

RESPONS SINTILASI SINYAL GPS SAAT BADAI GEOMAGNET DI LINTANG RENDAH

Asnawl

PeneliU Bldang Ionosfer dan Telekomunkasl, LAPAN
nawi@bd2.lapan.go.id

ABSTRACT

S4 index data of ISM (Ionospheric Scintillation Monitoring) at Pontianak and Pare-pare have been used to analyze the response of ionospheric scintillation during magnetic storm at low latitude- The ionospheric scintillation observed by a GPS receiver of LI (1.57542 GHz) signals to measure both amplitude and phase variations during the geomagnetic storm of April 6, 2000 and July 15, 2000. Observation of S4 index during geomagnetic storm of April 7, 2000 at Pontianak and July 16, 2000 at Parepare did not show the occurrence of scintillation on GPS signal, although the storm was on the main phase. This result is in agreement with the hypothesis of the effect of the ring current in the generating or inhibition of f layer irregularities during magnetic storm. Since the minimum excursion of Dst during the magnetic storm on April 6 and July 15, 2000 are near midnight (24.00 UT) or around 07.00 Local Time (LT) on April 7 and July 16, 2000, so that the excursion categorized by excursion Dst takes place during daytime and well before sunset, where shown scintillation are inhibited.

ABSTRAK

Data indeks S4 *Ionospheric Scintillation Monitoring* (ISM) Stasiun Pontianak dan Pare-pare digunakan menganalisis respon sintilasi ionosfer saat terjadi badai geomagnet di lintang rendah. Pengamatan sintilasi di ionosfer menggunakan receiver GPS frekuensi tunggal LI (1.57542 GHz), yaitu pengukuran variasi amplitudo dan fase sinyal saat terjadi badai geomagnet tanggal 6 April 2000 dan 15 Juli 2000. Hasil pengamatan indeks S4 sintilasi ISM stasiun Pontianak saat badai geomagnet tanggal 7 April 2000 di Pontianak dan 16 Juli di Pare-pare, tidak memperlihatkan adanya sintilasi pada sinyal GPS, walau saat itu badai geomagnet sedang dalam fase utama. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hipotesa efek arus cincin pada lapisan F ionosfer ekuator saat terjadi badai geomagnet. Karena ekskursi Dst saat badai geomagnet 6 April dan 15 Juli 2000 itu, adalah sekitar tengah malam yaitu pukul 24.00 UT tanggal 6 April, atau sekitar pukul 07.00 waktu lokal tanggal 7 April dan 16 Juli 2000, sehingga simpangan Dst-nya dikategorikan pada ekskursi Dst yang terjadi di siang hari sampai sebelum matahari terbenam dengan tidak terjadinya sintilasi di lapisan ionosfer.

Kata Kunci: *Sintilasi, ISM, Arus cincin, Dst, Badai Geomagnet*

1 PENDAHULUAN

Sinyal radio yang dipancarkan dari satelit menuju ke bumi akan melewati lapisan ionosfer. Saat ionosfer mengalami gangguan, maka interaksi sinyal satelit dengan ionosfer yang terganggu tersebut akan menyebabkan fluktuasi pada amplitudo dan fase dari sinyal tersebut. Kejadian ini disebut sebagai kejadian sintilasi ionosfer. Seringkali kemunculan sintilasi ini disertai dengan ketidakteraturan kerapatan elektron di lapisan ionosfer yang menyebabkan perubahan indeks refraksi lapisan ionosfer. Saat ini pengamatan sintilasi ionosfer dilakukan secara kontinu menggunakan peralatan ISM (*Ionospheric Scintillation Monitoring*) berupa receiver GPS frekuensi tunggal (LI). Parameter yang diukur diantaranya adalah indeks sintilasi (S4) dan indeks fase sintilasi. Indeks S4 adalah indeks amplitudo sintilasi, yaitu standar deviasi dari power sinyal GPS dibagi dengan rata-ratanya.

