

Variasi Pola Komponen H Medan Geomagnet Stasiun Biak Saat Kejadian *Solar Energetic Particle* (SEP) Kuat Pada Siklus Matahari Ke-23

Anwar Santoso

Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN Bandung, Indonesia
Email : anwar@bdq.lapan.go.id

Abstrak

Peristiwa *Solar Energetic Particle* (SEP) merupakan semburan energi sebagai hasil akselerasi partikel heliosfer oleh flare matahari dan *Coronal Mass Ejection* (CME). Dampak keberadaannya akan terjadi badai geomagnet yang selanjutnya mendepresi medan geomagnet dipermukaan bumi. Bagaimana pola komponen H stasiun Biak pada saat SEP kuat siklus matahari ke-23? Sebagai analisis, dilakukan studi kejadian SEP tanggal 14 Juli 2000, 8 Nopember 2000, 29 Maret 2001, 24 September 2001, 4 Nopember 2001 dan 22 Nopember 2001 (SEP kuat siklus ke-23 matahari). Hasil studi membuktikan bahwa berbagai proses pertumbuhan badai geomagnet dan pola komponen H stasiun Biak merupakan sebuah respon atas kejadian SEP yang juga dipengaruhi oleh kondisi IMF Bz. Sebuah kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini adalah kaitan erat antara keberadaan fluks proton tinggi setelah “*shock*” berbarengan dengan peran durasi IMF Bz “*pre-shock*” dalam pembangkitan pertumbuhan besar fase utama badai geomagnet.

Kata kunci: Peristiwa Solar Energetic Particle (SEP) events, flare matahari, lintaran massa korona (Coronal Mass Ejection _CME), sub-storm and badai geomagnet

1. PENDAHULUAN

Kejadian SEP ditandai dengan peningkatan luar biasa fluks proton dalam rentang energi KeV sampai MeV. Proton-proton tersemburkan bersamaan dengan ledakan transien matahari disertai oleh massa dan energi yang luar biasa yang sekali waktu menumbuk magnetosfer bumi terjadi proses rekoneksi, menimbulkan gangguan mendadak pada medan geomagnet dan dikenal sebagai badai geomagnet (Sugiura dan Chapman, 1960; Gonzales and Tsurutani, 1987). Saat rekoneksi, komponen utara-selatan IMF (Bz IMF) memegang peranan penting yang dampaknya memicu kondisi evolusi arus cincin (*ring current*).

Dinamika interaksi antara angin surya dan magnetosfer terefleksi pada variasi geomagnet secara luas dari lintang tinggi ke lintang rendah. Stasiun magnetometer lintang rendah dipilih untuk memperoleh indeks Dst, yaitu indeks yang diperkenalkan pertama kali oleh Sugiura (1964) untuk menggambarkan gangguan terhadap komponen H medan geomagnet di daerah lintang rendah-ekuator.

Studi kali ini dimaksudkan untuk menyoroti bagaimana bentuk (pola) medan geomagnet lintang rendah (stasiun Biak) sebagai konsekuensi peristiwa SEP pada siklus ke-23 matahari yang biasanya menunjukkan keterkaitan yang signifikan dengan pola medan geomagnet. Selain itu, kegiatan ini bermaksud untuk memahami fenomena *geo-effectiveness*

secara luas sebagai faktor krusial dalam mengetahui lingkungan bumi-matahari.

2. DATA DAN METODOLOGI

Siklus ke-23 matahari dimulai tahun 1996 dan mencapai maksimum tahun 2000, diikuti maksimum kedua tahun 2001. Data flare dan CME diperoleh dari satelit geosynchronous GEOS-8 dan dari instrumen LASCO pada satelit SOHO. Data medan magnet dan angin surya diperoleh dari instrumen SWEPAM dan MAG pada satelit *Advanced Composition Explorer* (ACE). Sedangkan data komponen H medan geomagnet lintang rendah yang digunakan adalah data menit-an komponen H medan geomagnet stasiun Biak (1.06° LS; 136.78° BT). Analisis dilakukan melalui metode analisis data dan statistik pada 6 kejadian SEP kuat siklus ke-23 matahari, seperti ditunjukkan pada Tabel 2-1.

