ANGIN MATAHARI

(SOLAR WIND)

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
DITERIMA TGL 11-9-96
SUMBER/HARGA HD
KOLEKSI KKI
No INVENTARIS 263/hd/96-a①(2)
KLASIFIKASI 523.2 HUF a:①

OLEH

DRS. H U F R I

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

PADANG

1995

MILIK PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

ANGIN MATAHARI

(SOLAR WIND)

OLEH

DRS. H U F R I

NIP 132 051 379

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

PADANG

1995

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah dan puji syukur Penulis aturkan kehadirat Allah SWT yang telah memberi berkah pada penulisan buku yang berjudul Angin Matahari (Solar Wind).

Buku ini penulis buat dalam 4 bagian utama. Pada bagian pertama Penulis memperkenalkan secara umum tentang matahari, sebagi sumber energi utama pada anggota tata surya kita khususnya bumi. Bagian kedua menjelaskan matahari sebagai sumber solar wind yang meliputi struktur dan aktivitas dari matahari tersebut. Dan dilanjutkan dengan proses kemagnetan dari solar wind serta bagian terakhir menjelaskan perjalanan solar wind keluar matahari menembus ruang antar planet.

Dengan selesainya penulisan buku ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberi bantuan baik secara langsung maupun tidak, dengan harapan semoga Allah SWT membalasnya dan semoga buku ini sangat bermanfaat dalam dunia ilmu pengetahuan.

Akhirnya penulis menyadari bahwa penulisan buku ini masih mempunyai kekurangan untuk itu, kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan

Padang, Februari 1995

Penulis

DAFTAR ISI

Hal.

Halaman Judul i

Kata Pengantar iii

Daftar Isi iv

BAB. I : Pendahuluan 1

BAB. II : MATAHARI SEBAGAI SUMBER SOLAR WIND 7

A. Atmosfer Matahari 8

1. Kromosfer 9

2. Korona 11

B. Permukaan Matahari (Fotosfer) 12

1 Sunspot (Noda-noda Matahari) 14

2. Flare. 19

3. Fakula 22

4. Granulasi 23

C. Bagian Dalam Matahari 23

D. Cara Terjadinnya Energi Matahari 25

E. Radiasi Matahari 29

1. Spektrum matahari 30

2. Solar wind 32

BAB. III: PROSES KEMAGNETAN SOLAR WIND 36

A. Gaya Pada Plasma Dalam Medan Magnet 36

B. Medan Magnet Matahari 43

C. Medan Magnet Terjerat Dalam Solar Wind 45

BAB. IV : PERJALANAN ANGIN SURYA 49

AFTAR PUSTAKA 61

BAB. I

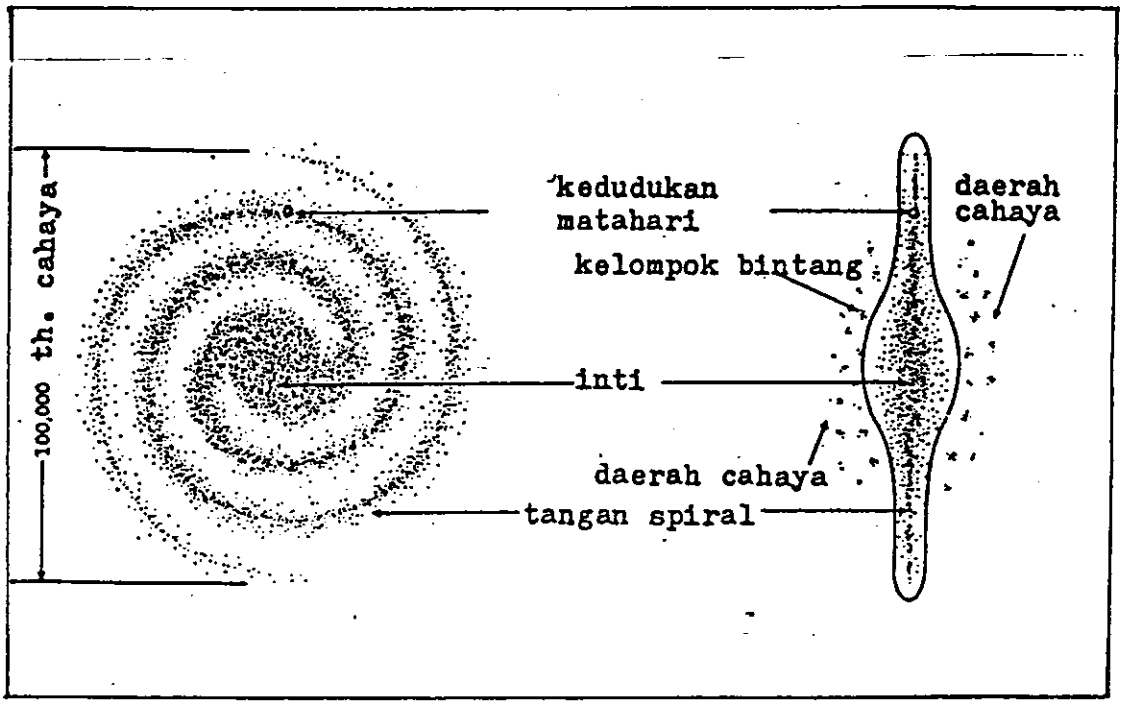
PENDAHULUAN

Matahari merupakan pusat dari tata surya kita dimana bumi dan planet-planet lainnya beredar. Matahari merupakan sumber energi utama bagi bumi dan seluruh planet-planet lainnya, serta merupakan pengatur, pembangkit segala gerak utama dalam tata surya kita.

Matahari hanya merupakan satu dari ± 100.000.000 bintang dalam kelompok bintang kita atau rasi bintang yang disebut Bima Sakti (Milky Way). Matahari dan keluarga planetnya bertempat di salah satu tangan-tangan spiral Bima Sakti. Pada sebuah titik lebih kurang tiga per empat jarak dari pusat hingga tepi rasi bintang tersebut. Tetangga terdekat galaksi Bima sakti adalah galaksi Andromeda yang juga berbentuk spiral dimana jarak antara keduanya adalah ± 870.000 tahun cahaya yang didalamnya terdapat lebih kurang 250 milyar bintang.

Sebagai pusat tata surya matahari merupakan bintang terdekat dengan bumi dengan jarak ± 149.600.000 km, sehingga matahari tampak jauh lebih besar dan lebih terang. Bintang berikutnya yang terdekat dengan kita setelah matahari, adalah Alpa Centauri yang jaraknya 4,4 tahun cahaya, walaupun merupakan bintang terdekat setelah matahari namun jarak Alpha Centauri dari bumi adalah 279.000 kali jarak matahari.

Untuk lebih jelasnya pada gambar berikut akan diperlihatkan kedudukan matahari pada galaksi Bimasakti.



Gambar.1.1 : Kedudukan matahari pada galaksi Bimasakti.
(Soendjojo Dirdjosoemarto, 1986,hal. 1.19)

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, maka penyelidikan terhadap keadaan alam semesta khususnya matahari lebih mudah dilakukan oleh para ahli. Sehingga sangat membantu dalam mempelajari keadaan fisis matahari, aktivitas matahari dan merupakan langkah awal untuk penyelidikan bintang-bintang lainnya dijagat raya ini.

Matahari memancarkan energi pada seluruh panjang gelombang, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Pancaran gelombang elektromagnetik dapat dibedakan tergantung panjang gelombangnya yaitu :

1. Gelombang radio dengan panjang gelombang (λ) antara beberapa milimeter sampai hingga sekitar 20 cm.
2. Gelombang inframerah dengan panjang gelombang (λ) sekitar 7500 A^o hingga 1 milimeter
3. Gelombang Optik (kasat mata) dengan (λ) berkisar antara 3800 A^o sampai hingga 7500 A^o. Gelombang ini dapat dibedakan atas warna :

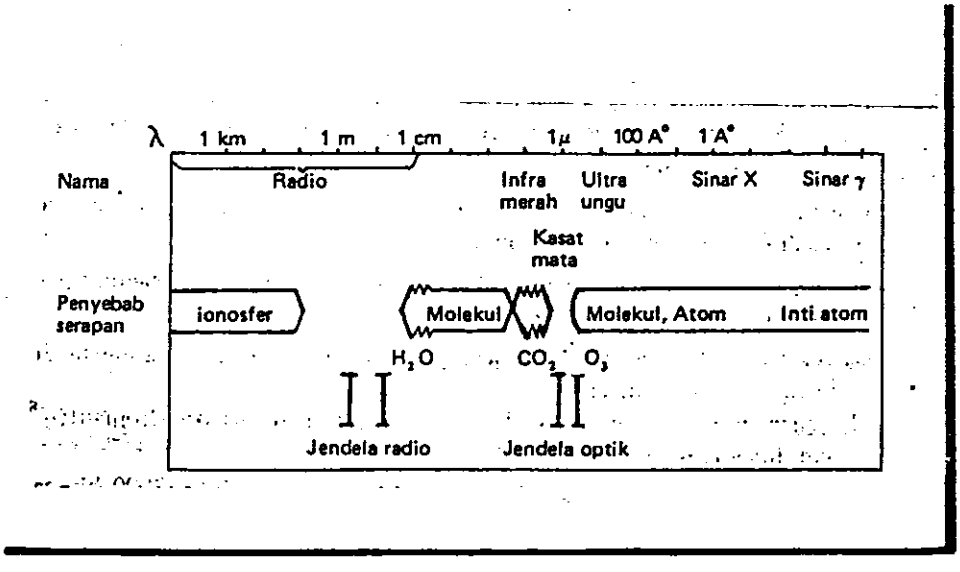
Ultra ungu	dengan	λ	= (3000 - 3800) A^o
Ungu	dengan	λ	= (3800 - 4200) A^o
Biru ungu	dengan	λ	= (4200 - 4500) A^o
Biru	dengan	λ	= (4500 - 4800) A^o
Hijau biru	dengan	λ	= (4800 - 5100) A^o
Hijau	dengan	λ	= (5100 - 5500) A^o
Kuning hijau	dengan	λ	= (5500 - 5700) A^o
Kuning	dengan	λ	= (5700 - 5900) A^o
Orange	dengan	λ	= (5900 - 6000) A^o
Merah orange	dengan	λ	= (6000 - 6300) A^o
Merah	dengan	λ	= (6300 - 7500) A^o

4. Gelombang sinar X, sinar γ yang mempunyai $\lambda < 3000$ A^o

Dengan mengamati pancaran gelombang elektromagnetik dari matahari tersebut para ahli dapat mempelajari berbagai hal antara lain : letak dan gerak benda yang memancarkannya dengan mengamati arah pancarannya, kuantitas pancarannya dengan mengukur kuat dan kecerahan pancaran tersebut dan kualitas pancaran dengan mempelajari warna spektrum maupun sifat polarisasinya. Namun tidak semua gelombang

elektromagnetik tersebut, dapat menembus atmosfer bumi oleh karena itu para ahli tidak dapat menangkap semua panjang gelombang tersebut dipermukaan bumi.

Gelombang elektromagnetik yang dapat menembus atmosfer bumi, terletak di daerah dua panjang gelombang yaitu gelombang radio yang disebut dengan jendela radio dan gelombang optik yang disebut jendela optik. Sepeti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1.2 : Spektrum gelombang elektromagnetik dan transparasi atmosfer (Winardi Sutantyo, 1984, Hal. 18)

Untuk mengamati pancaran gelombang radio, melalui jendela radio digunakan teleskop radio yang mulai dikembangkan oleh Karl Jansky sejak tahun 1930. Dan untuk mengamati gelombang optik melalui jendela optik digunakan teleskop optik yang pertama kali dilakukan oleh Galileo pada tahun 1610.

Pengamatan melalui kedua daerah gelombang elektromagnetik tersebut, itu saja belum dapat memberikan informasi yang lebih lengkap dari ruang angkasa tersebut khususnya matahari. Dengan memamfaatkan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi para ahli menempatkan peralatannya keluar atmosfer bumi, antara lain dengan memamfaatkan satelit untuk menangkap pancaran gelombang inframerah, sinar X ataupun sinar Gama. Disamping itu juga berusaha menangkap dan mempelajari bentuk-bentuk pancaran lain seperti sinar kosmik dan neutrino.

Dari penyelidikan yang dilakukan oleh para ahli terhadap matahari, maka sudah dapat diukur besar massanya, atau beratnya, kepadatan, tekanan, suhu dan keadaan yang terjadi pada permukaan matahari tersebut. Matahari merupakan sebuah bola gas maha besar yang menyala. Diameter matahari ± 1.400.000 kali diameter bumi dan mempunyai massa 333.420 kali masaa bumi.

