

IDENTIFIKASI AWAN MAGNET DARI DATA SATELIT

CLARA Y. YATINI

*Bidang Matahari dan Antariksa,
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN
email: clara@bdg.lapan.go.id*

Abstrak. Usaha untuk memahami awan magnet dilakukan dengan menganalisis komponen toroidal dan poloidal dari medan magnet yang teramati oleh satelit WIND. Data yang dianalisis adalah data medan magnet disekitar waktu terjadinya awan magnet yang terjadi pada rentang waktu tahun 2000. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa komponen toroidal memperlihatkan kesamaan pola, yaitu mempunyai nilai maksimum pada saat terjadi awan magnet, yang menunjukkan intensitas paling kuat di pusatnya. Sedangkan untuk komponen poloidal terdapat pola yang berbeda-beda.

Abstract. Attempt to study the magnetic cloud can be done by analyzing the toroidal and poloidal magnetic field components observed by WIND satellite. The magnetic field data around the occurrence of magnetic cloud in year 2000 are analyzed. The result shows the similar pattern on toroidal component of magnetic field, in which they show a sharp maximum in the period of magnetic cloud with the maximum value in the center, whereas the poloidal component has no similar pattern.

Kata kunci: awan magnet, komponen toroidal, komponen poloidal.

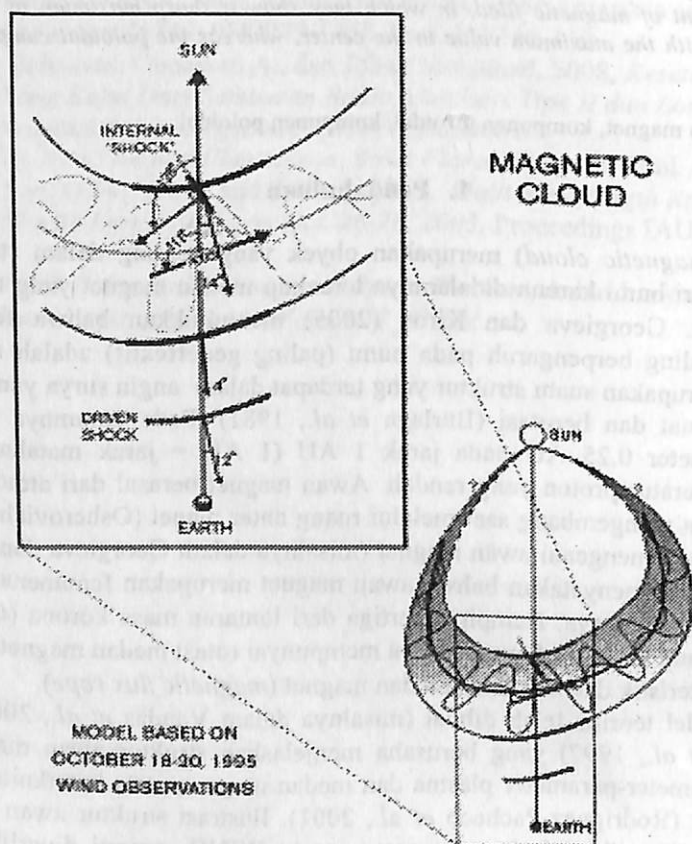
1. Pendahuluan

Awan magnet (*magnetic cloud*) merupakan obyek yang penting dalam studi mengenai hubungan matahari-bumi karena didalamnya tercakup medan magnet yang terkait dengan lingkungan bumi. Georgieva dan Kirov (2005) menunjukkan bahwa fenomena dari matahari yang paling berpengaruh pada bumi (paling geoeffektif) adalah awan magnet. Awan magnet merupakan suatu struktur yang terdapat dalam angin surya yang mempunyai medan magnet kuat dan berotasi (Burlaga *et al.*, 1981). Pada umumnya awan magnet mempunyai diameter 0.25 AU pada jarak 1 AU (1 AU = jarak matahari-bumi), dan mempunyai temperatur proton yang rendah. Awan magnet berasal dari atmosfer matahari dan merambat dan mengembang saat melalui ruang antar planet (Osherovich *et al.*, 1993). Penelitian mutakhir mengenai awan magnet (misalnya dalam Georgieva dan Kirov, 2005; Vandas *et al.*, 2005) menyatakan bahwa awan magnet merupakan fenomena yang banyak terjadi di dalam angin surya. Hampir sepertiga dari lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) yang teramati di angin surya mempunyai rotasi medan magnet internal yang merupakan karakteristik dari tali fluks medan magnet (*magnetic flux rope*).

