

## MATAHARI

## Prakiraan Flare Sinar-X Matahari Di LAPAN

Machine learning untuk memahami pola kejadian flare

Oleh

S. Sulistiani | Pussainsa LAPAN

Flare Matahari adalah peristiwa peningkatan intensitas pada berbagai panjang gelombang yang berlangsung sangat kuat dan tiba-tiba di atmosfer Matahari. Berdasarkan fluks puncak pada panjang gelombang sinar-X 1-8 Å, flare dibagi menjadi kelas B, C, M, dan X (Tabel 1).

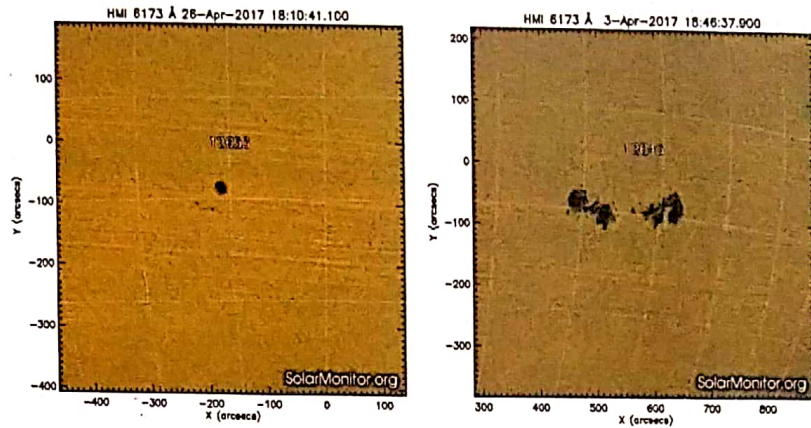
Flare Matahari pada umumnya berasal dari daerah aktif dan dapat melontarkan energi hingga  $10^{23}$  erg.

Salah satu dampak flare terhadap atmosfer Bumi adalah radiasi yang dapat menyebabkan atmosfer atas Bumi terionisasi dan mengembang sehingga mengganggu komunikasi radio yang memanfaatkan lapisan ionosfer Bumi. Oleh karena itu, prakiraan flare Matahari sangat penting untuk peringatan dini cuaca antariksa.

Daerah aktif yang sering diamati sebagai grup bintang Matahari telah lama dipelajari terkait potensinya dalam menghasilkan flare Matahari. Berdasarkan kompleksitas magnetnya, bintang Matahari dibagi menjadi delapan

Tabel 1: Klasifikasi flare Matahari berdasarkan fluks puncak pada panjang gelombang sinar-X 1-8 Å.

Kelas	Intensitas Puncak [W/m <sup>2</sup> ]
B	$10^{-7} \leq I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} \leq I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} \leq I < 10^{-4}$
X	$10^{-4} \leq I$



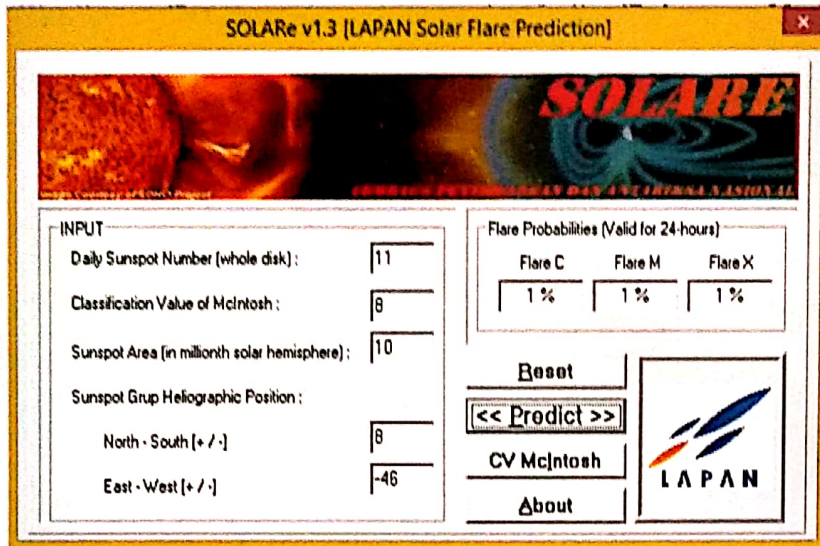
Gambar 1: Contoh daerah aktif dengan klasifikasi McIntosh dan Hale yang berbeda. Kiri: NOAA 12653 dengan kelas McIntosh Hax dan kelas Hale  $\alpha$ . Kanan: NOAA 12645 dengan kelas McIntosh Ehc dan kelas Hale  $\beta\gamma\delta$ . Daerah bintang yang paling gelap dinamakan umbra sedangkan daerah yang tidak terlalu gelap di sekitar umbra dinamakan penumbra. (Sumber: solarmonitor.org).

