



STUDI HUBUNGAN INTENSITAS SINAR KOSMIK TERHADAP VARIASI PARAMETER AKTIVITAS MATAHARI DAN PLASMA RUANG ANTAR PLANET

Annisa Novia Indra Putri^{1,2*}, Dhani Herdiwijaya³

^{1,3}Program Studi Astronomi, FPMIPA, Institut Teknologi Bandung

²Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera

*Alamat Korespondensi : annisa.putri@sap.itera.ac.id

ABSTRAK

Studi korelasi antara intensitas sinar kosmik dengan jumlah bintik Matahari telah dilakukan sejak lama. Berbagai studi yang telah dilakukan tersebut menunjukkan antikorelasi antara intensitas sinar kosmik dengan jumlah bintik Matahari, di mana terdapat beberapa perbedaan jeda waktu pada siklus Matahari yang berbeda. Perbedaan yang timbul hingga saat ini masih menjadi pertanyaan. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis keterkaitan hubungan intensitas sinar kosmik dengan mempertimbangkan pemodelan menggunakan berbagai parameter aktivitas Matahari dan ruang antarplanet seperti jumlah bintik Matahari, kecepatan angin Matahari, kerapatan proton angin Matahari, medan magnet Matahari, *Interplanetary Magnetic Field* (IMF), kemiringan *Heliospheric Current Sheet* (HCS), *clock angle*, dan *cone angle*. Data yang digunakan untuk masing-masing parameter diambil dari tahun 1963 hingga tahun 2021, dengan resolusi waktu satu jam. Hasil menunjukkan bahwa intensitas sinar kosmik menunjukkan korelasi yang kuat dan berbeda-beda terhadap setiap parameter. Diharapkan pada penelitian lebih lanjut dapat dianalisis menggunakan metode-metode yang mengakomodasi pengaruh dan keterkaitan dari berbagai parameter plasma dan medan magnet ruang antar planet terhadap fluktuasi sinar kosmik seperti metode *Partial Least Square* (PLS) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Relasi yang diperoleh nanti akan diuji dengan simulasi model *Magnetohydrodynamic* (MHD) 3D menggunakan masukan data plasma yang sama untuk melihat lebih jelas gambaran fluktuasi sinar kosmik pada kasus-kasus fluktuasi ekstrem. Diharapkan dari pendekatan terbaru melalui kedua metode ini (pemodelan dan simulasi) dapat diperoleh gambaran yang lebih detail terkait analisis fluktuasi atau variabilitas sinar kosmik, baik dalam jangka waktu yang pendek ataupun panjang.

© 2021 Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI

Kata kunci: intensitas sinar kosmik, aktivitas Matahari, ruang antar planet.

PENDAHULUAN

Sinar kosmik merupakan radiasi partikel bermuatan yang memiliki energi tinggi dengan rentang energi $1 - 10^{20}$ GeV. Partikel sinar kosmik terdiri dari 90% proton, 9% partikel alfa, dan 1% berupa inti kecil yang lebih berat. Seperti halnya pada Matahari, intensitas sinar kosmik yang teramati di Bumi memiliki siklus 11 tahunan. Korelasi antara siklus 11 tahunan intensitas sinar kosmik dengan Matahari kemudian diteliti pertama kalinya oleh Forbush (1958) yang menunjukkan bahwa keduanya memiliki hubungan berkebalikan (antikorelasi). Artinya, jika intensitas sinar kosmik tinggi maka aktivitas Matahari rendah, begitu sebaliknya. Antikorelasi yang ditunjukkan juga menampakkan beberapa jeda waktu (*time lag*) (Allen, 2000; Ross dan Chaplin, 2019). Jeda waktu yang terjadi dapat menimbulkan efek variasi jangka panjang. Anomali fenomena

