



Respon Ionosfer Terhadap Badai Matahari Berdasarkan Analisis Kandungan Elektron Total dan Indeks Gangguan Geomagnet

Arwildo Fianly Belekubun^{a*}, Seni Herlina Juwita Tongkukut^a, Asnawi^b, Dolfie Paulus Pandara^a

^aJurusan Fisika, FMIPA, UNSRAT, Manado

^bLembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Bandung

KATA KUNCI

Ionosfer,
TEC,
Indeks DST

ABSTRAK

Ionosfer merupakan bagian dari lapisan atmosfer bumi yang dinamikanya sangat berpengaruh terhadap sistem komunikasi dan navigasi bumi yang mengandalkan ionosfer sebagai medium rambatan ataupun pantulan. Badai matahari sangat berpengaruh terhadap perubahan parameter-parameter ionosfer. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respon ionosfer Manado terhadap badai matahari bulan Maret 2015. Telah digunakan analisis jumlah kandungan elektron (*TEC*, *Total Electron Content*), dan Indeks gangguan geomagnet (*DST*, *Distributing Storm Time*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan indeks *DST* sebesar -223nT pada tanggal 18 Maret 2015 yang dilanjutkan oleh penurunan *TEC* sebesar 20,85 *TECU* dua jam setelahnya. Proses pemulihan Indeks *DST* sebanding dengan proses pemulihan *TEC* yakni 5 hari mulai dari tanggal 18–23 Maret 2015.

KEYWORDS

Ionosphere,
TEC,
DST index

ABSTRACT

The ionosphere is part of the layer of the Earth's atmosphere whose dynamics are very influential on the earth's communication and navigation systems that rely on the ionosphere as a propagation medium or reflection. Solar storms greatly influence changes in ionospheric parameters. This study aims to evaluate Manado's ionospheric response to solar storms in March 2015. This research is using the analysis of the amount of electron content (*TEC*, *Total Electron Content*) and geomagnetic interference index (*DST*, *Distributing Storm Time*). The results showed that there was a decrease in the *DST* index of -223nT on March 18, 2015, which was followed by a decrease in *TEC* of 20.85 *TECU* two hours later. The recovery process of the *DST* Index is comparable to the *TEC* recovery process, which is 5 days from March 18-23 2015

TERSEDIA ONLINE

01 Agustus 2019

1. Pendahuluan

Ionosfer dapat dimanfaatkan pada sistem komunikasi jarak jauh karena sifat ionosfer yang akan memantulkan gelombang radio pada frekuensi tinggi (*HF*, *High Frequency* : 3 – 30 *MHz*). Komunikasi ini dapat terganggu saat terjadi gangguan cuaca antariksa, seperti fenomena lontaran massa korona (*CME*, *Coronal Mass Ejection*). Partikel bermuatan yang di bawa oleh

CME akan menyebabkan perubahan elektron di lapisan ionosfer (Mahajan *et al.*, 2010).

Fenomena gangguan cuaca antariksa dapat mempengaruhi keakuratan pengukuran posisi pada sistem navigasi berbasis satelit seperti *Global Navigation Sistem Satellite (GNSS)* dan *Global Positioning System (GPS)*. Sinyal *GPS* akan terpengaruh ketika melewati lapisan ionosfer pada saat proses pengiriman sinyal dari transmiter ke

*Corresponding author: Jurusan Fisika FMIPA UNSRAT, Jl. Kampus Unsrat, Manado, Indonesia 95115; Email address: arwildo@gmail.com

penerima (Tsai *et al.*, 2011). Sinyal tersebut akan mengalami perlambatan atau *delay* yang berhubungan dengan kerapatan, ketinggian, dan frekuensi pada ionosfer tersebut. Pada penerima sistem GNSS (*terlebih yang mengandalkan L-band*) korelasi akan dilakukan terhadap delay berdasarkan model *TEC* ionosfer (Jakowski *et al.*, 2011; Ssessaga *et al.*, 2014).

Matahari setiap 11 tahun akan mengalami peningkatan dan penurunan aktivitas yang dikenal sebagai siklus sebelas tahunan yang terkait dengan peningkatan bilangan bintik matahari (*SSN, Solar Sunspot Number*) (Zolotova *et al.*, 2010). Pada tahun 2008 hingga 2019 matahari memasuki siklus 11 tahunan yang ke 24 dengan aktivitas matahari maksimum terjadi pada tahun 2014 hingga 2015. Pada 15 Maret 2015 Badan Kelautan dan Atmosfer Nasional Amerika (*NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration*) melaporkan telah terjadi badai matahari yang melepas *CME* pada pukul 02:00 – 02:30 UT dari matahari mengarah ke bumi. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti respon ionosfer daerah ekuator seperti Indonesia saat terjadi badai matahari dengan menggunakan data pengamatan di Manado. Analisis data ionosfer akan melihat gangguan geomagnet dan perubahan kandungan elektron total *TEC* saat terjadi badai matahari.

