

STUDI PUSTAKA PERUBAHAN KERAPATAN ELEKTRON LAPISAN D IONOSFER MENGGUNAKAN PENGAMATAN AMPLITUDO SINYAL VLF

Prayitno Abadi

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, LAPAN
Email: prayabadi@bdg.lapan.go.id

RINGKASAN

Studi pustaka perubahan kerapatan elektron lapisan D ionosfer akibat peningkatan emisi *flare* sinar-X menggunakan pengamatan amplitudo sinyal VLF (*Very Low Frequency*) telah dilakukan. Dalam gelombang pandu ionosfer-bumi (GPIB), gelombang VLF suatu stasiun pemancar dan penerima mempunyai kestabilan karakteristik diurnal sehingga pengamatan ini dapat digunakan untuk pengamatan perubahan kerapatan elektron lapisan D. Emisi *flare* sinar-X kelas C menyebabkan sedikit peningkatan kerapatan elektron lapisan D. Emisi *flare* sinar-X kelas M bagian bawah menyebabkan sedikit peningkatan elektron lapisan D saat awal terjadi *flare*, selanjutnya terjadi peningkatan kerapatan elektron yang signifikan disertai penurunan bagian bawah lapisan D seiring meningkatnya intensitas sinar X. Emisi *flare* sinar-X kelas M bagian atas dan kelas X menyebabkan peningkatan drastis kerapatan elektron disertai penurunan bagian bawah lapisan D seiring meningkatnya intensitas sinar X.

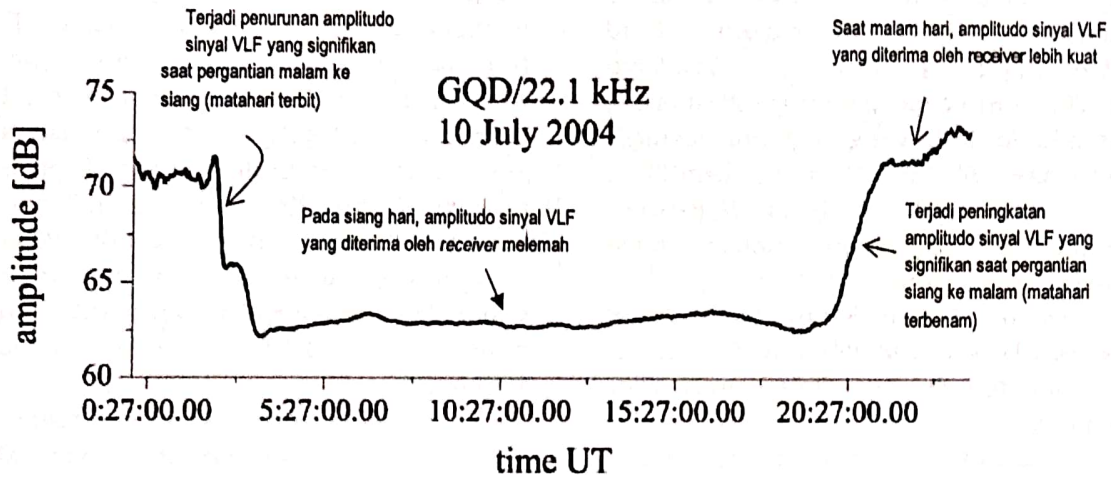
1 PENDAHULUAN

Gelombang VLF (*Very Low Frequency*/3–30 KHz) dapat menjalar dengan jarak yang sangat jauh dalam gelombang pandu yang dibatasi oleh permukaan Bumi (laut dan tanah) dan lapisan D ionosfer (ketinggian 60–95 km). Gelombang pandu ini disebut Gelombang Pandu Ionosfer-Bumi (GPIB). Permukaan Bumi menjadi batas bawah penjalaran atau propagasi gelombang VLF dalam GPIB. Bagian bawah lapisan D ionosfer menjadi batas atas penjalaran gelombang VLF dalam GBIP. (Kumar, 2009).