tersebut juga menunjukkan variasi pada siklus genap dan siklus ganjil Matahari (Inceoglu dkk., 2013; Ross dan Chaplin 2019). Fenomena anomali yang teramati diinterpretasikan sebagai modulasi kerapatan spektra sinar kosmik sebagai hasil dari pembalikan polaritas medan magnet Matahari (Aslam dan Badrudin, 2012). Parameter lain yang seharusnya juga memberikan kontribusi terhadap modulasi sinar kosmik yang berasal dari aktivitas Matahari adalah kecepatan angin Matahari (Ahluwalia, 2003). Selain itu modulasi sinar kosmik yang teramati juga dikontrol oleh keadaan plasma dan medan magnet di ruang antar planet sehingga terdapat efek siklus Matahari pada perambatan sinar kosmik di heliosfer (Mavromichalaki dkk., 1988). Parameter yang berpengaruh terhadap modulasi sinar kosmik yang berasal dari ruang antar planet antara lain kemiringan *Heliospheric Current Sheet* (HCS)

(Badruddin dkk., 2007; Owens dan Forsyth, 2013; Aslam dan Badruddin, 2015; Thomas dkk., 2014) dan medan magnet ruang antar planet atau *Interplanetary Magnetic Field* (IMF) (Ahluwalia, 2002).

Pada tahap awal penelitian ini dimaksudkan untuk melihat lebih detail korelasi antara intensitas sinar kosmik dengan aktivitas Matahari serta dinamika ruang antar planet dengan interval waktu yang lebih lama. Aktivitas Matahari yang ditinjau pada penelitian ini adalah fenomena di atmosfer Matahari seperti bintik Matahari, medan magnet permukaan Matahari, dan kecepatan angin Matahari. Sinar kosmik dan angin Matahari membawa jenis partikel yang sama yaitu proton sehingga perlu dilihat korelasinya juga antara sinar Matahari dengan kerapatan proton angin Matahari. Sedangkan untuk parameter ruang antar planet yang ditinjau seperti sudut kemiringan HCS dan IMF. Parameter IMF dapat diturunkan kembali menjadi dua parameter berdasarkan orientasi sudut dari IMF yaitu *clock angle* dan *cone angle*. Parameter ini juga akan dianalisis korelasinya dengan intensitas sinar kosmik. *Clock angle* didefinisikan sebagai arah IMF pada bidang y-z dari sistem koordinat *Geocentric Solar Magnetospheric* (GSM) (James dkk., 2017) sedangkan *cone angle* didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara arah IMF dengan garis Matahari-Bumi (Herdiwijaya, 2019). Hasil korelasi antara intensitas sinar kosmik dengan parameter-parameter tersebut kemudian dianalisis dan diharapkan dapat memberikan gambaran awal untuk penelitian selanjutnya. Tujuan akhir dari rangkaian penelitian yang dilakukan yaitu mengetahui parameter apa yang paling berpengaruh terhadap modulasi sinar kosmik baik dari aktivitas Matahari maupun ruang antar planet dan mencari penyebab jeda waktu dengan menggunakan hasil data observasi dan pemodelan parameter-parameter yang berasal dari Matahari maupun ruang antar planet.

METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data partikel atau fluks sinar kosmik yang teramati di Bumi, data jumlah bintik Matahari, dan data yang berkontribusi terhadap perbedaan dan variasi jeda waktu antara intensitas sinar kosmik dengan aktivitas Matahari seperti kecepatan angin Matahari, kerapatan proton angin Matahari, medan

magnet Matahari, kemiringan HCS, dan IMF yang diambil dari berbagai situs resmi dan bersifat *open source*. Informasi data dapat dilihat pada Tabel 1.

Data intensitas sinar kosmik yang digunakan diambil dari stasiun Climax dan Thule yang berlokasi di negara United States of America (USA). Kedua stasiun tersebut memiliki lintang yang berbeda dan rentang pengamatan periode yang panjang sehingga dapat terlihat histeresis dari perilaku sinar kosmik. Informasi dari kedua stasiun tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dengan R_c adalah *cutoff rigidity*. *Cutoff rigidity* yaitu energi minimum sinar kosmik yang dapat menembus Bumi dan mencapai permukaan laut (Danilova dkk., 2019). Semakin tinggi lintang maka *cutoff rigidities* semakin kecil, artinya hampir semua rentang energi sinar kosmik dapat masuk pada lintang yang lebih tinggi.

