

**PARAMETER NON-POTENSIAL MAGNETIK DAERAH AKTIF
PENGHASIL FLARE BESAR DALAM SIKLUS MATAHARI KE-24
(MAGNETIC NON-POTENTIALITY IN MAJOR FLARE ACTIVE
REGION DURING 24TH SOLAR CYCLE)**

**Agustinus Gunawan Admiranto, Muhamad Zamzam Nurzaman, Rasdewita
Kesumaningrum**

Pusat Sains Antariksa,
Lembaga Penerbangan dan Antariksa
e-mail: gunawan.admiranto@lapan.go.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima:
27 November 2017
Direvisi:
13 Agustus 2018
Disetujui:
28 September 2018
Diterbitkan:
19 Nopember 2018

Kata kunci:

Flare, non-potensial
medan magnet, daerah
aktif

Medan magnet di Matahari yang salah satu dinamikanya termanifestasikan di daerah aktif dipercaya menjadi sumber dari peristiwa flare. Salah satu parameter yang penting dalam mempelajari flare adalah parameter magnetik non-potensial. Dalam hal ini, ditelaah tiga parameter non-potensial yaitu energi bebas medan magnetik di fotosfer, arus vertikal total, serta arus helisitas total untuk mempelajari perilaku medan magnet daerah aktif yang menghasilkan flare besar. Data yang dipakai di sini adalah data magnetogram yang berasal dari peralatan helioseismic magnetic imager (HMI) yang terdapat di satelit Solar Dynamic Observatory (SDO) karena mempunyai resolusi temporal yang tinggi sehingga perubahan daerah aktif selama terjadinya flare dapat teramati. Setidaknya telah ditelaah 5 daerah aktif yang menghasilkan flare besar selama siklus matahari ke-24. Hasilnya menunjukkan bahwa flare besar tidak terjadi saat ketiga parameter non-potensial magnetik mencapai puncaknya, melainkan pada saat fase naik dan/atau turun.

ABSTRACT

Keywords:

Flare, magnetic non-
potentiality, active
regions

The dynamics of solar magnetic which are manifested in active regions are believed to be the cause of the flare phenomena. One important parameter which can be used to study flare is the magnetic non-potential. There are three non-potential parameters studied to understand the behavior of the magnetic field of active regions which caused major flares, i.e. magnetic free energy in the photosphere, total vertical current, and total current helicity. In this respect we used data obtained from Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) on board of Solar Dynamic Observatory (SDO) because the temporal resolution is relatively high so the changes in the active regions can be easily observed. We studied five active regions which caused major flares which occurred in the 24-th solar cycle. The results showed that major flares didn't occur when the three

magnetic non-potential parameters reached its maximum value, but they occurred when these three parameters haven't reached its maximum values or after the maximum values had been reached.

1. PENDAHULUAN

Flare merupakan fenomena di Matahari yang menghasilkan radiasi dalam berbagai panjang gelombang seperti pancaran sinar X, radiasi dalam panjang gelombang H α , dan panjang gelombang radio (Falewicz et al. 2015). Flare itu sendiri berasal dari daerah aktif di Matahari dan merupakan hasil dari proses pelepasan energi dalam jumlah besar yang berlangsung sangat cepat (Emslie et al. 2012). Flare dan lontaran massa korona juga memberikan dampak yang cukup berarti di daerah atmosfer atas Bumi dan bisa memberikan gangguan medan magnet Bumi dan komunikasi (Cid et al. 2015).

Karena flare besar menghasilkan berbagai fenomena yang dampaknya bisa terasa di Bumi dalam bentuk gangguan ionosfer, maka prediksi flare cukup penting untuk dilakukan, terutama di masa sekarang ini di mana manusia makin tergantung pada teknologi ruang angkasa yang rawan akan gangguan dari Matahari. Oleh sebab itu, makin banyak pula upaya dilakukan agar prediksi flare menjadi makin akurat.

Satu cara untuk melakukan prediksi flare ini adalah membuat analisis dinamika medan magnet daerah aktif yang menghasilkan flare. Salah satu penelitian yang sudah dilakukan adalah yang dilakukan Bobra dan Couvidat (2015). Mereka menelaah 25 buah parameter SHARP (Space-weather Helioseismic Active Region Patch) daerah aktif dan diurutkan dari yang probabilitasnya paling besar untuk menghasilkan flare.

