

ANALISIS SEMBURAN RADIO MATAHARI DAN FENOMENA IONOSFER

Suratno dan S. L. Manurung
Peneliti Matahari dan Lingkungan Antariksa
Bidang Matahari dan Antariksa

Ringkasan

Semburan radio matahari tipe II dan tipe III merupakan indikator kemungkinan akan terjadinya anomali ionosfer dan atau geomagnet dan menjadi informasi awal akan adanya gangguan komunikasi radio. Dari 5(lima) peristiwa semburan radio matahari yang dianalisis 3(tiga) diantaranya terdapat semburan tipe II. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa meskipun semburan radio tipe III tidak selalu mengindikasikan akan terjadinya anomali di ionosfer namun masih ada kemungkinan akan menjadi indikator terjadinya anomali di ionosfer. Sedangkan setiap terjadi semburan tipe II hampir selalu diikuti oleh anomali geomagnet dan anomali ionosfer. Terdapat perbedaan antara selang waktu antara awal semburan radio dengan terjadinya anomali hasil olahan data dengan data pengamatan indek Kp dan f_oF_2 yaitu 2 hari sebelum dan sesudahnya.

Abstract

The types II and III of solar radio bursts could be as an indicator for the appearance of ionospheric and geomagnetic anomalies and as a precursor for radio communication disturbances.

From five solar radio bursts analyzed, three of them are type II radio bursts. Eventhough the type III radio burst is not always followed by an ionospheric anomaly but the radio burst is still could be used as the precursor for the occurrence of ionospheric anomaly. While the type radio bursts are almost ever followed by the ionospheric and geomagnetic anomalies. From the investigation of the time profile of solar radio bursts, f_oF_2 and Kp index the ionospheric and geomagnetic anomalies appear two days before and two days after the beginning of solar radio bursts.

1. Pendahuluan

Fenomena di ionosfer sangat dikontrol oleh aktivitas matahari. Perubahan aktivitas matahari yang mendadak dan besar (misalnya: solar flare dan lontaran partikel korona) sangat mempengaruhi perubahan fenomena di ionosfer. Pada komunikasi radio HF yang menggunakan ionosfer sebagai media pemantul, mengantisipasi adanya perubahan fenomena di ionosfer perlu dilakukan. Pengaruh peristiwa alam dari aktivitas matahari tersebut tidak mungkin untuk dihindari, namun dengan mengetahui awal (waktu) kejadian fenomena di matahari, maka dapat

diinformasikan kemungkinan akan terjadinya gangguan komunikasi radio karena terjadinya perubahan perilaku ionosfer.

Pengamatan aktivitas matahari dengan menggunakan helioskop spektrograf radio (*radio heliospectrograph*), yang akan memperoleh hasil pengamatan berupa spektra dinamik semburan radio matahari, dapat dijadikan indikator untuk memberikan informasi dini tentang adanya peningkatan aktivitas matahari.

Ruangan yang terbentang dari permukaan Matahari sampai permukaan Bumi disebut dengan lingkungan Matahari-Bumi (*sun-earth environment*). Matahari secara terus-menerus memancarkan radiasi elektromagnetik dan partikel dan merupakan sumber energi utama bagi lingkungan tersebut. Perubahan aktivitas matahari mengakibatkan pula berubahnya intensitas radiasi dan kerapatan lontaran partikel dan akan berpengaruh pada komposisi, kondisi fisik dan dinamika atmosfer bumi. Respon lingkungan global terhadap perubahan aktivitas matahari yang berakibat pada perubahan kondisi ruangan ini disebut dengan cuaca antariksa (*space weather*) (Hunt, B.G., 1988, Richard Thompson, 1998, anonim/Unispace III, 1998).

Pada peristiwa flare matahari ada tiga jenis fenomena yang berbeda yang merangsang adanya gangguan di lingkungan bumi, yaitu peningkatan radiasi elektromagnetik, penjalaran gelombang kejut magnetodinamik dan erupsi partikel energetik bermuatan (*Coronal Mass Ejection/CME* dan *Solar Proton Event/SPE*). Semburan (*bursts*) radio adalah salah satu fenomena perubahan mendadak intensitas radiasi matahari pada rentang gelombang radio. Khususnya semburan radio tipe II dan tipe III adalah fenomena yang menunjukkan adanya indikasi penjalaran gelombang kejut dan erupsi partikel energetik.

