

Analisis Klasifikasi dan Penyebab Badai Geomagnet pada Siklus Matahari ke-24

Kharisma Adhiguna , Muhammad Taufik Asy'ari, Sutrisno

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Malang, 65145, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: kharisma.adhiguna.1803226@students.um.ac.id

Paper received: xx-xx-xxxx; revised: xx-xx-xxxx; accepted: xx-xx-xxxx

Abstract

Long-term predictions of solar activity levels are needed to anticipate the effects of space weather on space missions, communications, and navigation, which can last for two sunspot cycles of 11 years each. Using an observative quantitative method by observing changes in Earth's magnetic field Dst through the WDC Kyoto site, the 24th Solar Cycle has maximum double activity. The first occurred in late 2013 and the other in 2015. Geomagnetic activity on Earth is generally in the presence of maximum activity from the Sun. By observing changes in the Dst index and solar activity, we will be able to produce a picture of the solar cycle. The results obtained after finding the source of geomagnetic storms and presenting them in graphical form, show that the common source of storms is the solar wind. The percentage of storms is greater than all weak classifications during the 24th cycle, which is 50% with a total of 136 events in one cycle. Over the past 11 years, Earth has experienced quite a number of geomagnetic storms with various classifications of storms.

Keywords: Geomagnetic Storm ; Etc ; Hurricane Classification

Abstrak

Prediksi tingkat aktivitas Matahari jangka panjang diperlukan untuk mengantisipasi efek cuaca antariksa pada misi antariksa, komunikasi, dan navigasi yang dapat berlangsung selama dua siklus bintik Matahari yang masing-masing 11 tahun. Menggunakan metode kuantitatif observatif dengan mengamati perubahan Dst medan magnet Bumi melalui situs WDC Kyoto, Siklus Matahari ke-24 memiliki aktivitas maksimum ganda. Yang pertama terjadi pada akhir tahun 2013 dan yang lainnya pada tahun 2015. Aktivitas geomagnet di Bumi pada umumnya dikaitkan dengan adanya aktivitas maksimum dari Matahari. Dengan mengamati perubahan indeks Dst dan aktivitas Matahari akan mampu menghasilkan gambaran siklus Matahari. Hasil yang diperoleh setelah mengidentifikasi sumber badai geomagnet dan menyajikannya ke dalam bentuk grafik, menunjukkan bahwa sumber paling umum badai adalah angin Matahari. Persentase badai lemah lebih besar dari semua klasifikasi badai selama siklus ke-24, yaitu 50% dengan total 136 kali kejadian dalam satu siklus. Selama 11 tahun, Bumi mengalami cukup banyak badai geomagnet dengan berbagai klasifikasi badai.

Kata kunci: Badai Geomagnet ; Dst ; Klasifikasi Badai

1. Pendahuluan

Prediksi tingkat aktivitas Matahari jangka panjang diperlukan untuk mengantisipasi efek cuaca antariksa pada misi antariksa yang dapat berlangsung selama dua siklus bintik Matahari yang masing-masing 11 tahun. Prediksi ini juga menguji pemahaman kita tentang dinamo Matahari dan model yang digunakan untuk memahami penyebab *flare* dan lontaran massa korona (CME). Siklus Matahari ke-24 dimulai pada Desember 2008, mengikuti aktivitas minimum Matahari yang berlangsung lebih lama dari rata-rata dan mencapai rekor tingkat aktivitas Matahari dan geomagnetik yang rendah (Pesnell, 2016). Siklus matahari ke-24 berakhir pada bulan Desember 2020, memasuki siklus ke 25 pada awal Januari 2021. Siklus Matahari ke-24 memiliki aktivitas maksimum ganda (Hathaway, 2015), (Gonzalez et al., 1990). Aktivitas maksimum pertama terjadi pada akhir tahun 2013 dan yang kedua pada