Table 2-1. Daftar 6 kejadian SEP kuat pada siklus mataharike-23 (<http://umtof.umd.edu/pm/FIGS.HTML>)

No	Tanggal SEP	Kelas Flare	Jenis CME	Harga Dst _{min}
1	14-07-2000	X5.7	F halo	-301 (15-07)
2	10-11-2000	M7.4	Ada	-96 (6-11)
3	29-03-2001	X6.7	F halo	-371 (31-03)
4	24-09-2001	X2.6	hallo	-102 (25-09)
5	4-11-2001	X1.0	Ada	-292 (6-11)
6	22-11-2001	M9.9	F halo	- 182 (24-11)

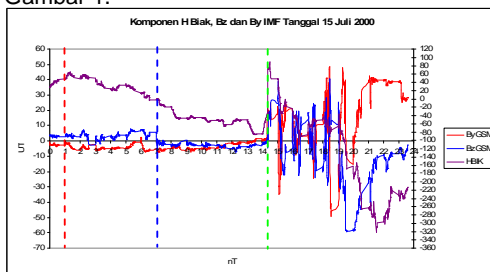
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kasus Badai Geomagnet 15 Juli 2000 (*Bastille Day*)

3.1.1 Kondisi Matahari dan Fluks Proton
Badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 dengan onset SSC terjadi pada pukul 14.37 UT (berdasarkan data komponen H stasiun Biak) dibangkitkan oleh kejadian CME (full halo), kecepatan 1674km/s) yang diikuti oleh flare kelas X5.7 (22°N; 7°W) tanggal 14 Juli 2000 dengan onset flare pukul 10.03 UT dan puncaknya pukul 10.24 UT yang diikuti semburan proton dan peningkatan fluks partikel berenergi.

3.1.2 *Interplanetary Shock* dan Badai Geomagnet

Beberapa jam sebelum IPS terjadi (tepatnya 452 menit), IMF Bz mulai mengarah ke selatan dengan intensitas ± 8 nT. 452 menit sebelum IPS. Setelah itu, IMF Bz dominan mengarah ke selatan dengan intensitas maksimum -60 nT. Pada pukul 14.37 UT tanggal 15 Juli 2000 (tepatnya 28 jam 12 menit setelah SEP atau 452 setelah IMF Bz mulai ke selatan) terjadi *Interplanetary Shock* (IPS) yang ditandai dengan kenaikan Vsw (Komponen kecepatan angin surya) dari 600km/s sampai 800km/s. Dampak dari IPS adalah sebuah *Sudden Commencement* (SC) dan selanjutnya diikuti dengan terdepresinya komponen H stasiun Biak sampai harga -322.7 nT pukul 21.52 UT (7 jam 12 menit setelah onset SC), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



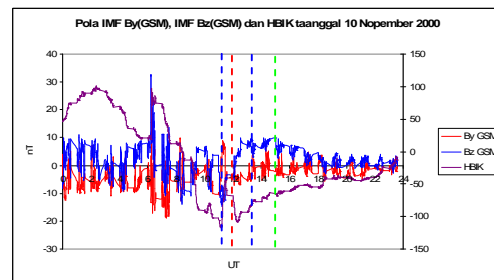
Gambar 1. Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak tanggal 15 Juli 2000. Keterangan : garis vertikal ; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onset orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onset SC komponen H stasiun Biak

3.2 Kasus Badai Geomagnet 10 Nopember 2000

3.2.1 Kondisi Matahari dan Fluks Proton
Kejadian badai geomagnet tanggal 10 Nopember 2000 dibangkitkan oleh keberadaan CME halo parsial yang diikuti oleh flare berurutan dengan intensitas masing-masing adalah M1.5, M2.9 dan M7.4 tanggal 8 Nopember 2000. Flare kelas M7.4 ini terjadi bersamaan dengan daerah aktif area 9213 (10°N; 22°W) yang onsetsnya terjadi pada 22.42 UT dan puncaknya terjadinya pada pukul 23.28 UT (Kecepatan 1738km/s tercatat oleh GOES-8) yang diikuti semburan proton dan fluks partikel berenergi.

