

## KINERJA SWIFTS SAAT BADAI MATAHARI AWAL SEPTEMBER 2017

### (PERFORMANCE OF SWIFTS DURING SOLAR STORM IN EARLY SEPTEMBER 2017)

Rhorom Priyatikanto, Mira Juangsih, Gatot Wikantho, Anton Winarko, Sefria Anggarani

Pusat Sains Antariksa  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
e-mail: [rhorom.priyatikanto@lapan.go.id](mailto:rhorom.priyatikanto@lapan.go.id)

#### ABSTRAK

*Riwayat Artikel:*

Diterima:  
14 November 2017  
Direvisi:  
26 Juni 2018  
Disetujui:  
28 September 2018  
Diterbitkan:  
19 Nopember 2018

*Kata kunci:*

cuaca antariksa,  
prakiraan, badai  
Matahari

*Space Weather Information and Forecast Services (SWIFtS)* merupakan layanan informasi dan prediksi cuaca antariksa yang dikelola oleh Pusat Sains Antariksa LAPAN. Layanan ini meliputi evaluasi dan prediksi aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer. Setelah beroperasi sejak Maret 2015, layanan ini memberikan prediksi dengan akurasi rata-rata sebesar 66%, 68%, dan 51% berturut-turut untuk aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer. Rentetan badai Matahari yang berlangsung pada awal September 2017 menjadi salah satu ujian bagi SWIFtS. Selama tiga pekan (30 Agustus - 18 September), terjadi setidaknya 70 *flare* kelas C, 27 *flare* kelas M, dan 4 *flare* kelas X. Selain itu, indeks *K* geomagnet sempat naik hingga 6 (*moderate storm*). Makalah ini bertujuan untuk mengukur dan menelaah kinerja SWIFtS pada masa tersebut. Hasilnya adalah bahwa akurasi prediksi aktivitas geomagnet lebih rendah dari rata-rata (50%), sementara akurasi prediksi aktivitas ionosfer lebih tinggi dari rata-rata (65%). Di sisi lain, akurasi prediksi Matahari tidak jauh berbeda dibandingkan rata-rata (65%). Analisis lebih komprehensif menunjukkan bahwa akurasi prediksi SWIFtS cenderung lebih tinggi saat aktivitas rendah. Diperlukan usaha lebih untuk meningkatkan akurasi prediksi saat aktivitas menengah dan tinggi.

#### ABSTRACT

*Keywords:*

space weather,  
forecast, solar storm

*Space Weather Information and Forecast Services (SWIFtS)* is a service managed by Space Science Center LAPAN that provides information and prediction of space weather. This service includes evaluation and prediction of solar, geomagnetic, and ionospheric activities. Since operated in March 2015, this service has been delivering forecasts with average accuracy of 66%, 68%, and 51% for solar, geomagnetic, and ionospheric activities respectively. Consecutive solar storms in early September 2017 became a test for SWIFtS. For three weeks (August 30 to September 2018), there



were at least 70 C-class, 27 M-class, and 4 X-class flares occurred. Besides, geomagnetic *K* index rose upto 6 (moderate storm). The aim of this article is to measure and analyze the performance of SWIFtS during these events. The results are that the accuracy of the prediction of geomagnetic activity was below average (50%) while the accuracy of ionospheric activity prediction was higher (65%). On the other hand, the accuracy of solar activity prediction did not deviate significantly from the average value (65%). More comprehensive analyzes revealed that SWIFtS prediction accuracy tends to be higher during quiet times. Extra efforts are required to improve the accuracy during medium-high activity moments.

## 1. PENDAHULUAN

Gangguan cuaca antariksa terhadap peradaban manusia di muka Bumi mulai disadari setidaknya pada abad ke-19 ketika Carrington (1859) dan Hodgson (1859) mengamati flare di permukaan Matahari yang berkaitan dengan badai geomagnet 1-2 September 1859. Dewasa ini, peradaban manusia semakin rentan terhadap gangguan cuaca antariksa mengingat ketergantungan terhadap teknologi antariksa terus meningkat. Badai Matahari yang dipicu oleh peristiwa energetik dipermukaan Matahari (*flare* dan lontaran massa korona) menghasilkan radiasi cahaya dan partikel energy tinggi yang dapat mengganggu magnetosfer, termosfer, dan ionosfer. Penerbangan, operasi satelit, komunikasi radio, navigasi, serta jaringan listrik dapat terdampak oleh gangguan cuaca antariksa. Langkah mitigasi yang meliputi pemantauan kondisi cuaca antariksa serta prakiraan cuaca antariksa menjadi perlu dilakukan untuk memperkecil dampak yang ditimbulkannya.

