

**RESPONS IONOSFER DI ATAS BANDUNG DAN PONTIANAK
TERHADAP PERISTIWA LONTARAN MASSA KORONA PADA
PUNCAK SIKLUS MATAHARI KE-24.**

**(IONOSPHERIC RESPONSES OVER BANDUNG AND PONTIANAK
TO CME EVENTS DURING THE 24th SOLAR MAXIMUM)**

Newton Jefons¹, Dhani Herdiwijaya¹, Jiyo²

¹FMIPA-Astronomi,

Institut Teknologi Bandung, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

²Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

e-mail: newtonjefons@gmail.com

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima:

17 November 2017

Direvisi:

23 Maret 2018

Disetujui:

28 September 2018

Diterbitkan:

19 Nopemebr 2018

Kata kunci:

aktivitas Matahari,
LMK, ionosfer,
respons.

Matahari merupakan sumber utama penggerak dinamika dan cuaca antariksa. Aktivitas Matahari berperan penting menjaga keadaan di lingkungan Tata Surya. Beberapa aktivitas Matahari adalah seperti adanya bintik Matahari, peristiwa *flare*, lubang korona, dan lontaran massa korona (LMK). Aktivitas ini saling berkaitan satu dengan yang lain, dan sering kali dapat terjadi secara bersama-sama. LMK merupakan aktivitas Matahari yang menyebabkan adanya massa yang keluar dari korona dan menuju ke ruang antarplanet. Tidak hanya itu, LMK bahkan dapat mengganggu hingga ke lingkungan Bumi. Salah satu gangguan yang disebabkan oleh LMK adalah anomali pada lapisan *F2* ionosfer Bumi. Pada penelitian ini telah dilakukan analisis mengenai respons ionosfer terhadap peristiwa LMK selama puncak siklus Matahari ke-24 (2012-2015) dan diperoleh 35 LMK yang berpotensi menyebabkan anomali. Selanjutnya diperoleh waktu tunda peristiwa LMK selama 35,9 jam untuk daerah dekat ekuator geomagnet Bumi (Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Pontianak) dan 27,12 jam untuk daerah lintang yang lebih tinggi (Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Sumedang). Didapati bahwa daerah di atas Sumedang lebih responsif dibandingkan daerah di atas Pontianak, ditandai dengan adanya penurunan nilai *foF2* yang signifikan di atas Sumedang.

ABSTRACT

Keywords:

Solar activity, CME,
ionosphere,
responses

Sun is the main source of space weather dynamic. Solar activities play the important role to keep the environment of the Solar System. Some of solar activities are sunspots, flare events, coronal holes and coronal mass ejection (CME). These activities are connected to one another and sometimes could occur simultaneously. CME is one of the solar activities when the mass of the Sun ejected out from the corona to the interplanetary space. It could also disturb the

environment of the Earth. One of the disturbance caused by CME is the anomaly of F2 layer on Earth's ionosphere. In this research, we analysed ionospheric responses to the CME events during the 24th solar maximum (2012-2015) and obtained 35 CMEs potentially causing the anomaly on the ionosphere. The analysis result shows that the delay time of CME events are 35.9 and 27.12 hours for near Earth's geomagnetic equator (Pontianak station) and hours for the higher latitude (Sumedang station). It was concluded that the region over Sumedang is more sensitive than the region over Pontianak, indicated by the significant decreasing of foF2 values at Sumedang.

1. PENDAHULUAN

Matahari adalah penggerak dinamika cuaca antariksa. Seluruh aktivitas Matahari dalam bentuk radiasi elektromagnetik dan partikel berenergi tinggi akan berinteraksi dengan lingkungan di sekitarnya termasuk dengan atmosfer Bumi.

Kondisi dinamis variabilitas aktivitas Matahari menyebabkan variasi energi elektromagnetik dan pancaran plasma di ruang antarplanet yang akan berinteraksi dengan atmosfer planet. Kondisi ini disebut sebagai cuaca antariksa dan dapat berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap kehidupan manusia.

Aktivitas Matahari ditandai dengan kemunculan bintik Matahari yang menandakan tingkat aktivitasnya. Makin banyak bintik berarti Matahari makin aktif. Beberapa aktivitas lain adalah *flare* (ledakan Matahari), lontaran massa korona (LMK), dan kemunculan lubang korona. Setiap aktivitas akan memberikan efek yang berbeda bagi lingkungan sekitar Bumi, begitupula respon yang muncul akibat efek ini akan berbeda untuk setiap lapisan atmosfer (Bothmer, 2006).

Lapisan ionosfer adalah salah satu lapisan di atmosfer yang mempunyai kerapatan elektron dan berada pada ketinggian 50 km hingga 1000 km. Lapisan ini terdiri dari lapisan *D*, *E*, dan *F*, dengan lapisan *D* berada pada ketinggian 50-90 km, lapisan *E* berada pada ketinggian 90-150 km, dan lapisan *F* menempati ketinggian di atas 150 km (McNamara, 1991).

Setiap lapisan ionosfer memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Khusus untuk lapisan *F*, kerapatan elektronnya paling tinggi sehingga lapisan ini masih

dapat muncul di malam hari meskipun sudah tidak ada cahaya Matahari yang mengionisasi partikel di atmosfer. Lapisan ionosfer memiliki sifat yang dapat memantulkan sinyal gelombang radio sehingga lapisan ini digunakan untuk komunikasi jarak jauh dengan menggunakan gelombang radio frekuensi rendah (Kallenrode, 2004)

Ketika terjadi cuaca antariksa ekstrem seperti LMK, partikel energi tinggi akan terbawa sampai ke atmosfer Bumi dan menyebabkan perubahan kerapatan pada lapisan ionosfer. Hal ini dapat mempengaruhi sistem navigasi dan komunikasi yang menggunakan gelombang radio. Pada sistem komunikasi akan terjadi perubahan frekuensi yang harus digunakan, sedangkan pada sistem navigasi terjadi ketidakakuratan penentuan arah.

Saat ini belum ada metode yang paripurna untuk menentukan dampak LMK terhadap ionosfer sehingga riset berkelanjutan mengenai respons ionosfer harus terus dilakukan, khususnya untuk wilayah ekuatorial. Riset ini mengkaji tentang respons ionosfer di Indonesia, khususnya Bandung dan Pontianak.