Banyak model teoritis telah dibuat (misalnya dalam Vandas *et al.*, 2005, Cid *et al.* 1999, Lepping *et al.*, 1997) yang berusaha menjelaskan struktur awan magnet, dengan menggunakan parameter-parameter plasma dan medan magnet, serta keterkaitannya dengan partikel energetik (Rodríguez-Pacheco *et al.*, 2001). Ilustrasi struktur awan magnet yang digunakan disini dihasilkan dari pengamatan satelit WIND, seperti diperlihatkan dalam gambar 1.1. Dalam gambar ini awan magnet ditunjukkan sebagai tali fluks (*flux rope*) yang

diasumsikan mempunyai tekanan magnet dan gaya kompresi internal yang seimbang. Awan magnet ini mempunyai medan magnet yang kuat yang berbentuk seperti magnetosfer yang keluar dari matahari, mengembang di bidang ekliptik, dan mempunyai muka gelombang kejut dengan kecepatan yang lebih tinggi dari angin surya (Lepping *et al.*, 2000). Badai magnet yang terjadi di magnetosfer diakibatkan oleh medan magnet arah selatan yang kuat yang terdapat di bagian depan awan magnet ini.

Untuk dapat mengetahui terjadinya awan magnet, maka perlu dilakukan analisis terhadap awan magnet berdasarkan hasil pengamatan satelit WIND terhadap kuat medan magnet. Identifikasi terhadap awan magnet ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari awan magnet, terutama pada kuat medan magnetnya, sehingga nantinya proses fisis dan mekanisme yang menyebabkan dan menyertai awan magnet dapat dipahami. Yang dianalisis adalah awan magnet tahun 2000, yaitu puncak dari aktivitas matahari pada siklus ke 23.



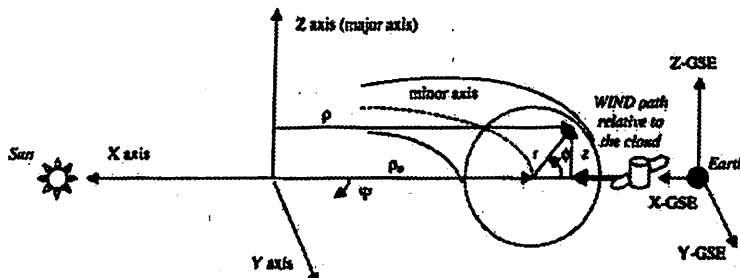
Gambar 1.1. Gambaran awan magnet yang dimodelkan dari pengamatan satelit WIND (sumber: http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/mfi/Mag_Cloud_Model.html)

2. Topologi Awan Magnet

Awan magnet diasumsikan sebagai tali yang berbentuk jerat (*rope*) seperti diilustrasikan pada gambar 1.1. Oleh sebab itu awan magnet akan lebih mudah digambarkan dalam sistem koordinat toroidal (gambar 2.1). Dalam koordinat ini awan magnet dianggap sebagai 'loop' yang mempunyai radius ρ_0 . Satelit mengukur vektor medan magnet (B_x , B_y , dan B_z) dalam koordinat GSE (*Geosentric Solar Ecliptic System*). Vektor medan magnet yang terukur ini kemudian ditransformasikan ke sistem koordinat toroidal. Dalam sistem ini awan magnet mempunyai komponen poloidal B_ϕ dan komponen toroidal B_ψ , sedangkan komponen r diasumsikan $=0$, sehingga dapat dihubungkan koordinat toroidal dengan sistem GSE sebagai:

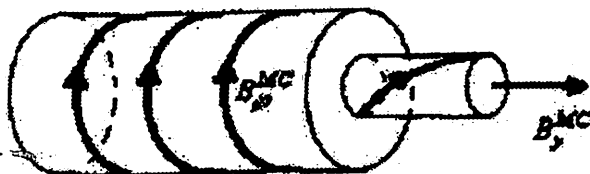
$$B_\phi = \sqrt{B_x^2 + B_z^2} \tag{2.1}$$

$$B_\psi = B_y \tag{2.2}$$



Gambar 2.1. Sistem koordinat toroidal dan GSE (Cid et al., 1999)

Apabila digambarkan dalam sistem silinder lokal, garis-garis medan magnet mempunyai dua komponen, komponen yang pertama sepanjang sumbu awan dan yang lain melingkari komponen yang pertama. Hal ini dapat digambarkan seperti pada gambar 2.2. Pada gambar ini medan magnet digambarkan dalam dua komponen, yaitu komponen axial B_y dan komponen poloidal B_ϕ . Dalam awan magnet, maka seperti yang didefinisikan oleh Burlaga et al. (1981) yang berotasi adalah komponen poloidal.



Gambar 2.2. Konfigurasi yang diasumsikan untuk awan magnet (MC) (Nieves-Chinchilla et al., 2001)

3. Data Dan Metoda