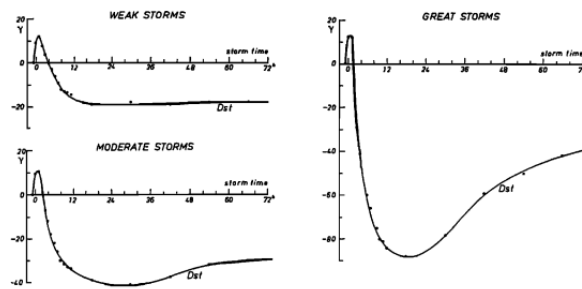
tahun 2015. Dalam kedua kasus tersebut, aktivitas Matahari relatif rendah dibandingkan siklus sebelumnya (Navia et al., 2018). Matahari secara terus menerus memancarkan partikel, radiasi, dan medan magnet ke ruang antariksa. Substansi-substansi tersebut sampai ke Bumi melalui aktivitas Matahari.

Aktivitas pada Matahari tersebut antara lain disebabkan karena adanya fenomena lontaran massa korona atau disebut Coronal Mass Ejection (CME), adanya *flare* matahari (Solar Flare), dan lubang korona (Coronal Holes) (Basavaiah, 2012). Penyebab paling umum badai geomagnet adalah aliran angin Matahari. Aliran angin Matahari dibedakan menjadi tiga, yaitu SSW, HSS, dan CIR. SSW memiliki kecepatan sekitar 300 – 500 km/s sedangkan HSS memiliki kecepatan mencapai 750 km/s. CIR merupakan struktur yang terbentuk ketika aliran angin Matahari berkecepatan tinggi menyusul aliran angin matahari lambat ketika mereka merambat keluar (Alves et al., 2006). Selama aktivitas Matahari minimum, CIR memainkan peran dominan sebagai sumber gangguan geomagnet (Alves et al., 2006), (Tsurutani & Gonzalez, 1995), (Gonzalez et al., 1999). Badai geomagnet yang disebabkan oleh semburan Matahari (*flare*) biasanya dimulai dengan peningkatan tiba-tiba dari medan magnet bumi pada fase awal, disebut Badai Permulaan Tiba-Tiba (*Sudden Commencement/SC*). Badai menyebabkan Aliran Angin Matahari Berkecepatan Tinggi (*High Speed Solar Wind Stream/HSSWS*) (Rama Rao et al., 2009). CME adalah pemicu utama munculnya badai geomagnet kuat karena CME dapat mengakibatkan naiknya kerapatan dan kecepatan angin surya (Yatini, n.d.).

Aktivitas Matahari menyebabkan badai geomagnet. Badai geomagnet terjadi dengan meningkatnya medan magnet bumi sedikit demi sedikit (Rama Rao et al., 2009). Terdapat masalah serius yang ditimbulkan badai geomagnet. mengganggu aktivitas manusia di Bumi maupun di luar angkasa (Masruri & Nanda, 2018). Jika badai cukup besar, maka akan menimbulkan gangguan pada alat komunikasi dan navigasi. Jika badai sangat kuat, maka akan menimbulkan *blackout* dan kerusakan jaringan listrik lainnya. Badai geomagnet memiliki beberapa kategori klasifikasi yang berbeda. Klasifikasi didasarkan pada besar atau kecilnya medan magnet, dengan satuan nanotesla (nT).

2. Metode

Metode yang digunakan adalah kuantitatif observatif, yaitu mengamati perubahan indeks Dst pada skala ekuatorial hingga lintang tinggi. Dengan menggunakan indeks Dst, lebih dari 1200 badai geomagnetik, dari yang lemah hingga yang intens, yang mencakup lebih dari tiga siklus Matahari telah diperiksa secara statistik. Data medan magnet antar planet (Interplanetary Magnetic Field/IMF) dan angin Matahari juga telah digunakan dalam berbagai macam penelitian (Kamide et al., 1998). Aspek morfologi penting dari badai magnetik adalah variasi rata-rata Dst nya (Loewe & Prölss, 1997). Salah satu upaya yang paling terkenal dalam penetapan perilaku rata-rata dari badai geomagnetik adalah hal yang dilakukan oleh



Gambar 1. Variasi Waktu Badai Dst (H) Selama Tiga Hari Pertama Badai Geomagnetik Lemah, Sedang, dan Kuat Untung Lintang Dipol Data-Rata 30° pada Tahun 1960 (Sugiura & Chapman, 1961)

Sugiura dan Chapman tahun 1960. Gambar 1 menjelaskan tentang perilaku rata-rata dari badai geomagnetik yang didapatkan dari pengamatan indeks Dst oleh Sugiura dan Chapman.