Tujuan dan manfaat dari riset ini adalah memberikan gambaran mengenai kriteria LMK yang akan memberikan perubahan ekstrem pada lapisan ionosfer, diperolehnya informasi waktu tunda antara peristiwa LMK dengan respons yang diberikan ionosfer. Riset ini akan menjadi bahan studi lanjutan mengenai respons ionosfer di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Ionosfer merupakan salah satu lapisan atmosfer Bumi yang dipengaruhi oleh aktivitas Matahari. Lapisan ionosfer

dipenuhi oleh elektron-elektron hasil ionisasi oleh sinar Matahari, sehingga ketika terjadi cuaca antariksa ekstrim seperti *flare* dan LMK maka ionosfer akan mengalami perubahan, yaitu anomali positif atau anomali negatif. Anomali positif terjadi ketika kerapatan elektron naik 30% dari rata-rata median bulanan, sedangkan anomali negatif terjadi ketika kerapatan elektron berkurang 30% dari median bulanannya.

Anomali ini ditandai dengan perubahan nilai frekuensi kritis dari lapisan ionosfer. Lapisan ionosfer yang dimaksud adalah lapisan F2, dengan frekuensi kritis lapisan F2 (*foF2*) adalah nilai frekuensi minimum yang masih dapat memantulkan sinyal gelombang radio (Davies, 1990).

Kerapatan elektron (N) di ionosfer mempengaruhi kemampuan pemantulan sinyal gelombang radio dalam sistem komunikasi. Hubungan antara kerapatan elektron (N) dan frekuensi gelombang radio (f) yang dapat dipantulkan dinyatakan dalam persamaan 1 (McNamara, 1991).

$$f = 80,6 N \dots\dots\dots (2 - 1)$$

Frekuensi (f) dalam MegaHertz (MHz) dan kerapatan elektron (N) dalam (*elektron/m³*).

Ketika siklus Matahari memasuki puncaknya, yaitu ketika munculnya banyak bintik Matahari, cenderung terjadi cuaca antariksa ekstrem. Hal ini akan mempengaruhi kenaikan kerapatan elektron di ionosfer, dalam hal ini dalam munculnya peristiwa *flare* (Sinambela, 2002).

Puncak kenaikan kerapatan elektron pada puncak siklus Matahari terjadi pada bulan-bulan *equinox*. Dampak yang terjadi pada lapisan ionosfer adalah terjadinya penurunan nilai *foF2* (Husin, 2012)

Peristiwa *flare* cenderung akan menyebabkan tingginya intensitas radiasi Matahari yang diterima oleh Bumi, hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan laju ionisasi di atmosfer dan menyebabkan naiknya kerapatan elektron. Respons ionosfer terhadap peristiwa *flare* dapat terjadi bahkan 8 menit setelah peristiwa. Peristiwa LMK dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai *foF2* disebabkan karena massa yang dilepaskan

oleh korona akan sampai ke Bumi dalam rentang waktu hingga 7 hari, dan respons ionosfer akan berbeda ketika masuknya massa Matahari ke atmosfer Bumi. Anomali ionosfer di daerah ekuator cenderung lebih kecil dibandingkan di daerah lintang tinggi (Hanslmeier, 2002).

3. DATA DAN METODE

Pengamatan dan perolehan data dibagi atas dua, yaitu;

a. Data LMK

Data LMK tersedia secara daring yang disediakan oleh NASA dari pengamatan satelit SOHO. Data tersedia pada halaman http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list,

Data yang telah didapat kemudian diseleksi dengan beberapa batasan seperti, kecepatan linear > 1000 km/s, LMK merupakan LMK *halo*, dan lokasi LMK berada pada sebelah barat piringan Matahari.

b. Data ionosfer.

Pengamatan ionosfer dilakukan dengan memanfaatkan sifat lapisan ionosfer yang dapat memantulkan sinyal gelombang radio. Teknik yang digunakan adalah teknik radar vertikal, dan radar yang digunakan adalah ionosonda. Radar ini akan memancarkan gelombang radio pada frekuensi 2-22 MHz menuju ionosfer. Jika frekuensi gelombang radio sama dengan frekuensi lapisan ionosfer maka gelombang tersebut akan dipantulkan dan diterima kembali oleh ionosonda.

Keluaran dari ionosonda adalah ionogram yang kemudian akan dilakukan *scaling*. Pengamatan ionosfer untuk riset ini dilakukan di dua lokasi yang berbeda, yakni Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) Sumedang (6,91° LS, 107,83° BT) dan Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Pontianak (0,03° LS, 109,33° BT). Radar ionosonda yang digunakan di BPAA Sumedang adalah ionosonda tipe IPS-71, sedangkan di BPAA Pontianak adalah tipe CADI.

Data ionosfer yang diperoleh adalah data *foF2* per jam dalam satu bulan selama periode tahun 2012-2015. Untuk melihat respons ionosfer maka dilihat data *foF2* per jam pada hari yang sesuai dengan prediksi peristiwa LMK kemudian dibandingkan dengan median bulanannya. Jika nilai *foF2* lebih kecil dari 70% mediannya maka