Semburan tipe II berasosiasi kuat dengan medan magnetik, merupakan indikator adanya penjalaran gelombang kejut dan peningkatan fluks magnetik yang merupakan penyebab adanya badai magnetik (*magnetic storm*). Penjalaran gelombang kejut menembus plasma sebagai *Shock Associated (SA)* merupakan penyebab timbulnya semburan radio tipe II. Peristiwa *SA* yang mengakibatkan timbulnya *Sudden Comencement (SC)*, merupakan indikator adanya kejutan korona (*coronal shock*), (Cane & Stone, 1984, Reames D.V., 1992). Fenomena tersebut berperan pada gangguan-gangguan yang terjadi di magnetosfer, yang ditandai antara lain oleh gangguan pada ionosfer khususnya frekuensi kritis lapisan F_2 , (f_oF_2). Oleh karenanya sering dikatakan bahwa gangguan ionosfer terjadi bila ada gangguan magnetik (Richard Thompson, 1998, Daniel N. Baker, 1992). Dengan adanya fenomena tersebut, maka semburan radio tipe II dapat dijadikan indikator terjadinya gangguan di ionosfer khususnya akan terjadi gangguan pada komunikasi radio HF. Penelitian tentang kelajuan gelombang kejut telah banyak dilaporkan (Robinson et al., 1984) yaitu berkisar 500–1000 km/s, maka sejak munculnya semburan radio tipe II dapat diperkirakan gangguan akan terjadi pada selang 40 sampai dengan 80 menit kemudian.

Coronal Mass Ejection (CME) dan *Solar Proton Event (SPE)* merupakan gerakan partikel bermuatan dari matahari dimana arus listrik yang ditimbulkan mampu merubah karakteristik lapisan ionosfer terutama pada lapisan teratas (lapisan F). Fenomena ini mengakibatkan perubahan frekuensi kritis lapisan-F, (f_oF_2) atau merubah frekuensi maksimum dalam komunikasi (*Maximun Useable Frequency/MUF*) (Richard Thompson, 1998, anonim/Unispace III, 1998). Semburan tipe III, sesuai dengan mekanisme dan karakteristiknya merupakan indikator adanya peningkatan lemparan partikel energetik bermuatan. Lintasan gerakannya dipandu

oleh garis gaya magnetik dengan kelajuan berkisar pada $\approx 0.14-0.7$ kali kecepatan cahaya. Dengan demikian elektron energetik akan mencapai atmosfer Bumi dalam waktu ≈ 12 sampai ≈ 60 menit (Fainberg dan Stone, 1980, Lin, et al., 1981)

2. Data yang digunakan dan Metoda Analisis

Data semburan radio matahari diperoleh dari hasil pengamatan matahari dengan spektrograf radio SPMI Sumedang dan stasiun Culgoora-Australia (data via internet) sebagai pelengkap dan pembandingan terhadap data yang diperoleh dari stasiun pengamat matahari di SPMI Sumedang.

Data indeks Kp geomagnetik diperoleh melalui internet yang dipublikasikan oleh NGDC (*National Geophysical Data Center*).

Data ionosfer dipilih data frekuensi kritis lapisan F₂ (f_oF₂), diperoleh dari stasiun Learmonth (21° S, 115° T) juga publikasi oleh NGDC. Frekuensi kritis ini menyatakan frekuensi maksimum gelombang yang dapat dipantulkan oleh lapisan tersebut. Lapisan F₂ sangat dipengaruhi oleh tingkat intensitas radiasi ultra violet (UV) dan radiasi ultraviolet ekstrem (EUV) dari matahari (Hunt, 1988).

Dengan hipotesis bahwa semburan radio tipe II dan tipe III merupakan indikator meningkatnya intensitas lontaran massa korona dan fluks magnetik melalui muka gelombang kejut, maka perlu dibuktikan kebenarannya. Pembuktian ini didasarkan atas hasil analisis tentang kecepatan partikel energetik dan kecepatan gelombang kejut dan waktu terjadinya anomali fenomena ionosfer dan atau fenomena geomagnetik. Langkah awal dilakukan pemilihan peristiwa semburan radio yang akan dianalisis. Pada penelitian ini ditetapkan 5 (lima) peristiwa semburan radio. Data pengamatan berupa spektra dinamik berupa frekuensi versus waktu (UT), dan dapat ditetapkan tipe semburan yaitu semburan tipe III dan atau semburan tipe II (lihat tabel 2.1). Pada setiap peristiwa dapat ditentukan waktu awal dan waktu akhir peristiwa dan periode kejadiannya.