Dalam keadaan ionosfer tidak terganggu, propagasi sinyal VLF pada GPIB dari suatu pemancar akan tetap mengalami kestabilan amplitudo sehingga dapat diterima oleh sejumlah penerima sinyal VLF di seluruh penjuru dunia. Dengan demikian, pola sinyal VLF di suatu stasiun penerima akan menunjukkan kestabilan karakteristik diurnal (variasi harian) amplitudo sinyal

VLF yang diterimanya. Gambar 1-1 merupakan pola diurnal pengamatan amplitudo sinyal VLF dengan frekuensi 22,1 KHz yang dipancarkan dari stasiun pemancar VLF GQD di Skelton, UK (54,72 LU; 2,88 BB) dan diterima *receiver* VLF di Belgrade, Serbia dan Montenegro (44,85 LU; 20,38 BT). (Grubor, *et al.*, 2008).

Pola diurnal amplitudo sinyal VLF akan berbeda jika kondisi ionosfer terganggu. Salah satu penyebab gangguan lapisan ionosfer adalah peningkatan fluks sinar X akibat ledakan di permukaan Matahari atau yang disebut *flare*. Emisi sinar X dari *flare* dapat menyebabkan peningkatan kerapatan elektron lapisan D mencapai dua kali dari kondisi normal. Peningkatan elektron tersebut akan menyebabkan perubahan konduktivitas dari bagian bawah lapisan D ionosfer yang digunakan sebagai batas atas GPIB. (Grubor *et al.*, 2008)



Gambar 1-1: Pola atau variasi diurnal pengamatan amplitudo sinyal VLF. (Grubor, *et al.*, 2008)

Perubahan konduktivitas batas atas GPIB akan terdeteksi sebagai gangguan amplitudo pada perekaman sinyal VLF di stasiun penerima. Dengan demikian, amplitudo sinyal VLF dalam GPIB dapat dimanfaatkan untuk pengamatan perubahan kerapatan elektron lapisan D ionosfer. Saat ini, banyak peneliti ionosfer yang sudah dapat mengenali dengan baik deteksi gangguan penjalaran gelombang VLF pada GPIB akibat *flare* dari rekaman amplitudo sinyal VLF (Grubor *et al.*, 2008). Penulisan makalah ini bertujuan melakukan studi pustaka tentang pengamatan perubahan kerapatan elektron lapisan D ionosfer akibat emisi *flare* sinar-X dengan menggunakan perekaman amplitudo sinyal VLF dalam GPIB. Sasaran penulisan makalah ini adalah diperolehnya teori tentang pengamatan pola diurnal dan perubahan kerapatan elektron lapisan D dengan menggunakan pengamatan amplitudo sinyal VLF dalam GPIB.

2 DASAR TEORI

Pengamatan lapisan D dengan menggunakan perekaman sinyal gelombang VLF dalam GPIB dapat memberikan informasi perubahan kerapatan elektron lapisan D apabila

lapisan tersebut terganggu oleh peningkatan emisi *flare* sinar-X. Selain itu, pengamatan tersebut dapat juga memberi informasi perubahan distribusi atau profil ketinggian kerapatan elektron lapisan D saat terganggu oleh emisi *flare* sinar-X. (Grubor, *et al.*, 2008).

Menurut pemodelan *Wait Ionosphere*, sinyal VLF dalam GPIB memberikan informasi kerapatan elektron (diberi simbol N_e) lapisan D, serta dua parameter lainnya, yaitu "ketajaman" yang tidak lain adalah koefisien pantul lapisan D (diberi simbol β) dan ketinggian pemantulan (diberi simbol H'). Kerapatan elektron lapisan D merupakan fungsi dari β dan H' . Perubahan β dan H' dipengaruhi oleh intensitas fluks *flare* sinar-X. Informasi N_e menunjukkan nilai kerapatan elektron lapisan D, sedangkan β dan H' menunjukkan informasi perubahan distribusi kerapatan elektron lapisan D saat terjadi peningkatan emisi *flare* sinar-X. (Grubor, *et al.*, 2005).

