

ANALISIS KEMUNCULAN PULSA MAGNETIK PC5 SAAT BADAI GEOMAGNET DI JAYAPURA (ANALYSIS OF PC5 MAGNETIC PULSATION PRESENCE DURING GEOMAGNETIC STORM IN JAYAPURA)

Anton Winarko

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunan 133 Bandung 40173

e-mail: anton.winarko@lapan.go.id

ABSTRACT

One of magnetic pulsations occur during a geomagnetic storm is Pc5 magnetic pulsation. Previous studies have shown that Pc5 pulsations are triggered by the solar wind, therefore, it can be used to estimate solar wind parameters and are related to geomagnetic disturbance. In this study, the presence of Pc5 magnetic pulsation during the onset of the geomagnetic storm is identified and analyzed using local geomagnetic data. The aim is to determine the relationship between the time of Pc5 pulsation presence and geomagnetic storm onset. The results acquired by using Jayapura's geomagnetic data in the 2015 geomagnetic storms show that for all SSC-type storms, Pc5 pulsations preceded storm onset in the range of 8 minutes to 1 hour, while for GS types, Pc5 magnetic pulses did not always precede storm onset. Pc5 maximum amplitude generally occurred before the peak of the storm and ranged from 0.6-15 nT.

Keywords: *ULF Pc5, geomagnetic storm, onset*

ABSTRAK

Salah satu pulsa magnetik yang muncul saat badai geomagnet adalah pulsa magnetik Pc5. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pulsa Pc5 bersumber dari angin Matahari, oleh karenanya dapat digunakan untuk mengestimasi parameter angin Matahari dan berkaitan dengan gangguan geomagnet. Pada studi ini dilakukan identifikasi dan analisis kemunculan pulsa magnetik Pc5 saat onset badai geomagnet menggunakan data lokal. Tujuannya untuk mengetahui hubungan antara waktu kemunculan pulsa Pc5 dan onset badai. Hasil pengolahan data menggunakan data geomagnet Jayapura pada kejadian badai geomagnet tahun 2015 menunjukkan bahwa untuk seluruh badai tipe SSC, pulsa Pc5 mendahului onset badai pada kisaran waktu 8 menit hingga 1 jam, sementara untuk tipe GS, pulsa magnetik Pc5 tidak selalu mendahului onset badai. Amplitudo maksimum Pc5 umumnya terjadi sebelum puncak badai dan berkisar antara 0,6-15 nT.

Kata kunci: *ULF Pc5, badai geomagnet, onset*

1 PENDAHULUAN

Gelombang *Ultra Low Frequency* (ULF) adalah gelombang dengan frekuensi sangat rendah, yang terjadi diakibatkan interaksi magnetosfer dan angin Matahari. *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA) mengklasifikasikan gelombang ULF berdasarkan bentuk dan perioda-nya. Gelombang dengan bentuk

osilasi kuasi-sinusoidal dikategorikan sebagai *Pulsation Continuous* (PC), sedangkan yang berbentuk tidak teratur, digolongkan sebagai *Pulsation Irregular* (Pi). Kedua jenis gelombang ULF tersebut, diklasifikasikan berdasarkan perioda gelombang, yang diilustrasikan pada Tabel 1-1.

Tabel 1-1: GELOMBANG ULF MENURUT IAGA

No	Tipe	Subtipe	Periode (s)	frekuensi
1		Pc1	0.2 - 5	tinggi :
2		Pc2	5 - 10	0.1 - 10 Hz
3	Continuous (Pc)	Pc3	10 - 45	sedang :
4		Pc4	45 - 150	10 - 100 mHz
5		Pc5	150 - 600	rendah : 1 - 10 mHz
6	Irregular	Pi1	1 - 40	
7	(Pi)	Pi2	40 - 150	

Salah satu pulsa magnetik yang dibahas dalam studi ini adalah kemunculan Pc5 saat badai geomagnet. Studi oleh Kessel *et al.* (2004) menunjukkan bahwa intensitas Pc5 (baik sejajar atau yang tegak lurus) di angin Matahari (dan pada tingkat yang lebih rendah di magnetosheath) berkorelasi baik dengan Pc5 medan magnet komponen H landas Bumi.

Kepko *et al.* (2002) menunjukkan pengamatan fluktuasi tekanan pada frekuensi diskrit angin Matahari dan magnetosfer dan mengusulkan bahwa angin Matahari boleh jadi merupakan sumber langsung pulsa magnetik Pc5. Bangkit *et al.* (2014) telah membangun tabel indeks pulsa magnet Pc5 secara logaritmik mengikuti pola distribusi indeks Kp, dari hasil uji modelnya menunjukkan bahwa Pc5 diyakini dapat digunakan untuk mengestimasi parameter angin Matahari.

Pada interaksi di magnetosfer, jika di daerah kompresi pada ujung aliran plasma cepat terdapat gelombang dengan periode Pc5, maka dapat menjadi sebuah gelombang sumber energi ke magnetosfer, atau dengan kata lain gelombang dapat berlaku sebagai pemicu gangguan magnetik yang menyebabkan pergerakan batas yang diperkuat oleh ketidakstabilan Kelvin-

Helmholtz (Engebretson *et al.*, 1998; Nykyri *et al.*, 2017).

Salah satu jenis gangguan magnetik yang ditimbulkan akibat interaksi angin Matahari dengan magnetosfer Bumi adalah badai geomagnet. Badai geomagnet terjadi ketika medan magnet Bumi mengalami rekoneksi dengan medan magnet antarplanet yang dibawa oleh angin Matahari. Aktivitas Matahari seperti lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) dan lubang korona berpengaruh kuat terhadap gangguan dan jenis badai geomagnet (Borovsky dan Denton, 2006; Singh *et al.* 2017).

