

## Perubahan Sistem Arus Ionosfera di Kawasan Asia Tenggara semasa Ribut Geomagnet pada Fasa Suria Minimum

(Changes in Ionospheric Currents System at Southeast Asia Region during Geomagnetic Storm in Solar's Minimum Phase)

NURUL SHAZANA ABDUL HAMID\*, VIKSUTHORN AI WEN, NUR IZZATI MOHD ROSLI & AKIMASA YOSHIKAWA

### ABSTRAK

Sistem arus di ionosfera khatulistiwa terdiri daripada elektrojet khatulistiwa (EEJ) dan suria senyap (Sq). Arus EEJ merupakan satu jalur arus yang mengalir ke arah timur sepanjang kawasan dip khatulistiwa. Arus Sq pula adalah gegelung arus yang mengalir di hemisfera utara dan selatan bumi pada arah yang bertentangan. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis kesan aktiviti matahari terhadap profil latitud sistem arus, khususnya di kawasan Asia Tenggara. Data yang digunakan dalam kajian ini merangkumi data geomagnet daripada lima stesen magnetometer dalam rangkaian MAGDAS iaitu stesen Muntinlupa (MUT), Cebu (CEB), Davao (DAV), Manado (MND) dan Pare Pare (PRP). Keamatan arus EEJ yang paling tinggi adalah pada waktu tengah hari sekitar 1000 dan 1100 LT semasa solar minimum dan kajian ini telah menganalisis sistem arus daripada 1000 hingga 1400 LT. Analisis menunjukkan bahawa ribut geomagnet yang berlaku pada 23 April 2008 adalah disebabkan oleh letusan jirim korona (CME) yang memberikan peningkatan kepada nilai arus pada hari tersebut. Peningkatan yang ketara dapat dilihat pada arus di stesen hemisfera selatan, iaitu stesen MND dan PRP. Berdasarkan analisis yang dilakukan, ia turut mendapati bahawa ribut geomagnet memberikan peningkatan kepada nilai arus walaupun di luar waktu puncak. Selain itu, profil arus ini turut dibandingkan dengan profil arus pada hari senyap iaitu pada 21 April 2008.

*Kata kunci:* Aktiviti matahari; EEJ; sistem arus ionosfera; Sq

### ABSTRACT

Equatorial ionospheric current system consists of equatorial electrojet (EEJ) and solar quiet (Sq). EEJ current is a ribbon of current flowing eastwards along the dip equator region. On the other hand, Sq current is a loop of current that flows at the Earth's northern and southern hemispheres in different directions. This study is focusing on analysing the effects of a solar event on the latitudinal profile of the current system, specifically in Southeast Asian region. Data used in this study are geomagnetic data from five magnetometer stations in MAGDAS network which are Muntinlupa (MUT), Cebu (CEB), Davao (DAV), Manado (MND) and Pare Pare (PRP). The EEJ current intensity is known to be highest around noon time between 1000 and 1100 LT during solar minimum and thus this study analyses the current system from 1000 to 1400 LT. The analysis showed that the geomagnetic storm occurred on 23 April 2008, which is caused by coronal mass ejection (CME), gives rises to the currents on that day. This increment is clearly observed on the currents at the southern hemisphere stations, which are MND and PRP. Our analysis also found that this geomagnetic storm gives increment to the current at the non-peak time. Apart from that, the current profile on this day is compared with the current profile from a quiet day on 21 April 2008.

*Keywords:* EEJ; ionospheric current system; solar event; Sq

### PENGENALAN

Arus yang mengalir di lapisan E ionosfera khatulistiwa bumi terdiri daripada dua arus utama iaitu arus elektrojet khatulistiwa (EEJ) dan arus suria senyap (Sq). Arus EEJ mengalir dari barat ke timur di kawasan dip khatulistiwa ( $\pm 3^\circ$ ) manakala arus Sq merupakan arus global yang mengalir di kedua-dua hemisfera utara dan selatan bumi. Pertembungan arus EEJ dan arus Sq di dip khatulistiwa pula membentuk arus keseluruhan. Kajian ke atas arus ini bermula seawal tahun 1922 setelah kesannya ditemui pada data geomagnet yang dicerap di salah satu stesen pemerhatian geomagnet di Huancayo, Peru. Antara kajian

yang giat dijalankan sehingga kini adalah seperti analisis kebergantungan arus EEJ terhadap latitud, longitud, musim, faktor yang mempengaruhi arus tersebut serta pengaruh arus tersebut terhadap fenomena di atmosfera bumi. Walaupun penggunaan data satelit dan radar adalah lebih meluas (Shojanoori et al. 2016; Yang & Yeh 2015), namun kajian ini dijalankan menggunakan data magnetometer dasar yang didapati lebih tepat dalam mengganggar nilai arus di ionosfera Bumi.

