



ANALISIS STATISTIK KEMUNCULAN *MSTID*s BERDASARKAN PENGAMATAN MENGGUNAKAN AIRGLOW IMAGER DI STASIUN CHIANG MAI

(Statistical Analysis The Occurrences of *MSTID*s Observations By Airglow
Imager In Chiang Mai Station)

Ednofri

Loka Pengamatan Atmosfer Kototabang
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
ednofri_lapan@lapan.go.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015
Direvisi: 16-10-2016
Disetujui: 19-10-2016
Diterbitkan: 24-10-2016

Kata kunci:

MSTID, iregularitas,
ASI, titik konjugasi
magnetik

Kami telah mengidentifikasi kemunculan *Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances* di stasiun Chiang Mai, Thailand selama tahun 2010-2013 saat aktivitas matahari menaik menggunakan *All-Sky Airglow imager* yang dipasang di Sirindhorn Observatory, Chiang Mai Thailand (18,8°N, 98,9°E, 13° dip latitude) untuk mempelajari mekanisme pembangkitan iregularitas ionosfer di lintang magnetik rendah. Kemunculan *MSTID*s di stasiun Chiang Mai mengikuti pola aktivitas matahari. Variasi musiman menunjukkan kemunculan *MSTID*s lebih tinggi selama musim panas lokal (*local summer*), tingkat kemunculan di bulan November-Januari adalah 16,27% dan merupakan yang tertinggi dari ke 4 musim. Sedangkan tingkat kejadian di 20:00-22:00 LT (pra-tengah malam) adalah yang tertinggi dari interval tiga buah pembagian waktu, kemudian menurun dari pra ke pasca-tengah malam, dan kembali naik menjelang pagi hari. Pergerakan *MSTID*s ke arah Selatan dan Barat Daya yang paling sering teramati di stasiun Chiang Mai selama tahun 2010-2013.

ABSTRACT

Keywords:

MSTID, irregularities,
ASI, magnetic conjugate
point

We have identified the emergence of *Medium-Scale Traveling Ionospheric disturbances* at Chiang Mai station, Thailand during the years 2010-2013 when the ascending solar activity using the *All-Sky Airglow Imager* mounted on Sirindhorn Observatory, Chiang Mai Thailand (18,8°N, 98,9°E, 13° dip latitude) to study the mechanism of the generation of irregularities in the ionosphere at low magnetic latitudes. Occurrences *MSTID*s in Chiang Mai follows the pattern of solar activity. Seasonal variations showed the appearance of *MSTID*s higher during the local summer, the rate of emergence of month from November to January is 16.27% and is the highest of all four seasons. While the incidence rate in the 20:00-22:00 LT (pre-midnight) is the highest of the three divisions of time interval, then decreased from pre to post-midnight, and back up towards morning. *MSTID*s Southward movement and SouthWestward are most frequently observed in Chiang Mai station during 2010-2013.

1. Pendahuluan

Sejak tahun 1950-an, gangguan ionosfer yang menjalar telah diamati. Ini disebut sebagai *Traveling Ionospheric Disturbances* (TIDs). Berdasarkan hasil penelitian Hines (1960) dan Hooke (1968), menyatakan bahwa penjalaran gelombang gravitasi di dalam atmosfer netral menyebabkan TIDs. Ketika gelombang gravitasi mencapai ionosfer rendah, mereka menghasilkan osilasi akibat tumbukan antara partikel netral dan terionisasi.

Hunsucker (1982) mengklasifikasikan TIDs ke *Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances* (LSTIDs) dan *Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances* (MSTIDs). MSTIDs adalah variasi kerapatan elektron yang merambat di ionosfer dengan amplitudo hingga beberapa TECUs dan mempunyai panjang gelombang horizontal 100-1000 km dengan periode kemunculan 15-60 menit.

