

PENGARUH FLARE DAN CORONAL MASS EJECTION (CME) TERHADAP INDEKS Dst GEOMAGNET DAN FoF2 IONOSFER DI ATAS TANJUNGSARI SUMEDANG

Tiar Dani

Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Dr. Djundjuran 133 Bandung 40173
e-mail : t_dani@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

This research was conducted to see the effect of solar flare and Coronal Mass Ejection (CME) on geomagnetic and ionosphere above Tanjungsari, Sumedang, West Java. By using Disturbance storm time (Dst) index data for geomagnetic disturbance parameter and critical frequency (fo) of F2 ionosphere layer data for ionosphere disturbance parameter, a graph was plotted between occurrence of flare and CME with Dst index and foF2 from year 2000 to 2003. The result found that flare and CME affect disturbance on geomagnetic caused a geomagnetic storm and disturbance on ionosphere cause an ionosphere storm. Those storms were depended by flare class, CME type, and its position on the sun when they happened. Flare and CME event that happened also required time to reach the Earth.

Keywords: Flare, Coronal Mass Ejection (CME), Dst index, foF2

PENDAHULUAN

Matahari mengeluarkan energi dalam berbagai bentuk seperti cahaya, angin matahari, dan partikel-partikel bermuatan. Pengeluaran energi tersebut tidak bersifat konstan tetapi bervariasi dan disebut sebagai aktivitas matahari. Aktivitas matahari merupakan penggerak cuaca antariksa (*space weather*) di mana perubahan cuaca antariksa ini berkontribusi terhadap segala perubahan yang terjadi di lingkungan Bumi. Salah satu aktivitas matahari adalah *flare* dan *Coronal Mass Ejection (CME)*. *Flare* adalah pelepasan energi yang tersimpan dalam medan magnet kompleks secara mendadak berupa ledakan.¹ Sedangkan CME adalah lontaran massa partikel matahari yang menyebabkan peningkatan kecepatan angin matahari secara mendadak berupa gelombang kejut.² CME yang sampai ke bumi akan menyebabkan badai geomagnet. Sedangkan *flare* yang mencapai bumi menyebabkan terjadinya gangguan pada ionosfer.³

Indikator dari gangguan geomagnet digunakan indeks *Disturbance storm time (Dst)* global. Indeks Dst adalah ukuran dari aktivitas geomagnet yang digunakan untuk mengukur besarnya badai geomagnet.⁴ Indeks Dst dihitung dengan merata-ratakan medan magnet untuk komponen horizontal dari magnetogram daerah lintang sedang dan ekuator dari seluruh dunia. Ketika medan magnet arah timur dari angin matahari bertemu dengan medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field – IMF*) menyebabkan adanya penambahan arus cincin secara signifikan di mana nilai Dst akan menjadi negatif.⁵

Sedangkan indikator dari gangguan ionosfer hanya terjadi pada lapisan paling atas, atau dikenal sebagai lapisan F. Saat siang hari, lapisan ini akan terpecah menjadi dua didasarkan pada ketinggian, yaitu F1 dan F2. Pada lapisan F2, densitas elektron paling tinggi dan digunakan untuk komunikasi menggunakan gelombang pendek atau *High Frequency (HF)*. Indikator untuk terjadinya gangguan pada lapisan ionosfer ini

digunakan frekuensi kritis (f_o) dari lapisan F2 ionosfer. adapun f_o adalah fekuensi gelombang radio maksimum pada mode *ordinary* yang masih dapat dipantulkan oleh lapisan F2 ionosfer tadi.

Gangguan yang terjadi pada geomagnet akan menyebabkan terjadinya badai geomagnet. Badai ini akan menyebabkan gangguan pada jaringan listrik dan pipa minyak serta merusak sistem komunikasi satelit.¹ Sedangkan gangguan pada ionosfer disebut sebagai badai ionosfer yang akan menyebabkan kegagalan komunikasi radio gelombang HF. Dari uraian di atas maka perlu diteliti bagaimana karakteristik gangguan pada geomagnet dan ionosfer terutama di atas Tanjungsari, Sumedang, Jawa Barat, yang disebabkan oleh *flare* dan CME yang berpengaruh ke bumi. Dengan mengetahui karakteristik gangguan geomagnet dan ionosfer akibat *flare* dan CME, maka dapat digunakan sebagai peringatan dini akan terjadinya gangguan komunikasi radio, jaringan pipa minyak, jaringan listrik dan komunikasi satelit

METODOLOGI

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Data kejadian *flare* dan CME yang berpengaruh terhadap lingkungan bumi tahun 2000–2003 yang diunduh dari National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Space Environment Services Center.⁶ Data geomagnet yang dipergunakan adalah indeks Dst global jam an tahun 2000–2003 yang diunduh dari situs National Geophysical Data Center (NGDC) NOAA.⁷ Data ionosfer yang digunakan adalah f_oF_2 jam-an dari Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) Lapan Tanjungsari tahun 2000–2003.

