



## BEBERAPA MASALAH DALAM KOPELING ANTARA KEGIATAN MATAHARI DAN FENOMENA METEOROLOGIS

Oleh Wilson Sinambela \*)

### RINGKASAN

Di dalam mengembangkan suatu teori (kopeling) antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologi ada dua kesulitan yang dihadapi yaitu :

1. Penentuan suatu mekanisme yang cocok, sehingga mekanisme tersebut dapat merubah sifat troposfer, di lain pihak jumlah energi yang dipergunakan dapat diabaikan jika dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem meteorologi normal.
2. Penentuan bagaimana suatu mekanisme yang lebih efektif sehingga pasangan beberapa proses di magnetosfer saling berhubungan dengan troposfer sehingga dapat mempengaruhi cuaca.

Seandainya mekanisme itu ada, namun agak sulit untuk mendefinisikannya tanpa memahami lebih banyak dari pada apa yang telah kita ketahui tentang kelakuan cuaca jangka panjang (long range weather).

Pengungkapan interaksi antara cuaca dan kegiatan matahari didukung oleh kenyataan bahwa pada dasarnya kegiatan matahari mengalami siklus tertentu dengan perioda 11 tahun, di lain pihak fenomena meteorologis tidak dapat mengalami variasi dengan siklus 11 tahun maupun siklus 22 tahun.

### 1. PENDAHULUAN

Hubungan antara kegiatan matahari dengan fenomena meteorologis (cuaca dan iklim) telah menjadi topik penelitian sejak tahun 1870, segera setelah siklus matahari (solar cycle) ditemukan oleh Schwabe.<sup>(1)</sup>

Sabine tahun 1852 telah mengamati adanya variasi medan magnetik bumi yang menunjukkan keperiodikan seperti yang ditunjukkan oleh siklus sunspot, baru pada tahun 1892, Kelvin<sup>(10)</sup> sebagai presiden dari British Royal

\*) Staf Kelompok Penelitian Matahari.

Society mengumumkan secara resmi adanya hubungan antara bilangan sunspot dan variasi intensitas medan magnet bumi<sup>(8)</sup> seperti yang ditunjukkan pada gambar (1.1).

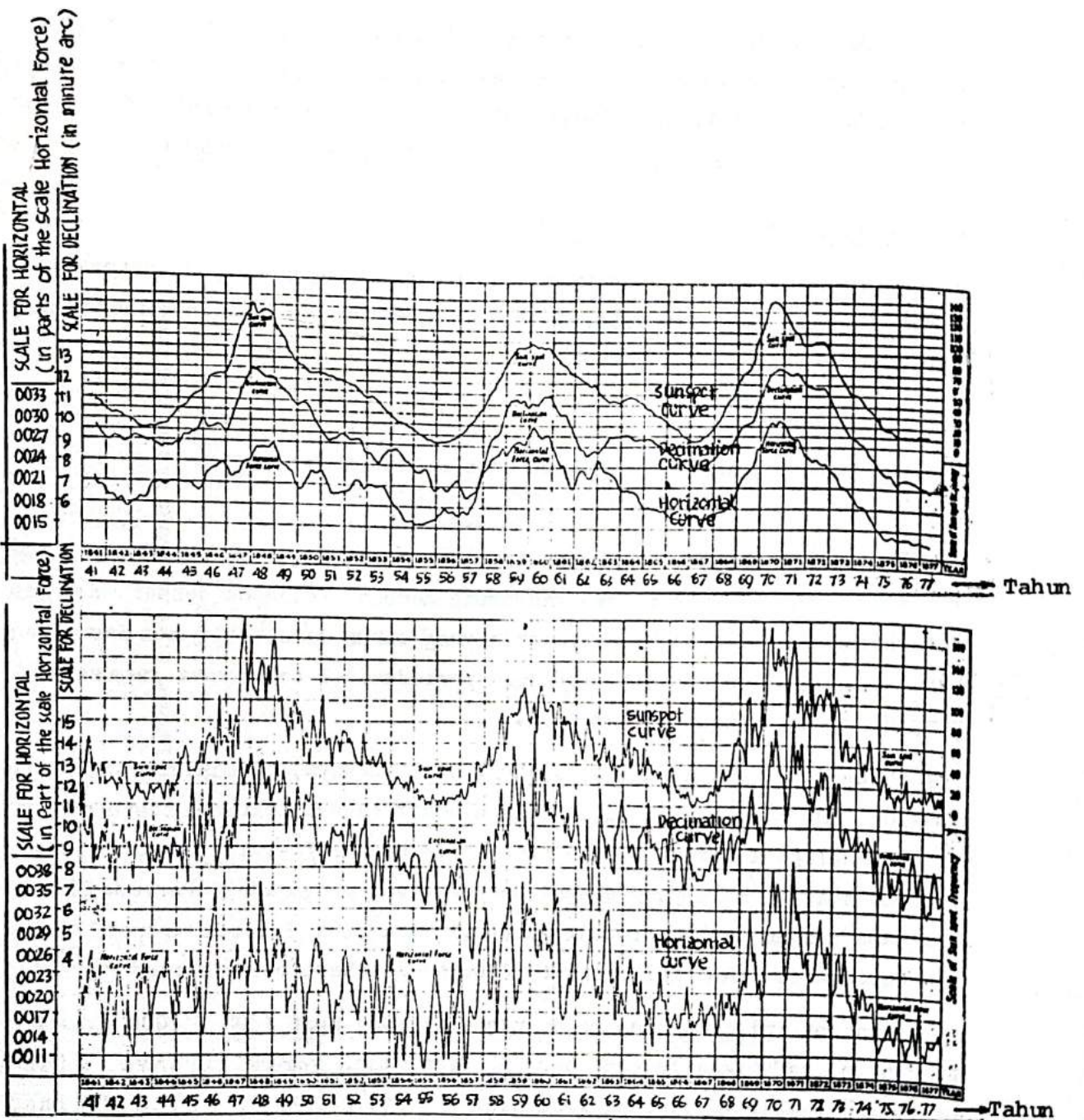
Dr. Kuppen, seorang ahli fisika Jerman telah mengamati adanya hubungan antara siklus temperatur dengan siklus sunspot.<sup>(2)</sup>

Minat untuk meneliti hubungan antara kegiatan matahari dengan fenomena meteorologi sekarang ini kembali meningkat dengan :

- Lebih banyaknya data yang terkumpul yang disertai dengan teknik-teknik statistik yang lebih dapat dipercaya serta canggih (sophisticated).
- Lahirnya abad ruang angkasa yang memungkinkan mengamati keadaan-keadaan ruang antar planet yang merupakan suatu wawasan fisis yang sangat penting.
- Pengamatan-pengamatan berikutnya ternyata menunjukkan adanya hubungan antara kegiatan matahari yang dinyatakan dengan jumlah sunspot atau intensitas badai magnetik, bukan saja dengan iklim (cuaca dalam jangka panjang), tetapi dengan cuaca sehari-hari.