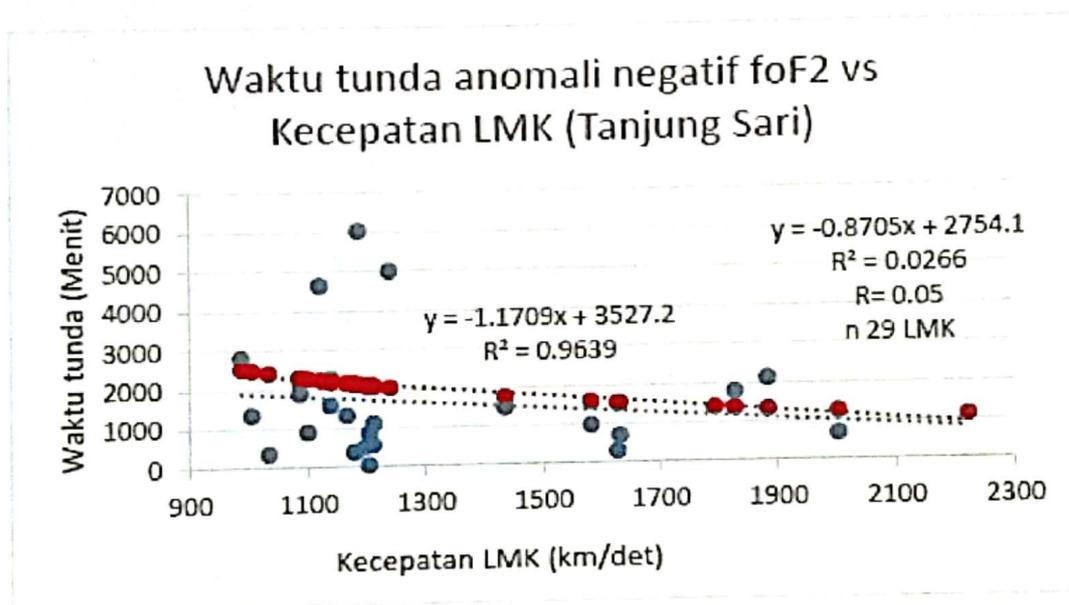
dikatakan anomali negatif, sedangkan jika nilai $foF2$ lebih besar dari 130% mediannya maka dikatakan sebagai anomali positif. Nilai 70% dan 130% dari median bulanannya merupakan batas bawah dan batas atas. Jika nilai $foF2$ kurang dari 70% mediannya maka ada indikasi sinyal radio yang dikirimkan pada jam tersebut tertunda atau tidak terpantulkan, sedangkan jika nilai $foF2$ lebih dari 130% mediannya maka akan menyebabkan kesalahan dalam sistem navigasi karena sinyal satelit dihamburkan. Selanjutnya dengan melihat naik turunnya parameter yang dibandingkan dengan median bulanannya, informasi respons ionosfer ($\Delta foF2$) dapat diketahui. Kemudian akan

dianalisis korelasi antara parameter LMK dan parameter ionosfer yang diteliti.

Untuk beberapa analisis, seperti kecepatan angin surya dan indeks Dst, data digunakan data secara daring dari halaman <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>

4. PEMBAHASAN

Dari data yang telah disaring kemudian dihasilkan 35 halo LMK yang terjadi selama tahun 2012-2015. Semua halo LMK yang ada diidentifikasi parameter penting seperti kecepatan, massa dan energi kinetik, kemudian dilihat respons ionosfer regional di atas Sumedang dan Pontianak.



(a)

Gambar 4-1(a). Grafik waktu tunda (anomali negatif) terhadap kecepatan LMK untuk BPAA Sumedang. (Merah: waktu tunda secara perhitungan dengan konsep gerak lurus, Biru: waktu tunda respons ionosfer yang terdeteksi).

a. Respons ionosfer (waktu tunda) terhadap kecepatan LMK

Respons ionosfer diidentifikasi hingga tiga hari setelah peristiwa LMK, karena rata-rata respons ionosfer setelah peristiwa LMK adalah 2,7 hari (Dani, 2008).

Gambar 4-1 menunjukkan hubungan antara waktu tunda anomali dan kecepatan LMK. Kedua grafik menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu makin besar kecepatan LMK makin singkat waktu tunda terjadinya anomali di ionosfer. Waktu tunda yang dimaksud adalah rentang waktu ketika terjadinya LMK hingga awal peristiwa anomali di ionosfer.

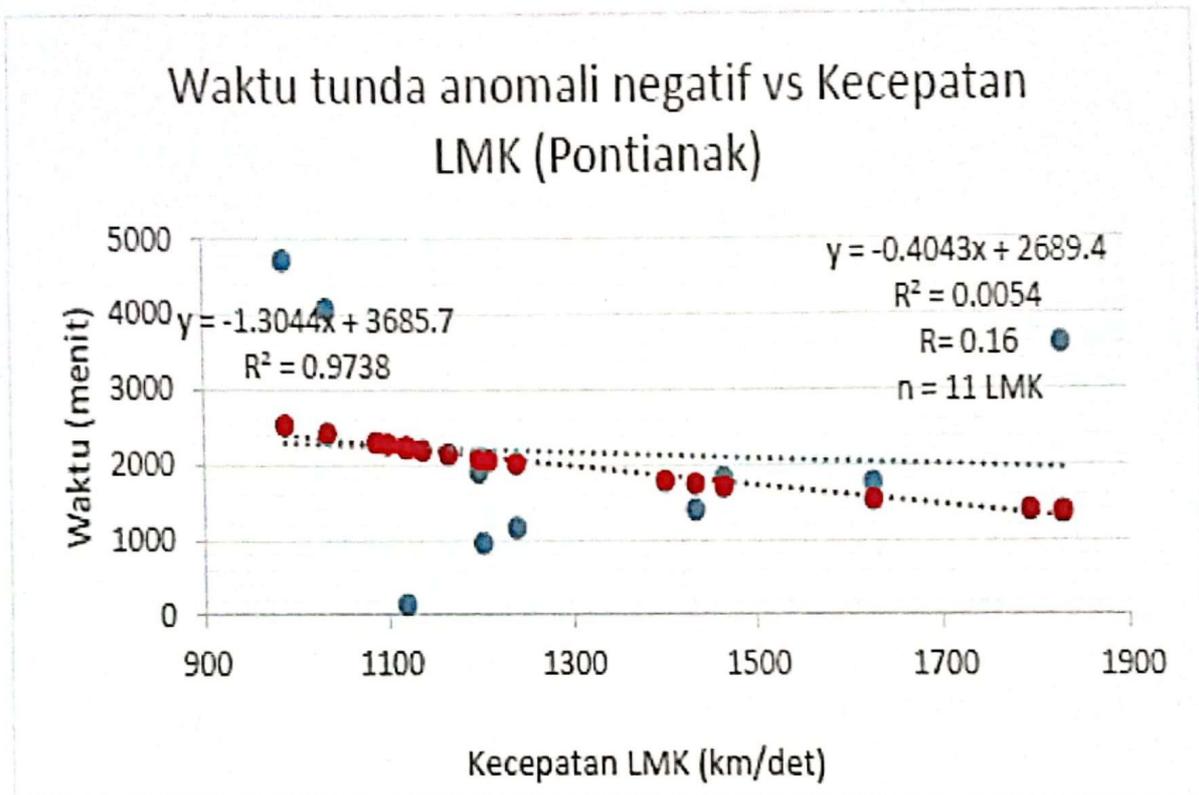
Garis putus-putus dan notasi berwarna merah menunjukkan waktu tunda ideal (secara linear), sehingga jika dianalisis lebih jauh lagi maka akan terlihat adanya percepatan dan perlambatan yang terjadi pada LMK ketika keluar dari korona dan memasuki ruang antarplanet sehingga menyebabkan waktu tiba menjadi lebih cepat dan lebih lambat.