Untuk memperkirakan selang waktu erupsi partikel energetik (berkaitan dengan semburan radio tipe III) dan penjaralan gelombang kejut (berkaitan dengan semburan radio tipe II) dilakukan dengan mengkonversikan data spektra dinamik frekuensi versus waktu menjadi ketinggian versus waktu. Dengan memperhatikan bahwa frekuensi gelombang sebagai fungsi kerapatan plasma:

$f = 9\sqrt{N}$, dan kerapatan plasma sebagai fungsi ketinggian

$N = 5.52 \times 10^7 h^{-2.63}$, Bougeret & King, 1984

maka konversi tersebut dapat dilakukan. Fungsi konversinya adalah (Suprijatno, dkk 1998):

$h = 2.16 / (\log f - 6.416)$

Contoh hasil olahan data spektra dinamik tipe III dan tipe II dan konversinya menjadi ketinggian sumber emisi radio versus waktu kejadian (dihitung dari waktu awal peristiwa), terlihat pada gambar 2.1.

Frekuensi sebagai fungsi waktu menyatakan pergeseran frekuensi sedangkan ketinggian sumber emisi radio sebagai fungsi waktu akan menyatakan kecepatan partikel energetik (bagi tipe III) dan kecepatan muka gelombang kejut (bagi tipe II).

Kurva konversi hasil olahan tersebut memperlihatkan kecepatan pada setiap titik ketinggian berbeda. Sehingga untuk menentukan selang waktu baik partikel energetik maupun muka gelombang kejut dari sumber awal sampai atmosfer Bumi tidak dapat dilakukan dengan merata-ratakan kecepatannya. Pendekatannya dilakukan dengan cara mengekstrapolasikan kurva tersebut sampai pada ketinggian (jarak) Matahari-Bumi yaitu $215 R_{\odot}$ (R_{\odot} = jejari Matahari). Selang waktu hasil ekstrapolasi setiap peristiwa semburan radio tercantum pada tabel 2.1. kolom 7.

3. Hasil Analisis

Tujuan utama dalam penelitian analisis semburan radio matahari dalam kaitannya dengan fenomena ionosfer ini adalah akan mengemukakan bahwa peristiwa semburan radio matahari merupakan informasi awal tentang kemungkinan akan terjadinya gangguan ionosfer dan geomagnet dalam kaitannya dengan komunikasi radio. Salah satu informasi tersebut adalah selang waktu antara peristiwa semburan atau flare matahari pada umumnya dengan kemungkinan akan terjadinya gangguan tersebut. Dari 5 (lima) rentetan peristiwa semburan radio, setelah data diolah dengan hasil terlihat pada tabel 2.1, kemudian dikaitkan dengan fenomena geomagnet dan frekuensi kritis lapisan F_2 , maka masing-masing peristiwa dapat dianalisis sebagai berikut:

- a. **Peristiwa 28 Februari 2000** : (hanya terjadi semburan radio tipe III)
 Hasil olahan data mengindikasikan akan terjadi fenomena ionosfer paling cepat 26.3 menit atau 44.3 menit setelah peristiwa semburan. Tidak ada indikasi akan terjadi fenomena geomagnet.
 Data indek K_p dan f_oF_2 tidak menunjukkan adanya anomali. Pada 29 Februari dan 1 Maret 2000, data indek K_p maksimum = 4 dan foF_2 normal antara 6.4 dan 13.2 MHz.
- b. **Peristiwa 3 Maret 2000** : (terjadi semburan radio tipe III dan tipe II)
 Hasil olahan data mengindikasikan akan terjadi fenomena ionosfer paling cepat 31.7 menit atau 33.7 menit dan akan ada fenomena geomagnet 237.6 jam (~10 hari) setelah peristiwa semburan.
 Data f_oF_2 menunjukkan adanya anomali yaitu $f_oF_2 = 0$ MHz pada pukul 05.00, 09.00 dan 10.00 UT. Dengan hanya ada sesatan sekitar 30 menit, namun demikian akan menjadi catatan sebagai indikator semburan radio tipe III.
 Data indeks K_p mulai terjadi penurunan sampai dengan $K_p=0$ pada 9 Maret dan 10 Maret mulai terjadi peningkatan pada 12 Maret 2000 pukul 00.00 UT atau ~9 hari sesudah terjadinya peristiwa semburan. Maksimum $K_p=6$ pada 12 Maret pukul 09.00 UT. Terjadi penurunan foF_2 menjadi 0 MHz pada 10 Maret 2000 pukul 09.00 UT. Nilai $f_oF_2 = 0$ MHz diinterpretasikan hilangnya lapisan F_2 .
- c. **Peristiwa 12 Juni 2000** : (hanya terjadi semburan radio tipe III)
 Hasil olahan data mengindikasikan akan terjadi fenomena ionosfer paling cepat 35.3 sampai 45.1 menit setelah peristiwa semburan. Dimungkinkan tidak akan terjadi fenomena geomagnet.

Frekuensi kritis $f_oF_2 = 0$ MHz pada 14 Juni 2000 pukul 05.00 UT atau ~52 jam dari awal terjadinya semburan radio tipe III.

- d. **Peristiwa 10 Juli 2000** : (terjadi semburan radio tipe III dan tipe II)
 Hasil olahan data semburan radio tipe III mengindikasikan akan terjadi fenomena ionosfer paling cepat 25.6 menit, namun indikasi tersebut tidak terlihat pada hasil pengamatan f_oF_2 .
 Hasil olahan data semburan tipe II mengindikasikan akan terjadi fenomena geomagnet kira-kira 71.5 jam (\approx 3 hari) dari terjadinya semburan tipe II. Data indek Kp meningkat tajam pada 15 Juli 2000 yaitu ~114 jam atau ~4.5 hari sesudah terjadinya peristiwa semburan tipe II. Bersamaan dengan itu ada fenomena ionosfer yaitu f_oF_2 kurang dari 10 MHz pada 16 Juli 2000.
- e. **Peristiwa 25 Juli 2000** : (terjadi semburan radio tipe III dan tipe II)
 Hasil olahan data semburan radio tipe III mengindikasikan akan terjadi fenomena ionosfer paling cepat 24.4 menit dari peristiwa semburan, namun data pengamatan f_oF_2 tidak terlihat terjadi anomali.
 Sedangkan hasil olahan data semburan tipe II mengindikasikan akan terjadi fenomena geomagnet kira-kira 127.5 jam (\approx 5.3 hari) dari terjadinya semburan tipe II. Data indek Kp meningkat menjadi Kp=6 pada 29 Juli 2000 pukul 09.00 UT yaitu ~123 jam atau ~5 hari sesudah terjadinya peristiwa semburan tipe II. Pada sekitar waktu ini juga tidak ada anomali pada f_oF_2 .

Dari analisis di atas dapat diringkas dalam tabel 3.1. Kolom 1, 2, 3 dan kolom 4 berturut-turut menyatakan nomor peristiwa, tanggal peristiwa, tipe semburan radio dan perioda terjadinya peristiwa semburan. Kolom 5, menyatakan selang waktu penjaran partikel energetik (untuk semburan tipe III) dan muka gelombang kejut (untuk semburan tipe II) mencapai atmosfer Bumi dihitung dari waktu awal semburan radio, yang merupakan hasil olahan data semburan radio. Kolom 6 dan kolom 8, berturut-turut menyatakan selang waktu dihitung dari waktu awal semburan radio sampai terjadinya anomali ionosfer (f_oF_2) dan anomali geomagnet (indeks Kp). Kolom 7 dan kolom 9 adalah sesatan terhadap selang waktu hasil olahan data.

4. Kesimpulan

Sesuai dengan tujuan penelitian analisis semburan radio matahari dalam kaitannya dengan fenomena ionosfer, maka peristiwa semburan radio matahari merupakan indikator kemungkinan akan terjadinya gangguan ionosfer dan geomagnet dalam kaitannya dengan komunikasi radio.