Orientasi IMF memiliki dampak yang besar terhadap keadaan magnetosfer. Sudut yang dibentuk oleh IMF dapat dibedakan menjadi dua yaitu *clock angle* dan *cone angle*. Turunan kedua parameter ini didapatkan dari persamaan berikut:

$$\theta = \arctan\left(-\frac{B_y}{B_z}\right) \quad (1)$$

$$\phi = \arccos\left(-\frac{B_x}{|B|}\right) \quad (2)$$

dimana θ adalah *clock angle* dan ϕ adalah *cone angle*. HCS dengan kedua jenis orientasi dari IMF ini sangat berkaitan. HCS merupakan parameter sudut yang diturunkan dari medan magnet dekat dengan Matahari (fotosfer) sedangkan *clock angle* dan *cone angle* merupakan sudut medan magnet yang berada di ruang antar planet yang diturunkan dari data satelit. Sehingga kedua parameter ini juga perlu ditinjau hubungannya dengan intensitas sinar kosmik.

Setiap data pada parameter yang berasal dari aktivitas Matahari maupun ruang antar planet akan dibandingkan terhadap data intensitas sinar kosmik di waktu yang sama. Hasil yang ditunjukkan akan dilakukan analisis keterkaitan antara observasi maupun pemodelan dari intensitas sinar kosmik yang dipengaruhi oleh parameter-parameter baik dari aktivitas Matahari maupun ruang antar planet. Analisis yang dilakukan bersifat analisis deskriptif dengan melihat grafik korelasi yang

ditampilkan. Selain itu juga akan dilihat nilai korelasi antara intensitas sinar kosmik dengan parameter-parameter yang ditinjau dengan menggunakan metode korelasi sederhana antar dua variabel x dan y yang dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut:

$$r(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh berupa korelasi antara intensitas sinar kosmik dengan jumlah bintik Matahari, medan magnet Matahari, kecepatan angin Matahari, kerapatan proton angin Matahari, kemiringan HCS, IMF, *clock angle*, dan *cone angle* (lihat Gambar 1 dan Tabel 3).

Tabel 1. Sumber Data.

No	Data	Sumber	Rentang Waktu
1	Intensitas Sinar Kosmik	http://www01.nmdb.eu/nest/	12 Desember 1950 – 1 Desember 2020
2	Jumlah Bintik Matahari	http://sidc.oma.be/silso/datafiles/	Januari 1749 – Desember 2020
3	Kecepatan Angin Matahari	https://omniweb.gsfc.nasa.gov/	28 November 1963 – 31 Desember 2020
4	Kerapatan Proton Angin Matahari	https://omniweb.gsfc.nasa.gov/	28 November 1963 – 31 Desember 2020
5	Medan Magnet Matahari	http://wso.stanford.edu/	Mei 1975 – Desember 2020
6	Kemiringan HCS	http://wso.stanford.edu/	27 Mei 1976 – 28 November 2020
7	IMF	https://omniweb.gsfc.nasa.gov/	28 November 1963 – 31 Desember 2020

