



Analisis Multi-Panjang Gelombang Erupsi Filamen 29 September 2013

Rasdewita Kesumaningrum^{1,2}, Johan Muhamad², Tiar Dani^{2,3}, Santi Sulistiani², Ayu Dyah Pangestu², Nanang Widodo², Dhani Herdiwijaya^{1,4}

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi XI)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

16 Agustus 2025

Abstract

Geomagnetic disturbances in Earth's environment can be caused by Coronal Mass Ejections (CMEs) that reconnect with Earth's magnetic field. CMEs originate from the Sun, carrying magnetic fields from their source. There is a strong correlation between the magnetic flux ropes (FRs) of solar filaments and CMEs that lead to these terrestrial disturbances. CMEs can be initiated by either solar flares or quiescent filament eruptions. Key characteristics of filaments linked to CMEs include magnetic chirality patterns, flux rope (FR) configurations, sigmoid orientations, double ribbon flares, and post-eruptive arcades (PEAs). When a CME carries a flux rope (FR) into Earth's environment as an interplanetary CME (ICME) containing a magnetic cloud, it may subsequently trigger geomagnetic storms. Therefore, this study aims to analyze multi-wavelength filament eruption events to identify filament characteristics associated with geoeffective CMEs and geomagnetic storms. This study aims to analyze the filament eruption using multi-wavelength observations to identify filament properties linked to a geoeffective CME and subsequent geomagnetic storm. A quiet-Sun filament eruption on 29 September 2013 was examined. Automated identification of the filament's chirality and tilt angle was conducted using H-alpha chromospheric images. The flux rope configuration, sigmoid structure, and PEA were analyzed using extreme ultraviolet (EUV) solar images, while the CME geometry was reconstructed using the Graduated Cylindrical Shell (GCS) fitting method. The filament detection results indicate a dextral chirality with a left-handed helical flux rope, showing a tilt angle of 71.1° consistent with the CME geometry. Examination of solar wind parameters reveals that the filament eruption, carried by a fast CME flux rope, generated a shock upon arrival at Earth. No magnetic cloud signatures were detected in the near-Earth environment. but the CME was geoeffective and triggered a moderate geomagnetic storm with $Dst -72nT$.

Keywords: *Filament Eruption · Quiescent Filament · CME · Flux Rope · Magnetic Cloud*

PENDAHULUAN

Filamen merupakan fitur pada kromosfer Matahari, tampak seperti tali panjang dan gelap pada pengamatan H-alpha panjang gelombang 6563 Å, dengan kerapatan 10^{12} hingga 10^{17} m⁻³, dan temperatur sekitar 8.000 K (van Ballegooijen dan Martens, 1989). Filamen terbentuk di atas daerah pembalikan polaritas (*Polarity Inversion Line* – PIL). Salah satu karakteristik filamen adalah memiliki pola magnetik yang disebut *chirality* (kiralitas) yang bergantung pada arah

✉ Rasdewita Kesumaningrum
rasdewita.kesumaningrum@brin.go.id

Johan Muhamad
johan.muhamad@brin.go.id

Tiar Dani
tiar.dani@brin.go.id

Santi Sulistiani
Santi.sulistiani@brin.go.id

Ayu Dyah Pangestu
ayu.dyah.pangestu@brin.go.id

Nanang Widodo
nanang.widodo@brin.go.id

Dhani Herdiwijaya
dhani.herdiwijaya@itb.ac.id

¹Astronomy Division, Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia.

²Research Center for Space, National Research and Innovation Agency (BRIN), Tangerang Selatan, Indonesia.

³Department of Computer Science and Electronics, Universitas Gadjah Mada (UGM), Sleman, Indonesia.

⁴Center for Space Science, Technology, and Innovation, Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia.

How to Cite: Kesumaningrum, R., Muhamad, J., Dani, T., Sulistiani, S., Pangestu, A.D., Widodo, N. & Herdiwijaya, D. (2025). Analisis Multi-Panjang Gelombang Erupsi Filamen 29 September 2013. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 4(1), 136 - 146. <https://proceedings.fisikaupi.id/index.php/sinafi/>

medan axial yaitu dextral atau sinistral. Filamen dengan medan axial mengarah ke kanan dilihat dari arah polaritas positif disebut dextral sementara medan axial mengarah ke kiri disebut sinistral (Martin, 1998; Chae, 2000). Kiralitas filamen juga berkaitan dengan helisitas magnetik di sekitarnya yaitu helisitas positif (negatif) pada filamen sinistral (dextral). Helisitas magnetik ini akan berkaitan dengan arah helisitas awan magnet (Bothmer dan Schwenn, 1998).

Filamen merupakan fitur yang stabil dan dapat bertahan hingga beberapa hari. Namun, dalam kondisi tertentu, filamen menjadi tidak stabil dan erupsi. Erupsi filamen dicirikan menjadi beberapa tipe. Tipe pertama adalah *failed* atau *confined eruption* yaitu erupsi filamen tanpa CME (Török and Kliem, 2005; Chen et al., 2023; Li et al., 2025). Pada erupsi ini, filamen naik hingga ketinggian maksimum dan kembali ke permukaan Matahari karena tekanan kuat medan magnetiknya. Tipe kedua adalah erupsi yang berasosiasi dengan CME yang melepas materi filamen ke ruang antar planet (Sinha et al., 2019; Seki et al., 2021; Song, Li, and Chen, 2022). Tipe ketiga adalah *partial eruption* yaitu ada bagian filamen yang terpisah dan erupsi dan bagian lainnya tetap ada di permukaan Matahari (Gilbert, et al., 2001; Zhang et al., 2015; Dai et al., 2022).

