

# FLUKS 10.7 CM SEBAGAI PARAMETER AKTIVITAS MATAHARI

Clara Yono Yatini

*Bidang Penelitian Matahari dan Lingkungan Antariksa  
Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN*

## Ringkasan

Fluks yang dilepaskan oleh matahari pada panjang gelombang 10.7 cm mempunyai korelasi yang baik dengan bilangan sunspot dan background fluks sinar X lunak 1-8 Å. Korelasi  $F_{10.7}$  ini dengan bilangan sunspot menunjukkan bahwa fluks ini berasal dari daerah-daerah dekat bintik matahari atau daerah-daerah yang mempunyai medan magnetik yang kuat (daerah aktif). Sedangkan korelasi  $F_{10.7}$  dengan background fluks sinar X lunak 1-8 Å menyatakan bahwa fluks ini dihasilkan dari emisi yang tersebar di permukaan matahari.

Pembahasan mengenai proses pembentukan fluks 10.7 cm menunjukkan bahwa fluks 10.7 yang dihasilkan oleh proses emisi bebas-bebas yang tersebar di permukaan matahari ternyata lebih besar dari pada yang dihasilkan oleh proses giroresonansi.

## Abstract

*The correlation of the 10.7 cm flux with other solar activity indices were reviewed. The 10.7 cm flux show strong correspondence with the sunspot number and soft X-ray 1-8 Å background flux. Its correlation with sunspot number suggests that the 10.7 cm flux originates from the vicinity of sunspot or from the area with strong magnetic field (active regions), while its correlation with soft X-ray 1-8 Å background flux suggests that it come from widely-distributed emission over the solar disc.*

*The discussion of the relative importance of gyroresonant and free-free emission processes as contributors to the 10.7 cm flux propose that the total free-free contribution from widely-distributed emission is larger than that by gyroresonance.*

## 1. Pendahuluan

Emisi pada panjang gelombang sentimeter dari seluruh piringan matahari dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu: (i) peristiwa (event) sesaat yang terkait dengan flare dan aktivitas lainnya, yang berlangsung kurang dari satu jam, (ii) variasi intensitas yang lambat yang berlangsung berjam-jam bahkan sampai bertahun-tahun, yang mengikuti evolusi daerah aktif dan siklus aktivitas matahari - komponen ini kemudian disebut dengan komponen S -, dan (iii) intensitas minimum dimana intensitasnya tidak mungkin turun lagi, yang kemudian disebut dengan intensitas matahari tenang (*quiet sun level*).

Komponen S terdiri dari emisi yang terintegrasi dari semua sumber di piringan matahari. Pada awalnya komponen S dikatakan berasal dari emisi termal (bremsstrahlung) yang diakibatkan oleh kenaikan kerapatan atmosfer matahari di atas daerah aktif. Akan tetapi, dengan diketahuinya medan magnet yang besar di sekitar bintik matahari, maka proses giroresonansi juga dianggap memberikan kontribusi pada komponen S ini (Kakinuma & Swarup, 1962). Akhmedov et al. (1986) menyatakan bahwa komponen S ini bisa juga berasal dari emisi non-termal.

Salah satu komponen S banyak diamati pada panjang gelombang 10.7 cm. Fluks yang diamati pada panjang gelombang ini, yang sering ditulis sebagai  $F_{10.7}$ , telah

ditetapkan dan diterima secara internasional sebagai indeks aktivitas matahari, baik secara langsung atau sebagai proksi untuk parameter-parameter lainnya. Tapping & DeTracey (1990) menyatakan bahwa fluks 10.7 cm ini sebagian besar dihasilkan di korona matahari bagian bawah.

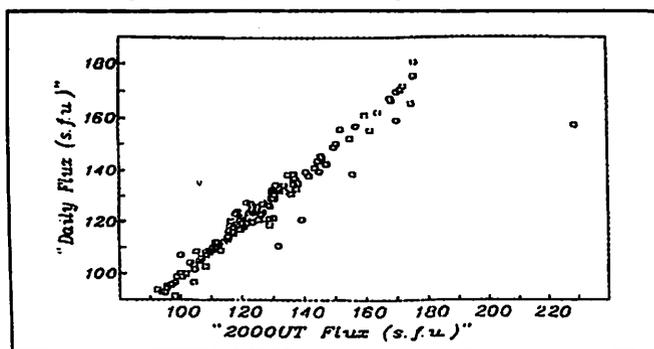
Tulisan ini membahas korespondensi atau korelasi antara  $F_{10.7}$  dengan beberapa parameter aktivitas matahari yang lain, yaitu bintik matahari dan background fluks sinar X 1-8 Å. Selain korelasinya dengan bintik dan sinar X, akan dibahas pula tempat pembentukan fluks 10.7 ini.

