

KETIDAKSTABILAN PLASMA DI LAPISAN E IONOSFER DI ATAS KOTOTABANG DAN PAMEUNGPEUK

Dyah R M, Gatot W, Desi M
Pusat Sains Antariksa - LAPAN
e-mail : dyahrm09@gmail.com

Abstract

One of theories about the E layer ionospheric plasma instabilities associated with the presence of metal ions accumulated in a vertical windshear when neutral winds in the zonal direction is zero (Whitehead, 1989; Mathews, 1998). Study on the mechanism of formation of ions in the E layer associated with windshear of neutral winds above Kototabang and Pemeungpeuk is very interesting. Besides the importance of analysis of the electron density as an indicator of plasma dynamics, it is also important to understand the variation of neutral wind velocity as one component that plays a role in the dynamics of the E layer plasma. In the previous study, the dynamics of plasma in the E layer is determined from sporadic E occurrence frequency data every month during 2009. Then the neutral wind variations are known by determining the momentum flux of neutral wind velocity using the statistical calculation of root mean square of neutral wind velocity data on average 3-hour per month during 2009. For Kototabang station, the results show that the processes of weather more dominant role in the formation of sporadic E layer compared to windshear insitu (Dyah RM, 2011). Further study related to corellation between the neutral wind variations with frequency of occurrence of sporadic E over Pameungpeuk show different results with data analysis of Kototabang, because there are variations in wind speed corresponding to the frequency of occurrence of sporadic E during 2009. These results suggest the possibility of windshear insitu contribute more dominant role in the formation of sporadic E layer of the ionosphere over Pameungpeuk.

Keywords : Sporadic E, windshear, plasma instability

Abstrak

Salah satu teori tentang ketidakstabilan plasma lapisan E ionosfer dikaitkan dengan adanya ion-ion logam yang terakumulasi dalam suatu *windshear* vertikal dari angin netral ketika angin dalam arah zonal bernilai nol (Whitehead, 1989; Mathews, 1998). Kajian mengenai mekanisme pembentukan ion-ion di lapisan E yang dikaitkan dengan *windshear* dari angin netral di atas Kototabang dan Pemeungpeuk sangat menarik. Hal ini mengingat, selain pentingnya analisis dari densitas elektron sebagai indikator dinamika plasma, yang tidak kalah penting adalah memahami variasi kecepatan angin netral sebagai salah satu komponen yang berperan dalam dinamika plasma lapisan E tersebut. Pada penelitian sebelumnya, dinamika plasma di lapisan E diketahui dari data frekuensi kejadian E sporadis setiap bulan selama tahun 2009. Kemudian variasi angin netral diketahui dengan cara menentukan fluks momentum kecepatan angin netral menggunakan perhitungan statistik *root mean square* dari data kecepatan angin netral menggunakan perhitungan statistik *root mean square* dari data kecepatan angin netral rata-rata 3 jam-an setiap bulan selama tahun 2009. Untuk pengolahan data stasiun Kototabang, hasilnya menunjukkan bahwa proses-proses cuaca permukaan lebih dominan berperan dalam pembentukan lapisan E sporadis dibandingkan *windshear insitu* (Dyah RM, 2011). Penelitian lebih lanjut untuk melihat

keterkaitan antara variasi angin netral dengan frekuensi kejadian E sporadis di atas Pameungpeuk menunjukkan hasil yang berbeda dengan hasil analisis data Kototabang, karena ternyata variasi kecepatan angin bersesuaian dengan frekuensi kejadian E sporadis selama tahun 2009, sehingga kemungkinan *windshear insitu* lebih banyak berperan dalam pembentukan E sporadis pada lapisan ionosfer di atas Pameungpeuk.
Kata Kunci : Lapisan E sporadis (Es), *windshear*, ketidakstabilan plasma

