

ASIA VLF RECEIVER OBSERVATION NETWORK (AVON): STASIUN PONTIANAK

Timbul Manik
Pusat Sains Antariksa LAPAN
timbulm@yahoo.com, timbul@bdg.lapan.go.id

Abstract

Long term satellite observation and World Lightning Maps show that Central Africa, Middle/South America and South East Asia are the region with the highest lightning activity in the world. Continuous lightning observation is essential in this region because it provides information of location of lightning that cause serious hazard on human being. Beside lightning discharges also radiate electromagnetic and produce variety of phenomena in the atmosphere, ionosphere and magnetosphere, therefore South East Asia region is important to investigate lightning activity and the effects between lightning discharge and such related phenomena. This condition motivates establishment of an observation network called Asia VLF-receiver Observation Network (AVON), where three observation sites located at Tainan (23.08°U, 120.12°T) Taiwan, at Saraburi (14.53°U, 101.03°T) Thailand, and at LAPAN Pontianak (0.00°U, 109.37°T) Indonesia. Each location equipped with three types receiving antenna, i.e. dipole and monopole antennae to measure vertical electric fields, and orthogonal loop antenna to measure magnetic field components. Signal received by the each antenna splits to PC data processing, and used to observe lightning atmospheric (sferics) for locating lightning position (0.1–40.0 kHz), tweak atmosphere for determining ionospheric D-layer altitude and distance to the source of lightning discharge (0.1–10.0 kHz), signal from VLF transmitters for monitoring ionospheric D-layer (20.0–60.0 kHz). This observation network can be utilized to clarify such aspect of lightning activity and its effect to middle and upper atmosphere, the ionosphere and magnetosphere in conjunction with other ground-based and satellite-based observations. This paper introduces AVON, especially those operated in Pontianak Station, covering the instrumentation used and its benefit to atmospheric, ionospheric and space research. Some examples of preliminary results obtained are also presented.

Keywords: AVON, VLF-receiver, lightning, ionosphere

Abstrak

Data pengamatan satelit dan World Lightning Map menunjukkan bahwa wilayah Afrika Tengah, Amerika Tengah/Selatan dan wilayah Asia Tenggara merupakan wilayah dengan aktivitas petir tertinggi di dunia. Pengamatan petir yang berkelanjutan perlu dilakukan di wilayah ini karena dapat memperoleh informasi lokasi petir yang dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian bagi manusia. Di samping itu, petir juga memancarkan medan elektromagnetik yang mengakibatkan berbagai fenomena di atmosfer, ionosfer, dan magnetosfer, sehingga di samping wilayah Afrika Tengah dan Amerika Tengah/Selatan, wilayah Asia Tenggara merupakan wilayah yang untuk menyelidiki aktivitas petir dan fenomena yang ditimbulkannya. Kondisi ini mendorong pembangunan suatu jaringan pengamatan, disebut Asia VLF Observation Network (AVON), dengan lokasi pengamatan yang terletak di Tainan (23,08°U, 120,12°T) Taiwan, di Saraburi (14,53°U, 101,03°T) Thailand, dan di LAPAN Pontianak (0,00°U, 109,37°T) Indonesia. Setiap lokasi dilengkapi tiga jenis antena penerima, yaitu antena dipole dan antena monopole untuk mengukur medan listrik vertikal, serta antena loop ortogonal untuk mengukur komponen medan magnet. Sinyal yang diterima masing-masing antena dibagi ke pemroses data dan digunakan memantau petir untuk penentuan lokasi sambaran petir (0,1–40,0 kHz), memantau radio atmosferic (sferics) dan atmospheric tweak untuk penentuan ketinggian lapisan D ionosfer dan jarak ke sumber petir (0,1–

10,0 kHz), serta sinyal dari pemancar VLF untuk mengamati lapisan D ionosfer (20,0–60,0 kHz). Jaringan pengamatan ini dapat digunakan untuk memperjelas berbagai aspek dari aktivitas petir dan pengaruhnya terhadap atmosfer atas (*middle/upper atmosphere*), ionosfer bahkan magnetosfer bila dioperasikan bersama dengan pengamatan berbasis darat dan satelit lainnya. Makalah ini memperkenalkan AVON, khususnya yang dioperasikan di Stasiun Pontianak, meliputi peralatan yang digunakan dan manfaatnya untuk penelitian atmosfer, ionosfer dan antariksa. Beberapa contoh hasil awal yang diperoleh juga disampaikan.

Kata kunci: AVON, VLF-receiver, petir, ionosfer

1. PENDAHULUAN

Wilayah Asia Tenggara selain Afrika Tengah dan Amerika Tengah dan Selatan merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas petir tertinggi di dunia. (*Christian et al., 2003*). Peta petir yang dikeluarkan World Lightning Map juga menunjukkan bahwa wilayah Asia Tenggara termasuk Indonesia juga merupakan wilayah dengan aktivitas petir yang sangat tinggi. Pengamatan petir yang berkelanjutan perlu dilakukan di wilayah ini karena dapat memperoleh informasi lokasi petir yang dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian bagi manusia.



Gambar 1. Peta distribusi petir dunia dari data satelit periode 1995-2002 yang dikeluarkan oleh NASA (Anonim, geology.com, 2012).