Telaah Bobra dan Couvidat (2015) ini kemudian diterapkan pada beberapa peristiwa flare yang berlangsung pada siklus 24 untuk melihat bagaimana perilaku daerah aktif tersebut menjelang flare berlangsung dan dari sini diharapkan bisa diperoleh informasi tentang kondisi fisis daerah-daerah aktif tersebut dan selanjutnya bisa dipakai untuk melakukan prediksi flare di daerah aktif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa penelitian yang sudah dilakukan untuk melakukan prediksi flare, misalnya yang dilakukan oleh Huang et al. (2013). Mereka menggunakan data SOHO/MDI untuk melakukan analisis pada 1055 daerah aktif yang terletak dalam jarak sejauh 30 derajat dari pusat piringan Matahari. Data ini adalah data yang diambil dalam kurun 1996-2007. Data yang mereka peroleh mereka gunakan untuk melakukan analisis *machine learning* dalam rangka melakukan prediksi flare berdasarkan posisi bujur daerah aktif dan parameter daerah aktif lainnya. Dari sini mereka kemudian membuat model prediksi flare dengan memanfaatkan informasi lainnya seperti parameter medan magnet daerah aktif yang diduga akan menghasilkan flare.

Upaya melakukan prediksi flare belum seluruhnya berhasil karena banyak aspek yang belum sepenuhnya dipahami, terutama yang terkait dengan mekanisme pemicu flare itu sendiri (Muhamad et al, 2017). Berbagai cara sudah dilakukan untuk melakukan prediksi flare ini, misalnya melalui metode *machine learning* seperti yang dilakukan oleh Nishizuka et al (2017). Mereka menggunakan data magnetogram dan peningkatan kecerlangan dalam panjang gelombang ultra ungu yang didapat dari wahana SDO dan GOES bulan Juni 2010 sampai bulan Desember 2015. Di situ mereka mendapatkan 29 flare kelas X dan 433 flare kelas M.

Dari data yang diperoleh, dilakukan prediksi flare dengan menggunakan metode *machine learning* untuk mendapatkan prediksi flare dalam kurun waktu 24 jam ke depan yang berlaku untuk flare kelas M dan X.

Song et al. (2012) melakukan analisis pada daerah aktif AR 11158. Mereka mengamati evolusi beberapa parameter medan magnet non-potensial di daerah aktif yang bersangkutan saat menjelang, puncak, dan berakhirnya flare. Parameter-parameter yang dimaksud adalah arus vertikal, helisitas arus, serta energi bebas

magnet di fotosfer. Energi magnetik bebas merupakan jumlah energi magnetik yang terkandung dalam suatu daerah aktif dan merupakan selisih antara energi magnetik total dan energi magnetik potensial. Arus vertikal merupakan jumlah arus yang tegak lurus ke arah luar dari permukaan matahari. Dan arus helisitas merupakan jumlah arus terpuntir yang terkandung dalam daerah aktif. Mereka mendapatkan bahwa non potensialitas memiliki hubungan yang lebih dekat dengan flare, bukan fluks medan magnet. Mereka juga mendapatkan bahwa rotasi bintik Matahari terkait dengan peningkatan non potensialitas ini. Oleh sebab itu, telaah tentang flare perlu melibatkan analisis tentang non potensialitas ini.

Meskipun demikian, telaah Song (2015) ini perlu diuji lagi untuk flare-flare lain yang memiliki karakteristik berbeda. Dari sini bisa diharapkan bahwa karakter non potensialitas ini bisa cukup absah untuk dipakai dalam melakukan prediksi flare.

3. DATA DAN METODE

Telaah ini menggunakan data peristiwa 5 buah flare besar yang berlangsung pada siklus 24, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3-1 di bawah. Untuk mengurangi noise akibat kelengkungan permukaan Matahari, dipilih flare besar yang dihasilkan oleh daerah aktif yang berada

pada posisi $\pm 60^\circ$. Data flare dan daerah aktif yang menjadi sumbernya diambil dari *Space Weather Prediction Center, National Oceanic and Atmospheric Administration* (<http://www.swpc.noaa.gov/>). Sedangkan untuk menelaah parameter magnetik non-potensialnya menggunakan produk dari instrumen *Helioseismic and Magnetic Imager* (HMI; Scherrer et al. 2012) yang berada di wahana ruang angkasa *Solar Dynamic Observatory* (SDO; Pesnell, Thompson, dan Chamberlin 2012) yakni *Space-weather HMI Active Region Patches* (SHARP; Bobra et al. 2014).