Langkah yang dilakukan untuk identifikasi awan magnet adalah dengan mengubah data kuat medan magnet yang diamati dalam sistem GSE (B_x , B_y , B_z) menjadi sistem koordinat toroidal (B_ϕ dan B_ψ) menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2). Saat awan magnet melewati satelit, maka data yang menunjukkan waktu yang berbeda merupakan data yang diperoleh satelit dalam posisi yang berbeda terhadap sumbu awan magnet, karena satelit terus bergerak dalam orbitnya. Untuk itu profil medan magnet (terhadap waktu) dapat dilihat dengan melihat perubahan vektor medan magnet terhadap waktu, yaitu komponen poloidal dan toroidalnya.

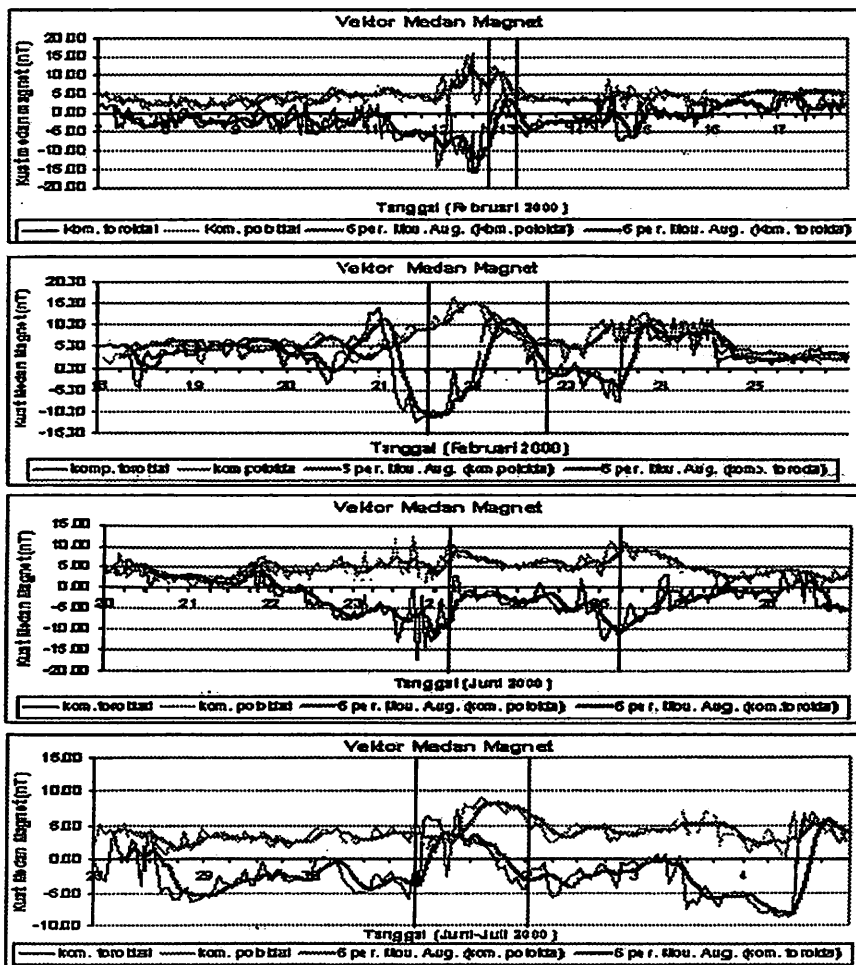
Untuk mengetahui proses identifikasi ini maka digunakan data yang tercantum dalam tabel 3.1. Data ini adalah data awan magnet yang diperoleh satelit WIND untuk tahun 2000. Untuk masing-masing peristiwa dibuat plot yang menunjukkan perubahan komponen poloidal dan toroidal terhadap waktu, beberapa hari sebelum dan sesudah terjadinya awan magnet.