Seperti pada LMK yang terjadi pada tanggal 17 Juni 2014 pukul 15.12 (UT+7) dengan kecepatan 1198 km/det yang secara linear seharusnya menempuh waktu 34 jam, namun mengalami percepatan menjadi 8 jam waktu tunda, dan pada data

BPAA Sumedang menunjukkan penurunan rata-rata $foF2$ sebesar -2,37 MHz dalam durasi 4 jam anomali, sedangkan data BPAA Pontianak menunjukkan waktu tunda anomali selama 31 jam dan penurunan rata-rata $foF2$ sebesar -2,78 MHz dalam durasi 2 jam anomali.

Waktu tunda maksimum terhadap respons ionosfer di atas Sumedang adalah 6.036 menit (100,6 jam) bersumber dari LMK yang terjadi pada tanggal 24 November 2012 dan respons ionosfer baru

terjadi pada tanggal 28 November 2012 pukul 10.00 (UT+7), dengan rata-rata penurunan $foF2$ sebesar -4,375 MHz dalam durasi 4 jam anomali. Sementara itu, data BPAA Pontianak tidak menunjukkan adanya anomali. Waktu tunda minimum di Sumedang adalah 48 menit setelah peristiwa LMK tanggal 18 Agustus 2013 pukul 02.12 (UT+7) dengan kecepatan LMK sebesar 1202 km/det dan penurunan rata-rata frekuensi $foF2$ sebesar -2,84 MHz dalam durasi 3 jam anomali.

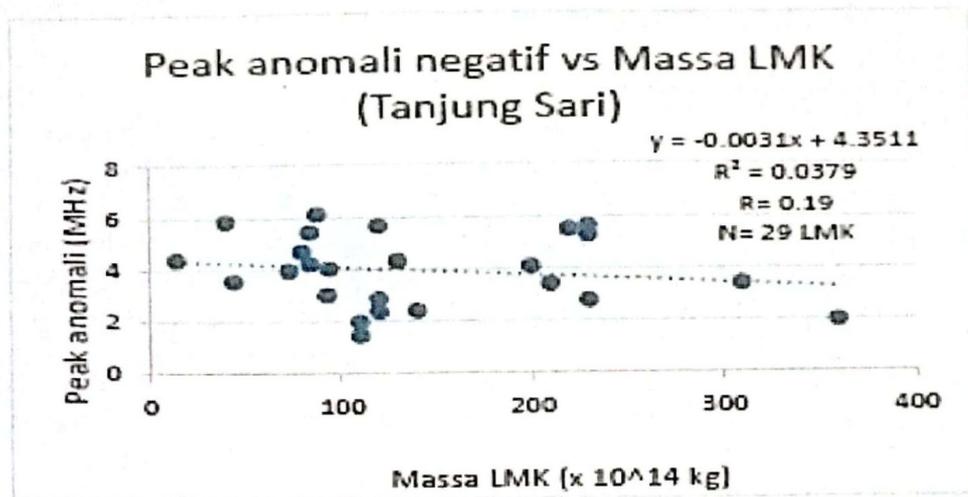


(b)

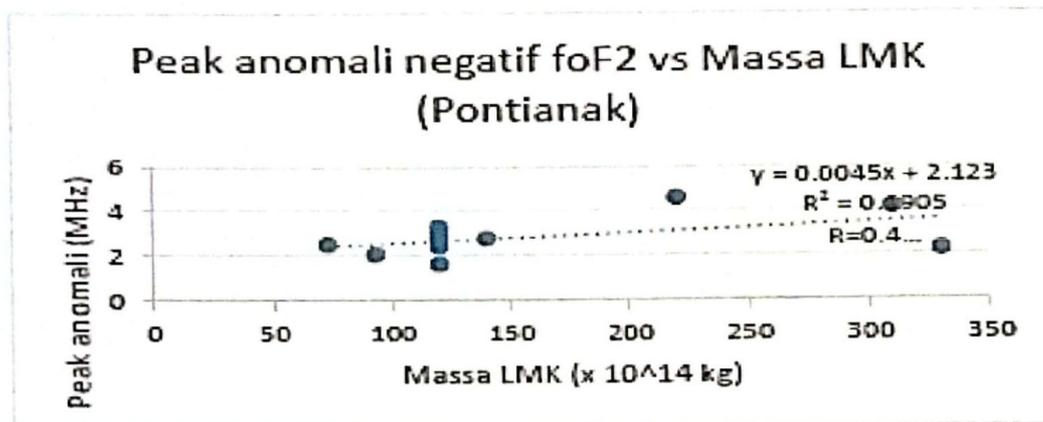
Gambar 4-1 (b). Grafik waktu tunda (anomali negatif) terhadap kecepatan LMK untuk BPAA Pontianak. (Merah: waktu tunda secara perhitungan dengan konsep gerak lurus, Biru: waktu tunda respons ionosfer yang terdeteksi)

Untuk BPAA Pontianak, waktu tunda maksimum terhadap respons ionosfer adalah 4.728 menit (78,8 jam) berasal dari LMK yang terjadi pada tanggal 26 Februari 2013 pukul 16.12 (UT+7) dengan kecepatan 987 km/det dan rata-rata penurunan $foF2$ sebesar -2,07 MHz dalam durasi 1 jam anomali. Pada peristiwa LMK yang sama respons di atas Sumedang menunjukkan waktu tunda sebesar 2.808 menit (46,8 jam) dengan rata-rata penurunan $foF2$ sebesar -2,99 MHz dalam durasi waktu 1 jam anomali. Waktu tunda minimum

terhadap respons ionosfer di atas Pontianak adalah 144 menit (2,4 jam) berasal dari LMK yang terjadi pada tanggal 29 Desember 2013 pukul 00.36 (UT+7) dengan kecepatan 1118 km/det, serta penurunan rata-rata $foF2$ hingga -2,42 MHz dalam durasi waktu 1 jam anomali. Pada peristiwa LMK yang sama respons ionosfer di atas Sumedang tidak dapat diidentifikasi karena data pada tanggal tersebut tidak tercatat, hal ini dapat saja terjadi akibat kerusakan alat ataupun gangguan listrik.