Ionosfer dapat diamati dengan menggunakan radar *HF* yang dikenal sebagai ionosonda dan juga dengan memanfaatkan sinyal yang dikirimkan oleh satelit navigasi *TEC*. Ionosonda bekerja dengan mengirim sinyal radio dengan frekuensi 3-33 MHz menuju ionosfer. Jika ionosfer memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi yang dikirimkan ionosonda, maka sinyal radio tersebut akan dipantulkan kembali ke ionosonda (Chen *et al.*, 2012). Pengamatan ionosfer dengan memanfaatkan sinyal *HF* akan memberikan data *TEC*. Data *TEC* kemudian akan dianalisis untuk melihat perubahan jumlah kandungan elektron total ionosfer pada saat badai matahari.

Kemunculan *flare* kuat yang diikuti dengan *CME* akan diikuti dengan badai *geomagnet*. Data *Geomagnet* yang menjadi tolak ukur terjadinya badai *Geomagnet* adalah data indeks *DST*. Indeks *DST* didapatkan dari stasiun pemantauan *geomagnetic* di Jepang yang merupakan stasiun pemantauan *Geomagnet* untuk daerah ekuator. Kedua parameter ionosfer yakni jumlah kandungan elektron total (*TEC, Total Electron Content*) dan Indeks gangguan geomagnet (*DST, Distributing Storm Time*) akan di analisis untuk melihat respon ionosfer pada saat terjadi *CME* Maret 2015.

2. Material dan Metode

Alat

- *Personal Computer*
- *MATLAB software*
- *ParceReduced software*

- *Python software*

Data

Penelitian ini menggunakan data *TEC* yang didapatkan dari *GISTM (GPS Ionospheric Scintillation TEC Monitor)* Manado dengan koordinat geografi (1, 48° LU, 124,85° BT; lintang Geomagnet -6.87° LS). Data Indeks *DST* untuk daerah ekuator seperti Indonesia didapatkan dari *Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism*, Kyoto, Jepang pada situs web <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>. Data *TEC* dan indeks *DST* diambil pada bulan Maret 2015 terkait dengan badai matahari seperti yang telah dilaporkan.

Prosedur

Data *TEC* yang diterima penerima pada *GISTM* Manado awalnya memiliki format *TEC (.TEC)*, yang kemudian di konversi ke dalam format *DAT (.dat)* yang dapat dibaca program pengolahan data yaitu *software ParceReduce.exe*. *Software* ini berjalan di bawah perintah *DOS prompt*. *Software* perhitungan dan pengolahan data yang digunakan adalah *MATLAB* dan *Excel*.

Nilai *TEC* yang didapatkan dari semua visibel satelit GNSS biasanya memiliki nilai bias dari penerima yang akan menunjukkan nilai negatif pada data *TEC* ionosfer, maka dilakukan proses filter untuk menyaring data *TEC* yang bernilai negatif dengan menambahkan nilai kalibrasi pada data *TEC*. Data yang diterima kemudian dikonversi dari waktu *TEC* ke waktu UTC+8 (*Coordinated Universal Time*) untuk waktu Indonesia bagian tengah (*WITA*). Kemudian dilakukan konversi untuk data *TEC* miring (*sTEC*) menjadi *TEC* tegak (*vTEC*). Data *vTEC* yang didapatkan dilakukan rerata dari semua visibel satelit untuk satu menit pengamatan yang akan menghasilkan data sebanyak 1440 data yang merupakan menit data. Selanjutnya, akan dihitung median data dalam setiap 60 menit untuk memperoleh 24 data yang merepresentasikan 24 jam data pengamatan.