Dalam pengamatan sinyal VLF, kita tidak langsung memperoleh informasi N_e untuk mengetahui adanya perubahan kerapatan elektron lapisan D akibat emisi sinar X *solar flare*. Perekaman sinyal VLF hanya memberi informasi kuat sinyal atau amplitudo (diberi simbol A) sinyal VLF yang

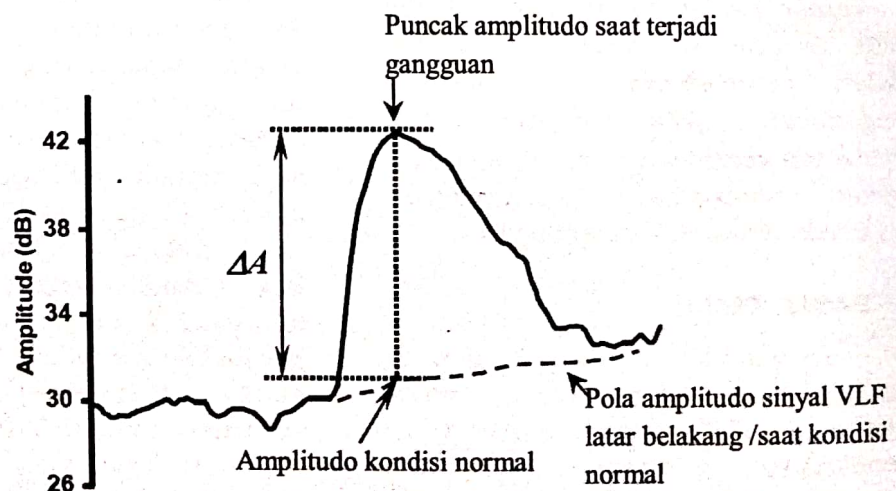
diterima. Kita membutuhkan program simulasi yang dinamakan *Long Wavelength Propagation Capability (LWPC)* untuk mengkonversi perubahan amplitudo (ΔA) yang terekam menjadi informasi β dan H' yang kemudian menjadi informasi perubahan N_e (Grubor *et al.*, 2008). Meskipun demikian, tanpa LWPC pun, kita dapat menganalisis proses perubahan kerapatan elektron lapisan D secara kualitatif dari informasi ΔA saat terjadi peningkatan emisi *flare* sinar-X.

Untuk menentukan ΔA sinyal VLF, kita harus membandingkan amplitudo pada saat terjadi gangguan dengan nilai amplitudo saat normal atau tidak terganggu. Nilai ΔA dapat diperoleh dari selisih nilai amplitudo saat gangguan dengan pola amplitudo latar belakang atau nilai rata-rata harian dalam satu bulan dengan hari yang terganggu tidak dimasukkan dalam perhitungan. Gambar 2-1 merupakan cara menentukan ΔA . (Kumar, *et al.*, 2008).