Parameter magnetik non-potensial yang bisa diekstrak dari data SHARP berjumlah 16 parameter (Bobra et al. 2014). Namun berdasarkan penelitian Leka & Barnes (2007) dan Bobra & Couvidat (2015), terdapat tiga parameter magnetik non-potensial yang mempunyai peluang paling besar untuk memperkirakan terjadinya flare, yakni energi bebas medan magnetik di fotosfer (*Total Photospheric Magnetic Free Energy*), arus vertikal total (*Total Unsigned Vertical Current*), serta arus helisitas total (*Total Unsigned Current Helicity*).

Data tersebut di atas kemudian diolah menggunakan modul *sunpy* (Mumford et al. 2015) di dalam bahasa pemrograman Python untuk melihat perubahan berbagai parameter di atas.

Tabel 3-1: Parameter-parameter flare yang dianalisis

No	Kejadian flare					Daerah Aktif	
	Tanggal	Awal (UT)	Akhir (UT)	Puncak (UT)	Kelas GOES	Posisi	NOAA
1	3 Maret 2015	16:11	16:29	16:22	X2,1	S17E22	12297
2	25 Juni 2015	8:02	9:05	8:16	M7,9	N12W40	12371
3	28 September 2015	14:53	15:03	14:58	M7,6	S20W28	12422
4	18 April 2016	0:14	0:39	0:29	M6,7	N11W60	12529
5	22 Juni 2015	7:39	18:23	18:23	M6,5	N13W06	12371

4. PEMBAHASAN

a. *Total photospheric magnetic free energy*

Dari gambar 4.1, parameter *total photospheric magnetic free energy* untuk

masing-masing daerah aktif menunjukkan pola yang berbeda. Hanya daerah aktif 12529 yang menghasilkan flare M6,7 saat nilai *total photospheric magnetic free energy* - nya sedang menurun. Sedangkan daerah aktif lainnya menghasilkan flare besar saat

nilai parameter tersebut naik. Berdasarkan GOES, kelas flare yang mempunyai energi paling tinggi adalah kelas-X, namun hal tersebut tidak sebanding dengan nilai *total photospheric magnetic free energy*-nya yang terus naik meskipun flare X telah terjadi. Bahkan Wallberg (2016) menemukan kejadian flare X terjadi saat parameter ini menurun.

Flare X2,1 yang dihasilkan dari daerah aktif 12297 mempunyai total *photospheric magnetic free energy* sebesar kira-kira $0,825 \times 10^{24}$ ergs/cm, lebih rendah dibandingkan dengan flare M6,5 yang dihasilkan daerah aktif 12371 yang mempunyai nilai sekitar $1,46 \times 10^{24}$ ergs/cm. Nilai tersebut merupakan nilai tertinggi *total photospheric magnetic free energy* diantara kasus yang dipilih seperti pada tabel 3.1. Sedangkan nilai *total photospheric magnetic free energy* dari daerah aktif 12297, penghasil flare kelas X2,1, menjadi yang terendah.

Untuk kasus daerah aktif 12297 dan 12422 yang menghasilkan flare X2,1 dan M7.6, nilai parameter *total photospheric magnetic free energy* (kolom 1 baris 1 dan 3 gambar 4.1) terus mengalami peningkatan setelah flare tersebut terjadi. Hal ini dapat disebabkan karena masih ada penambahan energi dari flare yang terjadi setelahnya. Sedangkan daerah aktif yang tidak diikuti flare setelahnya (daerah aktif 12371 dan 12529) nilai *total photospheric magnetic free energy* lebih fluktuatif.

b. *Total unsigned current helicity*

Grafik *total unsigned current helicity* menunjukkan pola yang hampir sama dengan grafik *total photospheric magnetic free energy* kecuali untuk daerah aktif 12371 yang menghasilkan flare M6,5. Grafik daerah aktif tersebut memiliki pola yang sedikit berbeda. Grafik *total unsigned current helicity* saat terjadi flare M6,5 berada saat fase naik. Akan tetapi beberapa jam sebelum terjadinya flare tersebut, nilainya cenderung datar. Berbeda dengan grafik *total photospheric magnetic free energy* yang mengalami penurunan nilai beberapa jam sebelum terjadinya flare tersebut.