TIDs bisa diamati melalui data yang diperoleh dengan menggunakan peralatan penelitian yang berbeda, seperti; *scatter radars* (Kelley et al., 1991; Kelley et al., 2000), *digital ionosondes* (Abdu et al., 1982; Bowman, 1990, 1992; Klausner et al., 2009; de Abreu et al., 2010), *optical imagers* (Mendillo et al., 1997; Garcia et al., 2000; Candido, 2008; Pimenta et al., 2008a,b).

Pengamatan menggunakan *optical imager* (*airglow imager*) telah banyak digunakan untuk mengamati struktur termosfer dan ionosfer dengan menggunakan panjang gelombang OI 630nm di daerah lintang rendah dan menengah (Mendillo et al., 1997; Garcia et al., 2000; Shiokawa et al., 2003; Amorim et al., 2011; Fukushima et al., 2012). Emisi OI 630nm memiliki lapisan di sisi bawah lapisan F ionosfer (200-300 km) dan ini memungkinkan untuk mengamati fenomena yang disebabkan oleh penyimpangan plasma ionosfer di wilayah ini.

2. Tinjauan Pustaka

Shiokawa et al (2006) telah mempelajari MSTIDs di lintang khatulistiwa untuk titik konjugasi magnetik bumi belahan selatan. Mereka menemukan adanya gejala MSTIDs yang bergerak ke arah selatan pada citra *airglow imager* dengan emisi 630nm yang diperoleh di stasiun Kototabang, Indonesia selama periode 2 tahun, dari 26 Oktober 2002 sampai 26 Oktober 2004. Sebagian besar MSTIDs diamati memiliki fase timur-barat yang bergerak ke selatan. Kemunculan MSTIDs tertinggi adalah sebelum tengah malam antara

bulan Mei dan Juli. Meskipun Shiokawa et al (2006) telah melakukan analisis rinci dari MSTIDs di lintang khatulistiwa, keterkaitan MSTID pada aktivitas matahari tidak diselidiki.

Fukushima et al (2012) juga melakukan studi MSTIDs di stasiun Kototabang dengan periode selama 7 tahun dari 2002-2009 saat aktivitas matahari menurun. Mereka menemukan tingkat terjadinya MSTIDs diamati menurun dengan penurunan aktivitas matahari. Selama 7 tahun pengamatan tersebut, mereka menemukan bahwa MSTIDs dominan dengan pergerakan ke arah selatan.

Di sektor Jepang, Shiokawa et al (2003) melakukan analisis statistik terjadinya MSTIDs di dua stasiun, Rikubetsu (43.5°N, 34.8°MLAT) dan Shigaraki (34.9°N, 25.4°MLAT), dari Oktober 1998 sampai September 2000. Hasil penelitiannya menunjukkan kejadian yang lebih besar dari MSTIDs adalah selama periode *solstice*, dengan puncak di *summer solstice*.

Di Arecibo, Garcia et al (2000) menyajikan analisis statistik dengan periode dari Januari 1997 sampai Maret 1998, yang menunjukkan terjadinya MSTIDs lebih besar selama *local winter*. Martini et al (2010) menyajikan sebuah studi untuk daerah Arecibo juga, berdasarkan analisis pada 942 malam yang dilakukan dari tahun 2002 sampai 2007. Hasil menunjukkan pola setengah tahunan dengan puncak terjadinya MSTIDs pada kedua *solstices*. Pimenta et al (2008b) menyajikan studi statistik untuk 5 tahun data tentang kemunculan MSTIDs di sektor lintang rendah, Brasil. Hasil penelitian mereka menunjukkan kemunculan yang lebih besar selama aktivitas matahari minimum, tanpa adanya kemunculan selama aktivitas matahari maksimum. Candido (2008), berdasarkan analisis dari 28 peristiwa kemunculan MSTIDs selama 7 tahun, yang juga diamati pada Cachoeira Paulista menemukan ketergantungan terbalik terjadinya MSTIDs dengan siklus matahari dan perilaku musiman, dengan puncak selama *local winter*.

Dalam makalah ini, kami menyajikan sebuah studi statistik kemunculan MSTIDs berdasarkan pengamatan menggunakan *airglow imager* yang diinstal di stasiun Chiang Mai, Thailand untuk lintang rendah periode tahun 2010-2013 dan melihat ketergantungannya pada aktivitas matahari.