Pengolahan dan Analisis Data

Dengan menggunakan data kejadian *flare* dan CME yang berpengaruh di atas lingkungan bumi, akan dilakukan *plotting* grafik antara indeks Dst, deviasi f_oF_2 terhadap median bulanannya dan waktu kejadian selama tahun 2000–2004. Plotting grafik ini dimulai dari 2 hari sebelum dan 5 hari sesudah terjadinya *flare*/CME. Hal ini dilakukan untuk melihat lamanya *flare* dan CME mencapai bumi, dan seberapa lama gangguan tersebut akan terjadi pada geomagnet dan ionosfer. Dari kejadian sepanjang

tahun 2000–2003 akan dilakukan analisis deskriptif umum untuk melihat karakteristik pengaruh dari *flare*/CME yang menyebabkan badai geomagnet dan badai ionosfer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *plotting* grafik indeks Dst dan deviasi f_oF_2 Tanjungsari terhadap kejadian *flare* dan CME didapat bahwa gangguan terhadap geomagnet dapat terjadi lebih dulu atau sebaliknya seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

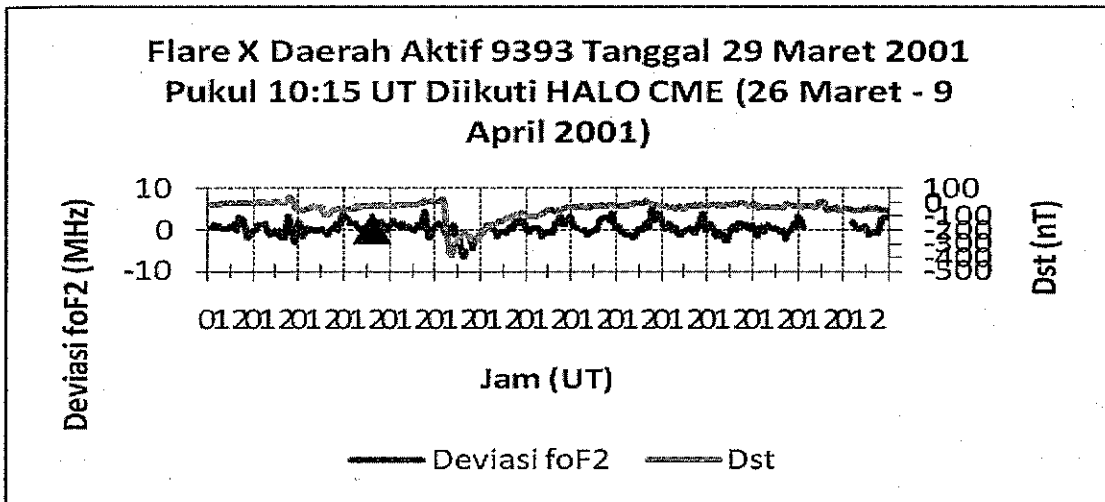
Gambar 1 adalah salah satu contoh gangguan geomagnet yang terjadi lebih dulu dibanding dengan gangguan pada ionosfer. *Flare* yang diikuti HALO CME tanggal 29 Maret 2001 pada posisi N12W24 di mana gangguan terjadi pada Dst (max: -301 nT) dahulu sebelum f_oF_2 (max: -4.11 MHz). Gangguan akibat *flare* ini memakan waktu 46 jam saat gangguan Dst mencapai maksimum dengan durasi selama 35 jam. Sedangkan untuk gangguan f_oF_2 memakan waktu 52 jam saat gangguan f_oF_2 mencapai maksimum dengan durasi selama 8 jam.

Pada Gambar 2 ditampilkan *flare* yang diikuti CME tanggal 4 April 2000 di mana gangguan terjadi pada f_oF_2 (max: -6.41 MHz) dahulu sebelum Dst (max: -288 nT). Gangguan akibat *flare* ini memakan waktu 52 jam saat gangguan f_oF_2 mencapai maksimum dengan durasi selama 3 jam. Sedangkan untuk gangguan Dst memakan waktu 56 jam untuk mencapai maksimum dengan durasi selama 22 jam.