(a)



(b)

Gambar 4-2. Grafik puncak anomali negatif terhadap massa LMK.

Gambar 4-2 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan respons ionosfer terhadap massa LMK di kedua lokasi. Di BPAASumedang massa LMK tidak begitu mempengaruhi puncak anomali yang terjadi di ionosfer, sedangkan di BPAA Pontianak makin besar massa LMK makin besar pengaruhnya terhadap penurunan nilai rata-rata $foF2$. Massa yang dibawa oleh LMK akan menyebabkan efek anomali tinggi untuk daerah kutub dan daerah lintang tinggi kemudian efek anomali makin rendah ke arah ekuator. Massa LMK akan berinteraksi dengan elektron di ionosfer dan mengakibatkan peningkatan konsentrasi elemen netral.

Di BPAASumedang massa maksimum sebesar 360×10^{14} kg dari LMK tanggal 17 Mei 2012 pukul 08.48 (UT+7) dengan kecepatan sebesar 1528 km/det menyebabkan penurunan nilai rata-rata $foF2$ hingga -1,95 MHz dan durasi 1 jam anomali. Dari peristiwa LMK yang sama respons ionosfer di atas Pontianak tidak dapat diidentifikasi akibat data yang

kosong. Massa minimum di BPAA Sumedang sebesar 14×10^{14} kg berasal dari LMK tanggal 24 November 2012 pukul 06.24 (UT+7) dengan kecepatan 1186 km/det menyebabkan penurunan rata-rata nilai $foF2$ sebesar -4,73 MHz dalam durasi 2 jam anomali. Pada peristiwa LMK yang sama respons ionosfer di atas Pontianak tidak dapat diidentifikasi karena data pada rentang waktu ini kosong.

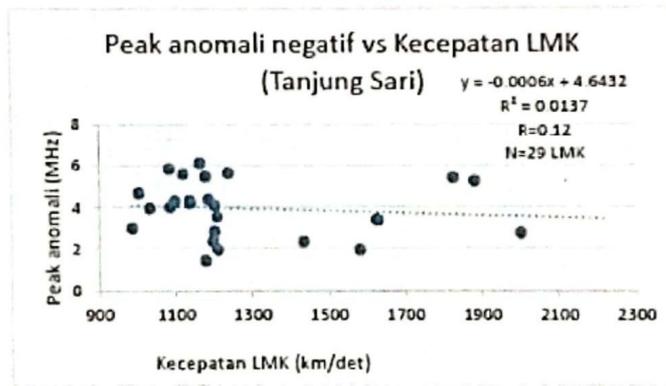
Untuk BPAA Pontianak massa maksimum sebesar 330×10^{14} kg dari LMK tanggal 22 Mei 2013 pukul 21.25 (UT+7) dengan kecepatan 1466 km/det menyebabkan penurunan rata-rata $foF2$ sebesar -2,25 MHz dalam durasi 2 jam anomali. Pada peristiwa LMK yang sama BPAA Sumedang menunjukkan kondisi ionosfer normal dan tidak terjadi penurunan nilai $foF2$ dalam rentang waktu 3 hari setelah LMK. Massa minimum LMK yang menyebabkan anomali di atas Pontianak adalah sebesar 73×10^{14} kg, berasal dari LMK tanggal 7 November 2013 pukul 07.00 (UT+7) dengan kecepatan 1033

km/det yang menyebabkan penurunan $foF2$ rata-rata sebesar -2,51 MHz dalam durasi 2 jam anomali. Pada peristiwa LMK yang sama respons di atas Sumedang menunjukkan adanya penurunan nilai $foF2$ rata-rata sebesar -3,94 MHz dalam durasi anomali selama 6 jam.

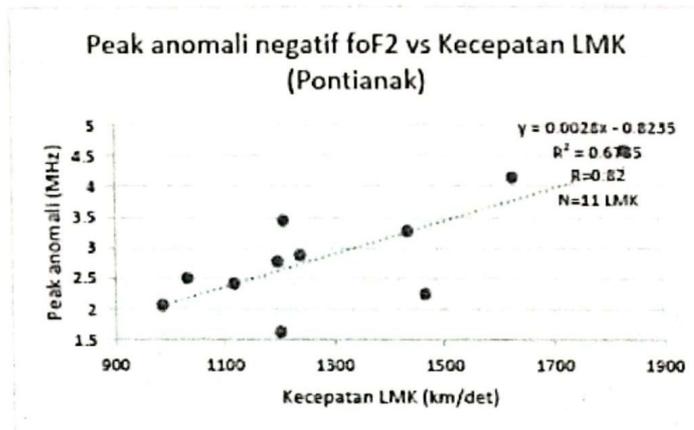
Dalam penelitian ini massa dan energi kinetik menjadi salah satu parameter yang tidak dominan karena massa LMK hanyalah estimasi dari instrumen LASCO dan energi kinetik diturunkan dari kecepatan linear dan massa LMK. Dari korona hingga beberapa radius Matahari massa LMK dapat meningkat dan juga menghilang, ini menyebabkan beberapa LMK tidak disertai dengan data massa, sedangkan massa LMK sendiri diestimasi hingga massa ini tidak hilang ataupun menjadi konstan, karena makin menuju ke ruang antarplanet kerapatannya makin berkurang.