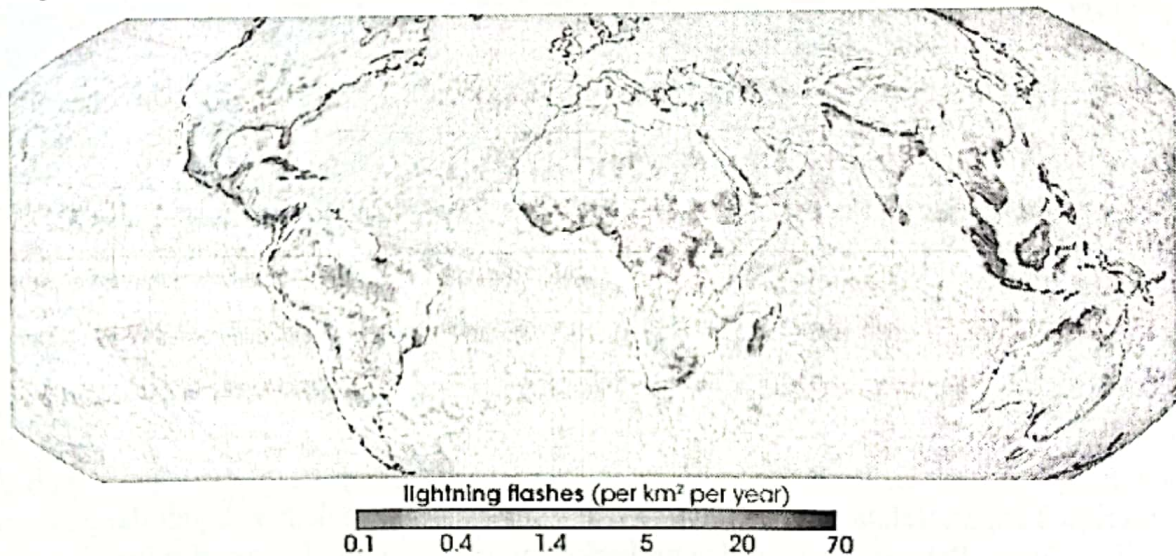
Petir juga memancarkan medan elektromagnetik yang mengakibatkan berbagai fenomena di atmosfer, ionosfer, dan magnetosfer, sehingga wilayah Asia Tenggara merupakan wilayah yang penting untuk menyelidiki aktivitas petir dan hubungannya dengan pengaruhnya terhadap atmosfer menengah/atas, ionosfer, dan magnetosfer. Kondisi ini mendorong pembangunan suatu fasilitas pengamatan di wilayah Asia dalam suatu jaringan pengamatan terpadu, disebut Asia VLF-receiver Observation Network (AVON), yang menggunakan VLF-receiver sebagai instrumen utamanya.

10,0 kHz), serta sinyal dari pemancar VLF untuk mengamati lapisan D ionosfer (20,0–60,0 kHz). Jaringan pengamatan ini dapat digunakan untuk memperjelas berbagai aspek dari aktivitas petir dan pengaruhnya terhadap atmosfer atas (*middle/upper atmosphere*), ionosfer bahkan magnetosfer bila dioperasikan bersama dengan pengamatan berbasis darat dan satelit lainnya. Makalah ini memperkenalkan AVON, khususnya yang dioperasikan di Stasiun Pontianak, meliputi peralatan yang digunakan dan manfaatnya untuk penelitian atmosfer, ionosfer dan antariksa. Beberapa contoh hasil awal yang diperoleh juga disampaikan.

Kata kunci: AVON, VLF-receiver, petir, ionosfer

1. PENDAHULUAN

Wilayah Asia Tenggara selain Afrika Tengah dan Amerika Tengah dan Selatan merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas petir tertinggi di dunia. (*Christian et al., 2003*). Peta petir yang dikeluarkan World Lightning Map juga menunjukkan bahwa wilayah Asia Tenggara termasuk Indonesia juga merupakan wilayah dengan aktivitas petir yang sangat tinggi. Pengamatan petir yang berkelanjutan perlu dilakukan di wilayah ini karena dapat memperoleh informasi lokasi petir yang dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian bagi manusia.



Gambar 1. Peta distribusi petir dunia dari data satelit periode 1995-2002 yang dikeluarkan oleh NASA (Anonim, geology.com, 2012).

Petir juga memancarkan medan elektromagnetik yang mengakibatkan berbagai fenomena di atmosfer, ionosfer, dan magnetosfer, sehingga wilayah Asia Tenggara merupakan wilayah yang penting untuk menyelidiki aktivitas petir dan hubungannya dengan pengaruhnya terhadap atmosfer menengah/atas, ionosfer, dan magnetosfer. Kondisi ini mendorong pembangunan suatu fasilitas pengamatan di wilayah Asia dalam suatu jaringan pengamatan terpadu, disebut Asia VLF-receiver Observation Network (AVON), yang menggunakan VLF-receiver sebagai instrumen utamanya.

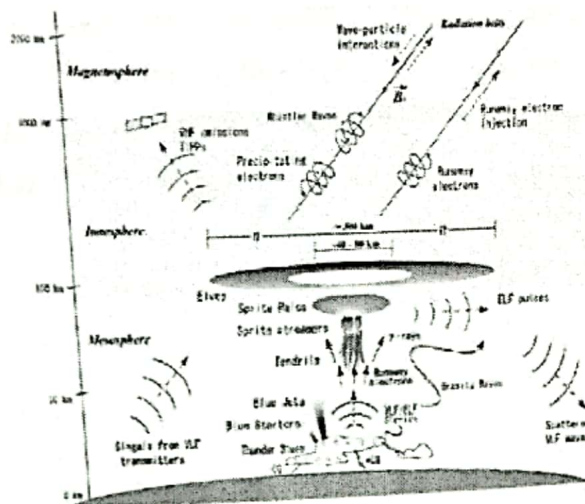
Kemampuan spektrum gelombang VLF/ELF yang dapat merambat sangat jauh mencapai ratusan hingga ribuan kilometer dari sumbernya dengan pantulan berulang antara bumi dan ionosfer, dikenal dengan *Earth-ionosphere waveguide (EIWG)* (Cummer 1998; Cheng, 2008 ; Singh et al. 2010), dimana lapisan pemantulnya adalah ionosfer bawah (lapisan D) pada batas atas, dan bumi pada batas bawah, membuat VLF/ELF menjadi sarana yang sangat unik untuk digunakan mengamati lapisan D ionosfer, yang kemudian dapat merespon beberapa input seperti aktivitas matahari, energi petir, presipitasi elektron dari *radiation belt*, sinar kosmik, bahkan gempa bumi. (Anonim, vlf.stanford.edu, 2012).