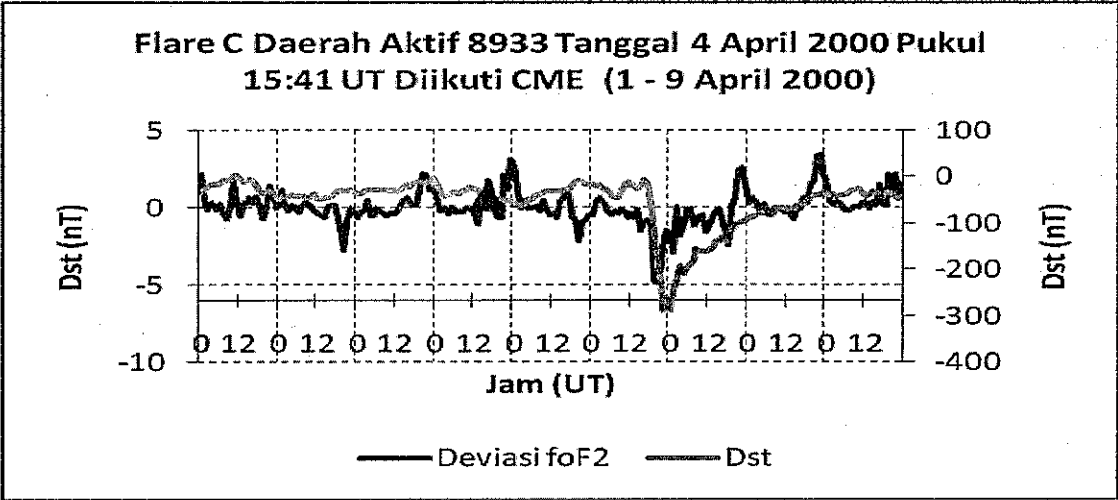
Berikut ini adalah tabulasi lengkap hasil *plotting* indeks Dst dan deviasi f_oF_2 terhadap kejadian *flare* dan CME dari tahun 2000–2003. (Tabel 1, 2, 3, dan 4)

Pada Tabel 1 terlihat bahwa sepanjang tahun 2000 terjadi tiga *flare* dan CME yang berpengaruh terhadap bumi dengan kelas *flare* C, M, dan X. CME juga terjadi bersamaan dengan *flare* atau sesudahnya. *Flare* kelas X dan HALO CME menyebabkan gangguan terbesar pada indeks Dst dengan nilai -301 nT, tetapi untuk gangguan f_oF_2 terbesar disebabkan oleh *flare* C dan HALO CME dengan nilai deviasi f_oF_2 sebesar -5,84 MHz. Untuk kasus *flare* dan CME pada tanggal 4 April 2000 di mana gangguan pada ionosfer terjadi lebih dahulu dibandingkan dengan gangguan terhadap geomagnet perlu dilakukan kajian lebih lanjut.

Sementara pada tahun 2001 (Tabel 2), terlihat bahwa posisi terjadinya *flare* dan CME



Gambar 1. *Plotting* indeks Dst dan deviasi foF2 pada tanggal 26 Maret–9 April 2001. Segitiga merah adalah waktu terjadinya *flare* dan CME



Gambar 2. *Plotting* indeks Dst dan deviasi foF2 pada tanggal 1–9 April 2000. Segitiga merah adalah waktu terjadinya flare dan CME

pada piringan matahari sangat mempengaruhi apakah geomagnet dan ionosfer terganggu atau tidak. Geomagnet dan ionosfer relatif tidak terganggu jika posisi terjadinya *flare* dan CME ada di daerah pinggir (*limb*) piringan matahari, dan tidak tergantung pada kelas *flare* dan tipe CME. Gangguan terbesar pada geomagnet dan ionosfer terjadi pada tanggal 29 Maret 2001 di mana indeks Dst mencapai nilai -387 nT dan deviasi foF2 bernilai -5,29 Mhz. Pada tahun 2001 ini juga terlihat CME yang terjadi lebih dahulu dibanding dengan *flare*.