2.1 Klasifikasi Badai Geomagnetik

Data Indeks Dst yang digunakan berasal dari situs http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html. Indeks Dst dapat dianggap sebagai sinyal keluaran dari sistem dinamis yang digerakkan oleh input eksternal, yaitu angin matahari. Sejumlah model empiris telah disarankan sebagai representasi yang valid dari dinamika Dst (Burton et al., 1975; Fenrich & Luhmann, 1998; Lundstedt et al., 2002; Lundstedt & Wintoft, n.d.; O'Brien & McPherron, 2000; Wu & Lundstedt, 1996) Untuk klasifikasinya sendiri, memakai besar atau kecilnya nilai indeks Dst yang memiliki satuan nanotesla (nT). Sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Sugiura dan Chapman (1960) [16].

Tabel 1. Klasifikasi Badai Geomagnetik Berdasarkan Besar Nilai Dst

Klasifikasi Badai Geomagnet	Indeks Dst (nT)
Quiet	>-30
Weak Storm	-31 – (-50)
Moderate Storm	-51 – (-100)
Strong Storm	-101 – (-200)
Severe Storm	-201 – (-350)
Great Storm	<-350

2.2 Penyebab Badai Geomagnetik

Penyebab badai geomagnetik pada siklus Matahari ke-24 ini dapat diakses melalui situs <https://spaceweather.com/archive.php>. Dari situs ini, dapat diketahui penyebab badai yang terjadi pada bulan dan tahun tertentu.

1. Filamen/prominensa
Prominensa atau juga bisa disebut filamen merupakan bagian Matahari menyerupai lidah api yang sangat besar dan terang yang mencuat keluar dari bagian permukaan serta sering kali berbentuk loop (putaran).
2. Bintik Matahari
Bintik matahari dipengaruhi oleh adanya aktivitas magnetis yang mengakibatkan terhambatnya konveksi dan membentuk daerah yang tampak hitam yang bersuhu lebih dingin dari sekitarnya. Bintik Matahari dapat memicu terjadinya flare dan lontaran

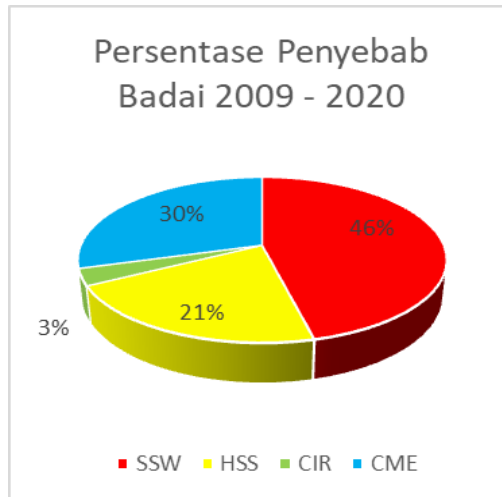
- massa korona (Fajarwati & Nugroho, 2020)
3. Flare
Atmosfer Matahari yang relatif tenang, dapat secara tiba-tiba meledak dengan energy yang luar biasa. Partikel dan radiasi flare mencapai bumi sekitar 8 menit (waktu yang sama yang dibutuhkan sinar matahari mencapai Bumi). Flare dapat mengakibatkan naiknya radiasi Ultra Violet (UV) dan sinar X yang akan mengionisasi atmosfer atas Bumi. Peristiwa flare bervariasi sesuai dengan siklus 11 tahun aktivitas Matahari
 4. bang Korona
Lubang korona merupakan salah satu aktivitas Matahari yang selalu diamati karena akan berpengaruh pada cuaca antariksa. Teori sederhana mengenai lubang korona adalah bahwa lubang korona timbul ditandai dengan terbukanya medan magnet Matahari ke ruang antariksa, sehingga fluks magnet dianggap sebagai faktor pemicu munculnya lubang korona di Matahari (Yunisa, 2020).
 5. Lontaran Massa Korona (CME)
Lontaran massa korona atau biasa disebut Coronal Mass Ejection (CME) adalah terlontarnya plasma Matahari dalam jumlah yang besar dan membawa medan magnet (Masruri & Nanda, 2018). CME merupakan ledakan paling dahsyat dari Matahari. CME adalah pemicu utama munculnya badai geomagnet kuat karena CME dapat mengakibatkan naiknya kerapatan dan kecepatan angin surya
 6. Angin Matahari
Matahari secara terus menerus memancarkan aliran dan plasma ke segala arah yang biasa disebut sebagai angin Matahari. Aliran dan plasma ini mengandung elektron, proton, ion, dan medan magnet. Angin Matahari bergerak dengan kecepatan supersonik

