

ASTROFISIKA

Magnetogram Matahari

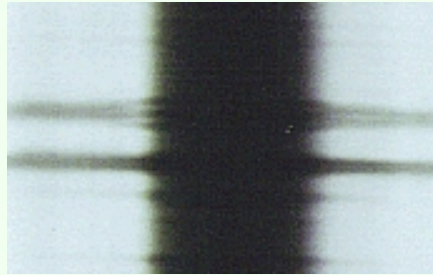
Oleh

S. Sulistiani | Pussainsa LAPAN

Matahari dapat diamati menggunakan teleskop sederhana, seperti yang dilakukan oleh Galileo pada 1609. Teleskop sederhana Galileo hanya dapat ‘melihat’ satu bagian dari atmosfer Matahari, yaitu lapisan fotosfer. Pada awal tahun 1800-an, Joseph von Fraunhofer mempelajari spektrum Matahari menggunakan perbesaran tinggi. Beliau menemukan garis-garis gelap yang menumpang pada spektrum. Pada pertengahan tahun 1800-an, percobaan laboratorium mengungkapkan bahwa setiap unsur kimia menghasilkan spektrum karakteristiknya sendiri dengan pola garis spektrum tertentu, sebuah ‘sidik jari’ dari unsur tersebut. Beberapa dari ‘sidik jari’ ini diidentifikasi dalam spektrum Matahari Fraunhofer, misalnya besi, artinya besi yang menguap ada di atmosfer Matahari.

Charles Young dari Princeton di Halstead Observatory, menerapkan ilmu spektroskopi secara khusus untuk mempelajari bintik Matahari. Young mengamati banyak garis ganda dalam spektrum bintik, tetapi keliru membuat hipotesis bahwa penyebabnya adalah pembalikan garis dari lapisan gas pada temperatur yang berbeda dan terletak satu di atas yang lain.

Pada Agustus 1886, fisikawan Belanda bernama Pieter Zeeman mengamati spektrum dari nyala Natrium yang ditempatkan di antara magnet-magnet. Garis-garis emisi melebar atau terbagi menjadi dua atau tiga garis seperti yang ditunjukkan



Gambar 1. Pemisahan garis-garis emisi pada spektrum cahaya akibat adanya medan magnet

pada gambar 1.

Dari lebih banyak tes laboratorium, Zeeman menentukan bahwa jumlah pemisahan bergantung pada kuat medan magnet yang dilalui cahaya. Dalam istilah matematika, jarak antarkomponen garis spektrum dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta\lambda = (eB\lambda^2)/4\pi mc$$

dengan B adalah kuat medan magnet dalam Gauss.

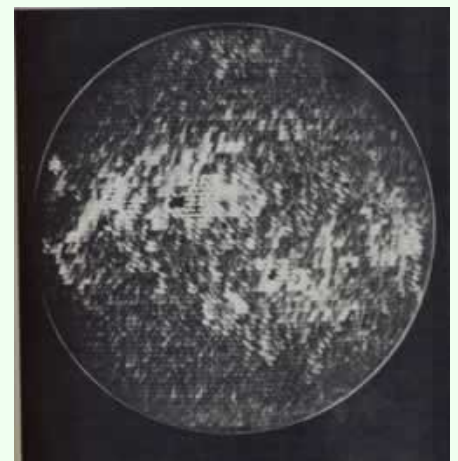
Cahaya dari atom tereksitasi biasanya akan menghasilkan garis spektrum pada panjang gelombang tertentu. Namun, dengan adanya medan magnet, elektron atom menghasilkan cahaya pada dua panjang gelombang yang berbeda untuk setiap garis normal. Semakin kuat medan magnetnya, semakin besar perbedaan panjang gelombang antargaris atom. Ini dikenal sebagai Efek Zeeman. Karena elektron ‘berputar’ ke arah yang berlawanan dalam dua garis, mereka menghasilkan cahaya yang terpolarisasi secara berlawanan. Efeknya sangat kecil sehingga teleskop khusus harus dirancang agar pemisahannya mudah dideteksi untuk cahaya dari Matahari.