Tahun 2001 dan 2002 adalah tahun puncak aktivitas matahari siklus 11 tahunan. Pada tabel 3 terlihat bahwa kejadian *flare* dan CME yang berpengaruh terhadap bumi lebih banyak dibandingkan tahun 2000 dan 2001. Pada tahun

2002 ini, *flare* dan CME lebih banyak terjadi pada bagian pinggir piringan matahari sehingga tidak banyak menyebabkan gangguan Dst dan foF2. Terlihat bahwa gangguan terbesar indeks Dst terjadi pada tanggal 17 April 2002 dengan nilai -149 nT yang disebabkan oleh *flare* kelas M dan HALO CME. Sedangkan untuk deviasi foF2 terbesar disebabkan *flare* kelas C dan HALO CME pada tanggal 22 Mei 2002 dengan nilai -6,25 MHz.

Untuk tahun 2003 pada tabel 4 dimana aktivitas matahari mulai menurun, gangguan geomagnet terbesar disebabkan oleh *flare* kelas X dan HALO CME dengan nilai indeks Dst sebesar -383 nT pada tanggal 28 Oktober 2003. Sedangkan gangguan ionosfer terbesar disebabkan oleh *flare* X dan HALO CME pada

Tabel 1. Hasil *Plotting* Kejadian *Flare* dan CME terhadap Indeks Dst dan Deviasi foF2 Sepanjang Tahun 2000

Flare				CME		Indeks Dst			foF2		
Tanggal	Kelas	Posisi	Jam	Posisi	Jam	Dst	Selang	Durasi	Deviasi	Selang	Durasi
04-Apr	C9	N16W66	15:41	W	16:32	-288	56	22	-4,61	52	3
14-Jul	X5	N22W07	10:24	HALO	10:54	-301	38	31	-4,11	50	20
12-Sep	M1	S17W09	12:13	HALO	13:31	-201	130	10	-5,84	133	23

Tabel 2. Hasil *Plotting* Kejadian *Flare* dan CME terhadap Indeks Dst dan Deviasi foF2 Sepanjang Tahun 2001

Flare				CME		Indeks Dst			foF2		
Tanggal	Kelas	Posisi	Jam	Posisi	Jam	Dst	Selang	Durasi	Deviasi	Selang	Durasi
28-Jan	M1	S04W59	16:00	HALO	15:54	-	-	-	-	-	-
29-Mar	X1	N24W12	10:15	HALO	10:26	-387	46	35	-5,29	52	8
02-Apr	X20	N14W82	21:51	NW	22:00	-	-	-	-	-	-
10-Apr	X2	S23W09	05:26	HALO	05:30	-271	42	22	-8,72	45	45
15-Apr	X14	S20W85	13:50	W	14:30	-	-	-	-5,2	51	7
26-Apr	M7	N17W31	13:12	HALO	12:30	-	-	-	-	-	-
24-Sep	X2	S16E23	10:38	HALO	10:30	-102	39	1	-3,56	47	2
01-Oct	M9	S22W91	05:15	SW	05:30	-166	57	14	-3,44	41	3
19-Oct	X1	N15W29	16:30	HALO	16:50	-187	53	41	-3,63	51	5
22-Nov	M9	S15W34	23:30	HALO	23:30	-221	41	25	-4,18	44	5

Keterangan :

- Selang = Waktu yang diperlukan dari terjadinya *flare*/CME hingga mencapai nilai Dst/Deviasi foF2 maksimum
- Durasi = Lamanya waktu Dst/Deviasi foF2 terganggu
- Definisi terganggu adalah nilai Dst <-100nT dan nilai Deviasi foF2 <-2MHz

tanggal 26 Oktober 2003 dengan nilai -7,81 MHz. Gangguan ini terjadi 3–4 hari setelah terjadinya *flare* dan CME.

Dari uraian di atas didapat bahwa *flare* dan CME bisa terjadi bersamaan, atau salah satunya terjadi lebih dahulu dengan perbedaan waktu paling lama 1 jam. Tidak semua *flare* dan CME menyebabkan gangguan Dst dan foF2. *Flare* dan CME yang posisinya berada pada pinggir piringan matahari tidak akan mempengaruhi medan magnet bumi, tetapi hampir selalu menyebabkan gangguan pada foF2. Gangguan terhadap foF2 bisa terjadi lebih dahulu daripada gangguan terhadap geomagnet walaupun jarang terjadi. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hal ini.