CME memiliki *struktur magnetic flux rope* (MFR) yang terdiri atas garis-garis medan magnet heliks yang berputar di sekitar medan aksial (Zurbuchen dan Richardson, 2006). Flux rope CME dibawa ke ruang antar planet sebagai awan magnet. Keberadaan struktur magnetik CME berupa awan magnet diidentifikasi menggunakan data angin Matahari. Awan magnet adalah bagian struktur CME di ruang antar planet (*Interplanetary Magnetic Field*) yang membawa medan magnet dari sumber di Matahari. Awan magnet didefinisikan sebagai daerah dengan medan magnet yang kuat, temperatur proton rendah, plasma beta rendah dan medan magnet B berotasi halus. Awan magnet membawa medan magnet dari sumber di Matahari dengan ciri beta plasma rendah <1 (Burlaga et al. 1981, 1988; Lepping et al. 1990, Zurbuchen & Richardson, 2006; Kilpua et al., 2017). Arah orientasi flux rope dalam ICME dapat menentukan apakah CME menjadi geoeftif ketika sampai di lingkungan Bumi (Wang et al, 2006; Xie et al, 2023; Pal et al, 2021). Pada umumnya CME/ICME membawa awan magnet di dalamnya, namun terdapat kejadian ICME tanpa awan magnet (Démoulin, 2008; Nitta & Mulligan, 2017). Tidak adanya MC dalam ICME dapat disebabkan karena keterbatasan pengamatan misalnya karena wahana pengamat berpapasan dengan bagian sisi ICME sehingga tidak terdeteksi adanya awan magnet (Wang et al, 2019).

Maka untuk memberikan pemahaman lebih baik mengenai mekanisme erupsi filamen dan hubungan antara struktur *flux rope* di Matahari di ruang antarplanet maka perlu dilakukan studi untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi filamen selama erupsi dan perambatannya dari Matahari sampai ke lingkungan Bumi di berbagai medan pandang dan kemungkinan dampak terhadap Bumi. Hal ini dilakukan dengan menganalisis hubungan antara ciri filamen antara lain chiralitas dan helisitas filamen dengan pembentukan CME dan potensi geoeftifitasnya dan dalam studi ini dilakukan analisis multi panjang gelombang terhadap erupsi filamen tanggal 29 September 2013.

METODE

Kami melakukan studi terhadap erupsi filamen dengan menggunakan data yang diperoleh dari beberapa instrumen. Data yang digunakan adalah data pengamatan kromosfer Matahari pada panjang gelombang H-alpha 6563 Å dari Big Bear Solar Observatory

(<https://www.bbso.njit.edu/>). Dengan melakukan identifikasi secara manual sejak kemunculan filamen di Matahari tanggal 25 September 2013 hingga 29 September 2013 ketika filamen yang diamati mengalami *Disappearance of Solar Filament* (DSF) pada panjang gelombang H-alpha. Kejadian DSF bersamaan dengan terdeteksinya flare C1.2 berdurasi panjang dari pukul 21.43 UT hingga 23.39 UT di lokasi filamen. Dengan data pengamatan EUV dari SDO untuk mengetahui apakah filamen mengalami erupsi. Extreme Ultraviolet EUV. Lokasi garis pembalikan polaritas (Polarity Inversion Line-PIL), kiralitas dan kemiringan filamen dianalisis menggunakan data pengamatan Solar Dynamics Observatory (<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>) yaitu dari instrumen HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) untuk pengamatan magnetogram dan intensitygram. Dengan membandingkan data pengamatan H-alpha dan magnetogram, dapat diketahui posisi garis pembalikan polaritas (PIL) dan selanjutnya dapat diketahui kiralitas filamen berdasarkan ciri filamen dari Martin (1998).

Dilakukan identifikasi otomatis menggunakan Python dengan mengadaptasi dari Bernasconi dkk. (2005). Dalam metode ini, langkah pertama adalah mengidentifikasi barb dan spine filamen dari citra H-alpha, kemudian dihitung besar sudut barb terhadap spine dan jumlah barb. Barb diidentifikasi dengan menghitung besar sudut masing-masing barb terhadap spine. Barb tidak dapat diidentifikasi arahnya jika sudut berada dalam $\pm 3^\circ$ terhadap spine. Kiralitas filamen ditentukan dengan menghitung perbedaan jumlah barb mengarah kanan (1) dan mengarah kiri (-1). Kiralitas tidak dapat ditentukan (0) bila perbedaan jumlah barb arah kanan dan kiri tidak dapat dihitung. Kemiringan filamen dihitung dari orientasi rata-rata spine filamen terhadap ekuator Matahari. Kemiringan spine positif menunjukkan filamen adalah arah kanan (*right-handed helical flux rope*) dan kemiringan negatif adalah arah kiri (*left-handed helical flux rope*). Untuk kemiringan spine positif dengan *right-handed helical flux* adalah kiralitas filamen sinistral dan kemiringan negatif dengan *left-handed helical flux* adalah kiralitas filamen dextral

