

SEMBURAN RADIO MATAHARI SEBAGAI INDIKATOR CUACA ANTARIKSA

Suratno

Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN
e-mail: suratno@bdg.lapan.go.id

RINGKASAN

Emisi semburan radio matahari memerlukan waktu 8,3 menit untuk sampai di atmosfer Bumi, sementara CME dan muka gelombang kejut memerlukan waktu 40 sampai dengan 80 jam (bahkan lebih). Adanya keterkaitan proses fenomena semburan radio matahari dan CME, maka semburan radio matahari merupakan informasi awal tentang aktivitas matahari dan menjadi peringatan dini gangguan di antariksa dan atmosfer Bumi. Kejadian flare matahari akan meningkatkan intensitas radiasi UV, X-ray, fenomena semburan radio (radio *bursts*), dan intensitas lontaran masa korona (CME). CME yang merupakan gerakan gelombang kejut (*shock wave*) dan partikel energetik akan memiliki implikasi munculnya badai magnetik bumi (*geomagnetic storm*) yang berakibat adanya gangguan di atmosfer Bumi.

Kata Kunci: *Solar radio bursts, Flare, CME*

1 PENDAHULUAN

Mengamati obyek langit seperti bintang, bulan, matahari, dan obyek langit lainnya, kebanyakan orang akan langsung mengaitkan dengan peralatan teropong yang dilengkapi dengan kamera atau disebutnya dengan teleskop. Bahkan sebelum terwujud peralatan elektronik yang canggih dan komputerisasi, para pengamat masih harus mengintip melalui lubang kamera, menatapnya kemudian baru melakukan pemotretan. Teleskop yang beroperasi seperti ini dengan obyek pengamatan sumber sinar tampak disebut teleskop optis. Sedangkan teleskop yang beroperasi atas dasar obyek pengamatan sumber gelombang radio disebut teleskop radio.

Matahari, merupakan sumber gelombang yang lengkap dari gelombang sangat pendek, sinar gamma, sinar-X, ultraviolet, infra merah sampai gelombang radio (Tobiska W. Kent, et al., 2000), sehingga matahari dapat diamati dengan teleskop radio. Kemudian komposisi atmosfer Bumi akan menyerap, meneruskan, dan memantulkan gelombang radio, maka

gelombang radio yang berasal dari luar angkasa (misalnya dari matahari), hanya spektra gelombang yang berada pada rentang jendela radio yang dapat diterima oleh teleskop radio yang dioperasikan pada landasan Bumi. Gelombang radio pada jendela atmosfer ini terdiri atas lima pita, yaitu gelombang milimeter, sentimeter, decimeter, meter, dan dekameter. Gelombang dengan panjang gelombang di bawah satu milimeter ($\lambda < 1$ mm) atau pada frekuensi di atas 300 GHz ($f > 300$ GHz) diserap oleh uap air dan gas-gas di atmosfer Bumi, sementara gelombang di atas 30 meter ($\lambda > 30$ m atau $f < 10$ MHz) akan diserap dan atau dipantulkan oleh lapisan ionosfer (Wild, J. P., 1963).

Fenomena radio matahari terjadi di atmosfer matahari, dan terkait dengan fenomena flare dan lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*), gelombang kejut (*shock wave*), dan lontaran partikel energetik (*solar energetic particle/SEP*). Emisi radio matahari bersumber di atmosfer matahari pada lapisan dimana energi dilepaskan saat *flare*, partikel-partikel energetik dipercepat, dan di lokasi itu pula