Dalam kajian ini, tumpuan diberikan untuk mengenal pasti perubahan sistem arus ionosfera semasa berlakunya ribut geomagnet yang dicitus oleh aktiviti matahari

serta membandingkan profil arus tersebut dengan hari senyap, iaitu hari yang bebas daripada aktiviti matahari. Hal ini kerana menurut kajian lepas (Hamid et al. 2017a; Onwumechili 1997; Rastogi et al. 1994), keamatan arus adalah sangat tinggi ketika matahari aktif (fasa maksimum kitaran suria) dan sangat rendah ketika matahari kurang aktif (fasa minimum kitaran suria). Kesan ribut geomagnet yang dikaji adalah berpunca daripada aktiviti matahari yang dikenali sebagai letusan jirim korona (CME). CME adalah satu fenomena pada permukaan matahari, yang akan mengakibatkan lepasan plasma yang sarat dengan zarah bercas seperti elektron, proton dan plasma bertenaga (Pross 2004). Zarah bertenaga serta bercas ini bergerak di ruang angkasa sebagai angin suria dan mengambil masa antara satu hingga empat hari untuk tiba ke bumi, bergantung kepada kelajuan dan komposisi zarah angin suria tersebut. Ribu geomagnet merujuk kepada suatu gangguan pada magnetosfera bumi yang disebabkan oleh hentaman angin suria ini.

Kajian ini menganalisis perubahan sistem arus semasa ribut geomagnet akibat daripada CME pada 23 April 2008 iaitu pada fasa minimum kitaran suria ke-24 dan membandingkan dengan sistem arus semasa hari senyap (hari yang bebas daripada gangguan ribut geomagnet) pada 21 April 2008. Data yang digunakan adalah data magnetometer dasar yang dicerap oleh lima stesen pemerhatian dalam rangkaian MAGDAS (Magnetic Data Acquisition System) (Yumoto dan the MAGDAS Group 2006) yang terletak di kawasan Asia Tenggara. Data komponen utara geomagnet, komponen H, diguna pakai kerana komponen ini adalah dominan di kawasan khatulistiwa dan variasi arus EEJ adalah paling ketara pada komponen ini. Data ini kemudiannya diekstrak untuk menghitung indeks EUEL (Uozumi et al. 2008) dan seterusnya menentukan nilai arus yang hendak dikaji. Indeks EUEL juga akan dinormalkan kerana stesen kajian tidak terletak tepat pada  $0^\circ$  dip khatulistiwa (Hamid et al. 2014). Oleh kerana arus ionosfera memuncak pada waktu tengah hari waktu tempatan (Hamid et al 2017b), kajian ini menganalisis sistem arus daripada jam 0200 UT (1000 LT) hingga 0600 UT (1400 LT).

## KAEDAH KAJIAN

### INDEKS IMF Bz, Dst DAN Kp

Terdapat beberapa indeks pemerhatian yang digunakan dalam kajian ini bagi mengenal pasti serta menggambarkan kekuatan ribut geomagnet pada hari aktif yang dipilih. IMF atau *Interplanetary Magnetic Field* terdiri daripada tiga komponen iaitu Bx, By dan Bz. Komponen Bz bersudut tepat kepada utara bumi dan dipengaruhi oleh gangguan daripada angin suria. Semasa angin suria tiba di magnetosfera bumi, medan magnet yang dibawa daripada matahari akan mempengaruhi arah Bz. Arah Bz yang menghala ke selatan membolehkan zarah dan plasma bertenaga masuk ke dalam atmosfera bumi kerana ketika ini medan magnet matahari membatalkan medan

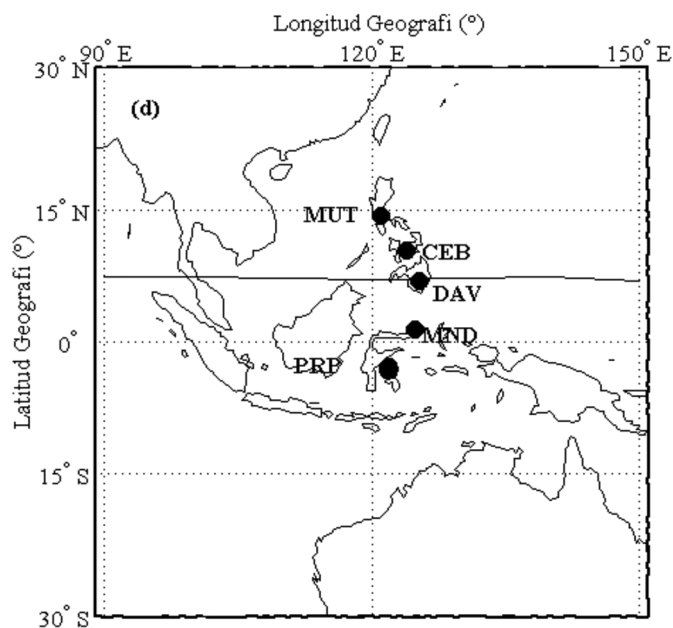
geomagnet dan membuka ruang untuk plasma-plasma tersebut masuk. Indeks IMF Bz yang stabil (tiada pengaruh angin suria) akan memberikan nilai mendatar sekitar sifar. Justeru, sebarang gangguan pada magnetosfera bumi dapat diperhatikan pada indeks IMF Bz.

