

# RESPON IONOSFER DAERAH KUPANG ( $10,9^{\circ}$ LS – $123^{\circ}$ BT) TERHADAP BADAI GEOMAGNET BERDASARKAN ANALISIS PARAMETER JUMLAH KANDUNGAN ELEKTRON Dan INDEKS GANGGUAN GEOMAGNET

*Angelikus Olla<sup>1</sup>, Asnawi Husin<sup>2</sup>, Yanti Boimau<sup>1</sup>, dan Fernince Ina Pote<sup>1</sup>*

1. Prodi Fisika, FMIPA, Universitas San Pedro, Jl. Sokearno, Kota Kupang, 85112, Indonesia
2. Pusat Riset Antariksa, BRIN, KST Samadikun Cisitu, Bandung, 40135, Indonesia  
E-mail: angelikusolla@gmail.com

## Abstrak

Studi ini bertujuan untuk melihat respon ionosfer daerah Kupang ( $10,9^{\circ}$  LS –  $123^{\circ}$  BT) terhadap badai geomagnet yang terjadi di tahun 2015 berdasarkan analisis jumlah kandungan elektron (TEC) dan indeks gangguan geomagnet (Indeks Dst). Badai geomagnet yang dianalisis dalam studi ini adalah badai geomagnet kategori kuat ( $-250 < Dst \leq -100$  nT) pada bulan Maret, Juni dan Desember Tahun 2015. Data TEC yang digunakan adalah hasil pengamatan GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor (GISTM) yang berlokasi di Kupang. Badai geomagnet tanggal 17 Maret 2015 dengan penurunan indeks Dst hingga  $-223$  nT pada pukul 23.00 UT, direspon sebagai badai negatif oleh ionosfer pada tanggal 18 Maret 2015 terjadi penurunan nilai TEC hingga  $21,63$  TECu terhadap median TEC bulanannya. Badai geomagnet tanggal 23 Juni 2015, dengan penurunan indeks Dst hingga  $-198$  nT pada pukul 05.00 UT, direspon ionosfer sebagai badai positif. Terjadi peningkatan TEC di hari yang sama yaitu  $62,81$  TECu dan sehari setelahnya yakni  $31,62$  TECu. Badai geomagnet tanggal 20 Desember 2015, indeks Dst mengalami penurunan hingga  $-166$  nT pada pukul 23.00 UT dan terjadi respon ionosfer yang berbeda dimana nilai TEC meningkat hingga  $66,04$  TECu pada hari yang sama selanjutnya nilai TEC menurun hingga  $8,94$  TECu sehari setelahnya.

**Kata kunci:** ionosfer; badai geomagnet; TEC; indeks Dst

## Abstract

This study aims to examine the ionosphere of the Kupang region in response to geomagnetic storms that occurred in 2015, based on an analysis of the TEC and the Dst index. The geomagnetic storms analyzed in this study fall into the strong category ( $-250 < Dst \leq -100$  nT) and took place in March, June, and December 2015. The TEC data used in this study were obtained from GISTM observations located in Kupang. Specifically, the geomagnetic storm on March 17, 2015, resulted in a decrease in the Dst index to  $-223$  nT at 23:00 UT. This was responded to as a negative storm by the ionosphere on March 18, 2015, causing the TEC value to decrease to  $21.63$  TECu compared to the monthly TEC median. During the geomagnetic storm on June 23, 2015, which led to a decrease in the Dst index to  $-198$  nT at 05:00 UT, the ionosphere responded as a positive storm. On the same day, there was an increase in TEC to  $62.81$  TECu, followed by a value of  $31.62$  TECu on the subsequent day. Lastly, the geomagnetic storm on December 20, 2015, brought about a decrease in the Dst index, reaching  $-166$  nT at 23:00 UT. Interestingly, a different ionospheric response occurred this time, with the TEC value increasing to  $66.04$  TECu on the same day, and subsequently decreasing to  $8.94$  TECu on the following day.

**Keywords:** ionosphere; geomagnetic storm; TEC; Dst index

## PENDAHULUAN

Ionosfer merupakan bagian dari ruang angkasa yang menempati ketinggian 60 km sampai 1000 km dari permukaan bumi. Dalam teknologi navigasi dan komunikasi berbasis satelit, sebelum sinyal satelit mencapai

penerimanya, maka sinyal tersebut harus melalui ionosfer yang banyak mengandung ion-ion dan elektron yang dapat memantulkan dan membelokkan bahkan melemahkan sinyal satelit, sehingga dapat mengganggu keberhasilan teknologi-teknologi tersebut [1].