Meningkatnya minat tersebut, membawa para ahli untuk berdiskusi di Seattle (1977), untuk bersimposium tentang "Influence of Solar Activity and Geomagnet Changes on Weather and Climate."<sup>(3,11)</sup>

Tetapi yang menjadi masalah sampai saat ini bagi para ahli, adalah mengembangkan suatu teori kopeling antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologis sehingga diperoleh mekanisme yang cocok, di mana penambahan energi radiasi matahari yang dipancarkan sebagai akibat kegiatan matahari dapat merubah sifat-sifat troposfer dan selanjutnya mempengaruhi fenomena meteorologis.



Gambar 1.1 :

Grafik bilangan sunspot dan aktivitas medan magnet bumi untuk periode antara tahun 1841-1877 (Chapmann dan Bartels, 1940)

## 2. KEGIATAN MATAHARI

Pada atmosfer matahari (fotosfer, kromosfer dan korona) terjadi gangguan-gangguan yang disebut sebagai kegiatan matahari. Ditinjau dari kala hidupnya maka kegiatan matahari dapat dibagi menjadi fenomena matahari berumur panjang dan fenomena matahari berumur pendek.

### 2.1 Fenomena Matahari Berumur Panjang

Kegiatan matahari pada umumnya dikaitkan dengan jumlah sunspot yang tampak pada lapisan fotosfer. Jumlah sunspot ini dinyatakan dalam bilangan Wolf yang didefinisikan sebagai :

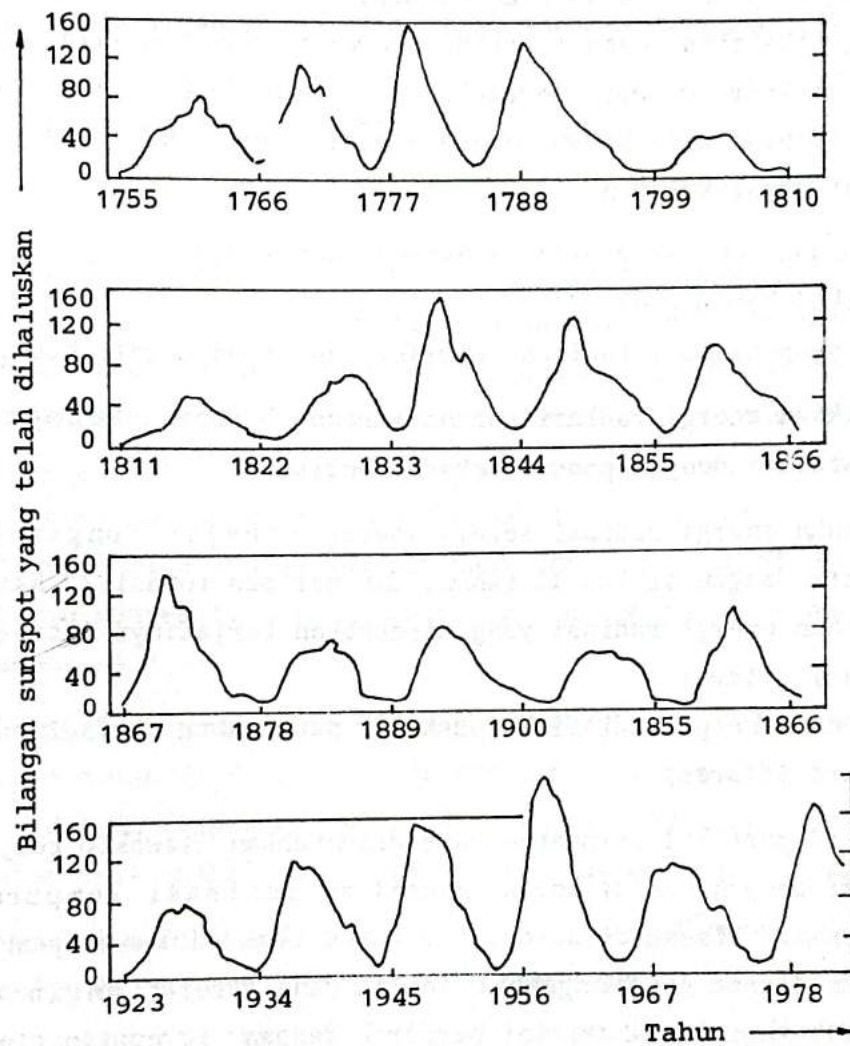
$$R = K ( 10 g + f ) \quad (2-1)$$

di mana : g adalah jumlah sunspot dalam kelompok,  
f adalah jumlah spot tunggal, dan  
K adalah konversi ke sistem zurich.

Sunspot ini timbul beberapa hari dan kemudian menghilang pada fotosfer, dan biasanya mereka cenderung membuat kelompok sesuai dengan polaritasnya. Dari hasil pengamatan yang cukup lama, Wolf mendapatkan bahwa sunspot mengalami siklus dengan perioda 11,2 tahun rata-rata seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.1).

Umur dari sunspot ini tergantung dari luasnya, semakin besar suatu sunspot, umurnya semakin lama. Jika diamati secara kontinu, suatu sunspot bisa muncul pada tempat semula setelah 27 hari rata-rata, kemudian selama itu ada sunspot baru yang muncul dan ada yang menghilang. Perioda 27 hari ini sama dengan perioda rotasi matahari rata-rata. Perioda sunspot 27 hari dan perioda 11 tahun ini disebut fenomena matahari berumur panjang.<sup>(15)</sup>

Sunspot ini mempunyai medan magnetik yang kuat (100 - 3000 gauss) tergantung pada luas sunspot bersangkutan, dari garis gayanya bisa menjulang sampai ke lapisan kromosfer ( $> 200.000$  km). Jika dilihat dengan teleskop, sunspot lebih gelap dari daerah sekitarnya, artinya temperatur sunspot lebih rendah dari temperatur sekeliling ( $T_{\text{fotosfer}} = 6000^{\circ}\text{K}$ ).



Gambar 2.1 :

Variasi bilangan sunspot Zurich dalam rata-rata tahunan (World Data Center for Solar Terrestrial Physics 1977)

## 2.2 Fenomena Matahari Umur Pendek

Selain fenomena matahari umur panjang seperti sunspot, juga terjadi fenomena matahari umur pendek, seperti flares, prominens, faculae, dan filamen yang terjadi pada lapisan kromosfer. Flare adalah suatu letusan cahaya yang tiba-tiba, sangat terang benderang dan biasanya flare ini terjadi di sekitar sunspot. Sedangkan peristiwa flare ini bisa terjadi setiap saat dengan kala hidup beberapa menit sampai beberapa jam.

Flare sangat menarik karena :

- a. Pertambahan energi radiasi elektromagnetik dan radiasi korpuskular (Partikel bermuatan).
- b. Dapat mempengaruhi lapisan ionosfer dan medan magnet bumi.