3. Data dan Metode

Untuk mengamati *airglow* malam hari, kami menggunakan *all-sky airglow imager* (ASI)

diinstal pada Februari 2010 di Sirindhorn Observatory (18,8° N latitude, 98,9° E longitude, 13° dip latitude) di Chiang Mai, Thailand yang memiliki hubungan konjugasi magnetik dengan Kototabang, Indonesia. Penginstalan ASI ini sebagai bagian dari kerangka *Southeast Asia Low-latitude Ionospheric Network* (SEALION) yang dikembangkan dikawasan Asia Tenggara oleh NICT.

Dalam penelitian ini kami menggunakan emisi OI 630nm dengan ketinggian emisi lapisan adalah sekitar 200-300 km. Persamaan (3-1) - (3-3) menunjukkan reaksi fotokimia dari *airglow* dengan panjang gelombang 630nm. OI 630nm dipancarkan melalui rekombinasi disosiatif ion molekul oksigen (O_2^+) yang dihasilkan oleh reaksi pertukaran muatan antara ion atom oksigen (O^+) dan molekul oksigen netral (O_2). Kerapatan ion atom oksigen (O^+) hampir sama dengan kerapatan elektron di lapisan F.

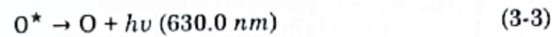
Agar dapat membedakan dengan jelas pergerakan meridional dan zonal dari MSTIDs, kami menggunakan keograms di deviasi intensitas *airglow*. Deviasi $\Delta I(t)$ didefinisikan sebagai;

$$\Delta I(t) = \frac{I(t) - I_a(t)}{I_a(t)} \tag{3-4}$$

Dimana $I(t)$ adalah intensitas *airglow* pada waktu t dan $I_a(t)$ adalah intensitas rata-rata *airglow* untuk $t \pm 30$ menit.

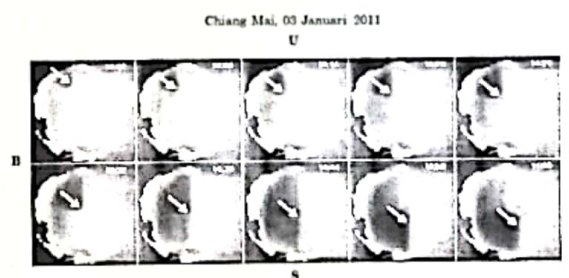
Analisis statistik MSTIDs diamati selama periode 4 tahun dari 2010-2013. Kemunculan MSTIDs ini diamati di emisi 630nm *airglow imager* ketika kondisi langit yang jelas/cerah. Untuk membedakan struktur MSTID dari awan, kami membandingkan citra dua dimensi dan keograms dari *airglow* 630nm dengan emisi dari OH *airglow* pada panjang gelombang 720-910 nm. Citra OH *airglow* diperoleh dengan peralatan *imager* yang sama untuk *airglow* 630nm. Karena awan dapat ditemukan baik pada citra 630nm dan OH, kami bisa mengidentifikasi struktur MSTID yang terlihat hanya pada citra 630nm.

Ketinggian puncak kerapatan elektron lapisan F adalah 400 km, sedangkan kerapatan molekul oksigen netral (O_2) meningkat dengan penurunan ketinggian. Dengan demikian emisi 630nm adalah di sisi bawah lapisan F pada ketinggian 200-300 km. Jika ketinggian lapisan F menurun, emisi 630nm akan meningkat, karena plasma lapisan F (ion-ion O^+) bereaksi dengan molekul oksigen kerapatan tinggi di ketinggian yang lebih rendah. Dengan demikian, *airglow* dengan panjang gelombang 630nm merupakan suatu indikator dari ketinggian dan kerapatan plasma lapisan F (Shiokawa et al. 2006);



4. Pembahasan

Gambar 4-1 menunjukkan urutan citra emisi OI 630 nm yang diperoleh pada tanggal 3 Januari 2011 malam hari, antara jam 21:02 LT dan 21:56 LT. Dari gambar dapat dilihat struktur pita gelap yang melintasi bidang pandang *imager* menuju arah Tenggara, sedangkan tanda panah putih menunjukkan posisi MSTIDs di setiap citra *airglow*. Kecepatan penjaralan MSTIDs diperkirakan ~60 m/s yang diketahui dari kecepatan angin netral di ketinggian yang sama.