Nilai tertinggi saat terjadinya flare besar untuk parameter ini kira-kira berada di 4300 Gauss²/m saat daerah aktif 12422 menghasilkan flare M7,6 dan terus mengalami kenaikan meskipun flare M7,6 telah berakhir. Nilai tersebut tidak berbeda jauh dengan daerah aktif 12529 saat menghasilkan flare M6,7 yaitu 4250 Gauss²/m. Namun, beberapa jam setelah flare berakhir, nilainya mengalami fluktuasi tidak monoton naik seperti daerah aktif 12422. Flare X2,1 yang berasal dari daerah aktif 12297 mempunyai harga *total unsigned current helicity* sebesar 3400 Gauss²/m dan nilai tersebut terus meningkat meskipun kejadian flare X sudah berakhir.

Berdasarkan Song et al. (2015), parameter *unsigned current helicity* mengalami fase recovery selama 3-4 jam setelah flare kuat. Dari grafik 4.1 tampak bahwa daerah aktif 12371 dan 12529 mengalami fase recovery sedangkan daerah aktif 12297 dan 12422 tidak mengalami fase recovery setelah flare besar terjadi. Ini terkait dengan terjadinya flare lagi di daerah aktif 12297 (beberapa jam setelahnya) dan 12422 (beberapa hari setelahnya) yang mengakibatkan nilai parameter ini terus meningkat. Sedangkan daerah aktif yang mengalami fase recovery tidak diikuti oleh flare lain setelahnya.