Penyebab utama kemunculan sintilasi di lintang rendah adalah ketidakteraturan plasma di sepanjang ekuator magnetik. Ada dua lokasi peningkatan plasma yang merupakan daerah anomali ekuator, yaitu 20° lintang utara dan 20° lintang selatan dari garis ekuator magnetik. Di kawasan inilah aktivitas sintilasi paling sering terjadi. Sintilasi ionosfer muncul saat terjadi ketidakteraturan plasma, yaitu menjelang matahari terbenam (sunset) sore hari, saat di lapisan E terjadi rekombinasi. Efek dari rekombinasi dan drift $E \times B$ akan menimbulkan penurunan gradien kerapatan elektron di daerah paling bawah lapisan F. Agar dapat mengatasi efek rekombinasi tersebut, maka lapisan F harus berada pada ketinggian yang cukup meskipun di bagian bawah lapisan F gradien kerapatan elektronnya cukup besar. Hal ini akan memicu terjadinya mekanisme ketidakstabilan Rayleigh-Taylor yang menyebabkan fluktuasi plasma dan pergerakan gelembung plasma (*plasma bubble*) ke atas yang akhirnya akan menyebabkan ketidakteraturan plasma. Fenomena sintilasi merupakan salah satu faktor yang paling mengganggu pada komunikasi via satelit pada frekuensi sampai 6 - 7 GHz. Efek sintilasi ionosfer tidak saja berpengaruh pada sistem komunikasi dengan modulasi analog, tetapi berpengaruh juga pada modulasi digital. Sintilasi berpengaruh pada satelit navigasi, yaitu menyebabkan terjadinya degradasi navigasi, yaitu yang disebut sebagai *carries cycle slips*, *tracking loop errors*, *acquisition problems* dan *loss of signal lock*.

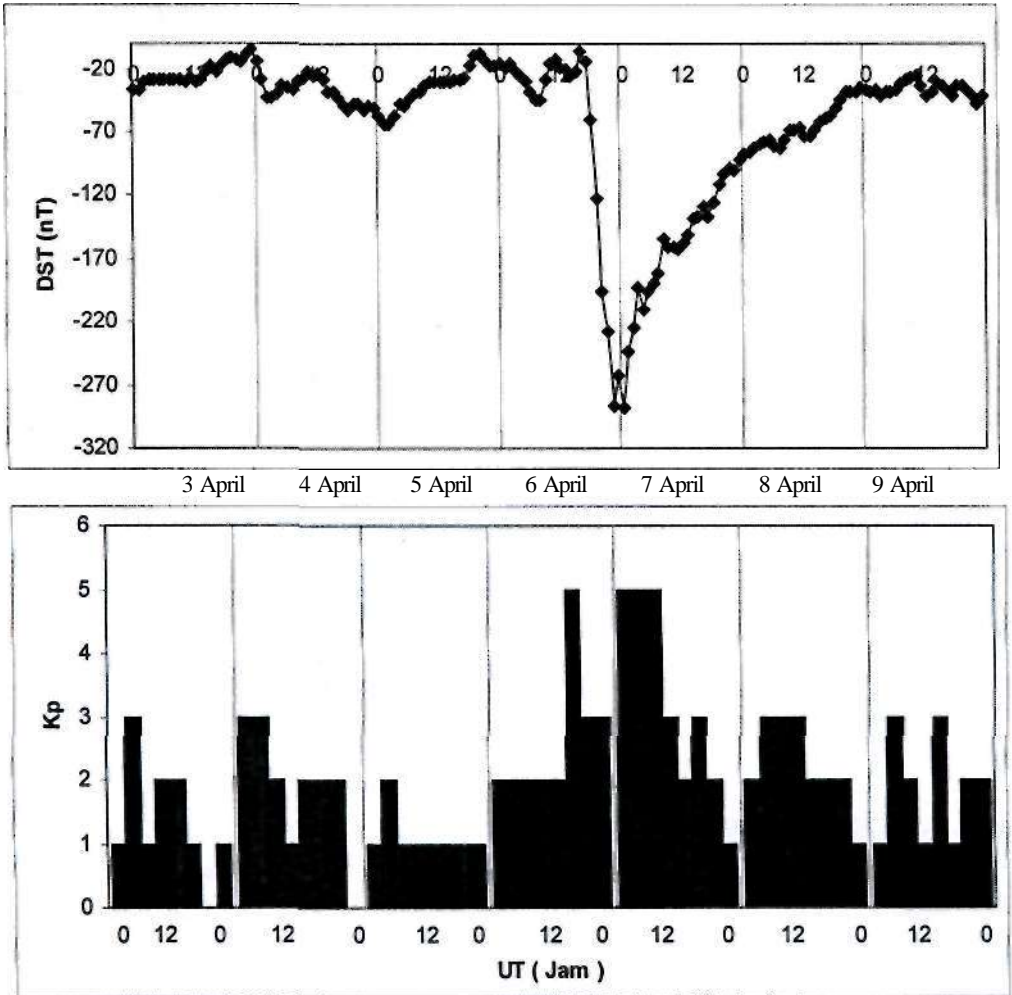
Di daerah lintang rendah Indonesia, sintilasi sering terjadi saat sore sampai tengah malam. Makalah ini membahas respons sintilasi ionosfer di lintang rendah saat terjadi badai geomagnet. Dua kejadian badai geomagnet, yaitu 6 April 2000 dan 15 Juli 2000, digunakan untuk melihat respons sintilasi sinyal GPS dengan menggunakan data ISM Pontianak dan ISM Parepare.