Badai geomagnet terkadang diawali dengan peningkatan mendadak aktivitas geomagnet kemudian diikuti penurunan intensitas magnetik secara signifikan dalam interval waktu tertentu. Peristiwa peningkatan mendadak medan magnet ini disebut *Sudden Impulse* (SI). Jika SI diikuti dengan badai geomagnet, maka badai geomagnet yang terjadi dikenal dengan tipe *Storm Sudden Commencement* (SSC). SI dan atau SSC ini berkaitan dengan *interplanetary shock* dan kebanyakan dipicu oleh CME (Cho *et al.*, 2003). Studi Bocchialini *et al.* (2019) menyatakan bahwa pada tahun 2002 sebagai puncak siklus maksimum Matahari ke-23, setidaknya terdapat 28 SSC yang berkorelasi dengan 44 kejadian CME. Shinohara *et al.* (2005) mengembangkan sistem deteksi SI/SSC otomatis, dengan kriteria SSC: amplitudo $\geq 7,5$ nT; periode peningkatan ≤ 10 menit dengan variasi waktu maksimum $\geq 2,5$ nT/menit.

Jika badai geomagnet tidak didahului SI, dan biasanya penurunan intensitas geomagnetnya bertahap, maka disebut dengan badai tipe *Gradually Storm* (GS). Badai tipe GS biasanya berkorelasi dengan *Co-rotating Interaction Region* (CIR) yang dipicu oleh lubang korona Matahari (Hajra *et al.*, 2014; Yeeram, 2017).

Pada studi ini dilakukan identifikasi dan analisis kemunculan pulsa magnetik Pc5 saat *onset* badai geomagnet menggunakan data lokal. Tujuannya, untuk mengetahui hubungan antara waktu kemunculan pulsa Pc5 dan *onset* badai geomagnet. Hasil studi berupa informasi yang dapat dimanfaatkan dalam penelitian lebih lanjut mengenai prekursor badai geomagnet.

2 DATA DAN METODOLOGI

Identifikasi gangguan geomagnet menggunakan data tahun 2015 dengan kriteria badai geomagnet ($G > 0$) sebagaimana klasifikasi indeks K untuk wilayah Indonesia (Juangsih, 2015) yaitu dengan kriteria minimum Dst < -45 nT. Data yang digunakan adalah komponen geomagnet Jayapura, dengan resolusi 1 detik. Pada tahapan awal dilakukan reduksi *noise*, dan dihitung kuat gangguan geomagnetnya menggunakan persamaan (2-1) :

$$dH(t) = H(t) - Sq(t) \quad (2 - 1)$$

dengan $dH(t)$ adalah kuat gangguan, $H(t)$ adalah kuat medan geomagnet yang terukur magnetometer, dan $Sq(t)$ adalah kuat medan geomagnet saat hari tenang. Kriteria hari tenang geomagnet mengacu kepada <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/cgi-bin/qddays-cgi>. Ditentukan pula *onset* dan tipe badai geomagnet yang terjadi (SSC atau GS), untuk menganalisis apakah ada kaitan waktu kemunculan Pc5 dengan tipe badai geomagnet yang terjadi. Tipe badai diidentifikasi secara dikotomis, dengan kriteria untuk SSC mengacu pada studi oleh Shinohara *et al.* (2005).

Untuk identifikasi keberadaan pulsa magnet Pc5, dilakukan *bandpass filter* pada rentang periode Pc5 yaitu 150-600 detik. *Onset* badai geomagnet dan awal kemunculan Pc5 kemudian dibandingkan dan dianalisis.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data indeks Dst tahun 2015 tercatat 31 kejadian badai geomagnet sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 3-1. Berdasarkan ketersediaan data geomagnet Jayapura, diperoleh 12 kejadian badai geomagnet (dicetak tebal) yang disertai dengan kemunculan pulsa magnet Pc5.

Tabel 3-1: BADAI GEOMAGNET TAHUN 2015

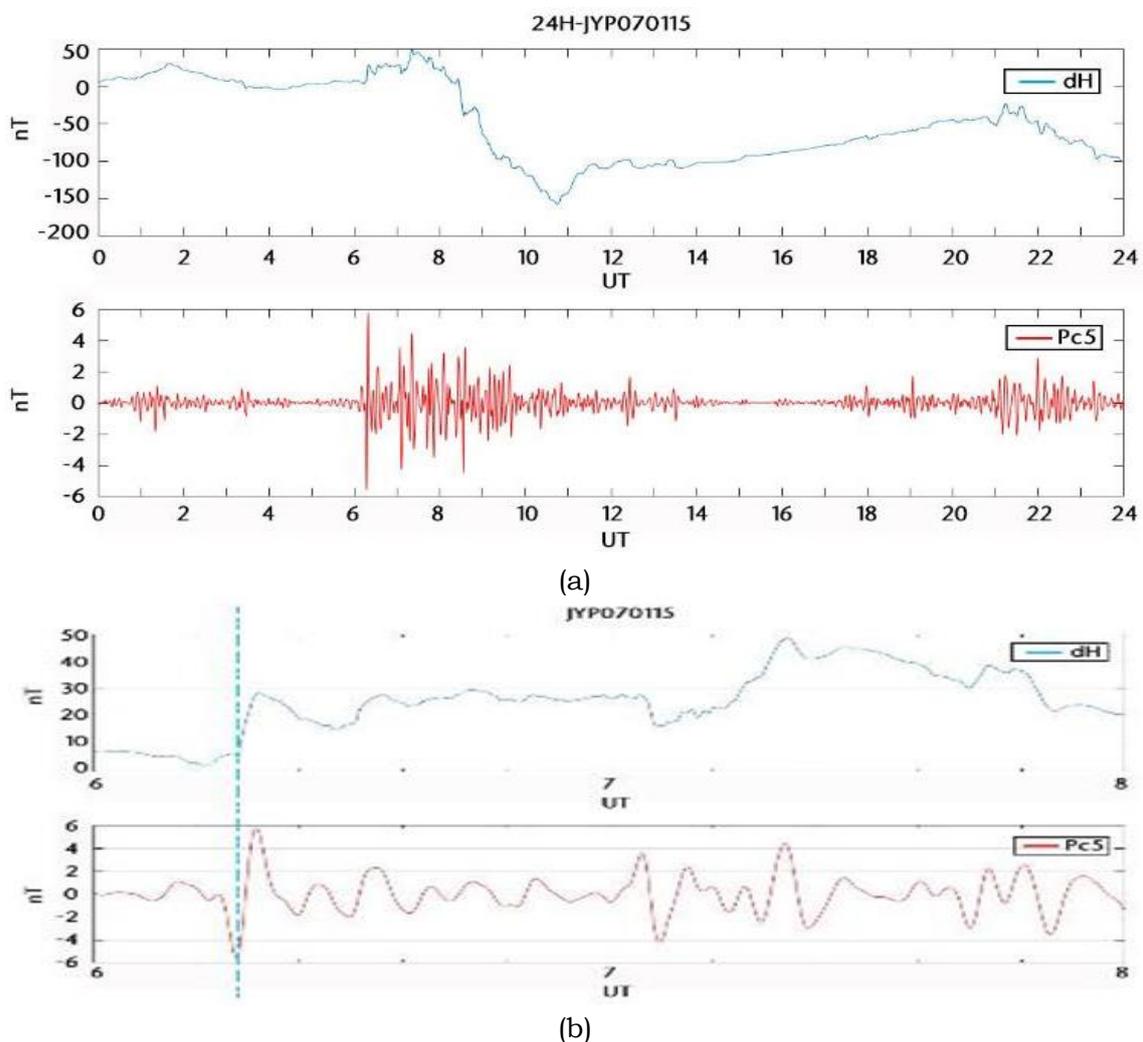
No	Tanggal badai	min Dst (nT)	puncak badai (UT)
1	4 Januari 2015	-71	22
2	7 Januari 2015	-99	12
3	2 Februari 2015	-46	7
4	18 Februari 2015	-64	18
5	24 Februari 2015	-56	8
6	1 Maret 2015	-46	9
7	2 Maret 2015	-55	9
8	17 Maret 2015	-222	23
9	10 April 2015	-51	5
10	11 April 2015	-73	8
11	16 April 2015	-79	24
12	13 Mei 2015	-76	7
13	8 Juni 2015	-73	1
14	23 Juni 2015	-204	5
15	5 Juli 2015	-67	6
16	13 Juli 2015	-61	16
17	23 Juli 2015	-63	8
18	16 Agustus 2015	-78	9
19	19 Agustus 2015	-50	7
20	27 Agustus 2015	-92	21
21	7 September 2015	-70	21
22	9 September 2015	-94	10
23	11 September 2015	-81	15
24	20 September 2015	-75	16
25	4 Oktober 2015	-55	10
26	7 Oktober 2015	-124	23
27	18 Oktober 2015	-48	10
28	4 November 2015	-60	13
29	7 November 2015	-89	7
30	14 Desember 2015	-45	23
31	20 Desember 2015	-155	23