Dua indeks yang sering digunakan untuk menggambarkan aktiviti ribut geomagnet adalah indeks Dst dan Kp. Indeks Dst diukur dalam unit nanoTesla (nT) dan dihitung berdasarkan purata komponen H medan geomagnet yang dicerap oleh tiga stesen pemerhatian iaitu Kakioka (KAK), Honolulu (HON), San Juan (SJG) dan Hermanus (HMO). Indeks ini mengukur perubahan kekuatan medan geomagnet yang disebabkan oleh gangguan pada arus cincin khatulistiwa. Tatkala berlakunya ribut geomagnet, arus cincin akan meningkat kerana kadar pengionan yang tinggi. Hal ini akan melemahkan medan geomagnet dan mengurangkan bacaan indeks Dst. Apabila IMF Bz kembali menghala ke arah utara dan arus cincin kembali stabil, indeks Dst akan meningkat kembali ke paras normal, iaitu sekitar nilai sifar. Indeks Kp atau nama lainnya *Planetary K-index* pula digunakan untuk menentukan kekuatan atau magnitud ribut geomagnet. Indeks Kp mengukur perubahan pada komponen H geomagnet daripada stesen di seluruh dunia dengan setiap stesen mempunyai indeks Kp yang tersendiri di lokasi masing-masing. Indeks Kp global pula diperoleh daripada purata indeks semua stesen. Nilai indeks Kp bermula daripada 0 sehingga 9. Nilai 0 adalah skala terendah aktiviti geomagnet manakala nilai 9 adalah skala tertinggi yang mampu dicatatkan apabila berlaku ribut geomagnet ekstrem. Kedua-dua indeks ini boleh diperoleh daripada beberapa pusat data analisis geomagnet global. Indeks yang diguna pakai dalam kajian ini adalah indeks yang dikeluarkan oleh *World Data Center for Geomagnetism*, Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>).

### DATA GEOMAGNET

Dalam kajian ini, arus di ionosfera Bumi iaitu arus EEJ, Sq dan arus keseluruhan dinilai daripada data komponen H yang diperoleh daripada lima stesen pemerhatian MAGDAS iaitu stesen Muntinlupa (MUT), Cebu (CEB), Davao (DAV), Manado (MND) dan Pare Pare (PRP) dengan lokasinya seperti yang diilustrasikan pada Rajah 1. Data mentah komponen H ini mengandungi sumbangan dari dalam (teras dan kerak) dan luar (ionosfera dan magnetosfera) bumi. Oleh sebab itu, data ini perlu diproses untuk mendapat nilai arus ionosfera yang hendak dikaji.

Pemrosesan data dimulakan dengan menolak nilai median daripada data mentah H di setiap stesen. Ini kerana nilai median data H mewakili sumbangan pengaruh medan geomagnet dalam bumi sendiri yang menyamai tahap ambien pada waktu malam yang tidak terganggu. Nilai yang diperoleh dinamakan ER, adalah nilai medan geomagnet yang disumbangkan oleh pengaruh daripada luar bumi, iaitu arus ionosfera dan magnetosfera. Seterusnya, nilai purata ER pada waktu malam di setiap stesen khatulistiwa dihitung dan dinamakan EDst serta indeks ini mewakili variasi global geomagnet termasuklah



RAJAH 1. Lokasi stesen magnetometer yang digunakan dalam kajian ini

gangguan di khatulistiwa bumi. Variasi indeks ini adalah sama dengan variasi indeks Dst yang dibincangkan sebelum ini. Indeks EDst ini kemudiannya ditolak daripada nilai ER di setiap stesen khatulistiwa untuk menghasilkan indeks EUEL. Penolakan ini dibuat untuk menyingkirkan sumbangan global daripada arus magnetosfera. Oleh itu, indeks EUEL yang diperoleh hanya mewakili sumbangan daripada arus di ionosfera sahaja walaupun bacaan indeks tersebut adalah dalam unit nanotesla (nT) yang merujuk kepada keamatan medan geomagnet. Pengiraan terperinci dan formula untuk indeks ini boleh didapati daripada kajian Hamid et al. (2014) dan Uozumi et al. (2008).