Aktivitas matahari seperti lontaran massa korona atau yang dikenal dengan *Coronal Mass Ejection* (CME) dapat mempengaruhi sistem magnetosfer berupa badai geomagnet yang berdampak pada fluktuasi kondisi ionosfer [2].

Badai Geomagnet diklasifikasikan berdasarkan **indeks *disturbanced storm time*** (Dst) antara lain badai geomagnet lemah ( $-50 < \text{Dst} \leq -30$  nT), badai geomagnet moderat ( $-100 < \text{Dst} \leq -50$  nT), badai geomagnet kuat ( $-250 < \text{Dst} \leq -100$  nT), dan badai geomagnet sangat kuat ( $\leq -250$ nT) [3].

Badai geomagnet akibat CME dapat menyebabkan dinamika serta gangguan pada ionosfer yang berdampak pada kurang akuratnya penentuan posisi menggunakan GPS [4].

Dinamika ionosfer sebagai respon terhadap badai geomagnet dapat dianalisis menggunakan beberapa parameter salah satunya adalah jumlah kandungan elektron atau *total electron content* (TEC). TEC adalah jumlah kandungan elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang seluas  $1 \text{ m}^2$  sepanjang lintasan sinyal perangkat Global Positioning System (GPS) yang melalui lapisan ionosfer pada ketinggian sekitar 350 km. Jumlah elektron ini dapat menyebabkan waktu tunda ionosfer (*delay time ionospher*) pada perambatan sinyal, sehingga menyebabkan kurang akuratnya penentuan posisi dengan menggunakan GPS [5].

Tahun 2015 merupakan bagian dari siklus matahari ke-24 dimana pada periode ini aktivitas matahari mengalami peningkatan sehingga dapat menyebabkan dinamika antariksa seperti CME yang berdampak pada terjadinya badai geomagnet [6].

*World Data Center* (WDC) *for geomagnetism* Kyoto melaporkan bahwa sepanjang tahun 2015 terjadi beberapa badai geomagnet kategori kuat dimana nilai indeks Dst mengalami penurunan dibawah -100nT. Badai geomagnet tersebut terjadi pada bulan Maret (tanggal 17 Maret 2015), Juni (tanggal 23 Juni 2015), dan Desember (tanggal 20 Desember) [7].

Berdasarkan informasi tersebut maka dilakukan studi untuk melihat respon ionosfer daerah Kupang ( $10,9^\circ \text{ LS} - 123^\circ \text{ BT}$ ) terhadap badai geomagnet yang terjadi pada tahun 2015 yang merupakan puncak siklus matahari ke-24, berdasarkan analisis parameter jumlah

kandungan elektron (TEC) dan indeks gangguan geomagnet (indeks Dst).

## METODE

Data yang digunakan untuk melihat respon ionosfer terhadap badai geomagnet yang terjadi pada bulan Maret, Juni dan Desember tahun 2015 adalah data TEC hasil pengamatan *GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor* (GISTM) yang berlokasi di Kupang. Sementara itu, badai geomagnet yang dianalisis dalam studi ini adalah badai geomagnet kuat ( $-250 < \text{Dst} \leq -100$  nT)) yang terjadi pada bulan Maret, Juni dan Desember 2015, yang diperoleh dari *World Data Center* (WDC) *for geomagnetism* Kyoto (<https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>).

Data indeks geomagnet bulan Maret, Juni dan Desember 2015 yang diperoleh dari *World Data Center* (WDC) *for geomagnetism* Kyoto diseleksi sebanyak 7 hari dimana terdapat kejadian badai geomagnet. Data indeks geomagnet berupa indeks Dst selama 7 hari tersebut kemudian diplot secara *real time* selama 24 jam dalam Universal Time (UT). Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi kejadian badai geomagnet yang ditandai dengan penurunan indeks Dst.

Data TEC yang diperoleh dari GISTM stasiun Kupang mulanya dalam format biner GPS (.GPS). Selanjutnya, data tersebut dikonversi ke dalam format ASCII, text (.DAT) menggunakan *software ParceReduced.exe* yang dilakukan dengan fasilitas CommandPrompt. Data yang telah dikonversi kemudian diolah dan dihitung nilai TEC harian dan median bulannya.