Dewasa ini, layanan dan prediksi cuaca antariksa menjadi makin penting (Schrijver dan Rabanal, 2013). Dampak sosial ekonomi dari gangguan cuaca antariksa diperkirakan tidak hanya timbul ketika kondisi ekstrim saja. Gangguan kecil yang sering terjadi juga berdampak signifikan terhadap aset di ruang angkasa maupun di permukaan Bumi (Schrijver, 2015). Sejalan dengan kebutuhan tersebut, komunitas global telah mencanangkan peta jalan (*roadmap*) pengembangan cuaca antariksa yang meliputi penelitian hingga kerja sama internasional (Schrijver *et al.*, 2015).

Pada tataran aktivitas keantariksaan Indonesia, Pusat Sains Antariksa memiliki

fungsi untuk melakukan penelitian dan pengembangan terkait cuaca antariksa. Mitigasi gangguan cuaca antariksa menjadi salah satu fokusnya. *Space Weather Information and Forecast Services* (SWIFtS) merupakan bentuk konkrit dari langkah mitigasi tersebut. Layanan yang mulai beroperasi sejak bulan Maret 2015 ini merupakan transformasi dari program risalah cuaca antariksa mingguan yang sebelumnya telah berjalan dan diedarkan kepada sejumlah pengguna melalui faksimili. Melalui SWIFtS, informasi dan prediksi cuaca antariksa diterbitkan setiap hari melalui laman <http://swifts.sains.lapan.go.id>.

Sejak pertengahan tahun 2016, SWIFtS telah resmi tergabung dalam komunitas *International Space Environment Services* (ISES) bersama lembaga-lembaga di beberapa negara. Kini, SWIFtS sebagai Regional Warning Center (RWC) ISES telah secara rutin mengirimkan URSIGRAM yang merangkum evaluasi kondisi dan prediksi cuaca antariksa ke server ISES. Keikutsertaan dalam ISES memberikan kesempatan untuk melakukan pertukaran data dan informasi serta melakukan *benchmarking* sistem prediksi yang diterapkan di lembaga yang telah terverifikasi seperti *Solar Influences Data Center* Belgia (Devos *et al.*, 2014), *Embrace* Brazil (Denardini *et al.*, 2016), *National Institute of Information and Communication Technology* Jepang (Kubo *et al.*, 2017) dan *Met Office Space Weather Operations Centre* (Murray *et al.*, 2017). Keikutsertaan ini juga menuntut adanya verifikasi dan evaluasi kinerja SWIFtS secara berkala.

Studi ini bertujuan untuk mengukur dan menelaah kinerja SWIFtS dalam prediksi kondisi cuaca antariksa, terutama



saat badai Matahari awal September 2017. Rentang waktu tersebut menjadi prioritas karena saat itu terjadi badai Matahari yang dapat dianggap paling dahsyat sejak SWIFtS beroperasi secara rutin. Parameter kinerja SWIFtS saat badai akan dibandingkan dengan keseluruhan kinerja SWIFtS sejak bulan Maret 2015.

## 2. SWIFtS

*Space Weather Information and Forecast Services* merupakan layanan informasi dan prediksi cuaca antariksa yang dijalankan oleh Pusat Sains Antariksa LAPAN. Tiga aspek utama yang menjadi fokus dari layanan ini adalah aktivitas Matahari, geomagnet (atau magnetosfer), serta ionosfer. Sistem evaluasi dan prediksi cuaca antariksa yang dilakukan banyak terinspirasi dari program sejenis yang dijalankan oleh *National Institute of Information and Communications Technology* (NICT) di Jepang (Watari, 2009; Kubo et al., 2017). Dalam SWIFtS, evaluasi kondisi cuaca antariksa dilakukan berdasarkan data pengamatan dan pengukuran parameter cuaca antariksa 24 jam terakhir. Prediksi kondisi cuaca antariksa 24 jam berikutnya dilakukan berdasarkan penilaian subjektif yang dilakukan prakirawan dan pakar. Mengacu pada tahap perkembangan sistem prakiraan cuaca antariksa yang dikemukakan oleh Siscoe (2007), SWIFtS dapat dinilai berada pada tahap 7 dari total 10 tahap.

Kondisi cuaca antariksa dapat dikuantisasikan menggunakan sejumlah parameter, di antaranya adalah fluks maksimum *flare* sinar-X, indeks *K* atau *Dst* geomagnet, serta *MUF depression* ionosfer. Evaluasi dilakukan setiap pukul 11.00 WIB (07.00 UT) berdasarkan data parameter yang terukur 24 jam terakhir. Parameter yang bersifat kontinu dibagi menjadi beberapa tingkat aktivitas untuk mempermudah proses evaluasi dan prediksi. Tabel 2-1 merangkum tingkatan aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer yang digunakan dalam SWIFtS.