Tabel 3.1.
Awan magnet yang teridentifikasi selama tahun 2000
(Sumber: http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_pub1.html)

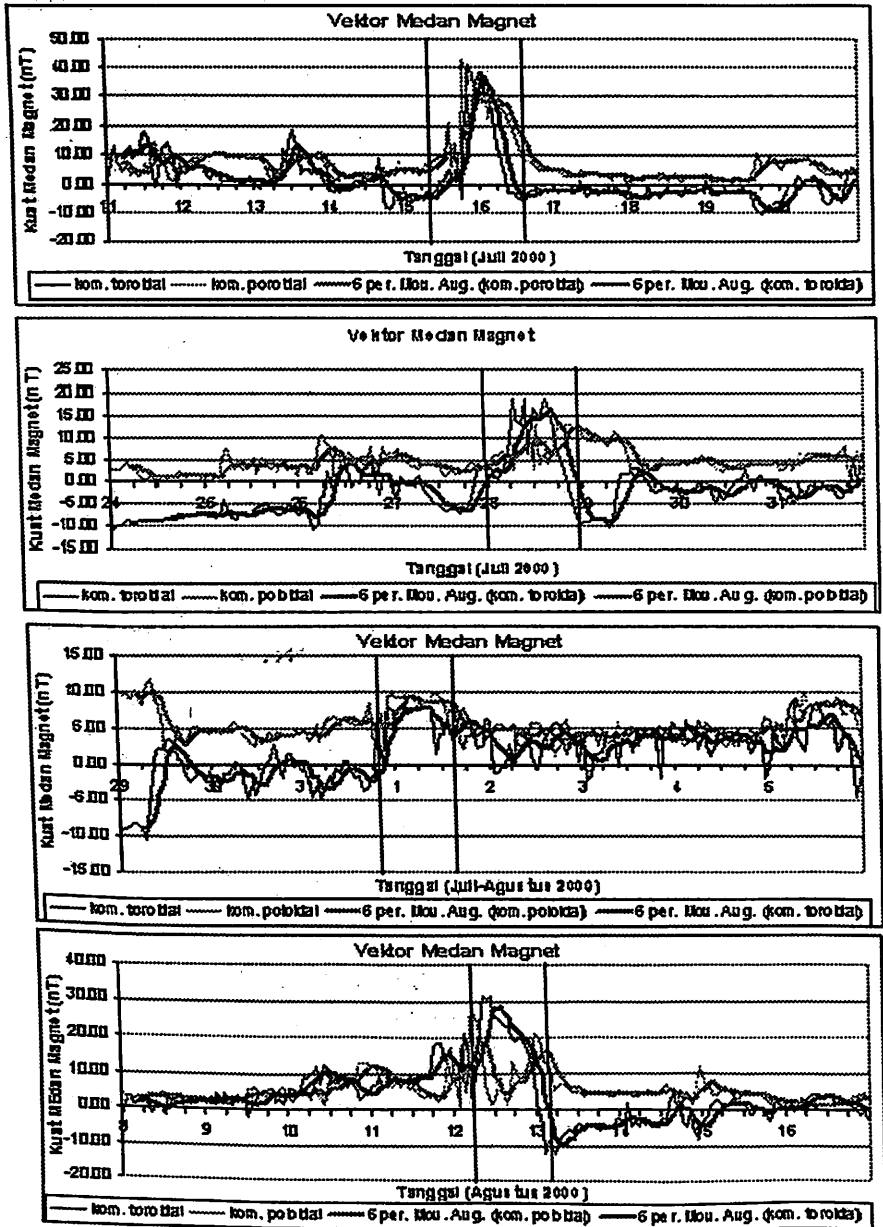
No	Start Time (UT)		End Time (UT)	
	Tanggal	Jam	Tanggal	Jam
1	12 Februari 2000	17.1	13 Februari 2000	0.6
2	21 Februari 2000	9.8	22 Februari 2000	13.3
3	24 Juni 2000	8.3	25 Juni 2000	20.3
4	1 Juli 2000	8.8	2 Juli 2000	3.3
5	15 Juli 2000	6.8	15 Juli 2000	14.3
		21.1	16 Juli 2000	9.9
6	28 Juli 2000	21.1	29 Juli 2000	10.1
7	1 Agustus 2000	0.1	1 Agustus 2000	15.9
8	12 Agustus 2000	6.1	13 Agustus 2000	5.1
9	18 September 2000	1.9	18 September 2000	15.1
10	3 Oktober 2000	17.1	4 Oktober 2000	14.1
11	13 Oktober 2000	18.4	14 Oktober 2000	16.9
12	28 Oktober 2000	23.3	30 Oktober 2000	0.3
13	6 November 2000	23.1	7 November 2000	18.1