2 DATA DAN METODE PENGOLAHANNYA

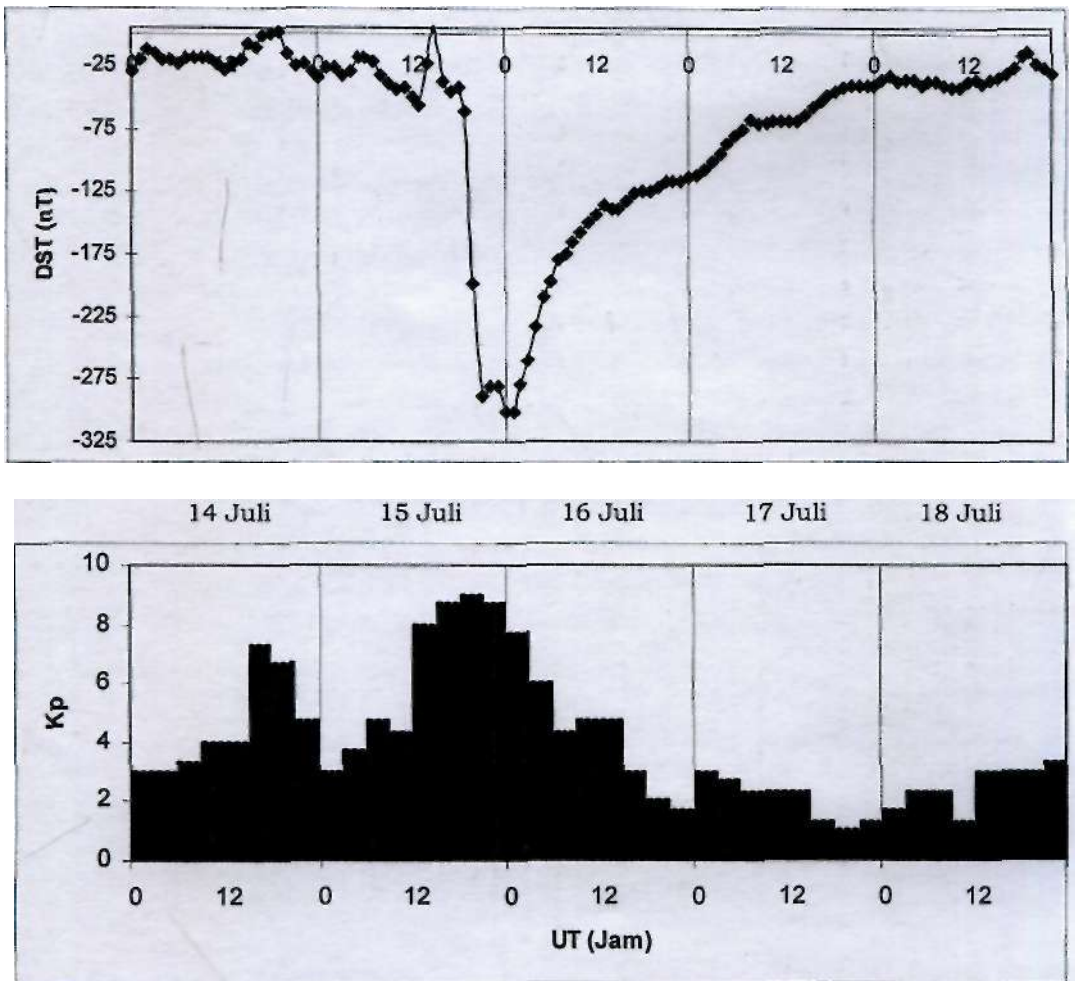
Pengamatan sintilasi ionosfer dilakukan di Pontianak pada koordinat geografis (0.05° LS, 109.25° BT), dan Pare-pare (4° LS, 119.6° BT) menggunakan GPS frekuensi tunggal LI = 1.57542 GHz untuk mengukur amplitudo dan fase sintilasi secara *real time*. Penerima GPS langsung dikontrol oleh *Personal Computer* (PC) berbasis LINUX yang dapat menerima sinyal satelit GPS yang melintas, yaitu sinyal C/A pada frekuensi LI. Pengukuran fase dan amplitudo pada 50 Hz untuk sampling C/No (*code/carrier divergence*) sebesar 1 Hz tiap satelit. Amplitudo sintilasi diukur sebagai parameter S4 yang didefinisikan sebagai perbandingan antara standar deviasi intensitas sinyal dengan rata-rata intensitas sinyal (Basu *et al*, 1998) dengan memasukkan faktor koreksi untuk menghilangkan *noise* alat. Peralatan ISM di Pontianak dan Pare-pare adalah bagian dari jaringan *receiver* GPS regional kerjasama dengan DSTO [*Defense Science and Technology Organization*] Australia. Sampel data dari ISM Pontianak diambil saat terjadi badai geomagnet bulan April 2000, sedangkan Parepare pada bulan Juli 2000. Oleh karena indeks bias lapisan ionosfer tergantung dari kerapatan elektron, maka hal ini dapat menyebabkan *range errors* dan *range rate errors* pada sinyal GPS. Bila induksi sinyal *fading* dari kemunculan sintilasi melebihi batas *fading* dari sistem penerima, maka akan terjadi kesalahan pesan navigasi yang disebut sebagai *cycle slips*, yaitu ketidakkontinuan jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa. Demikian juga bila perubahan kerapatan di ionosfer menyebabkan perubahan fase sinyal yang melebihi kecepatan perubahan fase pada sistem penerima (lebar pita *receiver*), maka akan menyebabkan *receiver loss of signal lock*, yaitu *receiver* kesulitan dalam mengunci sinyal dari satelit.