Makalah ini menjelaskan jaringan pengamatan AVON yang telah dibangun, khususnya yang telah dioperasikan di Stasiun Pontianak, meliputi manfaatnya untuk penelitian atmosfer, ionosfer dan antariksa, skema peralatan yang digunakan, serta menampilkan beberapa contoh hasil awal yang telah diperoleh.

2. MANFAAT BAGI PENELITIAN ATMOSFER DAN ANTARIKSA

Pelepasan muatan petir memancarkan energinya melalui gelombang elektromagnetik pada spektrum VLF pada kisaran 3-30 kHz, dan ELF pada kisaran 3-3000 Hz. Gelombang VLF juga dipancarkan dari beberapa stasiun bumi pemancar VLF di seluruh dunia, yang pada dasarnya digunakan untuk kebutuhan komunikasi dan navigasi beacon militer dan dioperasikan 24 jam per hari.

Tujuan dari pemasangan dan pengoperasian jaringan pengamatan ini adalah untuk mengamati aktivitas petir secara terus menerus untuk lebih memahami hubungan antara petir dengan fenomena yang ditimbulkannya terhadap atmosfer, ionosfer bahkan terhadap magnetosfer.



Gambar 2. Ilustrasi petir dengan berbagai fenomena yang ditimbulkannya di atmosfer, ionosfer dan magnetosfer, (courtesy Miyasato, 2002)

Pada Gambar 2. ditunjukkan ilustrasi beberapa fenomena yang terjadi akibat petir di atmosfer, ionosfer dan magnetosfer. Untuk penelitian atmosfer, jaringan pengamatan VLF receiver dapat dioperasikan bersama-sama dengan pengamatan meteorologi dan atmosfer berbasis darat yang sudah ada di wilayah Indonesia seperti WPR di Pontianak, BLR di Serpong, serta BLR dan EAR di Kototabang. Gabungan data yang diperoleh jaringan pengamatan VLF receiver dengan dari pengamatan tersebut di atas dapat digunakan untuk mempelajari hubungan terjadinya petir dengan struktur pergerakan angin 3-dimensi dan hujan di wilayah Indonesia. Perbandingan dengan data berbasis satelit juga dimungkinkan untuk penelitian atmosfer ini. Lebih jauh lagi, beberapa fenomena seperti sprite, elves, blue jet yang terjadi akibat petir di lapisan atmosfer yang lebih tinggi, dapat dikaitkan dengan kemampuan jaringan VLF receiver mengukur polaritas dan besar arus petir yang merupakan parameter kunci pada proses pembentukan awan petir sehingga pengaruh petir terhadap lapisan atmosfer yang lebih tinggi (*middle/upper atmosphere*) dapat dipelajari.

Dari sisi penelitian ionosfer, gelombang VLF, baik yang bersumber dari petir maupun pemancar VLF merambat hingga ratusan bahkan ribuan kilometer dengan pantulan berulang antara ionosfer dan bumi, dikenal dengan *Earth-Ionosphere Wave Guide (EIWG)* (Cummer 1998; Cheng, 2008; Singh et al. 2010). Dalam perjalanannya, gelombang VLF akan mengalami modulasi fasa dan amplitudo sebagai akibat perubahan pada ionosfer sehingga gelombang VLF ini akan mengandung informasi lapisan ionosfer, dan secara tidak langsung memberi indikasi kejadian di matahari sebagai sumber energi dan juga sumber gangguan pada ionosfer. VLF receiver memiliki kemampuan mendeteksi sinyal VLF seperti *radio atmospheric (sferic)*, *atmospheric tweek*, *whisler*. Sinyal-sinyal VLF ini digunakan untuk mengenali ionosfer rendah karena gelombang VLF merambat ke tempat yang jauh bergantung pada pantulan oleh lapisan D-ionosfer. (Anonim, <http://vlf.stanford.edu>, 2012).

Terkait penelitian magnetosfer, petir juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lapisan magnetosfer. Indikasi yang dapat dipergunakan untuk mengenali proses yang terjadi di magnetosfer adalah whisler. Penelitian terkait magnetosfer ini masih sangat sedikit, dan memerlukan dukungan data satelit.

3. INSTRUMENTASI JARINGAN PENGAMATAN VLF RECEIVER

Petir memancarkan gelombang elektromagnetik spektrum luas yang merambat dalam format EIWG antara bumi dan ionosfer rendah. Jarak jangkauan gelombang ini tergantung frekuensinya, dan gelombang radio pada rentang frekuensi sangat rendah (VLF) dapat mencapai hingga 10.000 km dari sumber gelombang tersebut. Dengan mengamati gelombang VLF tersebut di beberapa

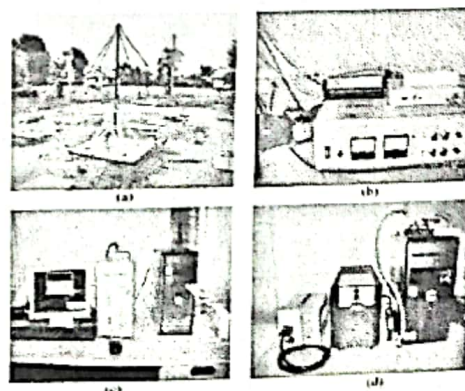
tempat secara bersamaan, dimungkinkan untuk memantau aktivitas petir dan ionosfer dalam spektrum yang luas. Berikut ini dijelaskan spesifikasi sistem instrumentasi jaringan pengamatan VLF receiver Asia, khususnya yang dioperasikan di Stasiun Pontianak.