3. Hasil dan Pembahasan

Pada siklus Matahari ke 24, terjadi banyak badai geomagnetik dengan berbagai macam penyebab dan klasifikasi. Dalam hal ini, akan dijelaskan penyebab dari badai geomagnetik dahulu.

3.1 Penyebab Badai Geomagnetik Siklus Matahari ke-24

Penyebab terjadinya badai geomagnet yang dampaknya dialami oleh Bumi umumnya disebabkan oleh Stream of Solar Wind (SSW), High Speed of Solar Wind (HSS), Co-rotating Interaction Region (CIR), dan Coronal Mass Ejections (CME). Selama aktivitas Matahari minimum, CIR memainkan peran dominan sebagai sumber gangguan geomagnet (Alves et al., 2006), (Tsurutani & Gonzalez, 1995), (Gonzalez et al., 1999). CME adalah pemicu utama munculnya badai geomagnet kuat karena CME dapat mengakibatkan naiknya kerapatan dan kecepatan angin surya (Yatini, n.d.). Secara keseluruhan, dilihat pada Gambar 2, pada siklus ke-24 persentase penyebab badai geomagnet tertinggi adalah SSW dengan persentase 46% dengan total kejadian seratus dua puluh tujuh kali, diikuti dengan CME sebesar 30% dengan total kejadian



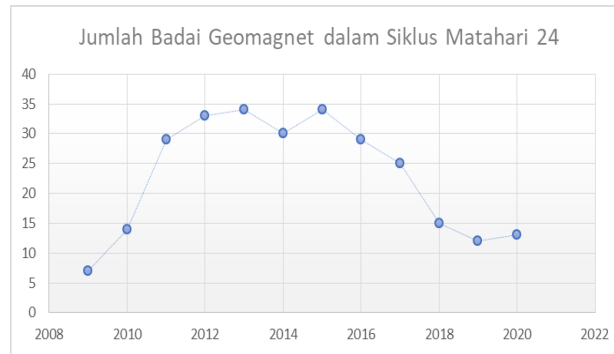
Gambar 2. Persentase Penyebab Badai pada Siklus Matahari ke-24

delapan puluh satu kali, HSS sebesar 21% dengan total lima puluh delapan kali kejadian, dan yang paling rendah yaitu CIR hanya sebesar 3% dengan total kejadian sembilan kali dalam satu siklus. Dilihat dari Tabel 2, kasus SSW paling banyak terjadi pada tahun 2011, HSS pada tahun 2017, CIR pada tahun 2014, dan CME pada tahun 2012. CME umumnya menjadi penyebab utama pada kasus badai kuat. Hal inilah yang barangkali tahun 2012 menjadi tahun yang paling banyak badai kuat (<-100 nT) karena banyak kasus CME yang terjadi.