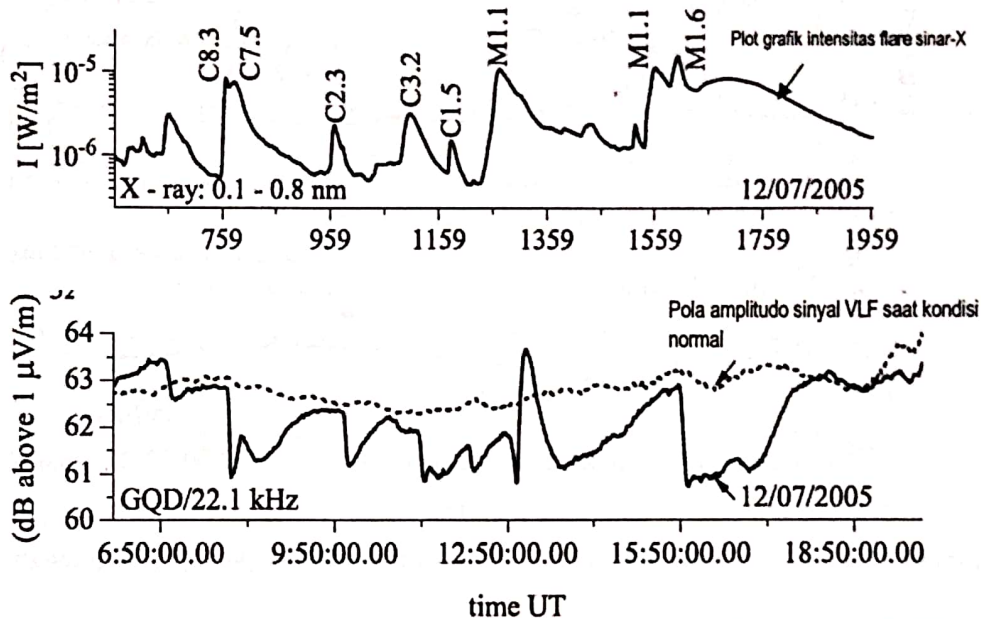
Analisis kualitatif perubahan kerapatan elektron lapisan D dari nilai ΔA membutuhkan informasi nilai intensitas fluks sinar X *solar flare*. Perbandingan kedua parameter tersebut menunjukkan bahwa peristiwa perubahan intensitas fluks *flare* sinar-X dapat menyebabkan peningkatan ataupun penurunan nilai amplitudo sinyal VLF.

Dengan demikian, perbandingan tersebut membantu analisis respon lapisan D terhadap peningkatan emisi *flare* sinar-X. Gambar 2-2 adalah contoh hasil perbandingan antara plot intensitas sinar-X dan amplitudo sinyal VLF pada tanggal 12 Juli 2005 yang diambil dari makalah Grubor, *et al.* (2008). Pada tanggal tersebut, terjadi *solar flare* kelas C dan M yang menyebabkan perubahan amplitudo sinyal VLF terhadap kondisi normal.

Dalam pemodelan *Wait Ionosphere*, perubahan kerapatan elektron lapisan D ionosfer yang ditunjukkan oleh nilai ΔA akibat peningkatan radiasi *flare* sinar-X dapat dimanifestasikan dalam dua respon. Respon pertama adalah bagian bawah lapisan D mengalami penurunan ketinggian akibat dari peningkatan kerapatan elektron yang signifikan di lapisan itu. Respon pertama disebut bagian bawah lapisan D menjadi "lebih tajam" yang akan menyebabkan pemantulan gelombang VLF oleh ionosfer seperti pemantulan sinar oleh cermin. Artinya, pemantulan gelombang VLF tanpa disertai kehilangan energi. Oleh sebab itu, respon pertama juga disebut gelombang VLF mengalami pemantulan tipe "cermin". Respon kedua adalah kerapatan elektron di lapisan D meningkat, tetapi tidak disertai penurunan ketinggian bagian bawah lapisan D ionosfer.



Gambar 2:1: Metode penentuan perubahan amplitudo (ΔA). (Kumar, *et al.*, 2008)



Gambar 2-2: Plot intensitas flare sinar-X (atas) dan plot pola amplitudo sinyal VLF saat terjadi solar flare dibandingkan dengan pola amplitudo normal (bawah). (Grubor, et al., 2008)

