

PENENTUAN HARI PALING TENANG VARIASI SQ GEOMAGNET STASIUN LOKAL GEOMAGNET

La Ode Muhammad Musafar Kilowasid
Peneliti Pusat Sains Antariksa-LAPAN
e-mail : *plasmapheric@yahoo.com* .

Abstrak. Variasi Sq geomagnet mengandung informasi tentang kekuatan arus yang mengalir di ionosfer lokal sebagai akibat rotasi Bumi dan ionisasi ionosfer akibat pemanasan oleh radiasi elektromagnetik matahari. Variasi Sq paling tenang juga digunakan sebagai *baseline* untuk perhitungan gangguan geomagnet. Sebagai contoh, perhitungan indeks K menggunakan rata-rata lima hari variasi Sq paling tenang dalam satu bulan tertentu. Dalam makalah ini dibahas penentuan variasi Sq paling tenang dengan meninjau simetrisitas variasi Sq pada daerah waktu pagi hingga tengah hari dengan tengah hari hingga sore dan sore hingga tengah malam dengan tengah malam hingga pagi. Variasi Sq paling tenang ditunjukkan bersifat paling simetri dan keberadaan gangguan akan memodifikasi sifat-sifat arus Sq. Hasil analisis hari tenang berbasis sifat simetri variasi Sq ini menunjukkan hasil-hasil yang konsisten dengan indeks K_p geomagnet, dimana variasi Sq paling simetri terjadi pada saat indeks K_p sangat kecil.

Kata Kunci: *variasi Sq, sifat simetri*

Abstract. Sq (*solar quiet*) geomagnetic variation contains information about ionospheric current that flows in the local ionosphere as a result of the rotation of the Earth and ionospheric ionization due to heating by solar electromagnetic radiation. Quietest Sq variation is also used as a baseline for the calculation of geomagnetic disturbances. For example, the calculation of the index K using five day average of the quietest Sq variations in a month. This paper discussed determination of quietest Sq variation by considering symmetry of Sq variation pattern at the local time of the morning until mid-day to-day until the middle of the afternoon and evening until midnight with midnight until morning. The quietest Sq variations is shown to be the most symmetry pattern and the presence of disturbances modify the Sq pattern. Quietest days of Sq variation that determined based-on its symmetry are consistent with the geomagnetic K_p index, where the symmetry Sq variation occurs when the K_p index is very small

Keyword: *sq variation, symmetry*

1. Pendahuluan

Manifestasi dari peningkatan arus listrik di ionosfer sebagai konsekuensi dari ionisasi ionosfer akibat pemanasan oleh radiasi elektromagnetik matahari dan rotasi Bumi dapat diamati melalui perubahan medan magnet yang terekam oleh magnetometer permukaan Bumi. Arus ionosferik di daerah ekuator dan daerah lintang rendah mengalir dari pagi menuju sore. Sebagai konsekuensi dari hukum Maxwell maka aliran arus listrik tersebut akan menginduksi medan magnet pada arah utara-selatan pada

komponen vektor medan magnet. Medan magnet induksi tersebut akan memberikan kontribusi pada peningkatan kekuatan medan magnet lokal. Peningkatan kekuatan medan magnet tersebut bersifat gradual dan bergantung pada jumlah fluks radiasi matahari dan jumlah ionisasi yang terjadi di ionosfer. Peningkatan medan magnet induksi akibat ionisasi ionosfer direpresentasikan oleh variasi S_q (*solar-quiet*) geomagnet.

Variasi S_q dipelajari terkait dengan sifat-sifat ionosferik lokal dan menjadi baseline bagi perhitungan tingkat gangguan geomagnet, antara lain perhitungan indeks K geomagnet. Peningkatan variasi S_q menunjukkan kekuatan arus ionosferik mengalami peningkatan. Sedangkan gangguan geomagnet diekstrak sebagai selisih antara besar medan magnet yang terukur dikurangi oleh variasi S_q paling tenang dalam satu bulan yang ditinjau. Dalam makalah ini, dibahas bagaimana menentukan hari paling tenang dari variasi S_q dalam satu bulan. Untuk keperluan tersebut dianalisis sifat-sifat simetri dari variasi S_q dimana untuk kondisi magnetosfer dan ionosfer tanpa gangguan variasi S_q memiliki sifat yang sangat simetri.