Fluks maksimum *flare* sinar-X ( $F_{max}$ ) yang menjadi dasar evaluasi aktivitas Matahari diperoleh dari pengamatan *Geostationary Operational Environment Satellite* (GOES) yang memantau Matahari pada jendela sinar-X (1 - 8 Å). Pembagian kelas *flare* (A, B, C, M, dan X) sesuai dengan  $F_{max}$  yang teramati. Kemudian, prediksi aktivitas Matahari biasa dilakukan berdasarkan kenampakan daerah aktif saat itu. Parameter daerah aktif seperti luas, jumlah bintik, kelas *McIntosh*, kelas magnetik serta sejarah aktivitasnya beberapa waktu terakhir menjadi dasar pertimbangan untuk memperkirakan potensi *flare* terkuat yang dapat dihasilkan. Tabulasi probabilitas *flare* tiap kelas *McIntosh* (Bloomfield et al., 2012) dan model jaringan saraf tiruan SOLARE (Dani et al., 2010) digunakan sebagai rujukan.

Untuk evaluasi aktivitas geomagnet, digunakan indeks *K* dari Biak (1,17° LS,

Tabel 2-1. Tingkatan aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer yang digunakan dalam SWIFtS.

Aktivitas Matahari	Aktivitas Geomagnet	Aktivitas Ionosfer
Quiet $F_{max} < C1.0$	Quiet $1 \leq K \leq 3$ $Dst > -25,5$	Quiet Normal tanpa terganggu
Eruptive $C1.0 \leq F_{max} < M1.0$	Active $K = 4$ $-45,0 < Dst \leq -25,5$	Minor Terganggu <2 jam
Active $M1.0 \leq F_{max} < X1.0$	Minor Storm $K = 4$ $-79,3 < Dst \leq -45,0$	Moderate Terganggu 2-6 jam
Major Flare $F_{max} \geq X1.0$	Moderate Storm $K = 4$ $-139,7 < Dst \leq -79,3$	Strong Terganggu 6-12 jam
	Major Storm $K = 4$ $-246,0 < Dst \leq -139,7$	Severe Terganggu >12 jam
	Severe Storm $K = 4$ $Dst \leq -246,0$	



136,09° BT) atau Kupang (10,17° LS, 123,67° BT). Bila indeks  $K$  tidak tersedia, maka digunakan *disturbance index* (indeks  $Dst$ ) yang diperoleh berdasarkan pengukuran medan magnet di Hermanus (Afrika Selatan), Kakioka (Jepang), Honolulu (Hawaii), dan San Juan (Puerto Rico). Terdapat korelasi yang baik antara indeks  $K$  lokal Indonesia dan indeks  $Dst$  yang juga merepresentasikan gangguan di sekitar ekuator geomagnet. Sementara itu, prediksi dilakukan dengan mempertimbangkan indeks  $Dst$ ,  $Kp$ ,  $Ae$ , serta kondisi korona dan angin Matahari. Kondisi korona yang meliputi keberadaan lubang korona dan kejadian lontaran massa korona tiga hari terakhir menjadi pertimbangan dalam melakukan prediksi mengingat aliran partikel bermuatan dari Matahari memerlukan waktu untuk mencapai Bumi dan mempengaruhi geomagnet.

Skala *MUF depression* yang menjadi dasar evaluasi kondisi ionosfer pada dasarnya merupakan penurunan nilai frekuensi kritis lapisan  $F2$  ( $f_oF2$ ) serta kejadian *radio blackout* yang terjadi akibat peningkatan frekuensi minimum ionosfer ( $f_{min}$ ). Ionosfer dinilai terganggu ketika  $f_oF2$  atau  $f_{min}$  menyimpang sejauh lebih dari 30% dari model. Model yang dimaksud di sini adalah luaran *software* ASAPS atau median bulanan hasil pengamatan ionosfer di Sumedang (6,91° LS, 107,84° BT), Biak, atau Kupang. Sementara untuk prediksi aktivitas ionosfer 24 jam berikutnya, prediksi kondisi geomagnet atau indeks  $W$  lokal (Muslim dan Andrian, 2016) digunakan sebagai salah satu rujukan.

Hasil evaluasi dan prediksi harian cuaca antariksa diterbitkan pukul 15.00 WIB setiap hari kerja. Menjelang hari libur, prediksi biasa dilakukan untuk tempo yang lebih panjang, misalnya prediksi 3 hari dilakukan setiap hari Jumat. Selain diunggah sebagai URSIGRAM, hasil evaluasi dan prediksi SWIFtS juga dikompilasi dalam bentuk cetak sebagai arsip bulanan. Selain itu, sejak pertengahan Mei 2017, kecocokan antara prediksi dan evaluasi direkap dan ditampilkan dalam web internal *Forecasting Report* ([http://10.30.10.52/K17\\_Ionogram/sr/](http://10.30.10.52/K17_Ionogram/sr/)) oleh Gatot Wikantho. Visualisasi ini mempermudah proses verifikasi dan evaluasi dari metode prediksi yang diterapkan dalam SWIFtS.