Badai geomagnet sering terjadi pada fase maksimum dari siklus matahari. Bila IMF [*interplanetary magnetic field*] dalam arah Selatan dan besarnya $B_z < -10$ nT dalam waktu lebih dari tiga jam, maka akan muncul badai geomagnet (Gonzalez *at at*, 1996). Pada umumnya kemunculan badai geomagnet melalui tiga fase, yaitu fase awal, fase utama dan fase *recovery*. Pada fase awal terdapat suatu gelombang kejut yang didahului dengan adanya peningkatan aktivitas matahari. Sedangkan pada fase utama, karakteristik dasarnya adalah penurunan komponen H (horizontal) geomagnet yang terkait dengan peningkatan populasi partikel yang terjatuh di magnetosfer. Fase terakhir adalah fase pemulihan [*recovery*] yang dicirikan oleh komponen H yang kembali pada tingkat sebelum terjadinya badai. Indikasi terjadinya badai geomagnet dapat dilihat dari data indeks geomagnet DST [*Disturbance Storm Time index*]. Dst adalah indeks geomagnet (komponen H) jam-an yang diperoleh dari 4 stasiun di daerah ekuator, yang variasi gangguannya disebabkan oleh arus cincin [*ring current*]. Nilai negatif yang membesar menunjukkan bertarobahnya intensitas arus cincin yang dapat terjadi dalam beberapa jam dan hal ini telah mengindikasikan suatu badai

magnetik. Biasanya diikuti juga dengan badai lanjutan (*substorm*) yang indikasinya ditunjukkan oleh indeks AE (*Auroral Electrojet*). Gambar 2-1 memperlihatkan fase utama dari badai geomagnet tanggal 6 April 2000 pada saat nilai K_p indeks mencapai maksimum 6. Perubahan sesaat (ekskursi) Dst pada badai April 2000 adalah -288 nT sekitar pukul 24 UT tengah malam tanggal 6 April 2000, atau pada 7 April pukul 7 pagi waktu lokal. Data ISM Pontianak diplot selama 24 jam dari satelit GPS yang terekam saat itu dan indikasi terjadinya sintilasi ionosfer adalah nilai $S_4 > 0.5$. Data dipilih sebelum kemunculan badai, yaitu tanggal 4 dan saat badai tanggal 7 April 2000. Begitu juga dengan data ISM Pare-pare saat badai Juli 2000, yaitu tanggal 14 Juli sebelum terjadi badai dan 16 Juli 2000 saat badai.