Dari Gambar 4-2 di atas dapat dijelaskan bahwa massa yang besar

maupun kecil mampu menyebabkan anomali pada ionosfer, hal ini juga dapat dijelaskan dengan kerapatan materi yang dibawa oleh LMK ini. Jika dengan massa yang besar namun kerapatan yang renggang maka bisa saja tidak menyebabkan anomali pada ionosfer, dengan asumsi ini juga menjelaskan anomali yang terjadi tidak berlangsung dalam satu periode waktu, tetapi dapat menyebabkan anomali dalam rentang waktu yang berbeda-beda seperti dalam beberapa hari berturut-turut. Hal lain yang menjelaskan LMK dengan kecepatan dan massa yang kecil dapat menyebabkan anomali adalah adanya *interplanetary shock*, *co-rotating interaction region*. Hal ini dibuktikan dari Gambar 4-3 (a), dengan kecepatan LMK lebih kecil dari 1000 km/det dapat menyebabkan anomali yang sama dengan LMK yang memiliki kecepatan di atas 1900 km/det.



(a)



(b)

Gambar 4-3. Grafik puncak anomali negatif terhadap kecepatan LMK.

b. Respons ionosfer (puncak anomali negatif) terhadap kecepatan LMK

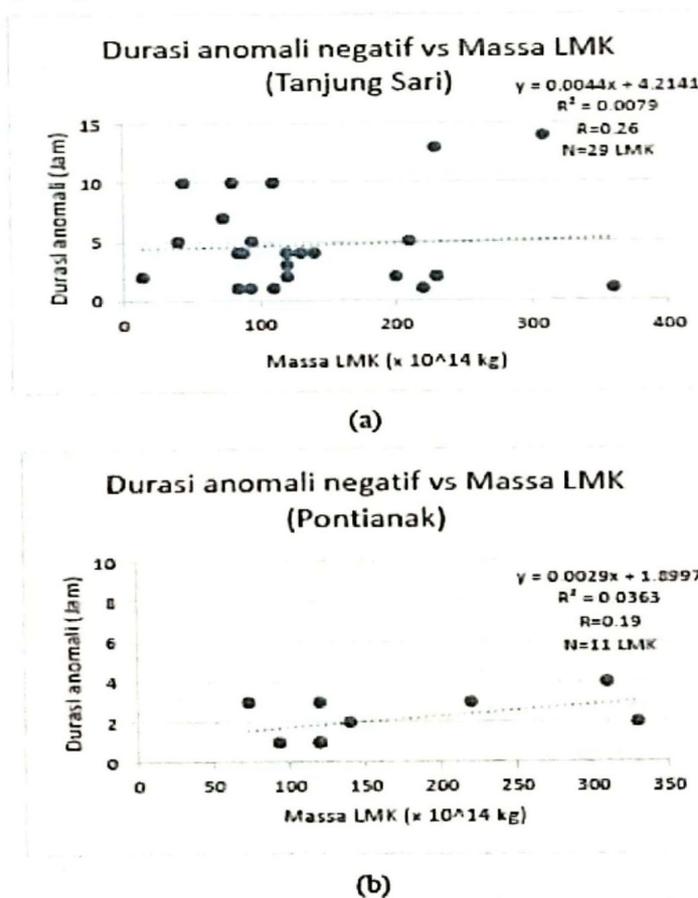
Gambar 4-3 dapat menjelaskan bahwa respons ionosfer juga bergantung pada lintang pengamatan. Respons ionosfer

terhadap LMK dengan kecepatan maksimum 2222 km/det yang terjadi pada tanggal 13 Desember 2014 pukul 21.24 (UT+7) di BPAA Sumedang tidak menunjukkan adanya penurunan $foF2$,

begitupun dengan BPAA Pontianak yang menunjukkan kondisi ionosfer berada pada kondisi normal atau tanpa anomali meskipun massa yang dibawa sebesar 140×10^{14} kg. Untuk kecepatan LMK minimum, yaitu 987 km/det yang terjadi pada tanggal 26 Februari 2012 pukul 16.12 (UT+7) respon kedua lokasi menunjukkan adanya anomali yang terjadi. Di BPAA Sumedang terjadi penurunan nilai $foF2$ rata-rata mencapai -2,99 MHz selama 1 jam durasi anomali, sedangkan respons di atas Pontianak menunjukkan adanya anomali yang terjadi selama durasi 1 jam dengan rata-rata penurunan $foF2$ mencapai -2,07 MHz. Di BPAA Pontianak penurunan $foF2$ maksimum, yaitu rata-rata sebesar -4,59 MHz yang spesifik terjadi pada tanggal 10 Januari 2014 penurunan sebesar -6,94 MHz, disebabkan oleh LMK tanggal 8 Januari 2014 pukul 01.42 (UT+7) dengan kecepatan 1830 km/det. Sementara itu, pada peristiwa LMK yang sama kondisi

ionosfer di Sumedang tidak dapat dianalisis karena tidak tersedianya data. Penurunan rata-rata $foF2$ minimum pada ionosfer di atas Pontianak yaitu sebesar -1,63 MHz selama 1 jam disebabkan oleh LMK tanggal 18 Agustus 2013 pukul 02.12 (UT+7) dengan kecepatan 1202 km/det. Anomali ini terjadi pada tanggal 19 Agustus 2013 pukul 04.00 (UT+7)

Penurunan rata-rata $foF2$ maksimum di Sumedang dapat mencapai -6,11 MHz selama durasi 4 jam anomali, yang disebabkan oleh LMK tanggal 14 Februari 2014 pukul 15.48 (UT+7) dengan kecepatan 1165 km/det dan respons ionosfer menunjukkan anomali yang terjadi selama 3 hari, yaitu tanggal 15, 17, dan 18 Februari. Penurunan minimum di Sumedang adalah -1,43 MHz yang disebabkan oleh LMK tanggal 21 Maret 2012 pukul 14.36 (UT+7) dengan kecepatan 1178 km/det.