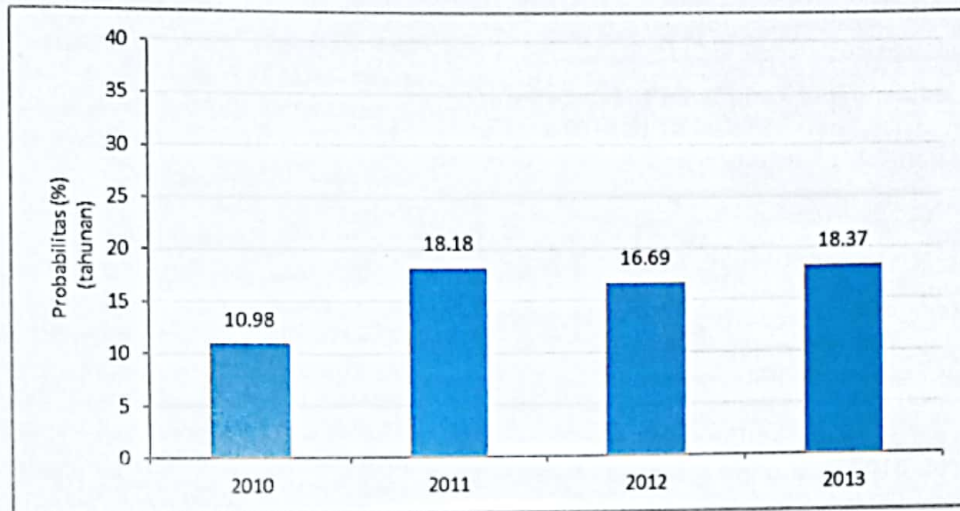


Gambar 4-1. MSTIDs teramati di stasiun Chiang Mai Tanggal 3 Januari 2011.

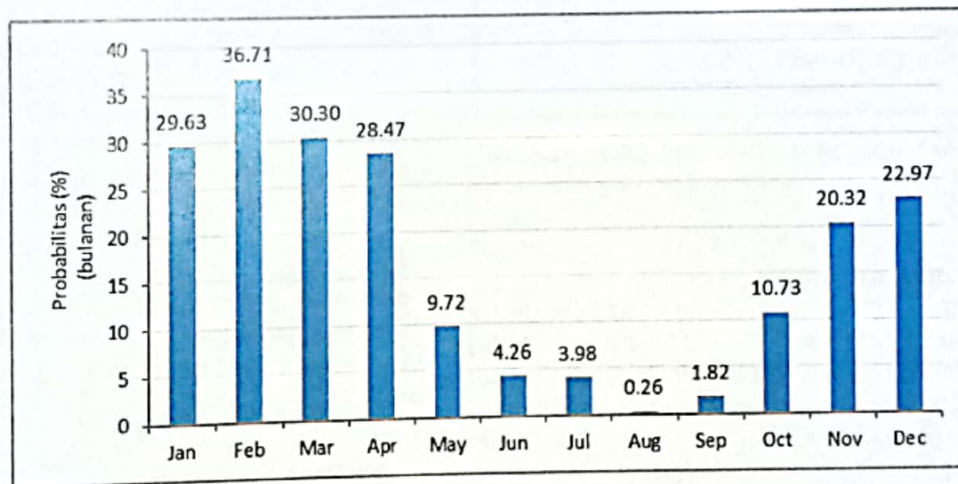
Grafik yang ditunjukkan pada gambar 4-2 adalah grafik probabilitas kondisi langit cerah yang terjadi pada malam hari di stasiun Chiang Mai dari 2010-2013 untuk variasi tahunan, sedangkan grafik pada Gambar 4-3 menunjukkan probabilitas kondisi langit cerah yang dikelompokkan berdasarkan variasi musimannya

selama aktivitas matahari menaik. Pengamatan kemunculan MSTIDs hanya dapat dilakukan saat kondisi langit malam hari cerah dan

berbintang, jika ditemui kondisi berawan, hujan atau bulan purnama maka pengamatan tidak dapat dilakukan.