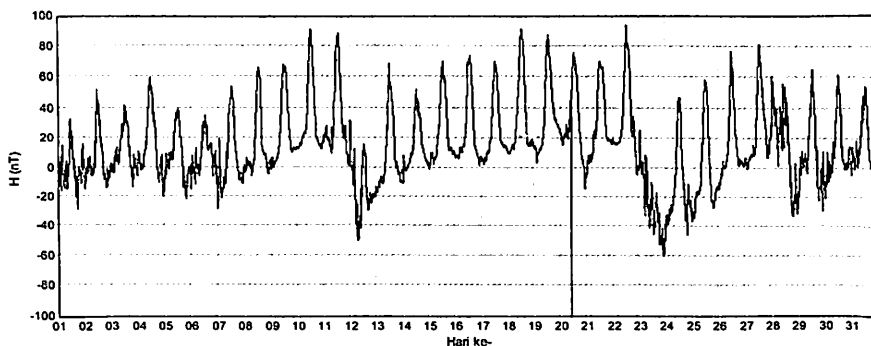
2. Data dan Metode

Manifestasi dari peningkatan arus listrik di ionosfer sebagai konsekuensi dari ionisasi ionosfer akibat pemanasan oleh radiasi elektromagnetik matahari dan rotasi Bumi dapat diamati melalui perubahan medan magnet yang terekam oleh magnetometer permukaan Bumi. Arus ionosferik di daerah ekuator dan daerah lintang rendah mengalir dari pagi menuju sore. Sebagai konsekuensi dari hukum Maxwell maka aliran arus listrik tersebut akan menginduksi medan magnet pada arah utara-selatan pada komponen vektor medan magnet. Medan magnet induksi tersebut akan memberikan kontribusi pada peningkatan kekuatan medan magnet lokal. Peningkatan kekuatan medan magnet tersebut bersifat gradual dan bergantung pada jumlah fluks radiasi matahari dan jumlah ionisasi yang terjadi di ionosfer. Peningkatan medan magnet induksi akibat ionisasi ionosfer direpresentasikan oleh variasi S_q (*solar-quiet*) geomagnet.

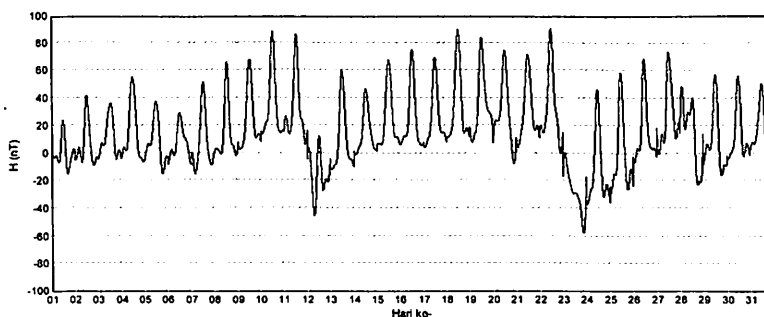
Variasi S_q dipelajari terkait dengan sifat-sifat ionosferik lokal dan menjadi baseline bagi perhitungan tingkat gangguan geomagnet, antara lain perhitungan indeks K geomagnet. Peningkatan variasi S_q menunjukkan kekuatan arus ionosferik mengalami peningkatan. Sedangkan gangguan geomagnet diekstrak sebagai selisih antara besar medan magnet yang terukur dikurangi oleh variasi S_q paling tenang dalam satu bulan yang ditinjau. Dalam makalah ini, dibahas bagaimana menentukan hari paling tenang dari variasi S_q dalam satu bulan. Untuk keperluan tersebut dianalisis sifat-sifat simetri dari variasi S_q dimana untuk kondisi magnetosfer dan ionosfer tanpa gangguan variasi S_q memiliki sifat yang sangat simetri.

Penentuan hari paling tenang dari variasi S_q dilakukan dengan meninjau komponen H variasi medan magnet yang terekam pada bulan Januari 2000. Komponen- H variasi medan magnet tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2-1, dimana sumbu horisontal menyatakan hari dalam bulan Januari 2000. Sedangkan sumbu vertikal menyatakan besar perubahan medan magnet. Variasi S_q dihitung dengan menerapkan analisis Fourier terhadap komponen- H variasi medan magnet (Bloomfield, 2000; Boas, 2006). Dekomposisi data dilakukan hingga harmonik ke empat yang masing-masing bersesuaian dengan osilasi 24, 12, 8, dan 6 jam dari variasi harian medan magnet.

