

GELOMBANG ELF/VLF SELAMA STORM SUDDEN COMMENCEMENT
DI MAGNETOSFER PADA TANGGAL 29 OKTOBER 1978

Sri Kaloka Prabotosari*

RINGKASAN

Dari bulan Agustus 1978 sampai dengan Maret 1979 satelit Geostasioner Eropa GEOS-2 menempati posisi bujur geografi 37.3° T dan lintang geomagnet -3° . Selama periode tersebut telah terjadi Storm Sudden Commencement SSC sebanyak 35 kali. Satelit ini mengamati elektron energetik (16-300 Kev) dan gelombang ELF/VLF (0.1-3.0 KHz) selama peristiwa SSC berlangsung.

Salah satu SSC yaitu yang terjadi pada tanggal 29 Oktober 1978 jam 11:16 UT mengakibatkan meningkatnya anisotropi dan laju pertumbuhan gelombang ELF/VLF.

ABSTRACT

During the period of August 1978 to March 1979, European Geostationary Satellite, GEOS-2 was located at geographic longitude of 37.3° E and geomagnetic latitude of about -3° . In that period, about 35 SSC events was observed and the energetic electrons (16-300 Kev), and the ELF/VLF waves (0.1-3.0 KHz) were detected during the SSC events.

The enhancement of the anisotropy and temporal growth rate of ELF/VLF wave was believed to be resulted from one of the SSC events that was observed on October 29, 1978 at 11:16 UT.

1. PENDAHULUAN

Storm Sudden Commencement SSC merupakan suatu fenomena yang berkaitan dengan perubahan secara mendadak pada parameter plasma angin surya yang akibatnya menimbulkan perubahan tekanan di magnetosfer. Pengaruh kejadian ini dapat sampai di bumi yang ditunjukkan dengan adanya perubahan amplitudo komponen horisontal medan magnet B_H . Di lintang rendah variasi amplitudo B_H dapat mencapai sekitar 10-30 nT, Sedangkan lintang tinggi variasinya tidak menentu (Kokubun, 1983).

* Peneliti Bidang Dinamika Ionosfer.

Tekanan yang disebabkan oleh angin surya menimbulkan kenaikan medan magnet di magnetosfer, B_0 kenaikan :

$$P = B_0^2 / 2 \mu_0 \quad (1-1)$$

akibatnya kecepatan partikel yang agak tegak lurus pada medan magnet magnetosfer juga akan mengalami kenaikan:

$$\frac{1}{2} m V_{\perp}^2 / B_0 = \text{tetap} \quad (1-2)$$

dan berdasarkan hukum kekekalan energi $\frac{1}{2} m V_{\perp}^2 = k T_{\perp}$ maka apabila kecepatan V_{\perp} mengalami kenaikan, temperatur T_{\perp} juga meningkat. Dengan demikian akan terjadi juga peningkatan temperatur anisotropi

$$A = \frac{T_{\perp}}{T_{\parallel}} - 1. \quad (1-3)$$

Dalam gambar 1.1 ditunjukkan pengaruh SSC yang terjadi pada tanggal 29 Oktober 1978 jam 11:16 UT, yaitu kenaikan komponen horizontal medan magnet statis B_H dan kenaikan fluks elektron energetik yang diamati pada energi 16 - 300 keV.

2. INTERAKSI GELOMBANG-PARTIKEL

Gelombang Siklotronik Elektronik ELF/VLF (0.1 - 3.0 KHz) dan elektron energetik yang ditimbulkan oleh SSC dapat saling berinteraksi bila kondisi resonansi :

$$V_{\parallel} = V_R = (\omega - \omega_{ce}) / K \quad (2-1)$$

dipenuhi.

V_{\parallel} adalah kecepatan elektron dalam arah sejajar medan magnet statik B_0 . ω_{ce} , ω dan k adalah frekuensi giro, frekuensi gelombang dan bilangan gelombang.

Gelombang Siklotronik Elektronik yang terjadi ini akan diperkuat oleh distribusi elektron energetik anisotropi. Penguatan ini terjadi bila laju pertumbuhan berharga positif ($B_f^2 = B_0 e^{2\gamma t}$), di mana :

$$\gamma = \pi \omega_{ce} (1 - \omega/\omega_{ce})^2 n(E_R) [A(E_R) - \omega/(\omega_{ce} - \omega)] \quad (2-2)$$

(Kennel and Petschek, 1966)

$A(E_R)$ = anisotropi dari elektron energetik

$n(E_R)$ = jumlah elektron relatif yang beresonansi

$E_R = \frac{1}{2} m_e v_R^2$ energi resonansi

m_e = massa elektron

Dalam perhitungan, energi resonansi ini merupakan fungsi dari frekuensi yang telah direduksi, $x = \omega/\omega_{ce}$

$$E_{//} = E_R = \frac{1}{2} m_e v_{Ae}^2 (1-x)^3/x \quad (2-3)$$

v_{Ae} adalah kecepatan gelombang Alfvén elektronik, sehingga persamaan (2-3) dapat ditulis kembali menjadi:

$$E_R = 253 (f_{ce}/f_{pe})^2 (1-x)^3/x \quad (2-4)$$

(E_R) dinyatakan sebagai:

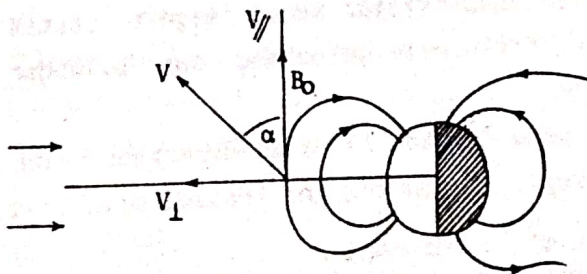
$$n(E_R) = 2\pi v_R^3 \int_0^{\pi/2} (\sin \alpha / \cos^3 \alpha) F(\alpha, E=E_R) d\alpha \quad (2-5)$$

Fungsi distribusi energi $F(\alpha, E) = m^2 j(\alpha, E)/2E$ dan fluks differential elektron $j(\alpha, E)$ sebagai:

$$j(\alpha, E) = \text{konst. } k(E) (\sin \alpha)^{2m(\alpha_1)} \quad (2-7)$$

$$(\partial j / \partial \alpha)_E = j 2m(\alpha_1) \cos \alpha / \sin \alpha \quad (2-8)$$

$m(\alpha_1)$ mempunyai harga tetap untuk tiap interval. $\Delta\alpha = 10^\circ$, jadi pusat $\alpha = \alpha_1$ ($\alpha_1 = 10^\circ, 20^\circ, \dots, 170^\circ$).



$\alpha = \text{sudut tukik}$
($0^\circ < \alpha < 180^\circ$)

Anisotropi $A(E_R)$ dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$A(E_R) = \frac{\int_0^{\pi/2} \tan^2 \alpha \partial j(\alpha, E) / \gamma \alpha \, d\alpha}{2 \int_0^{\pi/2} \tan \alpha j(\alpha, E) \, d\alpha} \quad (2-9)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-8) ke dalam persamaan (2-9) didapat:

$$A(E_R) = \frac{\int_0^{\pi/2} \tan \alpha j(\alpha, E) 2m(\alpha_1) \, d\alpha}{\int_0^{\pi/2} \tan \alpha j(\alpha, E) \, d\alpha} \quad (2-10)$$

maka laju pertumbuhan :

$$\frac{\gamma(E_R)}{W_{ce}} = \frac{1.7 \cdot 10^{-6}}{f_{pe}^2} (E_R)^{1/2} (1-x)^2$$

$$\left[A(E_R) - \frac{x}{1-x} \right] \int_0^{\pi/2} j(\alpha, E) \tan \alpha \, d\alpha \quad (2-11)$$

E_R , f_{pe} dan j berturut-turut dalam Kev, KHz dan $(\text{cm}^2 \text{sr s Kev})^{-1}$.

3. PENGAMATAN

Fungsi distribusi elektron energetik didapat dari spektrometer partikel energetik S-321 yang mempunyai 15 kanal detektor dengan daerah energi 16 - 300 Kev dan interval sudut tukik elektron $\Delta\alpha = 10^\circ$. Dengan sistem pengukuran ini fluks elektron energetik $j(\alpha, E)$ dapat ditentukan.

Pengukuran medan magnet statis B_0 dilakukan oleh percobaan S-331 untuk menentukan: frekuensi giro f_{ce} , frekuensi reduksi $x = f/f_{ce}$ dan sudut tukik elektron.

Percobaan S-300 mengukur besar frekuensi gelombang ELF/VLF yang terjadi (mode Whistler : $f < f_{ce}$).

Selama periode bulan Agustus 1978 sampai Maret 1979, satelit geostasioner Eropa GEOS-2 terletak pada bujur geografis $37.3^\circ T$ (waktu lokal,

LT = UT + 2.5) dan lintang geomagnet - 3° pada jarak $L = 6.6$ atau 35672 km dari permukaan bumi.

Selama periode tersebut di atas di magnetosfer telah terjadi peristiwa SSC sebanyak 35 kali. Salah satu SSC yang diamati ialah SSC yang terjadi pada siang hari, yaitu pada tanggal 29 Oktober 1978 jam 11:16 UT. Kejadian ini mengakibatkan magnetometer menunjukkan suatu kenaikan sekitar 10 nT hanya pada komponen horisontal H (sejajar) dengan sumbu rotasi bumi), sedangkan untuk komponen radial V dan komponen azimuthal D adalah tetap. Hal ini memberikan suatu petunjuk bahwa telah terjadi tekanan (kompresi) di magnetosfer. Kenaikan medan magnet ini dapat dilihat pada gambar 3.1.