Gambar 3-1a menunjukkan plot gangguan geomagnet Jayapura dan

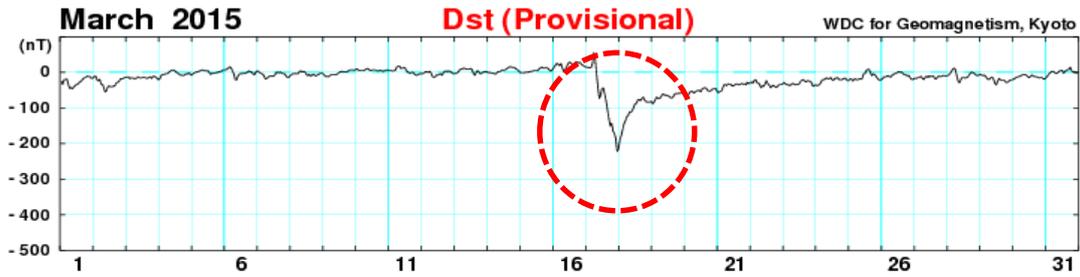
kemunculan pulsa magnet Pc5 pada kejadian badai geomagnet tanggal 7 Januari 2015, yang merupakan badai geomagnet bertipe SSC. Tampak bahwa pulsa Pc5 muncul pada waktu yang berdekatan dengan *onset* SSC. Fase utama badai geomagnet terjadi sekitar pukul 8 UT dan mencapai puncak sekitar pukul 11 UT. Fluktuasi Pc5 terindikasi mengalami penurunan saat fase *recovery*, namun Pc5 kembali muncul dikarenakan terjadi lagi gangguan geomagnet hingga keesokan harinya (8 Januari 2015). Sketsa kejadian lebih

jelas pada saat *onset* badai yang ditampilkan pada Gambar 3-1b, maka dapat dilihat bahwa pulsa magnet Pc5 dengan amplitudo ± 6 nT muncul beberapa saat sebelum *onset* SSC.

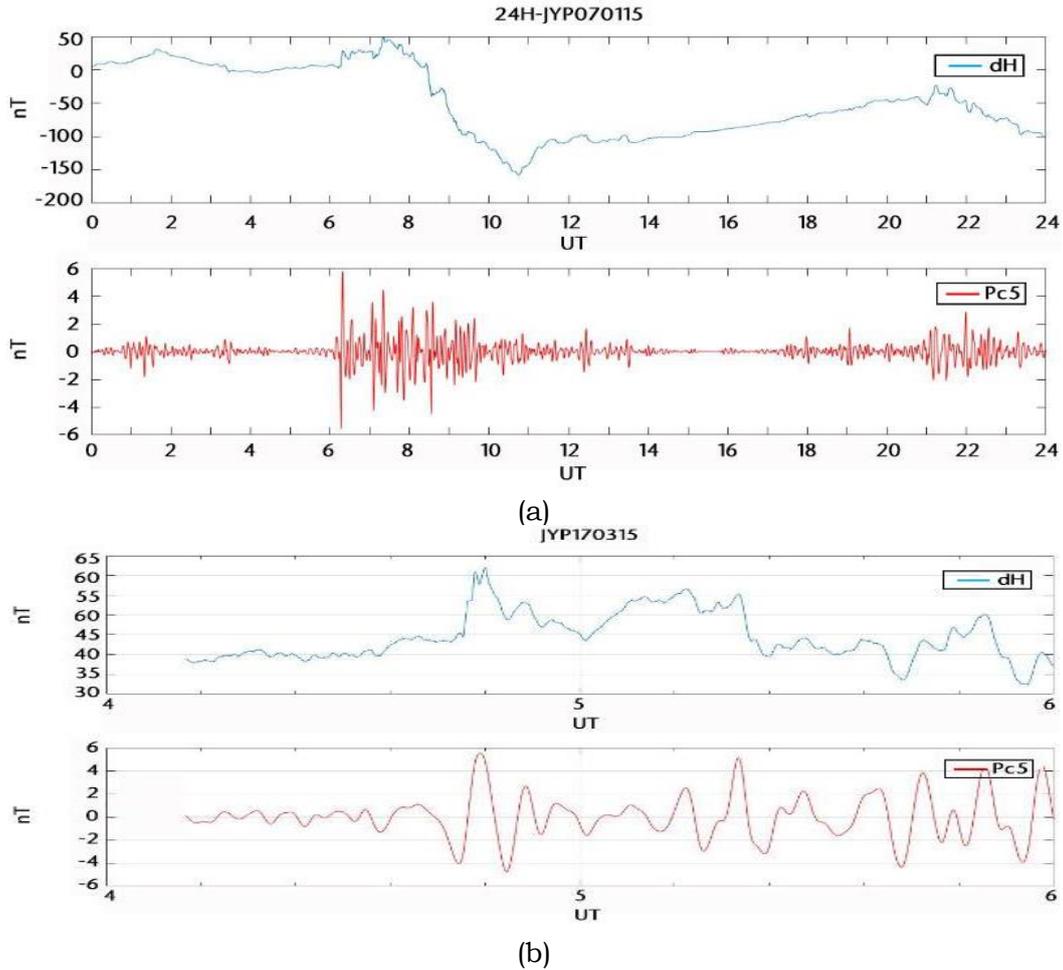
Dari hasil pengolahan data menunjukkan bahwa awal kemunculan pulsa Pc5 terjadi lebih cepat 2 menit 8 detik dari *onset* SSC. Apabila dibandingkan dengan *initial phase*, maka selisih waktunya mencapai ~66 menit atau lebih dari 1 jam.