kelas, yaitu  $\alpha, \beta, \gamma, \beta\delta, \beta\gamma\delta$ , dan  $\gamma\delta$  [1,2]. Klasifikasi ini dikenal sebagai klasifikasi Hale atau klasifikasi Mount Wilson. Daerah aktif dengan kompleksitas magnet lebih tinggi dan luas bintang lebih besar menghasilkan flare yang lebih kuat [3]. Berdasarkan bentangan grup bintang, jenis penumbra bintang utama, dan distribusi bintang, McIntosh [4] mengklasifikasikan grup bintang Matahari menjadi 60 kelas. Daerah aktif dengan kelas McIntosh lebih tinggi (bentangan lebih lebar dengan penumbra lebih besar dan asimetris, dan memiliki lebih banyak bintang) menghasilkan lebih banyak flare [4,5,6].

Pada tahun 2009, LAPAN mulai mengembangkan sebuah perangkat lunak untuk memprakirakan kejadian flare sinar-X untuk 24 jam ke depan berdasarkan parameter fisis bintang Matahari dalam 24 jam terakhir. Perangkat lunak ini dibangun menggunakan metode

machine learning dengan algoritma jaringan saraf tiruan propagasi mundur (Backpropagation Neural Network/BNN). Arsitektur BNN secara umum terdiri dari tiga lapisan (layer), yaitu input layer, hidden layer, dan output layer. Tiap lapisan dapat berisi satu atau lebih neuron dengan tiap neuron dikaitkan dengan nilai bobot dan fungsi aktivasi tertentu. Dengan menggunakan data daerah aktif dan flare sinar-X tahun 2000-2003 sebagai data latih dan tahun 1990-1995 sebagai data uji, diperoleh nilai bobot dan bias untuk tiap lapisan pada konfigurasi jaringan saraf tiruan terbaik dengan galat terkecil. Nilai bobot dan bias inilah yang digunakan untuk membangun perangkat lunak prediksi flare sinar-X yang kemudian diberi nama SOLARe (Solar Flare Prediction [7]).

SOLARe dirancang menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi berbasis BNN. Fungsi



Gambar 2: Antarmuka perangkat lunak prediksi flare sinar-X berbasis BNN, SOLARe.

prediksi SOLARe menggunakan proses *feed forward* dari BNN dengan persamaan

$$z_{in_j} = b_{1j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij}$$

dan fungsi aktivasi

$$z_j = f(z_{in_j})$$

dengan  $b_{1j}$  adalah bias,  $v_{ij}$  adalah bobot,  $x_i$  adalah input,  $z_{in_j}$  adalah fungsi aktivasi, dan  $z_j$  adalah input.