3 METODOLOGI

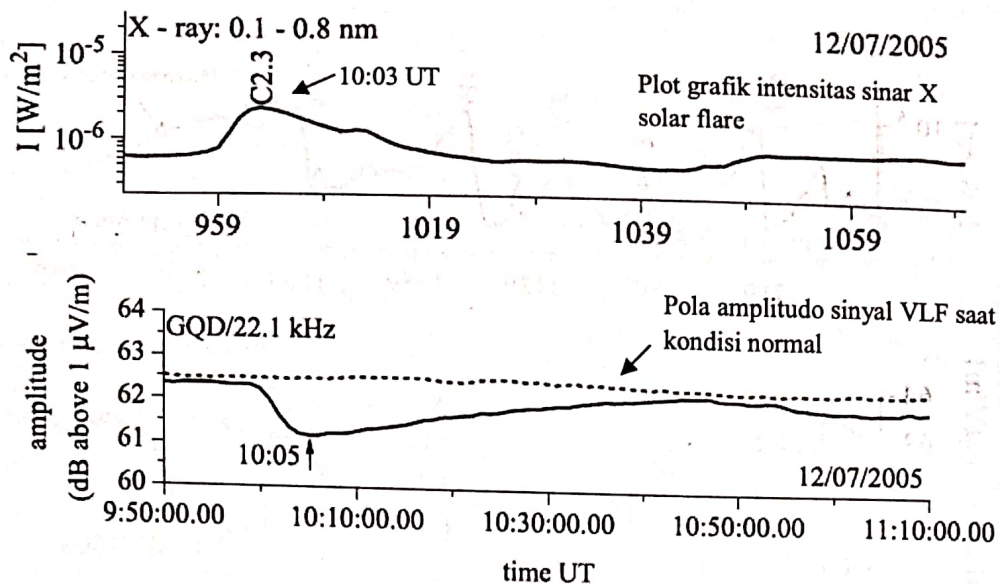
Metodologi yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah studi pustaka. Terdapat dua makalah, yaitu Grubor, et al (2005) dan (2008) yang menjadi sumber pustaka untuk mengkaji secara kualitatif perubahan kerapatan elektron lapisan D saat terjadi peningkatan emisi flare sinar-X. Dalam hal ini, maksud dari pengkajian perubahan secara kualitatif adalah terjadinya peningkatan kerapatan elektron lapisan D yang dilihat dari nilai ΔA (peningkatan ataupun penurunan amplitudo) akibat peningkatan emisi sinar X solar flare, serta respon lapisan D akibat dari peningkatan kerapatan elektron lapisan itu.

Makalah Grubor, et al (2005) dan (2008) menyajikan beberapa analisis perubahan pola amplitudo sinyal VLF saat terjadi solar flare. Grubor, et al (2005) membahas karakteristik perubahan amplitudo sinyal VLF ketika terjadi flare kelas C pada 12 Juli 2005 dan kelas M pada 13 Juli 2004. Grubor,

et al (2008) membahas karakteristik perubahan amplitudo sinyal VLF ketika terjadi flare kelas M pada 15 Agustus 2004. Kedua makalah memanfaatkan pengamatan amplitudo sinyal VLF dari stasiun pemancar GQD (Skelton, UK) ke stasiun penerima di Belgrade.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Intesitas flare sinar-X kelas C ($10^{-6} - 10^{-5} \text{ W/m}^2$) dapat menyebabkan penurunan amplitudo sinyal VLF terhadap kondisi normal. Grubor, et al (2005) mengamati penurunan amplitudo sinyal VLF dari kondisi normal saat terjadi flare kelas C pada tanggal 12 Juli 2005 dengan waktu puncak flare tersebut adalah 10.03 UT. Waktu puncak penurunan minimum amplitudo sinyal VLF terjadi dua menit setelah waktu puncak flare. Setelah mencapai minimum, amplitudo secara perlahan mulai normal. Gambar 4-1 menunjukkan hasil pengamatan Grubor et al (2005).