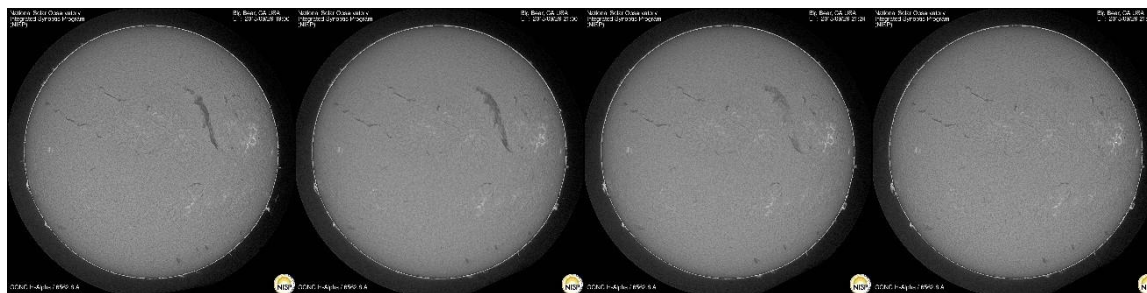
Data untuk korona digunakan dari pengamatan SDO/instrumen AIA (Atmospheric Imaging Assembly) pada panjang gelombang *extreme ultraviolet* (EUV XXIV (193Å), dan He II (304Å). Dari analisis pada panjang gelombang EUV dapat diketahui ciri erupsi filamen antara lain *post eruptive arcade* (PEA) dan *two ribbon* setelah erupsi filamen. Data CME adalah dari pengamatan CME white-light yang diamati oleh instrumen Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO, Brueckner et al., 1995) pada wahana Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Data CME dapat diperoleh dari database SOHO/Lasco (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) (Gopalswamy et al., 2009; 2024). Dideteksi kemunculan CME halo setelah erupsi filamen pada pukul 22:12 dengan kecepatan median tertinggi 1179 km/det. Data multipoint diperoleh dari pengamatan STEREO A dengan koronagraf dan dilakukan rekonstruksi geometri CME dengan *metode fitting graduated cylindrical shell* (GCS, Thernisien, 2011). kemudian dilakukan analisis komparatif arah axial sumber CME di Matahari yaitu filamen dan CME yang mengikuti kejadian erupsi dalam periode 2 – 5 jam. Untuk menghitung waktu tiba CME di lingkungan Bumi, digunakan metode Drag Based Model (DBM) (Vršnak et al., 2007). Metode DBM adalah model semi-empiris yang digunakan untuk memprediksi waktu tiba dan kecepatan tumbukan ICME ke lingkungan Bumi yang didasarkan pada asumsi bahwa dalam penjarannya, gaya dominan pada ICMR di ruang antarplanet adalah gaya *drag* MHD dari interaksi dengan angin Matahari. Dalam model DBM, CME dianggap berbentuk kerucut, propagasi *self similar* dan tidak diperhitungkan

struktur magnetik CME, kecepatan angin Matahari dianggap konstan dan isotropik serta koefisien interaksi antara ICME dan angin Matahari dinyatakan dengan parameter drag (γ) dianggap konstan. Pehitungan DBM dinyatakan dengan $a = -\gamma(v - w)|v - w|$, dengan a dan v adalah percepatan dan kecepatan ICME, w adalah kecepatan angin Matahari. Parameter drag yaitu γ bernilai $0.2 - 2 \times 10^{-7} \text{ km}^{-1}$ (Vršnak et al., 2013). Selain itu dalam studi ini, tidak ada flare, erupsi atau CME lain saat waktu kejadian erupsi filamen 29 September 2013 sehingga dapat dipastikan badai geomagnetik pada sekitar 2-3 Oktober 2013 disebabkan oleh erupsi filamen dan CME tersebut.

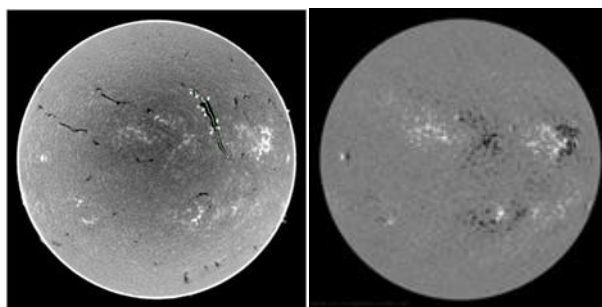
Untuk mengidentifikasi keberadaan awan magnet, digunakan data angin Matahari pengamatan satelit ACE berdasarkan definisi awan magnet yaitu peningkatan medan magnetik $\approx 10 \text{ nT}$, rotasi halus dan besar dari vektor medan magnet (B_x, B_y, B_z) $\approx 30^\circ$, temperatur proton rendah dan rasio tekanan plasma terhadap tekanan magnetik (plasma beta) < 1 . Parameter dari angin Matahari yang digunakan adalah vektor medan magnet arah selatan (B_z), kecepatan proton (V), densitas proton (N_p), temperatur proton (T_p), beta plasma (β) dan $|B|$ total. Rotasi arah medan vektor menunjukkan keberadaan struktur fluks rope dalam ICME dan dapat terjadi pada arah utara-selatan atau selatan-utara tergantung pada orientasi flux rope tersebut. Dengan menetapkan batasan rotasi B lebih dari 60 derajat, plasma beta < 1 dan perubahannya halus, proton temperatur $< 50000 \text{ K}$ dengan minimum 6 jam, akan dideteksi apakah terdapat awan magnet pada ICME yang berasal dari erupsi filamen tanggal 29 September 2013.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Erupsi filamen pada 29 September 2013 berlokasi pada hemisfer utara barat Matahari diikuti oleh flare C1.2 pukul 21:43 UT berakhir pada 01:03 UT dan CME halo yang terdeteksi di C2 satelit SOHO/LASCO pukul 22:12 UT dengan kecepatan 1179 km/det. Erupsi filamen dan flare berdurasi panjang menyebabkan terjadinya *solar proton event* (SEP) tanggal 30 September 2013 mulai pukul 05:05 UT hingga 2 Oktober 2013 pukul 04:40 UT. Gambar 1 menunjukkan filamen sebelum mulai mengalami DSF tanggal 29 September 2013 pukul 19:00 UT, kemudian filamen mulai mengalami perubahan tanggal 21:00 UT, setengah mulai tidak terlihat pada 21:24 UT dan seluruhnya tidak terlihat pada pengamatan H-alpha tanggal 21:43 UT. Dengan membandingkan citra H-alpha dan magnetogram, diketahui bahwa filamen memiliki kiralitas dextral dan merupakan filamen *quiescent* yaitu tidak berada di daerah aktif Matahari (Gambar 2). Hasil pengukuran kemiringan dan kiralitas harian sejak tanggal 25 -29 September 2013 ditampilkan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Citra H-alpha dari pengamatan Observatorium Big Bear (<https://www.bbso.njit.edu/>) yang menunjukkan filamen saat sebelum erupsi, awal erupsi, saat erupsi dan setelah erupsi tanggal 29 September 2013 pukul 19:00 UT, 21:00 UT, 21:24 UT dan 21:43 UT. Pada saat mulai flare C1.2 pukul 19:43 UT, filamen sudah tidak terlihat pada pengamatan H-alpha. (Sumber H-alpha BBSO).