Data lain yaitu data elektron energetik (gambar 3.2) menunjukkan bahwa seluruh kanal elektron dalam daerah energi antara 16 - 214 Kev secara serentak memperlihatkan kenaikan intensitas pada sudut tukik sekitar 90°.

4. PERHITUNGAN

Gelombang ELF/VLF dalam mode Whistler dapat diperkuat oleh distribusi elektron energetik anisotropi. Untuk proses ini dibutuhkan anisotropi A yang mempunyai harga lebih besar dari pada anisotropi kritis A_c (Kennel and Petshek, 1966).

Telah dilakukan perhitungan anisotropi A dan laju pertumbuhan gelombang yang telah dinormalisasikan yaitu γ/ω_{ce} untuk SSC yang terjadi pada tanggal 29 Oktober 1978 dan dibandingkan dengan spektrum gelombang.

Frekuensi giro elektron f_{ce} ditentukan dari pengukuran medan magnet dan frekuensi plasma elektron f_{pe} didapat dari sounder. Sebelum SSC : $f_{ce} = 3.1$ KHz ; $f_{pe} = 20.0$ KHz. Sesudah SSC : $f_{ce} = 3.3$ KHz ; $f_{pe} = 23.0$ KHz.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa anisotropi A sebelum dan sesudah SSC mempunyai harga lebih besar dari pada anisotropi kritis $A_c = x/1-x$ untuk $0.05 < x < 0.05$, $x = f/f_{ce}$.

Laju pertumbuhan gelombang yang telah dinormalisir (γ/ω_{ce}) untuk mode Whistler (gambar 4.2) dibuat selama 0.5 menit sebelum dan sesudah SSC terjadi. Gelombang yang diperkuat oleh distribusi elektron tidak hanya mempunyai persyaratan γ berharga positif saja tetapi γ harus melampaui suatu harga kritis ($(\gamma/\omega_{ce})_{kritis}$) sebesar $6.0 \times 10^{-3}/f_{pe}$, f_{pe} adalah frekuensi plasma elektron dalam KHz. Dalam interval 0.5 menit sebelum SSC: $f_{pe} = 20$ KHz, maka didapat $(\gamma/\omega_{ce})_c = 3.0 \times 10^{-4}$.

Dari perhitungan didapat bahwa (γ/ω_{ce}) sebelum SSC lebih mendekati

harga $(\gamma/\omega_{ce})_c$. Sedangkan (γ/ω_{ce}) sesudah SSC akan menjadi jauh lebih besar dari $(\gamma/\omega_{ce})_c$ sesudah SSC karena $f_{pe} = 23 \text{ KHz}$, maka $(\gamma/\omega_{ce})_c = 2.6 \times 10^{-4}$.