Karena jumlah gas yang maha besar ini maka tekanan pada pusat matahari lebih kurang 2×10^{11} atmosfier. Kepadatan rata-rata berat suatu volume standar zatnya hanya 1,5 kali berat air pada volume yang sama. Tarikan gravitasi matahari 28 kali lebih kuat dari pada tarikan gravitasi bumi, suhu pada pusat matahari ± 14.000.000 ^{o}C, namun pada permukaan matahari mempunyai suhu diantara 5.000 ^{o}C sampai 6.000 ^{o}C. Energi matahari yang sampai di bumi setiap detik pada permukaan 1 cm^2 adalah sebesar $E = 1,37 \times 10^6$ erg/(cm^2 detik).

Berdasarkan aktivitasnya itu maka keadaan matahari dapat dibedakan atas :

1. Matahari dalam keadaan tenang atau quite sun.
2. Matahari dalam keadaan aktif atau active sun.

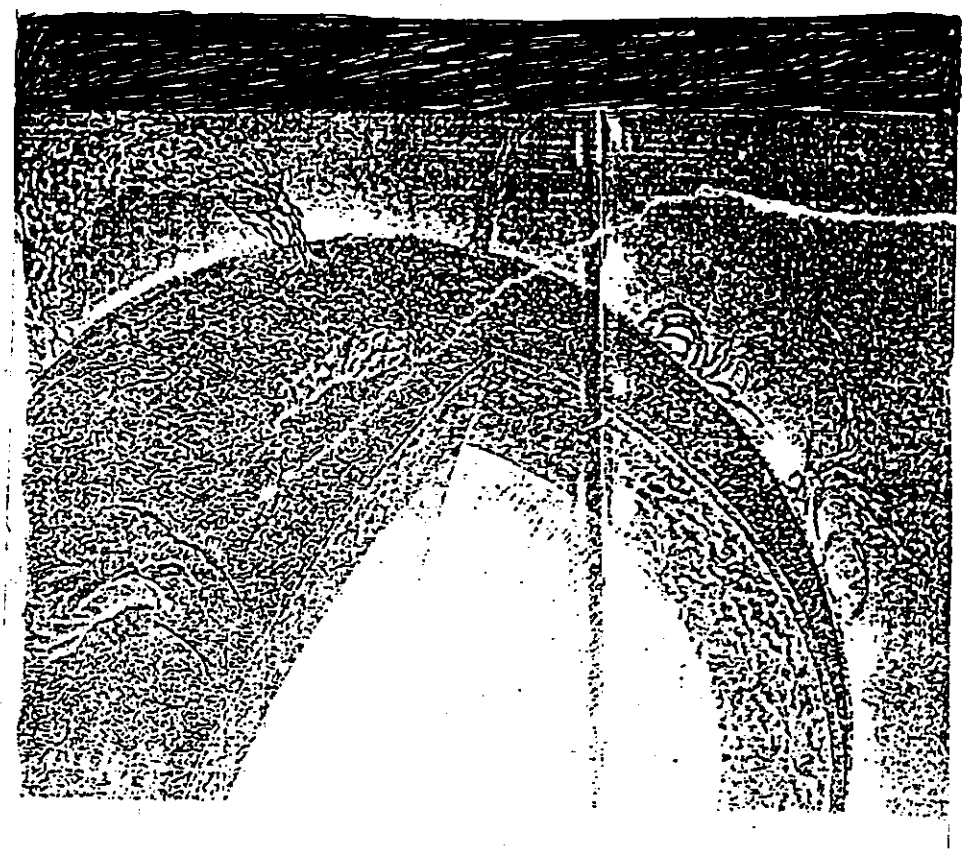
Matahari dikatakan dalam keadaan tenang apabila pada permukaan matahari tidak ada kelainan yang menyolok. Sedangkan matahari dalam keadaan aktif ditandai dengan adanya kelainan-kelainan dipermukaan matahari seperti : sunspot, flare, dan sebagainya.

Didalam matahari terjadi transfer energi ke arah luar baik secara radiasi, konveksi maupun konduksi. Energi tersebut berasal dari fusi nuklir yang terjadi dipusat matahari. Sebagai akibat dari transfer energi ini, akan menimbulkan berbagai gejala pada permukaan matahari yang disebut juga sebagai kegiatan matahari (solar activity).

BAB.II

MATAHARI SEBAGAI SUMBER SOLAR WIND

Matahari sebagai pusat tata surya, tersusun atas beberapa daerah yang berbeda yaitu Atmosfer yang terdiri atas dua lapisan, dibawah atmosfer terletak permukaan matahari yang disebut dengan fotosfer dimana berbagai noda matahari terdapat pada laisan ini dan bagian dalam dari matahari atau inti matahari. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



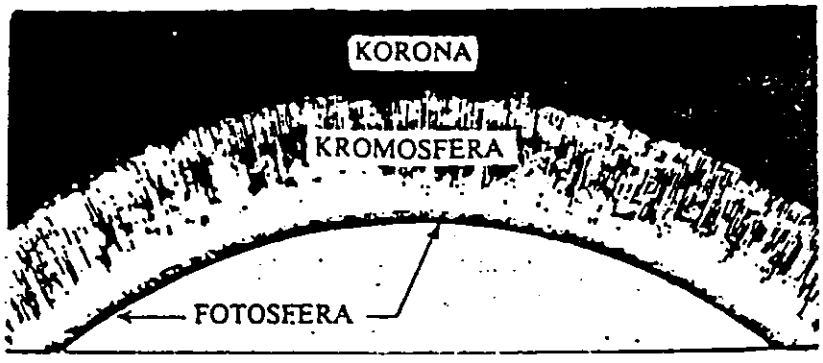
Gambar 2.1 : Lapisan-lapisan Matahari
(————, Alam semesta, 1979 , hal.104)

A. Atmosfer matahari

Atmosfer matahari sebagian besar terdiri dari gas hidrogen, yang mempunyai kerapatan jauh lebih kecil dibandingkan dengan bagian lain dari matahari. Atmosfer matahari terbagi atas dua lapisan yaitu :

1. Kromosfer yang merupakan lapisan bawah, atau sebelah dalam dari atmosfer. Lapisan ini tingginya sekitar 12.000 km di atas permukaan matahari.
2. Korona (mahkota) yang merupakan lapisan atas atau sebelah luar, korona membentuk lingkaran cahaya putih yang mengelilingi keseluruhan matahari.

Untuk melihat kromosfer dan korona, biasanya hanya dapat dilakukan selama terjadi gerhana matahari sempurna terjadi, yaitu bila bulan menutupi fotosfer. Namun sekarang dengan kemajuan alat-alat optik para ahli dengan menggunakan sebuah teleskop khusus yang disebut dengan kronograf, dapat menghasilkan suatu gerhana buatan, untuk dapat mengamati atmosfer matahari. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 : Susunan matahari saat terjadi gerhana matahri.
(Soendjojo Dirdjosoemarto, 1986,hal. 2.5)

1. **Kromosfer.**

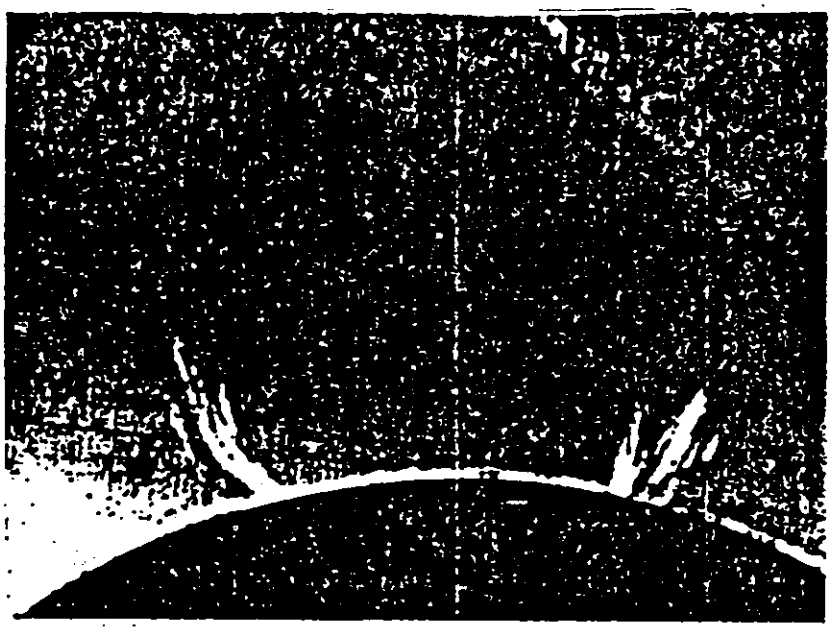
Berdasarkan hasil pengamatan para ahli pada lapisan kromosfer ini, didapatkan bahwa kromosfer terdiri dari gas panas. Kromosfer bagian bawah mempunyai suhu kurang dari dari 5000 ^{o}C, suhu ini terus meningkat hingga mencapai 10.000 ^{o}C pada bagian luar kromosfer. Dan dari analisa terhadap spektrum dari kromosfer ini, ternyata lapisan ini mengandung unsur helium.

Kegiatan yang tampak jelas terjadi dalam kromosfer dikenal dengan prominance (protuberan), yang merupakan pita-pita maha besar dan panjang dari gas yang menyala yang kadang-kadang mencapai ketinggian beratus-ratus ribu kilometer memasuki daerah korona.

Prominance dahulu hanya tampak pada saat gerhana matahari total, tetapi sekarang dapat dilihat dengan menggunakan spektroheliogram. Ditepi matahari terlihat terang terhadap latar belakang langit gelap dan mempunyai spektrum emisi. Protuberan mempunyai bentuk yang sangat bervariasi.

Beberapa protuberan merupakan letusan atau ledakan yang datang dengan cepat dan segera hilang, sedangkan beberapa jenis lainnya berlangsung jauh lebih lama dan berbagai protuberan yang lainnya lagi tampak berasal dari bagian atas kromosfer dan kemudian menghujankan gas ke bawah menuju matahari.

Eruptif prominance tampak melontarkan materi dengan kecepatan 700 km/dt, dan surge prominance yang paling aktif dapat bergerak dengan kecepatan 1300 km/dt. Adanya protuberan ini dan umurnya, dipengaruhi oleh medan magnet matahari yang ada didekatnya.



Gambar.2.3 : Kegiatan yang terjadi pada kromosfer terlihat gas menyala yang disebut prominance (protuberan) memasuki korona.
(M. Joenoes, 1988, Hal. 116)

Pada kromosfer juga terjadi pancaran filamen gas yang jauh lebih kecil, yang disebut dengan spikula. Spikula ini mungkin terjadi sebagai hasil gerakan cepat dari gas kromosferyang panas, dan gerakan gas ini yang tampak sebagai sel-sel kasar yang disebut supergranulasi.

Dalam keadaan kromosfer aktif, sering dapat

diamati dengan tanda-tanda panas yang cemerlang yaitu dengan adanya plage dam flare. Plage merupakan daerah cemerlang yang panas dan flare merupakan suatu peledakan energi yang kuat, sehingga menimbulkan kilatan cahaya dan semburan partikel sub atomik yang berenergi tinggi.

2. Korona.

Dari hasil penelitian para ahli astronomi, korona jauh lebih panas dari kromosfer. Suhunya diperkirakan 2.000.000 ^{o}C untuk daerah luarnya, suhu yang tinggi pada korona ini menurut suatu teori disebabkan oleh gelombang goncangan kuat dari gerakan fotosfer yang menggelora secara intensif. Gas yang sangat tipis dalam korona ini mempunyai tekanan $\pm 10^{-11}$ atm

Berdasarkan pengamatan yang lebih teliti oleh para ahli, korona dapat dibagi atas tiga bagian yaitu :

a). Korona L : merupakan korona bagian dalam dimana spektrumnya merupakan garis emisi.

b). Korona K : merupakan korona bagian tengah dimana spektrumnya kontinu tanpa garis absorbsi, radiasinya berasal dari penyebaran elektron.

c). Korona F : merupakan korona bagian luar, radiasinya berasal dari radiasi matahari yang disebar oleh debu antar

planet, spektrumnya menyerupai spektrum fotosfer.