### 3. BADAI MATAHARI AWAL SEPTEMBER 2017

Pada tanggal 30 Agustus 2017, sebuah daerah aktif muncul di sisi timur piringan Matahari dan diberi nomor NOAA 2673. Daerah aktif yang muncul dalam bentuk sederhana (kelas *McIntosh* Hsx, kelas magnetik  $\alpha$ ) ini akan berkembang menjadi daerah eruptif dan memicu badai Matahari awal September 2017.

Pada tanggal 3 September 2017, NOAA 2673 menghasilkan *flare* kelas C pertamanya. Aktivitas daerah aktif ini meningkat secara drastis beberapa hari berikutnya. Dalam dua pekan kemunculannya di piringan Matahari, NOAA 2673 menghasilkan setidaknya 70 *flare* kelas C, 27 *flare* kelas M, serta 4 *flare* kelas X. *Flare* paling kuat (X9.3) memiliki fluks puncak hingga  $9,3 \times 10^{-4} \text{ Watt/m}^2$  terjadi tanggal 6 September 2017 pukul 12 UT atau 19.00 WIB. *Flare* tersebut juga tercatat sebagai *flare* paling dahsyat sepanjang siklus Matahari ke-24. Dalam rentang waktu sekitar 17 menit, GOES merekam  $0,057 \text{ Joule/m}^2$  energi sinar-X ( $1-8 \text{ \AA}$ ) dari *flare* tersebut. Berdasarkan pengukuran tersebut, daerah aktif NOAA 2673 diperkirakan menghamburkan energi dalam orde  $10^{23} \text{ Joule}$  (100 teraton TNT). NOAA 2673 tenggelam di sisi barat piringan Matahari pada tanggal 10 September 2017 dengan aktivitas yang masih cukup tinggi.

Sebagai bagian dari badai Matahari awal September 2017, tercatat 7 lontaran massa korona dengan bentangan sudut lebih dari  $90^\circ$  (*CACTus CME LASCO Catalog*, Robbrecht and Berghmans, 2004). Dampaknya, terjadi dua episode *solar proton event* (SPE), yakni pada tanggal 5 hingga 9 September serta tanggal 10 hingga 14 September. Pada episode kedua, GOES-13 mengukur fluks proton dengan energi  $\geq 10 \text{ MeV}$  mencapai 1300 partikel/cm<sup>2</sup>/s/sr. Fluks proton energi tinggi baru mencapai tingkat normal setelah tanggal 18 September.

Indeks geomagnet  $K$  lokal naik hingga 6, sementara indeks  $Dst$  turun hingga -142 nT pada tanggal 8 September. Dengan demikian, geomagnet dianggap mengalami badai sedang (*moderate storm*). Di sisi lain, kondisi ionosfer tidak menunjukkan adanya gangguan yang terlalu parah. Ionosfer di atas Indonesia mengalami



gangguan sedang (*moderate*) pada tanggal 5, 10, dan 14 September 2017. Selibuhnya, ionosfer Indonesia hanya mengalami gangguan kecil (*minor*) atau bahkan dalam kondisi tenang (*quiet*).

#### 4. METODOLOGI

##### a. DATA

Data yang digunakan dalam studi ini adalah hasil evaluasi dan prediksi cuaca antariksa SWIFtS berkaitan dengan kondisi tanggal 30 Agustus hingga 18 Agustus 2017. Kondisi cuaca antariksa dikategorikan menjadi sejumlah tingkatan aktivitas sebagaimana dijelaskan sebelumnya. Prediksi yang dirilis pada hari tertentu dicocokkan dengan kondisi yang dievaluasi pada hari berikutnya.

Selain itu, hasil evaluasi dan prediksi cuaca antariksa SWIFtS bulan Maret 2015 hingga September 2017 juga digunakan sebagai data pembanding. Kumpulan arsip bulanan serta *forecasting report* digunakan untuk melakukan tabulasi evaluasi dan prediksi SWIFtS. Perlu menjadi catatan bahwa prediksi dilakukan pada hari kerja sehingga prediksi hari Jumat biasa berlaku untuk 3x24jam. Sementara itu, evaluasi hanya dilakukan hari Senin hingga Jumat untuk kondisi cuaca antariksa hari Minggu hingga Kamis. Karena itulah prediksi yang dapat dievaluasi selalu kurang dari jumlah hari dalam sebulan. Jumlah prediksi bulan Juli 2015-2016 dan bulan Juni 2017 jauh lebih rendah karena bersesuaian dengan masa cuti Lebaran.

Sebagai tambahan, *Solar and Geophysical Event Reports* yang diterbitkan tiap hari oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration Space Weather Prediction Center* (NOAA/SWPC) digunakan sebagai komplemen. Di dalamnya terdapat rekaman kejadian *flare* sinar-X di Matahari sehingga verifikasi dapat dilakukan terhadap seluruh prediksi aktivitas Matahari yang diterbitkan oleh SWIFtS.