## 2. Pengukuran Fluks 10.7

Data fluks 10.7 cm, yang secara umum digunakan sebagai indeks aktivitas matahari, sesungguhnya adalah pengukuran kerapatan fluks pada panjang gelombang 10.7 cm yang dilakukan pada waktu-waktu tertentu (*spot measurement*). Di Ottawa/Penticton, Canada, yang menjadi tempat pengambilan data yang menjadi bahan tulisan ini, pengukuran biasanya dilakukan pada pukul 17:00, 20:00, dan 23:00 UT. Yang dianggap sebagai fluks rata-rata harian pada hari tersebut adalah besarnya fluks pada jam-jam tersebut, atau kadang-kadang fluks pada pukul 20:00 UT. Setiap pengukuran memakan waktu satu jam.

Akan tetapi, sebenarnya pengambilan harga pengukuran sesaat ini sebagai harga rata-rata harian mempunyai kelemahan yang menonjol, yaitu bahwa emisi matahari pada panjang gelombang 10.7 cm dapat bervariasi lebih cepat dari pada selang waktu (interval) antara tiap-tiap pengukuran. Demikian juga dengan event-event (peristiwa) yang berlangsung sesaat seperti flare mungkin saja tidak terukur. Pada saat aktivitas matahari mencapai minimum, dan saat dekat dengan maksimum, emisi matahari pada 10.7 cm mempunyai variasi yang kecil, sehingga pengukuran sesaat (*spot measurement*) yang dilakukan pada hari-hari tersebut dapat merupakan pengukuran yang tepat sebagai harga rata-rata harian. Akan tetapi untuk saat-saat dimana terjadi evolusi daerah aktif yang cepat dan terjadi flare, emisi ini akan sangat bervariasi.

Tapping & Charrois (1994) menghitung kesalahan total rata-rata apabila pengukuran sesaat ini digunakan sebagai harga fluks rata-rata harian. Korespondensi antara fluks yang diukur pada pengukuran sesaat dengan fluks rata-rata harian sesungguhnya menunjukkan korelasi yang baik, kecuali bila terjadi flare pada saat pengukuran. Gambar 2.1 menunjukkan hubungan antara keduanya, yaitu antara fluks harian yang sebenarnya dengan fluks yang diukur pada pukul 20:00 UT.



Gambar 2.1 Plot antara fluks harian rata-rata terhadap fluks pada pukul 20:00 UT (Tapping & Charrois, 1994)

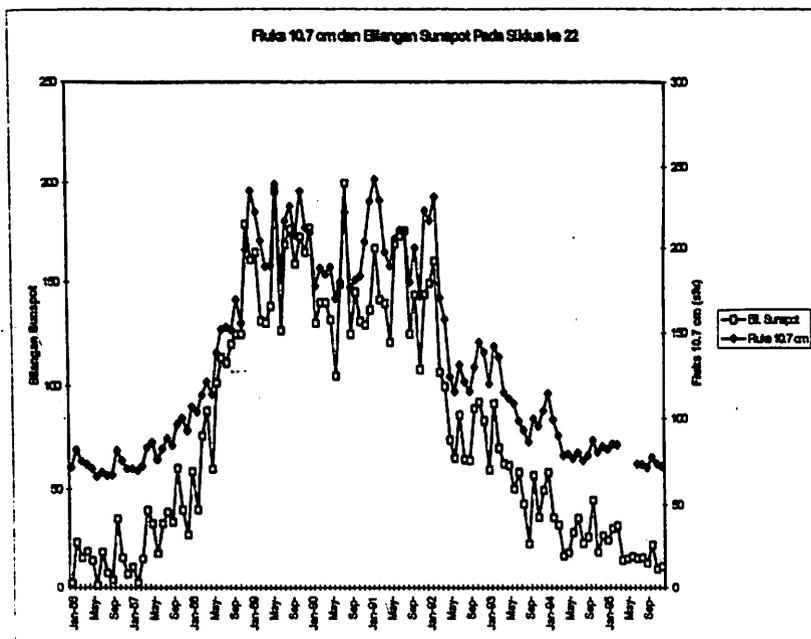
Pada sebelah kanan gambar terdapat titik yang menunjukkan bahwa pengukuran fluks pada saat tersebut dipengaruhi oleh flare. Dari plot ini, Tapping & Charrois (1994) mendapatkan kesalahan rata-ratanya adalah sebesar  $\pm 2\%$ .