Dengan demikian energi radiasi matahari dapat berubah sebagai akibat kegiatan matahari dengan proses sebagai berikut :

1. Perubahan energi radiasi secara lambat sebagai fungsi kegiatan matahari dengan siklus 11 tahun, dan perioda rotasi 27 hari.
2. Perubahan energi radiasi yang disebabkan terjadinya letusan-letusan matahari (flare).
3. Perubahan energi radiasi korpuskular pada waktu terjadinya letusan matahari (flares).

Partikel-partikel bermuatan yang dimuntahkan sewaktu terjadi flare berinteraksi dengan gas di korona mengalami ionisasi sempurna, yang disebut plasma. Plasma di korona tidak stabil melainkan mengembang secara kontinu, dan plasma yang mengembang inilah yang disebut angin matahari (Solar Wind). Angin matahari ini bergerak dengan kecepatan tinggi (350-800 km/det) menuju bumi.<sup>(4)</sup>

Partikel-partikel bermuatan yang terbawa oleh angin matahari dengan kecepatan tinggi terperangkap dalam magnetosfer bumi, kemudian dipercepat bergerak menuju kutub bumi sesuai dengan muatan partikel yang bersangkutan dan sebagai akibatnya timbul gangguan medan magnet bumi (badai magnet bumi). Partikel-partikel yang berenergi tinggi tadi dalam pergerakannya, menuju kutub medan magnet bumi berinteraksi dengan kandungan atmosfer, timbul nyala terang yang disebut aurora. Partikel-partikel bermuatan tadi memasuki atmosfer rendah pada lintang aurora, menyebar dan mempengaruhi sirkulasi udara.<sup>(4,15)</sup>

### 3. HUBUNGAN KEGIATAN MATAHARI DENGAN FENOMENA METEOROLOGI

Hubungan antara kegiatan matahari dengan fenomena meteorologi diilhami oleh adanya pengaruh lobang hitam (Black Hole) di pusat semesta terhadap bumi berdasarkan kosmologis; juga karena alasan yang dapat dikatakan logis yaitu mengkerutnya matahari bila bertambah panas (aktif) yang akan berpengaruh pada tarikan matahari terhadap bumi (Gribbin 1978).

#### 3.1 Sunspot Dengan Cuaca

Adanya siklus kegiatan matahari yang bermacam-macam ( 11 - 22 tahun 80 - 90 tahun dan sekitar 180 tahun ), membawa Schneider dan Mass.<sup>(1)</sup> untuk mengamati hubungan antara temperatur udara di permukaan bumi dengan sunspot, dengan jalan menghubungkan jumlah sunspot tahunan dengan terbentuknya lapisan isolasi pada bagian atas atmosfer yang dinyatakan dengan S Schneider dan Mass menyimpulkan bahwa S akan naik ( artinya temperatur turun ) bila jumlah sunspot naik dari nol sampai 80, untuk kemudian S turun mendekati nol untuk jumlah sunspot = 200 perubahan S terentang sampai 2% <sup>(1)</sup>.

Bukti-bukti lain yang teramati menghubungkan sunspot, misalnya dengan jatuhnya hujan di Beirut<sup>(4)</sup> di Brasilia, Afrika Selatan serta Adelaide<sup>(4)</sup>, dengan temperatur udara di permukaan bumi di Amerika Utara serta perubahan pola distribusi musim hujan barat daya di India.

Khususnya untuk Afrika Selatan, Dyer dan kawan-kawannya, dengan terperinci telah melukiskan hubungan kegiatan matahari dengan 7 bagian dari arah benua (sub Continental) ini.<sup>(10)</sup> Sebahagian besar daerah timur laut Afrika Selatan, menunjukkan adanya fluktuasi yang sefasa artinya makin banyak sunspot akan makin banyak hujan yang turun. Sedangkan bagian selatan yang lebih jauh sifatnya berlawanan fasa, hujan kurang dengan makin bertambahnya sunspot.

Wolin<sup>(16)</sup> dengan menggunakan data iklim pada jangka waktu 1925-1970, membuktikan adanya mata-rantai antara iklim dengan perubahan magnetik bumi, yang tentunya berhubungan erat sekali dengan keadaan medan listriknya.

Lebih jauh lagi Harrison dan Prospero<sup>(2)</sup>, membuktikan hubungan antara temperatur tahunan rata-rata dengan intensitas medan magnetik untuk jangka pendek dan jangka panjang. Itu dapat terjadi karena flare dan badai magnetik matahari mempengaruhi atmosfer dengan mengubah sifat dan kekuatan angin matahari (solar wind) yang terdiri dari partikel-partikel yang mencapai magnetosfer, dengan mengarahkan angin matahari tersebut menuju daerah kutub oleh medan magnetik bumi.

### 3.2 Kegiatan Matahari dan Cuaca.

Walaupun mula-mula banyak yang menentang, karena dirasa tak masuk akal, tapi para ahli telah membuktikan adanya hubungan antara cuaca dengan kegiatan matahari.

Pengaruh kegiatan matahari terhadap ionosfer dan plasmofor, selama adanya badai magnetik telah direview oleh Jones<sup>(1)</sup>. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Roberts dan kawan-kawan<sup>(1)</sup> telah menjembatani peristiwa dari sistem-sistem tekanan rendah yang ada hubungannya dengan cuaca, badai magnetik dan gangguan-gangguan pada ionosfer.

Bandeem dan Maran<sup>(5)</sup>, melihat adanya kemungkinan besar hubungan antara kegiatan matahari dengan fenomena-fenomena meteorologis yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tanggapan (respons) cuaca cenderung terjadi 2-3 hari setelah terjadi kegiatan geomagnetik.
2. Tanggapan meteorologis (cuaca) lebih kelihatan pengaruhnya pada waktu cuaca penuh gangguan (musim dingin, musim hujan dan sebagainya).
3. Beberapa tanggapan meteorologis pada daratan, cenderung berlawanan dengan tanggapan dari lautan.

Suatu contoh yang konkrit dari variabel cuaca ini ialah Vorticity Area Index (VAI), yang menunjukkan sirkulasi udara persatuan luas (dalam  $\text{km}^2$ ) di atas mana vortisitas mutlak melebihi  $24 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