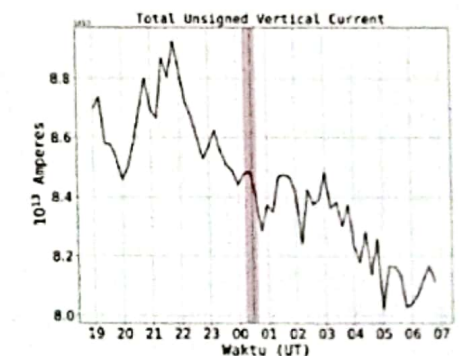
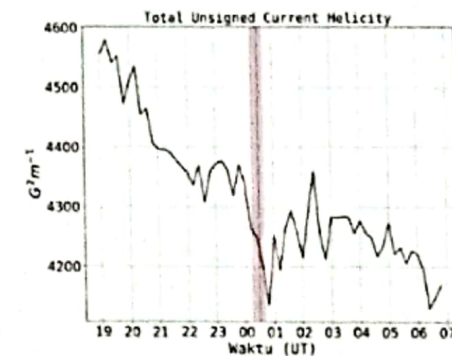
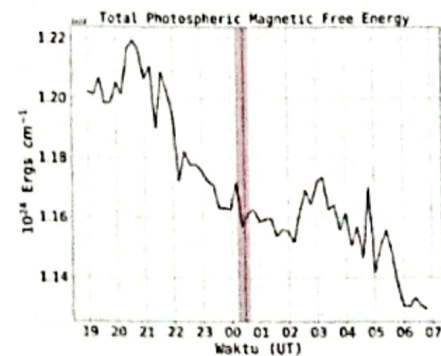
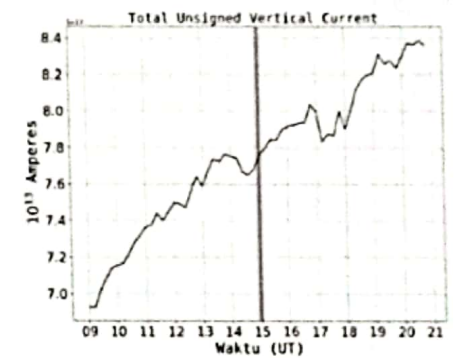
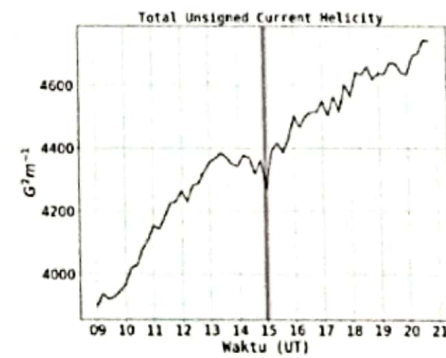
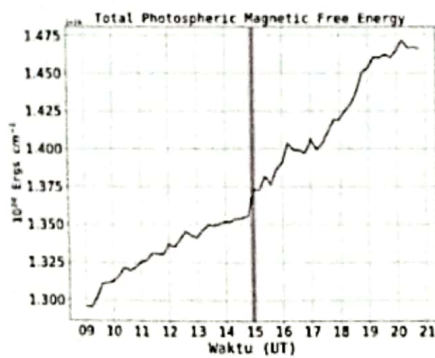
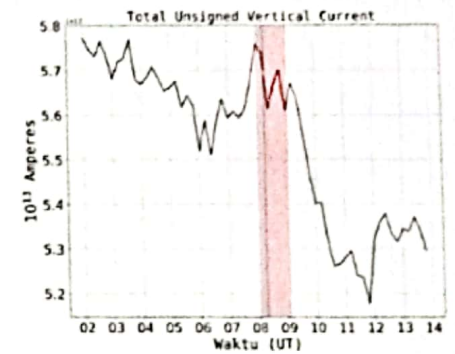
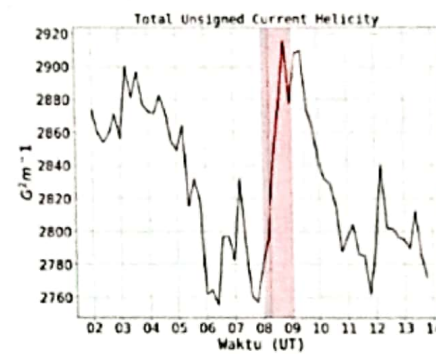
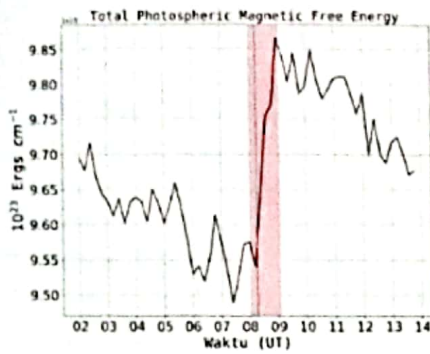
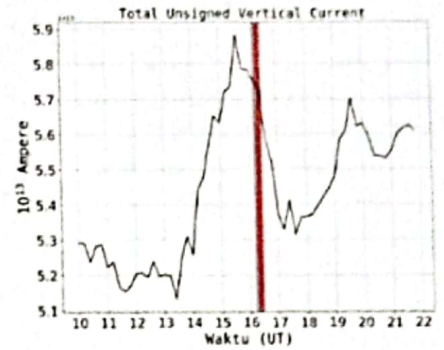
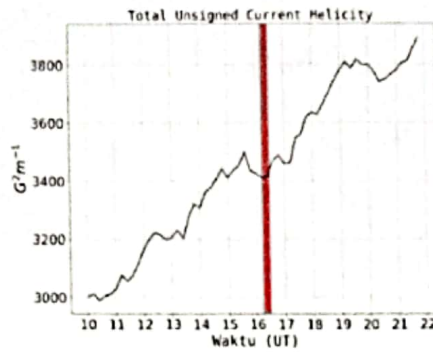
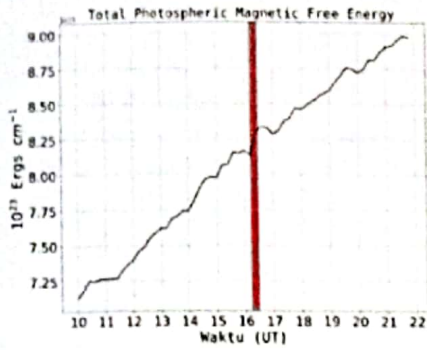
c. *Total unsigned vertical current*