Jaringan pengamatan VLF receiver Asia (AVON) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, terdiri dari tiga lokasi pengamatan yang terletak di Tainan ($23,08^{\circ}\text{U}$, $120,12^{\circ}\text{T}$) Taiwan, di Saraburi ($14,53^{\circ}\text{U}$, $101,03^{\circ}\text{T}$) Thailand, dan di LAPAN Pontianak ($0,00^{\circ}\text{U}$, $109,37^{\circ}\text{T}$) Indonesia. Pemilihan lokasi didasarkan pada tingkat noise, sarana dan prasarana dan kemudahan akses yang dimiliki masing-masing stasiun.



Gambar 3. Jaringan pengamatan VLF-receiver di Asia (AVON), lokasi stasiun di Tainan Taiwan, Saraburi Thailand dan Pontianak Indonesia.

Setiap lokasi pengamatan dilengkapi dengan tiga jenis antena penerima, yaitu antena dipol, antena orthogonal loop dan antena monopol yang digunakan untuk menerima sinyal VLF pada berbagai rentang frekuensi. Instrumentasi yang dioperasikan di Stasiun Pontianak ditunjukkan pada Gambar 4. Searah jarum jam berturut-turut adalah (a) Tiga set antena outdoor yang digunakan, Antena Dipole, antena orthogonal loop dilengkapi pre-amp, dan antena monopole tanpa pre-amp, (b) Main amplifier dan pembagi frekuensi (divider) indoor, (c) Penyimpan dan pemroses data VLF, dan (d) Power unit dilengkapi back up UPS.



Gambar 4. Instrumentasi outdoor dan indoor yang dioperasikan di Stasiun Pontianak, dimulai dari antena, amplifier, penyimpan data hingga power unit.

Tabel 1. Spesifikasi sistem pengamatan VLF di tiga lokasi pada jaringan AVON

	Antena Dipole	Antena Orthogonal Loop		Antena Monopole
Target observasi	Medan listrik E dari petir atmosfer	Medan magnet B dari petir atmosfer		Medan listrik E dari pemancar VLF
Dimensi antena	Panjang 2 m	Dimensi 1 m x 1 m		Panjang 2 m
Frekuensi observasi	1 - 40 kHz	100 Hz - 40 kHz	100 Hz - 10 kHz	40, 60 kHz etc.
Sistem perekam	PC1 (Desktop)		PC2 (Desktop)	PC3 (Desktop)
Sampling frekuensi	100 kHz, 16-bit resolution		20 kHz, 16-bit	200 kHz, 16-bit (10 Hz record)
Kapasitas data	~500 GB/tahun (4 MB/kali simpan)		215 GB/tahun	15 GB/tahun
Kebutuhan daya	Rata-rata: ~400 W (maksimum: 800 W)			

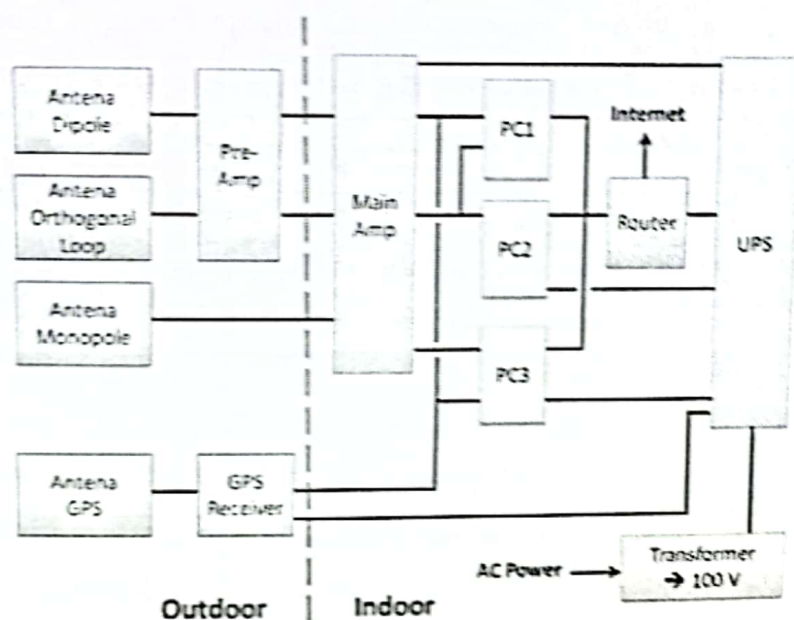
Spesifikasi sistem pengamatan VLF ditunjukkan pada Tabel 1 (Adachi et al., 2010). Sistem menggunakan tiga jenis antena dengan dimensi panjang 2 m untuk antena dipole dan monopole, dan dimensi 1x1 m untuk antena ortogonal loop. Ketiga antena digunakan untuk menerima frekuensi pada rentang frekuensi 100 Hz – 10 kHz, frekuensi 1-40 kHz, frekuensi 100 Hz – 40 kHz, serta frekuensi >40 kHz. Antena dipole dan monopole digunakan untuk menerima medan listrik (E) dari sinyal gelombang VLF pada frekuensi 1-40 kHz yang dihasilkan oleh petir dan pada frekuensi >40 kHz yang dihasilkan pemancar VLF buatan. Antena orthogonal loop digunakan untuk menerima medan magnet (B) yang dihasilkan oleh petir. Sinyal gelombang VLF yang diterima, baik secara terpisah oleh salah satu antena tertentu maupun merupakan kombinasi oleh dua jenis antena kemudian digunakan untuk memantau petir maupun ionosfer.