1. PENDAHULUAN

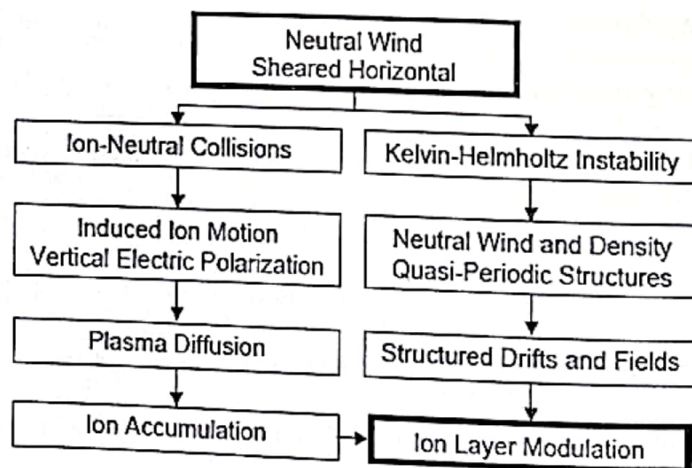
Sejalan dengan tugas dan fungsi lembaga (LAPAN), bidang Ionosfer dan Telekomunikasi mempunyai tugas dan fungsi untuk melakukan penelitian mengenai lapisan ionosfer meliputi : karakteristiknya, proses-proses fisis dan dinamis yang terjadi di dalamnya. Proses fisis dan dinamis antara lain adalah tentang bagaimana lapisan ionosfer terbentuk, mekanisme interaksinya dengan lapisan lain dalam atmosfer bumi baik dari bawah (troposfer, stratosfer, dan mesosfer) maupun dari atas (magnetosfer dan ruang antar planet), dimana semua proses tersebut sangat tergantung dari kondisi dan aktivitas matahari sebagai sumber energi sekaligus sumber gangguan. Proses fisis dan dinamis lainnya dikaji terutama dikaitkan dengan karakteristik lapisan ionosfer yang berperan sebagai media yang dilalui gelombang elektromagnetik. Ketika gelombang elektromagnetik menjalar melalui lapisan ionosfer maka gelombang tersebut akan mengalami pembiasan, pemantulan, atau akan diteruskan oleh lapisan tersebut. Tentu saja kedua proses baik proses fisis maupun dinamis tidak dapat ditinjau secara terpisah. Dengan pemahaman yang baik mengenai proses fisis maupun dinamis dari lapisan ionosfer, maka akan memberikan manfaat pada pengembangan lebih lanjut yaitu berupa pembangunan model ionosfer. Model ionosfer diperlukan sebagai bagian dari model atmosfer bumi secara keseluruhan. Model ionosfer juga diperlukan untuk mengurangi kesalahan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan Global Positioning System (GPS).

Pembahasan tentang cuaca antariksa tidak lepas dari penelitian tentang dinamika lapisan atmosfer atas, baik netral maupun yang terionisasi karena keduanya sangat dipengaruhi oleh masukan energi melalui mekanisme interaksi antara ionosfer dan magnetosfer serta variabilitas radiasi matahari. Oleh karena itu, terjadi interaksi yang intensif antara variabilitas atmosfer melalui gelombang atmosfer di lapisan atmosfer bawah dengan aktivitas matahari, dan aktivitas geomagnet yang berasal dari magnetosfer. Penelitian mengenai respons lingkungan antariksa terhadap berbagai pengaruh dinamika yang berasal dari atmosfer bawah maupun dari atmosfer atas sangat penting karena berbagai perubahan yang terjadi di daerah itu, terutama berupa ketidakstabilan di lapisan ionosfer akan sangat berpengaruh terhadap telekomunikasi dan operasional satelit.