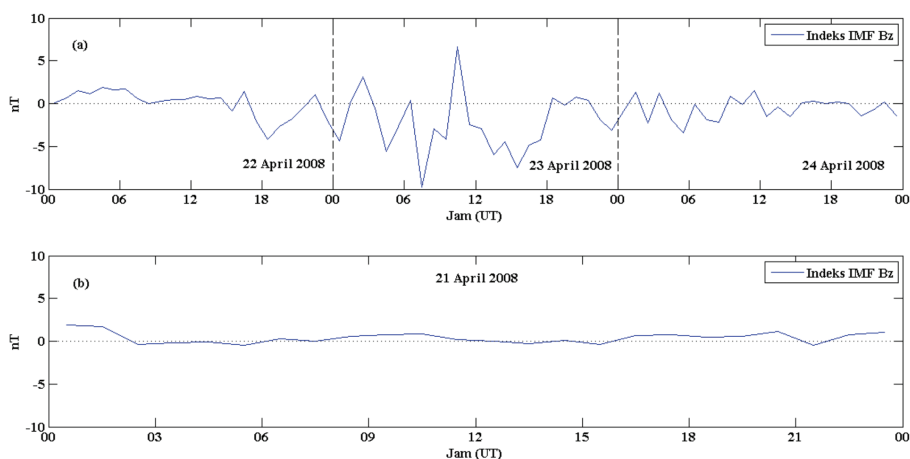
Indeks EUEL daripada stesen DAV dinormalkan ke dip khatulistiwa  $0^\circ$  latitud menggunakan kaedah yang sama seperti dalam kajian Hamid et al. (2014) untuk mendapatkan arus keseluruhan. Kaedah pengnormalan ini penting untuk mendapatkan nilai arus keseluruhan

yang lebih jitu, melalui cara menganggarkan nilai EUEL seandainya stesen terletak pada  $0^\circ$  latitud. Nilai EUEL daripada stesen MUT, MND dan PRP turut dinormalkan untuk mendapatkan nilai purata arus Sq di dip khatulistiwa. Nilai arus EEJ pula akhirnya diperoleh daripada perbezaan antara arus keseluruhan dan arus Sq.

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

### ANALISIS INDEKS PEMERHATIAN

Rajah 2 menunjukkan indeks IMF Bz pada (a) 22 hingga 24 April 2008 dan (b) 21 April 2008. Didapati bahawa IMF Bz menunjukkan bacaan yang tidak stabil pada 23 April 2008 iaitu hari berlakunya ribut geomagnet, jika dibandingkan dengan 21 April iaitu hari senyap. Apabila medan IMF menghala ke arah selatan akibat pengaruh medan



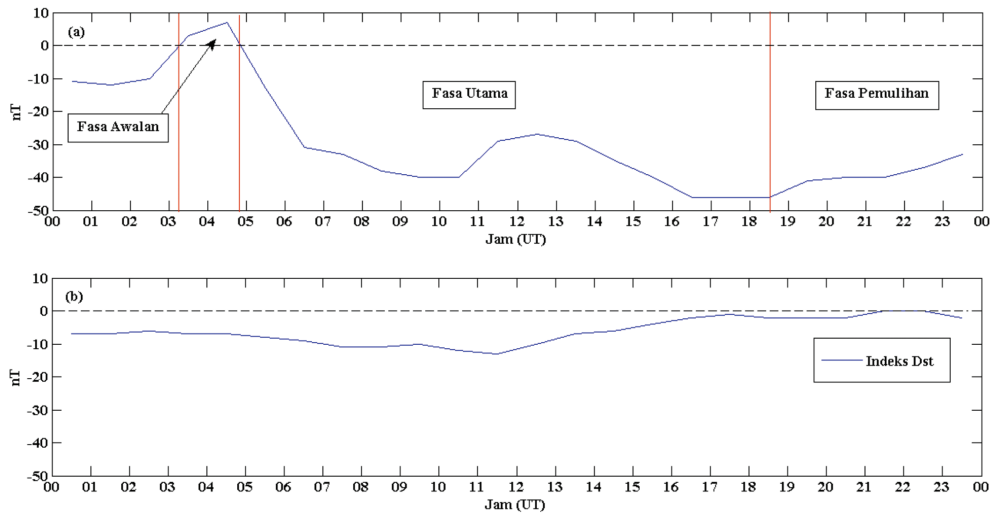
RAJAH 2. Indeks IMF Bz pada (a) 22 hingga 24 April 2008 dan (b) 21 April 2008 (hari senyap)

magnet matahari, indeks ini akan memberikan nilai negatif bermula pada lewat 22 April yang berterusan terganggu sepanjang 23 April. Apabila arah IMF mula kembali semula ke arah utara, nilai IMF Bz akan meningkat ke paras normal, sekitar nilai sifar iaitu pada pertengahan 24 April.