B. Permukaan matahari (fotosfer)

Matahari yang kita lihat setiap hari ini, sebenarnya hanya merupakan bagian terluar dari matahari atau permukaan matahari yang disebut juga dengan fotosfer matahari. Fotosfer merupakan sebuah daerah yang mempunyai kedalaman sekitar 320 km. Dari energi matahari yang sampai dipermukaan bumi setiap detik, yang juga ditetapkan sebagai tetapan matahari dapat dicari lumonositas (L), dari matahari tersebut. dimana Lumonositas matahari adalah energi yang dipancarkan seluruh permukaan matahari tersebut kesegala arah per detik. Jadi lumonositasnya adalah :

$$L = 4 \pi d^2 E \qquad (2\text{-}1)$$

dimana d adalah jarak antara matahari dengan bumi, yaitu :

$d = 1{,}496 \times 10^{13}$ cm

Sehingga :

$$L = 4 \pi (1{,}496 \times 10^{13})^2 (1{,}37 \times 10^6) \text{ erg /dt}$$

$$L = 3{,}86 \times 10^{33} \text{ erg/dt}$$

Dari harga lumonositas di atas, dengan menggunakan hukum Stefan-Boltzman dengan menganggap matahari memancarkan radiasi seperti benda hitam, maka fluks energi dari matahari tersebut adalah :

$$F = \sigma T^4 \qquad (2\text{-}2)$$

σ merupakan tetapan Stefan-Boltzman

$\sigma = 5{,}67 \times 10^{-5}$ erg cm^{-2} $^oK^{-4}$ dt^{-1}

Sehingga dapat dicari temperatur pada permukaan matahari yang disebut dengan temperatur efektif yaitu :

$$L = 4 \pi R^2 F$$

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T^4 \qquad (2\text{-}3)$$

R merupakan jari-jari matahari

$R = 6{,}96 \times 10^{10}$ cm

Dengan demikian diperoleh temperatur efektif matahari,

$$T^4 = \frac{L}{4 \pi R^2 \sigma}$$

$$T = 5784\ ^oK$$

Dahulu fotosfer dianggap merupakan sebagai sebuah bola cahaya yang seragam dan sempurna, akan tetapi setelah diamati dengan seksama kadang-kadang terlihat berbagai noda pada fotosfer tersebut. Galileo Galilei seorang ilmuwan Italia, merupakan orang pertama yang melakukan penelaahan tentang matahari dan noda-nodanya dengan bantuan sebuah teleskop. Sedangkan yang dikatakan noda matahari adalah tambalan-tambalan yang tidak teratur dan gelap, merupakan bagian fotosfer yang relatif dingin.

Disamping noda-noda matahari, permukaan matahari juga memperlihatkan tanda-tanda lain, seperti fakula dan granulasi.

1. Sunspot (Noda-noda matahari)

Dalam tahun 1610, setelah ditemukan teleskop, para ahli mulai mengamati kegiatan matahari. Diantara yang menjadi objek pengamatannya adalah sunspot. Pengamatan terhadap sunspot pertama dilakukan oleh tiga orang yaitu :

a. Galio Galile

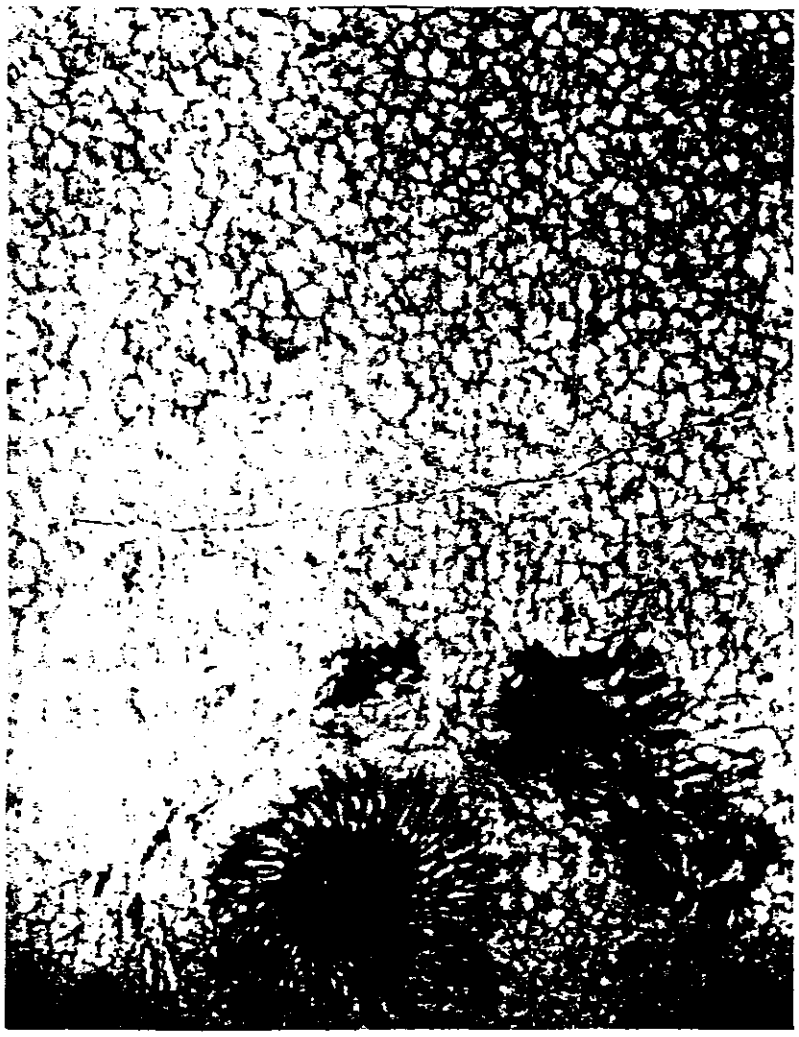
b. Fabricus

c. Scheiner

Scheiner berpendapat bahwa sunspot adalah suatu benda gelap kecil yang bergerak mengitari matahari. Sedangkan Galio Galile berpendapat, bahwa sunspot tersebut betul-betul ada dipermukaan matahari. Sunspot yang sangat besar dapat dilihat dengan mata telanjang.

Sunspot tampak gelap atau kurang cerah dibandingkan dengan bagian lain dari fotosfer, dan relatif dingin dengan suhu sekitar 4.000 ^{o}C. Noda matahari mempunyai dua bagian yang nyata, yaitu daerah pusat yang gelap yang disebut dengan umbra (bayang-bayang) dan suatu daerah lingkungan yang terang disebut penumbra. Seperti fotosfer pada umumnya, umbra memperlihatkan suatu susunan butir-butir yang memberi kesan adanya suatu peredaran gas

panas. Noda matahari sering terdapat berkelompok, pada suatu noda tunggal lebarnya dapat mencapai sekitar ribuan kilometer yang dapat bertahan dalam beberapa hari atau beberapa bulan saja. Noda matahari cenderung berkembang berpasangan, yang kemudian secara lambat merenggang.



Gambar 2.4: Kelompok sunspot dan granulasi
(William J. Kaufmann, 1978,hal. 138)

Untuk menerangkan sifat-sifat noda matahari ini telah banyak teori-teori dikemukakan. Ada yang menghubungkannya dengan daerah topan atau angin puyuh raksasa di dalam gas matahari. Teori yang

terbaru beranggapan bahwa noda matahari merupakan daerah dingin yang dihasilkan oleh reaksi antara gas matahari yang bermuatan listrik dengan medan magnet matahari, jadi merupakan sebuah medan magnet lokal yang menerobos fotosfer dan meninggalkan sebuah noda pada daerah tersebut. Gangguan ini juga mempengaruhi atmosfer matahari yang terletak di atas daerah tersebut.

Dari hasil pengamatan terhadap noda matahari, sebenarnya noda matahari merupakan medan magnet yang kuat. Dalam suatu pasangan noda matahari, noda yang satu mempunyai kutup magnet positif (+) dan yang lainnya mempunyai kutub magnet negatif (-). Sebagai kutub suatu medan magnet gabungan, maka magnetisme noda matahari dihubungkan dengan aliran kutub suatu listrik yang lewat melalui gas matahari.

Noda matahari timbul kemudian menghilang dalam suatu daur noda matahari atau daur matahari, daur ini lamanya rata-rata 11 tahun. Pada saat awal daur hanya terlihat beberapa noda kecil saja dipermukaan matahari, pada garis lintang 30° hingga 40° di sebelah utara atau sebelah selatan equator matahari. Dengan perjalanan waktu tampak noda-noda matahari lebih banyak, lebih besar dan makin dekat dengan equator matahari, daur ini akan mulai berakhir bilamana noda-noda mulai menyusut jumlahnya kembali.

Selama noda matahari maksimum yaitu ketika timbul banyak noda maka seluruh matahari menjadi lebih

263/hl/96-a(1)(2)

523.2
HUF
a(1)

aktif. Protuberan menjadi lebih besar, dan korona mengalami berbagai perubahan bentuk dan kecemerlangan cahayanya.

Jadi perubahan jumlah sunspot tersebut, erat kaitannya dengan keaktifan matahari. Jika jumlah sunspot minimum maka matahari dalam keadaan tenang dan jika jumlah sunspot maksimum maka menandakan matahari dalam keadaan aktif. Jumlah sunsopt di-permukaan matahari dinyatakan dengan bilangan Wolf yang disebut dengan bilangan sunspot relatif (R), yaitu :

$$R = k (10 g + f) \qquad (2\text{-}4)$$

dimana :

R = Bilangan sunspot pada suatu saat.

k = Suatu konstanta

g = Jumlah sunspot dalam kelompok

f = Jumlah sunspot individual

Bilangan sunspot tersebut berubah dari hari ke hari, sebagai akibat dari rotasi matahari. Wolf membuat jumlah rata-rata bilangan sunspot pertahun, ternyata bilangan sunspot ini berulang secara periodik dari maksimum ke maksimum berikutnya dengan periode rata- rata 11.2 tahun

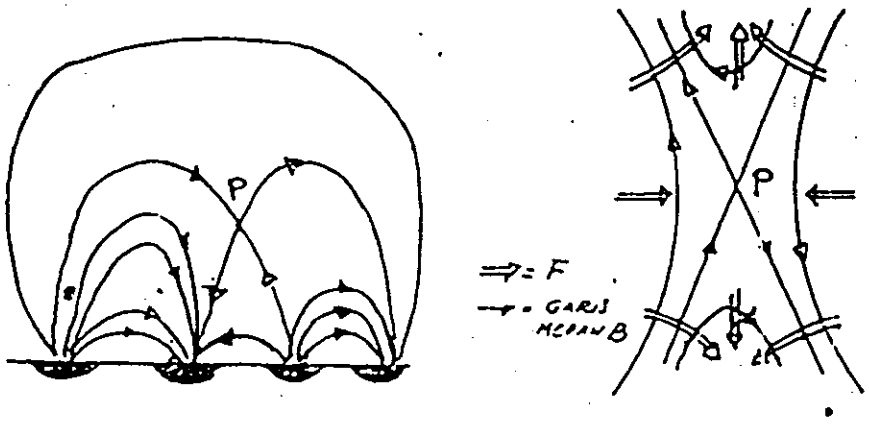
matahari berotasi dari barat ketimur. Periode rotasi matahari pada daerah di sekitar equator adalah 26,9 hari, dan menjadi lebih lambat pada daerah kutub hingga menjadi 34 hari.

2. Flare matahari

Flare adalah semburan atau letusan yang tiba-tiba pada lapisan kromosfer, yang menimbulkan cahaya terang benderang. Flare biasanya terjadi di dalam daerah sunspot, letusan-letusan ini sering disertai filamen gelap yang menunjukan adanya keaktifan. Flare yang kuat biasanya melepaskan energi sekitar 10^{23} erg dalam beberapa menit, harga ini cukup besar bila dibandingkan dengan pancaran total matahari sebesar 4×10^{23} erg / dt. Pelepasan energi yang secara tiba-tiba ini, juga akan memepengaruhi bumi dan atmosfernya.

Flare terjadi pada saat sunspot ada, dan adanya sunspot menunjukan adanya medan magnet. Medan magnet berasal dari fusi nuklir yang terjadi di pusat matahari, yang ditransfortasikan ke arah luar.

Dalam teori terjadinya sunspot telah dibahas bahwa sunspot timbul adalah akibat adanya medan magnet, interaksi antara medan magnet sunspot yang berdekatan akan menimbulkan suatu daerah netral P seperti terlihat pada gambar berikut ini.



(a) (b)

Gambar.2.6 : Terjadinya flare. (a). suatu sket yang dapat menunjukan terjadinya titik netrl P. (b). Efek gaya medan magnet pada titik netral P.

Dalam proses distribusi ini garis-garis medan magnet yang berdekatan, yang berlawanan arahnya berinteraksi sehingga menimbulkan suatu keadaan yang stabil dan titik P akan menjadi daerah netral. Dengan adanya medan magnet akan timbul arus dan selanjutnya dalam medan magnet akan timbul gaya magnet sebesar :

$$F = q\,(v \times B) \qquad (2\text{-}5)$$

dimana :

F = Gaya

q = Muatan listrik

v = Kecepatan

B = Medan magnet

Sebagai akibatnya akan terjadi gaya menekan pada titik netral P dalam arah x, dan gaya tarik dalam sumbu y sehingga partikel yang terbawa oleh arus medan magnet akan dipercepat. Kemudian terjadi interaksi diantara partikel-partikel berenergi tinggi. Peristiwa ini diikuti dengan pembebasan energi dan lontaran partikel bermuatan, yang dikenal dengan istilah populernya yaitu flare.

Flare ini sangat menarik untuk diselidiki antara lain karena pada saat flare, terjadi peningkatan intensitas radiasi sinar X, sinar ultraviolet dan radiasi kospukuler. Adanya peningkatan gelombang elektromagnetik pada waktu flare dapat diamati dengan radiometer. Peningkatan radiasi gelombang elektromagnetik dari flare dapat dirasakan sekitar 8 menit setelah flare itu terjadi.