##### b. METODE

Akurasi prediksi saat badai Matahari awal September 2017 dibandingkan dengan akurasi rata-rata SWIFtS sejak awal beroperasi. Secara sederhana, akurasi prediksi didefinisikan sebagai jumlah prediksi yang sesuai dibagi jumlah keseluruhan prediksi. Nilainya dapat

dinyatakan dalam persentase. Definisi ini juga dikenal sebagai *proportion correctness* (PC) dan digunakan dalam verifikasi prediksi yang dilakukan beberapa lembaga (Crown, 2012; Devos et al., 2014; Kubo et al., 2017).

Untuk membandingkan akurasi saat badai dan akurasi rata-rata, digunakan metode perbandingan dua proporsi (Spiegel, 2003). Akurasi saat badai dapat dianggap sebagai proporsi  $\pi_2$  yang dihitung berdasarkan  $n_2$  data, sedangkan akurasi rata-rata dinyatakan sebagai  $\pi_1$  dan dihitung berdasarkan  $n_1$  data. Dalam konteks ini, hipotesis yang diuji adalah:

$$H_0 : \pi_1 \neq \pi_2$$

$$H_1 : \pi_1 = \pi_2$$

Untuk menguji hipotesis tersebut, dihitung parameter statistik  $z$  ( $z$ -score) menggunakan persamaan:

$$z = \frac{\pi_1 - \pi_2}{\sigma}, \dots \dots \dots (4-1)$$

Dengan  $\sigma$  menyatakan simpangan baku (*standard error*) dari beda kedua proporsi. Nilainya dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n_1} + \frac{\pi(1-\pi)}{n_2}}, \dots \dots \dots (4-2)$$

Dengan  $\pi$  menyatakan proporsi gabungan yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\pi = \frac{n_1\pi_1 + n_2\pi_2}{n_1 + n_2}, \dots \dots \dots (4.3)$$

Setelah nilai  $z$  didapatkan, maka tingkat kepercayaan dari uji hipotesis tersebut dapat diperoleh berdasarkan fungsi distribusi normal.

#### 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5-1 menampilkan rekapitulasi evaluasi dan prediksi cuaca antariksa pada masa badai, tepatnya sejak tanggal 30 Agustus hingga 18 September 2017. Di antara 20 kali prediksi aktivitas Matahari, terdapat 13 prediksi tepat, 4 prediksi *overestimate*, serta 3 prediksi *underestimate* sehingga akurasi pada masa tersebut adalah 65%. Untuk prediksi aktivitas





Tabel 5-1. Rangkuman akurasi prediksi SWIFtS selama Maret 2015 hingga September 2017 serta akurasi prediksi saat badai awal September 2017.

Maret 2015 – September 2017			
	Matahari	Geomagnet	Ionosfer
<i>correct estimate</i>	572	432	329
<i>overestimate</i>	184	125	121
<i>underestimate</i>	108	82	189
total ( $n_1$ )	864	639	639
akurasi ( $\pi_1$ )	0,662	0,676	0,515

30 Agustus 2017 – 18 September 2017			
	Matahari	Geomagnet	Ionosfer
<i>correct estimate</i>	13	10	13
<i>overestimate</i>	4	5	4
<i>underestimate</i>	3	5	3
total ( $n_2$ )	20	20	20
akurasi ( $\pi_2$ )	0,650	0,500	0,650

Tabel 5-2. Parameter statistik yang dihitung untuk membandingkan akurasi saat badai dan akurasi rata-rata SWIFtS.