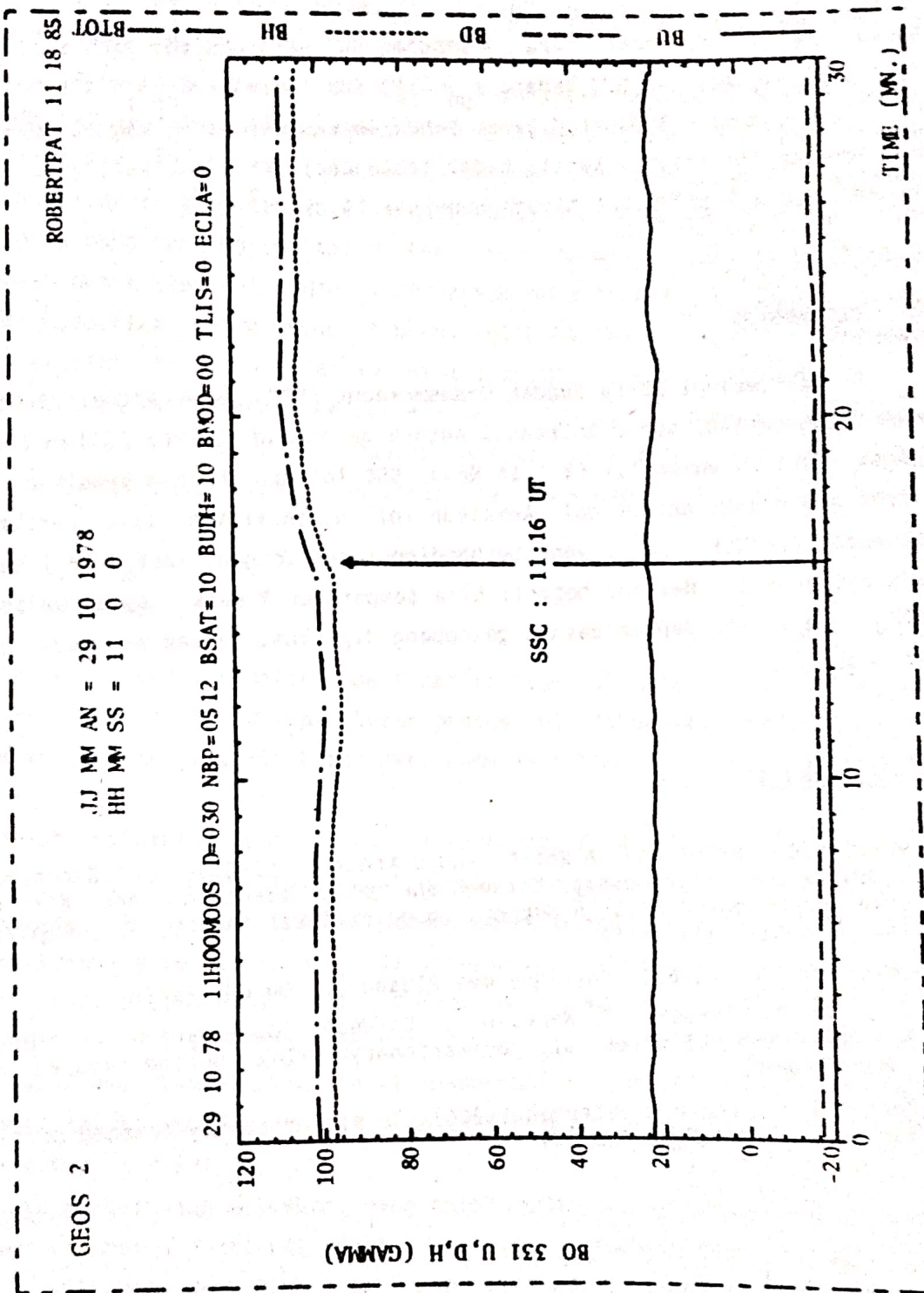
Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa intensitas medan magnet gelombang B_f^2 sebelum SSC relatif kecil, tidak lebih dari $2.5 \times 10^{-2} (\text{nT})^2/\text{Hz}$, tetapi sesudah SSC B_f^2 meningkat hingga mencapai $19.0 (\text{nT})^2/\text{Hz}$.

5. KESIMPULAN

Selama terjadi Storm Sudden Commencement (SSC) pada tanggal 29 Oktober 1978 telah terjadi suatu interaksi antara gelombang ELF/VLF (0.1 - 3.0 KHz) dengan elektron energetik ($E > 16 \text{ Kev}$). SSC ini menimbulkan kenaikan fluks elektron dan juga anisotropi. Kenaikan ini menghasilkan laju pertumbuhan gelombang ELF/VLF, γ/ω_{ce} , yang berbanding lurus dengan $[A(E_R) - A_c]$ seperti pada gambar 5.1. Hal ini berarti bila temperatur T naik, maka anisotropi $[A(E_R) - A_c]$ naik dan akibatnya gelombang diperkuat dengan mengambil energi dari elektron.