E sporadis (Es) adalah kondisi ketidakstabilan di lapisan E ionosfer dimana di dalamnya terbentuk lapisan tipis dengan ionisasi yang lebih besar dibandingkan lapisan lainnya. Atau dengan kata lain densitas elektron pada lapisan tersebut lebih tinggi sehingga dapat mempengaruhi penjalaran gelombang radio. Ernest K. Smith (1957) mendefinisikan Es sebagai suatu pancaran yang kuat dan terus menerus (orde menit sampai jam) yang dipantulkan oleh lapisan E ionosfer oleh beberapa mekanisme lain yang berbeda dari proses pantulan normal siang hari lapisan E. Es dapat terjadi siang ataupun malam hari dan bervariasi terhadap lintang. Penjelasan tentang mekanisme Es sering dikaitkan dengan kejadian *thunderstorm*, *windshear*, hujan meteor, aktivitas matahari maupun aktivitas geomagnet. Whitehead (1989) dan Mathews (1998) mengemukakan bahwa formasi lapisan Es berkaitan dengan adanya ion-ion logam yang terakumulasi dalam suatu *windshear* vertikal dari angin netral ketika angin dalam arah zonal bernilai nol.

Salah satu fasilitas kerjasama antara LAPAN dengan RISH, Kyoto University untuk penelitian dinamika atmosfer atas adalah Meteor Wind Radar (MWR). Radar ini selain dapat memberikan data fluks meteor juga dapat dimanfaatkan untuk penelitian dinamika atmosfer tengah dan atas. Hocking (2005) membahas bagaimana data hasil pengukuran MWR dapat dimanfaatkan untuk melihat variasi angin atmosfer atas dengan pendekatan fluks momentum. Alat ini melengkapi radar lain (MF Radar Pameungpeuk) yang telah lebih dulu dimanfaatkan untuk penelitian dinamika atmosfer dan ionosfer.

Selain penelitian yang bersifat keilmuan dasar, beberapa model numerik juga telah dikembangkan untuk menjelaskan ketidakstabilan di lapisan E ionosfer, antara lain Bernhardt (2002), membuat model numerik yang menggambarkan bahwa modulasi densitas elektron pada lapisan E disebabkan oleh terbentuknya ketidakstabilan Kelvin-Helmholtz oleh kompresi dari *windshear*. Gambar 1 memperlihatkan bahwa *windshear* berperan dalam pembentukan lapisan E dan sekaligus sebagai pendorong terbentuknya ketidakstabilan Kevin-Helmholtz yang dapat memodulasi lapisan E, sehingga terjadilah E sporadis.



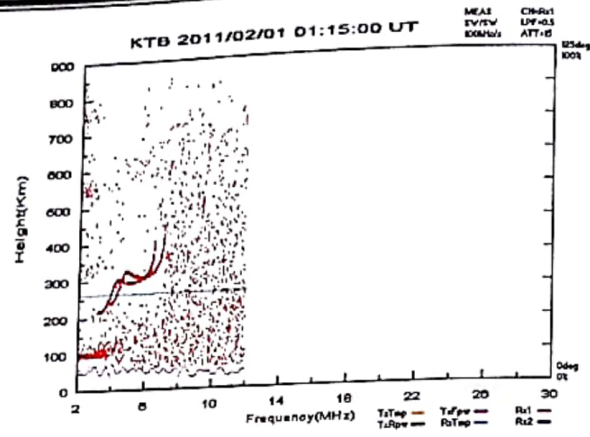
Gambar 1. Efek windshear terhadap lapisan E ionosfer (Sumber : Bernhardt, 2002)

Pada penelitian tentang ketidakstabilan lapisan E ionosfer ini, akan dianalisis variasi dari angin horizontal hasil pengukuran MWR yang dioperasikan di Loka Pengamat Dirgantara Kototabang dan Medium Frequency (MF) Radar yang dioperasikan di Loka Pengamatan Dirgantara Pameungpeuk, dengan pendekatan fluks momentum. Kemudian data kejadian E sporadis di kedua tempat tersebut juga akan dianalisis untuk melihat sejauh mana hubungan antara fluktuasi angin horizontal dengan kejadian E sporadis sebagai indikator ketidakstabilan plasma di lapisan E ionosfer.

2. DATA DAN METODE

Ada 2 jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data angin hasil pengukuran Meteor Wind Radar (MWR) dan MF Radar tahun 2009 serta data ionosfer untuk lapisan E berupa data frekuensi kejadian E sporadis, frekuensi dan ketinggian lapisan Es. **Gambar 2** memperlihatkan contoh ionogram Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) Kototabang. Gambar serupa juga diperoleh dari ionosonda Loka Pengamat Dirgantara Pameungpeuk. Dengan melakukan scaling ionogram tersebut, maka akan diperoleh informasi parameter lapisan ionosfer dari pemantulan sinyal gelombang radio HF oleh lapisan ionosfer.