4. Hasil

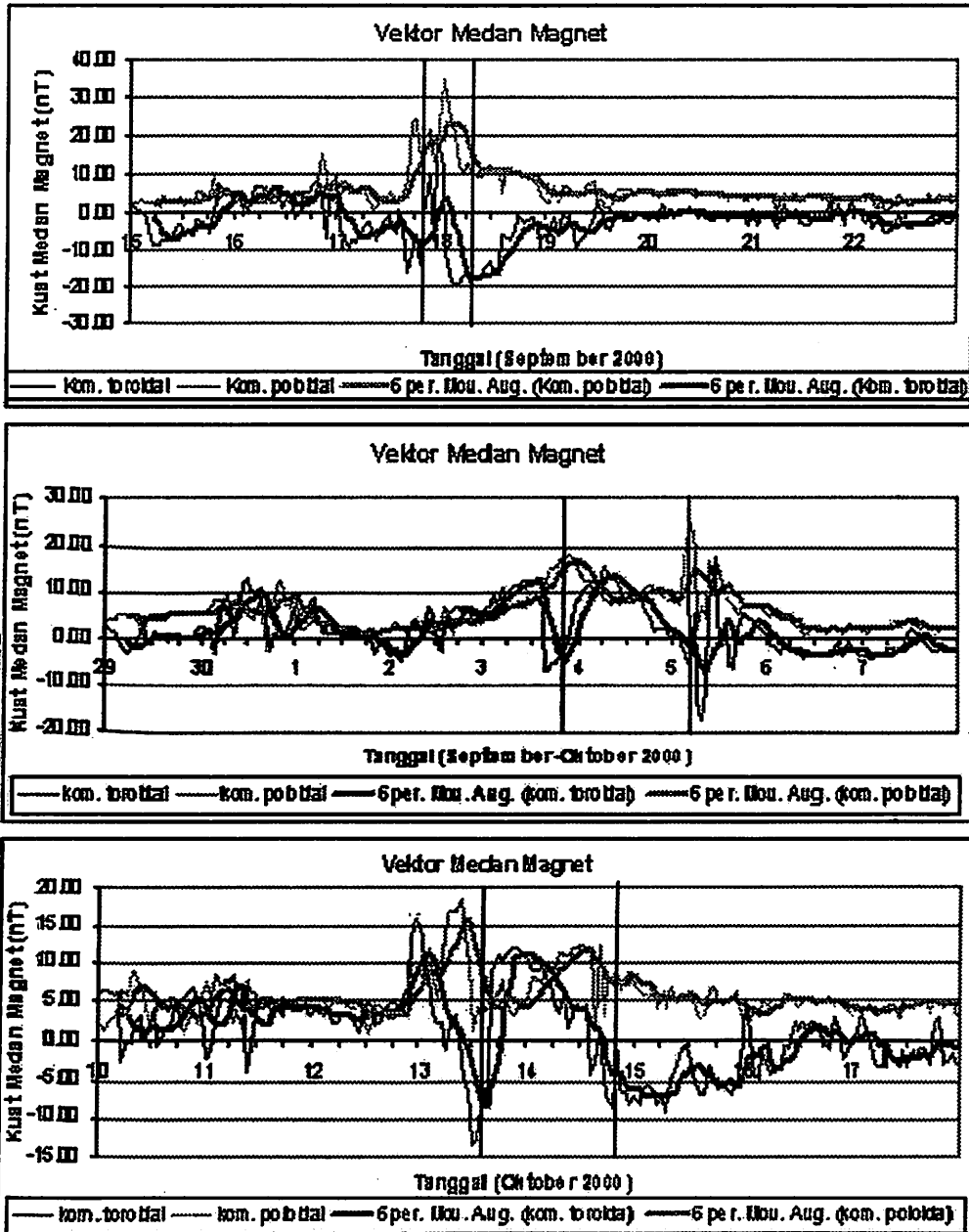
Dengan mengubah komponen medan magnet B_x , B_y , dan B_z yang diamati satelit menjadi komponen toroidal dan poloidal seperti pada persamaan 2.1 dan 2.1, diperoleh hasil seperti pada gambar 4.1 sampai dengan 4.4. Pada setiap gambar komponen poloidal digambarkan dengan garis yang lebih tipis, sedangkan komponen poloidal sebaliknya. Kriteria identifikasi awan magnet berdasar pada kecenderungan yang diperlihatkan oleh gambar-gambar tersebut. Garis vertikal pada gambar menunjukkan waktu mulai dan waktu berakhirnya awan magnet menurut Lepping *et al.* (1990) berdasarkan pengamatan satelit WIND, seperti yang diperlihatkan pada tabel 3.1.