Indeks geomagnet akan mengalami nilai maksimum gangguan paling cepat 11 jam dan paling lama 7 hari dengan nilai rata-rata 2,5 hari. Jika *flare* dan CME terjadi saat posisinya berada pada pinggir piringan matahari, maka hampir bisa

dipastikan indeks geomagnet tidak akan terganggu. Durasi terjadinya gangguan geomagnet paling cepat 1 jam dan paling lama 40 jam dengan rata-rata 16,5 jam. Nilai maksimum gangguan terhadap indeks geomagnet yang tercatat adalah -387 nT yang disebabkan oleh *flare* X yang diikuti HALO CME. Nilai gangguan ini selain dari kelas *flare* juga dipengaruhi oleh posisi *flare* dan CME di matahari.

Untuk gangguan pada foF2 paling cepat terjadi 11 jam setelah *flare*/CME dan paling lama 7 hari dengan nilai rata-rata 2,7 hari. Untuk gangguan terhadap foF2, tidak begitu dipengaruhi posisi dari tempat terjadinya *flare* dan CME karena dari tabel di atas, saat *flare* terjadi di pinggir piringan matahari, foF2 masih bisa mengalami gangguan yang cukup besar. Hal ini perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Durasi terjadinya gangguan foF2 relatif lebih cepat daripada gangguan yang terjadi pada geomagnet yang diakibatkan oleh *flare* + CME. Durasi

Tabel 3. Pengaruh Kejadian flare dan CME terhadap Indeks Dst dan Deviasi foF2 tahun 2002

Flare				CME		Indeks Dst			foF2		
Tanggal	Kelas	Posisi	Jam	Posisi	Jam	Dst	Selang	Durasi	Deviasi	Selang	Durasi
14-Jan	M4	W Limb	06:27	HALO	05:25	-	-	-	-	-	-
15-Mar	M2	S08W03	23:10	HALO	23:06	-	-	-	-	-	-
18-Mar	M1	W Limb	11:14	HALO	11:06	-	-	-	-5,44	81	14
22-Mar	C5	S19W56	03:54	HALO	03:26	-100	46	1	-5,96	26	9
17-Apr	M2	S14W34	08:24	HALO	08:26	-149	72	14	-5,88	56	10
21-Apr	X1	S14W08	01:51	HALO	01:27	-	-	-	-	-	-
22-May	C5	S19W56	03:54	HALO	03:26	-109	38	4	-6,25	35	11
07-Jul	M1	W Limb	11:43	W	11:06	-	-	-	-4,46	75	3
15-Jul	X3	N19W01	20:08	HALO	20:30	-	-	-	-4,66	114	89
20-Jul	X3	SE Limb	21:30	HALO	20:42	-	-	-	-4,55	59	5
14-Aug	M2	N09W54	02:12	NW	02:26	-106	172	6	-4,08	161	4
22-Aug	M5	S07W62	01:57	SW	02:00	-	-	-	-3,64	81	5
24-Aug	X3	S08W90	01:12	W	01:27	-	-	-	-3,6	80	4

Keterangan :

- Selang = Waktu yang diperlukan dari terjadinya flare/CME hingga mencapai nilai Dst/Deviasi foF2 maksimum
- Durasi = Lamanya waktu Dst/Deviasi foF2 terganggu
- Definisi terganggu adalah nilai Dst <-100nT dan nilai Deviasi foF2 <-2MHz

Tabel 4. Pengaruh kejadian flare dan CME terhadap indeks Dst dan deviasi foF2 tahun 2003

Flare				CME		Indeks Dst			foF2		
Tanggal	Kelas	Posisi	Jam	Posisi	Jam	Dst	Selang	Durasi	Deviasi	Selang	Durasi
05-Sep	C3	N09E28	17:06	HALO	16:54	-181	56	14	-5,79	47	7
28-May	X3	S07W17	00:27	HALO	00:50	-144	47	5	-4,02	59	14
31-May	M9	S07W65	02:24	W	02:30	-	-	-	-5	11	2
17-Jun	M6	S08E61	22:55	HALO	22:30	-141	11	4	-	-	-
26-Oct	X1	N02W38	18:19	HALO	17:54	-353	78	33	-7,81	89	18
28-Oct	X17	S16E08	11:10	HALO	10:54	-383	59	16	-7,69	71	12
04-Nov	X28	S19W83	19:29	HALO	19:54	-	-	-	-	-	-
02-Dec	C7	W Limb	09:48	HALO	10:26	-	-	-	-3,38	92	5

Keterangan :