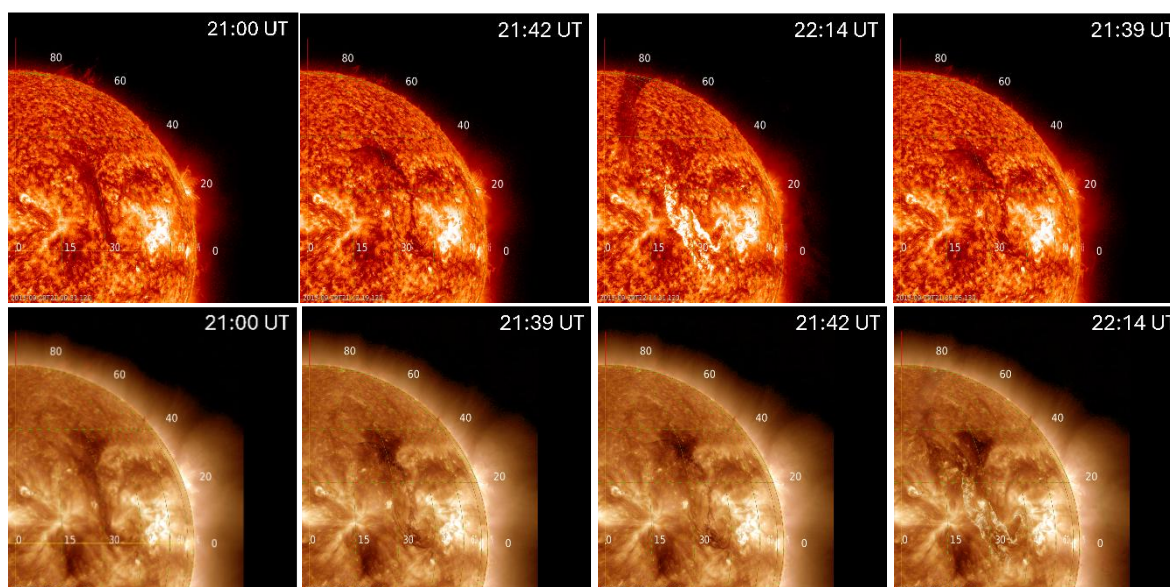


Gambar 2. Identifikasi barb dan spine filamen tanggal 29 September 2013 untuk menentukan chiralitas dan kemiringan filamen. Filamen dibandingkan dengan citra magnetogram Matahari dari pengamatan SDO/HMMI untuk menentukan posisi garis pembalikan polaritas (Polarity Inversion Line-PIL) dan kiralitas filamen (Sumber: H-alpha BBSO, NASA SDO/HMI Magnetogram).

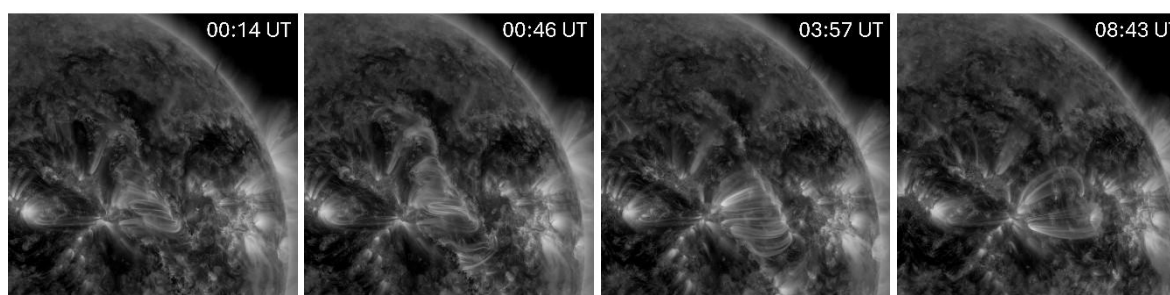
Tabel 1. Hasil Pengukuran Deteksi, Karakterisasi Dan Tracing Otomatis Filamen Matahari tanggal 25 September 2013 Hingga 29 September 2013.

| Tanggal | Area | Xp | Yp | Lat | Lng | Ang | Len | Tb | #R | #L | Ch | TiltDeg | Track ID |
|------------|-------|------|-----|-------|--------|-------|-----|----|----|----|----|---------|----------|
| 25/09/2013 | 3017 | 562 | 768 | 21.4 | -31.24 | -78.4 | 152 | 2 | 2 | 0 | -1 | -64 | 1 |
| 26/09/2013 | 8208 | 843 | 879 | 15.33 | -11.4 | -64.4 | 463 | 6 | 6 | 0 | -1 | -60.4 | 1 |
| 27/09/2013 | 4464 | 997 | 878 | 15.61 | -1.61 | -67.3 | 332 | 5 | 1 | 4 | 1 | -66.4 | 1 |
| 28/09/2013 | 8895 | 1205 | 833 | 18.29 | 11.39 | -62 | 396 | 8 | 8 | 0 | -1 | -63.6 | 1 |
| 29/09/2013 | 13213 | 1421 | 806 | 19.41 | 26.28 | -65.7 | 419 | 6 | 4 | 2 | -1 | -71.2 | 1 |
| 29/09/2013 | 15140 | 1422 | 799 | 19.97 | 26.1 | -66.3 | 435 | 9 | 7 | 2 | -1 | -72.1 | 2 |