Data kecepatan angin horizontal (zonal dan meridional) berupa data jam-an untuk ketinggian atmosfer antara 80 km sampai dengan 100 km (122 km untuk MF Radar Pameungpeuk), dengan selang ketinggian 2 km. Kemudian data tersebut diolah untuk mendapatkan RMS (Root Mean Square) data angin 3 jam-an dengan rumus (1). Selanjutnya, RMS tiga jam-an data angin dirata-ratakan untuk setiap selang ketinggian, maka akan diperoleh variasi ataupun fluktuasi dari angin zonal maupun meridional.



Gambar 2. Ionogram FMCW UPT. Kototabang.

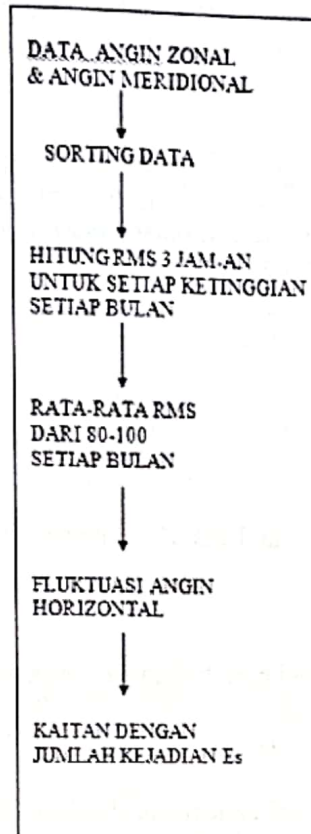
Data kejadian E sporadis digunakan untuk konfirmasi awal kaitan antara variasi angin horizontal dengan mekanisme pembentukan E sporadis.

$$x_{FMZ} = \left(\begin{array}{c} \sqrt{\frac{(x_1 + x_2 + x_3)^2}{3}} + \sqrt{\frac{(x_4 + x_5 + x_6)^2}{3}} + \dots \\ + \sqrt{\frac{(x_{22} + x_{23} + x_{24})^2}{3}} \end{array} \right) : 8$$

(1)

(Barclay Clemesha dkk, 2008)

Secara umum tahapan kegiatan penelitian dapat digambarkan sebagai diagram alir seperti terlihat pada Gambar 3 berikut :