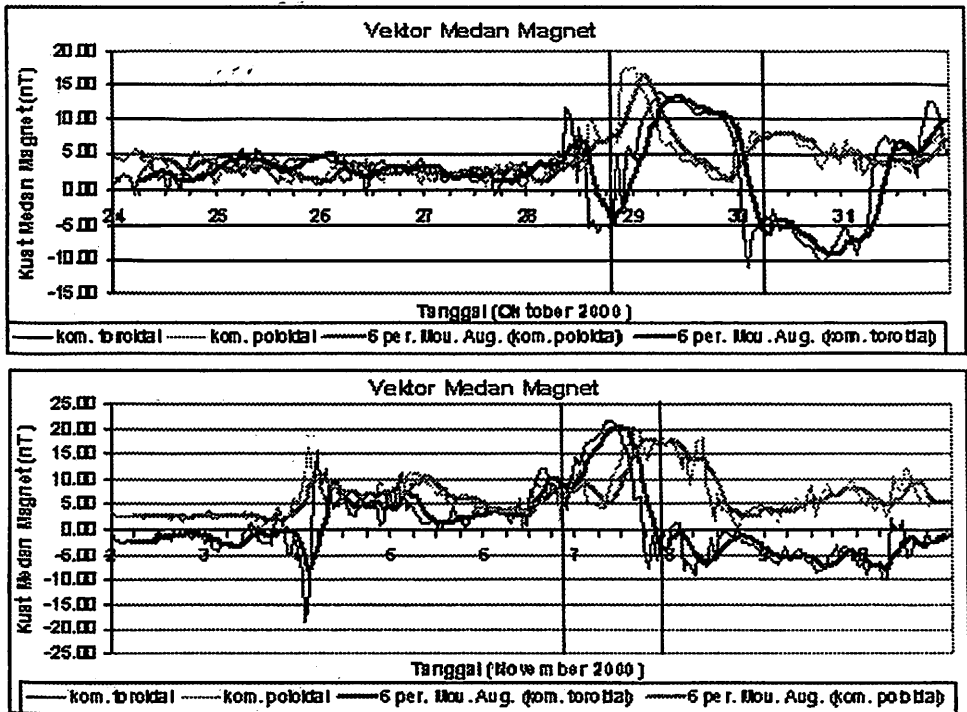
Gambar 4.1. Pola vektor medan magnet toroidal (B_ψ) dan poloidal (B_θ) dari awan magnet yang teridentifikasi pada tanggal 12 Februari, 21 Februari, 24 Juni, dan 1 Juli (berturut-turut dari atas ke bawah) seperti pada tabel 3.1. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya awan magnet.



Gambar 4.2. Pola vektor medan magnet toroidal (B_θ) dan poloidal (B_ϕ) dari awan magnet yang teridentifikasi pada tanggal 15 Juli, 28 Juli, 1 Agustus, 12 Agustus (berturut-turut dari atas ke bawah) seperti pada tabel 3.1. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya awan magnet.



Gambar 4.3. Pola vektor medan magnet toroidal (B_{ψ}) dan poloidal (B_{ϕ}) dari awan magnet yang teridentifikasi pada tanggal 18 September, 3 Oktober, 13 Oktober (berturut-turut dari atas ke bawah) seperti pada tabel 3.1. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya awan magnet.



Gambar 4.4. Pola vektor medan magnet toroidal (B_{ψ}) dan poloidal (B_{ϕ}) dari awan magnet yang teidentifikasi pada tanggal 28 Oktober (atas) dan 6 November (bawah) seperti pada tabel 3.1. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya awan magnet.

Dengan menganalisis gambar-gambar ini terlihat bahwa pada saat terjadinya awan magnet, komponen toroidal mempunyai nilai kuat medan magnet maksimum setelah mengalami penurunan. Puncak ini memperlihatkan kekuatan yang maksimum di pusat awan magnet dan makin menurun ke bagian tepi-tepinya. Ini terlihat pada semua pola vektor medan magnet dari awan magnet yang terjadi pada tahun 2000. Sedangkan untuk komponen poloidal fenomenanya tidak sama. Komponen poloidal ada yang mempunyai pola seperti komponen toroidal, yaitu mencapai nilai kuat medan magnet yang maksimum meskipun dengan waktu yang sedikit berbeda, ada yang mempunyai pola yang terbalik dibandingkan dengan medan magnet toroidalnya. Pola toroidal dan poloidal yang sama diperlihatkan oleh awan magnet tanggal 12 Februari, 21 Februari, 1 Juli, 15 Juli, 28 Juli, 1 Agustus, 18 September, 28 Oktober. Pola yang berlawanan diperlihatkan oleh awan magnet terjadi dalam pola medan magnet poloidal ini disebabkan karena tidak semua awan magnet berasosiasi dengan gelombang kejut, melainkan dapat juga terjadi bila plasma yang dipancarkan mempunyai kecepatan yang melebihi kecepatan angin surya (Cid *et al.*, 1999). Plasma yang berkecepatan tinggi selain berasal dari CME, juga bisa berasal dari lubang korona di matahari.