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa meskipun semburan radio tipe III tidak selalu mengindikasikan akan terjadinya anomali di ionosfer namun masih ada kemungkinan akan menjadi indikator terjadinya anomali di lapisan itu.

Yang sangat menonjol adalah apabila terjadi semburan tipe II yang hampir selalu diikuti dengan adanya anomali geomagnet dan anomali ionosfer. Dari 5(lima) peristiwa semburan yang dianalisis 3(tiga) diantaranya terdapat semburan tipe II. Terdapat perbedaan selang waktu antara awal peristiwa semburan dengan peristiwa anomali ionosfer dan geomagnet hasil olahan data semburan dengan data hasil pengamatan f_oF_2 dan indek Kp. Perbedaan tersebut bisa terjadi ~2 hari sebelumnya dan bisa terjadi ~2 hari sesudahnya.

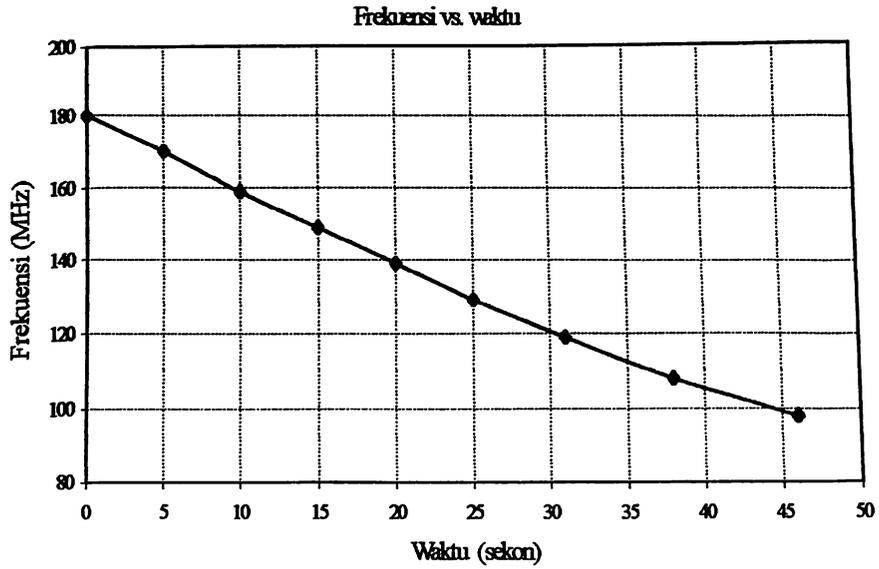
Dengan demikian maka selang waktu hasil olahan data semburan tipe II dapat menjadi informasi awal akan terjadi anomali di ionosfer dan atau geomagnet dengan sesatan ± 2 hari.

Daftar Rujukan

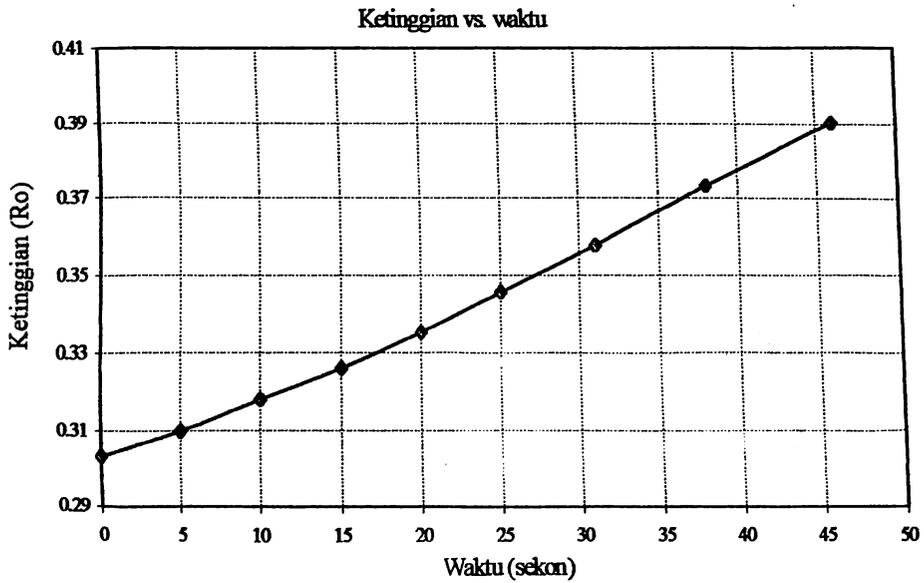
- Cane H.V., & Stone R.G., 1984, *Astronomical Journal*, **282**, 339
- Daniel N.Baker, 1992, *Solar-Terrestrial Predictions-IV*, Proc.of a Workshop, ed. J.Hruska et al., Ottawa, Canada, hal. 411-429
- Fainberg J., Evans L.G., Stone R.G., 1972, *Science* **178**, 743. Hunt, B.G., 1988, Solar Terrestrial energy Program, Proceeding of SCOSTEP Symposium.
- Lin R.P., Potter D.N., Gurnett D. A., Scarf F.L., 1981, *Astrophys. Journal* , **251**, 364.
- Richard Thompson, 1998, *Space Weather and Communication, IPS Radio and Space Services*
- Robinson R.D., Stewart R.T., Cane H.V., 1984, *Solar Physics*, **91**, 159.
- Suprijatno Jasman, Suratno, 1998, *Majalah LAPAN No. 83, tahun ke XXI*, hal 23.
- Anonim*, 1998, *The Earth and Its Environment in Space, Unispace II*