### 3. Korelasi Fluks 10.7 Cm Dengan Aktivitas Matahari

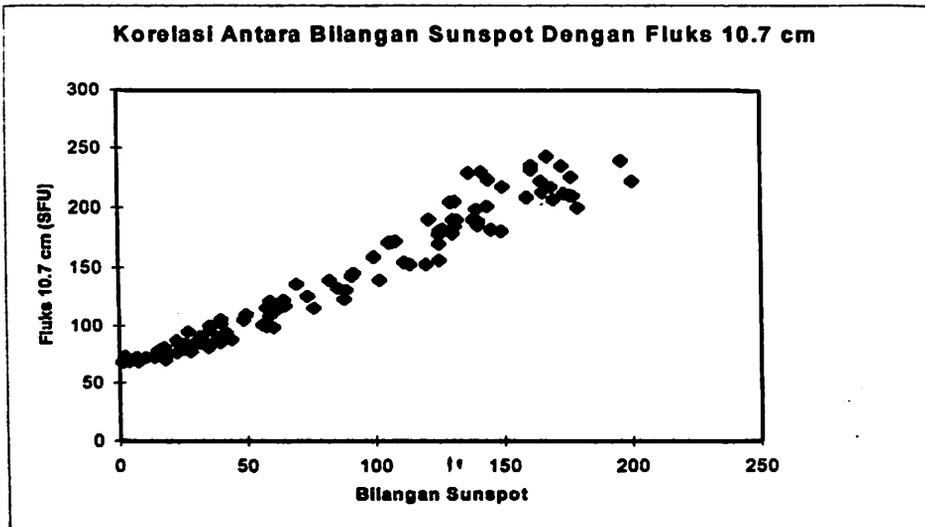
#### 3.1. Korelasi Dengan Bilangan Sunspot

Untuk mengetahui korelasi  $F_{10.7}$  dengan bilangan sunspot, maka perlu diketahui besarnya kedua parameter ini dalam selang waktu yang sama. Untuk itu diambil data  $F_{10.7}$  dan bilangan sunspot untuk siklus ke 22. Sumber data bilangan sunspot adalah *International Sunspot Number* dan sumber data  $F_{10.7}$  adalah hasil pengamatan fluks 10.7 cm di Ottawa dan Penticton. Kedua jenis data ini diperoleh di Solar Geophysical Data, dan dirata-ratakan untuk setiap bulan. Plot kedua data ini diperlihatkan pada Gambar 3.1.

Pada gambar ini terlihat bahwa pada saat aktivitas matahari maksimum, yang ditunjukkan dengan tingginya bilangan sunspot, fluks yang dilepaskan juga meningkat. Demikian juga sebaliknya, pada aktivitas yang rendah, fluks yang dilepaskan juga berkurang. Korelasi ini juga ditunjukkan pada Gambar 3.2. Secara garis besar makin tinggi (rendah) aktivitas matahari (dalam hal ini bilangan sunspot), makin tinggi (rendah) fluks 10.7 cm yang dilepaskan. Korelasi yang ditunjukkan tampak linier dengan koefisien korelasi sebesar 0.98. Harga koefisien korelasi sebesar ini menunjukkan bahwa kedua parameter ini mempunyai korelasi yang sangat baik (korelasi yang sempurna mempunyai koefisien korelasi = 1). Dengan dasar ini, tampaknya fluks 10.7 cm dihasilkan di daerah yang mempunyai medan magnet yang kuat seperti bintik matahari.