Nilai TEC yang diperoleh dari GISTM merupakan nilai TEC dari semua satelit GNSS yang *visible* dalam pengamatan satu hari dan masih mengandung bias sehingga diperlukan filter. Untuk itu, dalam interpretasi maka dilakukan reduksi data yang memiliki elevasi di bawah  $30^\circ$  agar menghindari bias akibat pantulan selain ionosfer (*multipath effect*). Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai TEC miring (*slant* TEC) dan TEC vertikal (*vertical* TEC).

Secara umum nilai TEC dapat ditentukan dengan menghitung integral perambatan sepanjang sinyal satelit GPS yang berada di angkasa ke penerima di Bumi. Pada sistem dengan dual frekuensi L1 (1.575 GHz), dan L2

(1.22 GHz) TEC dapat dihitung dengan persamaan Kloubochar: [1,8]

$$TEC = \int_s^R N dl \quad (1)$$

R : Posisi penerima sinyal GPS (km)

S : Posisi satelit GPS (km)

N : Kerapatan elektron  $\left(\frac{\text{elektron}}{m^3}\right)$

TEC: Jumlah kandungan elektron  $\left(\frac{\text{elektron}}{m^2}\right)$

TEC dinyatakan dalam satuan TEC unit (TECu), dimana  $1 \text{ TECu} = 10^{16} \frac{\text{elektron}}{m^2}$

Perhitungan TEC dengan sinyal CODE (Pseudorange) untuk GPS sistem dual frekuensi, maka diperoleh *slant* TEC (STEC), dengan menggunakan persamaan:

$$STEC = \frac{1}{40,3} \times \left(\frac{1}{L1^2} - \frac{1}{L2^2}\right)^{-1} \times (P_1 - P_2) + TEC_{cal} \quad (2)$$

STEC : Slant TEC (TECu)

P1 : Pseudorange pada L1

P2 : Pseudorange pada L2

TEC<sub>cal</sub> : TEC kalibrasi

Karena STEC bergantung pada lintasan penjalaran sinyal dari satelit ke penerima, maka STEC dapat di konversi ke TEC tegak, *Vertical* TEC (VTEC) menggunakan pendekatan lapisan tipis dengan asumsi ketinggian maksimum ionosfer 350 km menggunakan persamaan [8]:

$$VTEC = STEC \times \cos \left[ \arcsin \left( \frac{R_e \cos \theta}{R_e + h_{max}} \right) \right] \quad (3)$$

R<sub>e</sub> : Jarak dari satelit ke penerima (km)

h<sub>max</sub>: Ketinggian maksimum ionosfer (km)

θ : Sudut elevasi antara stasiun penerima dan satelit (°)

Setelah mendapatkan VTEC, selanjutnya ditarik rata-rata dari semua *visible* satelit untuk satu menit pengamatan agar diperoleh 24 data yang merepresentasikan 24 jam data pengamatan (satu hari pengamatan). Selanjutnya data pengamatan harian tersebut diinventaris dalam satu bulan pengamatan. Setelah mendapatkan VTEC untuk satu bulan pengamatan maka di tentukan pula median VTEC bulannya setiap jam.

Dari nilai VTEC selama satu bulan, diambil 7 hari pengamatan dimana terdapat badai geomagnet. Data VTEC 7 hari pengamatan ini kemudian diplot nilai VTEC harian, median bulanan VTEC dan indeks Dst untuk analisis korelasi antara badai geomagnet dan ionosfer di daerah Kupang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Badai Geomagnet yang dianalisis dalam studi ini adalah badai geomagnet kategori kuat yang terjadi pada bulan Maret, Juni dan Desember 2015. Badai geomagnet pada bulan Maret, Juni dan Desember 2015 ditunjukkan oleh indeks Dst. Sementara itu, respon ionosfer ditunjukkan oleh perubahan variasi harian VTEC terhadap median bulannya. Badai geomagnet yang terjadi pada bulan Maret, Juni dan Desember 2015 serta respon ionosfernya dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3.