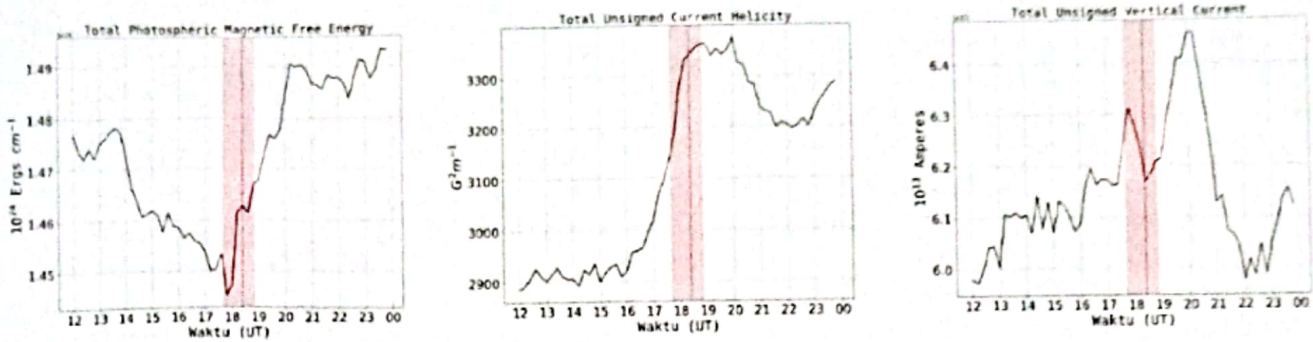
Berbeda dengan dua parameter sebelumnya, parameter *total unsigned vertical current* untuk daerah aktif 12297 saat menghasilkan flare X2,1 berada pada fase turun. Nilainya yang sekitar $5,7 \times 10^{13}$ ampere hampir sama dengan daerah aktif 12371 saat menghasilkan flare M7,9. Nilai tersebut merupakan yang terendah diantara nilai dari daerah aktif lainnya. Daerah aktif 12529 bernilai $8,4 \times 10^{13}$ ampere saat menghasilkan flare M6,7 dan menjadi nilai terbesar diantara daerah aktif penghasil flare besar lainnya. Kejadian flare tersebut terjadi saat *total unsigned vertical current* monoton turun. Secara keseluruhan, karakteristik nilai *total unsigned vertical current* saat terjadinya flare besar mempunyai dua kecenderungan, yakni berada saat nilainya terus naik dan berada saat nilainya terus

turun. Tidak ada kejadian flare besar yang terjadi saat nilai parameter ini paling tinggi.

Terkait dengan upaya melakukan prediksi flare, tampak dengan melakukan telaah tentang dinamika berbagai parameter di atas dalam waktu maka

proses prediksi flare bisa dilakukan, terutama terkait dengan dinamika parameter non potensialitas dalam waktu sebagaimana yang diuraikan oleh Song (2015) di atas.





Gambar 4.1 Parameter magnetik non-potensial *total photospheric magnetic free energy*, *total unsigned current helicity*, serta *total unsigned vertical current* berurutan mulai dari kolom 1 hingga 3 untuk daerah aktif 12297, 12371 penghasil M7,9, 12422, 12529, serta 12371 penghasil M6,5 berurutan mulai dari baris 1 hingga 5. Daerah arsir merah merupakan durasi peristiwa flare, sedangkan garis vertikal biru merupakan puncak terjadinya flare. Warna merah menandakan flare-X dan warna merah muda menandakan flare-M

5. KESIMPULAN

Parameter non-potensial magnet daerah aktif saat menghasilkan flare besar selama siklus matahari ke-24 tidak terjadi pada saat mencapai puncaknya, melainkan terjadi saat fase turun dan/atau naik. Dalam rentang waktu pengukuran, parameter total photospheric magnetic free energy mengalami peningkatan saat diikuti kejadian flare setelah flare besar. Sedangkan untuk parameter total unsigned current helicity, fase recovery terjadi beberapa jam setelahnya bila flare besar yang diukur tidak diikuti oleh flare lainnya. Saat flare besar terjadi, nilai *total unsigned vertical current* berada pada saat naik atau turun, dan tidak terjadi saat mencapai puncaknya. Dinamika berbagai parameter ini bisa dipakai untuk melakukan prediksi flare dengan mengikuti perubahannya dalam waktu.