3.2.2 *Interplanetary Shock* dan Badai Geomagnet

CME halo parsial ini memicu IPS yang teramati pukul 06.27 UT pada tanggal 10 Nopember 2000 yang ditandai dengan kenaikan mendadak Vsw dari ~630km/s menjadi ~850km/s dan SC teramati pada komponen H Biak dengan amplitudo SC sebesar 73.7 nT. Kecepatan angkut IPS untuk kasus ini sebesar 1040km/s diperkirakan mampu menyebabkan badai geomagnet yang sangat besar. Namun pengaruh depresinya pada komponen H stasiun Biak hanya sebesar -116.9 nT pukul 11.20 UT tanggal 10 Nopember 2000. Hal ini dikarenakan beberapa jam sebelum IPS, IMF Bz tidak menunjukkan orientasi yang cenderung ke selatan dan baru setelah IPS, arah IMF Bz dominan ke selatan dengan intensitas rata-rata hanya sebesar -11 nT. Dampaknya pada medan geomagnet tidak terlalu kuat dibandingkan dengan kejadian SPE tanggal 14 Juli 2000. Detail respon medan geomagnet stasiun Biak pada kasus badai geomagnet tanggal 10 Nopember 2000 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak menitan tanggal 10 Nopember 2000. Keterangan : garis vertikal ; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onset orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onset SSC komponen H stasiun Biak

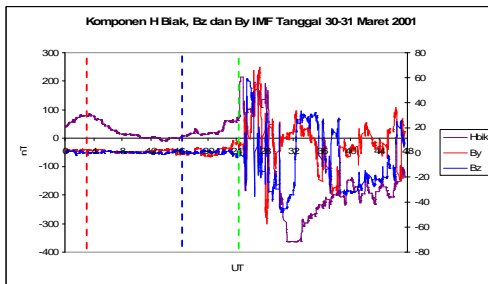
3.3 Kasus Badai Geomagnet Tanggal 31 Maret 2001 (*Severe Storm*)

3.3.1 Kondisi Matahari dan Fluks Proton
Kejadian badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 dibangkitkan oleh keberadaan CME yang diikuti flare besar dengan kelas X1.7. Flare ini terjadi bersamaan dengan daerah aktif area 9393 (14°N; 12°W). Onset flare X1.7 ini terjadi pada pukul 09.52 UT (kecepatan 991 km/s, tercatat oleh GOES-8) dan puncaknya terjadinya pada pukul 10.66 UT yang diikuti semburan proton dan fluks partikel berenergi.

3.3.2 *Interplanetary Shock* dan Badai Geomagnet

CME halo parsial tipe BA (*Brightness-Asymetry*) ini memicu IPS yang teramati pukul 00.52 UT pada tanggal 31 Maret 2001 yang ditandai dengan kenaikan mendadak Vsw dari ~451km/s menjadi ~725km/s dan SC teramati pada komponen H stasiun Biak dengan amplitudo SC sebesar ~134 nT. Depresi akibat masuknya partikel-partikel berenergi yang tercatat pada

komponen H stasiun Biak mencapai harga -362.9 nT pukul 07.59 UT tanggal 31 Maret 2001. intensitas depresi yang begitu kuat pada komponen H stasiun Biak ini (padahal kecepatan IPS hanya sebesar 991 km/s) disebabkan oleh IMF Bz yang berarah ke selatan bebejam sebelum IPS walaupun dengan intensitas yang relatif kecil sekitar -4 nT. Selain itu, kondisi ini didukung dengan kuatnya intensitas IMF Bz ke arah selatan pasca IPS dengan intensitas maksimum -47.8 nT pada fase utama badai geomagnet. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