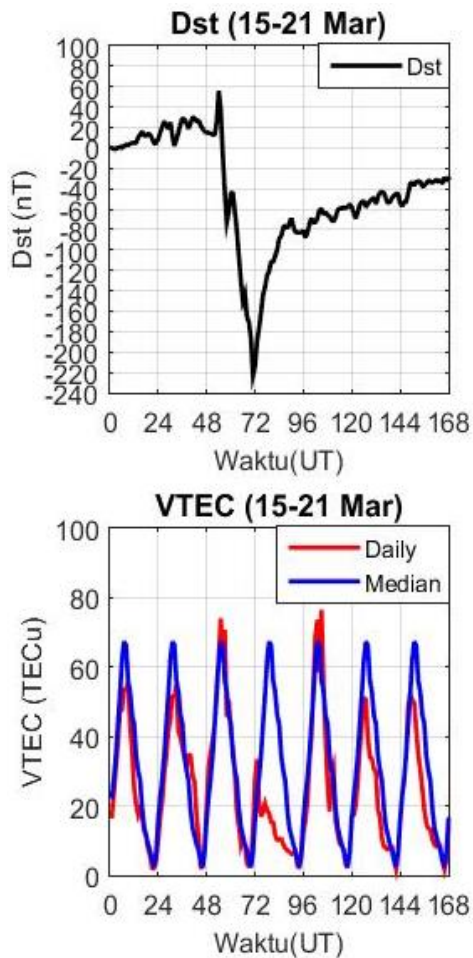
### Badai Geomagnet Bulan Maret 2015

Respon Ionosfer daerah Kupang terhadap badai geomagnet bulan Maret 2015 ditunjukkan oleh Gambar 1. Indeks Dst pada tanggal 15-21 Maret 2015 ditunjukkan oleh Gambar 1 bagian atas, sementara itu, bagian bawah menunjukkan variasi harian VTEC beserta median bulannya pada tanggal 15-21 Maret 2015. Terlihat bahwa terjadi badai geomagnet pada tanggal 17 Maret 2015 dimana indeks Dst mengalami penurunan hingga -223 nT pada pukul 23.00 UT. Sementara itu, respon ionosfer daerah Kupang terhadap badai geomagnet tersebut terjadi dua jam setelahnya tepatnya pada tanggal 18 Maret 2015 dimana nilai VTEC harian (grafik warna merah pada gambar bagian bawah) mengalami penurunan drastis hingga mencapai 21,63TECu dibanding median bulanan VTEC. Menariknya, nilai VTEC harian kembali sama dengan median bulanan VTEC pada tanggal 19 Maret 2015 dan kembali mengalami penurunan pada hari-hari berikutnya walau tidak terlalu signifikan.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa secara umum maksimum median bulanan VTEC pada bulan Maret 2015 adalah 67,38 TECu yang terjadi pada siang hari yakni pukul 07.00 UT atau pukul 14.00 WITA (UT+7). Dua hari sebelum badai geomagnet, nilai harian VTEC sudah mengalami penurunan. Sementara itu, saat fase utama badai geomagnet (tanggal 17 Maret), nilai maksimum harian VTEC cenderung sama dengan nilai maksimum median bulannya.

Menariknya, sehari setelah badai geomagnet (fase pemulihan), nilai harian VTEC mengalami penurunan drastis hingga 70% dibanding sehari sebelumnya. Selanjutnya, variasi harian VTEC kembali sama dengan nilai median bulanan VTEC pada tanggal 19 Maret dan kembali mengalami penurunan pada

tanggal 20 dan 21 Maret walau tidak terlalu signifikan. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa badai geomagnet tanggal 17 Maret 2015 menyebabkan badai ionosfer negatif karena menyebabkan penurunan nilai VTEC.



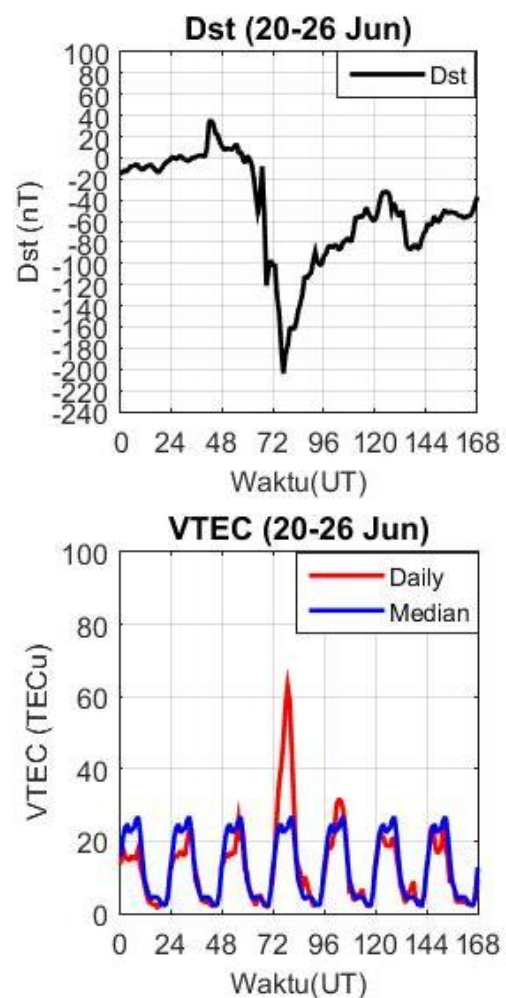
Gambar 1. Indeks Dst (atas), variasi harian dan median bulanan VTEC (bawah) tanggal 15-21 Maret 2015.