DAFTAR RUJUKAN

- Bobra, M. G. dan Couvidat, S. (2015) Solar Flare Prediction using SDO/HMI Vector Magnetic Field Data with a Machine-Learning Algorithm, *The Astrophysical Journal*, Vol. 798, No 2, hal. 135 doi:10.1088/0004-637X/798/2/135
- Bobra, M. G., Xudong Sun, J.T. Hoeksema, M. Turmon, Y. Liu, K. Hayashi, G. Barnes, and K.D. Leka. (2014). "The Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Vector Magnetic Field Pipeline: SHARPs-Space-Weather HMI Active Region Patches." *Solar Physics* 289 (9): 3549. doi:DOI 10.1007/s11207-014-0529-3.
- Cid, C., E. Saiz., Guerrero, A., Palacios, J., Cerrato, Y. (2015). "A Carrington-like Geomagnetic Storm Observed in the 21st Century". *J. Space Weather Space Clim.* 5 (A16). doi:10.1051/swsc/2015017.
- Emslie, A. G., Dennis, B. R., Shih, A. Y., Chamberlin, P. C., Mewaldt, R. A., Moore, C. S., Share, G. H., Vourlidas, A. Welsch, B. T. (2012) Global energetics of thirty-eight large solar eruptive events *Ap J.* 759, No. 1, hal. 71 doi:10.1088/0004-637X/759/1/71
- Falewicz, R., Rudawy, P., Murawski, K., Srivastava, A. K. (2015). 2D MHD and 1D HD models of a solar flare – a comprehensive comparison of the results. *Ap. J.* 813, L21 doi:10.1088/0004-637X/813/1/70.
- Huang, X., Zhang, L., Wang, H., Li, L. (2013) Improving the performance of solar flare prediction using active longitudes information, *Astron. Astrop.* 549, A127. doi:10.1051/0004-6361/201219742
- Leka, K. D., and G. Barnes. (2007). "Photospheric Magnetic Field Properties of Flaring versus Flare-Quiet Active Regions. II. Discriminant Analysis." *The Astrophysical Journal* 656 (2): 1173–86. doi:10.1086/377512.
- Muhamad, J., Kusano, K., Inoue, S., Shiota, D. (2017) Magnetohydrodynamic Simulations for Studying Solar Flare Trigger Mechanism, *Ap. J.*, 842, 86 doi:10.3847/1538-4357/aa750e
- Mumford, Stuart J, Steven Christe, David Pérez-Suárez, Jack Ireland, Albert Y

- Shih, Andrew R Inglis, Simon Liedtke, et al. (2015). "SunPy—Python for Solar Physics." *Computational Science & Discovery* 8 (1). IOP Publishing: 14009. doi:10.1088/1749-4699/8/1/014009.
- Nishizuka, N., Sugiura, K., Kubo, Y., Den, M. Watari S., Ishii, M. (2017) Solar Flare Prediction Model with Three Machine-learning Algorithms using Ultraviolet Brightening and Vector Magnetograms, *Ap. J.* 835, 156
doi:10.3847/1538-4357/835/2/156
- Pesnell, W. Dean, B. J. Thompson, and P. C. Chamberlin. (2012). "The Solar Dynamics Observatory (SDO)." *Solar Physics* 275 (1–2): 3–15. doi:10.1007/s11207-011-9841-3.
- Scherrer, P.H., Schou, J., Bush, R.I., Kosovichev, A.G., Bogart, R.S., Hocksema, J.T., Liu, Y., Duvall Jr., T. L , Zhao, J., Title, A.M., Schrijver, C.J., Tarbell, T.D., Tomczyk, S. (2012), The Helioseismic and Magnetic Imager(HMI) Investigation for the Solar Dynamics Observatory(SDO), *Solar Phys* (2012) 275:207–227.
doi: 10.1007/s11207-011-9834-2
- Song, Q., Zhang, J., Yang, S., Liu, Y. (2012) Flares and Magnetic Non-potentiality of NOAA AR 11158, *Res. Astron. Astrophys.* 13, 226
doi:10.1088/1674-4527/13/2/009
- Song, H. Q., Chen, Y., Zhang, J., Cheng, X. Fu, H., dan Li, G. (2015), Acceleration Phases of a Solar Filament during its Eruption, *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 804, Number 2, L38-43.
doi:10.1088/2041-8205/804/2/L38
- Wallberg, Mats. 2016. "Solar Storms and Magnetic Complexity - Analyzed with SDO/HMI Data and SHARP." Lulea University of Technology.