Jumlah dari variasi untuk semua harmonik tersebut merupakan variasi Sq. Hasil dekomposisi data komponen H variasi medan magnet ditunjukkan dalam Gambar 2-2.



Gambar 2-1. Komponen H variasi medan magnet yang teramati di Biak selama bulan Januari 2000



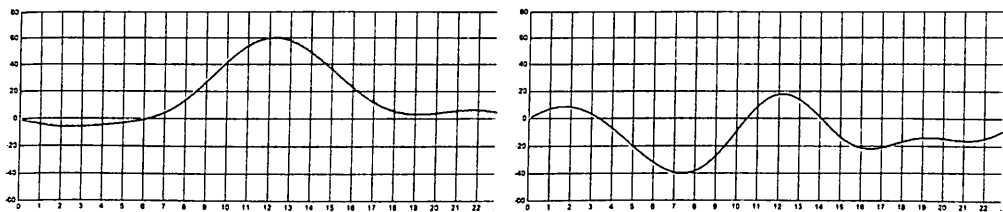
Gambar 2-2. Variasi Sq yang merupakan hasil dekomposisi Fourier variasi medan magnet yang terekam di Biak selama bulan Januari 2000

Ionosfer mendapatkan tambahan arus melalui proses ionisasi yang salah satunya sebagai akibat dari pemanasan ionosfer oleh radiasi elektromagnetik matahari. Untuk daerah sekitar ekuator, fluks radiasi tersebut mengalami peningkatan dari pagi menuju tengah hari dan mengalami penurunan dari tengah hari menuju sore dan pada malam hari hingga subuh pemanasan mencapai nilai minimumnya. Ini berarti bahwa dalam rentang waktu pagi menuju tengah hari terjadi peningkatan medan magnet induksi dan mencapai puncaknya pada sekitar tengah hari dan kemudian mengalami penurunan lagi menuju level dimana fluks radiasi matahari bernilai minimum. Untuk kondisi tidak tanpa gangguan dianggap bahwa peningkatan dan penurunan variasi Sq memenuhi sifat-sifat simetri selama pagi hingga tengah hari dan selama tengah hari menuju sore. Simetri lainnya harus terpenuhi pula pada daerah waktu sore menuju tengah malam dan

tengah malam hingga pagi. Sistem tanpa adanya gangguan bersifat sangat simetri dan merupakan kondisi paling tenang dari variasi S_q . Kehadiran gangguan akan memodifikasi sifat-sifat variasi S_q . Penentuan hari paling tenang dari variasi S_q yang dibahas dalam makalah ini merujuk pada sifat-sifat simetrinya pada daerah waktu pagi hingga tengah hari dan tengah hari hingga sore, serta sore hingga tengah malam dan tengah malam hingga pagi.

3. Hasil dan Pembahasan

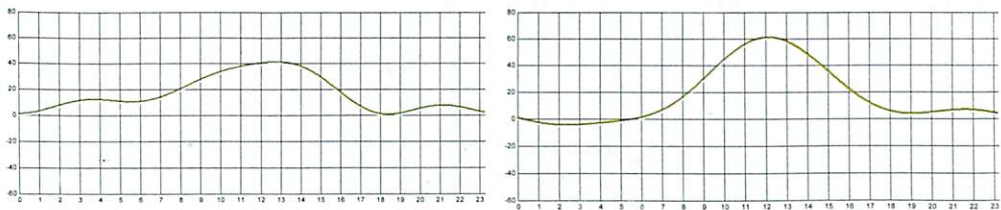
Dekomposisi Fourier mengandung superposisi fungsi sinus dan cosinus. Oleh karena itu, diharapkan untuk kondisi tanpa gangguan hasil dekomposisi tersebut masih membawa sifat simetri dari fungsi *sinus* dan *cosinus*. Superposisi ini memiliki puncak pada siang hari dan nilai minimumnya pada malam hari. Hal ini karena pada radiasi elektromagnetik yang memanaskan ionosfer pada siang hari lebih banyak dibandingkan malam hari. Pemanasan ionosfer menggerakkan dan membangkitkan arus listrik tambahan di ionosfer yang selanjutnya menginduksi tambahan medan magnet bagi medan magnet Bumi. Kehadiran gangguan pada variasi harian diantaranya akibat datangnya partikel-partikel angin surya dan berinteraksi dengan magnetosfer juga memberikan kontribusi terhadap perubahan medan magnet Bumi dan dapat memodifikasi atau merusakkan sifat-sifat simetri dari fungsi trigonometri tersebut. Oleh karena itu, kondisi variasi S_q tenang dapat diwakili oleh sifat simetri dari variasi S_q tersebut. Semakin simetri variasi S_q maka semakin kecil gangguan geomagnet pada variasi medan magnet, dan sebaliknya semakin tidak simetri variasi S_q maka semakin besar gangguan pada variasi medan magnet. Dengan kata lain, semakin simetri variasi S_q maka aktivitas geomagnet semakin tenang dan semakin tidak simetri terkait dengan kondisi geomagnet terganggu.