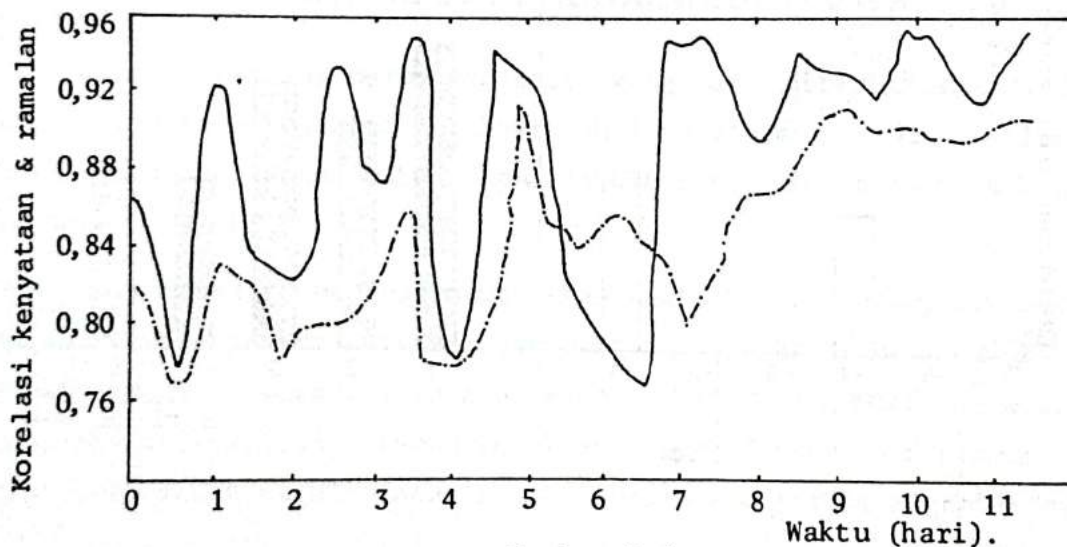
Pengamatan menunjukkan hal-hal sebagai berikut :

- a. Pada hari pertama dan kedua setelah terjadinya badai matahari (solar storm), di belahan bumi utara, VAI bertambah dengan tajam, sampai 5 - 10%.



- b. 2 - 3 hari setelah badai matahari terjadi, badai geomagnetik mulai datang, yang berlangsung sehari-hari.
- c. Pada hari ke 3-4 sejak badai matahari, VAI turun 5-10% di bawah harga sebelum badai matahari terjadi.
- d. Hari ke 5 - 6, VAI kembali ke keadaan semula.

Eratnya korelasi antara kegiatan matahari dengan keadaan cuaca, merangsang MF Larsen dan Mc Kelly untuk meramalkan cuaca berdasarkan ramalan kegiatan matahari (sunspot dan lain-lain), pada National Weather Service terhadap kegiatan meteorologis yang berhubungan dengan angin (seperti arah, badai, kecepatan dan sebagainya) di dasarkan pada perbandingan dengan VAI. Gambar (3.1) menunjukkan korelasi antara ramalan VAI dan kenyataan untuk Lead Time 12 jam dan 24 jam.



Gambar 3:1 :

Korelasi antara ramalan Vorticity Area Index (VAI) dengan kenyataan untuk Lead Time 12 jam dan 24 jam

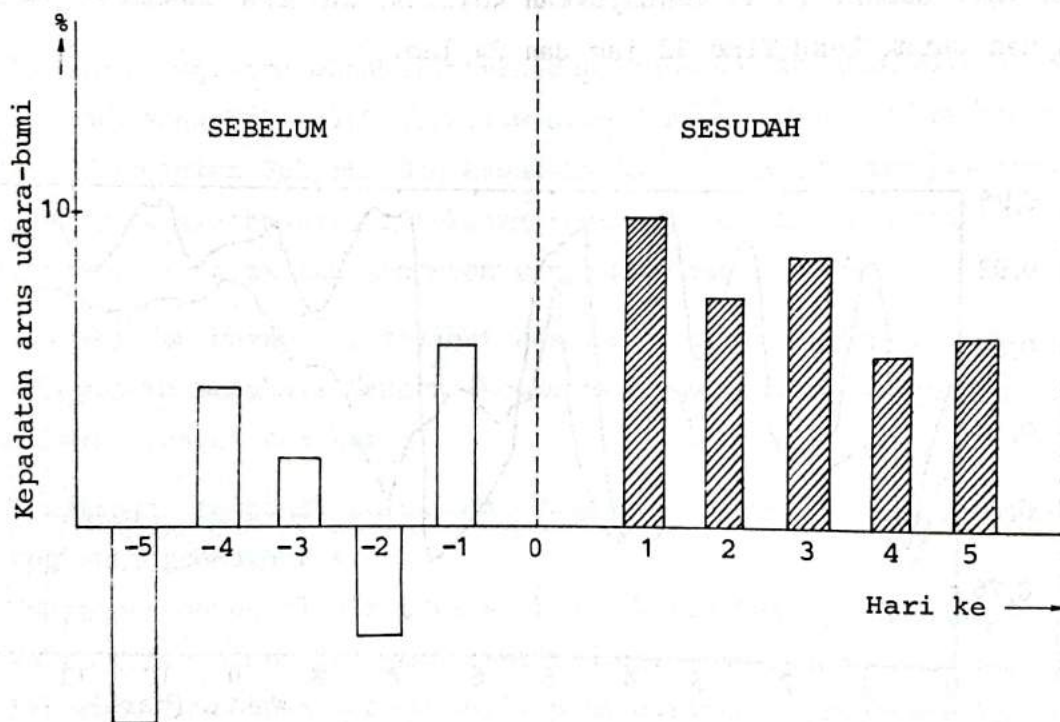
- = Lead-time 12 jam.
- - - - - = Lead-time 24 jam.

**Keterangan :**

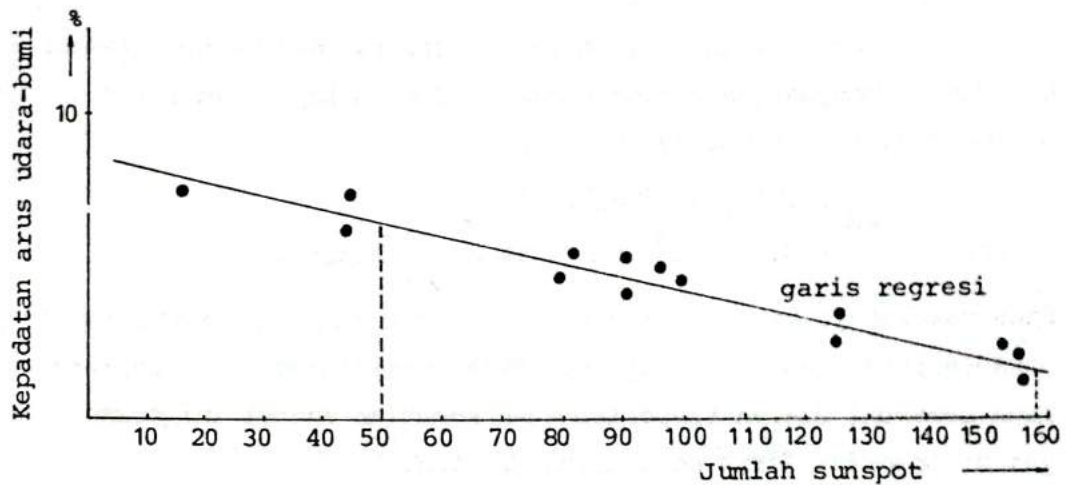
Lead Time = Waktu antara peramalan dan kenyataan yang terjadi.

Gambar 3.1 di atas menunjukkan suatu korelasi yang mengagumkan antara peramalan dan kenyataan yang terjadi pada suatu penentuan peramalan yang dilakukan pada 12 dan 24 jam sebelum kejadian terjadi.