Sistem bekerja secara terus menerus sehingga kapasitas data yang harus disimpan juga menjadi besar mencapai 1 TB/tahun. Sistem bekerja hanya menerima sinyal VLF sehingga kapasitas daya yang dibutuhkan sekitar 400 watt, yang sebagian besar digunakan untuk catu daya komputer.

Blok diagram sistem pengamatan VLF ditunjukkan pada Gambar 5. (Adachi et al., 2010). Sinyal yang diterima oleh masing-masing antena mengalami penguatan pada pre-amplifier dan main amplifier dan kemudian disimpan pada masing-masing PC penyimpan dan pemroses data untuk digunakan sesuai parameter yang diamati, sementara waktu/clock GPS juga disimpan untuk

mensinkronkan waktu pengamatan dengan pengamatan di lokasi yang lain dalam jaringan. Sistem terhubung dengan jaringan internet untuk memudahkan monitoring jarak jauh. Besarnya data yang harus direkam menyebabkan pengiriman data tidak dilakukan melalui internet, tetapi dengan mengganti media penyimpan data (harddisk) secara berkala. Seluruh sistem di-backup dengan UPS untuk menjaga kontinuitas pengamatan.

PC1 digunakan untuk pengamatan petir pada rentang frekuensi 0,1–40,0 kHz. Parameter polaritas dan intensitas arus petir diamati pada rentang frekuensi ini. Gabungan pengamatan medan listrik (E) dan medan magnet (B) untuk komponen U-S dan komponen B-T digunakan untuk menentukan lokasi sambaran petir atmosfer.



Gambar 5. Blok diagram sistem pengamatan VLF.

PC2 yang menyimpan sinyal pada rentang frekuensi 0,1–10,0 kHz dan PC3 pada rentang frekuensi 20,0–60,0 kHz digunakan untuk mengamati ionosfer bawah. Pengamatan medan magnet (B) digunakan untuk mengamati tweek atmosfer secara berkala dan kemudian dianalisis untuk memperkirakan ketinggian lapisan ionosfer rendah dan jarak dari lokasi sambaran petir. PC3 melakukan sampling frekuensi 200 kHz, dan secara berkala merekam amplitudo dan fasa sinyal dari pemancar VLF. Data yang diperoleh pada rentang frekuensi 20–60 kHz ini digunakan untuk mengamati lapisan ionosfer rendah yang mungkin terganggu oleh aktivitas matahari ataupun sambaran petir. (Adachi, *et al.*, 2010).

4. HASIL YANG DIPEROLEH DAN ANALISIS

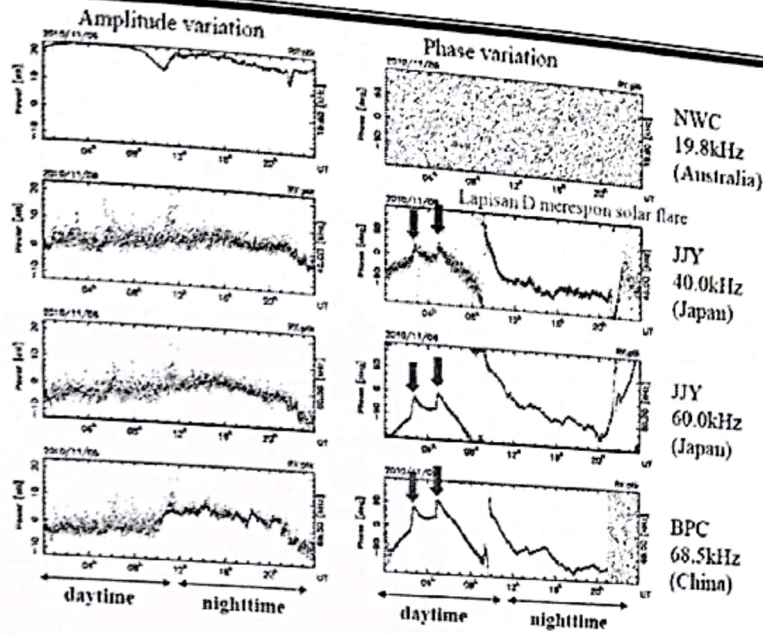
Pengamatan VLF dilakukan di Stasiun Pontianak dan di stasiun VLF di lokasi lain dalam jaringan pengamatan simultan. Sinyal gelombang VLF yang diterima dalam bentuk medan listrik

(E) dari sumber alami (petir) maupun sumber buatan (dari transmitter VLF), dan medan magnet (B) komponen utara-selatan (U-S) dan komponen barat timur (B-T) dari sumber petir atmosferik, untuk menentukan lokasi sambaran petir, memperkirakan ketinggian lapisan ionosfer, serta jarak sumber gelombang VLF petir.