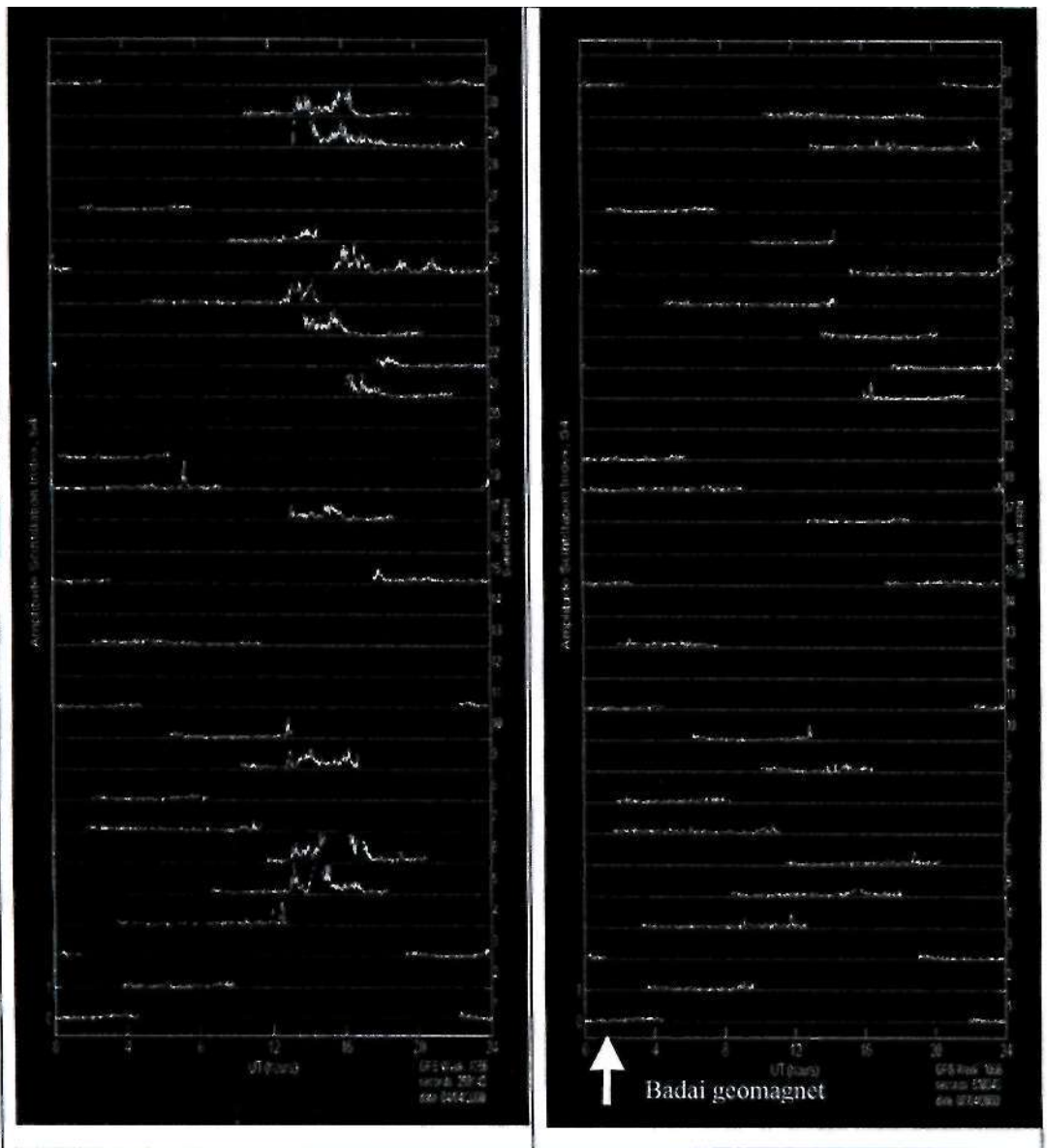
Gambar 2-1: Fase utama dari badai geomagnet bulan April 2000 pada saat nilai K_p indeks mencapai maksimum 5. Puncak Dst -288 nT adalah sekitar pukul 24.00 UT tengah malam tanggal 6 April 2000, atau pada 7 April pukul 07.00 waktu lokal



Gambar 2-2: Fase utama dari badai geomagnet bulan Juli 2000 pada saat nilai Kp indeks mencapai maksimum 8.7. Puncak Dst -301 nT adalah sekitar pukul 24.00 UT tengah malam tanggal 15 Juli 2000, atau pada 16 Juli pukul 08.00 waktu lokal