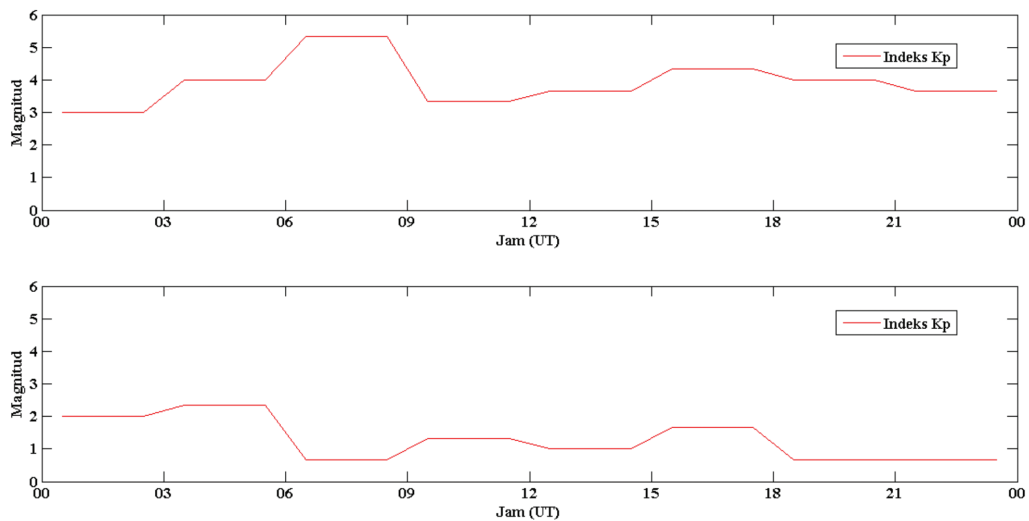
Di samping itu, jika diperhatikan pada indeks Dst dalam Rajah 3(a), pada sekitar jam 0300 hingga 0400 UT, ribut geomagnet telah berada pada fasa permulaan. Ini dapat dilihat daripada perihai rajah tersebut dengan bacaan data geomagnet meningkat kepada nilai positif, berbanding dengan bacaan senyapnya di sekitar nilai sifar. Sekitar jam 0500 hingga 0600 UT, ribut geomagnet beransur memasuki fasa utama dengan bacaan indeks Dst mengalami penurunan mendadak kepada nilai negatif. Pada fasa awalan, indeks Dst mengalami peningkatan mendadak kepada nilai positif. Pada fasa ini, ribut geomagnet mula menghentam magnetosfera bumi. Kemudian, indeks ini mula menurun secara mendadak pada fasa utama apabila

kadar plasma bertenaga pada arus cincin khatulistiwa meningkat. Hal ini berlaku apabila medan geomagnet terputus dan membenarkan plasma dan zarah bertenaga daripada matahari untuk masuk ke dalam magnetosfera bumi dan meningkatkan tenaga plasma pada arus tersebut. Apabila arus cincin semakin kembali kepada normal, indeks Dst akan mula meningkat kepada paras normal, iaitu sekitar nilai sifar. Variasi indeks Dst pada hari tersebut didapati berbeza dengan variasi Dst pada hari senyap yang mendatar pada sekitar nilai sifar seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(b).

Ribut geomagnet yang disebabkan oleh CME ini mencatatkan bacaan indeks Kp sekitar Kp 5 hingga Kp 6 seperti yang tertera pada Rajah 4(a). Ini juga boleh diertikan bahawa ribut geomagnet ini ialah daripada kelas G1, iaitu ribut yang agak lemah. Berbanding dengan hari senyap di dalam Rajah 4(b), nilai Kp adalah sangat rendah sekitar Kp 1 dan Kp 2 sahaja.



RAJAH 3. Indeks Dst pada (a) 23 April 2008 dan (b) 21 April 2008 (hari senyap)



RAJAH 4. Indeks Kp pada (a) 23 April 2008 dan (b) 21 April 2008 (hari senyap)

## ANALISIS DATA GEOMAGNET

Merujuk kepada Rajah 5, indeks EUEL dalam Rajah 5(a) iaitu pada hari aktif menunjukkan pola yang janggal jika dibandingkan dengan indeks EUEL pada hari senyap iaitu dalam Rajah 5(b). Ini jelas menunjukkan bahawa terdapat gangguan pada sistem arus ionosfera berdasarkan pemerhatian awal pada indeks EUEL. Di samping itu, Rajah 5(a) juga menunjukkan gangguan bermula seawal jam 1000 dan 1100 LT dengan indeks tersebut mengalami penurunan mendadak. Rajah 5(b) pula menunjukkan pola harian EUEL yang stabil dan bebas daripada gangguan geomagnet dengan arus ionosfera yang diwakili oleh indeks ini memuncak sekitar jam 1000 dan 1100 LT dan kemudiannya menurun dengan masa ke paras sifar pada waktu petang.