### Badai Geomagnet Juni 2015

Berdasarkan Gambar 2 (bagian atas), badai geomagnet terjadi pada tanggal 23 Juni 2015 pukul 05.00 UT atau pukul (12.00 WITA), dimana indeks Dst mengalami penurunan hingga  $-198\text{nT}$ . Selanjutnya, respon ionosfer terhadap badai geomagnet ditunjukkan oleh variasi harian VTEC dan variasi median bulanan VTEC (Gambar 2 bagian bawah).

Dapat dilihat bahwa tiga hari sebelum badai geomagnet (tanggal 20-22 Juni), maksimum variasi harian VTEC cenderung sama dengan nilai maksimum median bulanan VTECnya, dimana maksimum variasi harian

dan median bulanan VTEC berkisar antara 20-26 VTECu. Ketika terjadi badai geomagnet pada tanggal 23 Juni, maksimum variasi harian VTEC meningkat hingga mencapai 62,83 VTECu. Selanjutnya, peningkatan nilai VTEC sebagai respon ionosfer terhadap badai geomagnet masih terlihat hingga tanggal 24 Juni dan kembali normal pada hari-hari selanjutnya. Dengan demikian maka badai geomagnet pada tanggal 23 Juni 2015 menyebabkan badai ionosfer positif dimana respon ionosfer menunjukkan terjadi peningkatan nilai VTEC pada saat peristiwa badai geomagnet dan sehari setelahnya.

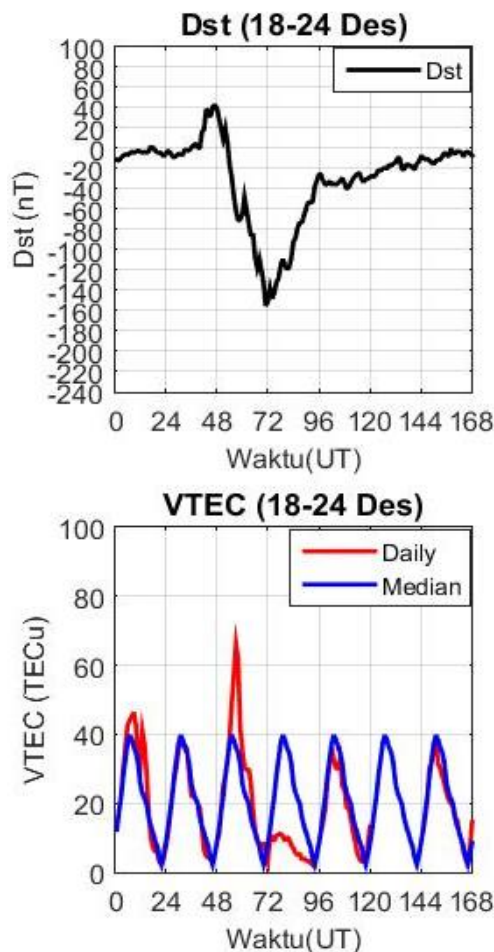


Gambar 2. Indeks Dst (atas) dan variasi harian VTEC dan median bulanan VTEC (bawah) tanggal 20-26 Juni 2015.

### Badai Geomagnet Desember 2015

Gambar 3 bagian atas menunjukkan bahwa badai geomagnet kategori kuat terjadi

pada tanggal 20 Desember 2015 dimana terjadi penurunan indeks Dst hingga  $-155$  nT. Sementara itu, respon ionosfer daerah Kupang terhadap badai geomagnet tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3 bagian bawah.



Gambar 3. Indeks Dst (atas) dan variasi harian VTEC dan median bulanan VTEC (bawah) tanggal 18-24 Desember 2015.