- Selang = Waktu yang diperlukan dari terjadinya flare/CME hingga mencapai nilai Dst/Deviasi foF2 maksimum
- Durasi = Lamanya waktu Dst/Deviasi foF2 terganggu
- Definisi terganggu adalah nilai Dst <-100nT dan nilai Deviasi foF2 <-2MHz

tercepat foF2 terganggu adalah sekitar 2 jam dan paling lama 3,7 hari dengan rata-rata 12 jam. Nilai maksimum gangguan terhadap foF2 yang tercatat adalah -8,72 MHz yang disebabkan oleh flare X yang diikuti HALO CME. Nilai gangguan ini selain dari kelas flare juga dipengaruhi oleh posisi flare + CME tersebut di piringan matahari

Menurut Suhartini⁸, gangguan geomagnet terjadi 23 jam sejak peristiwa flare dan CME tanggal 21 Agustus 2008 kemudian diikuti oleh gangguan ionosfer. Adanya delay sejak terjadi

flare dan CME hingga mencapai bumi disebabkan bahwa partikel-partikel energetik ini merambat dengan kecepatan mulai dari 400 km/jam hingga dapat mencapai kecepatan 2000 km/jam.¹ Dengan kecepatan tersebut, partikel-partikel energetik tersebut akan mencapai bumi dalam hitungan jam hingga hitungan hari. Selain itu juga perlu diperhatikan faktor lain seperti kecepatan angin surya pada saat terjadinya flare dan CME, serta posisi terjadinya flare dan CME pada piringan matahari. Pengaruh dari banyaknya flare

dan CME yang menuju bumi akan menyebabkan gangguan pada cuaca antariksa (*space weather*) yang berpengaruh kepada Bumi, misalnya terganggunya komponen-komponen dan *lifetime* satelit, terganggunya medan magnet yang berimbas pada jaringan listrik dan pipa minyak, gangguan ionosfer yang berimbas pada komunikasi gelombang pendek dan *Global Positioning System* (GPS), hingga pada kehidupan di bumi seperti anomali pada curah hujan, suhu muka laut, dan liputan awan.

KESIMPULAN

Flare dan CME yang memengaruhi geomagnet dan ionosfer bergantung kepada kelas *flare*, posisinya di matahari, dan tipe CME. Gangguan akan terjadi dalam hitungan jam hingga hari sejak terjadinya peristiwa *flare* dan CME. Gangguan pada geomagnet terjadi lebih lama daripada gangguan pada ionosfer dan gangguan ini akan berlangsung dalam hitungan jam hingga hari.

SARAN

Beberapa hal perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai mengapa gangguan pada ionosfer tidak begitu dipengaruhi oleh posisi *flare* dan CME pada piringan matahari, serta mengapa dalam beberapa kasus, ionosfer mengalami gangguan terlebih dahulu daripada geomagnet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Wilson Sinambela sebagai peneliti senior di bidang Matahari dan Antariksa Lapan yang telah banyak mengajarkan ilmu mengenai hubungan

matahari-bumi; juga kepada Prof. Dr. Ir. Tarzan Sembiring dari LIPI atas bimbingannya dalam penulisan karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹"What Are Solar Flare". (http://www.esa.int/esaSC/SEMHP700MD_index_0.html), diakses 20 Oktober 2008).
- ²Luetzelschwab, Carl. "The Sun, the Earth, the Ionosphere: What the Numbers Mean, and Propagation Predictions—a brief introduction to propagation and the major factors affecting it". (<http://www.arrl.org/tis/info/k9la-prop.html>), diakses 20 Oktober 2008).
- ³Holman, Gordon D. "Coronal Mass Ejection, Solar Flare and The Sun-Earth Connection". (<http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/cme.htm>), diakses 20 Oktober 2008).
- ⁴Hamilton, D.C. et al. 1988. "Ring current development during the great geomagnetic storm of February 1986". *J. Geophys. Res.*, 93, 14343.
- ⁵"What is The Dst Index". (http://sprg.ssl.berkeley.edu/dst_index/welcome.html), diakses 20 Oktober 2008).
- ⁶NOAA Space Environment Services Center. "Solar Proton Events Affecting the Earth Environment". (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/Satellite_ENVIRONMENT/PARTICLES/p_events.lst), diakses 19 Februari 2008).
- ⁷"Indeks Dst global tahun 2000–2003". (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/getdata.html>), diakses 19 Februari 2008).
- ⁸Sri, Suhartini 1999. "Dampak Flare Tanggal 21 dan 25 Agustus 1998 pada Medan Magnet Bumi dan Lapisan F2 Ionosfer". *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara* (Majalah Lapan), 1 (2) : 34–43.