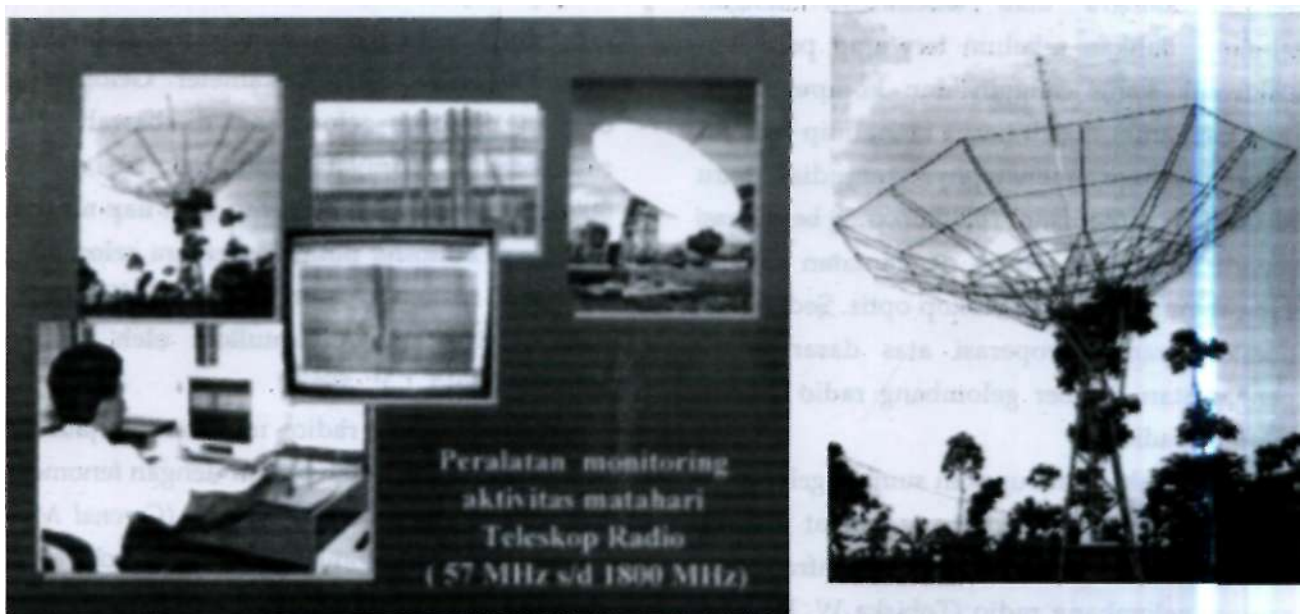
CME dilontarkan (Silja Pohjolainen and Niina Lehtinen, 2006). Frekuensi gelombang radio yang dipancarkan berbanding lurus dengan akar kerapatan plasma yang dikandung (Melrose, D. B., 1980), dan dengan model kerapatan plasma korona dapat diturunkan ketinggian sumber emisi radio matahari tersebut (Newkirk, G. Jr., 1961).

Peralatan pengamatan radio matahari adalah radiometer untuk frekuensi tunggal, dan untuk pengamatan spektra gelombang disebut radio spektrometer. Dengan radio spektrometer akan diperoleh hasil rekaman berupa spektra dinamik yang disebut semburan (*bursts*) radio. Tipe-tipe semburan yaitu semburan tipe I, II, III, IV, dan V; tipe-tipe ini didasarkan atas urutan penemuannya (McLean, D. J., 1986). Mekanisme radiasinya adalah sinkrotron dan plasma radiasi, dan masing-masing tipe memiliki karakteristik yang berbeda (Wild, J.P. et.al., 1963).

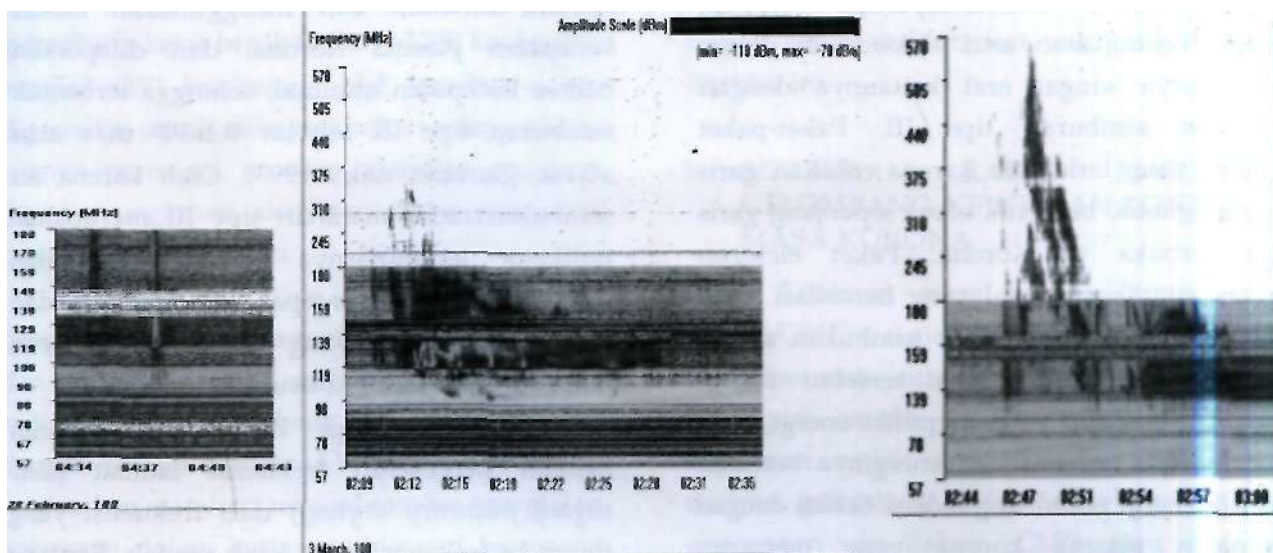
Mekanisme plasma radiasi yaitu proses resonansi gelombang elektrostatik Langmuir