Tabel 2. Informasi Stasiun Pengamatan Sinar Kosmik

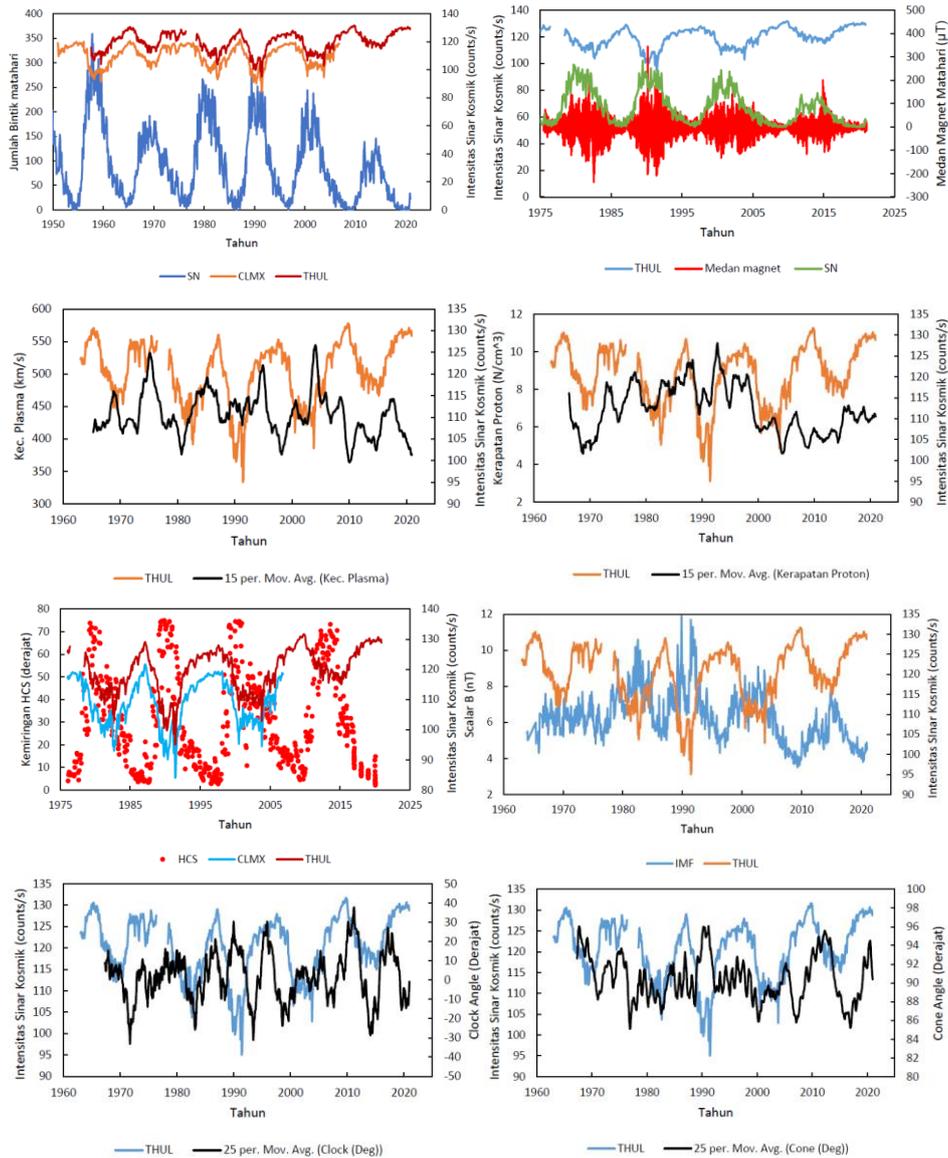
No	Stasiun	Bujur (°)	Lintang (°)	Altitude (m)	R_c (GV)	Rentang Waktu
1	Climax (CLMX)	106,22 BB	39,4 LU	3400	3,00	1950 – 2006
2	Thule (THULL)	68,7 BB	76,5 LU	26	0,30	1957 - sekarang

Tabel 3. Nilai Korelasi Intensitas Sinar Kosmik terhadap Parameter Aktivitas Matahari dan Ruang Antar Planet

No.	Parameter	Nilai Korelasi
1	Jumlah Bintik Matahari	-0,09
2	Medan Magnet Matahari	-0,02
3	Kecepatan Angin Matahari	-0,29
4	Kerapatan Proton Angin Matahari	-0,17
5	Kemiringan HCS	-0,53
6	IMF	-0,37
7	<i>Clock Angle</i>	0,03
8	<i>Cone Angle</i>	0,17