Tabel 2.1: Tabel hasil olahan data spektra dinamik semburan radio tipe II dan tipe III

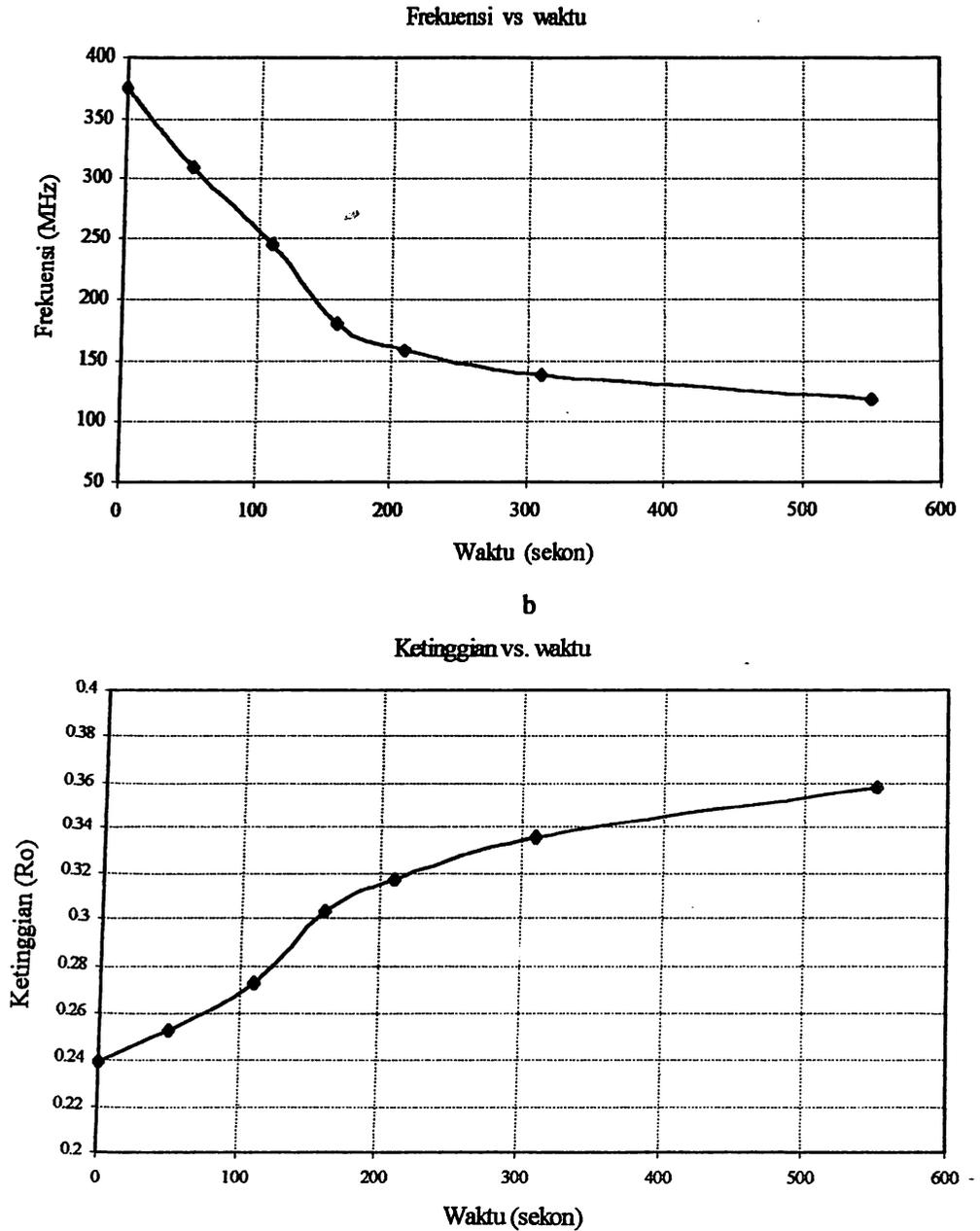
No.	Tanggal Peristiwa	Type	Waktu Awal (UT)	Waktu Akhir (UT)	Perioda (sekon)	Selang Waktu
1	28-02-2000	III	04:35:13	04:36:08	55	26.3 menit
		III	04:38:27	04:39:09	42	44.3 menit
		III	02:10:29	02:11:29	60	31.7 menit
2	03-03-2000	III	02:11:32	02:13:12	100	33.7 menit
		II	02:12:48	02:29:58	1010	237.6 jam (~9.9 hari)
		III	01:31:31	01:35:24	233	39.3 menit
3	12-06-2000	III	02:58:52	03:00:32	100	45.1menit
		III	03:03:03	03:03:57	54	35.3 menit
		II	21:21:00	21:49:00	1680	71.5 jam (~3 hari)
4	10-07-2000	III	22:03:00	22:54:00	3060	25.6 menit
		III	02:47:13	21:49:00	1680	71.5 jam (~3 hari)
		II	02:48:25	22:54:00	3060	25.6 menit
5	25-07-2000	III	02:47:13	21:49:00	1680	71.5 jam (~3 hari)
		III	02:48:25	22:54:00	3060	25.6 menit
		II	02:48:25	22:54:00	3060	25.6 menit