Dari tracing otomatis citra H-alpha, diperoleh hasil pengukuran kemiringan filamen terhadap ekuator sebesar $>60^\circ$ dan mencapai $71,1^\circ$ sesaat sebelum filamen erupsi. Kemiringan dengan notasi negatif menunjukkan bahwa ujung filamen mengarah ke utara hemisfer Matahari. Banyaknya barb dihitung pada kolom R dan L dan menjadi penentu identifikasi kiralitas filamen, sehingga dari pengkarakterisian jumlah barb, filamen memiliki *left-handed helical flux*, dengan kiralitas dextral. Nilai kemiringan filamen, latitud dan longitut menjadi acuan dalam menentukan nilai awal CME dalam model fitting GCS.



Gambar 3. Citra pengamatan SDO/AIA pada panjang gelombang 304 Å (atas) dan 195 (bawah) yang menunjukkan filamen saat sebelum erupsi, awal erupsi, saat erupsi dan setelah erupsi. Pada saat filamen erupsi, terdeteksi kemunculan flare C1.2 di lokasi filamen (N10W33). Citra divisualisasi menggunakan software Jhelioviewer (Muller et al., 2017).

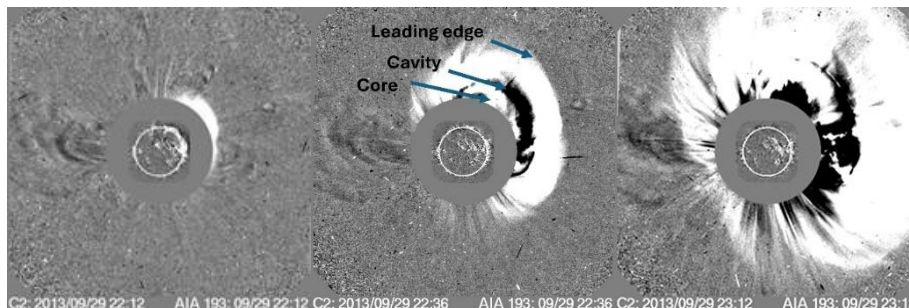


Gambar 4. Citra pengamatan SDO/AIA panjang gelombang 171 menunjukkan terbentuknya PEA tanggal 30 September 2013 mulai pukul 00:14 UT dan masih terlihat sisa-sisa PEA hingga pukul 08:43 UT. Citra divisualisasi menggunakan software Jhelioviewer (Muller et al., 2017).

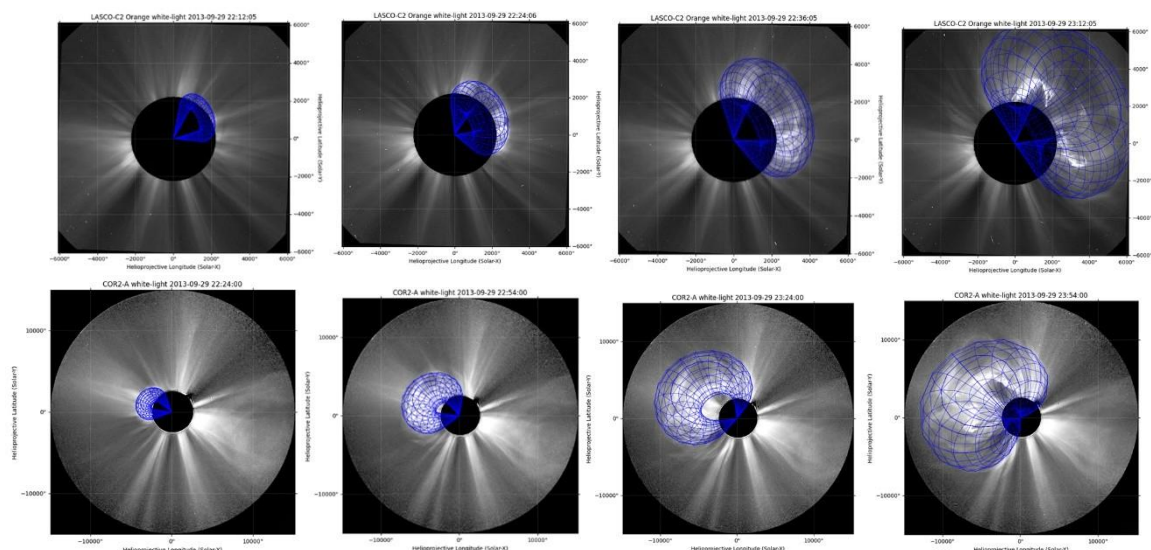
Kronologi erupsi filamen pada pengamatan panjang gelombang EUV 304 Å, 193 Å dan 171 Å ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Dengan membandingkan citra pada saat kejadian DSF pada panjang gelombang H-alpha, citra SDO/AIA yang menunjukkan erupsi materi filamen dan waktu flare C1.2 pukul 21:43, diketahui flare terjadi saat filamen sudah menghilang pada data H-alpha atau saat materi filamen sudah terangkat ke korona atas. Hal ini menunjukkan bahwa flare tidak menyebabkan erupsi filamen, melainkan merupakan bagian dari proses erupsi filamen. Flare dikarakterisasikan dengan pita terang flare yang terbentuk sepanjang garis PIL dan setelah flare terus terjadi rekoneksi dengan terbentuknya PEA.