Hubungan keadaan matahari dengan keadaan listrik di atmosfer (ionosfer) telah pula dilaporkan oleh W.E. Gibb<sup>(16)</sup> seperti terlihat pada gambar (3.2). Sedangkan kepadatan arus listrik dari udara ke bumi dalam hubungannya dengan jumlah sunspot, D.E. Olson<sup>(6)</sup> memberikan laporannya, seperti tersimpul pada gambar (3.3).



Gambar 3.2 : Kepadatan arus udara ke bumi sebelum dan sesudah H- $\alpha$  flare



Gambar 3.3 :

Kepadatan arus udara-bumi sebagai fungsi dari jumlah sunspot.

#### 4. KOPELING ANTARA KEGIATAN MATAHARI DAN CUACA

Sampai saat ini belum ada teori yang dapat diterima untuk menerangkan kopeling antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologis walaupun dari hasil data pengamatan bahwa kedua fenomena tersebut menunjukkan adanya hubungan yang baik.

Para peneliti mencoba mengajukan suatu teori kopeling antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologis dengan memperhatikan energi radiasi elektromagnetik matahari yang diterima di permukaan bumi yang mempengaruhi fenomena meteorologis, kemudian dibandingkan dengan energi angin matahari dan fluks medan magnet antar planet yang mempengaruhi magnetosfer.

##### 4.1 Energi

Adapun sumber energi sebagai penggerak fenomena meteorologi sesungguhnya disebabkan sinar matahari yang diserap oleh permukaan bumi, selain keadaan permukaan bumi itu sendiri. Fluks energi  $U_{EM}$  yang dipancarkan ke bumi dapat dihitung dengan persamaan :

$$U_{EM} = \pi r_E^2 F(1-A) \quad (4-1)$$

di mana :  $r_E$  = radius bumi = 6375 km.

$F$  = Konstanta solar =  $1.37 \times 10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

$A$  = Albedo bumi.

Dengan memasukkan harga-harga konstanta dalam persamaan (4-1) dan dengan menganggap albedo bumi,  $A = 0,5$  didapatkan fluks energi yang dipancarkan ke bumi adalah :

$$\begin{aligned}U_{EM} &= 8,5 \times 10^{16} \text{ watt.} \\ &= 8,5 \times 10^4 \text{ TWC (1 TW = } 10^{12} \text{ watt).}\end{aligned}$$

Pada hakekatnya hampir semua energi yang dipancarkan, ke bumi ini diradiasikan kembali ke angkasa. Dalam penjarannya ke angkasa pertamanya memasuki daerah troposfer, dan kemudian energi ini memanaskan gas-gas di atmosfer serta memanaskan daratan.<sup>15</sup>

Tetapi karena bumi itu bulat dan berotasi pada pusatnya serta jenis permukaannya berbeda-beda maka setiap bagian dari atmosfer dan permukaan permukaan bumi tidak mendapat bagian energi yang serba sama, yang dapat menyebabkan perbedaan-perbedaan temperatur di setiap tempat<sup>(15)</sup>. Daerah katulistiwa setiap tahunnya menerima jumlah energi yang lebih banyak daripada daerah sekitarnya dan daerah kutub yang paling sedikit.

Disamping perbedaan temperatur, perbedaan energi menimbulkan cuaca yang berbeda-beda. Di daerah katulistiwa yang banyak menerima energi radiasi matahari menjadi lebih panas maka udara di sini menjadi lebih ringan dari udara di daerah luarnya dan karena energi ini udara bergerak naik. Selama udara bergerak naik temperaturnya turun sehingga pada temperatur tertentu uap air di dalamnya berkondensasi dan terbentuk awan. Selama proses kondensasi terjadi pelepasan energi, sehingga di atas daerah katulistiwa terdapat kelebihan energi yang dikirimkan ke daerah luar tropik (subtropik). Sebaliknya di bagian bawah mengalir dari daerah subtropik ke katulistiwa. Maka selanjutnya terjadilah apa yang disebut "sirkulasi udara". Perubahan-perubahan cuaca berkaitan dengan sirkulasi udara ini dan sangat banyak hal-hal yang timbul seperti cuaca banyak hujan, kekeringan, timbulnya badai tropis, badai guntur dan sebagainya<sup>(15)</sup>. Menurut Sidorenkov (1974) kurang lebih 2% dari energi radiasi yang dipancarkan matahari ke bumi digunakan untuk menggerakkan atmosfer atau energi sebesar  $3 \times 10^{15}$  watt digunakan untuk sirkulasi udara<sup>(15)</sup>.

Kemudian fluks energi radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi tadi dibandingkan dengan fluks energi dari angin matahari dan medan magnetik antar planet (Interplanetary Magnetic Field, IMF)<sup>(13)</sup> yang tiba pada bagian atas dari atmosfer yang mempengaruhi medan magnetik bumi persatuan waktu dengan suatu fluks energi total  $U_s$  sebesar :

$$U_s = \pi r_m^2 \left( \frac{1}{2} \rho v_s^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) v_s \quad (4-2)$$

di mana :  $r_m$  = Radius Magnetosfer.

$\rho$  = Kerapatan masa angin matahari.

$B$  = Kuat medan magnetik antar planet.

$\mu_0$  = Permeabilitas magnet dari ruang hampa.

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan pengamatan di angkasa dan di bumi menunjukkan bahwa kurang dari 1 persen dari energi ini, dalam rata-ratanya menembus medan magnetik bumi.

Selanjutnya ditaksir fluks energi magnetik dan korpussular,  $U_c$  yang dipompakan ke dalam medan magnetik bumi. Untuk itu dianggap

$$U_c = 10^{-2} U_s, \text{ untuk } r_M = 12 r_E, \rho = 8 \times 10^{-21} \text{ kg/m}^3,$$

$$v_s = 400 \text{ km/s dan } b = 10 \text{ nanotesla (} = 10 \text{ gamma),}$$

kemudian harga-harga konstanta ini dimasukkan ke dalam persamaan (4-2), didapatkan :

$$U_s = 5 \times 10^{12} \text{ watt (= 5 TW), } U_c = 10^{-2}, U_s = 5 \times 10^{-2} \text{ TW,}$$

dan perbandingan :

$$U_c / U_{EM} = \frac{5 \times 10^{-2} \text{ TW}}{8.5 \times 10^4 \text{ TW}} = 6 \times 10^{-7}$$

Dengan demikian fluks energi angin matahari dan medan magnetik antar planet yang terpakai lebih kecil dari seperjuta fluks energi radiasi elektromagnetik yaitu fluks energi yang diserap oleh bumi.

Untuk memperbaiki harga perbandingan  $U_c/U_{EM}$  dipilih suatu kondisi untuk energi  $U_{EM}$  adalah minimal (misalnya pada waktu malam hari ataupun waktu musim dingin) dan energi  $U_c$  adalah maksimal pada waktu matahari sedang aktif. Pada daerah belahan bumi yang mengalami musim dingin, Albedo bumi bisa mencapai 0,9 sebagai akibat salju dan "cloud cover".