diperkuat sebagai frekuensi elektron plasma, $f_p = 9000 \sqrt{n_e}$ (n_e dalam cm^3) yaitu jumlah kerapatan elektron ambien, dirangsang oleh temperatur yang sangat tinggi dan adanya interaksi dengan paket plasma yang bergerak melewatinya, dikonversikan dan dipancarkan sebagai gelombang *transverse* elektromagnetik pada frekuensi plasma dan harmoniknya. Proses lainnya adalah *thermal bremsstrahlung* dan proses siklotron/sinkrotron. Girofrekuensi fundamental pada proses sinkrotron terkait dengan medan magnetik yaitu $f_B = 2.8 \times 10^6 B_{\text{Gauss}}$, dan pada harmoniknya $2f_B$ (Melrose, D.B., 1980).

Gambar 1-1. adalah peralatan radio-spektrograf (18 MHz sampai dengan 1.8 GHz) yang pernah dimiliki oleh LAP AN dioperasikan di Stasiun Pengamat Dirgantara Tanjungsari. Data yang yang diperoleh seperti terlihat pada Gambar 1-2, serta contoh lain sebagai perbandingan data semburan radio dari Hiraiso dan *Green Bank Solar Radio Bursts Spectrometer* (GBSRBS) (Gambar 1-3).



Gambar 1-1: Radiospektrograf 18 MHz -1800 MHz, Stasiun Pengamat Dirgantara Tanjungsari - LAP AN

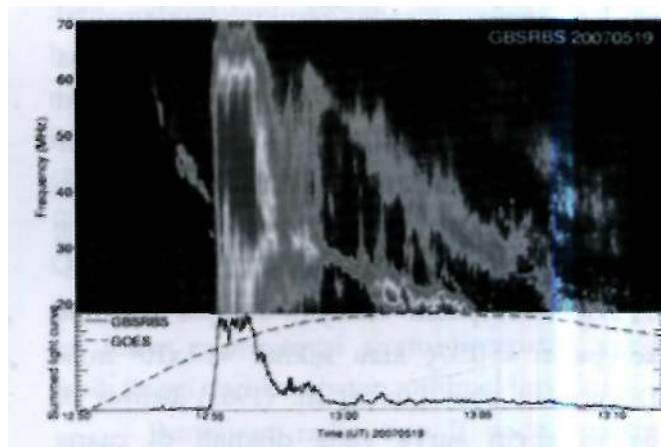


(a)

(b)

(c)

Gambar 1-2: Semburan radio (a) tipe III, (b) tipe III dan tipe II, dan (c) tipe III, tipe II dan tipe IV berturut-turut teramati melalui radiospektrograf Tanjungsari pada 28 Februari 2000, 3 Maret 2000, dan 25 Juli 2000



Gambar 1-3: Semburan radio tipe II pada gelombang meter yang diamati dengan radiospektrograf HiRAS (Hiraiso Solar Observatory, Japan) pada 30 Oktober 2004. Nampak dengan jelas emisi fundamental ('F') dan harmonik kedua ('H'). (Silja Pohjolainen and Niina Lehtinen, 2006), dan data dari Green Bank Solar Radio Bursts Spectrometer, 19 Mei 2007 (<http://www.astro.umd.edu/~white/gb/Html>)

2 SEMBURAN RADIO MATAHARI DAN CUACA ANTARIKSA

Cuaca antariksa adalah studi tentang kondisi matahari dan angin surya, magnetosfer, ionosfer, dan termosfer yang dapat membahayakan kehidupan dan kesehatan manusia. Kondisi cuaca antariksa juga dapat mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem teknologi peralatan baik peralatan ruang angkasa maupun peralatan landas Bumi, khususnya terhadap

peralatan yang rumit dengan komponen elektronik yang peka radiasi. Stephen M. White, 2007, menyatakan bahwa untuk tujuan studi cuaca antariksa, tiga tipe semburan rado matahari sangat relevan, yaitu tipe II, tipe III, dan tipe IV. Ketiga semburan radio tersebut merupakan indikator terjadinya peningkatan parameter cuaca antariksa.