Filamen memicu CME yang terdeteksi pada SOHO/LASCO C2 pukul 22:12 dengan kecepatan 1179 km/det dan menjadi CME halo yang mengarah ke Bumi (Gambar 5). CME morfologi menampilkan struktur CME yaitu bagian muka atau *leading edge*, bagian *cavity*, dan bagian inti atau *core* yang biasanya membawa materi filamen. CME juga teramati oleh STEREO A COR2 yang saat kejadian CME berada pada posisi di bagian barat Matahari. Sehingga pada citra pengamatan arah Bumi oleh SOHO/LASCO, CME tampak di barat

piringan Matahari sementara pada pengamatan STEREO/COR2, CME tampak di bagian timur piringan Matahari. Pengamatan oleh STEREO A ini memberikan arah pengamatan yang berbeda pada kejadian CME dan kemudian dapat digunakan untuk rekonstruksi geometri CME menggunakan model fitting GCS (Gambar 6).



Gambar 5. CME terdeteksi di medan pandang C2 SOHO/LASCO tanggal 29 September 2013 pukul 22:12 UT kemudian menjadi CME halo dengan kecepatan linier awal 1179 km/det. Struktur CME terdiri atas leading edge, cavity dan core. Core merupakan bagian CME yang membawa materi filamen. Leading edge adalah bagian CME yang menjadi sumber shock pada saat terjadi badai geomagnet. (sumber: CDAW NASA).

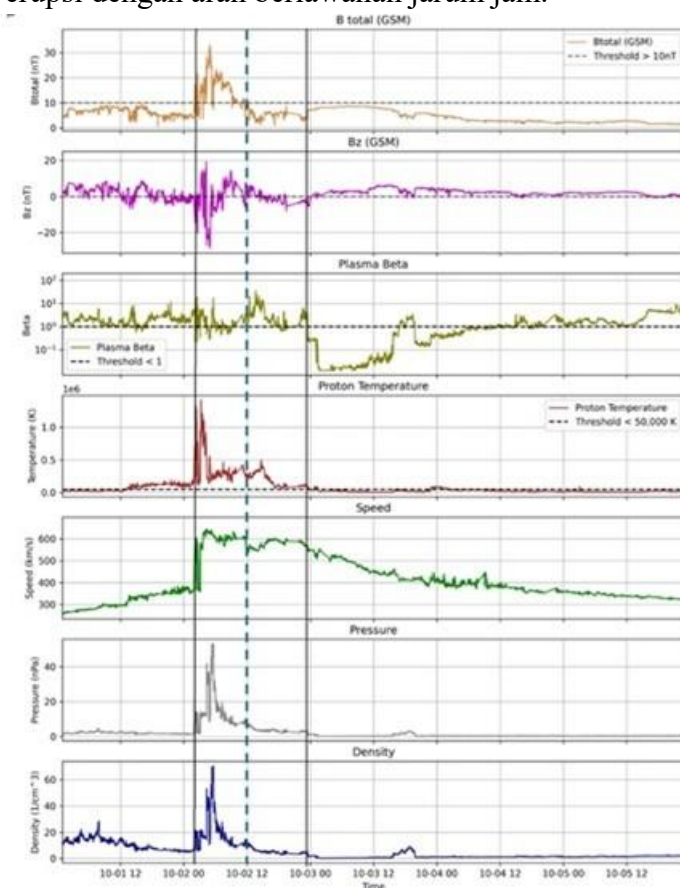


Gambar 6. Rekonstruksi morfologi CME menggunakan metode fitting GCS untuk data SOHO/LASCO-C2 pukul 22:12 UT, 22:24 UT, 22:36 UT dan 23:12 UT (atas), dan data STEREO A COR2 pukul 22:24 UT, 22:54 UT, 23:24 UT dan 23:54 UT (bawah).

Tabel 2. Hasil Rekonstruksi Geometri CME dari Model Fitting GCS

| Waktu [UT] | Half Angle [°] | Apex Height [R _z] | Aspect Ratio [κ] | Heliographic Latitude θ [°] | Stonyhurst Longitude φ [°] | Tilt Angle [°] | Apex cross section radius [R _s] |
|------------|----------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|---|
| 22:24 | 27,1 | 5,25 | 0,25 | 23,14 | 26,10 | -72,0 | 1,05 |
| 22:36 | 37,26 | 7,37 | 0,27 | 23,14 | 26,10 | -70,0 | 1,57 |
| 22:54 | 40,60 | 8,63 | 0,38 | 25,71 | 26,10 | -68,0 | 2,38 |
| 23:12 | 40,60 | 10,38 | 0,38 | 25,71,00 | 26,10 | -65,86 | 2,86 |
| 23:24 | 63,63 | 12,73 | 0,36 | 31,26 | 26,10 | -64,16 | 3,37 |

Tabel 2 menunjukkan perubahan kemiringan CME dari hasil fitting model GCS pada awal terdeteksi CME. Perubahan kemiringan terjadi dari awal deteksi sebesar 72 menjadi 64,16 dengan arah berlawanan jarum jam. Hal ini berkesesuaian dengan morfologi sumber CME yaitu filamen yang tampak memiliki struktur melengkung sigmoid S terbalik pada data EUV. Bentuk sigmoid S terbalik pada umumnya adalah ciri helisitas arah kiri. Filamen dengan sigmoid S terbalik mengalami erupsi dengan arah berlawanan jarum jam.



Gambar 7. Data OMNI angin Matahari pada tanggal 1 - 5 Oktober 2013 yang menunjukkan masuknya plasma ICME di medan magnet Bumi IMF. Plasma beta yang dihitung tidak menunjukkan keberadaan awan magnet yang menjadi ciri flux rope filamen sumber CME. Panel atas ke bawah: medan magnet total B, medan magnet arah selatan Bz, plasma beta, temperatur, kecepatan, tekanan dan kerapatan proton dalam angin Matahari. Terjadi peningkatan temperatur, kecepatan, tekanan dan kerapatan pada 2 Oktober 2013 yang menunjukkan adanya plasma yang masuk di lingkungan medan magnet Bumi, ditandai dengan garis hitam. Garis putus-putus menunjukkan ketika Bz arah selatan berdurasi lama, diikuti dengan plasma beta bernilai kurang dari 1 sebagai tanda peningkatan tanda tekanan magnetik terhadap tekanan plasma yang merupakan salah satu ciri awan magnet.