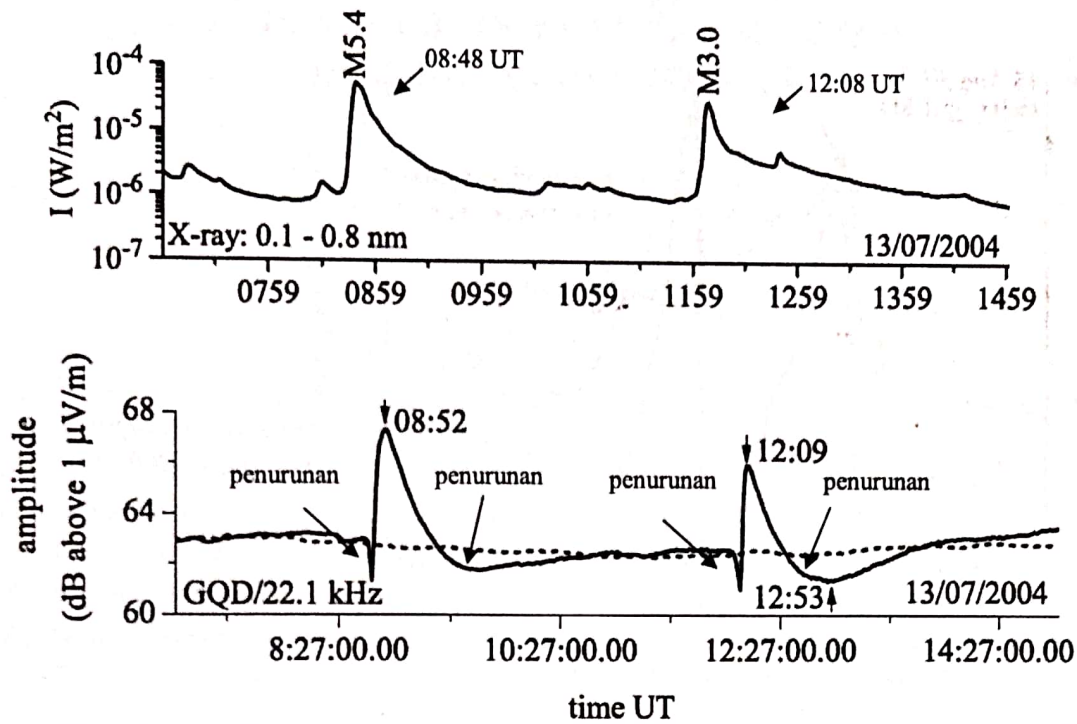
Gambar 4-1: Plot intensitas flare sinar-X (atas) dan amplitudo sinyal VLF (bawah) pada tanggal 12 Juli 2005. Grubor, *et al* (2005)

Berdasarkan Gambar 4-1, penurunan amplitudo sinyal VLF akibat flare sinar-X kelas C menunjukkan respon lapisan D ionosfer terhadap radiasi sinar X dimana terjadi kenaikan kerapatan elektron tanpa disertai penurunan bagian bawah lapisan D. Peningkatan kerapatan elektron tidak terlalu signifikan dari kerapatan normalnya. Dalam kasus ini, gelombang VLF menembus lapisan D hingga ke ketinggian dimana frekuensi gelombang sama dengan frekuensi plasma medium. Ketinggian itulah merupakan daerah terjadinya pemantulan. Sepanjang lintasan yang dilaluinya, gelombang VLF akan terserap energinya. Peristiwa ini disebut penyerapan atau absorpsi deviatif dengan energi terdisipasi pada setiap langkahnya. Absorpsi deviatif inilah yang menjadikan amplitudo gelombang VLF mengalami penurunan. (Grubor *et al.*, 2005)

Respon lapisan D terhadap semburan flare sinar-X kelas M lebih unik dibanding responnya terhadap flare kelas C. Grubor, *et al* (2008) telah mengamati peristiwa perubahan pola amplitudo sinyal VLF dari kondisi normal saat terjadi flare kelas M5.4

($5,4 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$) dan M3.0 ($5 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$) pada 13 Juli 2004. Dua kelas flare tersebut merupakan kelas M bagian bawah. Gambar 4-2 menunjukkan perubahan amplitudo sinyal VLF saat terjadi flare kelas M bagian bawah.