Semburan type III disebabkan atau dirangsang oleh terlemparnya elektron energetik

dengan kecepatan sekitar sepertiga kecepatan cahaya. Peningkatan arus elektron di dalam angin surya sangat erat kaitannya dengan fenomena semburan tipe III. Paket-paket elektron yang terlempar karena robekan garis gaya magnetik, bergerak cepat sepanjang garis gaya terbuka di Korona. Paket elektron menembus plasma lokal yang beresilasi pada frekuensinya. Interaksi atau tumbukan antara elektron dan plasma lokal tersebut mengakibatkan elektron yang memiliki energi lebih rendah akan terhenti dan energinya berubah menjadi energi gelombang radiasi. Sesuai dengan kerapatan plasma korona yang menurun terhadap ketinggian, pergeseran frekuensi semburan yang negatif ini menggambarkan gerakan/lemparan populasi elektron dari bawah (kromosfer) menuju korona, merangsang osilasi plasma, meningkatkan radiasi, dan menghasilkan semburan radio. Struktur fundamental dan harmoniknya tidak nampak jelas, karena pergeseran frekuensi yang cepat, berawal dari frekuensi ratusan MHz dan bisa berakhir sampai di bawah frekuensi 6 KHz. Kecepatan elektron perangsang telah dilaporkan (Fainberg & Stone, 1980) berkisar pada kecepatan = 0.15-0.7c (c= kecepatan cahaya) dengan rata-rata kecepatan $\ll 0.37c$ atau sekitar 1.1×10^8 m/s. Dilaporkan oleh Lin, et al. (1981) bahwa di dalam angin surya yang diamati di ruang angkasa pada jarak antara 0.3 dan 1 AU dari Matahari terdapat asosiasi yang erat antara arus elektron dan semburan tipe III. Arus elektron mengandung kira-kira 10^{33} elektron. Bila kecepatan elektron energetik rata-rata 0.37c maka dari kemunculan semburan radio tipe III elektron energetik akan mencapai atmosfer Bumi dalam waktu ≈ 23 menit; dan jika kecepatan berkisar pada $\approx 0.14-0.7c$, maka elektron energetik akan mencapai atmosfer Bumi dalam waktu $\approx 12 - \approx 60$ menit. Dampak terhadap fenomena atmosfer Bumi adalah kemungkinan terjadinya anomali pada karakteristik (parameter) ionosfer dan geomagnetik. Kecepatan elektron ini telah diteliti dengan menggunakan data pergeseran frekuensi pada

spektra dinamik dan menggunakan model kerapatan plasma Korona, dan dilaporkan bahwa kecepatan minimal, sehingga terbentuk semburan tipe III sebesar 0.4×10^8 m/s atau $\approx 0.14c$ (Suratno dkk., 1993). Oleh karena itu semburan radio matahari tipe III merupakan indikator terlemparnya partikel bermuatan (elektron) yang dipercepat di dalam medan magnetik terbuka yang dapat berpengaruh pada atmosfer Bumi khususnya ionosfer.

Semburan tipe II adalah semburan dengan pergeseran frekuensi lambat (*slow negative frequency drifting*) dari frekuensi yang tinggi ke frekuensi yang lebih rendah. Rentang frekuensi kemunculannya sempit, berawal di bawah 150 MHz. Umumnya memperlihatkan struktur fundamental dan harmonik secara jelas, sehingga memperkuat pembuktian hipotesis tentang mekanisme radiasi tipe II, yaitu radiasi plasma (McLean, D.J., N.R.Labrum, 1985). Semburan tipe II sangat erat hubungannya dengan peristiwa flare optis (*Ha flare*) dan flare yang kuat yang mampu menghasilkan fenomena semburan tipe II. Analisis tentang mekanisme semburan, didahului dengan percepatan gelombang kejut (*shock wave*) akibat flare yang mendorong paket elektron di depannya dan atau menyeret di belakangnya. Semburan tipe II mengindikasikan adanya *gerakan kejut* di atmosfer matahari, dan asal dari pengendali *gerakan kejut* masih menyisakan subyek yang sangat menarik. Seperti halnya semburan tipe III, radiasi akan terjadi pada frekuensi sekitar frekuensi plasma lokal Korona, sedemikian sehingga mengakibatkan emisi radio. Kecepatan gerak gelombang kejut pada fenomena ini jauh lebih rendah dari peristiwa partikel energetik pada fenomena semburan tipe III, namun ditinjau dari efek terhadap sistem Matahari-Bumi peristiwa ini lebih sangat berarti.