Berdasarkan Gambar 3 bagian bawah terlihat bahwa dua hari sebelum badai geomagnet (tanggal 18-19 Desember), variasi harian VTEC secara umum sama dengan variasi median bulanan VTEC dimana nilai maksimumnya sekitar  $40$  TECu. Selanjutnya, terjadi peningkatan variasi harian VTEC pada saat terjadi badai geomagnet yakni maksimum variasi harian VTEC mencapai  $66,04$  TECu. Menariknya, sehari setelah badai geomagnet, maksimum variasi harian VTEC mengalami penurunan drastis mencapai  $11,32$  VTECu,

kemudian kembali sama dengan median bulanan VTEC di hari berikutnya.

Berdasarkan grafik variasi harian VTEC dan median bulannya diperoleh bahwa ionosfer daerah Kupang memiliki respon yang berbeda terhadap badai geomagnet tanggal 20 Desember. Badai geomagnet tersebut menyebabkan badai ionosfer positif yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai VTEC harian sedangkan sehari setelah badai sebaliknya terjadi badai ionosfer negatif dimana nilai VTEC harian mengalami penurunan secara signifikan.

Hasil yang diperoleh dalam studi ini, menunjukkan bahwa ionosfer daerah Kupang memiliki respon yang berbeda-beda terhadap badai geomagnet yang terjadi pada bulan Maret, Juni dan Desember 2015. Respon ionosfer tersebut berupa badai ionosfer positif dan badai ionosfer negatif [9,10].

Respon ionosfer daerah Kupang terhadap badai geomagnet tersebut antara lain; badai geomagnet pada tanggal 17 Maret 2015 menyebabkan badai ionosfer negatif sehari setelahnya (tanggal 18 Maret) dan tiga hari setelahnya. Selanjutnya badai geomagnet tanggal 23 Juni 2015 menyebabkan badai ionosfer positif pada hari yang sama dan sehari setelahnya. Sementara itu, terjadi respon ionosfer daerah Kupang yang berbeda terhadap badai geomagnet tanggal 20 Desember, dimana terjadi badai ionosfer positif pada hari yang sama dan badai ionosfer negatif sehari setelahnya.

Pada badai geomagnet Maret 2015, respon ionosfer tidak terjadi pada fase utama (*main phase*) badai yakni pada tanggal 17 Maret namun respon ionosfer berupa badai ionosfer negatif yang ditandai dengan penurunan variasi harian VTEC terlihat pada fase pemulihan (*recovery phase*) yakni sehari setelah badai (tanggal 18 Maret) dan hari-hari setelahnya. Patut diduga bahwa angin matahari yang masuk pada sistem bumi dapat menyebabkan pergerakan partikel bermuatan di ionosfer pada fase pemulihan, sehingga terjadi perubahan komposisi plasma, ion bermuatan dengan gas netral yakni penurunan rasio  $O/N_2$  [9–11]. Sementara itu, kami menduga bahwa respon ionosfer berupa badai ionosfer positif dimana terjadi peningkatan VTEC pada tanggal 23 Juni 2015 (*main phase*) dan sehari setelah badai selain disebabkan oleh adanya peningkatan rasio  $O/N_2$  disebabkan pula oleh penetrasi

medan listrik atau yang dikenal dengan *prompt penetration electric fields* (PPEFs) [10–12]. Selanjutnya respon ionosfer Kupang terhadap badai geomagnet tanggal 20 Desember 2015 dipengaruhi oleh kombinasi antara penetrasi medan listrik tiba-tiba yang dibawa oleh badai geomagnet dan penurunan rasio gas neutral O/N<sub>2</sub> di ionosfer. Selain itu arah angin matahari yang masuk sejajar dengan medan magnet bumi berpotensi meningkatkan energi yang dapat meningkatkan jumlah ion sehingga terjadi badai positif. Sebaliknya angin matahari berlawanan atau berpotongan dengan garis medan magnet bumi, berpotensi merangsang pergerakan partikel bermuatan di ionosfer sehingga memicu perubahan komposisi, penurunan partikel bermuatan di ionosfer dan mengganggu distribusi normalnya.