Dalam hal ini energi  $U_{EM}$  (minimum) bisa turun sampai  $6 \times 10^3$  TW.

Pada saat terjadi badai magnetik yang kuat maka fluks energi korpuskular bisa bertambah sampai mencapai maksimal. Pada waktu itu energi yang dibawa oleh angin matahari masuk ke dalam "Geomagnetic tail" sedemikian rupa selama  $10^4$  detik, energi sebesar  $10^{18}$  masuk ke dalam magnetosfer, energi ini dapat berupa aurora, arus ionosfer, arus cincin (ring currents), dan partikel-partikel berenergi. Dengan demikian selama terjadi badai magnetik, energi  $U_c$  bisa bertambah ke suatu harga

$$U_c \text{ (maks)} = \frac{10^{18} \text{ joule}}{10^4 \text{ detik}} = 10^2 \text{ TW},$$

sehingga diperoleh perbandingan

$$\frac{U_c \text{ (maks)}}{U_E \text{ (min)}} = \frac{10^2 \text{ TW}}{6 \times 10^3 \text{ TW}} = 1,7 \times 10^{-2}$$

Pada kondisi ini fluks energi angin matahari dan energi angin antar planet,  $U_c$  cukup besar jika dibandingkan dengan fluks energi elektromagnetik matahari yang diterima oleh bumi.

Dari perhitungan ini menunjukkan bahwa kemungkinan ada suatu komponen yang kuat dalam angin matahari yang belum diketahui. Dicari suatu cara untuk menggunakan fluks energi angin matahari dan fluks energi medan magnetik antar planet sebagai suatu alat pemicu (trigger), sehingga dapat menggerakkan atmosfer rendah dari suatu mode operasi kuasi stabil ke mode operasi lain.

Hines (1973)<sup>(7, 8, 9)</sup> mengajukan suatu model teori kopeling antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologi dikaitkan dengan energi. Caranya adalah dengan memperhatikan bahwa gerakan-gerakan konveksi di magnetosfer diperkuat selama terjadi badai magnetik, vortisitas atmosfer rendah berubah disebabkan gaya viskositas.

Perubahan vortisitas terjadi sebagai akibat perubahan kecepatan sudut aliran udara pada dan di atas level 300 millibar yang mengikuti perubahan badai magnetik tertentu. Jumlah energi yang tersedia untuk memperoleh perubahan ini dapat ditaksir sebagai berikut. Dianggap di atas level 300 mb berupa piringan udara dengan radius 500 km, dan kecepatan sudut  $\omega$  bertambah dari  $4 \times 10^{-15}$  rad/s ke  $6 \times 10^{-15}$  rad/s. (parameter parameter ini adalah harga khusus dari hasil pengamatan, perubahan

vortisitas yang dilakukan W.O. Roberts<sup>(13)</sup> dalam bukunya Private communications). Momen inersia  $I$  dari piringan adalah  $\pi R^4 \rho / 2$ , di mana  $\rho$  adalah kerapatan kolom udara di atas level 300 mb =  $3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Kalau dimasukkan harga-harga ini didapatkan momen inersia,  $I = 2,9 \times 10^{26} \text{ kg/m}^3$  Energi dari sistem rotasi ini adalah :

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} I \omega^2 & (4-3) \\ &= \frac{1}{2} (2,9 \times 10^{26}) \text{ kg/m}^3 \times (6 \times 10^{-5})^2 \text{ rad/s} \\ &= 5,22 \times 10^{17} \text{ joule.} \end{aligned}$$

Energi ini adalah sebanding dengan energi suatu badai magnetik sebesar  $10^{18}$  joule seperti yang ditetapkan sebelumnya.

Input daya yang diperlukan untuk menambah kecepatan sudut dari  $4 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$  selama 24 jam adalah

$$\begin{aligned} U_r &= \frac{dE}{dt} = I \omega \frac{d\omega}{dt} & (4-4) \\ &= \frac{2,9 \times 10^{26} \text{ kg/m}^2 \cdot 4 \times 10^{-5} \text{ rad/s} \cdot 2 \times 10^{-5} \text{ rad/s}}{24 \times 3600 \text{ s.}} \\ &= 2,7 \times 10^{12} \text{ watt} = 2,7 \text{ TW} \end{aligned}$$

Jadi pertambahan energi rotasi menjadi

$$2,7 \times 10^{12} \text{ watt} \times 24 \times 3600 \text{ det} = 2,32 \times 10^7 \text{ joule.}$$

Besarnya daya ini adalah sebanding dengan  $U_c$  (maks) =  $10^2 \text{ TW}$ , seperti yang diturunkan sebelumnya pada waktu terjadi badai magnetik. Dengan demikian nampak jelas bahwa dalam magnetosfer adalah cukup untuk menyebabkan perubahan vortisitas jika daya tersebut dapat terarah dan tergabung secara efektif.

#### 4.2 Perisai (Shielding)

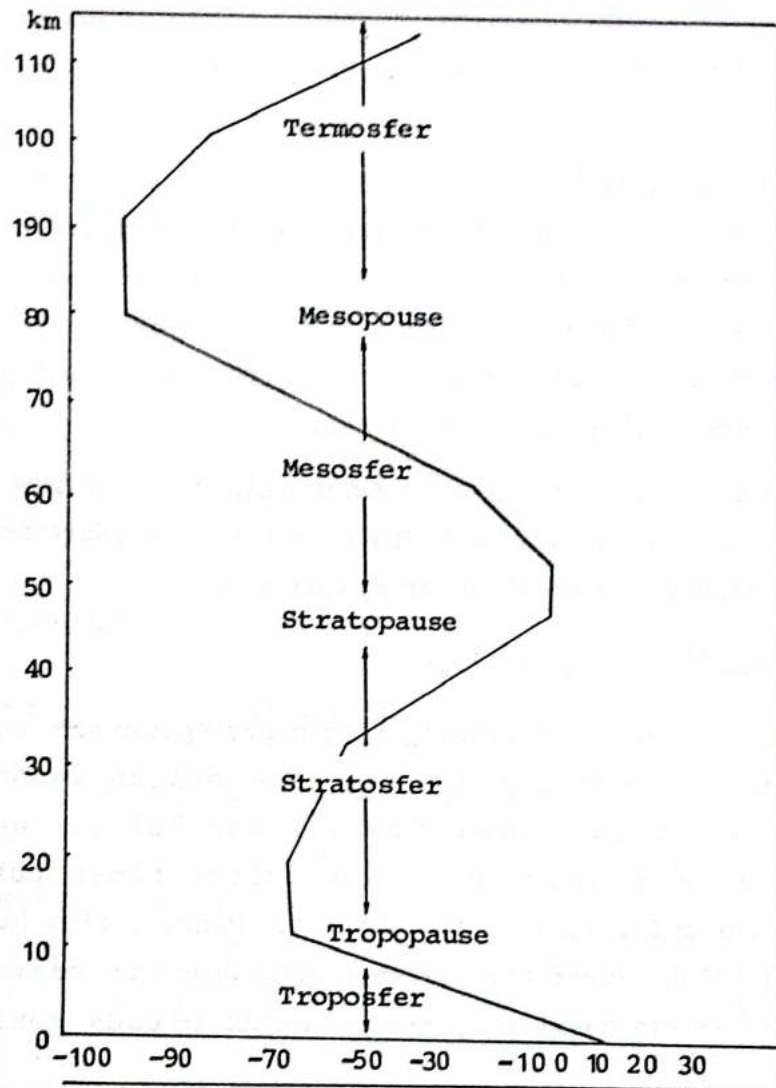
Lapisan troposfer betul-betul terlindung oleh medan magnetik bumi dari pemboman (bombardement) partikel - partikel yang berasal dari magnetosfer (kecuali dalam daerah-daerah kutub). Sebagai contoh pada ketinggian 16 km (bagian atas dari troposfer pada lintang rendah), perisai ini dapat mencapai harga  $100 \text{ gr/cm}^2$ .