Gambar 3-1: Badai geomagnet dan Pc5 Jayapura 7 Januari 2015 (a) pada rentang 24 jam; dan (b) pada sekitar waktu onset badai. Garis biru terang putus-putus adalah perkiraan onset SSC. panel atas adalah gangguan geomagnet, sementara panel bawah adalah Pc5



Gambar 3-2: Indeks Dst Maret 2015. Bagian yang dilingkari merah adalah badai *St. Patrick's Day*. (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/201503/index.html)



Gambar 3-3: Seperti gambar 3-1 untuk badai tanggal 17 Maret 2015 (a) pada rentang 24 jam; dan (b) pada sekitar waktu onset badai

Badai geomagnet pada 17 Maret 2015, yang dikenal dengan *St. Patrick's Day* merupakan badai geomagnet terkuat sepanjang siklus Matahari ke-24. Badai geomagnet dipicu oleh CME yang disertai Flare kelas C9 (Kataoka *et al.*, 2015). Meskipun hanya terjadi flare kelas C yang pada umumnya tidak berefek signifikan, namun terdeteksi komponen utara-selatan dari medan magnet antarplanet yang mencapai sekitar -30nT dan hal ini telah memicu

dampak yang besar. Minimum indeks Dst yang terjadi mencapai -222 nT (Gambar 3-2), sedangkan puncak gangguan geomagnet di Jayapura mencapai -237 nT, mengindikasikan keadaan yang lebih terganggu dibandingkan dengan kondisi geomagnet di lintang rendah umumnya.

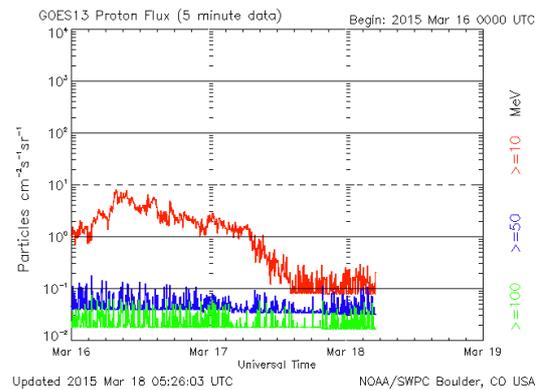
Grafik pola kondisi gangguan geomagnet di Jayapura dan kemunculan Pc5 pada 17 Maret 2015 ditampilkan pada Gambar 3-3a dan 3-3b. Gambar

3-3a menunjukkan kondisi sejak fase awal badai geomagnet hingga mencapai puncak badai. Amplitudo Pc5 maksimum mencapai ± 15 nT dan terjadi saat fase utama, sebelum puncak badai. Plot detail pada saat onset ditampilkan pada Gambar 3-3b. Dari gambar tersebut dapat dilihat terjadi SI hingga $+60$ nT dan pada sekitar 5,5 menit sebelumnya muncul pulsa magnetik Pc5 dengan amplitudo sebesar ± 5 nT.

Sehari sebelumnya, 16 Maret 2015 sekitar pukul 3 UT, GOES-13 mendeteksi peningkatan fluks proton secara *gradual* (Gambar 3-4). Peningkatan fluks proton berenergi tinggi dapat diinterpretasikan sebagai percepatan partikel angin Matahari (Verkhoglyadova *et al.*, 2015) dan merupakan salah satu indikasi awal terjadinya *interplanetary shock* (Lario *et al.*, 2015), artinya, tipe badai geomagnet yang terjadi adalah SSC.

Badai geomagnet selanjutnya adalah pada 10 April 2015, yaitu badai geomagnet lemah dengan minimum indeks Dst mencapai -55 nT yang ditunjukkan pada Gambar 3-5. Onset badai terjadi pada 9 April 2015 sekitar pukul 23 UT (Gambar 3-6a dan 3-6b). Penurunan intensitas geomagnet terjadi bertahap dan tidak didahului peningkatan mendadak, sehingga dikategorikan badai bertipe GS.

Berdasarkan hasil olah data, Pc5 mendahului onset badai dengan selisih waktu sekitar 21 menit dengan besarnya amplitudo adalah ± 1 nT. Selisih waktu sekitar 21 menit ini masih dapat diperdebatkan karena sejatinya peningkatan Pc5 mulai muncul sejak pukul 20 UT (dengan selisih sekitar 3 jam) namun demikian hal ini dapat terjadi diakibatkan oleh gangguan geomagnet positif, karena data lokal Jayapura menunjukkan adanya peningkatan hingga 30 nT dalam rentang waktu sekitar 4 jam. Peningkatan ini tidak memenuhi kriteria *sudden impulse* namun maksimum gangguan JYP mencapai ~ 40 nT.