Waktu tiba CME di Bumi diperkirakan dengan melakukan perhitungan berdasarkan model DBM dan dihitung *shock* tiba pada tanggal 2 Oktober 2013 pukul 01.40 UT. Kemudian ditelusuri data angin Matahari pada 2 Oktober 2013 terjadi shock dengan peningkatan Dst sebesar 26 nT dan kemudian indeks Dst turun mencapai maksimal -72 nT menandakan badai geomagnet moderate (Pinzon-Cortez et al, 2025). Data angin Matahari ditampilkan pada Gambar 7. Dari deteksi pada data angin Matahari, diketahui bahwa setelah terjadi shock tanggal

2 Oktober 2013, diikuti dengan peningkatan kerapatan, kecepatan, temperatur dan tekanan plasma angin Matahari. Berdasarkan batasan yang ditentukan dari Burlaga et al. (1981), tidak ada awan magnet yang dibawa dalam ICME yang tiba di ruang antarplanet tanggal 2 Oktober 2013 pukul 02 UT. Meskipun tanpa awan magnet, pada 2 Oktober 2013 pukul 12 UT Bz mengarah ke selatan berdurasi lama dan diikuti oleh turunnya plasma beta tanggal 3 Oktober 2013 pukul 00UT. CME yang bersumber dari erupsi filamen dengan kemiringan 71° kemudian memicu CME dengan inklinasi tinggi dapat menentukan geoeftifan ICME dan Bz berdurasi panjang meningkatkan tekanan magnetik terhadap tekanan plasma atau plasma beta rendah. Dari Palmerio et al. (2018) dinyatakan bahwa untuk CME inklinasi tinggi, Bz disebabkan dari medan axial berkaitan dengan filamen.

SIMPULAN

Telah dilakukan analisi filamen *quiescent* yang mengalami erupsi pada 29 September 2013. Filamen memiliki kiralitas dextral, helisitas *left handed helical flux*, dan ciri sigmoid S-terbalik. Filamen mengalami erupsi seluruhnya diikuti oleh kemunculan flare C1.3 pukul 21:43 UT dan CME halo yang mengarah ke Bumi terdeteksi mulai pukul 22:12 UT. Kemunculan flare berdurasi panjang setelah filamen naik erupsi menunjukkan adanya proses rekoneksi di bawah lokasi filamen yang terus berlangsung dalam periode yang panjang setelah materi filamen sepenuhnya lepas menjadi CME dengan adanya *post eruptive arcade*. CME yang bersumber dari filamen tersebut memiliki inklinasi tinggi yaitu 71° dan kemudian CME erupsi mengalami defleksi rendah ke arah ekuator, berotasi berlawanan arah jarum jam, yang berkesesuaian dengan ciri sumber CME yaitu filamen dengan sigmoid S-terbalik dan helisitas tangan kiri. ICME terdeteksi oleh satelit ACE pada tanggal 2 Oktober 2013 yang tampak dari peningkatan nilai kecepatan, densitas, dan temperatur angin surya. Setelah Bz arah selatan berdurasi panjang, ICME ini diduga menurunkan nilai plasma beta, yang dapat diakibatkan peningkatan tekanan magnetik terhadap tekanan plasma. Penurunan plasma beta pada tanggal 3 Agustus menunjukkan bahwa terdapat struktur magnetik yang terdeteksi oleh satelit ACE setelah muka ICME terdeteksi di hari sebelumnya. Jeda waktu *shock* dan penurunan plasma beta menunjukkan bahwa badai disebabkan dari inti ICME yang bersumber dari filamen inklinasi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernasconi, P. N., Rust, D. M., dan Hakim, D. (2005): Advanced automated solar filament detection and characterization code: description, performance, and results. *Solar Physics*, 228, 97-117.
- Bothmer dan Schwenn, 1998 Bothmer, V., dan Schwenn, R. (1997): The structure and Origin of Magnetic Clouds in the Solar Wind. In *Annales Geophysicae* (Vol. 16, No. 1, pp. 1-24). Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Brueckner, G. E., Howard, R. A., Koomen, M. J., Korendyke, C. M., Michels, D. J., Moses, J. D. (1995). The large angle spectroscopic coronagraph (LASCO) visible light coronal imaging and spectroscopy. *Solar Physics*, 162(1), 357-402.
- Burlaga, L., Sittler, E., Mariani, F., dan Schwenn, A. R. (1981): Magnetic loop behind an interplanetary shock: Voyager, Helios, and IMP 8 observations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 86(A8), 6673-6684.
- Burlaga, L. F. (1988): Magnetic clouds and force-free fields with constant alpha. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 93(A7), 7217-7224.