Antarmuka perangkat lunak terdiri atas jendela *input*, jendela *eksekusi*, dan jendela *output* (Gambar 2). Pada jendela *input* terdapat lima masukan yang harus diisi, yaitu CV McIntosh, bilangan bintang Matahari harian, luas grup bintang per sejuta belahan Matahari, serta posisi heliografis grup bintang Matahari (utara/selatan dan timur/barat). Jendela *eksekusi* terdiri atas empat tombol, yaitu **Reset** yang berfungsi untuk memulai proses prediksi ulang dengan data baru, **Predict** yang berfungsi untuk proses prediksi, **CV McIntosh** yang berisi tabel konversi klasifikasi McIntosh ke dalam angka, dan **About** yang berisi penjelasan singkat mengenai

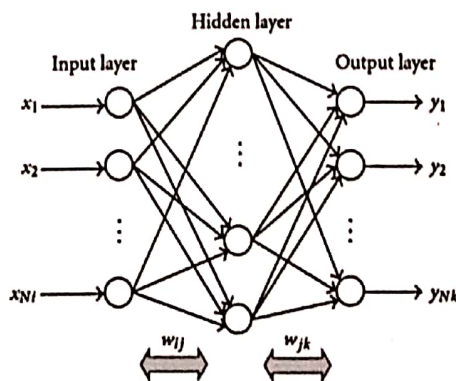
perangkat lunak ini. Pada jendela *output* akan ditampilkan probabilitas kejadian tiap kelas flare sinar-X untuk 24 jam ke depan, dinyatakan dalam persen.

SOLARe menghasilkan prediksi flare sinar-X dengan akurasi maksimum sekitar 75%. Perangkat lunak ini telah digunakan untuk menunjang kegiatan prakiraan cuaca

antariksa harian di LAPAN bernama SWIFtS (*Space Weather Information and Prediction Services*)<sup>[8]</sup> yang telah beroperasi sejak Maret 2015.

Pada tahun 2018 telah dikembangkan perangkat lunak untuk memprakirakan flare sinar-X yang dihasilkan suatu daerah aktif untuk 24 jam ke depan berdasarkan klasifikasi McIntosh dan Hale, dan parameter fisik lain dari grup bintang Matahari selama tiga hari menjelang peristiwa flare. Perangkat lunak ini dibangun menggunakan algoritma *random forest* (RF) dan dikembangkan untuk mendukung kegiatan SWIFtS dengan meningkatkan akurasi prakiraan flare.

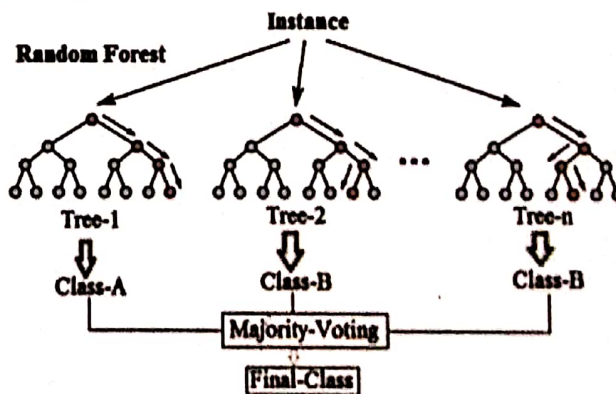
Algoritma RF merupakan sekumpulan keputusan pohon biner yang dari masing-masing pohon tersebut akan dipilih dan menghasilkan prediksi akhir. Koehrsen<sup>[9]</sup> mengilustrasikan algoritma RF seperti pada



Gambar 3: Ilustrasi skema *backpropagation neural network* (BNN) yang terdiri atas beberapa *neuron* yang ditempatkan pada tiga lapisan.

(Sumber: [doi.org/10.1155/2009/474125](https://doi.org/10.1155/2009/474125))

Gambar 4: Ilustrasi algoritma *random forest* (RF) yang terdiri atas sejumlah pohon dengan dedaunan di setiap pohon<sup>[9]</sup>.



Gambar 5: Antarmuka perangkat lunak prediksi flare sinar-X berbasis RF.