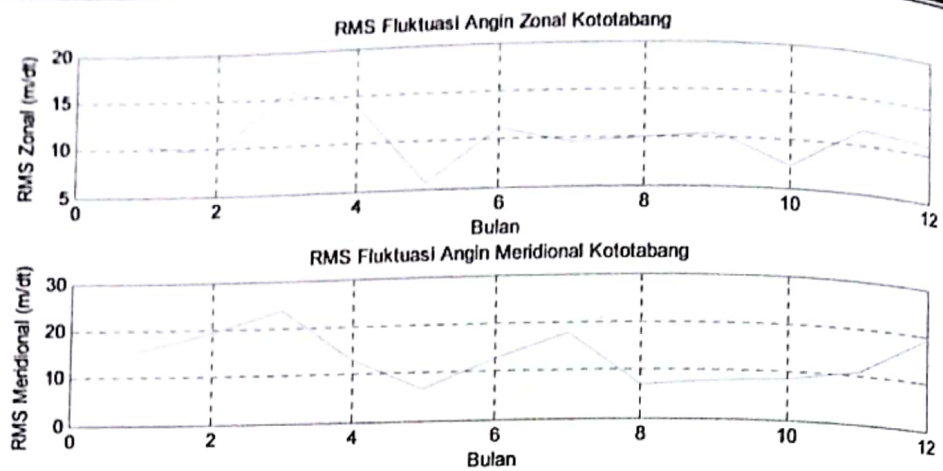


Gambar 3. Diagram alir tahapan pengolahan data angin keluaran MWR dan MF Radar

Bila variasi kecepatan angin tidak bersesuaian dengan kejadian Es maka kemungkinan gelombang gravitas dari bawah (troposfer) yang mempengaruhi proses pembentukan E sporadis. Sebaliknya bila variasi kecepatan angin bersesuaian dengan kejadian E sporadis, maka kemungkinan windshear pada lapisan tersebut yang dibangkitkan gelombang gravitas insitu yang berperan dalam proses pembentukan lapisan E sporadis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data angin horizontal (zonal dan meridional) hasil pengukuran Meteor Wind Radar tahun 2009 setelah diolah akan memberi informasi variasi atau fluktuasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



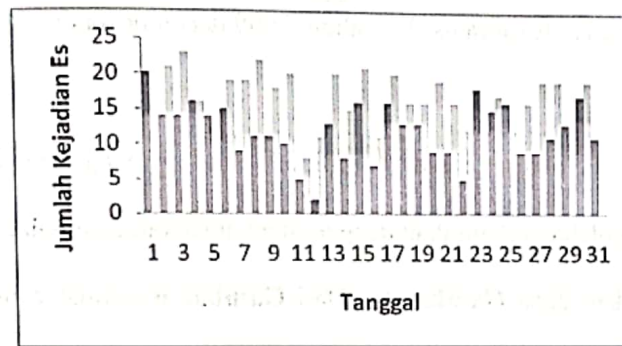
Gambar 4. Fluktuasi Angin Horizontal LPD. Kototabang 2009.

Tampak pada **Gambar 4.** (panel bawah) bahwa komponen angin meridional (utara-selatan) mempunyai variasi semiannual (setengah tahunan). Walaupun pada enam bulan kedua tidak terlalu jelas variasi semi annualnya. Puncaknya terjadi pada bulan Maret, Juli, dan Desember. Sementara pada **Gambar 4.** (panel atas), angin dalam arah zonal (timur-barat) osilasinya cenderung periodik dalam 4 bulan, bukan 6 bulan. Namun demikian puncaknya juga di bulan Maret, selain nilai yang besar terjadi juga pada bulan Juni, September, dan November.

Puncak variasi angin terjadi pada bulan Maret baik dalam arah zonal (15,8m/det) maupun meridional (23,7 m/det) dimana saat itu matahari berada pada jarak terdekat dengan katulistiwa (ekuator). Kalau dikaitkan dengan teori-teori yang menjelaskan bahwa proses-proses cuaca di permukaan mempengaruhi dinamika di lapisan atmosfer atas termasuk lapisan ionosfer, maka hasil ini secara tidak langsung mendukung teori tersebut karena seperti diketahui bahwa pada saat matahari berada dekat dengan bumi, maka akan ada peningkatan radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi. Angin sebagai komponen dari dinamika atmosfer bawah (troposfer) terjadi akibat

perbedaan tekanan. Sementara perbedaan tekanan tersebut terutama disebabkan oleh perbedaan pemanasan di permukaan bumi. Oleh karena itu, bisa dipahami kalau pada bulan Maret variasi angin mencapai puncaknya.

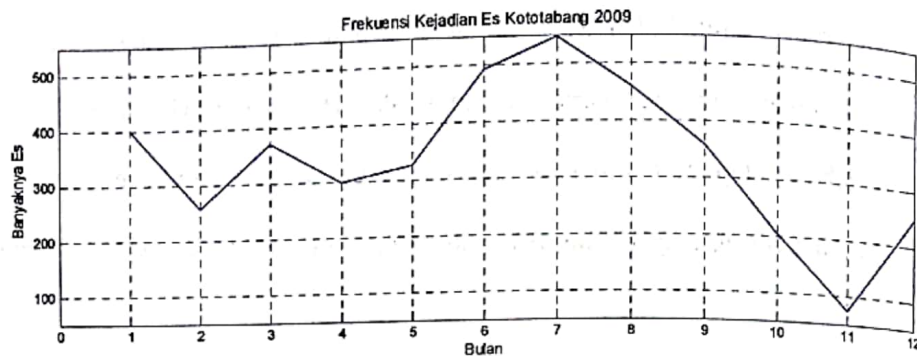
Gambar 5 menunjukkan hasil pengolahan data ionogram berupa frekuensi kejadian E sporadis untuk bulan Maret yang mewakili saat variasi angin mencapai puncaknya dan bulan Juni saat variasi angin tidak terlalu besar. Histogram dengan warna yang lebih gelap menunjukkan intensitas kejadian E sporadis bulan Maret, sementara warna lebih terang menunjukkan intensitas kejadian E sporadis pada bulan Juni.