- Dai, J., Zhentong Li, Ya Wang, Zhe Xu, Yanjie Zhang, Leping Li, Qingmin Zhang, Yingna Su, and Haisheng Ji. (2022). A partial filament eruption in three steps induced by external magnetic reconnection. *The Astrophysical Journal*, 929(1), 85.
- Démoulin, P. (2008, October). A review of the quantitative links between CMEs and magnetic clouds. In *Annales Geophysicae* (Vol. 26, No. 10, pp. 3113-3125). Copernicus GmbH.
- Chae, J. (2000). The magnetic helicity sign of filament chirality. *The Astrophysical Journal*, 540(2), L115.
- Chen, Y., Cheng, X., Chen, J., Dai, Y., & Ding, M. (2023). Observations of a failed solar filament eruption involving external reconnection. *The Astrophysical Journal*, 959(2), 67.
- Gilbert, H. R., Holzer, T. E., Burkepile, J. T., & Hundhausen, A. J. (2000). Active and Eruptive Prominences and Their Relationship to Coronal Mass Ejections. *The Astrophysical Journal*, 537(1), 503.
- Gopalswamy, N., Yashiro, S., Michalek, G., Stenborg, G., Vourlidas, A., Freeland, S., & Howard, R. (2009). The soho/lasco cme catalog. *Earth, Moon, and Planets*, 104(1), 295-313.
- Gopalswamy, N., Michałek, G., Yashiro, S., Mäkelä, P., Akiyama, S., Xie, H., & Vourlidas, A. (2024). The SOHO LASCO CME Catalog--Version 2. *arXiv preprint arXiv:2407.04165*.
- Kilpua, E., Koskinen, H. E., & Pulkkinen, T. I. (2017). Coronal mass ejections and their sheath regions in interplanetary space. *Living Reviews in Solar Physics*, 14(1), 5.
- Li, L., Song, H., Hou, Y., Zhou, G., Tan, B., Ji, K., Xiang, Y., Hou, Z., Guo, Y., Qiu, Y. and Su, Y. (2025). Failure of a solar filament eruption caused by magnetic reconnection with overlying coronal loops. *The Astrophysical Journal*, 979(2), 113.
- Martin, S. F. (1998): Filament chirality: A link between fine-scale and global patterns. In *International Astronomical Union Colloquium* (Vol. 167, pp. 419-429). Cambridge University Press.
- Müller, D., Nicula, B., Felix, S., Verstringe, F., Bourgoignie, B., Csillaghy, A., Berghmans, D., Jiggins, P., García-Ortiz, J. P., Ireland, J., Zahniy, S. & Fleck, B. (2017). JHelioviewer-Time-dependent 3D visualisation of solar and heliospheric data. *Astronomy & Astrophysics*, 606, A10. Lepping et al. 1990.
- Nitta, N. V., & Mulligan, T. (2017). Earth-affecting coronal mass ejections without obvious low coronal signatures. *Solar Physics*, 292(9), 125.
- Pal, S., Kilpua, E., Good, S., Pomoell, J., & Price, D. J. (2021). Uncovering erosion effects on magnetic flux rope twist. *Astronomy & Astrophysics*, 650, A176.
- Palmerio, E., Kilpua, E.K., Möstl, C., Bothmer, V., James, A.W., Green, L.M., Isavnin, A., Davies, J.A. and Harrison, R.A., 2018. Coronal magnetic structure of earthbound CMEs and in situ comparison. *Space Weather*, 16(5), pp.442-460.
- Pinzon-Cortes, S., Gómez-Pérez, N., & Vargas Domínguez, S. (2025). Ring current local time dependence during geomagnetic storms using equatorial Dst-proxies. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 60(1), 97-114.
- Thernisien, A. (2011). Implementation of the graduated cylindrical shell model for the three-dimensional reconstruction of coronal mass ejections. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 194(2), 33.
- Seki, D., Otsuji, K., Ishii, T. T., Asai, A., & Ichimoto, K. (2021). Relationship between three-dimensional velocity of filament eruptions and CME association. *Earth, Planets and Space*, 73(1), 58.
- Sinha, S., Srivastava, N., & Nandy, D. (2019). Solar filament eruptions as precursors to flare-CME events: Establishing the temporal connection. *The Astrophysical Journal*, 880(2), 84.
- Song, H., Li, L., & Chen, Y. (2022). Toward a unified explanation for the three-part structure of solar coronal mass ejections. *The Astrophysical Journal*, 933(1), 68.
- Török, T., & Kliem, B. (2005). Confined and ejective eruptions of kink-unstable flux ropes. *The Astrophysical Journal*, 630(1), L97.

- van Ballegoijen, A. A., & Martens, P. C. H. (1989). Formation and eruption of solar prominences. *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, vol. 343, Aug. 15, 1989, p. 971-984., 343, 971-984.
- Vršnak, B., & Žic, T. (2007). Transit times of interplanetary coronal mass ejections and the solar wind speed. *Astronomy & Astrophysics*, 472(3), 937-943.
- Vršnak, B., T. Žic, D. Vrbanec, M. Temmer, T. Rollett, C. Möstl, A. Veronig, J. Čalogović, M. Dumbović, S. Lulić, Y.-J. Moon & A. Shanmugaraju (2013). Propagation of interplanetary coronal mass ejections: The drag-based model. *Solar physics*, 285(1), 295-315.
- Wang, J., Zhao, Y., Feng, H., Liu, Q., Tian, Z., Li, H. & Zhao, G. (2019). Comparison of counterstreaming suprathermal electron signatures of ICMEs with and without magnetic cloud: are all ICMEs flux ropes?. *Astronomy & Astrophysics*, 632, A129.
- Xie, H., N. Gopalswamy, S. Akiyama, S. Yashiro, P. Makela (2023): Magnetic flux rope structures associated with filament channels: Two case studies, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 252;
- Zhang, Q. M., Z. J. Ning, Y. Guo, T. H. Zhou, X. Cheng, H. S. Ji, L. Feng, and T. Wiegmann. (2015). Multiwavelength observations of a partially eruptive filament on 2011 September 8. *The Astrophysical Journal*, 805(1), 4.
- Zhang, Y., Zhang, Q., Dai, J. *et al.* (2022) Multiwavelength Observations of a Partial Filament Eruption on 13 June 2011. *Sol Phys* 297, 138.
- Zurbuchen, T.H., dan Richardson, I.G. (2006) *Space Sciences Series of ISSI*, vol 21. Springer, New York.