## PENINGKATAN KEAMATAN ARUS

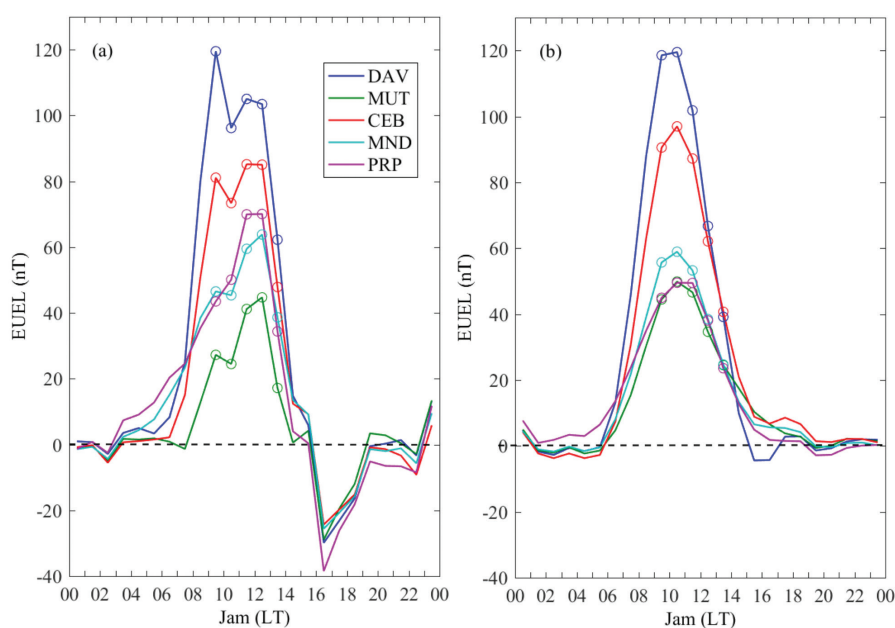
Kajian ini menggunakan kaedah profil latitudinal arus yang dipelopori oleh Manoj et al. (2006) serta ditambah baik oleh Hamid et al. (2017a). Profil arus ini diperoleh dengan mengaplikasi interpolasi spline terhadap indeks EUEL bagi kelima-lima stesen yang diplot pada setiap jam bermula jam 1000 LT (0200 UT) hingga 1400 LT (0600 UT). Rajah 6(a) dan 6(b) masing-masing menunjukkan profil latitudinal arus pada hari aktif dan hari senyap yang dikaji. Merujuk kepada rajah tersebut, ribut geomagnet ini telah memberi peningkatan kepada jumlah arus keseluruhan jika dibandingkan dengan hari senyap. Hal ini dapat diperhatikan dengan nilai arus keseluruhan pada setiap jam dalam hari aktif (Rajah 6(a)) mencatatkan nilai yang lebih tinggi berbanding pada hari senyap di Rajah 6(b). Walaupun nilai maksimum pada kedua-dua hari adalah lebih kurang sama iaitu sekitar 125 nT (pada jam 1000 LT), namun perbezaan yang signifikan dapat dilihat pada

jam 1400 LT dengan nilainya adalah sekitar 70 dan 40 nT masing-masing bagi hari aktif dan hari senyap. Perbezaan nilai ini juga boleh diperhatikan dengan lebih terperinci dalam Jadual 1.

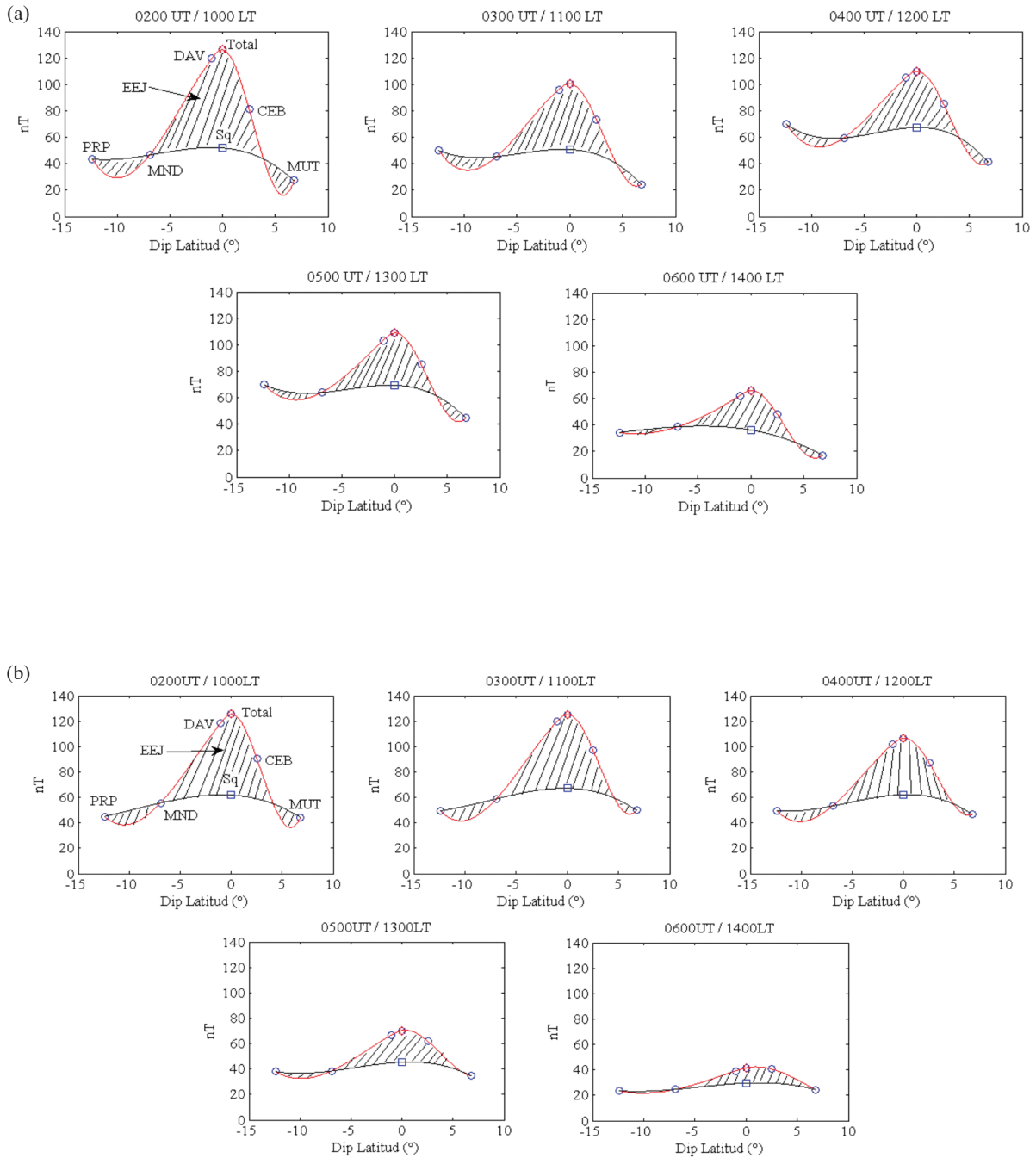
Secara amnya, perubahan trend arus keseluruhan pada hari aktif adalah selaras dengan variasi indeks Dst semasa fasa awalan dan fasa utama. Peningkatan arus pada hari aktif adalah disebabkan oleh plasma bertenaga yang berjaya memasuki lapisan ionosfera bumi, seterusnya meningkatkan tenaga keseluruhan pada lapisan tersebut. Hal ini menyebabkan kadar pengionan meningkat dan menyebabkan arus di ionosfera juga turut meningkat.