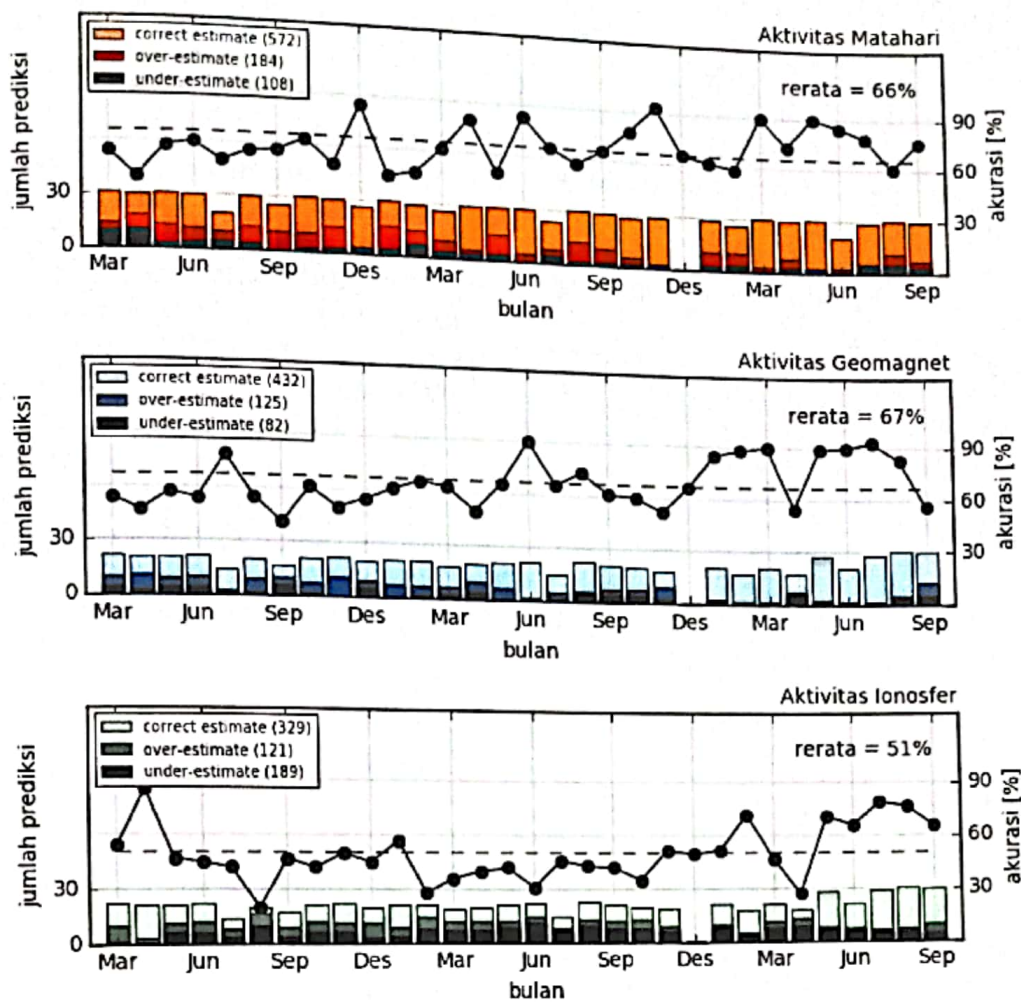
	Matahari	Geomagnet	Ionosfer
proporsi gabungan ( $\pi$ )	0,630	0,642	0,486
simpangan baku ( $\sigma$ )	0,109	0,109	0,113
<i>z-score</i>	0,110	1,617	-1,191
tingkat keyakinan $H_0$	8%	89%	77%

Sebagai pembanding, kecocokan antara prediksi SWIFtS dan evaluasi kondisi cuaca antariksa sepanjang masa operasi SWIFtS ditampilkan pada Gambar 5-2. Sama seperti Gambar 5-1, skala warna menunjukkan tingkatan aktivitas sementara garis hitam menandai prediksi yang sesuai dengan evaluasi pada hari berikutnya. Total data yang dianalisis dalam studi ini adalah 864 prediksi aktivitas Matahari, 639 prediksi aktivitas geomagnet, serta 639 prediksi aktivitas ionosfer. Sebagaimana dirangkum dalam Tabel 5-1, akurasi rata-rata prediksi aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer berturut-turut adalah 66,2%, 67,6%, dan 51,5%.

Hasil perbandingan antara akurasi pada masa badai dan akurasi rata-rata dirangkum dalam Tabel 5-2. Secara statistik, dapat dikatakan bahwa akurasi prediksi aktivitas Matahari saat badai awal September 2017 hampir sama dengan akurasi rata-rata. Akurasi prediksi geomagnet lebih rendah dibandingkan akurasi rata-rata. Tingkat keyakinannya mencapai 89%. Untuk prediksi aktivitas

ionosfer, akurasinya lebih tinggi dibandingkan akurasi rata-rata dengan tingkat keyakinan 77%. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa akurasi prediksi aktivitas geomagnet saat badai menurun sementara akurasi prediksi aktivitas ionosfer meningkat. Hal ini berkaitan dengan karakteristik badai yang terjadi awal September 2017.

Bila diperhatikan, terdapat beberapa kasus ketika prediksi aktivitas pada hari  $H+1$  memiliki tingkatan yang sama dengan hasil evaluasi pada hari  $H$ . Pola ini dikenal sebagai *persistence model* dan dinilai memiliki performa yang cukup baik (Devos et al., 2014). Namun, hal ini tidak berlaku pada prediksi SWIFtS saat badai matahari awal September 2017. Pola prediksi *persistence model* justru menghasilkan prediksi tingkatan aktivitas yang terlalu tinggi. Hal ini tampak pada Gambar 5-1 sebagai urutan kotak warna yang seolah bergeser dari seharusnya. Terdapat beberapa argumen untuk menjelaskan ketidaksesuaian antara prediksi dan evaluasi tersebut.



Gambar 5-3. Plot jumlah (diagram batang) dan akurasi (titik tebal) dari prediksi aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer tiap bulan. Jumlah prediksi yang ditampilkan hanya yang disertai evaluasi terkait.