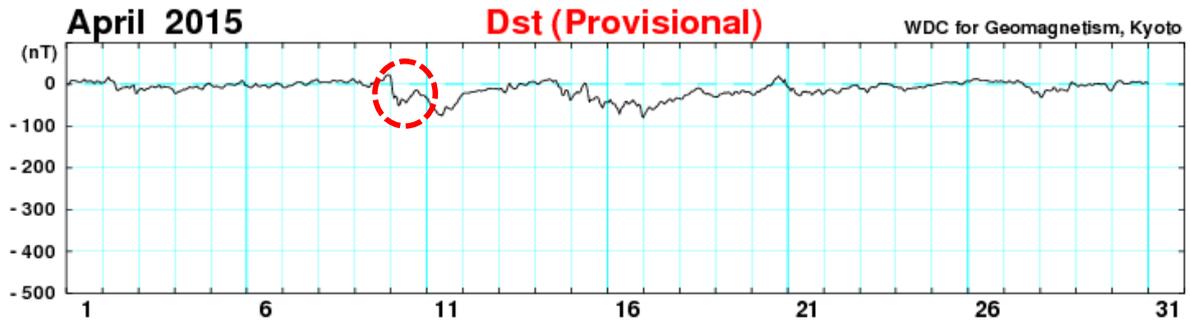
Gambar 3-4: Fluks proton yang terdeteksi oleh GOES-13 pada 16-17 Maret 2015 (plot GOES-13 berwarna merah). (<http://www.solarham.net/march2015/storm/proton.gif>)

Pada Gambar 3-6a, tampak adanya pulsa magnetik Pc5 berdurasi pendek (~ 30 menit) pada pukul 2 UT namun amplitudonya cukup besar, yaitu ± 3 nT. Jika kita melihat plot geomagnet Jayapura pada waktu tersebut, menunjukkan bahwa pulsa Pc5 tersebut terkait dengan *sudden impulse*.

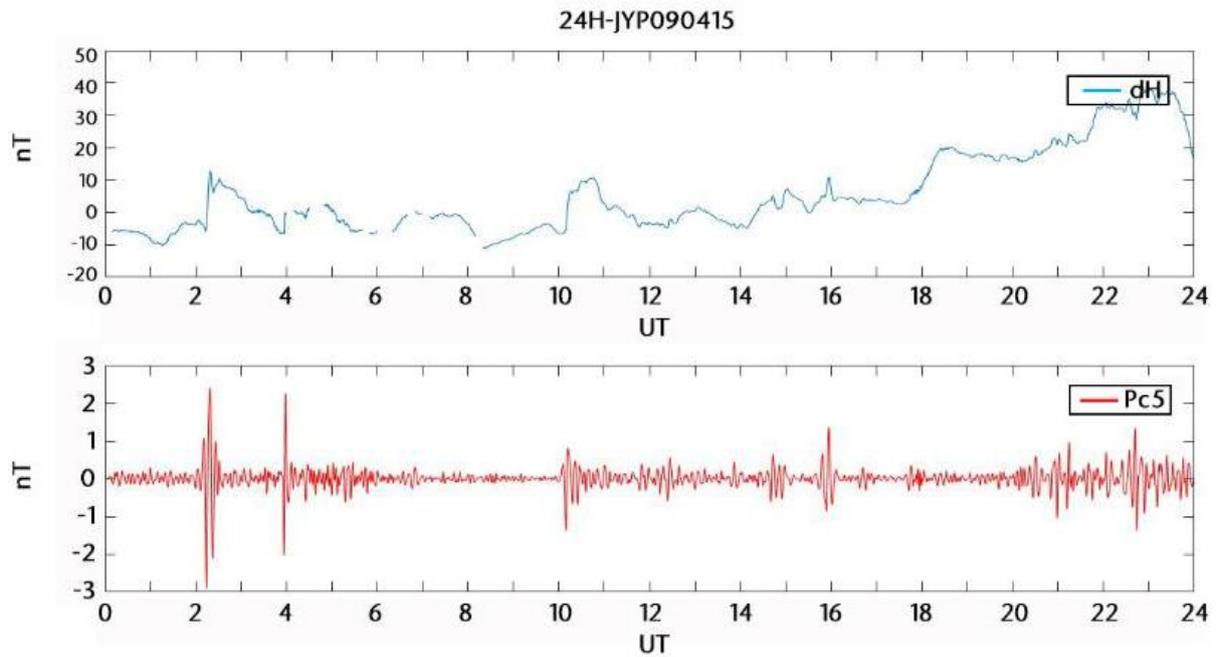
Pada 15 Agustus 2015 terjadi badai bertipe SSC. Plot pada Gambar 3-7a menunjukkan bahwa terjadi kenaikan intensitas geomagnet mendadak (~ 30 nT) pada pukul 8 UT, diikuti penurunan hingga hampir mencapai -150 nT. Gambar 3-7b menunjukkan plot detail waktu onset badai. Berdasarkan data diperoleh bahwa pulsa Pc5 mendahului onset SSC selama 8 menit 48 detik. Fluktuasi kuat Pc5 terjadi selama ± 8 jam dengan amplitudo maksimum ± 6 nT.

Badai geomagnet pada 27 Agustus 2015 bertipe GS karena tidak didahului *interplanetary shock* yang ditunjukkan dengan kenaikan mendadak intensitas geomagnet, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3-8a. Berdasarkan plot detail waktu onset pada Gambar 3-8b, terlihat perbedaan dengan 4 studi kasus badai geomagnet sebelumnya yang didahului pulsa magnetik Pc5. Berdasarkan pengolahan data, fluktuasi pulsa magnetik Pc5 terjadi 4 menit setelah onset badai.