Berikut ini ditampilkan perolehan data dari sumber pemancar VLF buatan. Tujuannya adalah untuk mengamati lapisan ionosfer yang mengalami dampak dari aktivitas matahari. Sinyal VLF di Pontianak diterima dari pemancar VLF buatan yang terletak masing-masing di North West Cape Australia (NWC, 19,8 kHz), di Fukushima Jepang (JJY-40, 40 KHz), di Fukuoka Jepang (JJY-60, 60 kHz), dan di Lintong China (BPC, 68,5 kHz) pada 6 November 2010 ditunjukkan pada Gambar 6. Lokasi detail stasiun-stasiun pemancar tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi VLF Transmitter yang diterima pada jaringan AVON

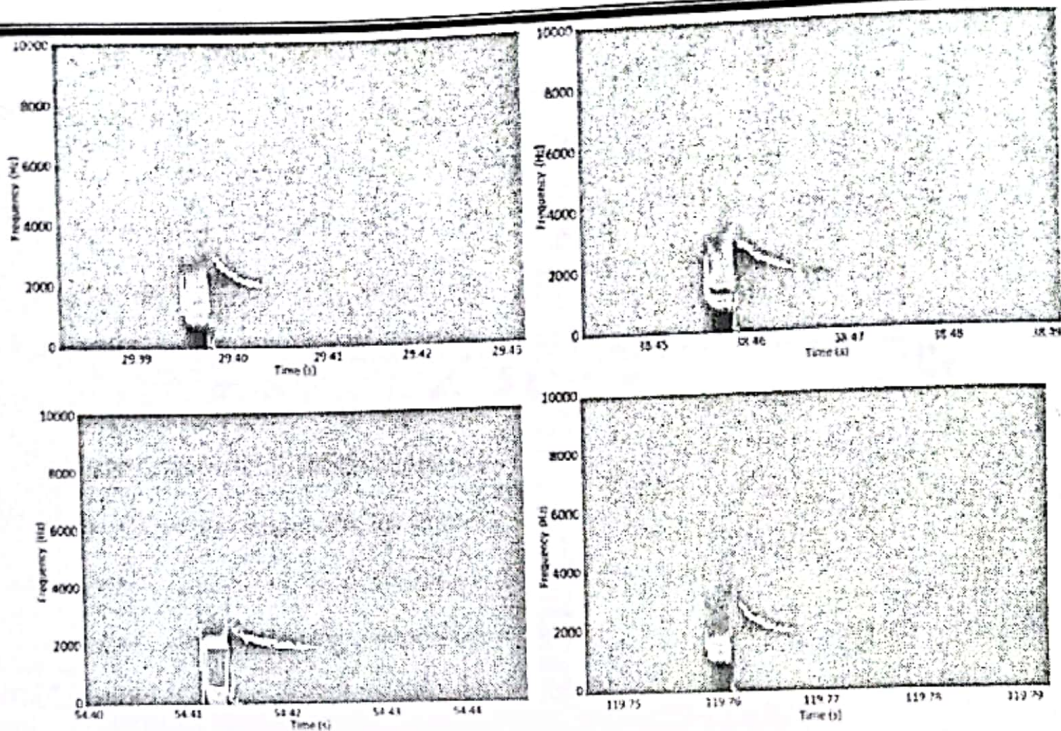
No.	Call sign	Freq.	Location	Latitude	Longitude
1.	NWC	19800	Harold E. Holt, North West Cape, Exmouth, Australia Locator: OG78be	S 21° 48' 58.78" (-21.816328°)	E 114° 09' 56.11" (+114.165586°)
2.	JJY-40	40000	Mount Ootakadoya, Fukushima Prefecture, Japan Locator: QM07ki	N37° 22' 21.35" (+37.372598°)	E140° 50' 56.06" (+140.848906°)
3.	JJY-60	60000	Mount Hagane, Fukuoka Prefecture, Japan Locator: PM53cl	N 33° 27' 55.56" (+33.465433°)	E 130° 10' 31.49" (+130.175415°)
4.	BPC	68500	Lintong, Shaanxi, China Locator: OM44sw	N 34° 56' 54.90" (+34.948585°)	E 109° 32' 34.68" (+109.542967°)



Gambar 6. Penerimaan sinyal di Pontianak dari pemancar VLF, 6 November 2010

Data yang diterima adalah sinyal gelombang VLF pada frekuensi >20 kHz. Dari pemancar VLF yang lokasinya sangat jauh. Dari data yang diperoleh, grafik sebelah kiri menunjukkan variasi amplitudo gelombang VLF, sedangkan grafik sebelah kanan menunjukkan variasi fasa sebagai fungsi waktu untuk masing-masing frekuensi 19,8 kHz, 40,0 kHz, 60,0 kHz, dan 68,5 kHz. Terlihat bahwa untuk frekuensi rendah (19,8 kHz) dari pemancar di Australia tidak diperoleh data yang jelas, tetapi pada frekuensi yang lebih tinggi (>40 kHz) terlihat adanya fluktuasi yang signifikan pada pukul 03 UT dan 05 UT atau sekitar pukul 11 siang dan pukul 12 siang waktu setempat. Hal ini menunjukkan adanya response lapisan D ionosfer terhadap terjadinya flare pada siang hari. Spaceweather.com melaporkan bahwa aktivitas matahari pada periode 5-7 Nopember 2010 menghasilkan flare yang terjadi di daerah aktif sunspot 1211, dan tercatat sebagai flare class M5.4. (spaceweather.com, 2010). Informasi ini dapat digunakan sebagai indikasi terjadinya aktivitas matahari yang berdampak pada perubahan pada lapisan ionosfer.

Hasil lain yang ditampilkan adalah penerimaan data VLF dari sumber petir. Tujuannya adalah untuk mengamati lapisan ionosfer rendah. Pada gambar 7 diperlihatkan penerimaan sinyal gelombang VLF atau tweek atmosfer pada rentang frekuensi dari 100 Hz hingga 10 kHz menggunakan antenna orthogonal loop, diterima pada 28 Agustus 2010, mulai pukul 17:00:29 UT, atau malam hari di waktu lokal. Hasil ini menunjukkan bahwa kejadian tweek atmosfer terjadi berturut-turut pada detik ke-29,39, ke-38,45, ke-54,41 dan ke-119,75.