Gambar 4-2. Probabilitas kondisi langit cerah dari 2010-2013



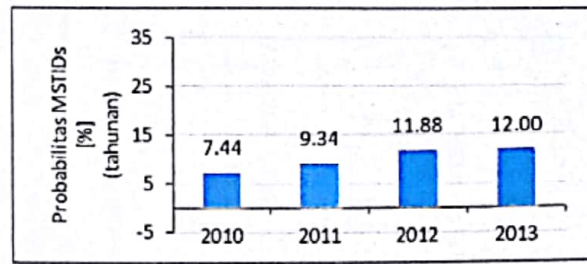
Gambar 4-3. Probabilitas kondisi langit cerah setiap bulannya selama 2010-2013

Dari Gambar 4-2 di atas terlihat kondisi langit cerah di stasiun Chiang Mai selama 2010-2013 mengikuti pola aktivitas matahari yaitu pola menaik, sedangkan pada gambar 4-3 untuk kondisi langit cerah setiap bulannya terlihat puncak maksimum ada di bulan Februari – Maret sebesar 36,71% dan 30,30%.

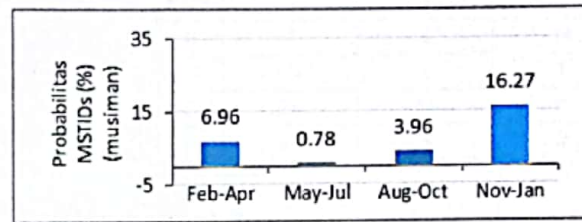
Gambar 4-4 sampai dengan Gambar 4-6 menunjukkan tingkat terjadinya MSTIDs yang diamati setiap tahun dari 2010-2013: dalam 4 musim: Februari-April, Mei-Juli, Agustus-Oktober, dan November-Januari; dan dalam tiga interval waktu: 20:00-22:00, 23:00-01:00, dan 02:00-04:00 LT, masing-masingnya.

Dari Gambar 4-4, tingkat kemunculan di tahun 2010 adalah 7,44% dan adalah yang terendah selama 4 tahun pengamatan. Tingkat kejadian kemudian menaik dengan menaiknya aktivitas matahari. Dari Gambar 4-5, tingkat kemunculan dibulan November-Januari adalah 16,27% dan merupakan yang tertinggi dari ke 4 musim. Sedangkan pada Gambar 4-6, tingkat kejadian di 20.00-22.00 LT (pra-tengah malam) adalah yang tertinggi dari interval tiga buah pembagian waktu, kemudian menurun dari pra ke pasca-tengah malam, dan kembali naik menjelang pagi hari.

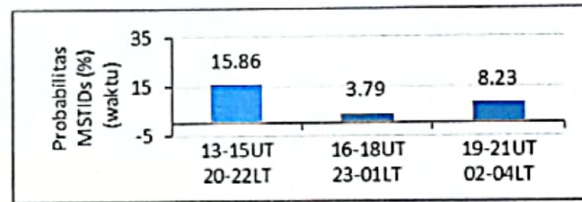
Ketergantungan musim terhadap tingkat kemunculan MSTIDs hampir sama dengan yang ditemukan oleh Shiokawa et al (2006) dan Fukushima et al (2012), tetapi berbeda terhadap interval waktu kemunculannya, terutama waktu kemunculan menjelang pagi hari. Kemunculan MSTIDs di Chiang Mai selama tahun 2010-2013 dominan setelah matahari terbenam, menurun pada saat tengah malam dan kemudian kembali menaik sebelum matahari kembali muncul di pagi hari.