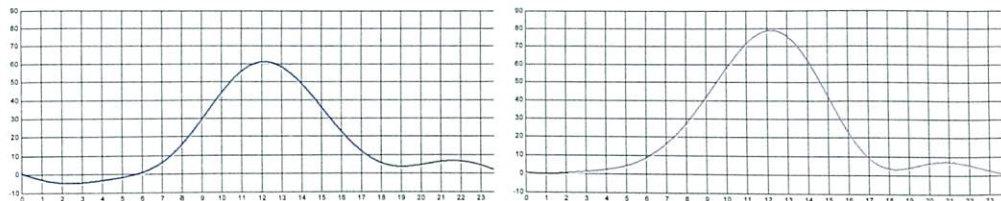
Gambar 3-1. Variasi S_q dari komponen-H medan magnet Bumi pada tanggal 9 dan 12 Januari 2000 dihitung dari variasi medan magnet yang terekam oleh magnetometer di Biak.

Pertama, ditinjau komponen H variasi medan magnet pada tanggal 9 dan 12 Januari 2000. Aktivitas geomagnet pada kedua hari tersebut berbeda, yaitu pada tanggal 12 Januari adalah hari dimana terjadi fase ekspansi badai geomagnet sedangkan tanggal 9 Januari tidak terjadi badai magnet. Pada dasarnya, tingkat aktivitas geomagnet paling tenang dapat ditentukan melalui nilai rata-rata variasi S_q . Akan tetapi, posisi

magnetometer terkadang tidak stabil/mudah berubah menyebabkan terjadinya loncatan transien pada data rekaman magnetometer tersebut. Hal tersebut menyebabkan sulitnya untuk menentukan tingkat aktivitas geomagnet paling rendah berdasarkan nilai rata-rata. Analisis sifat-sifat Sq pada kedua hari dengan kondisi yang berbeda untuk membuktikan pernyataan di atas bahwa pada hari dimana tingkat aktivitas geomagnet rendah variasi Sq menunjukkan sifat yang lebih simetri dibandingkan pada saat aktivitas geomagnet tinggi. Variasi Sq tanggal 9 (kiri) dan 12 (kanan) Januari ditunjukkan dalam Gambar 3-1. Sumbu horisontal menyatakan waktu LT (jam) sedangkan sumbu vertikal merepresentasikan amplitudo Sq dalam besaran nT. Dari gambar tersebut dengan mudah terlihat bahwa pada tanggal 9 Januari variasi Sq memiliki maksimum pada sekitar tengah hari dan minimum di pada malam hari. Sedangkan pada tanggal 12 Januari variasi Sq memiliki puncak pada sekitar tengah hari dan menunjukkan adanya minimum pada sekitar 07:00 UT. Maksimum variasi Sq pada tanggal 12 Januari lebih kecil dibandingkan tanggal 9 Januari. Hal tersebut terjadi karena adanya medan magnet perturbasi arah selatan mana mengakibatkan tereduksinya variasi Sq. Fakta ini menunjukkan bahwa besar atau kecilnya nilai maksimum dari variasi Sq tidak menjadi dasar bagi penentuan variasi Sq paling tenang.