Radiasi flare bervariasi tergantung kepada kekuatan flare itu sendiri, yang dinyatakan dengan Importance (Imp). Flare dapat diklasifikasikan atas 5 klas utama dan 3 sub klas, ke lima klas tersebut diberi notasi importance : 0 , 1 , 2 ,3 ,3^+ yang ditentukan berdasarkan kekuatan dan luas dari flare tersebut. Klasifikasi ini dapat dilihat ada tabel dibawah ini :

Tabel. : Klasifikasi Flare menurut importance

Infortance	Luas Flare (10^{-6} SH)
0	200
1	200 - 499
2	500 - 1199
3	1200 - 2400
3^{+}	2400

SH = Hemisper Solar
(Satuan Untuk menentukan luas Flare)

Sedangkan untuk sub klas klasifikasinya ditentukan berdasarkan kecemerlangannya, ketiga sub klas diberi notasi :

F (Faint) : Kelihatan terang yang merupakan latar belakang secara visual tampak energetik

N (Normal) : Lebih terang dari Faint, bergerak dan kadang-kadang energetik

B (Brilliant) : Sangat cemerlang bergerak naik dan turun kearah matahari

3. Fakula (obor kecil)

Fakula merupakan daerah panas dan menyala, yang terbentuk mulai dari tanda-tanda kecil yang terang sekali sampai dengan berbentuk coreng-corengan yang besar sekali. Fakula mirip dengan plage dalam kromosfer, fakula sering dikelilingi oleh berbagai kelompok noda matahari tetapi ada juga yang sendirian. Fakula sering timbul pada daerah yang kelak

tampak noda-noda matahari dan kemudian bertahan sesaat setelah noda-noda matahari menghilang.

Fakula mempunyai susunan butir-butir kasar, para ahli menganggap bahwa fakula adalah masa gas maha besar yang lebih panas dari bagian yang lainnya dipermukaan matahari yang bersifat gas.

4. Granulasi

Granulasi fotosfer tampak seperti butiran-butiran padi yang cerah, butiran-butiran itu dipisahkan satu dengan yang lainnya oleh batas-batas yang gelap. Diameter sebuah butiran khusus berukuran sekitar 1.600 km, tetapi jika dibandingkan dengan daerah permukaan matahari yang sangat luas maka sebenarnya ukuran tersebut hanyalah daerah yang kecil saja.

Para ahli beranggapan bahwa granulasi merupakan gas fotosfer yang karena panas, bergerak secara hebat dan berkesinambungan.

C. Bagian dalam matahari (pusat matahari)

Dari pengamatan dan penelitian yang dilakukan terhadap matahari, umumnya hanya mengetahui tentang panas, cahaya, magnetisme dan partikel-partikel yang datang dari lapisan atas dan atmosfer matahari. Sedikit sekali para ahli memperoleh data-data dari bagian dalam matahari tersebut. Suatu petunjuk langsung yang diperoleh para ahli mengenai bagian dalam matahari

adalah dari partikel atom yang disebut dengan neutrino.

Neutrino secara langsung dan cepat, dapat mencapai bumi dari pusat matahari. Partikel-partikel ini kecil dan bergerak secepat cahaya, tidak bermuatan serta hampir tidak ada sesuatu massa untuk disebut. Karena sifat-sifat ini, maka neutrino dengan mudah dapat melalui zat yang sangat tebal dan membuatnya sulit untuk dideteksi namun demikian para ilmuwan telah berhasil mengetahuinya.

Dari penelitian tentang neutrino, dan dari yang diketahui dari lapisan luar matahari. Para ahli menarik kesimpulan bahwa bagian dalam matahari, merupakan sebuah tungku nuklir yang membentuk pusat matahari. Dan mempunyai volume relatif kecil dan padat serta mempunyai temperatur yang luar biasa tingginya, dimana pada pusat matahari tersebut atom telah kehilangan elektronnya dan hanya terdiri dari nukleus. Aliran gas yang bersikulasi membawa hidrogen sebagai bahan bakar atom ke tungku energi nuklir dan membawa helium yang dihasilkannya.

Panas, cahaya, dan energi lain dari pusat secara lambat diradiasikan kembali dari atom ke atom. Energi ini berangsur-angsur dipindahkan keluar meninggalkan pusat. Pada saat energi mencapai permukaan matahari, bentuk perpindahan energi lain menggantikannya dimana aliran gas matahari yang beredar membawa energi tersebut mirip air mendidih atau udara panas di atas api. Gerakan fotosfer ini menghasilkan banyak fenomena yang

terlihat pada permukaan matahari, seperti granulasi fakula dan noda-noda.

Disamping neutrino untuk mengetahui bagian dalam matahari, juga dengan penelitian terhadap spektrum matahari, tentang spektrum ini akan diuraikan pada bagian radiasi matahari. Berdasarkan penelitian tentang spektrum ini, diketahui tentang unsur-unsur kimia di dalam matahari. Dimana sebagian besar unsur kimia di dalam matahari adalah hidrogen ± 80 % dari massa matahari, kemudian helium ± 19 % dan satu parsen dari massa matahari selebihnya terdiri dari oksigen, nitrogen, magnesium, silikon, karbon belerang, besi, natrium, kalsium, nikel dan beberapa unsur mikro lainnya.

Hidrogen sebagai unsur terbanyak di dalam matahari yaitu ± 80 %, merupakan bahan bakar pada pusat matahari. Energi yang dihasilkan oleh matahari berasal dari reaksi fusi yang terjadi didalamnya. Dimana dengan fusi atom hidrogen berubah menjadi atom helium, dan energi yang berasal dari perbedaan massa kedua atom tersebut.

D. Cara terjadinya energi untuk aktivitas matahari

Matahari merupakan merupakan sumber energi yang utama bagi bumi, energi yang dipancarkan matahari tersebut dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Energi pancaran tersebut dihasilkan oleh reaksi inti, yaitu perubahan materi matahari dengan fusi atom hidrogen yang berubah menjadi atom helium.

Untuk dapat dua inti melakukan reaksi fusi, maka harus mempunyai energi cukup besar untuk dapat mengatasi gaya tolak-menolak Coulomb. Sehingga untuk itu diperlukan temperatur yang sangat tinggi, di dalam matahari suhu dapat mencapai beberapa juta derajat. jadi dengan suhu yang sangat tinggi tersebut, maka reaksi inti dapat berlangsung.

Didalam reaksi fusi, empat inti hidrogen akan bergabung membentuk satu inti helium. Namun ternyata dari reaksi tersebut terdapat perbedaaan massa empat inti hidrogen dengan satu inti helium proses reaksi ini disebut dengan reaksi-reaksi proton-proton, dimana massa atom hidrogen (H) = 1,00813 sma sehingga :

4 H^1-------	4 x 1,00813 sma	=	4,03252 sma
1 H -------		=	4,00386 sma
perbedaan massa adalah		=	0,02866 sma

Massa yang hilang tersebut dirubah menjadi energi, menurut rumus yang dikemukan oleh Einstein yaitu :

$$E = m\ c^2 \qquad (2\text{--}6)$$

dimana :

E = energi

m = massa

c = kecepatan cahaya

sehingga diperoleh energi sebesar :

$$E = m\ c^2$$

$$= 0{,}02866 \times (3\ .\ 10^8\ )^2$$

$$= 26{,}64 \text{ Mev}$$

Pada permulaan benturan dua inti hidrogen yang telah kehilangan elektron pengiringnya bersatu menjadi deutrium, yakni isotop hidrogen yang massanya lebih besar. Dua sisa pecahan tadi laksana bunga api yang sangat hebat, tumbukan kedua proton itu membawa pergi momentum dan muatan listrik yang tak diperlukan. Satu diantaranya adalah neutrino yang merupakan zarah yang sangat kecil tidak mempunyai massa dan muatan listrik, sehingga sangat lambat beraksi dengan segala bentuk unsur. Pecahan lainnya yakni zarah bermuatan listrik positif atau positron, yang tidak dapat bergerak jauh melintasi unsur yang sangat tebal dan rapat disekitarnya tanpa menumbuk elektron. Apabila terjadi tumbukan antara positron dan elektron, maka kedua zarah yang berlawanan muatan tersebut akan saling meniadakan. Reaksi yang terjadi adalah :

$$ {}_1H^1 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_1H^2 + \beta^+ + \nu $$

Inti deutrium yang dihasilkan pada langkah pertama fusi ini terdiri dari proton dan neutron, yakni gabungan zarah yang massanya hampir dua kali massa proton, tetapi sifatnya mudah bereaksi. Pada kesempatan pertama deutrium akan menangkap inti hidrogen yang ada di sekitarnya. dari reaksi antara deutrim dan inti hidrogen lahir unsur baru yakni helium.

Helium hasil benturan ini bukan jenis helium

biasa, tetapi helium yang intinya terdiri dari dua proton dan satu neutron. Dari benturan kedua inti tadi menghasilkan salah satu bentuk tenaga radiasi, yang disebut sinar gama. Sinar ini merupakan gelombang yang paling pendek, daya tembusnya kuat sehingga merupakan spektrum yang paling kuat diantara seluruh spektrum gelombang elektromagnetik. Reaksinya adalah sebagai berikut :

$$ {}_1H^1 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_2H^3 + \gamma $$

Pada benturan ketiga, inti helium tersebut menjadi helium biasa yang terdiri dari dua proton dan dua neutron caranya adalah dengan mengambil zarah sejenis yakni helium yang terbentuk dengan cara yang sama pula. Kedua inti ini mempunyai empat proton dan dua neutron, sehingga pada persenyawaan tersebut akan tersisa dua proton yang reaksinya :

$$ {}_2H^3 + {}_2H^3 \longrightarrow 2\,{}_1H^1 + {}_2H^4 $$

Kelebihan zarah berupa proton tadi akan terlempar dari peristiwa benturan, dan akhirnya akan membentur proton yang lain dan berfusi menjadi inti deutrium. Selanjutnya memulai lagi seluruh daur transformasi, seperti yang diuraikan di atas dimana reaksi keseluruhannya adalah :

$$_1H^1 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_1H^2 + \beta^+ + \nu$$

$$_1H^1 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_2H^3 + \gamma$$

$$_2H^3 + {}_2H^3 \longrightarrow 2\ {}_1H^1 + {}_2H^4$$

Jadi dari tingkat fusi di atas melibatkan enam inti hidrogen, dua diantaranya dibiarkan pergi sedangkan empat buah lainnya dijadikan sebuah inti helium biasa, dua neutron, dua positron dan radiasi gama. Inti helium yang dihasilkan merupakan sejenis abu atom yang tak dapat dipergunakan lagi oleh reaksi fusi berikutnya. Sedangkan sinar gama yang daya tembusnya besar, akan menjadi sumber tenaga untuk tata surya.

Energi yang dihasilkan oleh reaksi nuklir di dalam matahari dibawa keluar (transformasi) secara radiasi maupun konveksi. Akibat transformasi energi dari dalam matahari ke permukaan matahari, menimbulkan berbagai fenomena pada permukaan dan atmosfer matahari yang disebut aktivitas matahari.

E. Radiasi Matahari

Matahari memancarkan energi pada seluruh panjang gelombang dalam bentuk gelombang elektromagnetik, kita hanya dapat melihat gelombang cahaya. Bentuk lain dari radiasi, hanya dapat dideteksi dengan menggunakan peralatan khusus. Kuantitas jenis radiasi matahari yang dipancarkan bergantung pada aktivitas matahari.

Disamping meradiasikan gelombang elektromagnetik,

matahari juga mengirimkan partikel-partikel sub atomik ke dalam ruang angkasa. Pemancaran partikel-partikel tersebut bertambah kuantitasnya selama terdapat suatu noda matahari maksimum, yaitu pada saat flare matahari luar biasa kuatnya sehingga melepaskan sejumlah besar proton, elektron, dan inti atom. Partikel-partikel halus yang melewati korona kearah luar atmosfer matahari ini yang disebut dengan "Solar Wind" (angin matahari).

1. Spektrum matahari

Pengamatan terhadap garis spektrum yang dipancarkan dari matahari, sangat penting dalam menyelidiki unsur yang terdapat di dalam matahari tersebut. Dari penyelidikan terhadap spektrum tersebut diperoleh bahwa spektrum matahari banyak tertutup oleh garis-garis gelap, garis-garis ini disebut dengan garis-garis Frounhofer yang dikenal juga dengan garis-garis penyerapan. Dimana atom-atom sebuah unsur bila cukup panas akan memancarkan warna cahaya tertentu, disamping itu juga menyerap cahaya dari warna tersebut sehingga menghasilkan garis-garis penyerapan. Gabungan warna-warna dari garis-garis tersebut, membentuk sebuah spektrum yang sesuai dengan sifat unsurnya.