Gambar 4-4. Probabilitas kemunculan MSTIDs selama 2010-2013



Gambar 4-5. Probabilitas kemunculan MSTIDs berdasarkan musim sepanjang 2010-2013



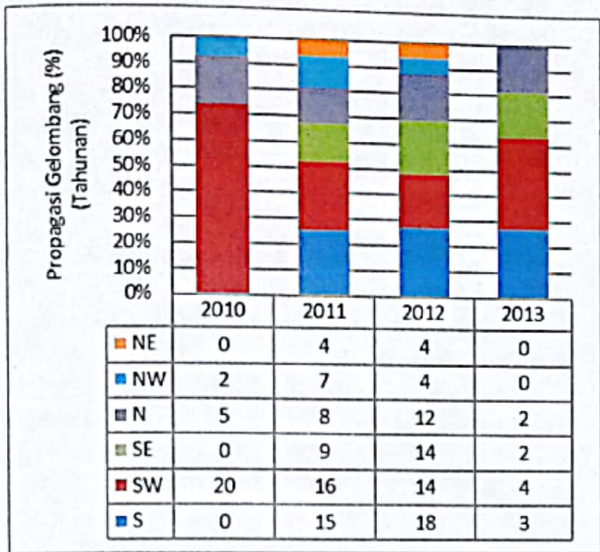
Gambar 4-6. Probabilitas kemunculan MSTIDs berdasarkan waktu kemunculannya

Gambar 4-7 sampai dengan Gambar 4-9, menunjukkan persentase arah propagasi gelombang dari MSTIDs diamati selama total 4 tahun dari tahun 2010-2013, dalam empat musim, dan dalam tiga interval waktu, masing-masingnya

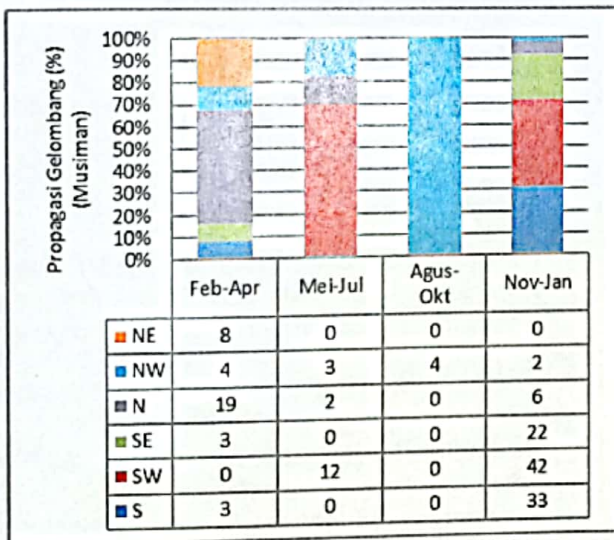
Kami mengkategorikan arah propagasi gelombang menjadi delapan arah. Pergerakan MSTIDs ke arah Timur dan Barat tidak diamati dalam citra 630nm. Pergerakan MSTIDs ke arah Selatan dan Barat Daya yang paling sering teramati di stasiun Chiang Mai. Sayangnya ketergantungan pada tahun, musim, dan waktu tidak terlalu jelas terlihat dalam angka-angka ini.

Gambar 4-10a dan 4-10b adalah keograms deviasi zonal dan meridional dari rata-rata pergerakan 1-h di stasiun Chiang Mai. Dalam gambar 4-10a, pergerakan MSTIDs ke arah selatan dapat dilihat pada jam 21:00-22:30 LT. Pada gambar 4-10b, kita melihat bahwa MSTIDs bergerak ke arah barat. Oleh karena itu, arah