George Ellery Hale adalah

seorang peneliti yang berasal dari Chicago, pendiri Mount Wilson Observatory di California. Hale menuntut ilmu dan menerima gelar di bidang teknik dari Massachusetts Institute of Technology (MIT). Dengan bantuan F. Ellerman, Hale menyempurnakan spektroheliograf dan mulai mempelajari spektrum yang terkait dengan bintik Matahari.

Pada tahun 1904 hingga 1905, sebuah spektroheliograf dengan panjang fokus 5 kaki dan sebuah spektroskop Matahari dengan panjang fokus 18 kaki dipasang di Mount Wilson Observatory. Segera setelah instrumen ini digunakan, Hale membuat dua penemuan yang sangat penting, yaitu temperatur bintik Matahari lebih dingin daripada fotosfer sekitarnya dan adanya medan magnet yang terkait dengan bintik Matahari.

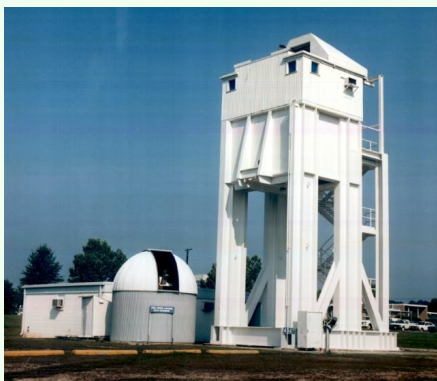
Salah satu teleskop terbesar, teleskop menara setinggi 150



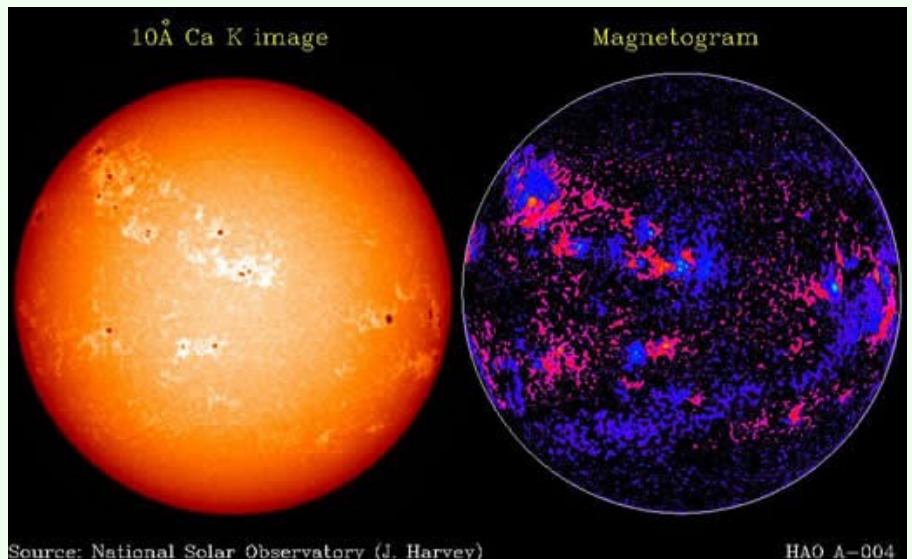
Gambar 2. Magnetogram Matahari yang diperoleh di Mount Wilson pada tahun 1961. Kecerlangan setiap titik menunjukkan intensitas magnet. Kemiringan menunjukkan polaritas: miring kanan = utara; miring kiri = selatan. (Sumber: NASA/Babcock dan Mount Wilson Observatory)

kaki di Mount Wilson, dibangun pada tahun 1912. Para astronom segera menggunakannya untuk membuat studi rinci tentang magnetisme Matahari. Pada tahun 1914, misalnya, Hale menemukan bahwa polaritas bintik Matahari di belahan utara dan selatan Matahari berbalik dari satu siklus ke siklus lainnya. Pada awalnya, hanya bidang yang lebih kuat dari 1000 Gauss yang dapat dideteksi. Saat teknologinya semakin baik, bidang selebih 0,1 Gauss juga dapat dideteksi. Sebagai perbandingan, medan magnet Bumi sekitar 0,7 Gauss di permukaan. Dengan teknologi ini, seluruh medan Matahari yang 'lemah' pada akhirnya dapat dideteksi dan dipetakan. Proses pemetaan tidak hanya dapat menunjukkan kekuatan medan magnet, tetapi juga polaritasnya. Contohnya seperti yang terlihat pada Gambar 2. Kecerlangan pada skala abu-abu menyatakan kuat medan magnet, sedangkan polaritasnya dinyatakan oleh kemiringan garis secara lokal. Miring kanan menunjukkan polaritas utara dan miring kiri menunjukkan polaritas selatan.