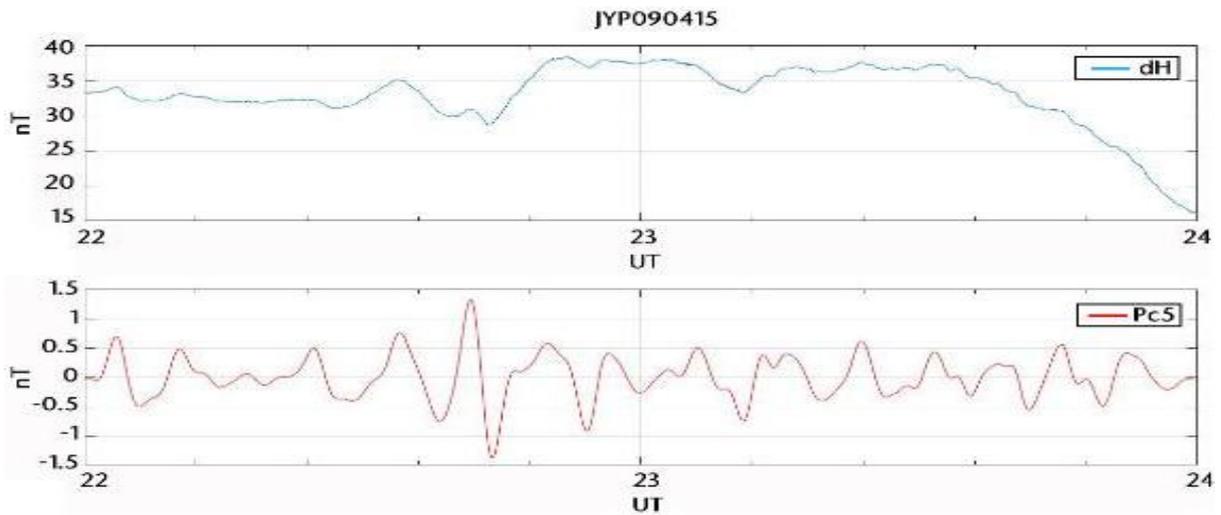
Amplitudo Pc5 maksimum $\sim 2,5$ nT dan terjadi saat fase puncak badai.



Gambar 3-5: Indeks Dst April 2015

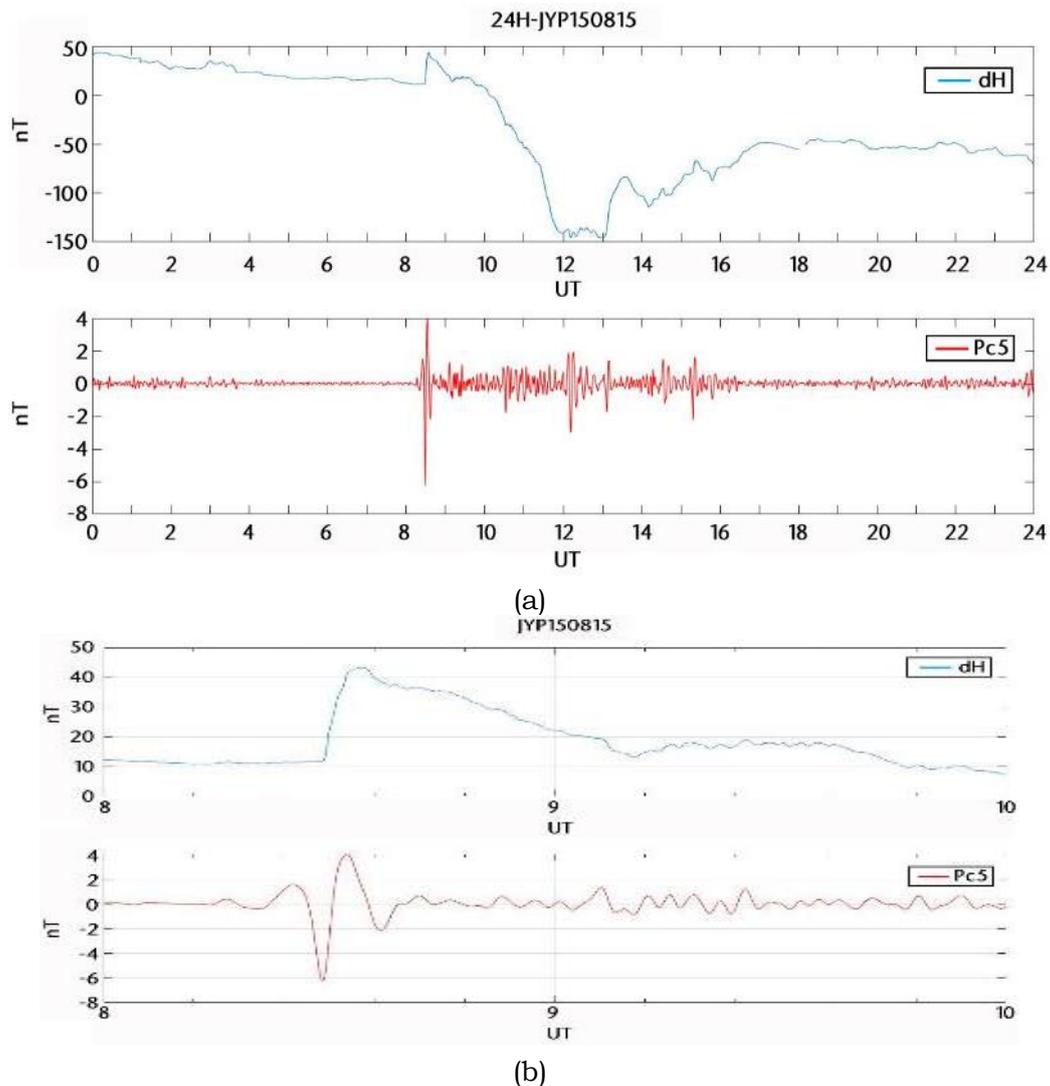


(a)



(b)

Gambar 3-6: Sama seperti Gambar 3-1 tetapi untuk badai tanggal 10 April 2015 (a) pada rentang 24 jam; dan (b) pada sekitar waktu onset badai