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

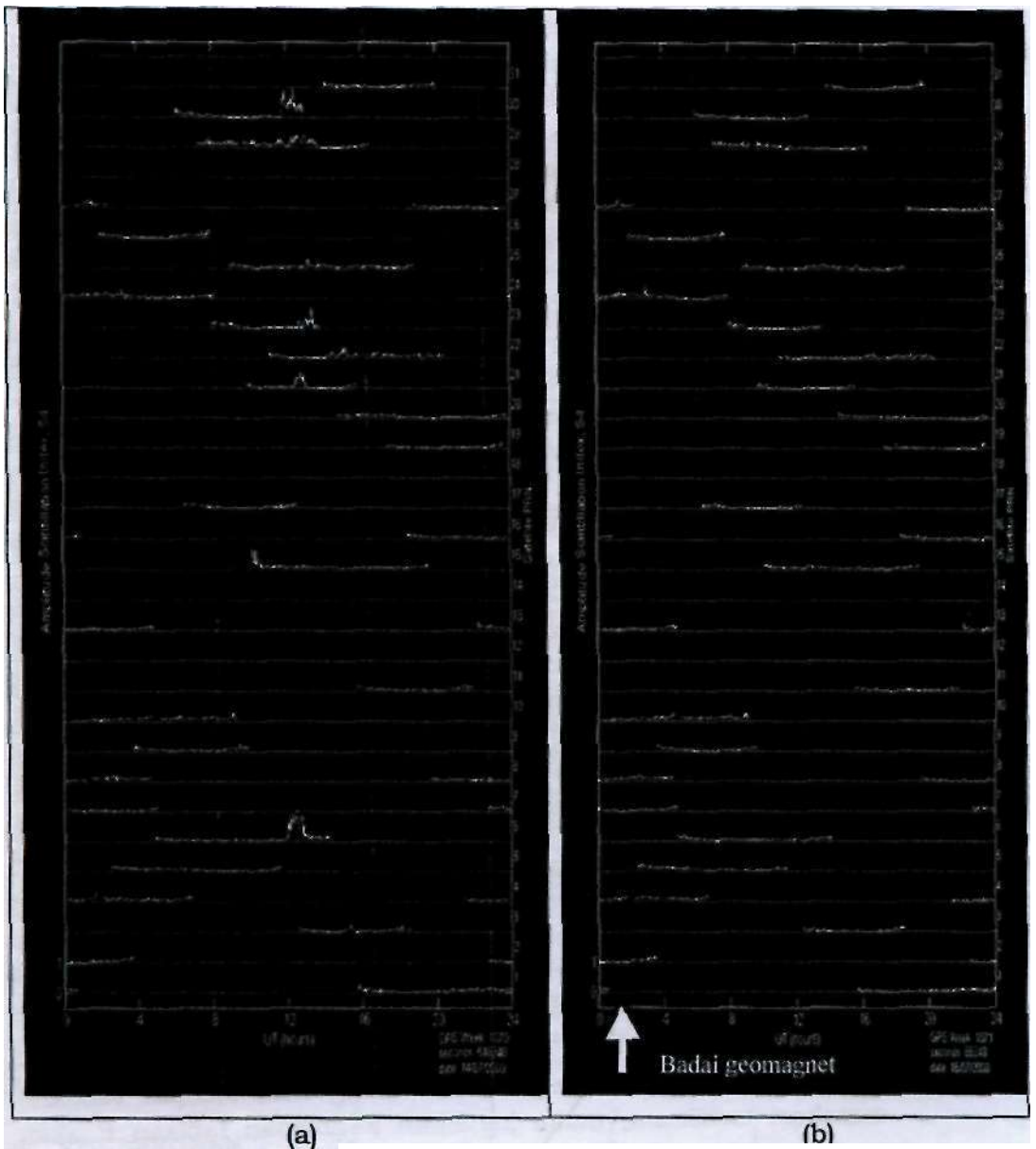
Pengamatan indeks S4 sintilasi dari stasiun ISM Pontianak saat terjadi badai geomagnet tanggal 6 April 2000, dan Parepare saat badai tanggal 15 Juli 2000 diplot untuk melihat dampak kemunculan badai geomagnet pada sintilasi sinyal GPS. Pengamatan dilakukan selama 24 jam dari satelit GPS yang melintas saat itu yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3-1 dan Gambar 3-2.