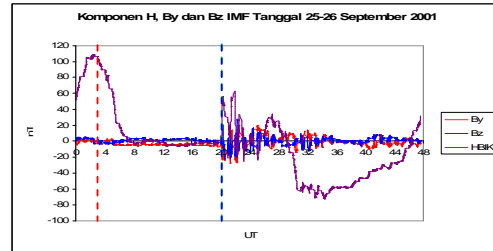
Gambar 3. Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak menitan tanggal 31 Maret 2001. Keterangan : garis vertikal ; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onsets orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onsets SSC komponen H stasiun Biak

3.4 Kasus Badai Geomagnet Tanggal 25 September 2001

3.4.1 Kondisi Matahari dan Fluks Proton
Kejadian SEP tanggal 24 September 2001 dihasilkan oleh flare di daerah aktif 9632 (16° S; 23° E) kelas X2.6 dengan onsetsnya terjadi pada pukul 09.32 UT tanggal 24 september 2001 yang diikuti dengan semburan proton dan fluks partikel berenergi.

3.4.2 Interplanetary Shock dan Badai Geomagnet

Sebuah halo CME yang terlihat oleh LASCO/SOHO pukul 10.21 UT tanggal 24 September 2001 menyemburkan proton dan partikel berkecepatan ~ 2402 km/s. Selanjutnya, pada pukul 20.25 UT tanggal 25 September 2001 terjadi IPS yang ditandai oleh kenaikan V_{sw} dari 450 km/s menjadi 725 km/s dan kemunculan SC komponen H stasiun Biak dengan amplitudo 48.9 nT. Kecepatan IPS sebesar itu seharusnya akan menimbulkan badai geomagnet besar. Namun ternyata intensitas badai geomagnetnya hanya sebesar $Dst = -102$ nT dan depresi maksimum pada komponen H stasiun Biak hanya sebesar -71.8 nT pukul 10.38 UT tanggal 26 September 2001. Kecilnya respon komponen H stasiun Biak pada SEP ini diperkirakan dipengaruhi oleh kondisi IMF Bz, yaitu beberapa jam sebelum IPS, IMF Bz cenderung mengarah ke utara dan baru mengarah ke selatan ketika terjadi IPS ($t=0$) sampai pasca IPS. Intensitas rata-rata IMF Bz pasca IPS juga tidak terlalu besar (nilainya hanya -10.5 nT) dan berlangsung sesaat.



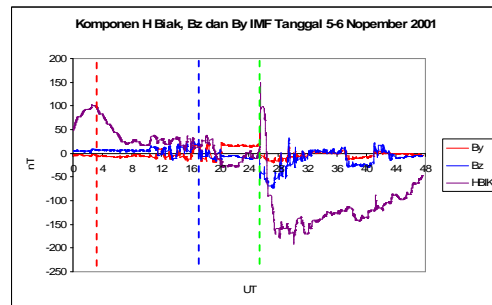
Gambar 4. Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak menitan tanggal 25-26 September 2001. Keterangan : garis vertikal ; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onsets orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onsets SSC komponen H stasiun Biak

3.5 Kasus Badai Geomagnet Tanggal 6 Nopember 2001 (Large SEP)

3.5.1 Kondisi Matahari dan Fluks Proton
Peristiwa semburan proton tanggal 4 Nopember 2001 adalah peristiwa SEP terkuat seperti dilaporkan oleh CELIAS/MTOF walaupun dengan kelas flare X1.0 yang diproduksi oleh daerah aktif nomor 9684 (6° N; 18° W) pada pukul 16.03 UT yang diikuti dengan semburan proton dan fluks partikel berenergi.

3.5.2 Interplanetary Shock dan Badai Geomagnet

Full halo CME terjadi pada tanggal 4 Nopember 2001 melontarkan partikel dan proton dengan kecepatan tinggi yaitu ~ 1810 km/s. Beberapa jam kemudian terjadi IPS pukul 01.44 UT tanggal 6 Nopember yang ditandai dengan kenaikan parameter angin surya dari 400 km/s ke 700 km/s dan kemunculan SC pada komponen H stasiun Biak dengan amplitudo 65 nT dan depresi maksimum sampai -178.9 nT. Walaupun kecepatan semburan proton dan partikel berenergi relatif besar namun dampak badai geomagnet dan depresi pada komponen H stasiun Biak relatif kecil.