5. Kesimpulan

Proses identifikasi awan magnet dilakukan dengan mengubah kuat medan magnet yang diukur oleh satelit WIND kedalam sistem koordinat toroidal. Koordinat ini menggambarkan komponen toroidal dan komponen poloidal medan magnet. Dari hasil yang diperoleh dari 13 awan magnet yang diamati oleh satelit WIND selama tahun 2000 menunjukkan bahwa awan magnet menunjukkan pola komponen toroidal yang sama, yaitu mempunyai maksimum yang tajam setelah mengalami penurunan kuat medan magnet. Sedangkan komponen poloidal tidak menunjukkan kecenderungan yang sama. Pada saat terjadinya awan magnet, komponen ini ada yang naik, tetapi ada juga yang turun. Karena menurut Cid *et al.* (1991) awan magnet ini tidak seluruhnya berasal dari gelombang kejut, maka perlu dilakukan juga kajian mengenai proses fisis dan mekanisme yang menyebabkan dan menyertai awan magnet ini.

Daftar Pustaka

- Burlaga, L.F., Sittler, E., Mariani, F., Schwenn, R., 1981, *Magnetic Loop Behind an Interplanetary Shock - Voyager, Helios, and IMP 8 Observations*, J. Geophys. Res. **86**, 6673
- Cid, C., Hidalgo, M.A., Rodríguez-Pacheco, J., Medina, J., Sequeiros, J., 1999, *A Search for Magnetic Clouds Associated with Coronal Mass Ejections*, International Conference on Cosmic Ray **6**, 464
- Georgieva, K., Kirov, B., 2005, *Helicity of Magnetic Clouds and Solar Cycle Variations of Their Geoeffectiveness*, Coronal and Stellar Mass Ejections, IAU **226**, Cambridge University Press, 470
- Lepping, R. P., L. F. Burlaga, A. Szabo, K. W. Ogilvie, W. Mish, D. Vassiliadis, A. J. Lazarus, J. T. Steinberg, C. J. Farrugia, J. Janoo, and F. Mariani, 1997, *The Wind Magnetic Cloud and Events of October 18-20, 1995: Interplanetary Properties and as Triggers For Geomagnetic Activity*, J. Geophys. Res., **102**, 14049
- Lepping, R.P., D. Berdichevsky, A. Szabo, A.J. Lazarus, and B.J. Thompson, 2000, *Upstream Shocks and Interplanetary Magnetic Cloud Speed and Expansion: Sun, Wind, and Earth Observations*, Space Weather Study Using Multipoint Techniques (ed. L. H. Lyu),- Proceedings of COSPAR Colloquium, September 2000, 87-96 Pergamon Press, New York
- Lepping, R.P., Jones, J.A., Burlaga, L.F., 1990, *Magnetic Field Structure of Interplanetary Magnetic Clouds at 1 AU*, J. Geophys. Res. **95**, 11957
- Nieves-Chinchilla, T., Cid, C, Hidalgo, M.A., Blanco, J.J., Bronchalo, E., Sequeiros, J., Rodríguez-Pacheco, J., 2001, *A Study of the Plasma and Magnetic Field Topology of Magnetic Clouds*, Proceedings of "Solar Encounter: The First Solar Orbiter Workshop", ESA SP-493, 297
- Osherovich, V.A., Farrugia, C.J., Burlaga, L.F., 1993, *Dynamics of Aging Magnetic Clouds*, Adv. Space. Res. **13**, 6, 57

- Rodríguez-Pacheco, J., Bronchalo, E., Blanco, J.J., Sequeiros, J., Hidalgo, M.A., Cid, C., 2001, *Energetic Particles Inside Interplanetary Magnetic Cloud*, Proc. Solar Encounter: The First Solar Orbiter Workshop, ESA SP-493, 343
- Vandas, M., Romashets, E., Watari, S., 2005, *Plasma Flows Inside Magnetic Clouds*, Proc. Solar Wind 11 – SOHO 16, ESA SP-592, 775