DAFTAR PUSTAKA

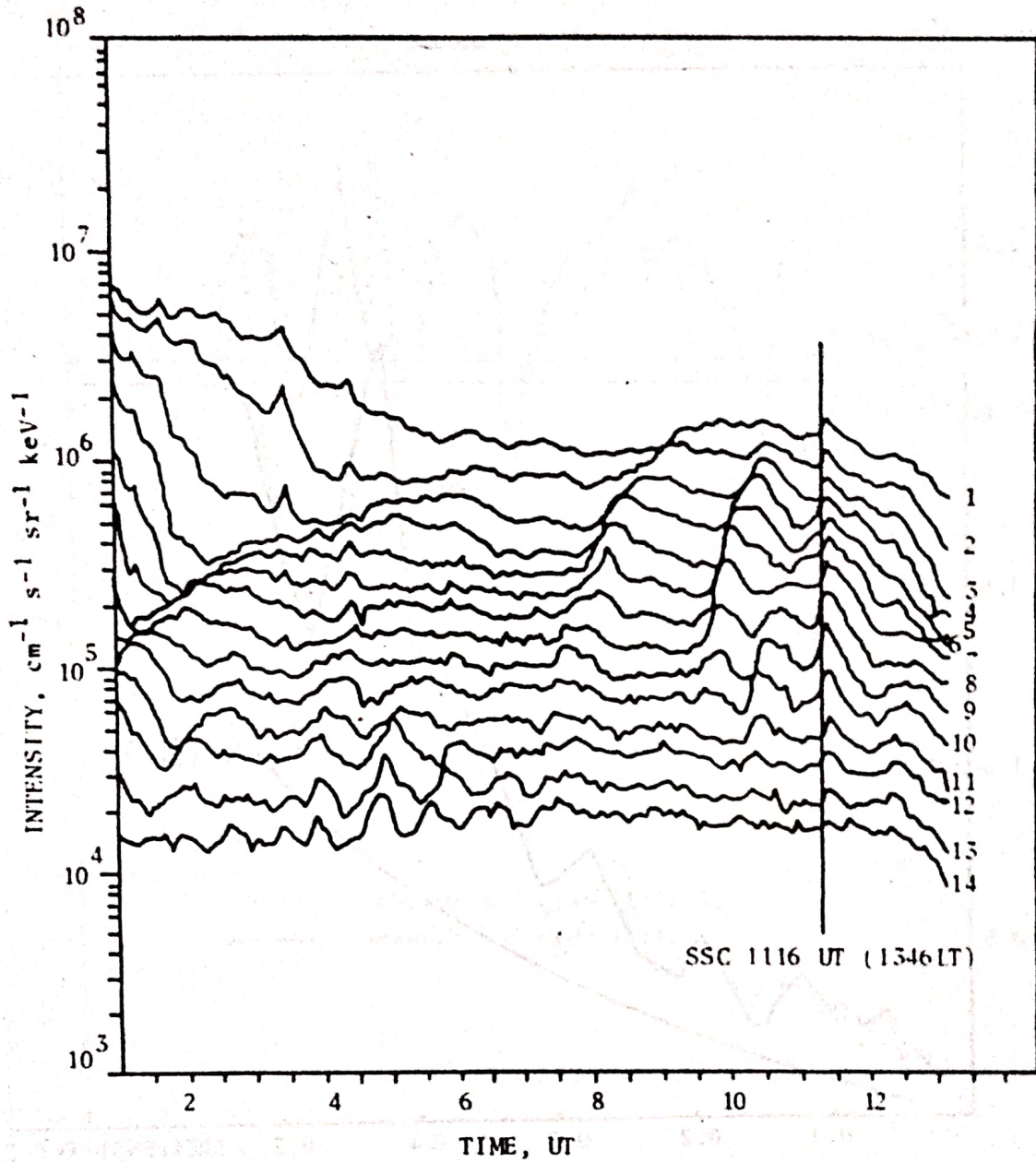
1. Wehrlin C., J. Solomon, A. Korth, and G. Kremser, (1985). "Experimental study of the relationship between energetic electrons and ELF waves observed on board GEOS: A Support to quasilinear theory. J. Geophys. Res., 90 hal. 4141-4154
2. Delcroix J.L. (1963). Physique des Plasma 1., Dunod, Paris