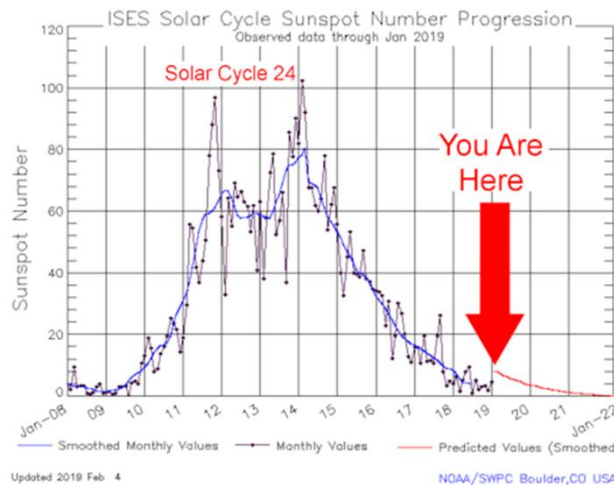
Tabel 2. Badai Geomagnetik pada Siklus Matahari e-24 dan Penyebabnya

Tahun	SSW	HSS	CIR	CME
2009	7	0	0	0
2010	12	2	0	0
2011	16	1	0	12
2012	11	2	0	20
2013	12	5	1	16
2014	12	3	4	11
2015	13	10	2	9
2016	14	9	1	5
2017	10	11	1	3
2018	10	5	0	0
2019	3	7	0	2
2020	7	3	0	3
Total	127	58	9	81

Berdasarkan data di atas, jika diperhatikan pada jumlah badai per tahun dalam siklus ke-24 sudah sesuai dimana pada awal siklus badai masih jarang terjadi. Kemudian frekuensi badai semakin sering terjadi pada tengah siklus dan mereda lagi di akhir siklus. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan korelasi antara jumlah badai geomagnet dengan jumlah bintik matahari. Ketika bintik matahari mengalami fase minimum yaitu sekitar tahun 2009 dan 2020, jumlah badai pada tahun tersebut sedikit. Ketika bintik matahari mengalami fase maksimum yaitu sekitar tahun 2015, terjadi juga puncak badai geomagnet. Dari kedua gambar, diketahui bahwa hubungan keduanya berbanding lurus.



Gambar 3. Grafik Jumlah Badai Geomagnetik pada Siklus Matahari ke-24



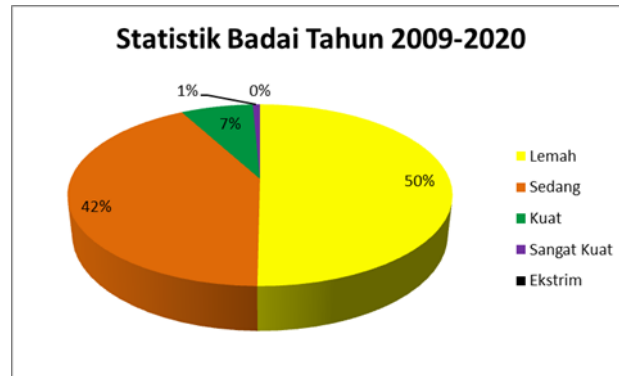
Gambar 4. Grafik Jumlah Bintik Matahari dalam Siklus Matahari ke-24

3.2 Klasifikasi Badai Geomagnetik pada Siklus Matahari ke-24

Hasil yang didapatkan dari pengelompokan nilai Dst pada siklus Matahari ke-24 dapat dilihat pada Tabel 3. Aktivitas Matahari menuju maksimum dimulai dari tahun 2011 dengan puncaknya pada tahun 2013 dan 2015. Aktivitas maksimum Matahari mulai berakhir pada tahun 2017 yang ditandai dengan berkurangnya badai sedang (Moderate). Total badai geomagnetik yang terjadi selama 11 tahun adalah 277 kali. Pada Gambar 5, dijelaskan bahwa