Gambar 4-4. Grafik durasi anomali negatif terhadap massa LMK

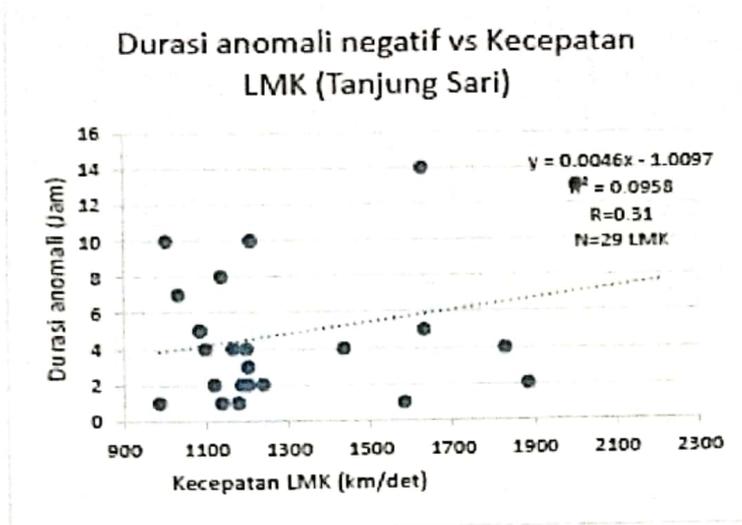
Dari Gambar 4-4 dapat dilihat bahwa makin besar massa yang dibawa oleh LMK maka makin lama durasi total anomali yang terjadi. Namun, jika dilihat dari besarnya nilai korelasi maka massa LMK tidak dapat menjadi patokan utama dalam

menentukan lamanya anomali yang akan terjadi di ionosfer.

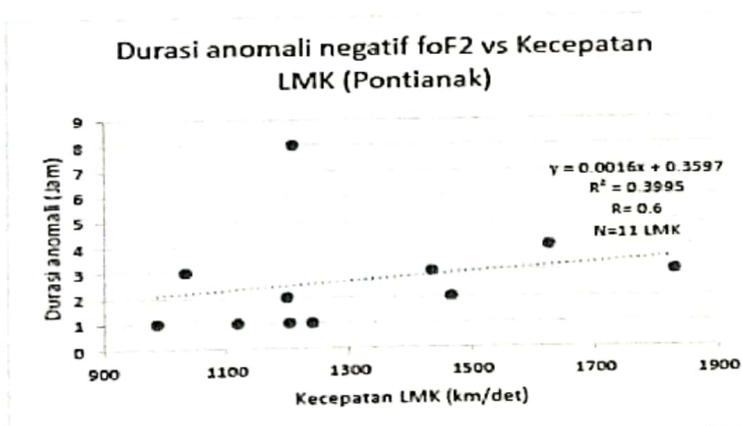
Gambar 4-4 juga menjelaskan bahwa umumnya LMK dengan massa antara $100-200 \times 10^{14}$ kg lebih dominan terjadi dan menyebabkan total durasi anomali

umumnya 4-10 jam. Seperti penjelasan di atas bahwa massa merupakan estimasi yang diturunkan dari asumsi bahwa massa tersebut telah konstan hingga beberapa radius Matahari. Namun, setelah jarak tersebut keadaan dari massa/plasma yang bergerak tidak dapat diketahui dengan pasti karena massa/plasma menuju ke ruang antarplanet yang lebih renggang dan

memungkinkan terjadi ekspansi massa. Dengan demikian, massa yang sampai ke Bumi tidak sebesar massa awal yang dilontarkan dari korona. Hal ini yang menjadi salah satu dugaan mengapa LMK dengan massa di atas 200×10^{14} kg hanya memberikan dampak anomali dalam durasi yang relatif singkat yaitu sekitar dua jam durasi anomali.



(a)

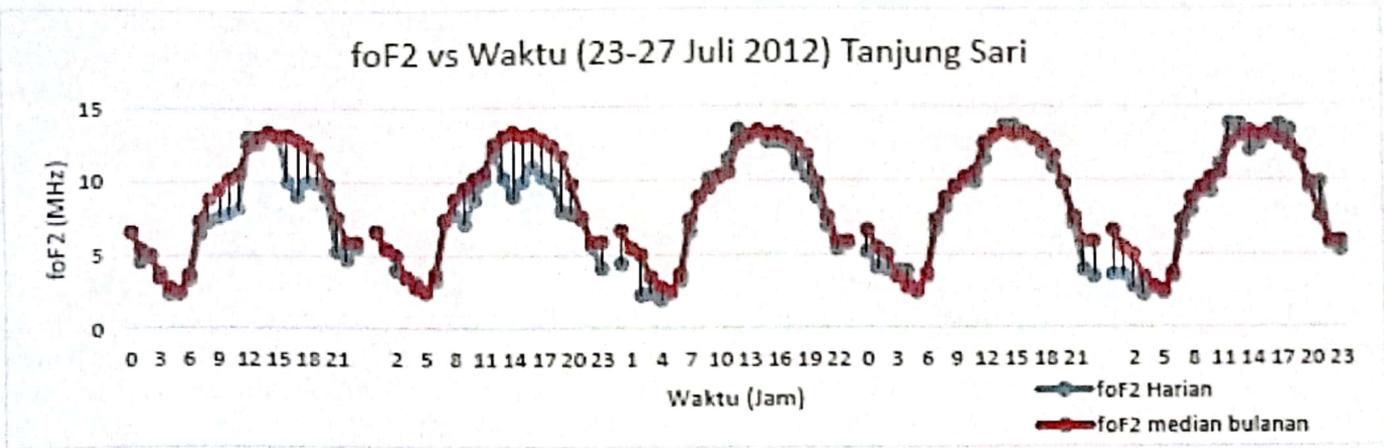


(b)

Gambar 4-5. Grafik durasi anomali terhadap kecepatan LMK.