Gambar 4. Pohon individu ditunjukkan sebagai **Tree-1** hingga **Tree-n** dengan simpul-simpul yang disebut daun pada tiap pohon. Pohon di sini adalah pohon keputusan yang dipilih secara acak, sedangkan daun adalah kriteria yang harus dipenuhi dalam menghasilkan sebuah prediksi. Hasil akhir dari prediksi adalah keputusan kolektif (*wisdom of the crowd*) dari daun-daun terakhir di tiap pohon.

Untuk mendapatkan model prakiraan *flare* yang optimal, telah dicoba berbagai konfigurasi pohon dan daun dalam RF menggunakan data daerah aktif dan *flare* sinar-X selama Januari 1998-Juni 2018 dengan perbandingan data latih terhadap data uji sebesar 7:3. Konfigurasi yang diambil adalah konfigurasi terbaik dengan akurasi  $\geq 70\%$ .

Algoritma RF dapat memprakirakan kondisi tenang (*flare* < kelas C) dan *flare* kelas X dengan cukup baik, dengan akurasi masing-masing sekitar 75% dan 80%. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan akurasi jika dibandingkan dengan akurasi yang dicapai oleh SOLARe.

Sementara itu, prakiraan *flare* kelas C dan M masih perlu ditingkatkan lagi karena akurasinya hanya sekitar 40-45%.

Prakiraan *flare* berbasis RF ini dirancang menggunakan bahasa pemrograman Python. Antarmuka perangkat lunak terdiri atas jendela *input*, jendela *eksekusi*, dan jendela *output*. Jendela *input* terdiri dari tiga kolom (untuk data 3, 2, dan 1 hari terakhir) yang masing-masing terdiri dari lima masukan yang harus diisi, yaitu posisi heliografis grup bintang (utara/selatan dan timur/barat), luas area grup bintang per sejuta belahan Matahari, jumlah bintang di dalam grup, dan CV McIntosh, serta pilihan kelas Hale. Untuk jendela *eksekusi* terdiri atas empat tombol, yaitu **About** yang berisi penjelasan singkat mengenai perangkat lunak ini, **CV McIntosh** yang berisi tabel konversi klasifikasi McIntosh ke dalam angka, **Predict** yang berfungsi untuk proses prediksi, dan **Reset** yang berfungsi untuk memulai proses prediksi ulang dengan data baru. Pada jendela *output* akan ditampilkan prakiraan kelas flare terkuat untuk 24 jam ke depan.

Saat ini masih dilakukan

pengembangan prakiraan *flare* sinar-X untuk meningkatkan akurasi khususnya untuk prakiraan *flare* kelas C dan M, salah satunya adalah dengan mempertimbangkan fitur non-potensial medan magnet daerah aktif menjelang terjadinya *flare*. Pengembangan ini diharapkan dapat menghasilkan prakiraan *flare* sinar-X yang akurat untuk mendukung kegiatan SWIFtS dalam melakukan prakiraan cuaca antariksa di LAPAN. ■

## Rujukan

- [1] Hale, G. E., F. Ellerman, S. B. Nicholson, dan A. H. Joy, 1919, *The Astrophysical Journal*, 49, 153
- [2] Kunzel, H., 1960, *Astronomische Nachrichten*, 285, 271
- [3] Sammis, I., F. Tang, dan H. Zirin, 2000, *The Astrophysical Journal*, 540, 583
- [4] McIntosh, P. S., 1990, *Solar Physics*, 125, 251
- [5] Bormmann, P. L. dan D. Shaw, 1994, *Solar Physics*, 150, 127
- [6] Norquist, D. C., 2011, *Solar Physics*, 269, 111
- [7] Dani, T., 2016, SWIFtS Space Weather Information and Forecast Services, Pusat Sains Antariksa
- [8] Dani, T., J. T. Nugroho, E. S. Mumpuni, dan N. Suryana, 2010, *Proceeding of Earth and Space Sciences Conference*
- [9] Koehrsen, W., 2017, <https://medium.com/@williamkoehrsen/random-forest-simple-explanation-377895a60d2d> diakses 4 Juni 2018