Pertama, prakirawan aktivitas Matahari biasa memperhatikan karakteristik daerah aktif sebagai sumber *flare* serta sejarah aktivitasnya. Pendekatan *persistence model* memang sering digunakan sebagai dasar prediksi. Namun, perubahan mendadak dari suatu daerah aktif seringkali menggagalkan pendekatan tersebut. Selain itu, prakirawan dan tim pakar SWIFtS belum memiliki pijakan yang mantap dalam pengambilan keputusan prediksi *flare* dahsyat kelas M dan X. Kejadian *flare* dahsyat yang tergolong jarang membuat akurasi prediksi *flare* kelas tersebut menjadi rendah. Hal ini berkebalikan dengan akurasi prediksi flare NOAA (Crown, 2012) dan NICT (Kubo et al., 2017) yang meningkat untuk *flare* yang lebih dahsyat.

Kedua, rendahnya akurasi prediksi aktivitas geomagnet dikaitkan dengan kegagalan memperkirakan waktu gangguan geomagnet dengan tepat. Pada dasarnya,

*streamer* dari lubang korona dan lontaran massa korona merupakan dua fenomena yang berpotensi besar memberikan gangguan geomagnet. Kecepatan angin Surya yang mengalir dari lubang korona belum dapat diperkirakan sehingga pola perubahan medan magnet antarplanet pun tidak dapat diprediksi dengan baik. Kecepatan dan arah lontaran massa korona dapat diperkirakan dengan cukup baik, misalnya dengan bantuan CACTUS (Robbrecht dan Berghmans, 2004; Robbrecht et al., 2009) dan hasil pengamatan Atmospheric Imaging Assembly dari Solar Dynamics Observatory (SDO/AIA). Namun, waktu tiba aliran partikel dan gangguan medan magnet dihitung secara sederhana dengan mengasumsikan partikel bergerak lurus dengan kecepatan konstan. Padahal partikel menempuh lintasan spiral (Parker, 1958) dan mengalami perlambatan (Vrsnak et al., 2013).



Ketiga, akurasi prediksi aktivitas ionosfer yang lebih tinggi dari rata-rata dapat diasosiasikan dengan kenyataan bahwa dampak badai Matahari awal September 2017 terhadap ionosfer regional Indonesia tidak terlalu besar. Sebagian flare kelas M dan X terjadi saat malam hari sehingga dampak langsungnya terhadap ionosfer tidak signifikan. Efek tunda terhadap ionosfer baru teramati pada tanggal 10 September 2017 ketika aliran *interplanetary coronal mass ejection* (iCME). Berbeda dengan iCME badai 28 Oktober 2003 yang berdampak pada peningkatan *total electron content* hingga ~300% (Tsurutani *et al.*, 2006), badai awal September 2017 hanya menimbulkan gangguan minor terhadap ionosfer regional Indonesia. Kondisi ionosfer yang tidak jauh menyimpang dari kondisi normal berkemungkinan menjadi latar belakang peningkatan akurasi prediksi aktivitas ionosfer awal September 2017.

Kecenderungan bahwa prediksi SWIFtS tepat saat kondisi tenang juga tampak pada Gambar 5-2. Kondisi terganggu masih sulit diprediksi dengan akurat. Plot akurasi bulanan pada Gambar 5-3 juga dapat diinterpretasikan mendukung pernyataan tersebut. Pada plot tersebut, terdapat kecenderungan peningkatan akurasi prediksi aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer sementara Matahari mulai memasuki fase minimum aktivitasnya. Penurunan akurasi pada bulan April 2017 juga dikaitkan dengan aktivitas dari daerah aktif NOAA 2644 yang tidak diantisipasi dengan tepat. Daerah aktif ini menghasilkan flare hingga kelas M5.8 tanggal 4 April 2017.

Interpretasi lain dari plot tersebut adalah bahwa bertambahnya pengalaman prakirawan SWIFtS mendorong peningkatan akurasi prediksi. Pengalaman kerja merupakan salah satu faktor kunci yang menentukan akurasi prediksi cuaca antariksa, terutama yang berpijak pada analisis subjektif (Crown, 2012).

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan telaah yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja SWIFtS dalam prediksi aktivitas Matahari, geomagnet, dan ionosfer masih perlu ditingkatkan. Akurasi prediksi aktivitas