Mengenai pembentukan spektrum oleh materi dalam berbagai keadaan fisis, dikemukakan oleh Kirchoff pada tahun 1859 dengan tiga buah hukumnya yaitu :

a. Bila suatu benda langit, cair atau gas bertekanan

tinggi dipijarkan, benda tersebut akan memancarkan energi dengan spektrum pada semua panjang gelombang. Spektrum ini disebut dengan spektrum kontinu.

b. Gas bertekanan rendah bila dipijarkan akan memancarkan energi hanya pada warna, atau panjang gelombang tertentu saja. Spektrum yang diperoleh berupa garis-garis terang yang disebut garis pancaran atau garis emisi. Letak garis-garis tersebut merupakan ciri khas gas yang memancarkannya, unsur yang berbeda memancarkan kumpulan garis yang berbeda pula.

c. Bila seberkas cahaya putih dengan dengan spektrum kontinu dilewatkan melalui gas yang dingin dan renggang (bertekanan rendah), gas itu akan menyerap cahaya tersebut pada warna atau panjang gelombang tertentu. Akibatnya akan diperoleh spektrum kontinu yang berasal dari cahaya putih yang lewat itu, diselang-seling garis gelap garis gelap yang disebut garis serapan atau garis absorpsi. Dimana panjang gelombang garis serapan itu sama dengan panjang gelombang garis pancaran andaikan gas itu dipijarkan.

Gas hidrogen jika dipijarkan akan memancarkan sekumpulan garis pancaran dengan jarak antara satu garis dengan garis lain menunjukkan suatu keteraturan tertentu. Balmer seorang ahli fisika dari Swiss mendapatkan panjang gelombang kumpulan garis

itu mengikuti persamaan :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Setelah penemuan Balmer tersebut, juga ditemukan deret lain garis spektrum hidrogen. Di daerah ultraunggu diamati adanya garis yang disebut dengan deret Lymann, di daerah infra merah juga didapatkan beberapa deretan garis yang antara lain dikenal dengan deret Paschen dan deret Bracket. Bentuk umum dari persamaan tersebut adalah :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \qquad (2\text{-}7)$$

dimana :

λ = panjang gelombang

R = tetapan Rydberg

m dan n adalah bilangan bulat dengan $n > m$, untuk deret Lymann m = 1, deret Balmer m = 2, deret Paschen m = 3 dan deret Bracket m = 4.

2. Solar Wind

Pemancaran partikel-partikel sub atomik oleh matahari yang dikenal dengan solar wind atau angin surya, telah banyak diselidiki oleh para ahli diantaranya E.N Parker menyatakan emisi panas dari plasma diionisasikan dari korona matahari dinamakan dengan pengeluaran gas angin matahari.

Tentang angin matahari ini juga telah diteliti pada tahun 1958 dengan detektor plasma kapal ruang

angkasa Rusia, Luna 3 dan dua tahun kemudian oleh pesawat Explorer 10 Amerika. Dari hasil yang diperoleh keduanya menunjukkan hasil yang sama, dimana angin matahari terdiri dari hidrogen yang diionisasikan mengalir keluar dari matahari serta mempunyai kerapatan rata-rata 5,4 ion/cm^3.

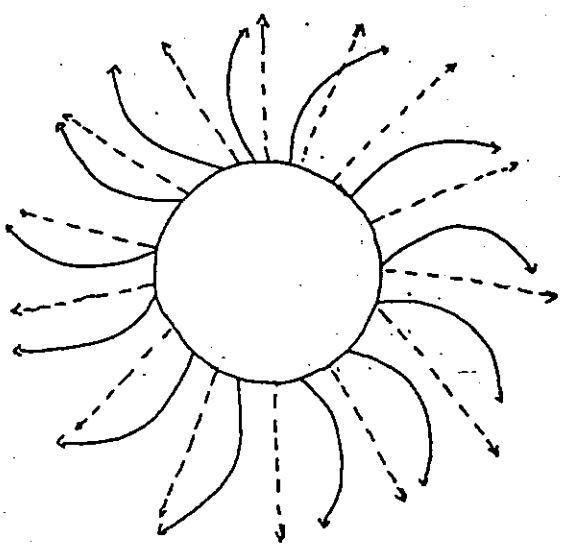
Permukaan matahari (fotosfer) merupakan susunan zat-zat yang membentuk gelembung-gelembung gas. Karena perbedaan tekanan yang tinggi serta proses perpindahan energi, mengakibatkan gelembung-gelembung gas terlempar keluar permukaan dan membumbung ke atas dengan kecepatan sekitar 1000 km/ dt sampai 2000 km/dt. Sebagian besar dari gelembung-gelembung gas tersebut menjadi dingin dan turun kembali kepermukaan matahari.

Partikel-partikel hidrogen dapat terlempar sampai lapisan korona matahari, korona matahari mempunyai kerapatan yang rendah dan ionisasi yang tinggi sehingga hidrogen menjadi terionisasi. Hidrogen yang terionisasi ini akan terus terlempar keluar matahari memasuki ruang antar planet sebagai angin surya/angin matahari.

Angin surya mengalir secara kontinu menembus sistim tata surya ke ruang antar planet, pada waktu melewati bumi mempunyai kecepatan rata-rata 400 km/dt Rapat fluks aliran partikel dari angin surya ini, bervariasi sesuai dengan aktivitas flare. Partikel-paertikel terionisasi tersebut sepanjang

perjalanannya di kromosfer dan di korona selanjutnya keluar dari sistem tersebut, temperaturnya turun sampai tingkat yang rendah. Di dalam ruang antar planet dengan kerapatan yang rendah, maka kecil kemungkinan proton-proton dan elektron-elektron tersebut bergabung kembali.

Dengan sifat medium (gas) yang terionisasi, maka membawa medan magnet keluar keluar bersamanya. Dimana medan magnet pada dasarnya berasal dari medan magnet matahari, yang terjerat oleh kelompok gas terionisasi (plasma).



Gambar 2.7 : Aliran partikel dan medan magnet keluar matahari. Gerakan garis-garis medan magnet berbentuk spiral sedangkan gerakan partikel secara radial.

Medan magnet yang terbawa angin surya dapat digambarkan keluar secara radial ke angkasa bila matahari tidak berotasi. Karena dengan berotasinya matahari akan memaksa garis medan yang lurus tersebut menjadi melengkung berbentuk spiral. Kekuatan medan magnet pendekatan secara radial melemah berbanding lurus terhadap penambahan jarak kuadrat dari sumbernya.

BAB. III

PROSES KEMAGNETAN SOLAR WIND

Solar wind yang merupakan pancaran partikel-partikel sub atomik dari matahari, yang mempunyai kerapatan yang rendah dan ionisasi yang tinggi sehingga berbentuk plasma. Untuk lebih memudahkan, pada bagian ini akan dijelaskan terlebih dahulu tentang gerak plasma dalam medan magnet.

A. Gaya Pada Plasma Dalam Medan Magnet

Fisika plasma dikembangkan berdasarkan pengkajian pelepasan muatan dalam gas, yang merupakan suatu bidang yang berkembang dengan pesatnya pada pertengahan abad ke-19 . Living Langmuir seorang ahli fisika Amerika dalam tahun 1920, menemukan sains fisika plasma modern yang merupakan permulaan sekali dalam menggunakan istilah "Plasma" untuk menyebut gas-gas yang terionisasi.

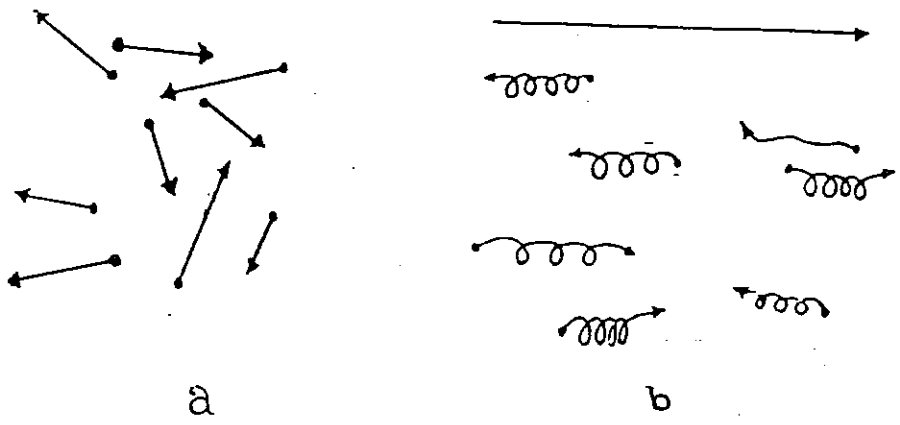
Plasma merupakan gas-gas yang terdiri dari partikel-partikel bermuatan, yang biasanya terdiri dari campuran ion-ion yang bermuatan positif dan sejumlah elektron yang bermuatan negatif yang sama banyak dan beberapa atom serta molekul netral.

Pada bahagian sebelah dalam atmosfer matahari, dan bintang-bintang lainnya plasma dapat terbentuk dari suhu pusat bintang (matahari) yang sangat tinggi. Atmosfer sebelah luar dari matahari, dan korona matahari

merupakan plasma tipis yang memiliki kerapatan elektron sekitar 10^{13} elektron per cm^3.

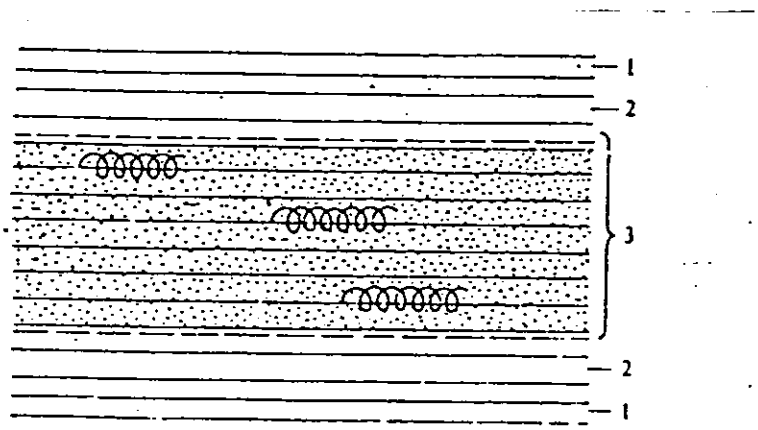
Partikel-partikel yang datang dari korona akan mengalir keluar secara kontinu melewati planet-planet yang disebut juga dengan angin matahari, partikel ini akan berinteraksi dengan daerah sebelah luar atmosfer bumi (planet) dan medan magnetnya serta yang menyebabkan ekor komet mempunyai arah menjauhi matahari.

Sifat plasma sama sekali akan dapat berubah bila berada dalam kedudukan medan magnet yang kuat. Hal ini disebabkan karena perbuahan gerak partikel plasma, yang dipengaruhi oleh medan magnetik. Dalam medan magnet yang kuat elektron dan ion tidak dapat bergerak secara bebas. Gambar berikut ini menunjukkan keadaan ionisasi plasma yang berada dalam medan magnet dan tanpa medan magnet (medan magnet yang sangat lemah).



Gambar 3.1 : Skema gerakan partikel dalam ionisasi plasma dimana : (a). Dalam medan magnet yang sangat lemah. (b).dalam medan magnet yang kuat.

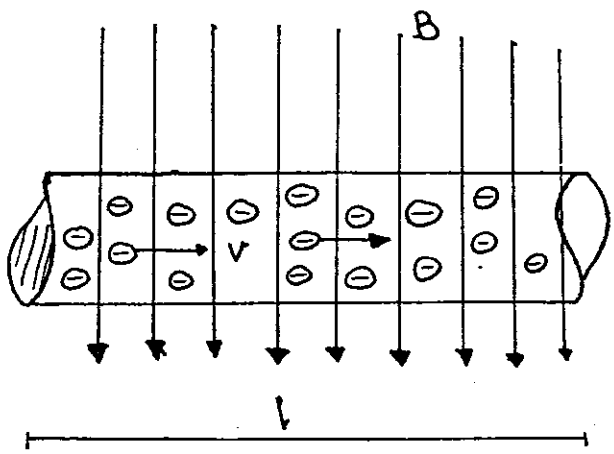
Pemindahan elektron dan ion melintasi garis gaya, hanya mungkin menghasilkan tumbukan antara partikel. Dalam setiap tumbukan partikel yang berpindah, melalui jarak radius Larmor. Dalam keseluruhan ionisasi plasma memberikan kosentrasi, kemungkinan mengurangi tumbukan secara cepat dengan perubahan temperatur yang interval waktu antar tumbukan adalah sebanding dengan kecepatan. Dengan demikian pada temperatur tinggi adanya perubahan partikel plasma yang lebih besar sesudah setiap tumbukan daripada temperatur rendah.