Pada Gambar 1 dan Tabel 3 dapat dilihat bahwa hubungan korelasi negatif terhadap intensitas sinar kosmik ditunjukkan oleh parameter jumlah bintang Matahari, medan magnet Matahari, kecepatan angin Matahari, kerapatan proton angin Matahari, kemiringan HCS, dan IMF. Sedangkan korelasi positif ditunjukkan pada parameter *clock angle*

dan *cone angle*. Namun, korelasi intensitas sinar kosmik dengan parameter-parameter tersebut baik dari aktivitas Matahari maupun ruang antar planet menunjukkan jeda waktu antara puncak maksimum dengan minimum (korelasi negatif) maupun puncak maksimum dengan maksimum (korelasi positif).



Gambar 1. Kiri atas-kanan bawah: Hubungan intensitas sinar kosmik dengan jumlah bintang Matahari, medan magnet Matahari, kecepatan angin Matahari, kerapatan proton angin Matahari, kemiringan HCS, IMF, *clock angle*, dan *cone angle*.

Jeda waktu yang ditunjukkan juga berbeda pada siklus Matahari yang berbeda. Hal yang menarik lainnya yaitu bentuk fase puncak intensitas sinar kosmik yang berbeda antar siklus Matahari. Puncak

berbentuk tajam terlihat pada siklus genap dan datar pada siklus ganjil. Perbedaan ini dimungkinkan karena faktor pembalikan polaritas Matahari dan HCS saat itu. Pada periode polaritas positif ($qA > 0$), proton

sinar kosmik sampai di Bumi melalui kutub Matahari di bagian dalam heliosfer dan bergerak keluar di sepanjang HCS, sebaliknya pada periode polaritas negatif ($q_A < 0$) partikel proton sinar kosmik akan masuk mendekati Matahari di sepanjang bidang HCS dan keluar melalui kutub. Siklus genap akan memiliki polaritas $q_A < 0$ pada fase naik dan polaritas $q_A > 0$ pada fase turun sehingga pemulihan sinar kosmik terjadi lebih cepat setelah maksimum Matahari. Sebaliknya, siklus ganjil akan memiliki polaritas $q_A > 0$ pada fase naik dan polaritas $q_A < 0$ pada fase turun sehingga pemulihan sinar kosmik terjadi lebih lambat setelah maksimum. Proses pemulihan ini juga dipengaruhi oleh kondisi ruang antar planet seperti kemiringan HCS dan kecepatan angin Matahari. Sudut kemiringan HCS bervariasi terhadap siklus Matahari. Saat HCS dimiringkan dan diganggu maka panjang jalur yang harus dilalui sinar kosmik akan lebih panjang dan menyebabkan peningkatan jeda waktu.

PENUTUP

Sinar kosmik berenergi tinggi yang masuk ke Bumi melewati ruang antar planet dan berinteraksi dengan objek yang dilaluinya. Intensitas sinar kosmik yang terdeteksi di Bumi memiliki hubungan dengan parameter aktivitas Matahari dan ruang antar planet. Korelasi negatif ditunjukkan oleh intensitas sinar kosmik dengan jumlah bintik Matahari, medan magnet Matahari, kecepatan angin Matahari, kerapatan proton angin Matahari, kemiringan HCS, dan IMF. Sedangkan korelasi positif ditunjukkan pada parameter *clock angle* dan *cone angle*. Korelasi yang ditunjukkan ini diikuti dengan jeda waktu yang berbeda antara siklus genap dan siklus ganjil Matahari. Hal ini dikarenakan adanya kondisi polaritas dari Matahari dan ruang antar planet yang dilalui sinar kosmik saat itu seperti kemiringan HCS dan kecepatan angin Matahari.