## PERUBAHAN NILAI ARUS PADA HARI AKTIF BERBANDING HARI SENYAP

Analisis kami turut menunjukkan peningkatan arus adalah lebih ketara di luar waktu puncak arus. Pada waktu senyap pada fasa suria minimum, keseluruhan arus akan memuncak pada sekitar 1000 dan 1100 LT dan kemudiannya menurun dengan masa (Rajah 6(b)). Tetapi pada hari aktif, arus keseluruhan didapati masih tinggi di luar waktu puncak, iaitu pada 1200 dan 1300 LT seperti dalam Rajah 6(a). Di samping itu, analisis yang dijalankan juga mendapati bahawa arus menurun pada jam 1100 LT pada hari aktif. Perkara ini dapat diperhatikan dalam Jadual 1. Arus keseluruhan menurun sebanyak hampir 30 nT, jika dibandingkan dengan hari senyap dan penurunannya adalah sangat tidak signifikan kerana arus memuncak pada waktu tersebut (1000 dan 1100 LT). Walau bagaimanapun, arus keseluruhan pada hari aktif ini dilihat kembali meningkat pada jam 1200 LT sebelum menurun pada jam 1400 LT. Pada hari senyap, arus tersebut didapati mengalami penurunan dengan masa dan nilai yang lebih rendah. Dalam masa yang sama, arus EEJ juga mengalami



RAJAH 5. Indeks EUEL pada (a) 23 April 2008 (hari aktif) dan (b) 21 April 2008 (hari senyap)



RAJAH 6. Profil latitud arus pada (a) 23 April 2008 (hari aktif) dan (b) 21 April 2008 (hari senyap)

JADUAL 1. Nilai arus pada setiap jam pada 23 April 2008 (hari aktif) dan 21 April 2008 (hari senyap)

Jam (LT)	23 April 2008 (Hari aktif)			21 April 2008 (Hari senyap)		
	Arus keseluruhan	Arus Sq	Arus EEJ	Arus keseluruhan	Arus Sq	Arus EEJ
1000	126.1871	51.9508	74.2363	125.4435	61.8629	63.5806
1100	100.5966	50.8321	49.7645	125.1864	67.2341	57.9523
1200	109.9215	67.4630	40.4585	106.6960	62.1878	44.5082
1300	108.8929	69.4140	39.4789	70.3138	45.4162	24.8976
1400	66.1166	36.2882	29.8284	41.6239	29.6161	12.0078

penurunan yang ketara pada jam 1000 hingga 1100 LT pada hari aktif.

#### PERBEZAAN KESAN DI KEDUA-DUA HEMISFERA BUMI

Analisis perbandingan data antara hemisfera memberi gambaran bahawa peningkatan arus adalah lebih jelas di hemisfera selatan, iaitu arus yang dicerap oleh stesen MND dan PRP. Sementara itu, nilai arus yang dicerap di stesen MND adalah lebih tinggi berbanding MUT dalam tempoh masa yang dikaji walaupun stesen tersebut adalah konjugat antara satu sama lain kerana kedua-dua stesen terletak pada latitud sekitar 7°, di kedua-dua hemisfera utara dan selatan. Tambahan lagi, jika dibandingkan dengan profil arus pada hari senyap dalam Rajah 6(b), nilai arus di kedua-dua stesen ini adalah hampir setara. Di samping itu, arus yang dicerap di PRP juga menunjukkan nilai yang sangat tinggi, berbanding dengan waktu senyap dengan arus yang dicerap di stesen ini adalah setara atau kurang daripada arus yang dicerap di MND.