Kecepatannya diturunkan melalui pergeseran frekuensi spektra dinamik semburan. Kecepatan elektron energetik semakin meningkat dengan bertambahnya ketinggian, berubah dari ≈ 38.000 km/sekon sampai ≈ 54.000 km/sekon pada rentang ketinggian 10 sampai 40 jejari

matahari, sementara hal sebaliknya bagi muka gelombang kejut berubah dari ≈ 1200 km/sekon sampai ≈ 250 km/sekon. Hal tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan selang waktu adanya peristiwa transien aktivitas matahari dan kemungkinan akan terjadinya gangguan pada komunikasi radio.

Tipe II dan tipe III berasosiasi kuat dengan garis gaya magnetik, gelombang kejut dan lemparan partikel energetik. Di samping itu radiasi pada gelombang mikro berasosiasi dengan radiasi dan sinar-X kuat. Maka mengungkapkan matahari sebagai sumber energi dan gangguan dalam kaitannya dengan fenomena antar planet dapat digunakan kemunculan semburan radio matahari.

Semburan tipe IV merupakan pola yang hampir kontinu dalam pita lebar terkait dengan fase peluruhan dari *solar flare*. Disebabkan oleh elektron-elektron yang terperangkap di dalam puncak selungkup garis gaya magnetik yang tertutup yang muncul saat awal akan terjadinya flare : elektron-elektron terjadi percepatan ditempat selungkup tersebut sangat dimungkinkan berada di puncak loop pada konfigurasi "*helmet-streamer*". Walaupun tidak seperti umumnya pada semburan tipe II dan III, perannya lebih sedikit, dalam hal studi Cuaca Antariksa semburan tipe IV telah lama menjadi perhatian karena memiliki keterkaitan yang kuat dengan peristiwa partikel energetik matahari (*solar energetic particle/SEP*). Semburan tipe IV bergerak (*moving type IV bursts*), juga menarik karena citra yang nampak seperti bergerak pada kelajuan sama dengan kelajuan CME, tetapi sulit dibedakan dari peristiwa tipe IV stasioner hanya dari karakteristik spektranya saja. Gerakan tersebut mengindikasikan gerakan dari loop magnetik yang di dalamnya terdapat gerakan sinkrotron dari elektron energetik. Tipe IV bergerak sebagian adalah fenomena pada frekuensi rendah, terjadi pada frekuensi di bawah 100 MHz, dan karena kelangkaan kemampuan pencitraan pada frekuensi rendah tersebut dapat dikatakan hampir tidak mungkin untuk mengidentifikasi dalam waktu

tertentu. Dalam hal ini, dan karena relatif sangat jarang, hanya sedikit riset untuk tahun-tahun terakhir ini.

3 SEMBURAN RADIO MATAHARI, GELOMBANG KEJUT DAN LONTARAN MASA KORONA

Lontaran masa korona (*coronal mass ejection/CME*) terkait dengan peristiwa flare dan semburan radio tipe II yang menandai adanya propagasi muka gelombang. Khususnya semburan emisi radio tipe II akan terkait dengan gelombang kejut (*shock wave*), CME, guncangan di dalam CME atau ledakan gelombang yang ditimbulkan. Di korona matahari, gelombang kejut terbentuk jika kecepatan gerakan kejut lebih besar dari magnetosonic lokal (kecepatan Alfvén). Di atmosfer bawah (kromosfer), di atas daerah aktif, kecepatan Alfvén menurun sampai beberapa ratus km/s, kemudian secara perlahan naik sampai mencapai maksimum sekitar 1000 km/s sampai di ketinggian heliosentris $\approx 3.5 R$ (R =jejari matahari). Pada ketinggian di atas 1.5 R kecepatan Alfvén minimal harus 500 km/s. Oleh karena itu pemandu sebagai muka gelombang kejut (*shock front*) pada ketinggian ini harus mempunyai suatu kecepatan yang lebih tinggi dari kecepatan minimal tersebut