Berdasarkan Gambar 4-2, respon lapisan D awalnya mengalami sedikit peningkatan kerapatan elektron sehingga menyebabkan absorpsi deviatif pada gelombang VLF. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan amplitudo sinyal VLF di awal terjadinya flare. Setelah itu, kerapatan elektron lapisan D semakin meningkat dengan cepat seiring peningkatan intensitas sinar X. Akibatnya, distribusi atau profil ketinggian kerapatan elektron juga berubah, yaitu bagian bawah ionosfer bawah mengalami penurunan ketinggian sehingga terjadi pemantulan gelombang sinyal VLF tipe "cermin". Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan amplitudo sinyal VLF dengan drastis hingga mencapai maksimum. Selanjutnya, terjadi peristiwa absorpsi deviatif kembali seiring dengan menurunnya intensitas sinar X, sehingga amplitudo sinyal VLF mencapai nilai minimum di bawah kondisi normal.

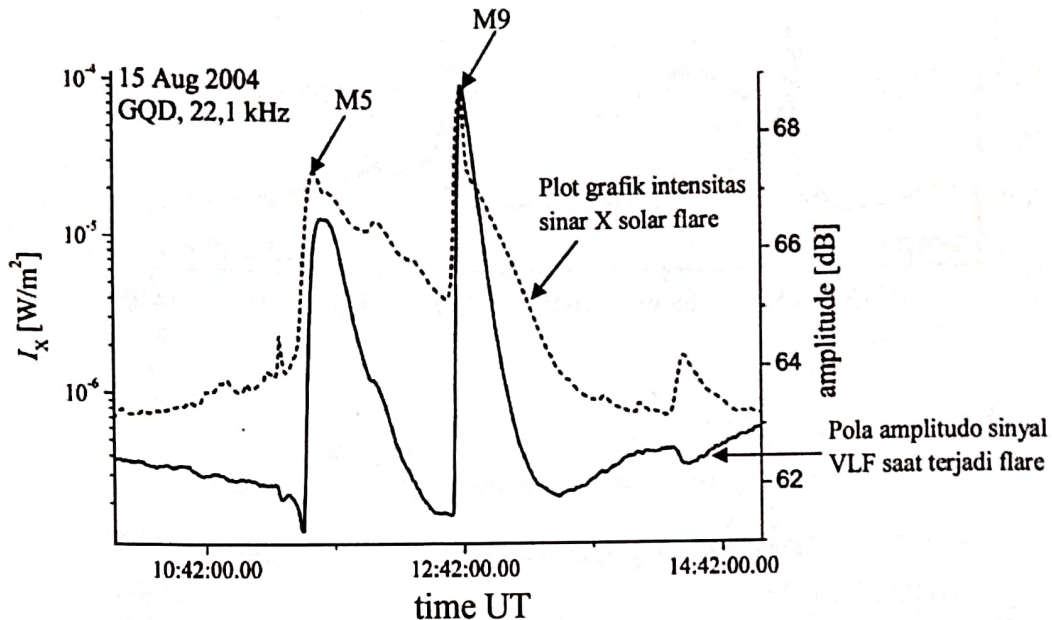


Gambar 4-2: Plot intensitas flare sinar-X (atas) dan amplitudo sinyal VLF (bawah) pada tanggal 13 Juli 2004. (Grubor, et al 2008)

Respon lapisan D terhadap flare sinar-X kelas M bagian atas ($M5/5.10^{-5} \text{ W/m}^2$ – $M9/9.10^{-5} \text{ W/m}^2$) adalah terjadinya peningkatan kerapatan elektron yang signifikan dengan diikuti penurunan bagian bawah lapisan D. Akibatnya, terjadi pemantulan gelombang VLF tipe “cermin” sehingga pengamatan sinyal VLF akan menunjukkan peningkatan amplitudo mencapai maksimum seiring dengan peningkatan intensitas sinar X mencapai puncak. Terdapat selang waktu antara waktu puncak flare dan waktu maksimum amplitudo sinyal VLF. Satu hal lagi dari respon lapisan D terhadap semburan flare sinar-X kelas M bagian atas, yaitu pemulihan sinyal amplitudo VLF ke kondisi normal setelah mencapai maksimum terjadi dengan cepat. Gambar 4-3 menunjukkan pengamatan Grubor, et al (2005) saat terjadi flare kelas M5 dan M9 pada tanggal 15 Agustus 2004.