(a)

(b)

Gambar 3-1: Ploting indeks S4 dari pengamatan ISM stasiun Pontianak, a) tanggal 4 April dan b) 7 April 2000, tanggal 4 April beberapa satelit sinyalnya mengalami sintilasi yang sering terjadi pada sore menjelang tengah malam di lintang rendah (mulai pukul 12.00 UT atau pukul 19.00 LT sampai pukul 16.00 UT atau 23.00 LT). Sedangkan tanggal 7 adalah saat badai geomagnet April 2000, garis panah putih adalah saat badai dalam fase utama, sekitar tengah malam waktu UT (Pukul 07.00 LT) tetapi tidak terlihat adanya sintilasi pada hari itu



Gambar 3-2: Ploting indeks S4 dari pengamatan ISM stasiun Parepare, a) tanggal 14 dan b) tanggal 16 Juli 2000. Pada tanggal 14 Juli terlihat beberapa satelit sinyalnya mengalami sintilasi, sedangkan tanggal 16 Juli adalah saat badai geomagnet Juli 2000. Garis panah putih adalah saat badai dalam fase utama, yaitu sekitar tengah malam waktu UT (pukul 08.00LT), tetapi tidak terjadi sintilasi sepanjang hari itu

Di lintang rendah aktivitas sintilasi meningkat pada saat matahari berada di ekuator (Maret/September). Kejadian sintilasi umumnya terjadi saat matahari terbenam (*sunset*) sampai menjelang tengah malam waktu lokal. Intensitas sintilasi akan meningkat di sekitar daerah puncak anomali

ekuator, yaitu $\pm 20^\circ$ dari garis ekuator magnetik. Indonesia termasuk dalam wilayah anomali ini. Kemunculan sintilasi setelah matahari terbenam sampai menjelang tengah malam di ekuator adalah akibat irregularitas lapisan F ionosfer yang terkait dengan mekanisme ketidakstabilan Rayleigh-Taylor (Basu *et al*, 2002). Gambar 3-1a memperlihatkan kondisi umum kemunculan sintilasi saat sebelum terjadinya badai geomagnet. Dari Gambar 3-1a tersebut terlihat ada 9 satelit GPS yang sinyalnya mengalami sintilasi dengan indeks $S4 > 0.5$ yang dimulai dari sekitar pukul 12.00 UT atau pukul 19.00 sore waktu lokal sampai pukul 17.00 UT, sekitar tengah malam waktu lokal. Namun pada Gambar 3-1b data ISM tidak memperlihatkan adanya gangguan pada sinyal satelit, padahal saat itu badai geomagnet dalam fase utama, yaitu tanggal 7 April 2000 sekitar pukul 01.00 UT. Demikian juga pengaruh badai yang terjadi di bulan Juli di stasiun Parepare (Gambar 3-2).

Fase utama badai geomagnet pada bulan Juli 2000 terjadi tanggal 16 Juli, tetapi data ISM (indeks S4) stasiun Parepare pada tanggal tersebut tidak memperlihatkan adanya sintilasi pada sinyal GPS pada saat itu (Gambar 3-2b). Dari data ISM tanggal 14 Juli 2000 (Gambar 3-2a) terlihat sintilasi pada beberapa sinyal satelit. Sintilasi yang terjadi pada tanggal 14 Juli adalah sintilasi yang umum terjadi di lintang rendah yang dimulai saat menjelang sore hari sampai tengah malam. Penjelasan tentang hal ini mengacu kepada tiga hipotesa dasar efek arus cincin (*ring current*) dalam membangkitkan atau meniadakan (*inhibition*) irregularitas (ketidakteraturan) lapisan F di ekuator saat terjadinya badai geomagnet (Aarons, 1991). Aarons mengklasifikasikan pengaruh arus cincin pada irregularitas lapisan F saat terjadi badai geomagnet menjadi tiga kategori, yaitu

Kategori I: Apabila ekskursi (penyimpangan maksimum) Dst terjadi pada malam hari sampai lewat tengah malam, maka ketinggian lapisan akan naik dan kemudian **turun** kembali yang mengakibatkan terjadinya irregularitas (ketidakteraturan) pada lapisan F.

Kategori II: Apabila ekskursi Dst terjadi saat siang hari sampai sebelum matahari terbenam, maka kenaikan ketinggian lapisan F akan terganggu dan irregularitas pada malam harinya tidak tampak (*inhibit*).

Kategori III: Apabila ekskursi Dst terjadi setelah matahari terbenam sampai sebelum tengah malam, maka kenaikan ketinggian lapisan F tidak terganggu dan irregularitas akan terbentuk seperti pada malam yang tidak terjadi gangguan.