Gambar 5. Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak menitan tanggal 5-6 Nopember 2001. Keterangan : garis vertikal ; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onsets orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onsets SSC komponen H stasiun Biak

Kondisi ini diduga disebabkan oleh intensitas IMF Bz pasca IPS yang relatif kecil yaitu hanya sebesar -10 nT dan berlangsung sebentar, walaupun IMF Bz sebelum IPS sudah mengarah ke selatan (~ 344 menit sebelum IPS). Diperkirakan apabila kondisi IMF Bz pada

tanggal 6 Nopember 2001 ini serupa dengan kondisi IMF Bz tanggal 5 Juli 2000 maka badai geomagnet dan depresi pada komponen H stasiun Biak dipastikan sangat besar. Ilustrasinya seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

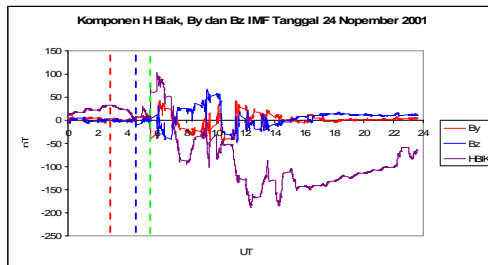
3.6 Kasus badai Geomagnet 24 Nopember 2001

3.6.1 Kondisi Matahari dan Fluks Proton

Peristiwa SEP dengan kelas flare M9.9 diproduksi oleh daerah aktif nomor 9742 (8°N; 54°W) pada onset pukul 22.45 UT tanggal 22 Nopember 2001 dan mencapai maksimum pukul 23.24 UT yang diikuti dengan lontaran proton dan fluks partikel berenergi.

3.6.2 *Interplanetary Shock* dan Badai Geomagnet

Full halo CME yang terjadi pada tanggal 22 Nopember 2001 melontarkan partikel dan proton dengan kecepatan 1437 km/s, seperti dilaporkan oleh LASCO/SOHO. Beberapa jam kemudian, tepatnya pukul 05.55 UT tanggal 24 Nopember 2001 terjadi IPS yang ditandai dengan kenaikan parameter angin surya dari 550 km/s s/d 750 km/s dan SC komponen H stasiun Biak pada pukul 12.34 UT tanggal 24 Nopember 2001. Depresi komponen H akibat badai geomagnet mencapai harga -187.9 nT. Ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak menitan tanggal 24 Nopember 2001. Keterangan : garis vertikal ; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onset orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onset SSC komponen H stasiun Biak

Dari gambar 6 tampak bahwa walaupun IMF Bz setelah IPS relatif kecil dan berlangsung tidak terlalu lama namun depresi pada komponen H stasiun Biak relatif lebih besar dibandingkan pada kejadian SEP tanggal 24 September 2001 dengan kelas flare X2.6 dengan kecepatan 2042 km/s. Fenomena ini diperkirakan dipengaruhi oleh kondisi IMF Bz sebelum IPS. Pada kasus SEP tanggal 24 Nopember 2001 ini, beberapa menit (~57 menit) sebelum IPS orientasi IMF Bz cenderung mengarah ke selatan walaupun dengan intensitas yang kecil < -5 nT. Kondisi ini sangat berbeda dengan kejadian SEP tanggal 22 September 2001.

Proton yang masuk magnetosfer pada ke 6 kejadian SEP yang dianalisis disini berkontribusi secara substansi peningkatan

arus cincin yang memicu timbulnya pertumbuhan fase utama badai geomagnet. Dalam studi ini selain menunjukkan bahwa kejadian SEP dengan keberadaan fluks proton tingkat tinggi mengalami percepatan oleh gelombang kejut yang secara substansi dapat berkontribusi intensitas terjadinya badai geomagnet (peristiwa SEP tanggal 14 Juli 2000, 29 Maret 2001, 4 Nopember 2001 dan 22 Nopember 2001, tidak sama dengan peristiwa SEP yang mempunyai peluruhan cepat fluks proton setelah *shock* yaitu peristiwa SEP tanggal Nopember 2000 dan September 2001), juga menunjukkan bahwa parameter IMF (*geoeffectiveness*) dan angin surya memainkan peranan penting dalam pembentukan badai geomagnet.