Matahari, geomagnet, dan ionosfer saat badai Matahari awal September 2017 berturut-turut adalah 65%, 50%, dan 65%. Bila dibandingkan akurasi rata-rata (66%, 67%, dan 51%), akurasi prediksi aktivitas geomagnet turun signifikan. Kesalahan perhitungan waktu tiba masih menjadi masalah terbesar yang membuat akurasi prediksi menjadi rendah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada penelaah yang telah meningkatkan kualitas dari makalah ini. Terima kasih juga disampaikan kepada *sub-coordinator* SWIFtS yang telah menyusun *Monthly Archive* sebagai sumber data dalam studi ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Bloomfield, D., Higgins, P., McAteer, J., & Gallagher, P. (2012). Toward reliable benchmarking of solar flare forecasting methods. *The Astrophysical Journal*, 747:L41.
- Carrington, R. C. (1859). Description of a singular appearance seen in the sun on september 1, 1859. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 20:13.
- Crown, M. D. (2012). Validation of the NOAA Space Weather Prediction Centers solar flare forecasting look-up table and forecaster-issued probabilities. *Space Weather*, 10:S06006.
- Dani, T., Nugroho, J. T., Mumpuni, E. S., & Suryana, N. (2010). Design of x-ray solar flare prediction based on sunspot physical parameters using neural network. *Proceeding of Earth and Space Sciences Conference*.
- Denardini, C. M., Dasso, S., & Gonzalez-Esparza, J. A. (2016). Review on space weather in Latin America. 3. Development of space weather forecasting centers. *Advances in Space Research*, 58:1960.
- Devos, A., Verbeeck, C., & Robbrecht, E. (2014). Verification of space weather forecasting at the Regional Warning Center in Belgium. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4:A29.
- Hodgson, R. (1859). On a curious appearance seen in the sun. *Monthly*



- Notices of the Royal Astronomical Society, 20:15.
- Kubo, Y., Den, M., & Ishii, M. (2017). Verification of operational solar flare forecast: Case of Regional Warning Center Japan. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 7:A20.
- Murray, S. A., Bingham, S., Sharpe, M., & Jackson, D. R. (2017). Flare forecasting at the Met Office Space Weather Operations Centre. *Space Weather*, 15:577.
- Muslim, B. & Andrian, Y. (2016). Pengembangan sistem pemetaan ionosfer dan penentuan indeks w dari data GPS. *Prosiding Seminar Nasional Sains Antariksa 2016*, page 83.
- Parker, E. N. (1958). Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields. *The Astrophysical Journal*, 128:664.
- Robbrecht, E. and Berghmans, D. (2004). Automated recognition of coronal mass ejections (CMEs) in near-real-time data. *Astronomy and Astrophysics*, 425:1097.
- Robbrecht, E., Berghmans, D., & Van der Linden, R. A. M. (2009). Automated LASCO CME catalog for solar cycle 23: Are CMEs scale invariant? *The Astrophysical Journal*, 691:1222.
- Schrijver, C. J. (2015). Socio-economic hazards and impacts of space weather: The important range between mild and extreme. *Space Weather*, 13:524.
- Schrijver, C. J., Kauristie, K., Aylward, A. D., Denardini, C. M., Gibson, S. E., Glover, A., Gopalswamy, N., Grande, M., Hapgood, M., Heynderickx, D., Jakowski, N., Kalegaev, V. V., Lapenta, G., Linker, J. A., Liu, S., Mandrini, C. H., Mann, I. R., Nagatsuma, T., Nandy, D., Obara, T., Paul O'Brien, T., Onsager, T., Opgenoorth, H. J., Terkildsen, M., Valladares, C. E., & Vilmer, N. (2015). Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015-2025 commissioned by COSPAR and ILWS. *Advances in Space Research*, 55:2745.
- Schrijver, C. J. and Rabanal, J. P. (2013). A survey of customers of space weather information. *Space Weather*, 11:529.
- Siscoe, G. (2007). Space weather forecasting historically viewed through the lens of meteorology, chapter 2, page 6. Praxis Publishing.
- Spiegel, M. (2003). *Theory And Problems Of Probability And Statistics (Schaum S Outline Series)*. Mc Graw-Hill.
- Tsurutani, B., Mannucci, A., Iijima, B., Guarnieri, F., Gonzalez, W., Judge, D., Gangopadhyay, P., & Pap, J. (2006). The extreme halloween 2003 solar flares (and Bastille Day, 2000 flare), ICMEs, and resultant extreme ionospheric effects: A review. *Advances in Space Research*, 37:1583.
- Vrsnak, B., Zic, T., Vrbanec, D., Temmer, M., Rollett, T., Mostl, C., Veronig, A., Calogovic, J., Dumbovic, M., Lulic, S., Moon, Y.-J., & Shanmugaraju, A. (2013). Propagation of interplanetary coronal mass ejections: The drag-based model. *Solar Physics*, 285:295.
- Watari, S. (2009). Space weather forecast using real-time data. *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, 56:1.



Dr. Rhorom Priyatikanto dilahirkan pada tanggal 10 April 1989 di Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Ia memperoleh gelar sarjana pada tahun 2011 dan gelar master pada tahun 2014, dan gelar doktor tahun 2017 di almamater tercinta, Program Studi Astronomi Institut Teknologi Bandung. Kini, ia aktif sebagai peneliti bidang astronomi/astrofisika di Pusat Sains Antariksa LAPAN.