Gambar 5. Jumlah kejadian E sporadis (Es) bulan Maret (■) dan bulan Juni (□) 2009 dari Ionosonda LPD. Kototabang.

Dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa intensitas kejadian E sporadis pada bulan Maret lebih kecil dibandingkan dengan intensitas kejadian E sporadis pada bulan Juni. Hal ini berlawanan dengan hasil analisis variasi angin horizontal yang mencapai puncaknya pada bulan Maret. Hasil tersebut menunjukkan adanya kemungkinan bahwa yang berperan dalam proses pembentukan E sporadis pada bulan Maret dan Juni bukanlah windshear yang dibangkitkan oleh gelombang gravitasi insitu, tetapi dibangkitkan oleh gelombang gravitasi yang terbentuk di lapisan atmosfer bawah (troposfer) melalui proses-proses cuaca yang terjadi pada atmosfer bawah. Gelombang gravitasi tersebut kemudian menjalar ke atas dengan amplitudo yang semakin

membesar. Suatu saat pada ketinggian tertentu gelombang tersebut akan pecah dan mempengaruhi ketidakstabilan di lapisan atmosfer atas termasuk lapisan ionosfer, sehingga menyebabkan terbentuknya spread F ataupun E sporadis.

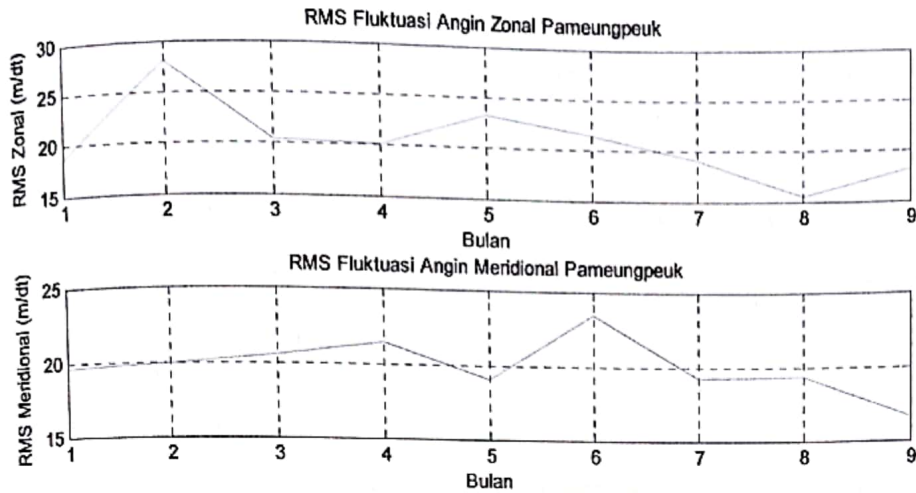


Gambar 6. Jumlah kejadian E sporadis (Es) tahun 2009 dari Ionosonda LPD. Kototabang.

Untuk melihat banyaknya kejadian E sporadis (Es) sepanjang tahun 2009 di atas Kototabang, maka pengolahan dilanjutkan dengan menambahkan data bulan-bulan yang lain, hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dari **Gambar 6** terlihat bahwa ternyata besarnya kejadian E sporadis (Es) pada bulan Juni masih terus berlanjut sampai dengan bulan Juli, bahkan pada bulan Juli E sporadis (Es) mencapai puncaknya. Hasil ini semakin menguatkan asumsi bahwa bukan *windshear insitu* yang menyebabkan terjadinya E sporadis (Es) di LPD. Kototabang, tapi lebih dipengaruhi oleh proses-proses cuaca yang terjadi dari bawah.