Gambar 3-2. Variasi Sq dari komponen-H medan magnet Bumi pada tanggal 3 dan 9 Januari 2000 dihitung dari variasi medan magnet yang terekam oleh magnetometer di Biak



Gambar 3-3. Variasi Sq dari komponen-H medan magnet Bumi pada tanggal 9 dan 18 Januari 2000 dihitung dari variasi medan magnet yang terekam oleh magnetometer di Biak

Contoh lainnya, ditinjau variasi Sq komponen H medan magnet pada tanggal 3 dan 9 Januari 2000 yang ditunjukkan dalam Gambar 3-2. Kondisi magnetosfer Bumi pada kedua hari tersebut tidak terjadi badai magnet. Panel kiri Gambar 3-2, menunjukkan variasi Sq tanggal 3 Januari. Sedangkan panel kanan menunjukkan variasi Sq tanggal 9 Januari 2000. Perbandingan variasi Sq pada ke dua hari tersebut menunjukkan bahwa variasi Sq pada tanggal 9 Januari bersifat lebih simetri

dibandingkan tanggal 3 Januari. Dari sifat simetri variasi Sq maka tanggal 9 Januari lebih tenang dibandingkan tanggal 3 Januari. Bukti ini dapat dilihat melalui indeks Kp pada Tabel 1 dalam representasi waktu LT (waktu-lokal) dimana indeks Kp geomagnet pada tanggal 3 Januari lebih tinggi dibandingkan tanggal 9 Januari.

Tabel 3-1.
Indeks Kp geomagnet pada bulan Januari 2000

	Jam (UT)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
01	5+	5-	4	3+	4+	3	4+	4-
02	3	3+	3+	3+	3-	3+	3+	3
03	3+	3	3-	3-	2+	2+	3	2-
04	2+	2+	2+	3	3+	3-	2+	4-
05	4	3+	3+	3+	2+	3	4-	4
06	3-	3+	2	3+	4+	4+	3	3+
07	3+	3	1+	2	2	2+	3-	2
08	2	1-	1+	2-	2-	2+	1-	0
09	1+	1+	0	0	0+	0+	0+	2-
10	1+	2	1-	1-	1	2-	2	3
11	3	2+	2-	2+	4-	4-	5+	5+
12	4-	3	3-	2	1	2	2+	2
13	2	2+	2+	3	2+	3-	1	2-
14	3	2+	1	1-	2-	2+	2+	2-
15	2	2	1+	1-	2	1+	1+	2-
16	1+	1	1+	1+	2-	2-	2-	2
17	1+	0+	1	0+	1-	0+	1-	0
18	0+	0+	1-	1-	1	1+	1-	1-
19	1-	0+	1-	0+	1-	1+	2	3
20	2+	2-	2+	2	3	2+	4-	2-
21	1-	0	0	0+	1-	0+	0	0+
22	1+	2+	2+	3	3+	3+	5+	5+
23	6+	6-	2	4-	4-	3-	1	1
24	2-	3-	4	3+	2+	2+	2+	3
25	2	3-	2	1+	1	1+	2+	2-
26	2	3	2	1+	1	1	1+	3
27	3+	2+	2-	2	3	3	4+	4+
28	5	5	4+	4-	4+	4-	3+	4+
29	4+	4	4+	4	4+	5-	4+	4-
30	3-	3-	3+	2	3+	3	4-	3
31	3+	2+	3-	2+	2+	3-	2	2

	Jam (LT)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
01				5+	5-	4	3+	4+
02	3	4+	4-	3	3+	3+	3+	3-
03	3+	3+	3	3+	3	3-	3-	2+
04	2+	3	2-	2+	2+	2+	3	3+
05	3-	2+	4-	4	3+	3+	3+	2+
06	3	4-	4	3-	3+	2	3+	4+
07	4+	3	3+	3+	3	1+	2	2
08	2+	3-	2	2	1-	1+	2-	2-
09	2+	1-	0	1+	1+	0	0	0+
10	0+	0+	2-	1+	2	1-	1-	1
11	2-	2	3	3	2+	2-	2+	4-
12	4-	5+	5+	4-	3	3-	2	1
13	2	2+	2	2	2+	2+	3	2+
14	3-	1	2-	3	2+	1	1-	2-
15	2+	2+	2-	2	2	1+	1-	2-
16	1+	1+	2-	1+	1	1+	1+	2-
17	2-	2-	2	1+	0+	1	0+	1-
18	0+	1-	0	0+	0+	1-	1-	1
19	1+	1-	1-	1-	0+	1-	0+	1-
20	1+	2	3	2+	2-	2+	2	3
21	2+	4-	2-	1-	0	0	0+	1-
22	0+	0	0+	1+	2+	2+	3	3+
23	3+	5+	5+	6+	6-	2	4-	4-
24	3-	1	1	2-	3-	4	3+	2+
25	2+	2+	3	2	3-	2	1+	1
26	1+	2+	2-	2	3	2	1+	1
27	1	1+	3	3+	2+	2-	2	3
28	3	4+	4+	5	5	4+	4-	4+
29	4-	3+	4+	4+	4	4+	4	4+
30	5-	4+	4-	3-	3-	3+	2	3+
31	3	4-	3	3+	2+	3-	2+	2+