Gambar 7. Sinyal gelombang VLF yang menunjukkan kejadian tweek atmosfer pada 28 Agustus 2010 di Pontianak mulai pukul 17:00:29. Berturut-turut terjadi pada detik ke-29,39, ke-38,45, ke-54,41 dan 119,75.

Dari hasil pengamatan ini, kemudian dilakukan perhitungan ketinggian lapisan pemantul dan jarak sumber gelombang VLF tweek atmosfer dengan menggunakan persamaan Earth-ionosphere Waveguide (EIWG). Setiap EIWG memiliki frekuensi cut off f_c , yaitu frekuensi batas perambatan gelombang, yang kemudian menjadi referensi perhitungan ketinggian lapisan pemantul seperti pada persamaan sebagai berikut. (A. Thierry, 2003)

$$h_r = \frac{nc}{2f_c} \quad (1)$$

dimana : h = ketinggian lapisan pemantul (m)

c = adalah kecepatan cahaya (m/det)

f_c = adalah frekuensi cut off, frekuensi batas perambatan gelombang (Hz)

$n = 1, 2, 3, \dots$ orde tweek, $n = 1$ untuk perhitungan frekuensi cut off.

Sedangkan untuk menentukan jarak sambaran petir (sumber gelombang VLF) ke lokasi penerima atau jarak perambatan gelombang digunakan persamaan berikut:

$$d = t_g \cdot c \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \quad (2)$$

dimana : d = jarak sambaran petir ke lokasi penerima (m)

t_g = waktu perambatan gelombang (detik)

c = kecepatan cahaya (m/det)

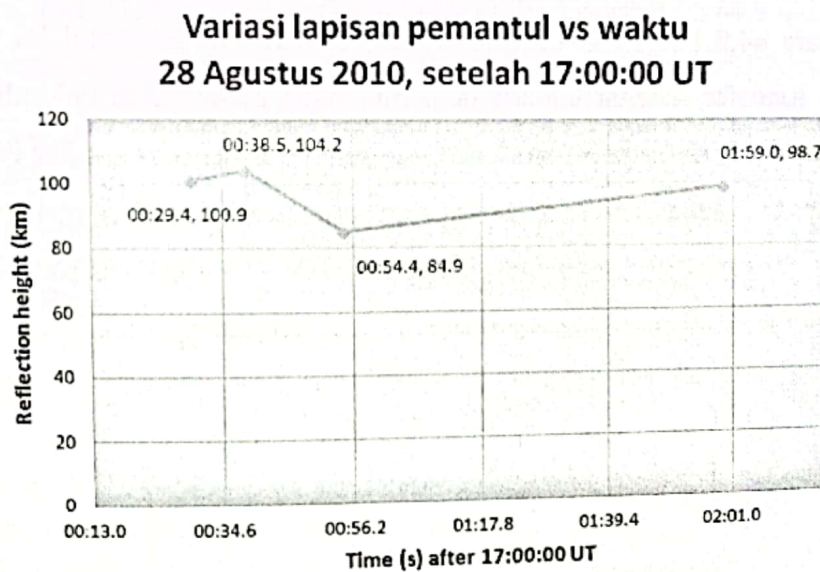
k = jumlah gelombang

h = ketinggian lapisan pemantul (m)

Hasil perhitungan ketinggian lapisan pemantul dan jarak perambatan gelombang adalah seperti pada Tabel. 3.

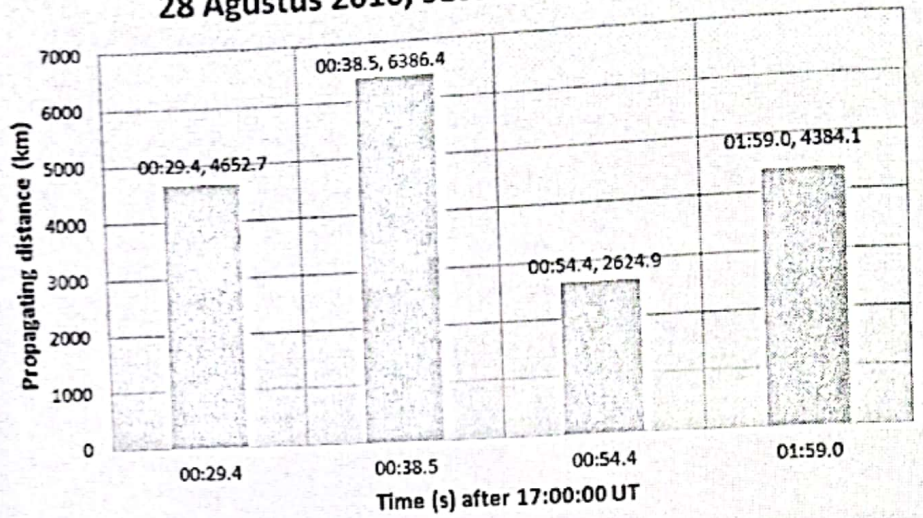
Tabel 3. Ketinggian lapisan pemantul dan jarak perambatan gelombang VLF

Waktu (detik)	Ketinggian lapisan pemantul (km)	Jarak perambatan gelombang VLF (km)
29,39	100,9	4652,7
38,45	104,2	6386,4
54,41	84,9	2624,9
119,75	98,7	4384,1