Dari satu bulan data pengamatan *TEC* Manado diambil data tujuh hari terkait dengan kemunculan badai matahari (Tsurutani, 2012). Kemudian, dilakukan perhitungan $|\Delta TEC|$ untuk mendapatkan nilai deviasi (peningkatan atau penurunan) dari satu bulan median menggunakan persamaan 1

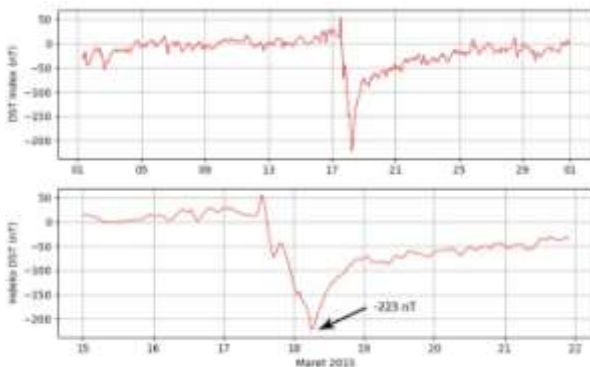
$$|\Delta TEC| = TEC - TEC_{median} \quad (1)$$

Hasil perhitungan $|\Delta TEC|$ digambarkan ke dalam grafik bersama indeks *DST* untuk analisis keterkaitan pola ionosfer dan badai *Geomagnet* di atas Manado pada tanggal tersebut. Akan dilakukan analisis fase-fase perubahan yang terjadi pada indeks *DST* terhadap badai matahari dan korelasinya terhadap penurunan dan peningkatan nilai *TEC*. Kemudian, dilakukan perhitungan terhadap durasi waktu respons *TEC* dan ionosfer terhadap badai matahari.

3. Hasil dan Pembahasan

Indeks Waktu Gangguan Badai

Indeks Waktu Gangguan Badai sebagai akibat dari badai matahari terukur dari stasiun pemantauan Geomagnet Kyoto, Jepang untuk daerah ekuator. Tanggal 15 Maret 2015 terjadi *solar flare* yang diikuti dengan pelepasan massa korona matahari pada pukul 02:00 sampai 02:30 UTC (NOAA). Energi dan partikel-partikel bermuatan terbawa dalam bentuk angin surya yang menjalar dari matahari ke bumi. Dua hari kemudian, tepatnya tanggal 17 Maret 2015 pada pukul 19:00 UTC atau 18 Maret 2015 Pukul 03:00 WITA Manado, angin surya yang membawa massa korona tersebut berinteraksi dengan magnetosfer bumi dan menimbulkan badai geomagnet.



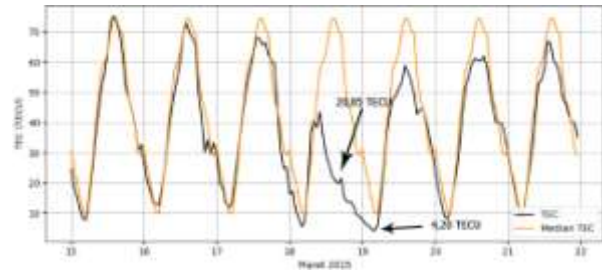
Gambar 1. Variasi Harian Indeks DST bulan Maret 2015 (atas). Variasi Indeks DST Tanggal 15-22 Maret 2015 (bawah).

Hasil Gambar 1 dapat dilihat telah terjadi penurunan nilai Indeks DST dengan fase utama bernilai minimum sebesar -223 nT yang terjadi pada pukul 07:00 WITA (UTC+8) tanggal 18 Maret 2015. Terdapat rentang waktu 15 jam untuk fase utama mencapai nilai minimum. Berdasarkan nilai median harian, durasi waktu untuk fase pemulihan membutuhkan 5 hari dimulai tanggal 18 hingga 22 Maret 2015. Untuk kasus badai matahari Maret 2015 terdapat fase awal seperti yang dikemukakan oleh Echer dkk., (2011). Fase awal dimulai pada pukul 14:00 WITA hingga 15:00 WITA tanggal 17 Maret 2015 dengan nilai maksimum sebesar 56 nT.