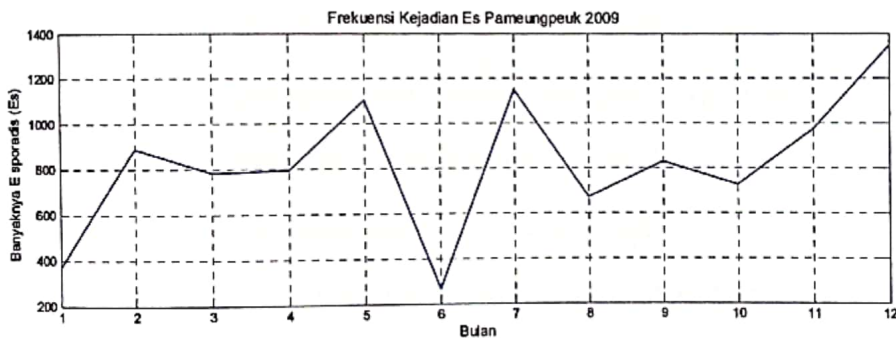
Sementara itu hasil-hasil lain telah diperoleh untuk melihat fluktuasi angin horizontal di atas Pameungpeuk. Pada **Gambar 7** terlihat bahwa fluktuasi angin zonal bervariasi mendekati setengah tahunan, sementara untuk angin meridional tidak terlihat jelas adanya osilasi dengan periode tertentu. Apabila dibandingkan dengan fluktuasi angin di atas Kototabang, fluktuasi angin di atas Pameungpeuk sedikit berbeda, terutama untuk angin zonal, puncaknya terjadi pada bulan Februari, sedikit bergeser

dibandingkan fluktuasi angin di atas Kototabang. Sedangkan angin meridional, puncaknya terjadi pada bulan Juni.



Gambar 7. Fluktuasi Angin Horisontal LPD. Pameungpeuk 2009.

Sebagaimana tahapan sebelumnya, maka konfirmasi data lapisan E sporadis (Es) diperlukan untuk melihat kemungkinan adanya keterkaitan antara fluktuasi angin horizontal dengan kejadian E sporadis (Es). Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Jumlah kejadian E sporadis (Es) tahun 2009 dari Ionosonda LPD. Pameungpeuk.

Banyaknya kejadian E sporadis (Es) LPD. Pameungpeuk juga terlihat lebih mengikuti variasi angin zonal dibandingkan dengan variasi angin meridional. Apabila kembali kepada hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa bila variasi kecepatan angin tidak bersesuaian dengan kejadian Es maka kemungkinan gelombang

gravitas dari bawah (troposfer) yang mempengaruhi proses pembentukan E sporadis. Sebaliknya bila variasi kecepatan angin bersesuaian dengan kejadian E sporadis (Es), maka kemungkinan *windshear* pada lapisan tersebut yang dibangkitkan gelombang gravitas insitu yang berperan dalam proses pembentukan lapisan E sporadis (Clemesha, dkk, 2007). Dalam kasus LPD. Pameungpeuk, keduanya berlaku untuk dua jenis angin horizontal yang berbeda, sehingga dapat disimpulkan bahwa *windshear* dalam arah zonal disebabkan oleh faktor dinamika insitu yang dibangkitkan oleh adanya gelombang gravitas, sementara *windshear* dalam arah meridional lebih dipengaruhi oleh proses-proses cuaca yang terjadi di atmosfer bawah. Hasil-hasil ini masih harus didukung oleh kajian lebih lanjut menyangkut proses-proses fisis dari atmosfer bawah, dan ketidakstabilan di atas lapisan E dan E sporadis (Es), yaitu ketidakstabilan di lapisan F.