Semburan radio tipe II pada spektra dinamik nampak sebagai pergeseran frekuensi terhadap waktu dan menandai adanya elektron yang dipercepat oleh sebuah gerakan kejut (*shock-accelerated electron*) yang merangsang osilasi plasma sehingga timbul pancaran gelombang radio. Gerakan kejut (*shock*) yang menghasilkan emisi tipe II tidak pernah teridentifikasi pada panjang gelombang yang lain, walaupun kemungkinan keterkaitannya dapat dikemukakan dan termasuk hentakan CME, gelombang Moreton, dan sinar-X lunak (*soft X ray*). Semburan tipe II selalu terkait dengan flare, walaupun ada beberapa yang dapat terjadi ketika flares optis nampak sangat kecil, oleh karena itu masih menjadi kontroversi apakah gerakan kejut disebabkan oleh CME

atau oleh beberapa fenomena flare lain. Namun akhir-akhir ini, keterkaitan antara semburan tipe II dan keberadaan CME menjadi meningkat secara signifikan, sangat mendukung ide-ide bahwa gerakan kejut yang menghasilkan semburan tipe II adalah juga mengendalikan CME. Percepatan partikel yang mengakibatkan terjadinya semburan radio tipe II (yang dipicu oleh gerakan kejut), dan keterkaitannya dengan flare dan atau CME, menjadi sangat penting dalam hal studi tentang cuaca antariksa.

Keterkaitan antara semburan radio tipe II dan CME dapat dipelajari dengan mengetahui lokasi dan kelajuan gerakan kejut korona dari pengamatan spektra radio tanpa bersandar pada berbagai model kerapatan korona. Dengan menggunakan distribusi kerapatan korona dua dimensi dan frekuensi semburan tipe II, dihitung ketinggian gerakan kejut tipe II dalam satuan radius matahari. Kemudian dibandingkan ketinggian emisi dengan CME-nya untuk menentukan di mana posisi tipe II dan dapat diturunkan ketinggian dan kelajuan dari gerakan kejut sebagai fungsi dari waktu. Sepanjang daerah ini, gerakan kejut dan CME keduanya bergerak dengan kelajuan dari berkisar 800 sampai 600 km s⁻¹. Disimpulkan bahwa semburan tipe II berasal pada muka CME dan sangat sesuai dengan terbentuknya gerakan kejut (Cho K. S., et. al., 2006).

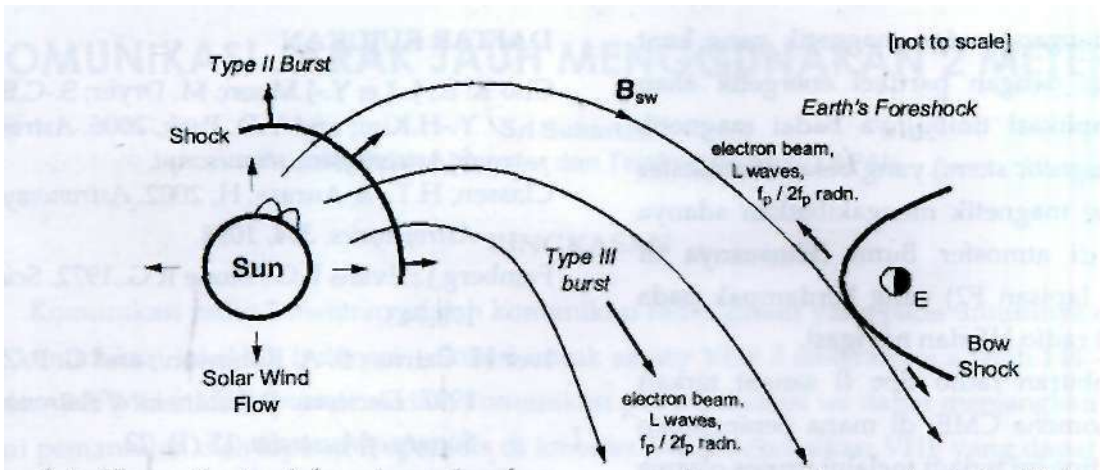
Semburan tipe II pada gelombang meter terjadi pada ketinggian antara 1.1 R dan 2.5 R, pada gelombang dekameter sampai hektometer berada pada ketinggian 3 sampai 10 R. Kelajuan Alfvén pada ketinggian tersebut relatif tinggi dan gangguan atau gerakan yang memiliki kecepatan yang lebih tinggi akan mampu menghasilkan gerakan kejut. Namun masih menjadi perdebatan apakah muka gelombang kejut yang menyebabkan adanya semburan tipe II, ataukah oleh bagian sisi dari CME, atau bagian belakang CME, atau dari ledakan gelombang flare.