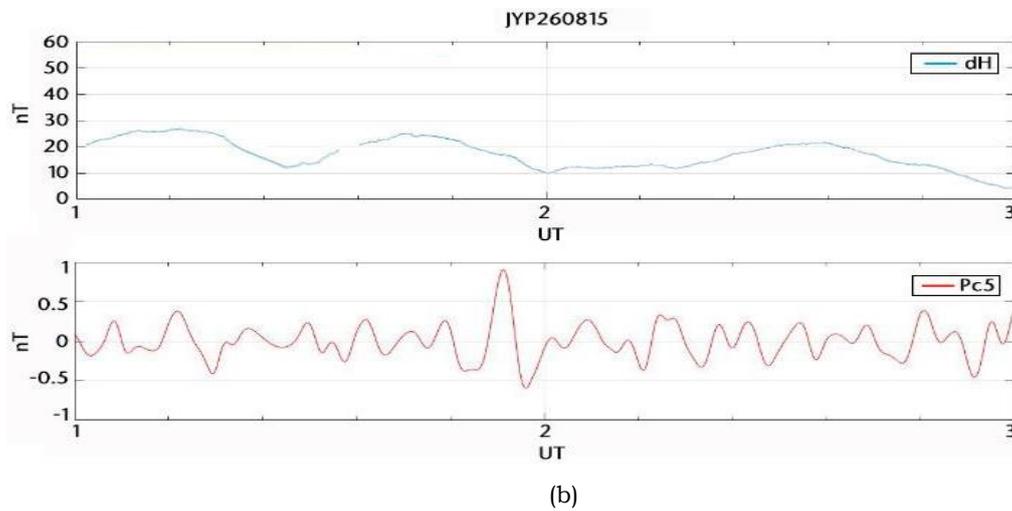
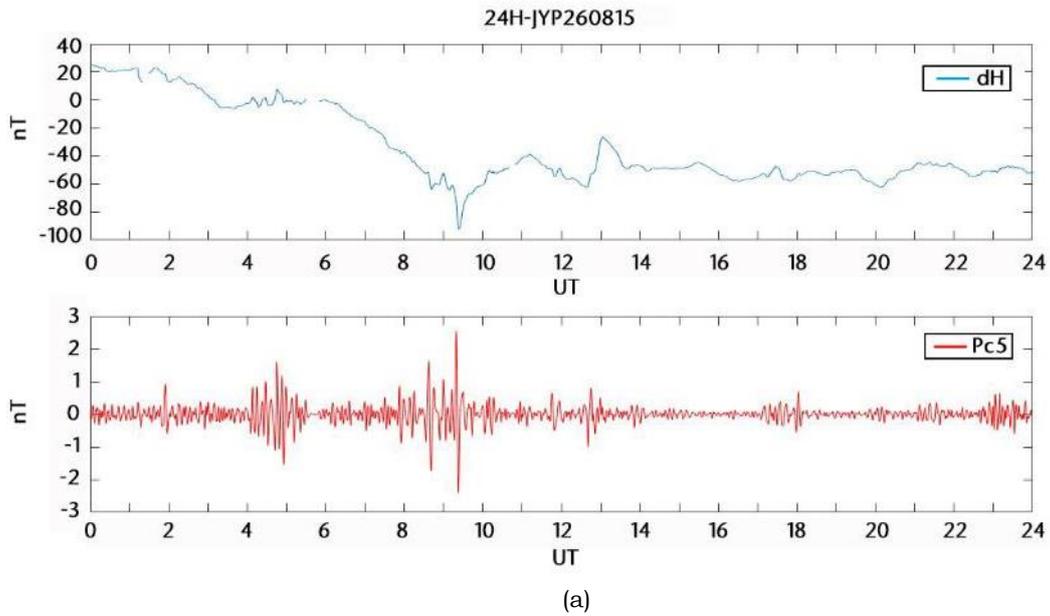


Gambar 3-7: Sama seperti gambar 3-1 tetapi untuk badai tanggal 15 Agustus 2015 (a) pada rentang 24 jam; dan (b) pada sekitar waktu onset badai

Keseluruhan hasil proses pengolahan data tahun 2015 disajikan dalam bentuk Tabel 3-2. Onset geo adalah waktu onset badai geomagnet dalam detik, onset Pc5 adalah waktu kemunculan pulsa magnet Pc5, Δt_{SC} adalah selisih waktu dalam detik antara onset badai bertipe SSC dengan awal kemunculan Pc5, Δt_G adalah selisih antara onset badai geomagnet dengan awal kemunculan Pc5. Tanda negatif berarti onset badai geomagnet mendahului kemunculan fluktuasi Pc5 dan sebaliknya.

Berdasarkan hasil pengolahan data (Tabel 3-2), tampak bahwa untuk seluruh badai tipe SSC, pulsa Pc5 mendahului onset badai dalam rentang

waktu antara 8 menit hingga 1 jam. Bahkan jika dibandingkan dengan onset SSC-nya, selisih awal kemunculan Pc5 berada pada kisaran 2 – 40 menit. Studi oleh Musafar *et al.*, (2014) menunjukkan tekanan dinamik angin Matahari berperan aktif mengendalikan pulsa magnetik Pc5, dan hal ini berkaitan dengan transport dan percepatan elektron pada sabuk radiasi. Sehingga, kemunculan Pc5 pada badai bertipe GS lebih sulit untuk diidentifikasi dan tidak selalu muncul mendahului onset badai. Berdasarkan hasil analisis badai geomagnet yang terjadi selama tahun 2015, amplitudo maksimum Pc5 umumnya terjadi sebelum fase puncak dan berkisar antara 0,6 - 15 nT.