Gambar 3.2 : Isolasi dinding pemberhentian plasma oleh medan magnetik. 1). Dinding ruang, 2). Ruangan hampa, 3). Plasma (B. Samuel Tanembuan, 1965, hal. 127)

Dari gambar di atas medan magnet membatasi gerakan perubahan partikel, yang digunakan untuk menghalangi plasma datang langsung dengan dinding selinder. Pada keseluruhan ionisasi plasma tempertur tinggi yang menempati volume selider pipa yang paralel dengan magnet luar. Ruang antara permukaan plasma dan dinding pipa merupakan ruang hampa dan garis-garis gaya magnet.

Dengan demikian plasma dihalangi oleh medan magnetik yang menunjukan sebuah tekanan dalam selinder plasma, sehingga timbul datangnya kontak dengan dinding. Untuk lebih jelasnya dapat ditinjau gerak partikel bermuatan, pada konduktor yang membawa arus listrik yang berada dalam medan magnetik, seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3.3 : Interaksi konduktor dengan medan magnetik yang membawa arus listrik.

PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Karena arus merupakan kumpulan muatan-muatan yang bergerak, maka konduktor yang membawa arus sebesar i yang berada tegak lurus dalam medan magnet akan memperoleh gaya yang diberikan oleh persamaan :

$$F = i\ l\ B$$

dimana :

i = Arus listrik yang mengalir di dalam konduktor

l = Panjang dari konduktor

B = Medan magnet

Persamaan di atas ekivalen dengan persamaan :

$$F = q\ v \times B$$

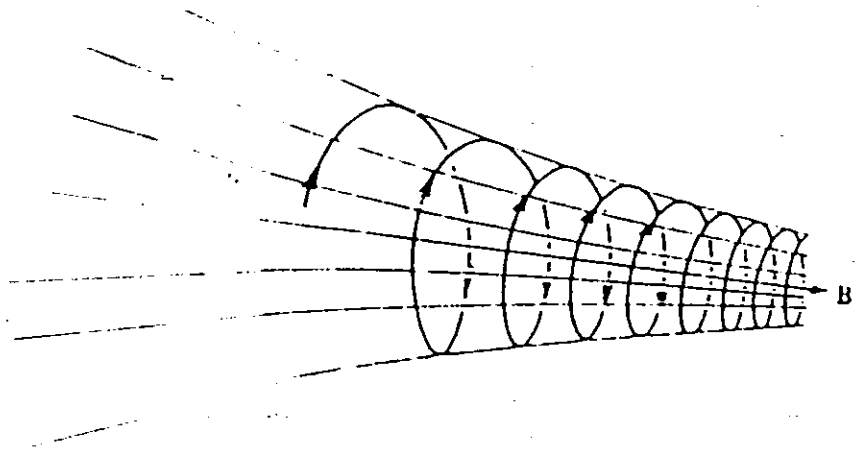
Menurut kaedah tangan kanan gaya ditunjukkan oleh ibu jari, arah arus ditunjukan oleh keempat jari lainnya dan arah medan magnet tegak lurus terhadap arus dan gaya.

Jika arus listrik didistribusikan terus-menerus pada medium, kita dapat menentukan gaya per satuan volume. Magnetudo pada aliran arus melalui suatu bidang yang sama dengan kerapatan aliran arus (j) dalam medium. Jadi jika medan magnetik tegak lurus dengan arus listrik. seperti pada gambar (3.3), maka gaya pada konduktor tersebut harus sama dengan j x B. Gaya tersebut merupakan tekanan kesetimbang dalam plasma yang ditempatkan dalam medan magnet. Tekanan kesetimbangan ini membutuhkan gaya elektrodinamik yang sama dan berlawanan untuk gaya pada lapisan batas, untuk penurunan tekanan yang melewatinya. Pada kesetimbangan plasma

dalam medan magnet dengan mengabaikan interaksi gravitasi antara partikel maka :

$$\text{Grad } P = j \times B \qquad (3\text{-}1)$$

Untuk menjelaskan arti fisik dari persamaan (3-1) di atas dapat dijelaskan dengan gambar berikut ini.



Gambar 3.4 : Bentuk gerak partikel bermuatan dalam medan magnet (John. R . Reitz, 1978, hal. 276)

Lintasan dari partikel pada geraknya di dalam medan magnet berbentuk heliks seperti pada gambar di atas dengan radius Larmor.. Pada kondisi ini lingkaran Larmor secara keseluruhan terdistribusi pada daerah yang di tepati plasma. Bagaimanapun dekatnya batas gerakan lingkaran larmor menunjukkan munculnya aliran arus listrik yang mengalir di dalam jaringan plasma tipis.

Interaksi permukaan aliran arus listrik dengan

medan magnetik menyebabkan munculnya gaya elektrodinamik yang mencegah plasma dari pemuaian. Gaya j x B adalah tegak lurus untuk kedua arah, aliran arus listrk dan medan magnetik, oleh karena itu grad P juga tegak lurus terhadap j dan B. Dengan demikian berarti tekanan plasma konstan sepanjang garis gaya dan juga konstan sepanjang garis aliran arus listrik.

Tingkah laku plasma dalam medan magnetik dapat juga di gambarkan dalam arah yang berbeda yang ditimbulkan lingkaran Larmor dari elektron dan ion. Pada umumnya plasma menunjukkan sifat diamagnetik, dimana medan dalam plasma lebih kecil daripada medan luarnya. Konsep tekanan magnetik pertama kali diperkenalkan oleh Faraday, yaitu tekanan untuk medan magnetik adalah $\frac{B^2}{8\pi}$ dan arahnya tegak lurus terhadap garis gaya. Pada gambar (3.4) adalah garis gaya paralel tetapi kerapatan gayanya adalah gaya persatuan luas yang dihitung dari dari kekuatan medan yang mengalami perubahan pada permukaan plasma. Sehingga tekanan magnetik yang menuju arah masuk adalah $\frac{(B_1)^2}{8\pi}$ dan $\frac{(B_2)^2}{8\pi}$, harus sama dan berlawanan untuk tekanan intrinsik plasma yang dianggap konstan untuk seluruh selinder, sehingga :

$$P = \frac{(B_1)^2}{8\pi} - \frac{(B_2)^2}{8\pi} \qquad (3\text{-}2)$$

Jadi jika arus listrik diamagnetik Larmor mengurangi kekuatan medan magnetik dalam plasma sampai nol, maka :

$$P = \frac{(B_1)^2}{8\pi} \qquad (3\text{-}3)$$

Dengan demikian kosentrasi dan temperatur yang tinggi dari plasma membutuhkan kuat medan yang lebih besar untuk kesetimbangan tekanan.

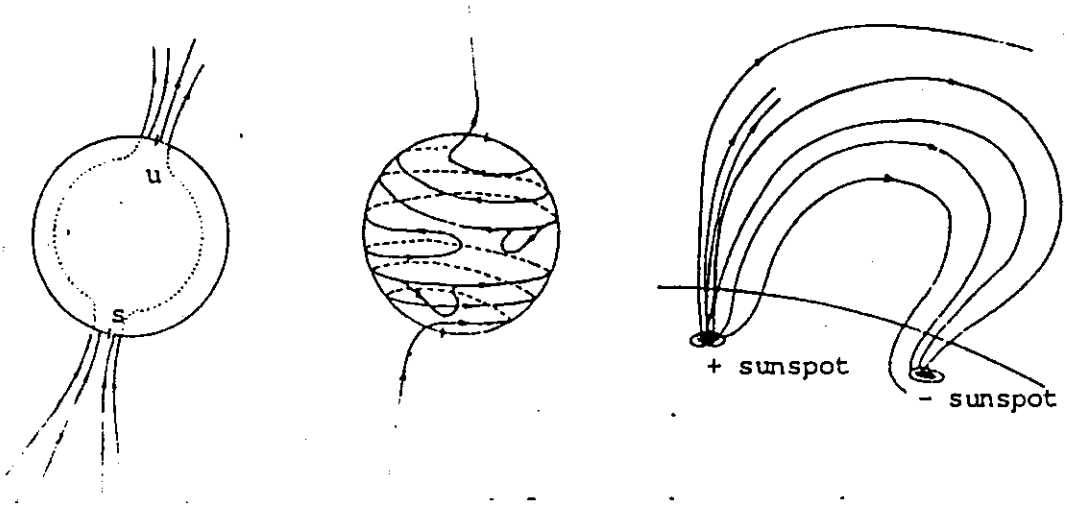
Tekanan plasma dan gaya elektrodinamik plasma jika plasma dalam keadaan setimbang, akan mempunyai tekanan plasma rendah. Dengan demikian jika tekanan dalam plasma rendah, gaya cenderung untuk memampatkan plasma yang sama sekali tidak setimbang dan plasma akan mengerut yang sekaligus mengubah kecepatannya. Dengan demikian persamaan (3-1) dapat diganti dengan persamaan yang lebih umum yaitu :

$$\rho \frac{dv}{dt} = j \times B - \text{grad } P + \rho g \qquad (3\text{-}4)$$

dimana ρ adalah berat jenis

B. Medan Magnet Matahari

Matahari terdiri dari campuran atom-atom gas, inti-inti atom dan partikel-partikel atom yang lebih kecil lagi, yang sebagian besar merupakan unsur hidrogen. Karena rotasi matahari maka medan magnet yang berada di dalam matahari menjadi terpuntir. Hal ini disebabkan karena terjadinya proses terjeratnya garis gaya magnet oleh plasma. Proses keluarnya medan magnet dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.5 : Proses tersembulnya medan magnet (Suratno, 1985, hal 12)

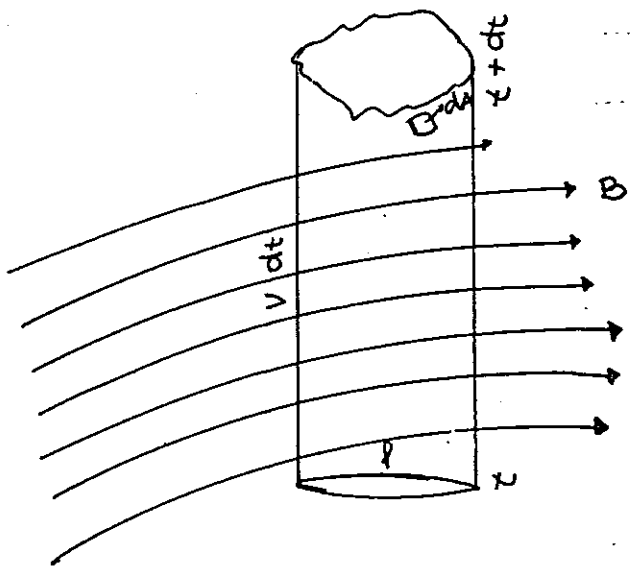
Pada keadaan tersebut didaerah sekitar equator matahari akan lebih banyak terkumpul garis gaya sehingga mengakibatkan medan magnetnya menjadi lebih kuat. Karena ketidakseimbangan antara tekanan gas dengan tekanan magnet mengakibatkan adanya dorongan keluar terhadap medan magnet. Garis-garis gaya akan tersembul ke luar sampai pada angkasa matahari bagian bawah (Kromosfer) dan bahkan ada yang sampai pada korona.

Akibat dari tersembulnya medan magnet maka akan terbentuk sunspot pada permukaan matahari. Karena itulah sunspot pada umumnya merupakan kutup-kutup magnet yang berpasangan. Medan magnet yang keluar ini sangat kuat dan dapat mencapai 4.000 gauss. Dengan terbentuknya sunspot ini akan mengakibatkan meningkatnya akti-

vitas flare, sehingga intensitas solar wind juga akan meningkat.

C. Medan Magnet Terjerat Dalam Solar Wind.

Solar wind yang merupakan angin hidrogen yang keluar dari matahari berhembus keruang antar planet, sepanjang perjalanannya keluar dari matahari angin hidrogen (yang terionisasi berbentuk plasma) ini membawa medan magnet. Proses ini terjadi karena berlangsungnya medan magnet yang terjerat oleh medium terionisasi (plasma) tersebut dan hal ini dapat dijelaskan dengan meninjau fluks magnet B yang menembus medium terionisasi seluas permukaan S yang berubah karena pergerakan dalam interval waktu dt, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.6 : terjeratnya medan magnet

MILIK UPT PERPUS
IKIP

dari gambar diatas pada saat t.

$$\text{fluks} = \phi = \int_S B.\ dA \qquad (3\text{-}5)$$

dA adalah elemen luas permukaan S yang dibatasi oleh garis L dengan elemen garis dl.