Durasi total terpanjang yang diamati di BPAA Sumedang adalah LMK dengan kecepatan awal 2003 km/det pada tanggal 23 Juli 2012 pukul 9.36 (UT+7). Anomali ini disebabkan oleh LMK dengan massa yang besar, yaitu 230×10^{14} kg. Massa yang besar ini menyebabkan anomali yang terjadi dari 17 jam setelah peristiwa LMK hingga lima hari setelah peristiwa LMK, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-. Pada peristiwa LMK yang sama di BPAA

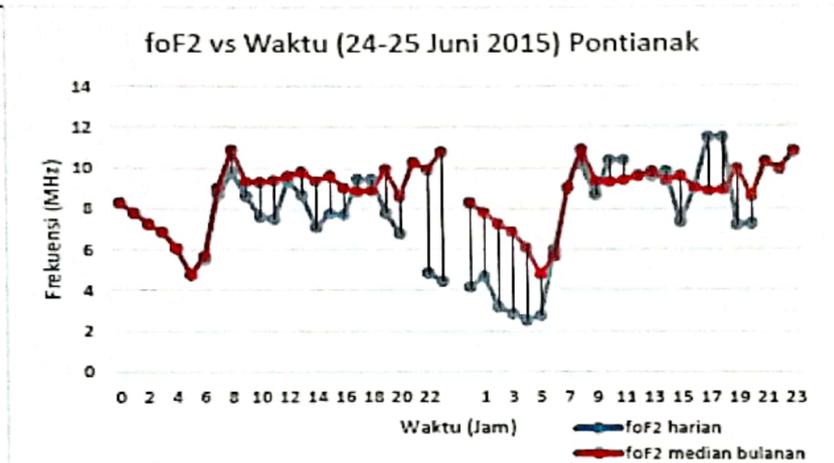
Pontianak tidak tercatat data ionosfer sehingga tidak dilakukan analisis. Durasi terpendek rata-rata peristiwa anomali adalah 1 jam pada peristiwa LMK dengan kecepatan 987 km/det tanggal 26 Februari 2013 pukul 16.12 (UT+7) dan pada peristiwa yang sama stasiun Pontianak juga mencatat adanya anomali selama durasi 1 jam. Namun, respon ionosfer di atas kedua lokasi ini terjadi dalam hari yang berbeda.



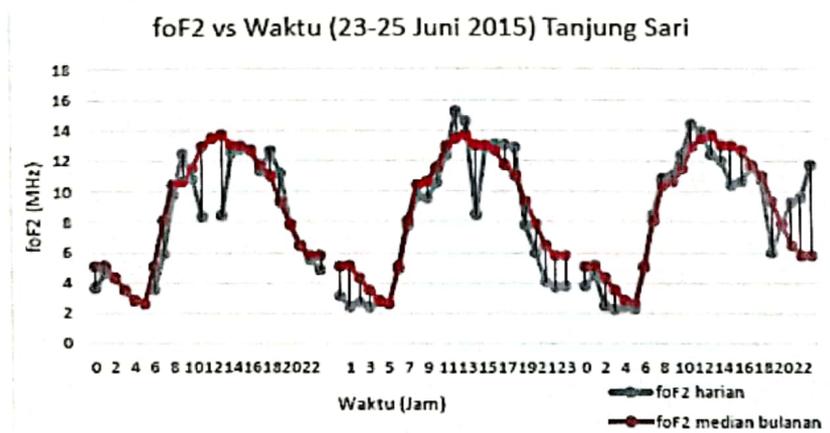
Gambar 4-6 Grafik anomali dari tanggal 23-27 Juli 2013 di atas Sumedang.

Untuk BPAA Pontianak, durasi total terpanjang adalah 8 jam, disebabkan oleh peristiwa LMK tanggal 23 Juni 2015 pukul 0.36 (UT+7) dengan kecepatan 1209

km/det, dan pada peristiwa LMK yang sama BPAA Sumedang mencatat adanya anomali yang terjadi selama 10 jam tanggal 24-25 Juni 2015.



(a)



(b)

Gambar 4-7. Grafik foF2 vs waktu di atas Sumedang

Anomali terjadi secara global, tetapi respons yang diberikan oleh ionosfer berbeda berdasarkan lintang. Pada umumnya anomali kuat terjadi pada daerah lintang tinggi dan akan makin

lemah dengan makin rendahnya lintang geomagnet. Pada kasus ini, anomali ionosfer lebih sering terjadi di atas Sumedang daripada Pontianak. Meskipun pada beberapa data Pontianak

kosong, respons ionosfer terhadap peristiwa LMK di atas Sumedang lebih sering (durasi lebih panjang), lebih minimum penurunan $foF2$.

5. KESIMPULAN

Dua lokasi dengan lintang geomagnet yang berbeda memberikan respon ionosfer yang berbeda. Waktu tunda rata-rata sejak peristiwa LMK hingga respons ionosfer untuk BPAASumedang adalah 27,12 jam, sedangkan untuk BPAA Pontianak adalah 35,9 jam. Hal ini menunjukkan bahwa ionosfer di atas Sumedang lebih responsif dibandingkan ionosfer di atas Pontianak. Hal ini disebabkan oleh mekanisme masuknya plasma dari daerah lintang tinggi (kutub) menuju ekuator sehingga daerah yang jauh dari ekuator akan memberikan respons ionosfer lebih cepat dibandingkan dengan daerah di dekat ekuator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan LAPAN Bandung, khususnya tim *scaling* dan interpretasi data (TSID) LAPAN yang telah mengolah data dan memberikan data kepada peneliti sehingga dapat diinterpretasikan.



Newton Jefons
Kupang, 12 Juni 1994

DAFTAR RUJUKAN

- Bothmer, V.(2006).The solar atmosphere and space weather, in solar system update, P. Bonde; and J. W. Mason., Springer-Praxis.
- Davies, K. (1990). Ionospheric Radio. Peter Peregrinus Ltd., London. dx.doi.org/10.1049/PBEW031E
- Hanslmeier, A.(2002)., The Sun and The Space Weather. Astrophysics and Space Science Library., Kluwar Academic Publisher.
- Husin, A., & Prabowo, D. U.(2012)., Analisis kondisi lapisan ionosfer regional menjelang puncak siklus Matahari 24 dan pengaruhnya terhadap sistem navigasi berbasis satelit., Prosiding Electrical Power, Electronics, Communactions, Control da Informatics International Seminar., Universitas Brawijaya-Malang
- Kallenrode, M. B.(2004).Space Physics, Springer Berlin Heidelberg, New york. Schween.
- McNamara, L.F.(1991).The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding. Krieger Publishing Company.
- Sinambela, W., Santoso, A.,& Husin, A.(2002).Identifikasi pengaruh aktivitas Matahari pada $foF2$ di Biak dan TEC Ionosfer di Bandung. Jurnal LAPAN., Bandung.