Gambar 2-1 menunjukkan puncak nilai indeks Dst saat badai geomagnet 6 April 2000 adalah sesaat sebelum tengah malam (24.00 UT) atau sekitar pukul 07.00 waktu lokal tanggal 7 April 2000, sehingga ekskursi Dst-nya dikategorikan pada kategori kedua, yaitu ekskursi Dst terjadi di

siang hari sampai sebelum matahari terbenam, dengan tidak tampak irregularitas di lapisan F pada malam harinya. Hasil yang ditunjukkan oleh pengamatan sintilasi ISM Pontianak tanggal 7 April tidak memperlihatkan adanya gangguan pada sinyal GPS saat setelah matahari terbenam sampai tengah malam, Gambar 3-1b. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan kategori kedua dari hipotesa efek arus cincin pada lapisan F ionosfer ekuator saat terjadi badai geomagnet. Kesesuaian tersebut didukung pula oleh pengamatan sintilasi menggunakan data ISM Parepare pada saat badai geomagnet bulan Juli 2000. Dari Gambar 2-2, terlihat puncak nilai Dst adalah sekitar pukul 24.00 UT atau sekitar pukul 08.00 LT tanggal 16 Juli 2000. Ekskursi Dst-nya dikategorikan juga pada kategori kedua.

Studi mengenai kejadian sintilasi yang terkait dengan ketidakteraturan di lapisan F ionosfer ekuator saat terjadi badai sudah banyak dilakukan. Mekanismenya terfokus pada perilaku ketinggian lapisan F. Menurut Pathak *et al.*, (1995), di lintang rendah sintilasi akan menghilang (inhibit) saat terjadi badai geomagnet. Menghilangnya irregularitas di ionosfer saat badai tersebut terkait dengan arus cincin dan proses reduksi di lapisan F ekuatorial berupa gangguan medan listrik ionosfer yang berlawanan arah dengan medan listrik normalnya. Dalam keadaan tenang, lapisan F berada pada ketinggian normalnya pada saat sebelum matahari terbenam. Negatif ekskursi arus cincin (dapat dilihat dari data Dst yang menurun drastis) yang terjadi pada saat itu dan akan menyebabkan berkurangnya penganih medan listrik lokal arah timur yang mengakibatkan ketinggian lapisan F menjadi berkurang. Hal ini menimbulkan terbentuknya kondisi yang akan menghambat terjadinya irregularitas di ionosfer, pada saat terjadinya badai geomagnet (Aarons, 1991). Angin zonal dan angin meridional secara signifikan juga dapat berubah saat terjadinya badai geomagnet, sehingga dapat menghalangi terjadinya irregularitas plasma pada saat itu (Abdu, 1997). Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini masih belum cukup, karena hanya ditinjau untuk dua kasus badai geomagnet. Untuk itu perlu dukungan data yang lebih banyak dan pengamatan yang kontinu.

4 KESIMPULAN

Dari data ISM Pontianak dan Parepare saat terjadi badai geomagnet pada tanggal 6 April dan 15 Juli tahun 2000 tidak memperlihatkan adanya sintilasi sinyal GPS- Hasil pengamatan sintilasi pada tanggal 7 April 2000 di Pontianak dan 16 Juli 2000 di Parepare tersebut menunjukkan kesesuaian dengan kategori kedua dari hipotesa efek arus cincin pada lapisan F ionosfer equator saat terjadi badai geomagnet, karena pada tanggal tersebut tidak terjadi irregularitas di lapisan ionosfer. Hasil ini mendukung penelitian Pathak, *et al.* (1995) yang menyatakan bahwa di lintang rendah peristiwa sintilasi tidak terjadi saat badai geomagnet.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Sarmoko atas diskusi, masukan dan sarannya juga Stasiun ISM Pontianak dan Parepare untuk penggunaan data ISM.

DAFTAR RUJUKAN

- Aarons J., 1991. *Radio Science*, Vol.126, 1131,1991.
- Abbay Kumar Singh., R.P. Singh, 2000. *Space Weather Studies Oflonopheric Scintillation at low Latitude*, J Atmos Sol Terres Phys, Vol. 62.
- Abdu M.A., 1997. *Major phenomena of the equatorial ionosphere-thermosphere system under disturbed conditions*, J. Atmos Solar-Terrestrial Physics, Vol.59, 1505-1519.
- Basu S., MacKenzie E., Basu Su., 1998. *Radio Science*, Vol.23, 363.
- Birsa. R., E.A. Essex, 2000. *Scintillation Response of Global Positioning System Signals During Storm Time Conditions*, Department of Physics La Trobe University.
- Gonzalez., J.A. Joselyn, Y. Kamide, H.W. Kroehl, G. Rostoke. 1996. *J. Geoph R* Vol.99.
- Kelley M.C., 1989. *The Earths Ionosphere*, Academic, San Diago, CA.
- Pathak K.N., Jivrajani R.D., Joshi H.P., Iyer K.N., 1995. *Ann Geophys*, Vol. 13, 730.