Elektron-elektron dan proton-proton memerlukan energi lebih besar dari  $10^8$  EV untuk dapat menembus lapisan ini fluks dari partikel-partikel dalam angin matahari ataupun dalam magnetosfer mempunyai energi cukup kecil (dapat diabaikan) jika dibandingkan dengan energi  $10^8$  EV<sup>(13)</sup>. Dari hasil pengukuran langsung bahwa fluks energi sinar-X di bawah aurora dapat menembus sampai ketinggian 16 km (bagian atas dari tropopause) yang sering dapat teramati di atas latar belakang sinar kosmik. Lagi pula, perisai atmosfer ini hampir sebanding dengan suatu timah hitam dengan ketebalan 9 cm yang secara efektif dapat menahan setiap perembesan. Sesungguhnya masalah perisai ini pada dasarnya lebih kritis dari pada apa yang telah dibicarakan sebelumnya; karena dalam daerah aurora dan lintang lintang kutub, perembesan partikel-partikel diharapkan lebih efektif. Dalam hal ini bagian atas dari troposfer dapat turun ke suatu ketinggian kira-kira 10 km, pada ketinggian 10 km ini diperkirakan perisai atmosfer mendekati  $300 \text{ g/cm}^3$ . Maka jika kita mengharapkan untuk memperkirakan interaksi partikel-partikel secara langsung atau paling tidak terjadi interaksi konversi sinar-X sampai ke daerah stratosfer pada ketinggian 50 km, (atau barangkali lebih tinggi sampai ke ionosfer) yang merupakan tempat terjadinya fenomena meteorologi.

Berdasarkan pengamatan Newton dan kawan-kawan<sup>(12)</sup> 1965, bahwa kegiatan aurora dan medan magnetik bumi disebabkan oleh pertambahan temperatur atmosfer di atas ketinggian kira-kira 120 km (pemanasan ini terjadi karena pemboman (bombardement)) partikel-partikel dalam zone aurora.

Suatu sinar aurora yang kuat mempunyai suatu fluks energi hanya kira-kira  $1 \text{ W/m}^2$  atau lebih kecil  $1/1000$  sinar matahari. Kapasitas panas dari atmosfer atas adalah begitu kecil sehingga efek penyerapan fluks energi ini adalah besar. Tetapi atmosfer atas terisolasi secara termal terhadap atmosfer rendah pada dua daerah temperatur minimum yang satu pada ketinggian 80 km dan yang satu lagi pada ketinggian 15 km. (Perhatikan struktur termal atmosfer terhadap ketinggian) dalam gambar 4.1.





Gambar 4.1 :

Struktur termal atmosfer sampai ketinggian 110 km.

Agar energi dapat melewati kedua temperatur minimum tadi sampai ke lapisan troposfer maka energi tadi berubah wujud menjadi radiasi infra merah dan derau (noise) infrasonik. Tetapi dengan input daya dari sinar aurora yang hanya 1/1000 sinar matahari itu terlalu kecil untuk memberikan suatu gangguan sensibel pada sistem troposfer.

Akhirnya model teoritis yang diajukan oleh Hines sebelumnya yang memperkirakan bahwa angin ionosfer (ionospheric winds) dapat mempengaruhi gerakan-gerakan di atmosfer rendah, menghasilkan suatu kopeling yang lemah.

Menurut Hines<sup>(9)</sup> ada dua cara untuk menentukan hambatan (drag) sehingga atmosfer atas mempengaruhi atmosfer rendah. Karena kedua cara ini akan menghasilkan hasil yang sama, maka yang diuraikan hanya satu saja seperti berikut ini.

Gerakan-gerakan konveksi di magnetosfer bertemu melawan gerakan drag dalam ionosfer sehingga menghasilkan arus ionosfer. Dari hasil pengamatan arus ini dapat mencapai suatu harga terpadu  $J = 10^6$  As (Amps) ( harga tertinggi), memberikan suatu gaya sebesar  $F = \bar{J} \times \bar{B}$  persatuan panjang (meter) pada atmosfer netral. Untuk daerah kutub dengan kuat medan  $B = 6 \times 10^{-5}$  Tesla diperoleh suatu gaya sebesar

$$F = \bar{J} \times \bar{B} = J \cdot B \sin \psi = 10^6 \times 6 \times 10^5 \sin 90^\circ = 60 \text{ N/M}$$

Jika gaya ini dipadukan pada seluruh diameter piringan udara seperti yang diterangkan sebelumnya, diperoleh percepatan sudut

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{2 JBR^2}{I} = 2 \times 10^{-13} /s^2$$

Percepatan sudut ini adalah sebanding dengan percepatan sebesar  $2 \times 10^{-10} /s^2$  yang diperlukan untuk membuat proses yang cocok dengan fenomena yang dilaporkan oleh Robert dan Oslon (1973 a). Dalam hal ini energi yang tersedia adalah cukup, sedangkan gaya kopeling tidak cukup untuk menggunakan energi ini dengan suatu faktor  $10^3$  Hines (dalam buku Private communications) telah menghitung besarnya gaya drag ini dengan metoda yang berbeda memberikan hasil yang serupa dengan metoda yang dibahas sebelumnya.

## 5. KESIMPULAN

Dari uraian-uraian sebelumnya dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- i. hasil pengamatan di berbagai tempat di belahan bumi ini menunjukkan adanya hubungan yang erat antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologis (iklim dan cuaca).
- ii. Model teori yang diajukan untuk mencari hubungan antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologis, dengan memperhatikan energi radiasi elektromagnetik matahari yang diterima di permukaan bumi

kemudian dibandingkan dengan energi angin matahari dan fluks medan magnet antar planet (sebagai akibat kegiatan matahari) mempengaruhi magnetosfer menghasilkan suatu kopeling yang lemah.