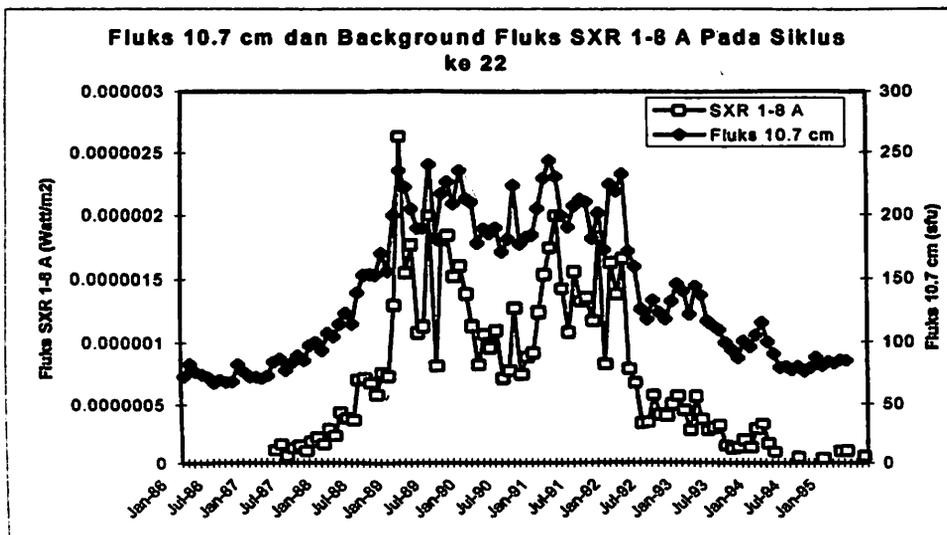
Gambar 3.1 Plot fluks 10,7 cm dan bilangan sunspot selama siklus ke-22



Gambar 3.2 Korelasi antara fluks 10,7 cm dengan bilangan sunspot pada siklus ke 22

3.2. Korelasi Dengan Background Fluks Sinar X 1-8 Å

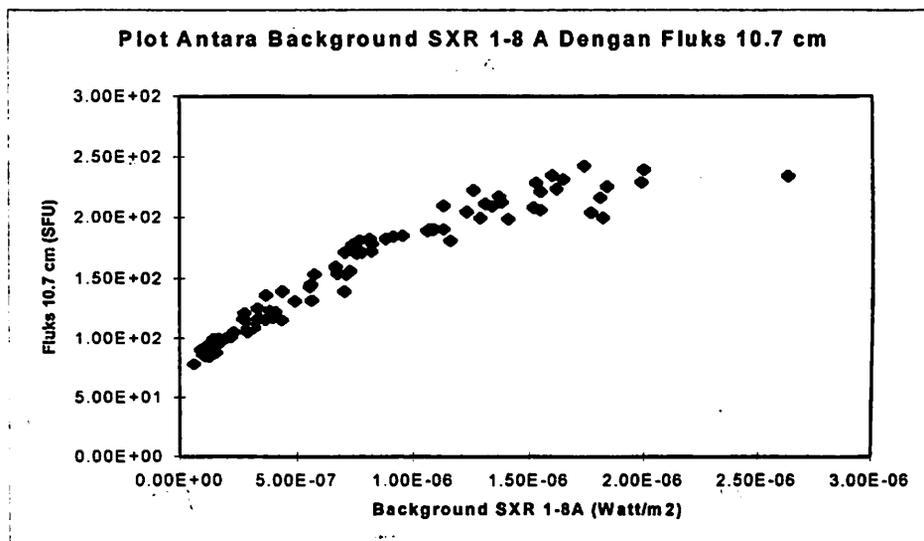
Emisi sinar X terbentuk karena adanya kondensasi di korona. Jumlah sinar X yang dipancarkan matahari berubah setiap saat. Kenaikan terbesar terjadi pada saat adanya flare dan lontaran massa korona (CME, *Coronal Mass Ejection*). Besarnya sinar X yang dilepaskan oleh matahari tanpa adanya flare dan CME disebut sebagai background fluks. Sebesar 98% jumlah fluks sinar X, khususnya sinar X lunak (SXR, *Soft X-Ray*) pada panjang gelombang 1-8 Å berasal dari daerah-daerah aktif (Wagner, 1988).