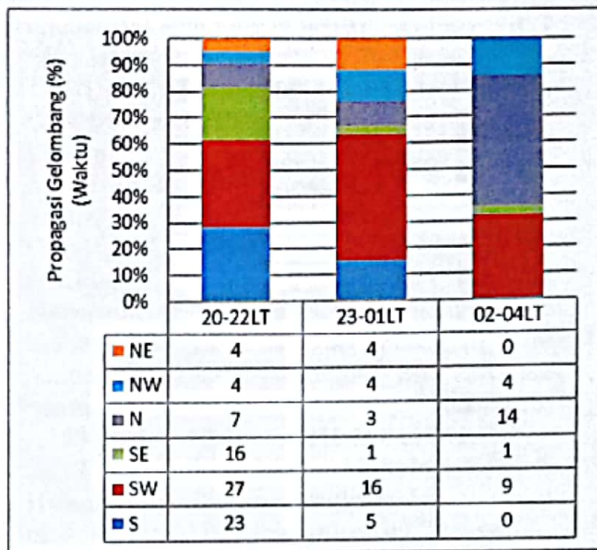
propagasi MSTIDs dikategorikan sebagai Selatan-Barat Daya.



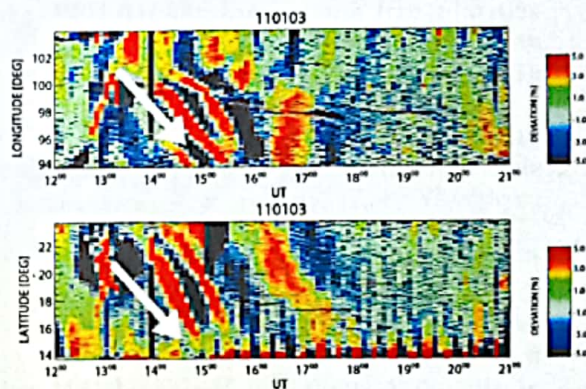
Gambar 4-7. Persentase arah propagasi gelombang MSTIDs setiap tahun dari 2010-2013



Gambar 4-8. Persentase arah propagasi gelombang MSTIDs berdasarkan 4 musim



Gambar 4-9. Persentase arah propagasi gelombang MSTIDs berdasarkan 3 interval waktu



Gambar 4-10. Kemunculan MSTIDs tanggal 3 Januari 2011 di stasiun Chiang Mai

5. Kesimpulan

Kami telah mengamati MSTIDs malam hari dengan menggunakan *airglow imager* dengan panjang gelombang 630nm di stasiun Chiang Mai, Thailand. Kami menganalisis kemunculan MSTIDs yang diamati selama periode 4 tahun dari tahun 2010-2013. Tingkat terjadinya MSTIDs diamati menaik dengan meningkatnya aktivitas matahari. Variasi musiman menunjukkan kemunculan MSTIDs lebih tinggi selama musim panas lokal (*local summer*), tingkat kemunculan dibulan November-Januari adalah 16,27% dan merupakan yang tertinggi dari ke 4 musim. Sedangkan tingkat kejadian di 20:00-22:00 LT (pra-tengah malam) adalah yang tertinggi dari interval tiga buah pembagian waktu, kemudian menurun dari pra ke pasca-tengah malam, dan kembali naik menjelang pagi hari. Arah MSTIDs yang paling sering teramati di stasiun Chiang Mai selama tahun 2010-2013 adalah ke arah Selatan dan Barat Daya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Y. Otsuka dari Stelab-Nagoya University karena telah memberikan kesempatan untuk berkunjung dan bekerja dilaboratorium mereka, M. Ishii dari NICT yang telah bersedia membantu penelitian ini dengan dukungan data *Airglow Imager* dari stasiun Chiang Mai, Thailand.