Disepakati bahwa tipe II pada gelombang deka dan yang lebih panjang

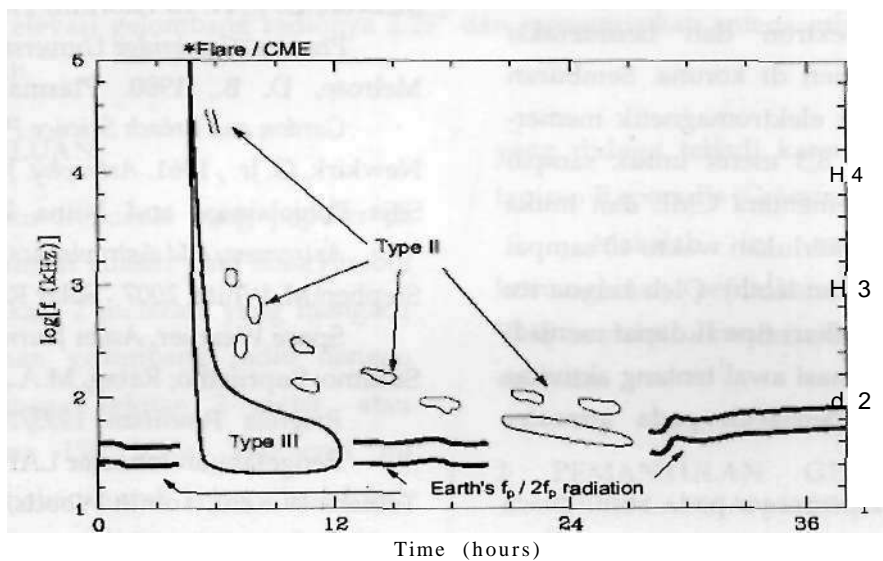
disebabkan karena lewatnya CME, tetapi keterkaitan antara semburan tipe II dengan CME masih dalam kontroversi. Classen & Aurass (2002) mengusulkan bahwa semburan tipe II tidak hanya disebabkan oleh gerakan kejut CME tetapi juga karena gerakan kejut dari flare. Pada pengamatan citra radio sumber tipe II umumnya nampak jelas pada sepanjang batas luar CME, namun pada beberapa kasus, semburan tipe II juga ditemukan di dekat muka CME. Keterkaitan antara semburan tipe II dan CME tergantung pada kelajuan Alfvén lokal.

Pendapat yang sampai saat ini dikemukakan adalah bahwa mekanisme semburan tipe II adalah elektion yang dipercepat oleh muka gelombang kejut yang lebar yang menjalar melalui korona : jika gerakan kejut dikendalikan/disebabkan oleh CME maka kita akan mengetahui dari pengamatan dengan koronagraf bahwa muka gelombang kejut (*shock front*) melingkupi area yang luas. Percepatan elektron tidak terjadi di sembarang tempat di muka gelombang kejut : sebagai contoh, sangat mungkin percepatan hanya mengambil tempat di mana muka gelombang kejut adalah ortogonal terhadap medan magnetik lokal, dan ini merupakan batas rentang lokasi dimana emisi terjadi.

Gambar 3-1 mengilustrasikan area sumber flare dan fenomena yang terkait dengan semburan tipe II (juga tipe III) di korona dan angin surya yang dapat diamati di atas atmosfer Bumi. Paket elektron dilepaskan selama flare, angin surya mengalir di korona sepanjang (mengikuti) garis gaya magnetik. Osilasi plasma sebagai sumber emisi (*Langmuir wave*) terangsang oleh lewatnya paket elektron. Elektron energetik yang mengalir turun sepanjang garis gaya magnetik kini telah dapat diamati secara insitu. Semburan radio tipe II selama ini telah ditafsirkan sebagai perwujudan dari paket elektron yang dipercepat oleh gelombang kejut (*shock wave*) yang merangsang gelombang Langmuir dan menimbulkan semburan radio pada frekuensi plasma fundamental (fp) dan harmoniknya (2fp).



Gambar 3-1: Skema Ilustrasi daerah sumber fenomena semburan radio matahari ripe II dan ripe III di korona dan angin surya (Iver H. Cairns, et. al., 1997)



Gambar 3-2: Skema spektra dinamik semburan ripe II dan ripe III dan radiasi fundamental f_p dan harmonik kedua $2f_p$ (Iver H. Cairns, et al., 1997)

Gambar 3-2 adalah skema spektra dinamik semburan radio ripe II dan III dan radiasi pada frekuensi fundamental (f_p) dan harmonik ($2f_p$) yang dapat diamati dari permukaan Bumi dengan radio spektrograf.