4. KESIMPULAN

Kajian tentang pemanfaatan data radar MWR dan Radar MF untuk penelitian dinamika atmosfer atas telah memberi informasi variasi angin horizontal, baik zonal maupun horizontal. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa variasi angin horizontal beresilasi dalam periode setengah tahunan (Semi Annual Oscillation) dan puncaknya terjadi pada bulan Maret. SAO terlihat jelas pada variasi angin meridional (utara-selatan) bulan Januari sampai Juni, sementara periode berikutnya tidak terlalu tampak. Variasi dalam arah meridional mendominasi dengan rms-nya mencapai 23,7 m/det.

Variasi angin dalam arah zonal juga dominan di bulan Maret untuk LPD. Kototabang walaupun puncaknya terjadi pada rms kecepatan angin yang lebih kecil yaitu 15,8 m/det. Sedangkan LPD. Pameungpeuk puncak variasi dalam arah zonal terjadi pada bulan Februari dan untuk angin meridional terjadi pada bulan Juni.

Tinjauan dua tempat yang berbeda memberikan hasil sementara yang berbeda mengenai keterkaitan antara variasi angin horizontal dan proses pembentukan E sporadis (Es). Untuk kasus LPD.Kototabang, intensitas kejadian E sporadis (Es) pada bulan Maret ternyata lebih rendah dibandingkan dengan intensitas kejadian E sporadis (Es) bulan Juni dan bahkan bulan Juli dimana variasi angin tidak terlalu besar. Hasil tersebut menunjukkan adanya kemungkinan bahwa yang berperan dalam proses pembentukan E sporadis (Es) pada bulan Maret dan Juni bukanlah windshear yang dibangkitkan oleh gelombang gravitasi insitu tapi dibangkitkan oleh gelombang gravitasi yang terbentuk di lapisan atmosfer bawah (troposfer) melalui proses-proses cuaca yang terjadi pada atmosfer bawah. Sementara hasil analisis data angin dan data parameter lapisan ionosfer di atas LPD. Pameungpeuk menunjukkan adanya kesesuaian antara puncak fluktuasi angin zonal dengan kejadian E sporadis (Es), dan sebaliknya untuk angin meridional. Hal ini berarti bahwa untuk kasus LPD. Pameungpeuk, kemungkinan *windshear* insitu dalam arah zonal berperan dalam pembentukan E sporadis (Es). Bila ditinjau aspek yang berkaitan dengan atmosfer permukaan seperti topografi misalnya, keduanya memang memiliki topografi yang berbeda. Kototabang terletak di bukit, sementara Pameungpeuk dekat dengan pantai/perairan. Perbedaan ini tentu akan mempengaruhi proses-proses cuaca permukaan apabila aspek cuaca permukaan yang diasumsikan sebagai penyebab ketidakstabilan di lapisan E.

DAFTAR REFERENSI

- Bernhardt P A., *The modulation of sporadic-E layers by Kelvin-Helmholtz billows in the neutral atmosphere*, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 64, 1487-1504, 2002.

Clemesha B., Paulo Batista., *Gravity Waves and Wind-shear in the MLT at 23° S*,
Advances in Space Research, 41, 2008, p. 1472-1477.

Hocking, W K., *A new approach to momentum flux determinations using SkyMET
meteor radars*, Annales Geophysicae, 23, 2433-2439, 2005.

Mathews, J D., *Sporadic E : Current View and Recent Progress*, *Journal of
Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 60 (4), 413-435, 1998.

Martiningrum, D.R., Wikanto, G., dan Muslim, B., *Analisis Pasut Angin Horizontal
Antara Model HWM93 dan Data Pengamatan MF Radar*, Prosiding Seminar
Nasional Matematika, FMIPA-Unika Parahyangan, Vol. 3 Tahun 2008, hal 276-
280, September 2008, ISSN : 1907-3909.

Shiohawa, K and J. Oberheide, *About the CAWSES-II Task group 4, What is the
geospace response to variable inputs from lower atmosphere?*, TG4 Newsletter
Vol. 1, June 2010.

Smith, E.K., *Worldwide Occurrence of Sporadic E*, National Bureau of Standards
Circular 582, 1957.

Whitehead D., *Recent work on mid latitude and equatorial sporadic E*, *Journal of
Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 51, 401-424, 1989.