1. Persentase badai lemah (Weak) lebih besar dari semua klasifikasi badai selama siklus ke-24, yaitu 50% dengan total 139 kali kejadian dalam satu siklus. Badai lemah banyak terjadi pada tahun 2011 dengan 17 kali kejadian dalam setahun.
2. Badai geomagnetik sedang (Moderate) terjadi 116 kali selama satu siklus dengan persentase 42%. Kejadian paling banyak pada tahun 2015, yaitu 19 kali.
3. Badai geomagnetik kuat terjadi 20 kali dalam satu siklus dengan rata-rata kejadian sebanyak 2 kali pada tahun 2015, 2016, dan 2017. Memiliki persentase 7%.

Badai geomagnet sangat kuat (Severe) memiliki persentase yang sangat kecil selama siklus matahari ke-24, yaitu hanya 1% selama 11 tahun. Badai geomagnet sangat kuat terjadi pada tahun 2015 dengan 2 kali kejadian dalam setahun.



Gambar 5. Persentase Badai Geomagnetik pada Siklus ke-24.

Pada Maret 2015, terjadi badai geomagnet sangat kuat (Severe) yang disebut badai geomagnet St. Patrick Day dengan intensitas -222 nT dan merupakan yang terkuat pada siklus matahari ke-24.

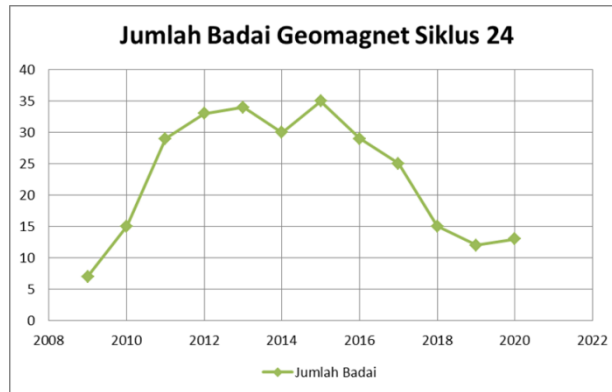
Pada bulan Juni 2015, terjadi badai geomagnet dengan intensitas -204 nT yang menyebabkan munculnya Northern Lights di Amerika Utara. Peristiwa ini disebut badai geomagnet Solstice.

Tabel 3. Badai Geomagnetik pada Siklus Matahari ke-24 dan Klasifikasinya.

Tahun	Lemah	Sedang	Kuat	Sangat Kuat
2009	6	1	0	0
2010	8	7	0	0
2011	17	9	3	0
2012	14	13	6	0
2013	14	17	3	0
2014	16	13	1	0
2015	12	19	2	2
2016	12	15	2	0
2017	15	8	2	0
2018	9	5	1	0
2019	8	4	0	0
2020	8	5	0	0
Total	139	116	20	2

Dari Gambar 6, grafik jumlah badai geomagnet pada siklus Matahari ke-24, ada dua puncak badai geomagnet yang terjadi, yaitu pada tahun 2013 dan 2015. Dalam periode siklus Matahari ke-24 ini tidak terjadi badai geomagnet ekstrem. aktivitas geomagnet mengikuti pola siklus Matahari.

Ketika Matahari dalam kondisi minimum, aktivitas geomagnet juga berada dalam kondisi minimum. Begitu juga sebaliknya, ketika aktivitas Matahari dalam kondisi maksimum, aktivitas geomagnet juga dalam kondisi maksimum. Hal ini dikarenakan sumber aktivitas geomagnet berasal dari Matahari.