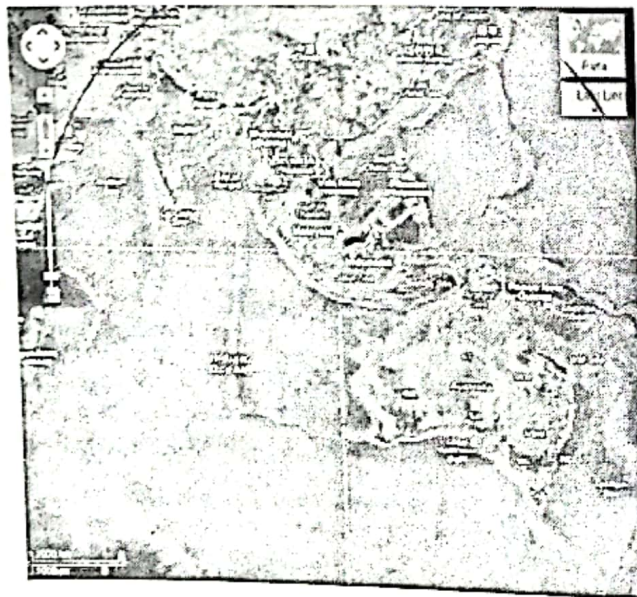
Gambar 8. Variasi lapisan pemantul vs waktu, Pontianak 28 Agustus 2010.

Jarak perambatan gelombang VLF 28 Agustus 2010, setelah 17:00:00 UT



Gambar 9. Jarak perambatan gelombang VLF Pontianak 28 Agustus 2010.

Ketinggian lapisan pemantul untuk empat kali kejadian tweek atmosfer pada malam hari adalah bervariasi antara 84,9 hingga 104,2 km. Ketinggian lapisan pemantul ini menggambarkan ketinggian lapisan D ionosfer sebagai lapisan pemantul pada perambatan gelombang VLF. Jarak perambatan gelombang VLF berkisar antara 2600 hingga 6400 km dari stasiun Pontianak. Grafik variasi ketinggian lapisan D-ionosfer sebagai lapisan pemantul sebagai fungsi waktu dan grafik jarak perambatan gelombang hingga mencapai stasiun Pontianak ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9. Peta radius perambatan gelombang sebagai jarak terjauh pelepasan muatan petir ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta radius perambatan gelombang VLF dari sumber petir ke Stasiun Pontianak.

5. KESIMPULAN

Jaringan pengamatan VLF Receiver Asia (AVON) sudah terpasang dan dioperasikan di Tainan, Saraburi dan Pontianak untuk pengamatan gelombang VLF dari sumber petir dan pemancar VLF buatan untuk pemantauan aktivitas petir secara terus menerus, yang dapat dimanfaatkan untuk penelitian atmosfer, ionosfer bawah dan antariksa.

Pengamatan gelombang VLF dari sumber pemancar VLF dapat digunakan sebagai indikasi terjadinya aktivitas matahari yang berpengaruh terhadap ionosfer. Pengamatan gelombang VLF dari pemancar VLF buatan memberi indikasi terjadinya flare pada tanggal 6 Nopember 2010, pukul 03 dan 05 UT. Spaceweather.com melaporkan bahwa flare pada waktu tersebut pada kelas M5.4 terjadi di daerah aktif *sunspot* 1211.

Pengamatan gelombang VLF dari sumber petir dapat digunakan untuk menentukan ketinggian lapisan D ionosfer dan jarak perambatan gelombang dengan metoda *Earth-Ionosphere Waveguide (EIWG)*. Dari hasil yang diperoleh, ketinggian lapisan D-ionosfer pada 28 Oktober 2010, setelah pukul 17.00 UT (malam hari waktu lokal) berkisar antara 84,9 hingga 104,2 km.

DAFTAR PUSTAKA

- Adachi, T., Y. Takahashi, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Yamashita, M. Yamamoto, and H. Hashiguchi, 2008, *Monitoring of Lightning Activity in South East Asi: Scientific Objectives and Strategies*, Kyoto Working Papers on area Studies No. 13.
- Adachi, T., Y. Takahashi, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Yamashita, 2010, *Development of VLF network system for lightning and ionospheric remote sensing in Southeast Asia*, submitted to ASR.
- Chen, A. B., Kuo, C.-L., Y.-J. Lee, et al. , 2008, *Global Distributions And Occurrence Rates Of Transient Luminous Events*, J. Geophys. Res., 113, A08306.
- Cheng, Z., S.A. Cummer, H-T. Su, and R-R. Hsu, 2007, *Broadband Very Low Frequency Measurement Of D Region Ionospheric Perturbation Caused By Lightning Electromagnetic Pulses*, J. of Geophysical Research, vol. 112.
- Cummer, S.A., U.S. Finant and T.F. Bell, 1998, *Ionospheric D Region Remote Sensing Using VLF Radio Atmospherics*, Radio Science Vol. 33, N.6.
- Neubert, T., 2003, *On Sprites And Their Exotic Kin*, Science 300, 747-9.
- Ohya, H., M. Nishino, Y. Murayama, and K. Igarashi, 2003, *Equivalent electron densities at reflection heights of tweek atmospherics in the low-middle latitude D-region ionosphere*, Earth Planets Space, 55, 627-635.
- Ohya, H., Kazuo Shiokawa, Yoshizumi Miyoshi, 2007, *Development Of An Automatic Procedure To Estimate The Refelction Heihgt Of Tweek Atmospherics*, Earth Planets Space, 60, 2008.
- Savtchenko, Aglika and Rumjana Mitzeva, *Sprites And Parent Thunderstorms*, BSSPP Proceedings, Series No. 1.
- Singh R., B. Veenadhari, M.B. Cohen, P. Pant, A.K. Singh, A.K. Maurya, P. Cohat, and U.S. Inan, *Initial result from AWESOME VLF receivers: set up in low latitude Indian regions under IHY2007/UNBSSI program*, Current Science, vol. 98, No. 3, 10 February 2010.