Gambar 3.3 Plot fluks 10,7 cm dan fluks latar belakang SXR 1-8 A selama siklus ke 22

Gambar 3.3 memperlihatkan plot antara fluks 10.7 cm dengan background fluks sinar X 1-8 Å yang berasal dari seluruh piringan matahari. Dari gambar ini terlihat bahwa fluks 10.7 cm akan naik (turun) bila fluks sinar X bertambah (berkurang). Pada saat aktivitas yang tinggi, kedua fluks ini mempunyai korelasi yang sangat baik. Akan tetapi pada saat aktivitas minimum, fluks sinar X terlalu kecil untuk dapat dideteksi ( $< 10^{-8} \text{ W/m}^2$ ). Hal ini ditunjukkan dengan data yang kosong pada saat aktivitas matahari minimum (sebelah kiri dan kanan plot SXR). Aschwanden (1994) menyatakan bahwa fluks SXR 1-8 Å di luar daerah aktif, yaitu di daerah korona yang tenang, sangat kecil sehingga sulit untuk dideteksi. Hal yang berlawanan berlangsung pada emisi 10.7 cm. Pada saat aktivitas rendah pun fluks ini masih dapat dideteksi. Tampaknya emisi 10.7 cm pada saat aktivitas minimum ini bukan berasal dari daerah aktif, melainkan berasal dari daerah-daerah tenang di matahari.

Korelasi linier dari SXR 1-8 Å dan fluks 10.7 cm diperlihatkan pada Gambar 3.4. Koefisien korelasinya adalah sebesar 0.94, yang berarti korelasinya sangat baik. Berarti juga bahwa selain dari daerah tenang, fluks 10.7 cm, seperti halnya SXR 1-8 Å, dihasilkan dari daerah-daerah aktif di matahari.



Gambar 3.4 Korelasi fluks 10,7 cm dengan fluks latar belakang SXR 1-8 A pada siklus ke 22

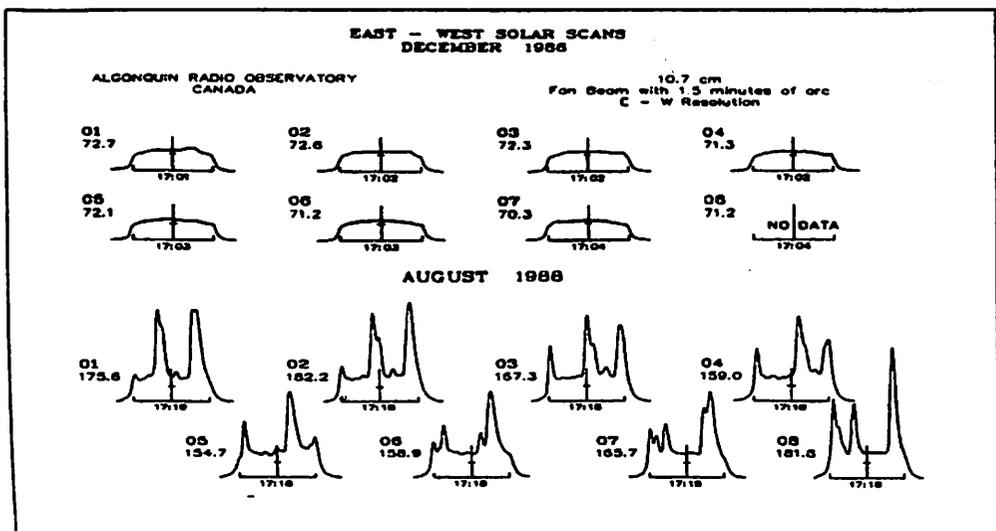
#### 4. Pembentukan Fluks 10.7

Komponen S terdiri dari emisi yang terintegrasi dari seluruh piringan matahari, yang berasal dari proses emisi bebas-bebas, giroresonansi, dan emisi non-termal (Akhmedov et al., 1986). Ada perbedaan mengenai proses mana yang memberikan kontribusi paling besar pada komponen S. Besarnya kontribusi proses-proses ini pada komponen S tergantung pada panjang gelombang yang digunakan dalam pengamatan. Pengamatan emisi dari daerah aktif pada panjang gelombang 21 cm menunjukkan bahwa proses emisi bebas-bebas sangat dominan, demikian juga pada panjang gelombang 2 - 3 cm. Akan tetapi, pengamatan emisi daerah aktif pada panjang gelombang 10 cm menunjukkan bahwa emisi 10.7 cm bisa berasal dari emisi bebas-bebas atau dari giroresonansi (Gaizauskas et al., 1983). Emisi yang disebabkan oleh giroresonansi berasal dari sekitar

bintik matahari, dimana di daerah tersebut terdapat medan magnet yang kuat, sedangkan emisi bebas-bebas terdistribusi secara luas di atas daerah-daerah aktif atau kompleks aktivitas (Akhmedov et al., 1986). Tapping & DeTracey (1990) membahas kedua proses ini dan menentukan proses yang mana yang lebih dominan. Mereka memperoleh bahwa kontribusi total dari emisi bebas-bebas lebih besar daripada kontribusi dari proses giroresonansi.