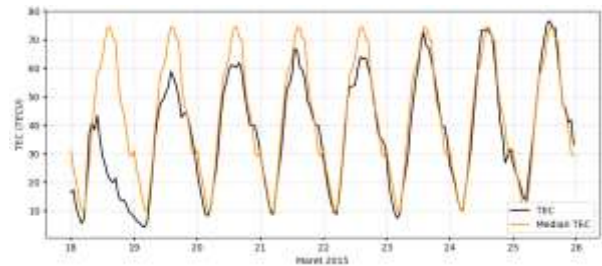
Kandungan Elektron Total

Fluktuasi *TEC* Ionosfer Manado pada saat badai matahari Maret 2015 menunjukkan penurunan nilai *TEC* pada hari yang sama saat badai *Geomagnet* terjadi. Gambar 2 menunjukkan penurunan drastis *TEC* pada tanggal 18 yang kemudian beranjak memulih dalam fase pemulihan hingga tanggal 23 Maret 2015. Gambar 2 tersebut menyajikan variasi harian *TEC* pada tanggal 15 hingga 22 yang di plot bersama median harian pada hari tenang. Pada hari normal atau biasa juga disebut *pre-storm*, nilai *TEC* maksimum terjadi pada siang hari yakni dari pukul 13:00 hingga 16:00 sore hari. Nilai *TEC* kemudian beranjak menurun hingga mencapai nilai minimum pada pukul 04:00 hingga 5:00 dini hari. Pada kasus badai Matahari Maret 2015, nilai *TEC* pada siang hari (waktu *TEC* maksimum) turun hingga nilai

minimum 20,85 *TECU* pada dini hari juga mengalami penurunan dengan nilai minimum 4,20 *TECU*.



Gambar 2. Variasi *TEC* Ionosfer Manado t tanggal 15-22 terhadap median.



Gambar 3. Variasi *TEC* Ionosfer Manado tanggal 18-26 terhadap median.

Nilai *TEC* kemudian beranjak naik mendekati nilai median seiring dengan fase pemulihan Geomagnet Bumi. Pada Gambar 3 fase pemulihan *TEC* berlangsung dari tanggal 19 hingga 23 Maret 2015. Selama proses fase pemulihan nilai *TEC* minimum pada waktu dini hari sudah bernilai sama dengan mediannya pada tanggal 20 Maret 2015 seperti yang dapat di tunjukan Gambar 3.

Nilai *TEC* pada kasus badai geomagnet Maret 2015 cepat merespon indeks *DST*. *TEC* langsung menunjukkan perubahan dari kondisi median 2 jam setelah Indeks *DST* minimum. Pada penelitian Jain *et al.*, (2009), yang meneliti ionosfer di kawasan ekuatorial di Asia mendapati bahwa respon *TEC* terhadap penurunan indeks *DST* memiliki durasi waktu 1 – 2 jam setelah badai geomagnet terjadi.

4. Kesimpulan

Badai matahari yang terjadi pada tanggal 15 Maret pukul 10:00 WITA berinteraksi dengan magnetosfer bumi pada tanggal 18 Maret 2015 pukul 03:00 WITA waktu Manado. Medan Geomagnet merespon dengan penurunan nilai Indeks *DST* hingga -223 nT yang terjadi pada tanggal 18 Maret 2015 pukul 07:00 WITA.

Terjadi penurunan jumlah kandungan elektron total (*TEC*) pada hari yang sama saat badai Geomagnet terjadi. Fluktuasi nilai *TEC* terjadi mulai pukul 09:00 WITA atau 2 jam setelah Indeks *DST* minimum dan berlangsung selama 5 hari sejak tanggal 18 – 23 Maret 2015. Nilai deviasi maksimum *TEC* dari mediannya terjadi pada tanggal 18 Maret.

Daftar Pustaka

Chen, K., Z. Zhu., B. Ning., J. Jiaping., F. Sun. 2012. Developing a new mode for observation of

-
- ionospheric disturbances by digital ionosonde in ionospheric vertical sounding. *Radio Science*.47:1-10.
- Echer, E., W. D. Gonzales., B. T. Tsurutani. 2011. Statistical studies of Geomagnetic storms with peak $DST \leq -50$ nT from 1957 to 2008. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 73: 1454 – 1459.
- Jain, A., S. Tiwari., S. Jain., A. K. Gwal. 2009. TEC response during severe Geomagnetic storms near the crest of equatorial ionization anomaly. *Indian Journal of Radio & space Physics*. 39: 11-24.
- Jakowski, M., C. Mayer., M. M. Hoque., V. Wilken. 2011. Total electron content models and their use in ionosphere monitoring. *Radio Science*. 78:1-11.
- Mahajan, K. K., N. K. Lodhi., A. K. Upadhayaya. 2010. Observations of X-ray and EUV fluxes during X-class solar flares and response of upper ionosphere. *Journal of Geophysical Research*. 155:1-10.
- Ssessanga N., L. Mckinnel., J. B. Habarulema. 2014. Estimation of $foF2$ from GPSTEC over the South African Region. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*. 122: 20 – 30.
- Tsai, L. C., K. Cheng., C. H. Liu. 2011. TEC radio occultation measurements on ionospheric electron density from low Earth orbit. *J Geod*. 85 : 941 – 948.
- Zolotova, N., D. Ponyavin. 2010. Nature of the unusually long solar cycles. *The Shysics of Sun and Star Spots*.273(2010).
-