4 PENUTUP

Fenomena radio matahari merupakan indikator aktivitas matahari, sumber emisinya terjadi di atmosfer matahari. Peningkatan intensitas fluks radio terkait dengan fenomena flare, lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/ CME*), gelombang kejut (*shock wave*), dan lontaran partikel energetik. Mekanisme emisi radio matahari adalah melalui proses termal, radiasi plasma, radiasi sinkrotron.

Dapat diperlihatkan bahwa Semburan tipe III merupakan indikator dari elektron energetik yang dipercepat, dan akses menuju ke medan magnetik terbuka, yaitu garis gaya medan magnetik terbuka di korona di atmosfer matahari. Elektron energetik merupakan bagian dari angin surya merupakan partikel energetik yang potensial sampai di atmosfer Bumi. Semburan ripe III umumnya terjadi pada awal munculnya flare matahari impulsif dan proses rekoneksi garis gaya magnetik merupakan bagian dasar dari model terlepasnya energi sehingga memunculkan terjadinya emisi semburan radio ini.

CME merupakan gerakan gelombang kejut (*shock wave*) yang mengandung garis gaya

magnetik dengan medan magnetik yang kuat dan disertai dengan partikel energetik akan terjadi implikasi timbulnya badai magnetik Bumi (*geomagnetic storm*) yang besar di atmosfer Bumi. Badai magnetik mengakibatkan adanya gangguan di atmosfer Bumi (khususnya di ionosfer di lapisan F2) yang berdampak pada komunikasi radio HF dan navigasi.

Semburan radio tipe II sangat terkait dengan fenomena CME, di mana peningkatan fluks radio tipe ini terjadi melalui proses plasma radiasi disebabkan oleh lewatnya muka gelombang kejut dari CME yang mendorong/menyeret paket elektron dan berinteraksi dengan plasma ambien di korona. Semburan radio sebagai radiasi elektromagnetik memerlukan waktu hanya 8,3 menit untuk sampai permukaan Bumi, sementara CME dan muka gelombang kejut memerlukan waktu 40 sampai dengan 80 jam (bahkan lebih). Oleh karena itu semburan radio matahari tipe II dapat menjadi indikator atau informasi awal tentang aktivitas matahari yang berpengaruh pada atmosfer Bumi.

Mengingat perannya pada studi cuaca antariksa, maka pengamatan radio matahari sangat perlu dilakukan karena baik emisi semburan radio maupun parameter cuaca antariksa bersumber di atmosfer matahari.

DAFTAR RUJUKAN

- Cho K. S., J. he; Y.-J.Moon; M. Dryer; S.-CBong; Y.-H.Kim; and Y.D. Park, 2006. *Astronomy & Astrophysics, manuscript*.
- Classen, H.T.; & Aurass, H, 2002. *Astronomy & Astrophysics, 384,1098*.
- Fainberg J.; Evans L.G.; Stone R.G.,1972. *Science* 178,743.
- Iver H. Cairns; P. A. Robinson; and G. P. Zank, 1997. *Electronic Publications of Astronomical Society of Australia*, 17 (1), 22.
- Lin R.P.; Evans L.G.; Fainberg J., 1973. *Astrophysical Lett*, 14,191.
- McLean, D. J.; N. R. Labrum, 1985. *Solar Radio Physics, Cambridge University Press*.
- Melrose, D. B., 1980. *Plasma Astrophysics, Gordon and Breach Science Publisher LTD*,
- Newkirk, G. Jr., 1961. *Astrophys. J.* 133, 983.
- Silja Pohjolainen; and Niina Lehtinen, 2006. *Astronomy and Astrophysics*, 449,359-367.
- Stephen M. White, 2007. *Solar Radio Bursts and Space Weather, Asian Journal of Physics*.
- Suratno; Suprijatno; Ratag, M.A., 1993. *Proceeding Program Penelitian 1993/1994 Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN*.
- Tobiska W.Kent; Tomm Woods; Frank Epavier, Rodney Viereck; Linton Floyd; Dave Bouwer; Gary Rottman; O.R. White, 2000. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 62,1233-1250
- Wild, J. P.; S. F-Smerd; and A.A. Weiss, 1963. *Ann. Rev.Astron,Astrophys*, 1,291.