#### KESIMPULAN

Kesimpulannya, aktiviti matahari mempengaruhi sistem arus secara menyeluruh dan meningkatkan nilai purata arus. Ribut geomagnet ini memberi lebih kesan kepada arus di hemisfera selatan seperti yang dicerap oleh stesen MND dan PRP yang mencatatkan lebih peningkatan berbanding hari senyap. Walau bagaimanapun, kajian ini tidak dapat menyimpulkan bahawa semua aktiviti matahari memberi lebih kesan pada hemisfera selatan berbanding hemisfera utara bumi kerana kajian ini hanya berpandukan satu aktiviti matahari sahaja. Kajian selanjutnya boleh dijalankan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kesan tersebut dengan menggunakan lebih banyak aktiviti matahari. Selain itu, kajian ini juga boleh diperbaiki dengan penambahan stesen di kedua-dua hemisfera bumi untuk mengkaji kesan ribut geomagnet dengan lebih terperinci.

#### PENGHARGAAN

Penulis berterima kasih kepada semua ahli projek MAGDAS atas kerjasama dan sumbangan yang diberikan dalam kajian ini. Sumber kewangan adalah ditaja oleh Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Pelajaran Malaysia menggunakan geran FRGS/1/2015/ST02/UKM/02/1 dan GUP-2016-016. Hasil kerja Yoshikawa adalah dengan bantuan JSPS Core-to-Core Program (B. Asia-Africa Science Platforms), Formation of Preliminary Center for Capacity Building for Space Weather dan geran JSPS KAKENHI 15H05815.

#### RUJUKAN

Hamid, N.S.A., Liu, H., Uozumi, T., Yoshikawa, A. & Annadurai, N.M.N. 2017a. Peak time of equatorial electrojet from different longitude sectors during fall solar minimum. *Journal of Physics: Conference Series* 852: 012015.

- Hamid, N.S.A., Ismail, W.N.I. & Yoshikawa, A. 2017b. Latitudinal variation of ionospheric currents in southeast asian sector. *Advanced Science Letters* 23(2): 1444-1447.
- Hamid, N.S.A., Liu, H., Uozumi, T., Yumoto, K. & Veenadhari, B. 2014. Relationship between the equatorial electrojet and global Sq currents at the dip equator region. *Earth, Planets and Space* 66(146): 1-11.
- Manoj, C., Lühr, H., Maus, S. & Nagarajan, N. 2006. Evidence for short spatial correlation lengths of the noontime equatorial electrojet inferred from a comparison of satellite and ground magnetic data. *Journal of Geophysical Research* 111: A11.
- Onwumechili, C.A. 1997. *The Equatorial Electrojet*. Philadelphia: Gordon and Breach Science Publishers. hlm. 627.
- Prolss, G.W. 2004. *Physics of the Earth's Space Environment: An Introduction*. Berlin: Springer.
- Rastogi, R.G., Alex, S. & Patil, A. 1994. Seasonal variations of geomagnetic D, H and Z fields at low latitudes. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity* 46: 115-126.
- Shojanoori, R., Shafri, H.Z.M., Mansor, S. & Ismail, M.H. 2016. The use of worldview-2 satellite data in urban tree species mapping by object-based image analysis technique. *Sains Malaysiana* 45(7): 1025-1034.
- Uozumi, T., Yumoto, K., Kitamura, K., Abe, S., Kakinami, Y., Shinohara, M., Yoshikawa, A., Kawano, H., Ueno, T., Tokunaga, T. & McNamara, D. 2008. A new index to monitor temporal and long-term variations of the equatorial electrojet by MAGDAS/CPMN real-time data: EE-index. *Earth, Planets and Space* 60(7): 785-790.
- Yang, S.R. & Yeh, Y.L. 2015. Geologic hazard risk assessment of slope and villages in Southern Taiwan using remote sensing techniques. *Sains Malaysiana* 44(12): 1677-1683.
- Yumoto, K. & the MAGDAS Group. 2006. MAGDAS project and its application for space weather. In *Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Environment: Recent Progress and Prospects*, edited by Gopalswamy, N. & Bhattacharya, A. hlm. 399-405.

Nurul Shazana Abdul Hamid\*, Viksuthorn Ai Wen & Nur Izzati Mohd Rosli  
Pusat Pengajian Fizik Gunaan  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia

Akimasa Yoshikawa  
Department of Earth and Planetary Sciences  
Faculty of Sciences, 33 Kyushu University  
6-10-1 Hakozaiki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581  
Japan

Akimasa Yoshikawa  
International Center for Space Weather Science and Education (ICSWSE)  
Kyushu University 53  
6-10-1 Hakozaiki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581  
Japan

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: shazana.ukm@gmail.com

Diserahkan: 3 Ogos 2017

Diterima: 19 Mac 2018