Rujukan

- Abdu, M.A., Batista, I.S., Kantor, I.J., & Sobral, J.H.A. (1982). Gravity wave induced ionization layers in the night F-region over Cachoeira Paulista (22°S, 45°W). *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 44(9): 759–767.
- Amorim, D.C.M., Pimenta, A.A., Bittencourt, J.A., & Fagundes, P.R. (2011). Long-term study of medium-scale traveling ionospheric disturbances using OI 630 nm all-sky imaging and ionosonde over Brazilian low latitudes. *J. Geophys. Res.*, 116: A06312, doi: 10.1029/2010JA016090
- Bowman, G.G. (1990). A review of some recent work on mid-latitude spread-F occurrence as detected by ionosondes. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 42: 109–138.
- Candido, C.M.N. (2008). Estudos de irregularidades do plasma ionosferico ' Seminar Nasional Sains Antariksa 2015 LAPAN Bandung, 22 November 2015
- equatorial e de baixas latitudes observadas no setor brasileiro. (INPE 15246 – TDI/1333). Doctorate thesis on Spatial Geophysics, INPE, Sao Jose dos Campos. 286 pp.
- De Abreu, A.J., Fagundes, P.R., Sahai, Y., Jesus, R., Bittencourt, J.A., Brunini, C., Gende, M., Pillat, V.G., Lima, W.L.C., Abalde, J.R., & Pimenta, A.A. (2010). Hemispheric asymmetries in the ionospheric response observed in the American sector during an intense geomagnetic storm. *J. Geophys. Res.*, 115: A12312, doi: 10.1029/2010JA015661.
- Garcia, F.J., Kelley, M.C., Makela, J.J., & Huang, C-S. (2000). Airglow observations of mesoscale low-velocity traveling ionospheric disturbances at midlatitudes. *J. Geophys. Res.*, 105(A8): 18,407–18,415.
- Hines, C.O. (1960). Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights. *Can. J. Phys.*, 38(11): 1441–1481.
- Hooke, W.H. (1968). Ionospheric Irregularities produced by internal atmospheric gravity waves. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 30(5): 795–823.
- Hunsucker, R.D. (1982). Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere – a review. *Rev. Geophys.*, 20(A2): 293–315.
- Kelley, M.C., & FUKAO, S. (1991). Turbulent upwelling of the mid-latitude ionosphere, 2. Theoretical Framework. *J. Geophys. Res.*, 96(A3): 3747–3753.
- Kelley, M.C, Makela, J.J., & Saito, A. (2000). On the electrical structure of airglow depletion/height layer bands over Arecibo. *Geophys. Res. Lett.*, 27(18): 2837–2840.
- Klausner, V., Fagundes, P.R., Sahai, Y., Wrasse, C.M., Pillat, V.G., & Becker-Guedes, F. (2009). Observations of GW/TID oscillations in the F 2 layer at low latitude during high and low solar activity, geomagnetic quiet and disturbed periods. *J. Geophys. Res.*, 114: A02313, doi: 10.1029/2008JA013448.
- Martinis, C., Baumgardner, J., Wroten, J., & Mendillo, M. (2010). Seasonal dependence of MSTIDs obtained from 630.0 nm airglow imaging at Arecibo. *Geophys. Res. Lett.*, 37: L11103.
- Mendillo, M., Baumgardner, J., Nottingham, M .D., Aarons, J., Reinish, B., Scali, I J., & Kelley, M. (1997). Investigations of thermospheric-ionospheric dynamics with 6300-Å images from the Arecibo

- observatory. *J. Geophys. Res.*, 102(A4): 7331–7343.
- Pimenta, A.A., Amorim, D.C.M., & Candido, C.M.N. (2008b). Thermospheric dark band structures at low latitudes in the Southern Hemisphere under different solar activity conditions: A study using OI 630 nm emission all-sky images. *Geophys. Res. Lett.*, 35: L16103.
- Shiokawa, K., Ihara, C., Otsuka, Y., & Ogawa, T. (2003). Statistical study of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using midlatitude airglow images. *J. Geophys. Res.*, 108: 1052.
- Shiokawa, K., Otsuka, Y., and Ogawa, T. (2006). Quasiperiodic southward moving waves in 630-nm airglow images in the equatorial thermosphere. *J. Geophys. Res.*, 111, A06301, doi:10.1029/2005JA011406.
- Shiokawa, K., Otsuka, Y., Ihara, C., Ogawa, T., and Rich, F. J. (2003). Ground and satellite observations of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbance at midlatitude. *J. Geophys. Res.*, 108(A4), 1145, doi:10.1029/2002JA009639.