a



Gambar 2.1a: Contoh olahan data spektra dinamik semburan radio dan konversinya menjadi sumber ketinggian emisi vs. waktu, untuk tipe III.



Gambar 2.1b: Contoh olahan data spektra dinamik semburan radio dan konversinya menjadi sumber ketinggian emisi vs. waktu, untuk tipe II

Tabel 3.1: Ringkasan analisis semburan radio matahari, anomali geomagnet dan ionosfer

No	Tanggal Peristiwa	Tipe	Periode (sekon)	Selang waktu hasil olahan data semburan radio	Selang waktu anomali ionosfer	Sesatan (Δt)	Selang waktu anomali geomag net	Sesatan (Δt)	Keterangan
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28-02-2000	III	94	26.3 - 44.3 menit	-	-	-	-	Tidak ada anomali
2	03-03-2000	III	160	31.7 - 33.7 menit	60 menit	30 menit	-	-	Bukan indikasi
		II	1010	237.6 jam (9.9 hari)	175 jam (7.3 hari)	62.6 Jam (2.6 hari)	214 jam (8.9 hari)	-23.6 jam (1 hari)	Anomali geomagnet cukup memadai
3	12-06-2000	III	233, 100, 54	35.3 - 45.1 menit	-	-	-	-	Ada anomali pada 14 Juni 2000
		II	1680	71.5 jam (~3 hari)	-	-	114 jam (4.5 hari)	+42.5 jam (1.7 hari)	Anomali geomagnet memadai
4	10-07-2000	III	3060	25.6 menit	-	-	-	-	Tidak ada anomali f _o F ₂
		III	755	24.4 menit	-	-	-	-	-
5	25-07-2000	II	260	127.5 jam (~5.3 hari)	-	-	123 jam (5.1 hari)	4.5 jam	Anomali geomagnet sangat memadai