3. Korth A., G. Kremser, C. Wehrlin, J. Solomon, "Observation of energetic electrons and VLF waves at geostationary orbit during storm sudden Commencement.
4. Kennel C.F., and H.E. Petschek (1966). "Limit on stably trapped particle fluxes". J. Geophys. Res. 71.



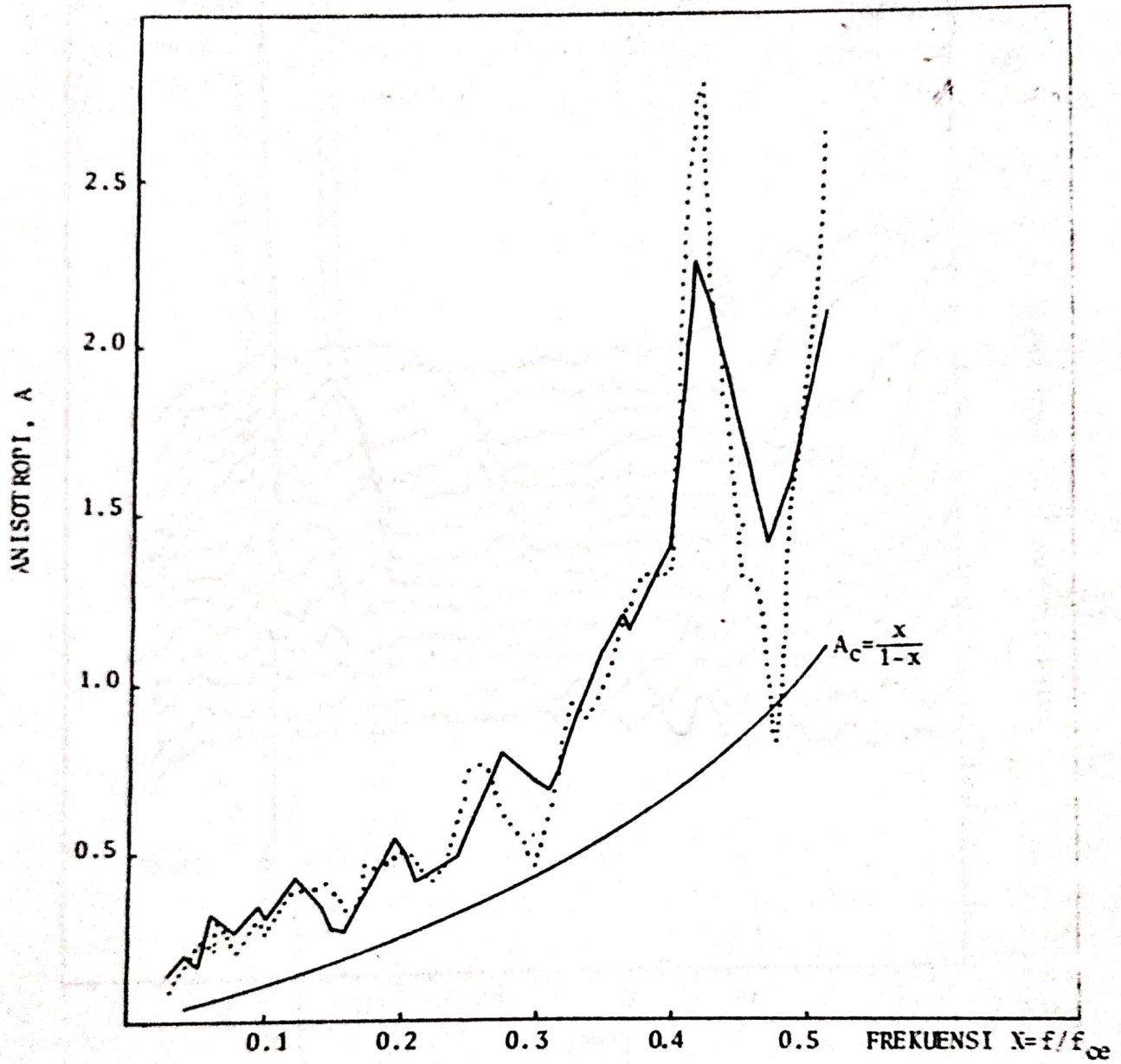
Gambar 3.1 : Komponen medan magnet horisontal, radial dan azimuthal pada saat terjadi SSC tanggal 29 Oktober 1978 jam 11:16 UT.