Sumber: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>

Sebagai contoh lainnya, dibandingkan variasi Sq pada dua hari kondisi geomagnet tenang berdasarkan indeks Kp. Dalam hal ini dipilih variasi Sq tanggal 9 dan 18 Januari 2000. Berdasarkan indeks Kp dalam Tabel 3-1, aktivitas geomagnet pada tanggal 18 Januari lebih tenang dibandingkan dengan aktivitas pada tanggal 9 Januari. Variasi Sq pada kedua hari tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3-3. Variasi Sq pada tanggal 18 Januari lebih simetri dibandingkan variasi Sq pada tanggal 9 Januari 2000. Sifat non-simetri variasi Sq pada tanggal 9 Januari teramati pada belahan tengah malam hingga pagi (dimana variasi Sq mengalami penurunan dibawah nilai tengah malam dimana tengah malam adalah waktu variasi Sq paling tenang). Penurunan nilai Sq di

bawah nilai Sq tengah malam menunjukkan adanya gangguan pada rentang waktu pukul 00:00-06:00 LT dimana gangguan tersebut mereduksi medan magnet di ionosfer Biak. Dengan demikian, dari perbandingan simetrisitas variasi Sq tanggal 9 dan 18 Januari 2000 disimpulkan bahwa variasi Sq pada tanggal 18 Januari lebih tenang dari variasi Sq tanggal 9 Januari 2000.

Lima hari paling tenang dari variasi Sq dalam satu bulan ditentukan dengan membandingkan simetrisitas variasi Sq dalam bulan yang ditinjau. Prosedur di atas dilakukan untuk seluruh variasi Sq dalam bulan tersebut. Dengan metode ini lima hari paling tenang variasi Sq bulan Januari 2000 yang dihitung dari variasi medan magnet yang terekam di BPKWA Biak yaitu pada tanggal 18, 19, 9, 10 dan 17 Januari 2000. Hasil penentuan lima hari paling tenang variasi Sq dengan membandingkan simetrisitasnya konsisten dengan indeks Kp. Penentuan variasi Sq geomagnet paling tenang tidak dapat ditentukan berdasarkan variasi Sq yang nilai maksimumnya paling kecil karena keberadaan gangguan menyebabkan medan magnet Bumi dan sebagai konsekuensinya adalah penurunan nilai maksimum dari variasi Sq-nya. Sebagai contoh badai magnet merupakan gangguan yang membawa arus diamagnetik dan mereduksi kekuatan medan magnet Bumi. Oleh sebab itu, pada saat berlangsungnya badai magnet nilai maksimum dari variasi Sq mengalami penurunan, akan tetapi sifat simetri dari variasi Sq menjadi terusakkan.

4. Kesimpulan

Perhitungan variasi Sq dilakukan dengan menerapkan metode dekomposisi Fourier dan ditinjau osilasi hingga harmonik ke-4 dari deret Fourier. Variasi Sq paling tenang dalam 1-bulan dianalisis berdasarkan sifat-sifat simetri dari variasi Sq tersebut. Kondisi paling tenang dari aktivitas geomagnet direpresentasikan oleh variasi Sq paling simetri sedangkan keberadaan gangguan menyebabkan perubahan sifat variasi Sq. Hasil analisis kesimetrian variasi Sq ini menunjukkan konsistensi dengan indeks Kp, yaitu variasi Sq paling simetri terjadi pada hari dimana indeks Kp paling kecil.

Daftar Rujukan

- Bloomfield, P., *Fourier Analysis of Time Series, An Introduction*, 2nd Edition, John-Wiley & Sons, Inc., 2000.
- Boas, M. L., *Mathematical Methods in the Physical Sciences*, 3rd Edition, John-Wiley & Sons, 2006.
- <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>