Pentingnya studi hubungan antara parameter IMF dan intensitas badai geomagnet telah dilakukan secara detail dalam beberapa dekade. Burton et al., (1975) telah mendiskusikan signifikansi peran arah selatan Bz IMF dengan empat badai geomagnet menggunakan data IMF dan angin surya dari satelit Explorer 33 dan 35, indeks AE dan indeks Dst. Terakhir, Gonzalez dan Tsurutani (1987) dan Gosling et al., (1991) telah menganalisis badai geomagnet kuat (Dst < -100 nT) untuk periode 500 hari dan telah menganjurkan harga kritis IMF Bz (~ -10nT) untuk lama durasi (> 3 jam) sebagai sebuah ukuran penting planeter yang menyebabkan badai geomagnet. Dalam kegiatan ini, poin pentingnya adalah membuktikan bahwa IMF Bz yang telah terus menerus berorientasi ke arah selatan untuk durasi yang signifikan dengan besar rata-rata ~ 10nT sebelum fase utama badai geomagnet berkembang merupakan salah satu faktor penting pembentuk badai geomagnet kuat. Hal ini teramati terutama untuk kejadian SEP kuat tanggal 14-15 Juli 2000, 28-29 Maret 2001, 4-6 Nopember 2001 dan 22-24 Nopember 2001, dimana IMF Bz pada saat itu mengarah ke selatan masing-masing dalam waktu ~ 7 jam, ~ 2 jam, ~ 6 jam dan ~ 1 jam sebelum *shock impact* dengan magnetopaus. Sedangkan badai geomagnet tanggal 8-10 Nopember 2000 dan 24-26 September 2001 yang dicirikan oleh IMF Bz yang berfluktuasi dan cenderung mengarah ke utara sebelum *shock impact* menghasilkan badai geomagnet yang lemah walaupun SEP-nya besar. Dengan demikian studi ini secara jelas menghasilkan sebuah prekursor kondisi yaitu suatu kondisi tertentu (kondisi dimana keberadaan Bz IMF lemah yang cenderung mengarah ke selatan untuk durasi lama sebelum "*shock impact*" dan terus mengarah ke selatan sampai fase utama badai geomagnet) dimana pada saat itu badai geomagnet kuat dapat terbentuk. Kondisi yang dimaksud di atas merupakan faktor krusial untuk membangun badai geomagnet intens. Pada 2 kasus badai geomagnet intens tampak bahwa fase utama badai geomagnetnya berkembang dengan tajam dan diikuti dengan proses pemulihan cepat pula. Sedangkan untuk kasus badai geomagnet lemah, fase utamanya berkembang secara lambat (*gradual*) dan meluruh (*decayed*) dengan cepat.

Dalam kasus-kasus yang ditampilkan di atas, setelah "shock", penurunan tajam dan stabil variasi komponen H stasiun Biak dimulai pada fase berbeloknya IMF Bz ke arah selatan secara tajam pula. Kasus kejadian badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000, 31 Maret 2001, 6 Nopember 2001 dan 24 Nopember 2001 dicirikan oleh arah selatan Bz IMF beberapa lama sebelum "Shock impact" dengan magnetopaus dan fluktuasi yang cepat dan kuat Bz IMF setelah "Shock impact". Fenomena tersebut diikuti hampir bersamaan oleh komponen H stasiun Biak. Sebaliknya, perkembangan lemah terjadi saat fase utama pada kasus badai geomagnet tanggal 10 Nopember 2000 dan 25 September 2001. Hal ini menandakan sedikitnya energi yang masuk ke dalam magnetosfer dengan IMF Bz kurang dari ± 10 nT dan berfluktuasi. Secara ringkas hasil studi pada ke-6 kejadian SEP ditunjukkan pada Tabel 2.

Table 2. Ringkasan hasil analisis respon medan geomagnet stasiun Biak dan IMF pada 6 kejadian SEP kuat pada siklus matahari ke-23 (<http://umtof.umd.edu/pm/FIGS.HTML>).

