosfer dan Aplikasinya, P.T. Massma Sikumbang, halaman 25-38.
- Piggott, W. R., dan K. Rawer, 1978. *URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction*, Report UAG -23A.
- Bureau of Meteorology, 2014. *Radio and Space Weather Services*, <http://www.ips.gov.au/Educational/1/2/1> (diunduh 26 Januari 2014).
- HFLink, 2014. *Global ALE High Frequency Network*, <http://hflink.net/>(diunduh 26 Januari 2014).
- Ibáñez, I. P., 2014. *NVIS Communications in the HF band*, <http://www.ipellejero.es/hf/NVIS/english.php> (Page last updated: 18/01/2012).
- Irving, D., 2012. *The Return of High Frequency: HF-NVIS, Your Regional Communications Lifeline When Everything Else is Broken*, 9-1-1 Magazine Edisi 15 Juni 2012 (<http://www.9-1-1magazine.com/Irving-RF-NVIS-Lifeline>).

- Oyekola, O. S.; Akinrimisi, J.; Ojo, A., 2006. *Ionospheric Absorption of HF Ordinary Radio Signal in The Atmospheric D-region*, 36th COSPAR Scientific Assembly. Held 16 - 23 July 2006, in Beijing, China.
- Poole, I., 2014. *Ionospheric Absorption of Radio Signals*, Adrio Communications Ltd., http://www.radio-electronics.com/info/propagation/ionospheric/Ionospheric_absorption.php (diunduh 26 Januari 2014).
- Suhartini, S., 2011. *Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 6, No. 1, Maret 2011.