Para astronom Matahari tertarik untuk mengukur medan magnet Matahari karena magnetisme merupakan kunci dari aktivitas Matahari. Magnetograf digunakan untuk mengukur medan magnet. Magnetograf



Gambar 4. Fasilitas magnetograf vektor di Marshall Space Flight Center (MSFC). (Sumber: NASA)



Gambar 3. Perbandingan secara berdampingan, permukaan Matahari dan citra magnetik yang menunjukkan daerah magnetisme yang kuat (warna merah dan biru) di dekat bintik Matahari. (Sumber: UCAR - National Solar Observatory)

bekerja dengan mengukur polarisasi cahaya pada berbagai posisi panjang gelombang dalam garis spektrum Matahari. Polarisasi melingkar dalam arah yang berlawanan di kedua sisi garis spektrum yang peka terhadap magnet memberikan ukuran medan magnet longitudinal (kekuatan medan berarah ke dan menjauh dari instrumen). Polarisasi linier memberikan informasi tentang kekuatan dan arah medan magnet yang melintang terhadap garis pandang.

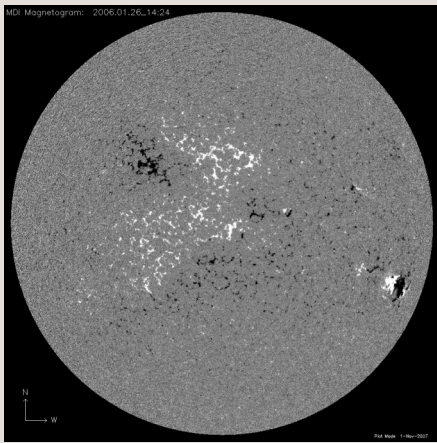
Horace W. Babcock mengembangkan prinsip magnetograf modern dan membuat magnetograf pertama pada tahun 1955. Tiruan yang lebih baik dari instrumen ini dibuat dan dipasang di teleskop surya Mount Wilson setinggi 150 kaki (sekitar 45 meter) pada tahun 1957, dan membutuhkan waktu sekitar satu jam untuk membuat citra satu piringan penuh ('full-disk').

Fasilitas magnetograf vektor di Marshall Space Flight Center (MSFC) NASA dirakit pada tahun 1973 untuk mendukung misi

Skylab. Instrumen ini dirancang oleh Dr. Guenther Brueckner dari Naval Research Laboratory dan ditempatkan di bangunan di bagian atas menara setinggi 40 kaki (sekitar 12 meter). Penyempurnaan magnetograf vektor pada tahun 1976 oleh anggota Solar Physics Branch, Ed West, menghasilkan instrumen kelas dunia yang telah mengilustrasikan kegunaan pengukuran medan magnet



Gambar 5. Magnetograf MSFC. (Sumber: NASA)



Gambar 6. Magnetogram hasil pengamatan satelit SOHO pada tanggal 26 Januari 2006. Citra menunjukkan magnet yang kuat dari bintik Matahari di bagian barat (kanan) dan magnet yang lebih menyebar dari daerah magnet yang lebih luas di dekat pusat piringan. (Sumber: MDI-SOHO)

vektor yang andal untuk memahami magnetisme Matahari dan perannya dalam peristiwa erupatif, seperti *flare* Matahari.

Perbaikan besar pada magnetograf vektor ini terjadi pada tahun 1982, ketika kamera SEC Vidicon ditingkatkan menjadi CCD. Pada tahun 1985, perubahan lain dilakukan untuk meningkatkan medan pandang dari 5 x 5 menit busur (2,4 detik busur per piksel) menjadi 6 x 6 menit busur dengan resolusi 2,81 detik busur. Di fasilitas ini, magnetogram harian dapat diakses secara daring sejak tahun 2000.