Gambar 3-7: Seperti gambar 3-1 untuk badai tanggal 27 Agustus 2015 (a) pada rentang 24 jam; dan (b) pada sekitar waktu onset badai

Tabel 3-2: HASIL PENGOLAHAN DATA PC5 PADA BADAI GEOMAGNET TAHUN 2015

No	tanggal badai	tanggal onset	onset ssc (s)	onset geo (s)	onset Pc5 (s)	Δt_{sc} (s)	Δt_G (s)	\pm max amplitudc (nT)	tipe badai
1	4 Januari	4 Januari	-	5981	6587	-	-606	1,5	GS
2	7 Januari	7 Januari	22614	26454	22486	128	3968	6	SSC
3	17 Maret	17 Maret	17114	17293	16783	331	510	15	SSC
4	10 April	9 April	-	82346	81092	-	1254	6	GS
5	11 April	10 April	59943	60140	57522	2421	2618	1,5	SSC
6	8 Juni	7 Juni	-	68627	71494	-	-2867	10	GS
7	5 Juli	4 Juli	-	71725	69998	-	1727	1,5	GS
8	16 Agustus	15 Agustus	30562	30911	30034	528	877	6	SSC
9	19 Agustus	18 Agustus	-	56898	55149	-	1749	2	GS
10	27 Agustus	26 Agustus	-	6203	6460	-	-257	2,5	GS
11	4 Oktober	3 Oktober	-	81456	80853	-	603	0,6	GS
12	18 Oktober	18 Oktober	-	15272	17159	-	-1887	1	GS

4 KESIMPULAN

Berdasarkan studi kasus kemunculan Pc5 menggunakan data geomagnet Jayapura pada kejadian badai geomagnet tahun 2015, diperoleh bahwa untuk seluruh badai tipe SSC, pulsa Pc5 mendahului onset badai pada kisaran waktu 8 menit hingga 1 jam, sementara untuk tipe GS, pulsa magnetik Pc5 tidak selalu mendahului onset badai. Amplitudo maksimum Pc5 umumnya terjadi sebelum puncak badai dan berkisar antara 0,6-15 nT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fitri Nuraeni dan Cucu Eman Haryanto yang telah memberikan bantuan saran, diskusi, dan penyediaan data geomagnet yang digunakan dalam studi ini.

DAFTAR RUJUKAN

Bangkit, H., L. M. M. Kilowasit dan Afnimar, 2014. *Metoda Estimasi Kecepatan dan Tekanan Dinamik Angin Surya Berdasarkan Indeks Pc5*. Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer-Antariksa ISBN: 978-979-1458-87-0.

Bocchialini, K., B. Grison, M. Menvielle, A. Chambodut, N. Cornilleau-Wehrin, D. Fontaine, A. Marchaudon, M. Pick, F. Pitout, B. Schmieder, S. Régnier, I. Zouganelisand, 2019. *Correction to: Statistical Analysis of Solar Events Associated with Storm Sudden Commencements over One Year of Solar Maximum During Cycle 23: Propagation from the Sun to the Earth and Effects*. *Solar Physics*, 294(4), 38.

Borovsky, J. E., and M. H. Denton, 2006. *Differences between CME-driven Storms and CIR-driven Storms*. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 111(A7).

Cho, K. S., Y. J. Moon, M. Dryer, C. D. Fry, Y. D. Park and K. S. Kim, 2003. *A Statistical Comparison of Interplanetary Shock and CME Propagation Models*.

Journal of Geophysical Research: Space Physics, 108(A12).

Engebretson, M., K. H., Glassmeier, M., Stellmacher, W. J., Hughes, and H. Lühr, 1998. *The Dependence of High-Latitude PcS Wave Power on Solar Wind Velocity and on the Phase of High-speed Solar Wind Streams*. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 103(A11), 26271-26283.

Hajra, R., E. Echer, B. T. Tsurutani, and W. D. Gonzalez, 2014. *Solar Wind-magnetosphere Energy Coupling Efficiency and Partitioning: HILDCAAs and Preceding CIR Storms during Solar Cycle 23*. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 119(4), 2675-2690.

Juangsih, M., 2015. *Penentuan Indeks K Geomagnet Untuk Daerah Indonesia*. Tesis Magister Sains Kebumihan ITB.

Kepko, L., H. E., Spence and H. J. Singer, 2002. *ULF Waves in the Solar Wind as Direct Drivers of Magnetospheric Pulsations*. *Geophysical Research Letters*, 29(8), 39-1.

Kataoka, R., D. Shiota, E., Kilpua and K. Keika, 2015. *Pileup Accident Hypothesis of Magnetic Storm on 17 March 2015*. *Geophysical Research Letters*, 42(13), 5155-5161.

Kessel, R. L., I. R., Mann, S. F., Fung, D. K. Milling, and N. O'Connell, 2004. *Correlation of Pc5 Wave Power Inside and Outside the Magnetosphere during High Speed Streams*. *Annales Geophysicae Vol. 22, No. 2*, pp. 629-641.

Lario, D., R. B. Decker, E. C Roelof and A. F. Viñas, 2015. *Energetic Particle Pressure at Interplanetary Shocks: STEREO-A Observations*. *The Astrophysical Journal*, 813(2), 85.

Musafar, L. M. K., W. Sugitomo, T. Djameluddin, A. Yoshikawa, and T. Uozumi, 2014. *Pc5 Magnetic Pulsations during the Outer Electron Radiation Belt*. *International Journal of Technology*, 5(3), 269-276.

Nykyri, K., X. Ma, A. Dimmock, C. Foullon, A. Otto and A. Osmane, 2017. *Influence of*

- Velocity Fluctuations on the Kelvin-Helmholtz Instability and Its Associated Mass Transport.* Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122(9), 9489-9512.
- Shinohara, M., T. Kikuchi, and K. Nozaki, 2005. *Automatic Realtime Detection of Sudden Commencement of Geomagnetic Storms.* NICT.
- Singh, A., V. S. Rathore, R. P. Singh, and A. K. Singh, 2017. *Source Identification of Moderate ($-100 \text{ nT} < \text{Dst} < -50 \text{ nT}$) and Intense Geomagnetic Storms ($\text{Dst} < -100 \text{ nT}$) during Ascending Phase of Solar Cycle 24.* Advances in Space Research, 59(5), 1209-1222.
- Verkhoglyadova, O. P., G. P. Zank, and G. Li, 2015. *A Theoretical Perspective on Particle Acceleration by Interplanetary Shocks and the Solar Energetic Particle Problem.* Physics Reports, 557, 1-23.
- Yeeram, T., 2017. *Interplanetary Drivers of Daytime Penetration Electric Field into Equatorial Ionosphere during CIR-Induced Geomagnetic Storms.* Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 157, 6-15.
- <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/cgi-bin/qddays-cgi>, diakses pada 29 Oktober 2018.
- http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/201503/index.html, diakses pada 5 Oktober 2018.
- <http://www.solarham.net/march2015storm/proton.gif>, diakses pada 5 Oktober 2018.