Berdasarkan respon lapisan D terhadap flare kelas M bagian atas, flare sinar-X dengan intensitas mendekati

atau lebih dari 1.10^{-4} W/m^2 (kelas X) tentunya juga akan menyebabkan respon lapisan D menjadi tipe “cermin” bagi pemantulan gelombang VLF. Hal ini berarti flare kelas X mampu meningkatkan kerapatan elektron di lapisan D dan juga mengubah distribusi atau profil ketinggian kerapatan elektron di lapisan tersebut. Bagian bawah lapisan D ionosfer akan mengalami penurunan ketinggian akibat peningkatan kerapatan elektron. Oleh karena itu, gelombang VLF akan dipantulkan dengan tipe “cermin” oleh tepi bawah lapisan D ionosfer. Peningkatan amplitudo sinyal VLF seiring dengan peningkatan intensitas solar flare menuju puncak. Terjadi jeda waktu antara puncak solar flare dan puncak amplitudo sebagai manifestasi proses respon lapisan D terhadap radiasi sinar X. Setelah mencapai maksimum, amplitudo sinyal VLF akan mengalami pemulihan dengan cepat ke kondisi normal seiring menurunnya intensitas sinar X. (Grubor, et al., 2008).



Gambar 4-3: Plot intensitas flare sinar-X dan amplitudo sinyal VLF pada tanggal 15 Agustus 2004. (Grubor, et al 2005)

5 PENUTUP

Respon lapisan D ionosfer berbeda-beda terhadap emisi sinar X. Emisi flare sinar-X kelas C akan menyebabkan sedikit peningkatan kerapatan elektron tanpa disertai penurunan ketinggian bagian bawah lapisan D sehingga pengamatan amplitudo sinyal VLF akan menunjukkan penurunan amplitudo. Emisi flare sinar-X kelas M bagian bawah awalnya sedikit meningkatkan kerapatan elektron lapisan D yang menyebabkan absorpsi deviatif terhadap gelombang VLF, kemudian diikuti terjadi peningkatan kerapatan elektron yang drastis sehingga menyebabkan pemantulan gelombang VLF tipe "cermin". Emisi flare sinar-X kelas M bagian atas dan kelas X akan menyebabkan bagian bawah lapisan D memantulkan gelombang VLF dengan tipe "cermin" yang artinya terjadi peningkatan signifikan kerapatan elektron diikuti penurunan ketinggian bagian bawah lapisan D.

DAFTAR RUJUKAN

Grubor, D. P. Sullic, D. M. dan Zigman, V., 2005. *Influence of Solar X-ray Flares on The Earth-Ionosphere*

Waveguide. Serb. Astron. J. No. 171, 29-35.

Grubor, D. P. Sullic, D. M. dan Zigman, V., 2008. Classification of X-ray Solar Flares Regarding Their Effects on The Lower Ionosphere Electron Density Profile, *Ann Geophys.*, 26, 1731-1740. Copernicus Publications on Behalf of the European Geosciences Union.

Khumar, Sushil, 2009. *Waveguide Parameters of 19,8 KHz Signal Propagating over a Long Path*, *Research Letters in Physics*, Vol. 2009, Article ID 216373. Hindawi Publishing Corporation.

Kolarski, A. dan Grubor, D. Study of the X-ray Flare Induced Lower Ionosphere Changes by Simultaneous Monitoring of Two VLF Signals: GQD and NAA, project 141033.

Kumar, A dan Kumar, S., 2008. Initial Results on Solar Flare Effect on 24,8 KHz Subionospheric Propagation over Long Path to Suva. *The South Pacific Journal of Natural Science*, Vol. 2008.