Korelasi fluks 10.7 cm dengan bilangan sunspot (Gambar 3.1 dan 3.2) menunjukkan adanya korelasi yang baik antara fluks ini dengan bilangan sunspot. Ini berarti fluks 10.7 cm mempunyai korelasi dengan medan magnet yang kuat, karena bintik matahari mempunyai medan magnet yang kuat. Akan tetapi, korelasinya dengan parameter aktivitas yang lain, yaitu background fluks sinar X 1-8 Å (Gambar 3.3 dan 3.4), menunjukkan bahwa fluks ini tidak hanya berasal dari daerah aktif, melainkan berasal dari daerah-daerah yang terdistribusi secara luas di permukaan matahari.

Pada panjang gelombang 10.7 cm giroresonansi membutuhkan medan magnetik yang sangat kuat, lebih besar dari 300 G. Medan magnet sebesar ini tidak mungkin terdapat di korona, melainkan terdapat di sekitar bintik matahari. Sedangkan emisi bebas-bebas terjadi di seluruh permukaan matahari, yang pada saat tidak ada daerah aktif menghasilkan emisi pada tingkat matahari tenang (*quiet sun level*) yang besarnya 64 sfu ( $1 \text{ sfu} = 10^{22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ ). Kenaikan emisi ini akan terjadi di tempat-tempat dimana terjadi kenaikan kerapatan di kromosfer dan korona. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi terhadap fluks 10.7 cm dari luar daerah aktif - yang medan magnetnya terlalu lemah agar giroresonansi bisa muncul - cukup besar. Pengamatan yang dilakukan Tapping & DeTracey (1990), dengan menghilangkan kontribusi fluks dari daerah-daerah yang terang (misalnya daerah aktif, plage, dan sebagainya), menunjukkan bahwa kira-kira 60% fluks 10.7 cm berasal dari emisi yang terdistribusi secara luas di piringan matahari, atau dengan kata lain sebagian besar fluks 10.7 cm berasal dari emisi bebas-bebas.



Gambar 4.1 Pengamatan fluks 10,7 cm dari seluruh permukaan matahari. Delapan gambar di atas diambil pada saat aktivitas minimum (1-8 Desember 1986), dan 8 gambar di bawah pada saat aktivitas matahari maksimum (1-8 Agustus 1988). (Tapping & DeTracey, 1990).

Distribusi fluks 10.7 cm yang merata ini diperlihatkan dengan hasil interferometer yang mencatat besar fluks tersebut di seluruh permukaan matahari. Gambar 4.1 memperlihatkan besar fluks 10.7 cm di seluruh piringan matahari pada waktu-waktu tertentu selama 8 hari pada saat aktivitas matahari minimum, yaitu pada tanggal 1 - 8 Desember 1986, dan selama 8 hari pada saat aktivitas matahari maksimum, yaitu pada tanggal 1 - 8 Agustus 1988. Tanda pada sumbu vertikal menunjukkan besar fluks pada saat matahari tenang, yaitu sebesar 64 sfu.

#### 4.1 Model Atmosfer

Model yang dibuat oleh Tapping dan DeTracey (1990) ini terdiri dari dua komponen utama. Yang pertama yaitu kromosfer yang isothermal dengan suhu  $10^4$  K. Di atasnya terletak korona yang homogen dengan temperatur  $10^6$  K. Kedua komponen ini dipisahkan oleh daerah transisi yang sangat tipis. Perubahan temperatur dari kromosfer ke korona, yaitu dari bagian kromosfer yang paling bawah sampai bagian atas korona, diasumsikan linier.

Di kromosfer dan korona, percepatan gravitasi berubah secara signifikan terhadap ketinggian. Bila disitu terdapat kesetimbangan tekanan vertikal, maka kerapatan akan menjadi fungsi dari ketinggian, sehingga

$$N = N_0 e^{-zR(\frac{mg_0}{kT})(z+R)} \quad (1)$$

dengan

- $N$  = kerapatan partikel pada ketinggian  $z$  di atas fotosfer
- $N_0$  = kerapatan partikel per  $\text{cm}^3$  pada dasar lapisan
- $g_0$  = percepatan gravitasional di dasar lapisan
- $m$  = massa partikel
- $R$  = jarak dasar lapisan ke pusat matahari
- $T$  = temperatur plasma.