Garis gaya magnet dikatakan terjerat atau ikut bergerak bersama medium terionisasi jika .

$$\phi = \text{tetap} \quad \text{atau}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = 0$$

Dari persamaan (3-5) maka dapat dibuktikan dengan mendeferensiasikan persamaan tersebut terhadap t diperoleh

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} \int_S B\ .\ dA$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \int_S \frac{\partial}{\partial t} B\ .\ dA + \int_S B\ \frac{dA}{dt} \qquad (3\text{-}6)$$

Peninjauan dilakukan terhadap plasma secara makro diperoleh sebagai berikut :

$$\frac{d\phi}{dt} = \int_S \frac{\partial B}{\partial t}\ .dA + \int_S B.\ \frac{dA}{dt}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \int_S \frac{\partial B}{\partial t}\ .dA + \int_S B.\ \frac{dr\ x\ dl}{dt}$$

$$= \int_s \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dA + \int_s B \cdot \frac{dr}{dt} \times dl$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \int_s \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dA + \int_s B \cdot (V \times dl)$$

Dengan menggunakan teori Stokes untuk suku kedua ruas kanan maka diperoleh :

$$\frac{d\phi}{dt} = \int_s \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dA + \int_s \text{curl } (V \times B) \; dA \qquad (3\text{-}7)$$

Menurut persamaan Maxwell :

$$j = \sigma \; (E + (V \times B)) \qquad \text{atau,}$$

$$\frac{j}{\sigma} = E + (V \times B)$$

Dengan mengambil curlnya diperoleh :

$$\text{curl } E = - \frac{\partial B}{\partial t} \qquad \text{maka :}$$

$$- \frac{\partial B}{\partial t} = \text{curl } (V \times B) - \text{curl } \left(\frac{j}{\sigma}\right)$$

maka persamaan (3-7) berubah menjadi :

$$\frac{d\phi}{dt} = -\left[\int_s \text{curl } (V \times A) - \int_s \text{curl } \left(\frac{j}{\sigma} \right) - \int_s \text{curl } (V \times B) \right] dA$$

Karena suatu medium yang terionisasi mempunyai daya hantar listrik σ besar sekali sehingga :

$$\frac{j}{\sigma} \simeq 0 \quad \text{maka,}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = - \left[\int_s \text{curl } (V \times B) - \int_s \text{curl } \left(\frac{j}{\sigma}\right) - \int_s \text{curl } (V \times B) \right] dA = 0$$

Sehingga :

$$\phi = \text{tetap.}$$

Dengan demikian berarti bahwa garis gaya magnet ikut bergerak bersama medium terionisasi tersebut atau disebut juga bahwa gaya magnet terjerat oleh medium terionisasi tersebut.

BAB. IV

PERJALANAN SOLAR WIND

Tanda khas permukaan matahari yaitu dengan adanya specuele, sebagai pancaran partikel-partikel panas yang berukuran kecil yang muncul pada setiap saat sebagai kelap-kelip. Partikel-partikel yang terlempar tersebut terutama adalah atom hidrogen (neutral), hal ini terjadi karena perbedaan tekanan dan kerapatan yang sangat menyolok antara fotosfer dengan kromosfer / korona dimana tekanan pada fotosfer ± 0,24 atmosfer sedangkan tekanan di korona ± 0,06 atmosfer.

Karena masih terdapat pengaruh gravitasi dari matahari, partikel-partikel yang lebih berat kembali kepermukaan sedangkan hidrogen yang terlempar jauh dari permukaan dapat mencapai kromosfier atau korona sebelah dalam.

Didalam kromosfer atau korona dengan temperatur yang tinggi dan dengan kerapatan yang rendah, memungkinkan berlangsungnya ionisasi. Sehingga atom hidrogen terbagi menjadi proton dan elektron, dengan demikian medium menjadi bermuatan positif dan bermuatan negatif tetapi secara keseluruhan medium tersebut adalah netral.

Partikel-partikel bermuatan ini tetap berhembus keluar sebagai solar wind, yang membawa atau menjerat medan magnet ke ruang antar planet. Temperaturnya terus turun dan dengan kerapatan yang rendah maka antara proton-

proton dan elektron-elektron, mempunyai kemungkinan yang kecil untuk dapat bergabung kembali.

Medan magnet yang berasal dari matahari, pada waktu matahari dalam keadaan tenang maka kuat medan magnet dipermukaan matahari berkisar antara 1-2 gauss. Pada daerah aktif (sekitar sunspot) kuat medannya cukup tinggi, dapat mencapai 4.000 gauss. Akibat dari rotasi matahari, memaksa garis gaya magnet berputar sehingga berbentuk spiral. Jauh dari matahari (korona luar) garis-garis gaya hampir lurus (radial), sehingga secara pendekatan dapat dihitung kuat medan magnet di atas atmosfier bumi berkisar antara 3 sampai 4 gama (3×10^{-5} sampai 4×10^{-5}) gauss.

Beberapa ahli telah menyelidiki tentang solar wind ini dengan perantaran pesawat ruang angkasa yang membawa peralatan untuk mencatat partikel-partikel bermuatan dan kecepatan dari solar wind tersebut bergerak meninggalkan matahari, seperti yang dilakukan oleh Lunik I dan II dari Uni Sovyet serta Marinir II dan satelit Explorer X dari NASA. Mereka menunjukan bahwa solar wind berhembus sejauh tidak kurang dari 12 AU (1 AU adalah jarak antara bumi dengan matahari) mendekati planet Saturnus) dan tidak lebih dari 160 AU (sekitar empat kali jarak planet Pluto). Solar wind ini berhembus secara kontinue dan didekat angkasa bumi berhembus dengan kecepatan ± 400 Km/detik, yang kadang-kadang pelan dan kadang-kadang cepat. Intensitas rata-rata berkisar antara (2 sampai 4) x 10^8 partikel / (cm^2. detik) dan pada saat matahari aktif kecepatanya melonjak sangat tajam sampai dua kali lipat.

Solar wind bergerak dengan kecepatan super sonik dalam perjalanannya mendekati suatu planet. Bagi planet yang mempunyai medan magnet yang kuat dan lapisan ionosfer yang mantap dan juga karena solar wind memuat partikel yang terionisasi , maka gas (plasma) solar wind tidak dapat menembus langsung kedalam permukaan planet atau atmosfernya, karena sifat menjauhi medan magnet kuat. hal ini dapat dijelaskan dengan pergerakan plasma didalam medan magnet.

Persamaan gerak plasma di dalam medan magnet adalah :

$$\rho \frac{dv}{dt} = j \times B - \nabla P + \rho g \qquad (4\text{-}1)$$

dengan menganggap gerakan plasma berlangsung tetap (steady state), maka elemen massa plasma tidak mendapat percepatan sehingga

$$\rho \frac{dv}{dt} = 0$$

maka persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$0 = j \times B - \nabla P + \rho g \qquad (4\text{-}2)$$

Karena percepatan gravitasi satu partikel oleh partikel lain sangat kecil sehingga pengaruh ini dapat diabaikan dengan demikian maka,

$$\nabla P = j \times B \qquad (4\text{-}3)$$

Dengan menggunakan persamaan Maxwell :

$$\text{curl } B = 4 \pi j$$

maka

$$J = \frac{\text{curl } B}{4 \pi}$$

sehingga diperoleh :

$$\nabla P = \frac{\text{curl } B \times B}{4 \pi} \qquad (4\text{-}4)$$

Dimana uraian vektor

$$(\nabla \times B) \times B = (B \cdot \nabla) B - \frac{1}{2} \nabla B^2$$

maka :

$$\nabla P = \frac{(B \cdot \nabla) B}{4 \pi} - \frac{\nabla B^2}{8 \pi} \qquad (4\text{-}5)$$

Dengan menganggap garis gaya dari B lurus dan sejajar maka berlaku :

$$(B . \nabla) B = 0$$

Sehingga diperoleh :

$$\nabla P = - \frac{\nabla B^2}{8 \pi}$$

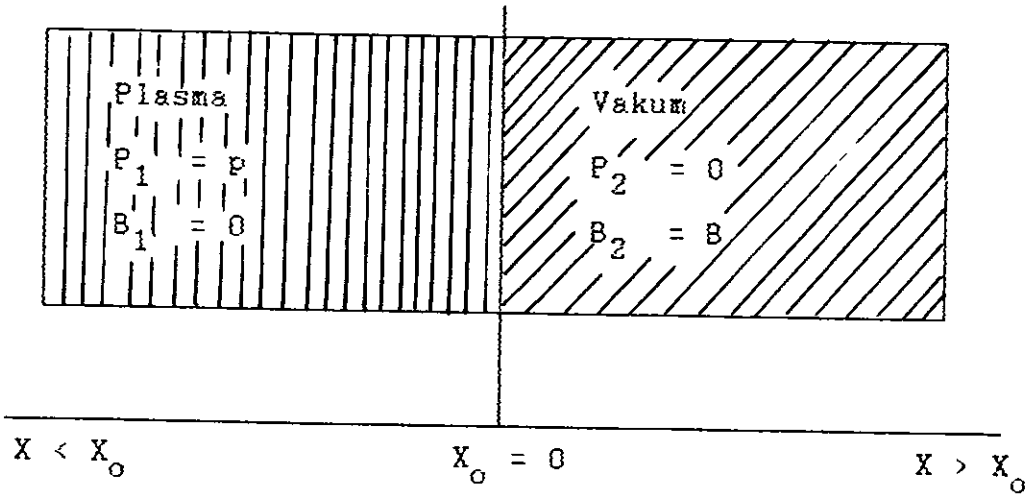
atau dapat ditulis

$$\nabla P + \frac{\nabla B^2}{8 \pi} = 0$$

Dengan mengintegrasikannya diperoleh :

$$P + \frac{B^2}{8\pi} = \text{konstan} \qquad (4\text{-}6)$$

Keadaannya dapat digambarkan seperti dibawah ini.



gambar 4.1 : Gambaran skema Gas (plasma) dengan tekanan P membatasi diri dari ruangan vakum dengan tekanan = 0, dan mempunyai kuat medan sebesar B

Sehingga dari persamaan di atas diperoleh :

$$P + \frac{B^2}{8\pi} = C$$

maka :

$$P_1 + \frac{B_1^2}{8\pi} = P_2 + \frac{B_2^2}{8\pi}$$

$$P + 0 = 0 + \frac{B^2}{8\pi}$$

Sehingga menjadi :

$$P = \frac{B^2}{8\pi} \qquad (4\text{-}7)$$

Pada persamaan (4-7) dapat diartikan bahwa :

$$P = \frac{B^2}{8\pi}$$

adalah tekanan yang disebut tekanan magnetohidrostatik, dengan demikian pada $X = X_o$ (pada garis batas) medan magnet membatasi dirinya dari gas (plasma) dengan menekannya sebesar $\frac{B^2}{8\pi}$, dan bila di dalam plasma terdapat pula medan magnet maka dalam keadaan kesetimbangannya diperoleh :

Tekanan gas + Tekanan magnet dalam gas = Tekanan magnet diluar gas

Jika medan magnet diluar gas sangat kuat maka gas (plasma) akan bersifat menjauhi medan magnet, karena mendapat tekanan dari magnet tersebut.

Dari persamaan (4-5) dengan menguraikan vektor :

$$(\nabla \cdot B)\, B = \nabla (B\ B) - B\ (\nabla \cdot B)$$

didapat :

$$\nabla P = \frac{\nabla (B\ B) - B\ (\nabla \cdot B)}{4\pi} = \frac{\nabla B^2}{8\pi} \qquad (4\text{-}8)$$

Dengan mengunakan persamaan Maxwell dimana :

$$\nabla \cdot B = 0$$

maka

$$\nabla P = \frac{\nabla (B B)}{4 \pi} - \frac{\nabla B^2}{8 \pi} \qquad (4\text{-}9)$$

Dengan mengintegralkan diperoleh :

$$P = \frac{(B B)}{4 \pi} - \frac{B^2}{8 \pi} \qquad (4\text{-}10)$$

Bila yang ditinjau hanya besarannya maka :

$$P = \frac{B^2}{4 \pi} - \frac{B^2}{8 \pi} = \frac{B^2}{8 \pi} \qquad (4\text{-}11)$$

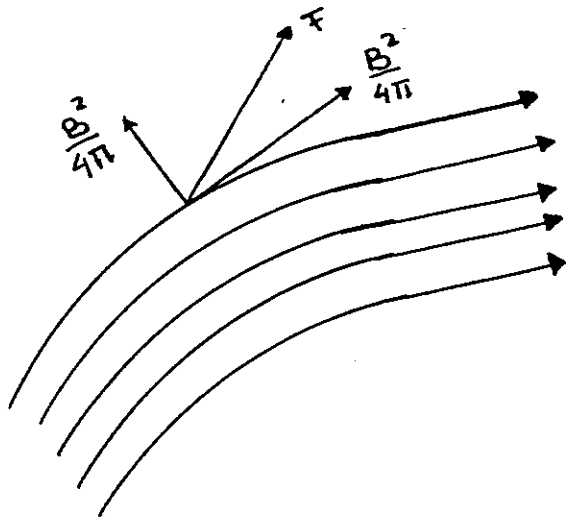
dimana $\frac{B^2}{8 \pi}$ disebut dengan tegangan magnet sepanjang garis gaya.