- iii. Seperti yang diketemukan Robert dan Oslon (1973 b), maka sudah saatnya bagi para ahli mengembangkan suatu teori untuk mencari hubungan antara kegiatan matahari dan fenomena meteorologis. Hipotesa-hipotesa yang dibuat untuk melahirkan suatu teori, perlu dibuktikan kebenarannya secara empiris.
- iv. Untuk memperdalam ilmu dalam bidang penelitian hubungan antara kegiatan matahari dan iklim di bumi diperlukan suatu koordinasi yang multi disiplin yang mencakup ilmu fisika matahari, magnetosfer, ionosfer dan atmosfer.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. GRIBBIN : "Climate Change", Cambridge University Press London, 1978.
2. .... : "Proceeding Symposium on Influence of Solar Activity & Geomagnetic Change on Weather and Climate", IAGA/IAMAP Joint Assembly, Seattle, 1977.
3. B. MC CORMAC & T.A. SELIGO :  
"Proceeding of Solar Terrestrial Influences on Weather & Climate " Columbus, Ohio, August 1978, D. Reidel Publishing, Boston 1978.
4. KING J.W. : "Nature", 245, 243, 1973.
5. BANDEEN AND MARAN :  
"Possible Relationship Between Solar Activity and Meteorological Phenomena"; Preprint X-901-74-156, NASA, Washington.
6. D.E. OLSON : "International Symposium on Influence of Solar Activity & Geomagnetic Change on Weather and Climate", IAGA/IAMAP, Joint Assembly, Seattle, 1977.
7. HINES, C.O. : "Comments on A Test of an Apparent Response of the Power Atmosphere to Solar Corpuscular Radiation", Journal Atmospheric Science, 30, PP.739-740, 1973b.
8. HINES, C.O. : "Wind Induced Magnetic Fluctuations", Journal Geophysics Res. 70,PP, 1758-1761, 1965.

9. HINES, C.O. : "Two Possible Mechanism for Relating Terrestrial Atmospheric Circulation to Solar Disturbances", Abstract Submitted to Symposium on Possible Relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena. Goddard Space Flight Center, November. 1973 a.
10. KELVIN, LORD : "Presidential Address to the Royal Society at Their Anniversarry Meeting", November, 30, 1892 Proc. Royal Soc. London (A), 52 p.p. 300-310, 1892
11. NEWTON, H.W. AND A.S. MILSOM :  
"The Distribution of Great and Small Geomagnetic Storms in the Sunspot Cycle", Journal Geophysics Res. 59, pp. 203-214, 1954.
12. NEWTON, GEORGE P. RICHARD HOROWITZ, AND WOLFGANG PRIESTER :  
"Atmospheric Density and Temperature Variations from the Explorer XVII Satellite and a Further Comparison with Satellite Drag", Planetary Space Science, 13, pp.599-616, 1965.
13. ROBERT, W.O. AND R.H. OLSON (1973 a) :  
"Geomagnetic Storms and Wintertime 300-mb Through Development in the North Pasific-North America Area", Journal Atmospheric Science, 30. 135-140.
14. ROBERTS, WALTER, ORR AND ROGER H. OLSON :  
"New Evidence for Effects of Variable Solar Corpuscular Emission on the Weather". Rev. of Geophysics and Space Physics, 11, pp. 731-740. 1973 b.
15. JOHN R. HERMAN AND RICHARD A. GOLDBERG :  
"Sun, Weather and Climate", National Aeronautics and Space Administration", Washington DC. 1978.
16. WOLIN, G, KULKA, G J. ERRICSSON :  
"Nature". 242, 34, 1973.

- - - o0o - - -

## D I S K U S I

### 1. SUBIYANTO

Tanya : - Apa yang dimaksud dengan energi angin matahari ?  
- Apa bisa diukur ?

Jawab : Karena angin matahari terdiri sebagian besar partikel-partikel bermuatan (proton-elektron) dan mempunyai kecepatan dari rumus.

$$E = \frac{1}{2} mV^2$$

di mana E = Energi kinetik.

m = Masa partikel bermuatan

V = Kecepatan partikel bermuatan.

maka : - Energi angin matahari adalah energi kinetik  
- Dapat dihitung dengan rumus di atas.

### 2. M. PARDEDE

Tanya : Pada abstrak untuk mengembangkan suatu teori kopeling aktivitas matahari dengan fenomena meteorologi ada dua kesulitan. Menurut pembicara parameter apa yang diperhatikan di troposfer sehingga ada kaitannya dengan aktivitas matahari ?

Jawab : Parameter-parameter yang diperhatikan di troposfer adalah parameter meteo seperti, temperatur, tekanan, curah hujan. Tetapi yang menjadi masalah adalah bagaimana mengembangkan suatu cara teoritis untuk mencari model teoritis hubungan antara aktivitas matahari dengan fenomena meteorologis.

### 3. MULYANA W.

Tanya : Dalam judul ada kata meteorologi ternyata hanya dalam vortisitas dengan perubahan masih tahap penyelidikan mekanisme fisis ada tapi bagaimana ?

Apakah pembahasan dengan judul tak terlalu jauh dari harapan ? (Banyak materi di atmosfer yang masih ngambang hubungan dengan meteorologi).

Jawab : Saya hanya membahas bahwa peningkatan energi radiasi matahari yang dipancarkan ke bumi ada hubungannya dengan perubahan vortisitas.

Vortisitas menyatakan sirkulasi udara persatuan luas, adalah salah satu variabel cuaca, jelas berkaitan dengan variabel-variabel cuaca lain.

4. SRIKALOKA PRABOTOSARI

Tanya : Mohon penjelasan tentang :

- a. Lintang aurora,
- b. Indeks Vortisitas.

Jawab : a. Lintang aurora adalah lintang di mana terjadi aurora, biasanya terjadi pada lintang menengah sampai lintang tinggi.

- b. Indeks Vortisitas adalah menyatakan suatu variabel cuaca yang menunjukkan sirkulasi udara persatuan luas dalam  $\text{km}^2$ .

5. SUYUDIN

Tanya : Apakah Albedo bumi di belahan bumi utara dan belahan bumi selatan sama ?

Jawab : Tidak sama tergantung pada kondisi atmosfernya.

6. BACHTIAR ANWAR

Tanya : Telah ditunjukkan bahwa ada korelasi antara aktivitas di permukaan matahari dengan fenomena cuaca di bumi. Apakah korelasi bisa dinyatakan secara numerik, artinya :

- $r$  (=Koefisien) berharga  $-1$  dan  $1$
- $r = 1$  (korelasi positif)
- $r = 0$  (tak ada korelasi)
- $r = -1$  (korelasi negatif)

Jawab : Jelas koefisien korelasi harus dinyatakan secara numerik, dengan nomor (misalnya;  $r = 0,5$ ). Tetapi jarang peristiwa di dunia ini mempunyai koefisien korelasi  $r = 1$  atau  $r = -1$  jadi  $r$  harus di antara  $+1$  dan  $-1$ .

- - - o0o - - -