GEOS-2 29. 10. 1978

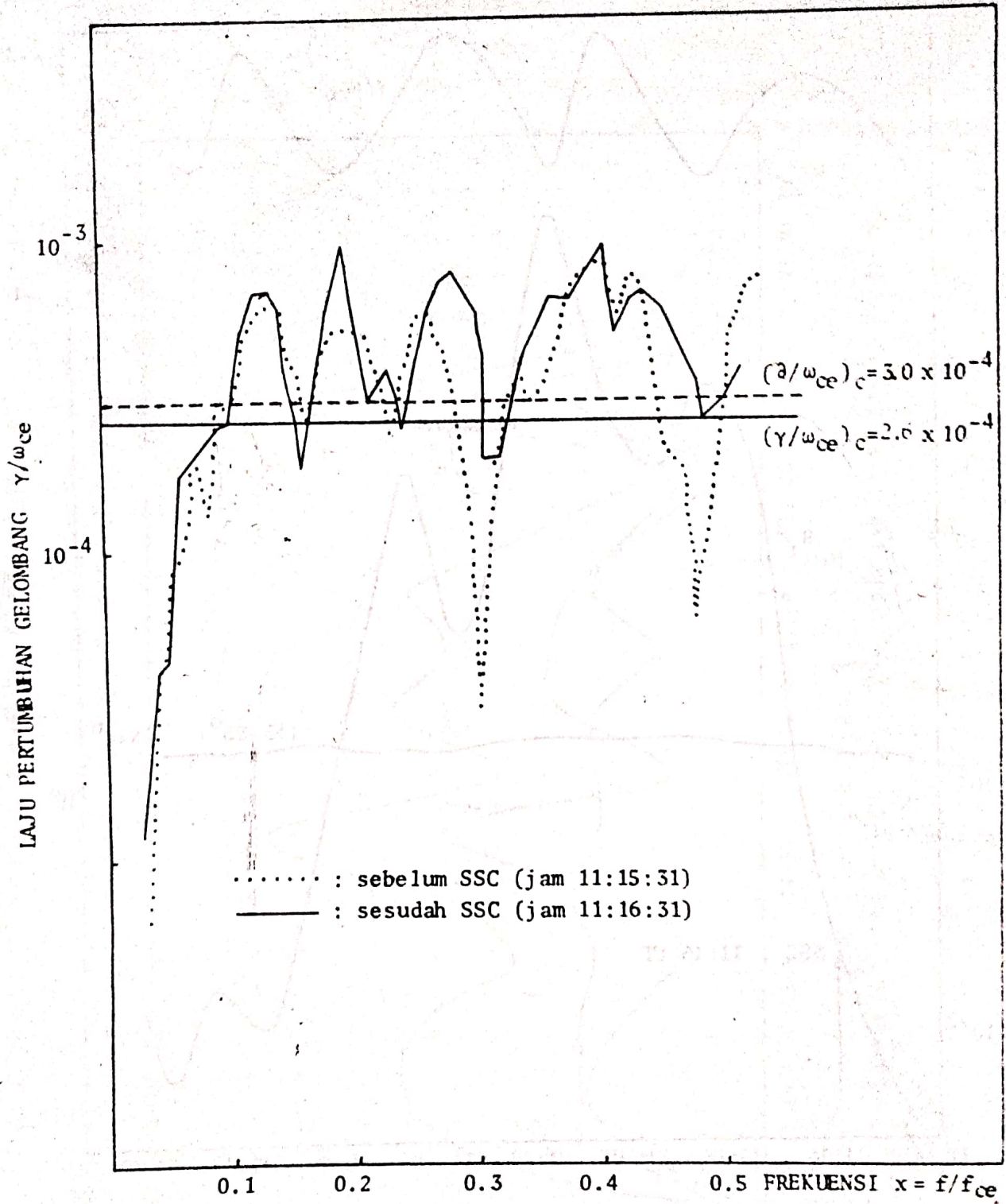
ELECTRONS, PA=85-95



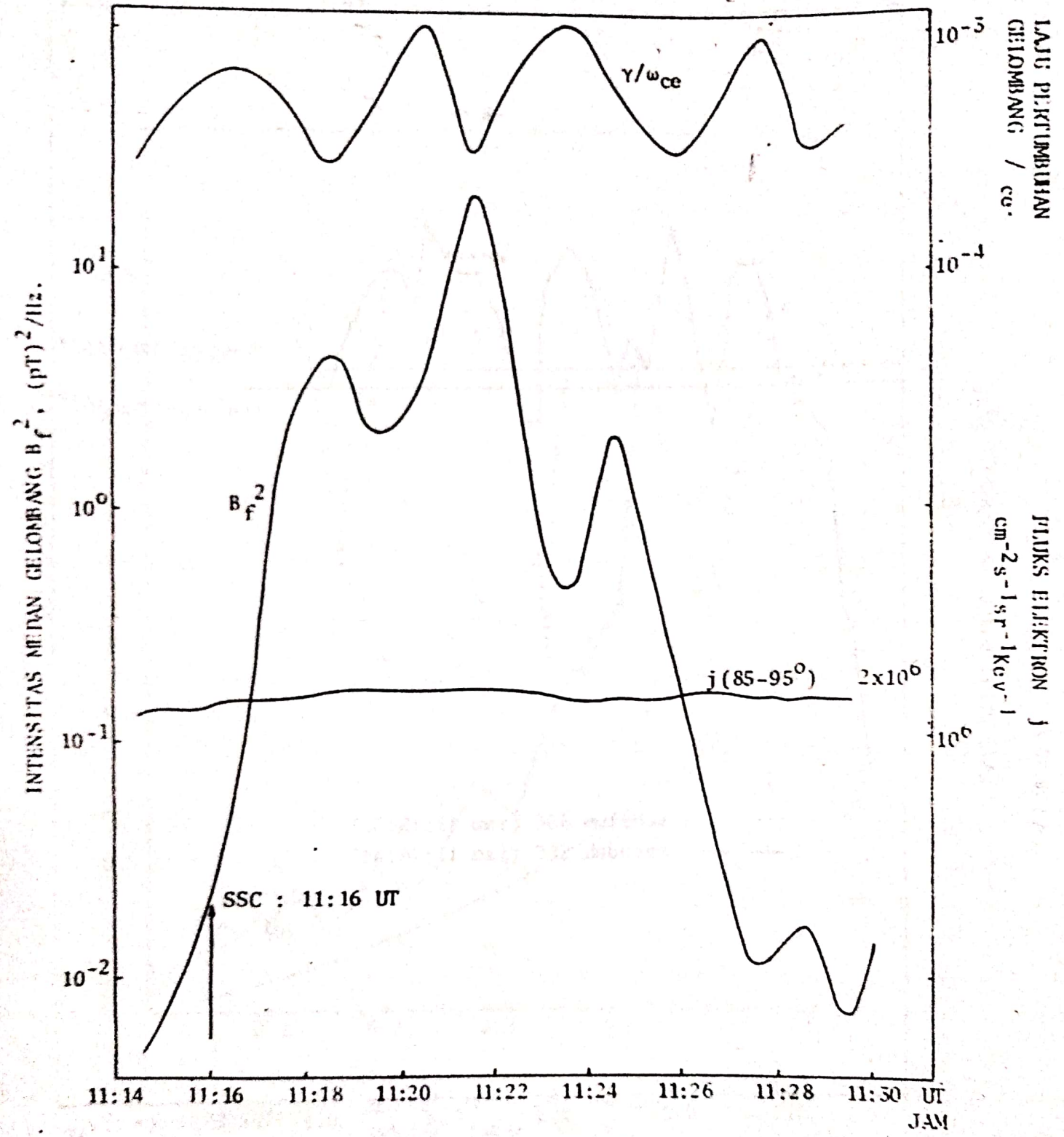
Gambar 3.2 : Kenaikan intensitas elektron energetik di seluruh kanal pada energi 16 - 214 Kev untuk sudut tukik 85 - 95°.