Dari persamaan tersebut bila medan magnet terjerat di dalam plasma, berada di dalam medam magnet maka akan berlaku :

Tekanan plasma = tegangan magnet - tekanan magnet

Dalam keadaan ini dikatakan bahwa gaya magnet terdiri atas dua komponen yaitu :

a. Komponen gaya sepanjang garis gaya magnet diwakili oleh teggangan magnet.
b. Komponen gaya tegak lurus medan magnet diwakili oleh tekanan magnetohidrostatik.



Gambar 4.2 : Komponen gari gaya magnet

Dari besar kedua komponen tersebut maka medan magnet akan lebih mudah ditekan pada arah garis gaya, dibandingkan dengan arah yang tegak lurus garis gaya. Peninjauan kedua dikenakan kepada persamaan (4-3) yang dikalikan secara vektor dengan B sehingga diperoleh :

$$B \times (j \times B) = B \times \nabla P \qquad (4\text{-}12)$$

dimana

$$B \times (j \times B) = (B \cdot B) j - (B \cdot j) B$$

diambil keadaan B tegak lurus dengan j maka didapat :

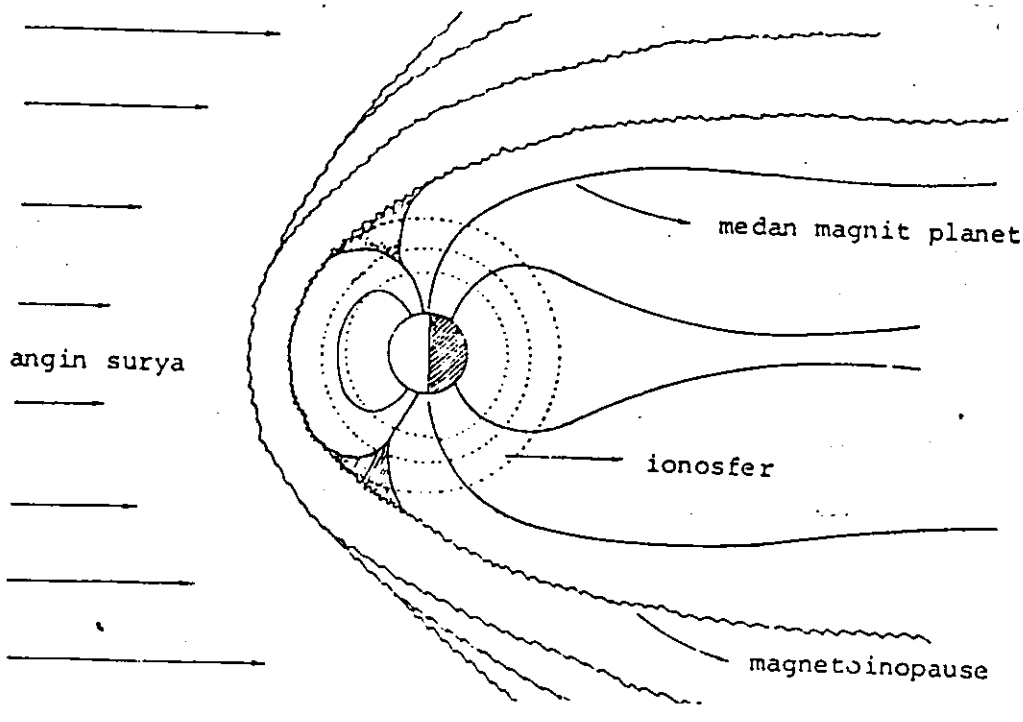
$$B \times (j \times B) = (B \cdot B) j - 0 = B^2 j$$

maka persamaan (4-12) dapat menjadi :

$$B^2 j = B \times \nabla P \qquad \text{atau}$$

$$j = \frac{B}{B^2} \times \nabla P$$

Dari persamaan tersebut menunjukan bahwa gradien tekanan akan menimbulkan arus yang tegak lurus B, atau menimbulkan komponen arus listrik yang tegak lurus dengan medan magnet B.



Gambar 4.3 : Terbentuknya ionospouse sebagai akibat angin surya yang tak dapat menembus atmosfer suatu planet (Suratno, 1985, hal. 18)

Jadi karena sifat menjauhi medan magnet kuat, maka angin matahari/angin surya akan terbelokkan disekeliling permukaan planet sehingga terbentuk magnetoinopouse, yaitu daerah yang relatif tipis sebagai daerah peralihan antara

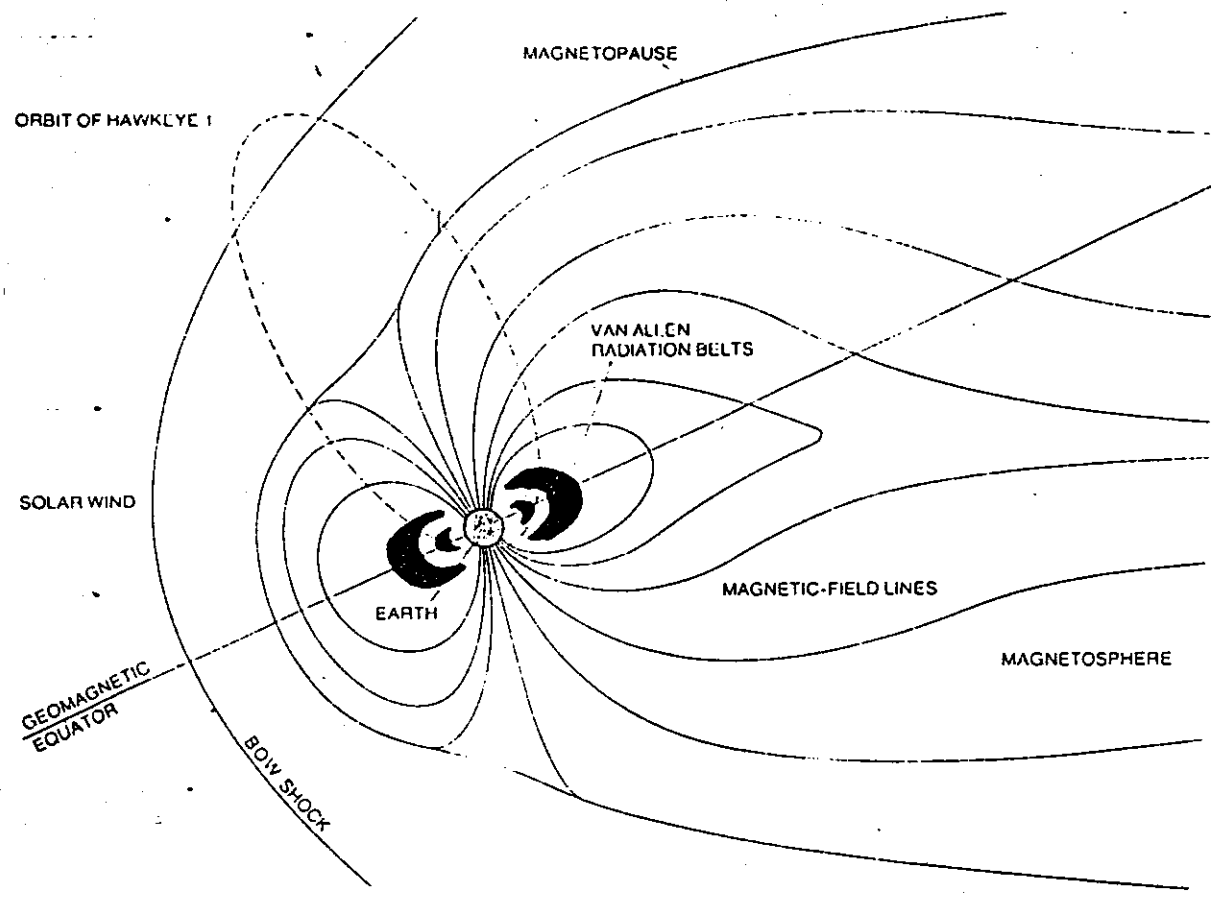
medan magnet planet dengan medan magnet yang terbawa oleh angin surya.

Pada bumi yang mempunyai medan magnet yang relatif kuat dan lapisan ionosfer yang mantap, sebagian besar partikel-partikel angin surya dibelokan ke sekeliling permukaan bumi. Angin surya melewati bumi pada kecepatan rata-rata 400 km/dt. Gejala yang tampak pada bumi adalah terjadinya badai magnetik (magnetik storm) di atas atmosfer bumi yaitu pada saat intensitas dari partikel-partikel itu cukup besar.

Menurut teori Ferato Chapman ini disebabkan karena pada aliran partikel tersebut terjadi pemisahan muatan positif dan muatan negatif, sehingga aliran ini menimbulkan arus dengan sendirinya pula menimbulkan medan magnet yang saling berinteraksi dengan medan magnet bumi. Badai magnetik ini menimbulkan perubahan besar dan arah dari medan magnet bumi, sehingga sering menganggu perhubungan diseluruh dunia.

Bumi dengan medan magnet yang dihasilkannya juga menjebak sebagian partikel yang bermuatan yang berasal dari matahari, sehingga menimbulkan suatu sabuk yang mengelilingi bumi. Sabuk ini diketahui pada akhir tahun 1954 oleh Van Allen, bahwa bumi dilingkari oleh sebuah sabuk radiasi yang berada sekitar 650 km di atas bumi dan membentang sekitar 40 x 10^3 km ke dalam ruang angkasa. sabuk ini dikenal dengan sabuk radiasi Van Allen sesuai dengan nama penemunya seperti terlihat pada gambar berikut.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN



Gambar 4.4 : Sabuk radiasi Van Allen yang melingkari Bumi
(————, Solar Sistem, 1975, hal. 129)

Partikel-partikel bermuatan yang terperangkap dalam medan magnet bumi ini bergerak dalam lintasan yang berbentuk Heliks (spiral) dari kutub utara ke kutub selatan atau sebaliknya. Pada waktu partikel-partikel ini datang cukup banyak maka partikel yang bergerak pada lintasan tersebut akan menimbulkan cahaya yang disebut dengan Aurora. Hal ini dimungkinkan karena gerak partikel bermuatan dalam lintasannya tersebut merupaka gerak dipercepat, dan par-

tikel- partikel bermuatan dengan gerak dipercepat akan memancarkan cahaya.

Disamping menimbulkan aurora angin surya juga mempengaruhi intensitas sinar kosmik yang sampai pada permukaan bumi. Hal ini telah diselidiki oleh ahli fisika Amerika yaitu Scott. E. Forbush. Forbush menemukan bahwa intensitas sinar kosmik berkurang dalam periode-periode aktivitas bintik matahari maksimum.

Matahari pada keadaan beraktivitas maksimum tersebut melemparkan sejumlah besar partikel bermuatan yang bergerak dengan kecepatan lebih kurang 1.600 km/dt (yang disebut dengan angin matahari), sehingga angin matahari ini menuju bumi juga bertambah besar. Hal ini menambah kekuatan bidang magnet disekitar bumi sampai pada keadaan yang memungkinkannya menangkis sinar kosmis, keadaan ini disebut dengan efek Forbush.

DAFTAR PUSTAKA

Beiser, Arthur, (1986), Konsep Fisika Modern, Erlangga, Jakarta.

C.W. Allen, (1959), Astrophysical Quantities, Athlone Press, London

D.L. Tobing, (1986), Teori Medan, Modul Universitas Terbuka, Karunika, Jakarta.

Freeman. W.H, (1975), The Solar System, Company, San Fransisco.

H. Alfven, (1950), Cosmical Electrodynamics, Clarendon Press, Oxford

J. Kaufmann, Wlliam, (1978), Exploration of The Solar Sistem, Macmillan Publishing Co, Amerika.

Nicolsin, Iain, (1982), The Sun, Association Royal Astronomical Society, London.

M. Joenoes, Alim , (1988), Fisika Lingkungan, PPLPTK, Depdikbud.

Suratno, (1985), Proceeing Pusat riset Dirgantara, Buku II, Lapan, Bandung.

Soendjojo, Dirdjosoemarto, (1986), Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa, Modul Universitas Terbuka, Karunika, Jakarta

Sears,.W Francis dan Zemansky, (1962), Fisika Untuk Universitas II Listrik Magnet, Bina Cipta, Jakarta.

Shkarofsky. Johnston. Bachyusky, (1966). The particle kinetics of Plasma, Addison Wesley Publishing Company Inc, Netherlands

Spiegel R. Murray, (1986), Analisa Vektor, Erlangga, Jakarta.

Sutantyo, Winardi, (1984), Astro Fisika Mengenal Bintang, ITB, BAndung.

Reitz. John R, (1978), Fondation of Elektromagnetic Theori Addison Wesley Publishing Company Inc, London

Tanembuan, B. Samuell, (1965), Plasma Phisics, Mcltrow-Hill Book Company, New York.

Zirin, Harold, (1966), The Solar Atmosphere, Blaisdell Publishing Company, United States of America.

———, (1979), Alam Semesta, Pustaka Live, Jakarta.

———, Astronomi dan Alam Semesta, Majalah Populer, Jilid 1. Jakarta.

———, (1975), Solar Sistem, Jakarta