Kejadian SPE	Kelas Flare	ASC	Harga H_{min}	Bz_{min}	BzD
14-07-2000 (Ada CME)	X5.7 (22N7W)	118	-322.7 (15/7)	-59.5 (+115)*	-395
8-11-2000 (Ada CME)	M7.4 (6N18W)	50	-96 (10/11)	-14.6 (-2)*	+40
29-03-2001 (Ada CME)	X1.7 (14N12W)	185	-362.9 (31/3)	-48.1 (+41)*	-90
24-09-2001 (Ada CME)	X2.6 (16S23E)	56	-72.1 (26/09)	-22.3 (+607)*	0
4-11-2001 (Ada CME)	X1.0 (06N18W)	65	-192.3 (6/11)	-72 (+50)*	-339
22-11-2001 (Ada CME)	X1.0 (06N18W)	65	-187.9 (25/11)	-47.8 (+90)*	-57

Keterangan :

M, X adalah notasi untuk kelas flare

H_{min} , menunjukkan depresi maksimum pada komponen H stasiun Biak (H minimum pada fase utama saat badai geomagnet)

Bz_{min} , menunjukkan harga Bz minimum

ASC menunjukkan harga amplitudo SC saat IPS

BzD, lama waktu dari onset Bz mulai mengarah ke selatan sampai IPS (*Interplanetary shock*). Tanda (+ dan -), tanda + berarti bahwa orientasi Bz mulai mengarah ke selatan beberapa menit setelah IPS, dan tanda - berarti bahwa orientasi Bz mulai mengarah ke selatan beberapa menit sebelum IPS

Tanda * artinya waktu (menit) Bz minimum pada fase utama badai geomagnet, tanda (+) menunjukkan Bz minimum sebelum komponen H mencapai minimum dan tanda (-) menunjukkan Bz minimum setelah komponen H minimum

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan di atas adalah,

- (1) Hasil penelitian ini menegaskan bahwa perbedaan kontribusi karakteristik fluks SEP memberikan taksiran geoeffectiveness CME dalam memproduksi kuat badai geomagnet. SEP dengan tingkat fluks proton yang tinggi setelah *shock passage* (15 Juli 2000, 31 Maret 2001, 6 Nopember 2001 dan 24 Nopember 2001) menghasilkan lebih

banyak badai geomagnet kuat daripada SEP dengan tingkat fluks proton yang lemah setelah *shock passage* (10 Nopember 2000 dan 25 september 2001).

- (2) Efek durasi Bz IMF ke arah selatan sebelum tubrukan atau *interplanetary shock* mempengaruhi perkembangan intensitas badai geomagnet.
- (3) Intensitas Bz IMF ke arah selatan pada saat fase utama (*main phase*) badai geomagnet (Lihat kasus kejadian badai tanggal 25 September 2001) juga mempengaruhi perkembangan intensitas badai geomagnet.
- (4) Gabungan kondisi-kondisi di atas dapat menimbulkan suatu fenomena baru lainnya dan dapat digunakan sebagai prekursor.

DAFTAR PUSTAKA

- Sugiura M. and Chapman S., 1960, *The average morphology of geomagnetic storms with sudden commencement*, Abh. Akad. Wiss. Gottingen, math. Phys., K1., Sonderheft, Spec. Issue 4, 3-53.
- Sugiura M., 1964, *Hourly values of equatorial Dst for IGY*, Annals of the International Geophysical Year, Pergamon Press, Oxford, 35, 945-948.
- Gonzales W. D. and Tsurutani B. T., 1987, *Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms ($Dst < -100nT$)*, Planet Space Scie., 35, 1101-1109.
- Gosling J. T., McComas D. J., Phillips J. L. And Bame S. J., 1991, *Geomagnetic activity associated with Earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections*, J. Geophys. Res., 96, 7831-7839.

<http://umtof.umd.edu/pm/FIGS.HTML>, pusat data aktivitas matahari, kejadian X-ray, flare dll.

http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/, pusat data geomagnet dunia.