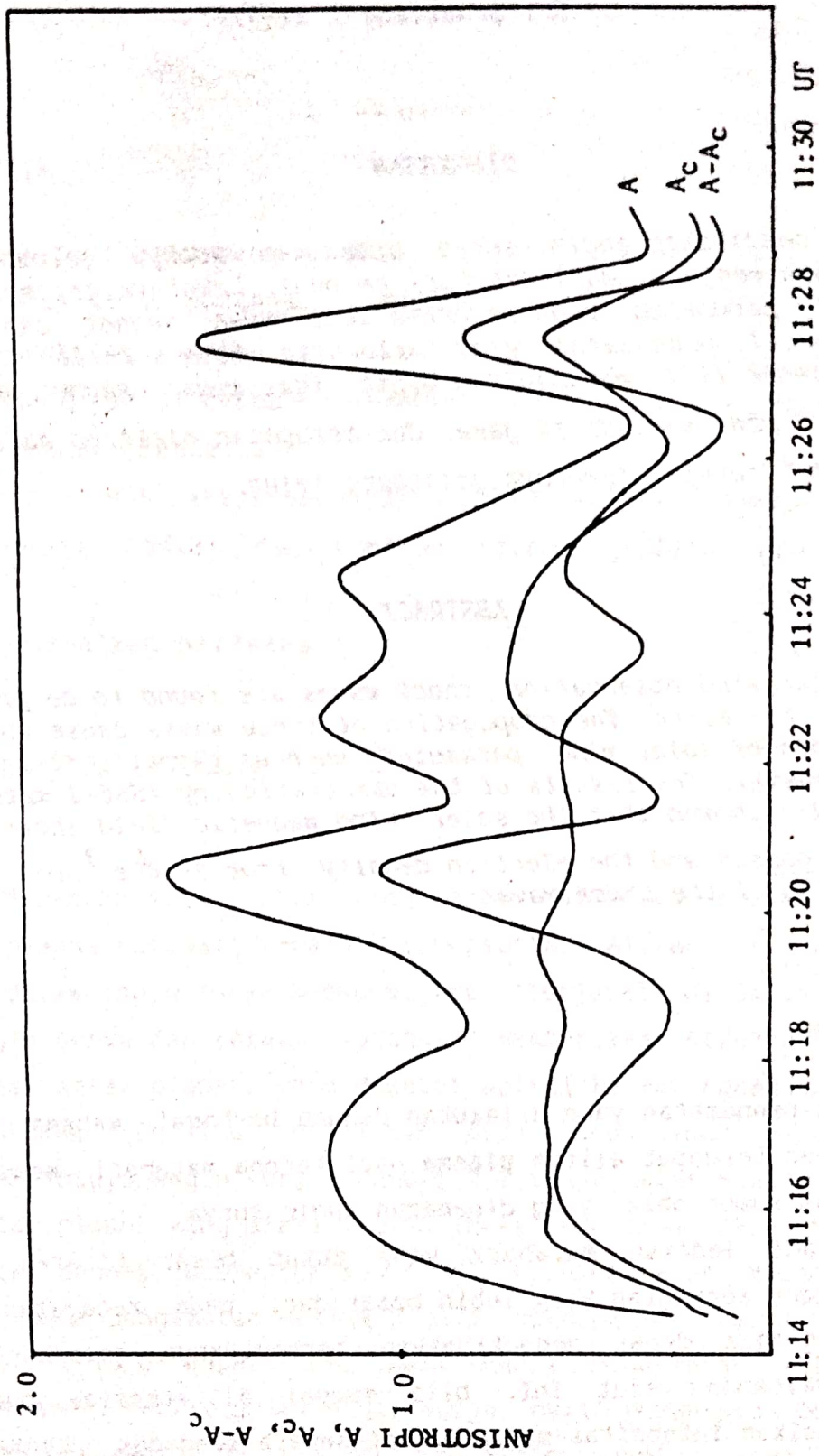
Gambar 4.1 : Anisotropi A sebelum dan sesudah SSC sebagai fungsi $x = f/f_{ce}$.



Gambar 4.2 : Laju pertumbuhan gelombang sebagai fungsi $x = f/f_{ce}$.



Gambar 4.3 : Intensitas medan gelombang B_f^2 , laju pertumbuhan gelombang γ / ω_{ce} dan fluks elektron pada jam 11:14:31-11:29:31 UT.



Gambar 5.1 : Anisotropi A, A_c, A-A_c pada jam 11:14:31 - 11:29:31 UT