Gambar 6. Grafik Jumlah Badai Geomagnetik pada Siklus Matahari ke-24

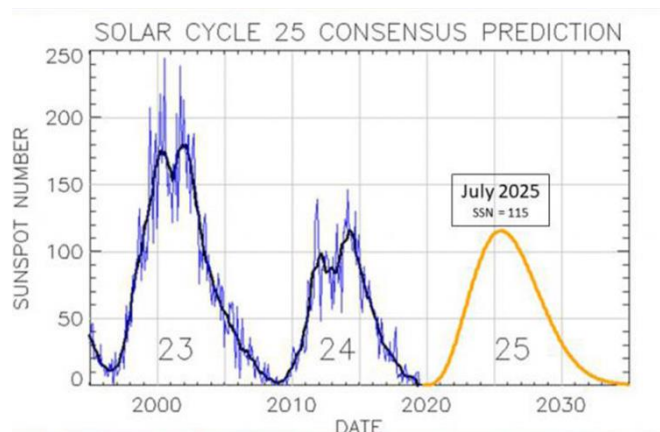
3.3 Perbandingan Siklus Matahari ke-23, 24, dan 25

Bintik Matahari pada siklus Matahari ke-24 memiliki jumlah yang lebih kecil dari siklus matahari ke-23. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, jumlah bintik Matahari pada siklus ke-23 berkisar antara 170 hingga 180. Sedangkan bintik Matahari pada siklus ke-24 berkisara antara 100 hingga 120. Ini menjelaskan bahwa dari kedua siklus, terjadi penurunan jumlah bintik Matahari, menyebabkan penurunan signifikan pada jumlah badai geomagnetik yang terjadi di siklus-24.

Untuk siklus Matahari ke-25, diprediksi bahwa puncak aktivitas Matahari terjadi pada tahun 2025, tepatnya pada bulan Juli. Namun melihat kondisi nilai Dst pada tahun pertama siklus ke-25 (9 bulan pertama tahun 2021) yang memiliki jumlah badai sedang cukup banyak (ini berbeda dari awal tahun siklus-siklus sebelumnya yang memiliki aktivitas minimum relative cukup tenang), mungkin prediksi puncak aktivitas Matahari bias berubah sewaktu-waktu.

4. Simpulan

Badai geomagnet selama siklus Matahari ke-24 mulai dari 2009 hingga 2020 terjadi sebanyak 277 kali. Hasilnya menunjukkan bahwa sumber paling umum badai adalah SSW. Urutan jumlah terbesar ke jumlah terkecil berturut-turut SSW, CME, HSS, dan CIR. CME merupakan penyebab



Gambar 7. Grafik Perbandingan Sunspot pada Siklus ke 23, 24, dan Prediksi Siklus ke-25

umum terjadinya badai kuat. Hal ini dapat dilihat pada tahun 2012 dimana banyak kasus badai

kuat disebabkan CME. Bahkan dua badai sangat kuat yang terjadi tahun 2015 juga disebabkan oleh CME. Selama 11 tahun, terjadi banyak badai geomagnet lemah dan sedang. Badai geomagnet sangat kuat terjadi pada 17 Maret 2015 yang disebut dengan badai St. Patrick Day. Ada dua puncak pada siklus ke-24 ini, yaitu pada tahun 2013 dan 2015 dengan jumlah total badai yang terjadi masing-masing adalah 34 kali pada tahun 2013, dan 36 kali pada tahun 2015 yang semuanya didominasi oleh badai sedang. Dalam periode siklus Matahari ke-24 ini, tidak terjadi badai geomagnet ekstrem.

Ucapan Terima Kasih (Opsional)

Terima kasih kepada Ibu Mira Juangsih, M.Si yang telah membantu dalam hal perevisian. Terima kasih juga khususnya kepada situs *WDC for Geomagnetism, Kyoto Dst index service* yang telah menyediakan data Indeks Dst dan situs *spaceweather.com* yang menyediakan data penyebab badai geomagnetik.