Pada tahun 1989, teleskop H-alfa ditambahkan pada magnetograf vektor sebagai cadangan bagi teleskop H-alfa yang diterbangkan di Apollo Telescope Mount (ATM) Skylab. Instrumen ini memiliki *bandpass* 1 Å. Sistem baru ini juga bekerja lebih cepat (3 menit untuk magnetogram vektor *full-disk*) dan jauh lebih serbaguna dengan sistem komputer baru dan memori yang jauh lebih besar. MSFC memulai observasi dengan sistem ini pada

14 September 2000.

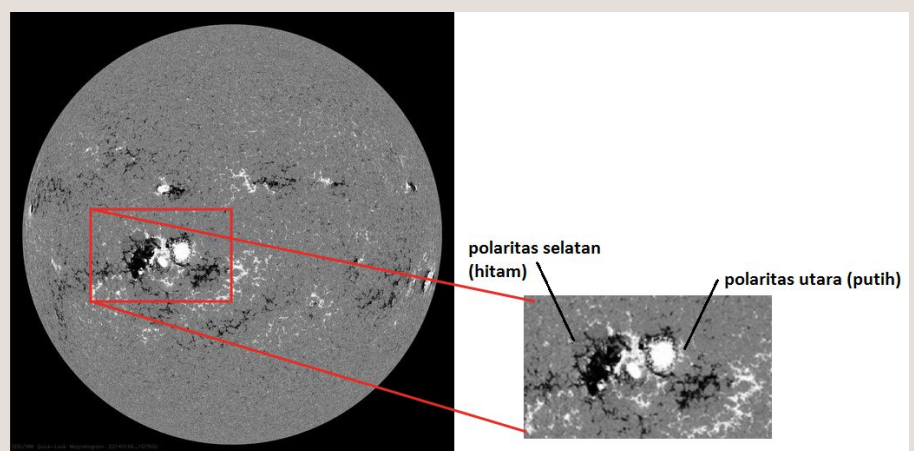
Pada musim gugur 2005, instrumen tersebut dipindahkan ke lokasinya saat ini yakni di atas Gedung Fisika/Optik di Universitas Alabama, kampus Huntsville. Lokasi baru ini memungkinkan instrumen untuk dapat digunakan oleh para mahasiswa.

Sementara itu, di luar angkasa, satelit SOHO NASA/ESA membuat magnetogram Matahari *full-disk* melalui program MDI (Michelson Doppler Imager) dengan resolusi 1,4 detik busur, dan dapat mengukur perubahan medan magnet Matahari sekecil 0,5 Gauss.

Program pengamatan MDI berakhir pada 12 April 2011 dan dilanjutkan oleh instrumen HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) di satelit Solar Dynamics Observatory (SDO). SDO diluncurkan pada 11 Februari 2010 dan mulai mengambil citra Matahari pada Mei 2010. HMI dirancang untuk mempelajari osilasi dan medan magnet di permukaan Matahari pada panjang gelombang 6173 Å. HMI melakukan dua pengukuran

terpisah terhadap komponen garis pandang dari medan magnet fotosfer. Pengukuran kecepatan Doppler, fluks magnet garis-pandang, dan intensitas kontinu dilakukan setiap 45 detik dengan kamera HMI Doppler. Sementara itu medan magnet vektor dihitung setiap 720 detik menggunakan filtergram yang direkam oleh kamera medan vektor.

Resolusi spasial citra magnetogram HMI adalah 1 detik busur dan citra *full-disk* dikumpulkan pada detektor 4096 x 4096 piksel. Tingkat derau biasanya antara 5 dan 10 Gauss. HMI mengukur kerapatan fluks dalam Mx/cm² di setiap pikselnya. Resolusi citra yang lebih tinggi menunjukkan fitur magnetik yang lebih detail dan diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai aktivitas yang terjadi di Matahari.



Gambar 7. Citra magnetogram HMI/SDO tanggal 6 Januari 2014. Daerah yang paling gelap adalah daerah dengan polaritas magnet 'selatan'/negatif (mengarah ke dalam, atau menuju ke pusat Matahari) dan daerah yang lebih putih adalah polaritas 'utara'/positif (mengarah ke luar, menuju pengamat). (Sumber: SDO)