#### SIMPULAN DAN SARAN

Diperoleh bahwa respon ionosfer daerah Kupang terhadap badai geomagnet yang terjadi pada bulan Maret, Juni dan Desember 2015 berbeda-beda. Secara ringkas respon ionosfer daerah Kupang menunjukkan bahwa terjadi badai ionosfer negatif dimana terjadi penurunan maksimum variasi harian TEC sehari setelah badai geomagnet tanggal 17 Maret 2015 dan hari-hari setelahnya. Selanjutnya, badai geomagnet tanggal 23 Juni 2015 menyebabkan badai ionosfer positif yakni terjadi peningkatan maksimum variasi harian VTEC di hari yang sama dan sehari setelahnya. Sementara itu, respon ionosfer daerah Kupang terhadap badai geomagnet tanggal 20 Desember 2015 menunjukkan bahwa terjadi badai ionosfer positif pada hari yang sama sebaliknya terjadi badai ionosfer negatif sehari setelahnya.

Untuk mendapatkan gambaran komprehensif terkait penyebab respon ionosfer daerah Kupang yang berbeda-beda terhadap badai geomagnet yang terjadi pada bulan Maret, Juni, dan Desember 2015, maka perlu dilakukan analisis lanjutan terkait kondisi medan listrik, dan jumlah partikel atau molekul di termosfer saat terjadi badai geomagnet.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Pusat Riset Antariksa, BRIN yang telah mengizinkan penulis untuk mengakses data GISTM untuk digunakan dalam penelitian ini. Terimakasih kepada rekan-rekan penulis atas kesediaannya

dalam memberikan saran, dan ide dalam penulisan artikel ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1 Olla A, Husin A, Warsito A, Boimau Y. 2022. Analisis Variasi Jumlah Kandungan Elektron Ionosfer Daerah Kupang. *J. Phys. Educ. Appl. Phys.* **4**(1): 1.
- 2 Piersanti M et al. 2020. From the Sun to Earth: Effects of the 25 August 2018 geomagnetic storm. *Ann. Geophys.* **38**(3): 703.
- 3 Gonzalez W, Joselyn J, Kamide Y, Kroehl HW, Rostoker G, Tsurutani BT, Vasyliunas V. 1994. What is a geomagnetic storm? *J. Geophys. Res.* **99**(A4): 5771.
- 4 Luo X, Gu S, Lou Y, Xiong C, Chen B, Jin X. 2018. Assessing The Performance Of GPS Precise Point Positioning Under Different Geomagnetic Storm Conditions During Solar Cycle 24. *Sensors (Switzerland)*. **18**(6): 1784.
- 5 Nima AH. 2019. The Calculation And Analysis Of The Total Electron Content Over Different Latitudes And Seasons Using The Numerical Trapezoidal And Simpson Methods. *Baghdad Sci. J.* **16**(4): 1043.
- 6 Krypiak-Gregorczyk A. 2019. Ionosphere Response To Three Extreme Events Occurring Near Spring Equinox In 2012, 2013 And 2015, Observed By Regional GNSS-TEC Model. *J. Geod.* **93**(7): 931.
- 7 Anon. 2015. Final Dst Index Monthly Plot and Table. [https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_final/201503/](https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/201503/).
- 8 Dao T, Huy M Le, Carter B, Le Q, Trinh TT, Phan BN, Otsukas Y. 2020. New Observations Of The Total Electron Content And Ionospheric Scintillations Over Ho Chi Minh City. *Vietnam J. Earth Sci.* **42**(4): 320.
- 9 Habyarimana V, Habarulema JB, Dugassa T. 2023. Analysis Of Ionospheric Storm-Time Effects Over The East African Sector During The 17 March 2013 And 2015 Geomagnetic Storms. *Earth, Planets Sp.* **75**(1): 58.
- 10 Zhai C, Chen Y, Cheng X, Yin X. 2023. Spatiotemporal Evolution And Drivers Of The Four Ionospheric Storms Over

- The American Sector During The August 2018 Geomagnetic Storm. *Atmosphere (Basel)*. **14**(2): 1.
- 11 Pandit D, Amory-Mazaudier C, Fleury R, Chapagain NP, Adhikari B. 2023. VTEC Observations Of Intense Geomagnetic Storms Above Nepal: Comparison With Satellite Data, CODE And IGSG Models. *Indian J. Phys.* **97**(3): 701.
- 12 Imtiaz N, Younas W, Khan M. 2020. Response Of The Low-To Mid-Latitude Ionosphere To The Geomagnetic Storm Of September 2017. *Ann. Geophys.* **38**(2): 359.