Dari hasil dan analisis dari penelitian awal ini diharapkan dapat memberikan

gambaran untuk melanjutkan rangkaian penelitian yaitu menentukan parameter mana yang paling berpengaruh terhadap modulasi intensitas sinar kosmik. Untuk mengetahui hal tersebut akan menggunakan dua metode yaitu *Partial Least Square* (PLS) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Parameter yang dihasilkan dari metode PLS dan ANN akan menjadi parameter utama dalam melakukan simulasi 3D Magnetohidrodinamika (MHD) pada heliosfer dan korona.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan bantuan beasiswa untuk melanjutkan pendidikan doktor di ITB dan penelitian ini merupakan rangkaian penelitian disertasi doktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahluwalia, H. S. (2002). *IMF intensity and galactic cosmic ray modulation*, *Advance in Space Research*, **29**, 439 – 444.
- Ahluwalia, H. S. (2003). *Solar wind modulation of galactic cosmic ray modulation*, *Geophysical Research Letters*, **30**, 1133 – 1137.
- Allen, J. A. V. (2000). *On the modulation of galactic cosmic ray intensity during solar activity cycles 19, 20, 21, 22, and early 23*, *Geophysical Research Letters*, **27**, 2453 – 2456.
- Aslam, O. P. M. dan Badruddin. (2012). *Solar modulation of cosmic rays during the declining and minimum phases of solar cycle 23 comparison with past three solar cycles*, *Solar Physics*, **279**, 269 – 288.
- Aslam, O. P. M. dan Badruddin. (2015). *Study of cosmic-ray modulation during recent unusual minimum and mini-maximum of solar cycle 24*, *Solar Physics*, **290**, 2333 – 2353.
- Badruddin., Singh, M., dan Singh, Y. P. (2007). *Modulation loops, time lag*

- and relationship between cosmic ray intensity and tilt of the heliospheric current sheet*, *Astronomy and Astrophysics*, **466**, 697 – 704.
- Danilova, O. A., Demina, I. M., Ptitsyna, N. G., dan Tyasto, M. I. (2019). *Mapping of Geomagnetic cutoff rigidity of cosmic rays during the main phase of the magnetic storm of november 20, 2003*, *Geomagnetism and Aeronomy*, **59**, 147 – 154.
- Forbush, S. E. (1958). *Cosmic-Ray intensity variations during two solar cycles*, *Journal of Geophysical Research*, **63**, 651 – 669.
- Herdwijaya, D. (2019). *Distribution of solar energetic particles and magnetic field orientations related to strong geomagnetic storms in solar cycle 24*, *Journal of Physics: Conference Series*, **1204**, 012121.
- Inceoglu F., Knudsen, M. F., Karoff, C., dan Olsen, J. (2014). *Modeling the relationship between neutron counting rates and sunspot numbers using the hysteresis effect*, *Solar Physics*, **289**, 1387 – 1402.
- James, M. K., Imber, S. M., Bunce, E. J., Yeoman, T. K., Lockwood, M., Owens, M. J., dan Slavin, J. A. (2017). *Interplanetary magnetic field properties and variability near Mercury's orbit*, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **122**, 7907 – 7924.
- Mavromichalaki, H., Marmatsouri, E., Vassilaki, A. (1988). *Solar-cycle phenomena in cosmic-ray intensity differences between even and odd cycles*, *Earth, Moon and Planets*, **42**, 233 – 244.
- Owens, M. J. dan Forsyth, R. J. (2013). *The heliospheric magnetic field*, *Living Review in Solar Physics*, **10**, 5.
- Ross, E. dan Chaplin, W. J. (2019). *The behaviour of galactic cosmic-ray intensity during solar activity cycle 24*, *Solar Physics*, **294**, 8.
- Thomas, S. R., Owens, M. J., Lockwood, M., dan Scott, C. J. (2014). *Galactic cosmic ray modulation near the heliospheric current sheet*, *Solar Physics*, **289**, 2653 – 2668.