Koefisien absorpsi untuk emisi bebas-bebas di atmosfer matahari dinyatakan dengan (Kundu, 1965 dalam Tapping & DeTracey, 1990) :

$$K = \frac{aN^2}{nf^2T^{3/2}} \quad (2)$$

$a$  = 0.11 di kromosfer dan 0.16 di korona

$f$  = frekuensi pengamatan dalam Hz

$T$  = temperatur sekeliling dalam K

$n$  = indeks refraktif

$$= (1 - (f_0/f)^2)^{1/2} \quad (3)$$

$f_0$  = frekuensi plasma

$$= 9 \times 10^3 N^{1/2} \quad (4)$$

$N$  = kerapatan elektron

Besarnya fluks minimum yang teramati pada panjang gelombang 10.7 cm adalah sebesar 64 sfu. Fluks ini diperoleh pada frekuensi plasma sebesar 300 MHz atau pada  $N_0$  sebesar  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ . Dari model di atas frekuensi ini diperoleh pada saat tidak ada daerah

aktif di matahari. Sedangkan frekuensi tertinggi yang bisa diperoleh pada saat matahari aktif adalah 900 MHz, dengan kerapatan elektron rata-rata  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$ .

Pada saat matahari aktif, permukaan yang tertutup oleh daerah aktif kira-kira sebesar 3 - 5%. Bila bagian tersebut dihitung dengan model matahari aktif (kerapatan  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ) dan sisanya dengan model matahari tenang (kerapatan  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ ), maka fluks 10.7 cm yang teramati adalah antara 120 - 200 sfu (Tapping & DeTracey, 1990).

Dari persamaan-persamaan (1) sampai (4) di atas tampak bahwa kerapatan plasma memegang peranan penting. Model ini didukung oleh pengamatan Gaizauskas et al. (1983) yang menunjukkan bahwa kenaikan kerapatan menyebabkan kenaikan emisi termal pada komponen S. Dari sini dapat diketahui bahwa fluks 10.7 cm juga dapat digunakan sebagai petunjuk besarnya kerapatan di korona.

## 5. Kesimpulan

Korelasi fluks 10.7 cm dengan beberapa parameter aktivitas matahari, yaitu bilangan sunspot dan fluks latar belakang sinar X 1-8 Å, menunjukkan ketergantungan terhadap parameter-parameter plasma. Selain itu korelasi ini juga menunjukkan bahwa fenomena-fenomena 10.7 cm dan sinar X lunak menyatakan hal yang sama, yaitu proses yang berhubungan dengan aktivitas matahari. Korelasi ini juga menunjukkan bahwa sebagian fluks 10.7 cm berasal dari tempat yang sama dengan tempat bintik matahari dan tempat pembentukan sinar X, yaitu di daerah aktif. Sehingga fluks 10.7 cm dapat digunakan juga sebagai parameter aktivitas matahari.

Fluks 10.7 cm sebagian besar dihasilkan dari emisi bebas-bebas. Emisi ini tidak hanya datang dari sekitar bintik matahari, tetapi lebih dari 60% fluks totalnya dihasilkan oleh emisi yang terdistribusi secara luas di permukaan matahari. Kontribusi terbesar dari fluks 10.7 cm berasal dari korona bagian bawah yang sangat dipengaruhi oleh kerapatan. Sehingga fluks 10.7 cm dapat juga sebagai indikator kerapatan di korona bagian bawah.

## Daftar Pustaka

- Akhmedov, Sh. B., Borovik, V.N., Gelfreikh, G.B., Bogod, V.M., Korzhavin, A.N., Petrov, Z.E., Dikij, V.N., Lang, K.R., Willson, R.F., 1986, *Astrophys. J.* **301**, 460  
Aschwanden, M.J., 1994, *Solar Phys.* **152**, 53  
Gaizauskas, V., Harvey, K.L., Harvey, J.W., Zwaan, C., 1983, *Astrophys. J.* **265**, 1056  
Kakinuma, T., Swarup, G., 1962, *Astrophys. J.* **136**, 975  
Tapping, K. F., DeTracey, B., 1990, *Solar Phys.* **127**, 321  
Tapping, K.F., Charrois, D.P., 1994, *Solar Phys.* **150**, 305  
Wagner, W.J., 1988, *Adv. Space Res.* **8**, No.7, 67