Daftar Rujukan

- Alves, M. V., Echer, E., & Gonzalez, W. D. (2006). Geoeffectiveness of Corotating Interaction Regions as Measured by Dst index. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 111(A7).
- Basavaiah, N. (2012). *Geomagnetism: Solid Earth and Upper Atmosphere Perspectives*. Springer Science & Business Media.
- Burton, R. K., McPherron, R. L., & Russell, C. T. (1975). An Empirical Relationship Between Interplanetary Conditions and Dst. *Journal of Geophysical Research*, 80(31), 4204–4214.
- Fajarwati, L., & Nugroho, S. (2020). Aktivitas Sunspot Matahari dan Pengaruhnya Terhadap Curah Hujan (Studi Kasus di Pontianak). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 7(2), 1–5.
- Fenrich, F. R., & Luhmann, J. G. (1998). Geomagnetic Response to Magnetic Clouds of Different Polarity. *Geophysical Research Letters*, 25(15), 2999–3002.
- Gonzalez, W. D., Gonzalez, A. C., & Tsurutani, B. T. (1990). Dual-Peak Solar Cycle Distribution of Intense Geomagnetic Storms. *Planetary and Space Science*, 38(2), 181–187.
- Gonzalez, W. D., Tsurutani, B. T., & Clúa de Gonzalez, A. L. (1999). Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms. *Space Science Reviews*, 88(3), 529–562.
- Hathaway, D. H. (2015). The Solar Cycle. *Living Reviews in Solar Physics*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.1007/lrsp-2015-4>
- Kamide, Y., Yokoyama, N., Gonzalez, W., Tsurutani, B. T., Daglis, I. A., Brekke, A., & Masuda, S. (1998). Two-Step Development of Geomagnetic Storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 103(A4), 6917–6921.
- Loewe, C. A., & Prölss, G. W. (1997). Classification and Mean Behavior of Magnetic Storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 102(A7), 14209–14213.
- Lundstedt, H., Gleisner, H., & Wintoft, P. (2002). Operational Forecasts of The Geomagnetic Dst Index. *Geophysical Research Letters*, 29(24), 34–1.
- Lundstedt, H., & Wintoft, P. (n.d.). *Prediction of Geomagnetic Storms from Solar Wind Data With The Use of a Neural Network*. 1.
- Masruri, M. F. I., & Nanda, B. M. T. F. (2018). Analisis Indeks Aktivitas Geomagnet pada Saat Badai Geomagnet 13 Oktober 2016. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 5(2), 71–78.
- Navia, C. E., de Oliveira, M. N., & Augusto, C. R. (2018). The Highest Geomagnetic Storms of The Solar Cycle Observed at Ground Level. *Extreme Weather. Sallis PJ, (Ed.) IntechOpen*, 31–47.

- O'Brien, T. P., & McPherron, R. L. (2000). Forecasting the Ring Current Index Dst in Real Time. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62(14), 1295–1299.
- Pesnell, W. D. (2016). Predictions of Solar Cycle 24: How are we doing?: Solar Cycle 24 Predictions Update. *Space Weather*, 14(1), 10–21. <https://doi.org/10.1002/2015SW001304>
- Rama Rao, P. V. S., Gopi Krishna, S., Vara Prasad, J., Prasad, S., Prasad, D., & Niranjana, K. (2009). Geomagnetic Storm Effects on GPS Based Navigation. *Annales Geophysicae*, 27(5), 2101–2110.
- Sugiura, M., & Chapman, S. (1961). *The Average Morphology of Geomagnetic Storms with Sudden Commencement*. High Altitude Observatory Boulder Colo.
- Tsurutani, B. T., & Gonzalez, W. D. (1995). The Future of Geomagnetic Storm Predictions: Implications from Recent Solar and Interplanetary Observations. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 57(12), 1369–1384.
- Wu, J.-G., & Lundstedt, H. (1996). Prediction of Geomagnetic Storms from Solar Wind Data Using Elman Recurrent Neural Networks. *Geophysical Research Letters*, 23(4), 319–322.
- Yatini, C. Y. (n.d.). *Dampak Aktivitas Matahari Terhadap Cuaca Antariksa*. 10(1), 7.
- Yunisa, H. (2020). *Penggunaan Regresi Kuantil P-Splines dalam Varying Coefficient Model Fluks Medan Magnet terhadap Luas Area Lubang Korona Matahari* [PhD Thesis].