



Received 08th August 2023
Accepted 16th November 2024
Published 10th January 2025

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v8i2.1529

Identifikasi Perambatan Gelombang Kelvin pada Fluktuasi Parameter Atmosfer di Wilayah Padang, Jakarta dan Pontianak Menggunakan Data Radiosonde dan GNSS-RO

Reza Afrilia Putri Haryandi ^{*a}, Noersomadi ^b, Jamrud Aminuddin ^c, Alyah Paratessa ^d, Disty Nada Almasah ^e, Wardani Retno Palutfi ^f

^{a,c,e} Program Studi Fisika, Universitas Jenderal Soedirman

^b Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional

^{d,f} Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan, Institut Teknologi Sumatera

* Corresponding E-mail: rezaafrilia36@gmail.com

Abstract: Analysis of the Kelvin waves propagation in the fluctuations of atmospheric temperature and zonal wind profiles was carried out by utilizing vertical atmospheric observation data from the radiosonde and GNSS-RO. The filtering method with the application of the Fast Fourier Transform (FFT) is used to identify the direction and fluctuation of temperature anomaly in the upper troposphere to the lower stratosphere. The results show temperature anomaly and zonal wind anomaly perturbations exhibit a characteristics of Kelvin waves propagation. The downward propagation of temperature and zonal winds anomalies indicate a time scale periodicity with 7-10 days and 10-20 days, respectively. The temperature perturbations observed with radiosonde range at intervals of -4 to 4 K. Meanwhile, the temperature fluctuations by GNSS-RO range at -3 to 3 . The zonal wind anomaly varies between -30 and 10 m.s⁻¹.

Keywords: Kelvin waves, temperature, zonal winds

Abstrak: Analisis perambatan gelombang Kelvin pada fluktuasi profil temperatur dan angin zonal atmosfer dilakukan dengan memanfaatkan data pengamatan vertikal atmosfer dari radiosonde dan GNSS-RO. Metode filtering dengan penerapan *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk mengidentifikasi arah dan fluktuasi perambatan anomali temperatur di lapisan troposfer atas hingga stratosfer bawah. Hasil menunjukkan bahwa perturbasi anomali temperatur dan anomali angin zonal merepresentasikan karakteristik perambatan gelombang Kelvin. Perambatan ke bawah anomali temperatur dan anomali angin zonal berpropagasi dengan skala waktu 7-10 harian serta 10-20 harian. Anomali temperatur berfluktuasi dengan interval nilai -4 sampai 4 K untuk data radiosonde dan -3 hingga 3 K untuk data GNSS-RO. Fluktuasi anomali angin zonal berkisar pada rentang -30 hingga 10 m.s⁻¹.

Kata Kunci : Gelombang kelin, temperatur, angin zonal

Pendahuluan

Perubahan iklim memiliki efek yang bersifat multisektoral dan berpengaruh langsung terhadap kehidupan manusia serta lingkungannya [1]. Gejala yang dapat dirasakan dari perubahan iklim antara lain adalah peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian cuaca ekstrem, kenaikan permukaan air laut, waktu pergantian musim, serta peningkatan suhu permukaan bumi [2]. Penyebab mendasar dari terjadinya perubahan iklim adalah karena perbedaan masukan serta keluaran energi di permukaan bumi. Selain itu, perubahan iklim dapat pula dipicu oleh berbagai proses dinamika

atmosfer [1],[3]. Salah satu fenomena dinamika atmosfer yang berpengaruh terhadap variasi iklim adalah gelombang atmosfer ekuatorial. Perambatan gelombang atmosfer ekuatorial dapat menyebabkan osilasi pada temperatur, tekanan dan angin yang cukup untuk memicu perubahan cuaca skala besar [4]. Gelombang atmosfer ekuatorial juga dipercaya memiliki peran dalam proses transfer energi [3], serta peningkatan curah hujan ekstrem di suatu wilayah [18]

Gelombang atmosfer ekuatorial merupakan gelombang yang terperangkap di sekitar daerah khatulistiwa. Gelombang atmosfer ekuatorial terbentuk akibat



pemanasan adiabatik dari konveksi tropis [6]. Perambatan gelombang ekuatorial memiliki frekuensi yang bervariasi mulai dari harian hingga mingguan. Gelombang ekuatorial menyebar secara zonal di lintang rendah dengan skala sinoptik hingga planeter.

Gelombang ekuatorial skala planeter adalah gelombang yang merambat ke arah timur dan barat di atmosfer sekitar khatulistiwa. Gelombang ekuatorial skala planeter yang sering muncul diantara lapisan stratosfer bawah hingga troposfer atas yakni gelombang Kelvin dan Rossby-gravity [5]. Penelitian ini akan berfokus untuk menganalisis gelombang Kelvin yang muncul di daerah Indonesia.

Secara umum, gelombang Kelvin didefinisikan sebagai gelombang yang merambat dari barat ke arah timur. Perambatan gelombang Kelvin memiliki periode sekitar 7-20 harian dengan panjang gelombang antara 3000-7000 km [17]. Gelombang Kelvin dengan periode perambatan yang lambat, yakni sekitar 10-20 hari berperan dalam dinamika stratosfer bawah. Sementara itu, gelombang Kelvin yang memiliki periode perambatan cepat (6-10 hari) biasanya terdeteksi di seluruh lapisan stratosfer [19]. Gelombang Kelvin memiliki struktur gaussian di garis lintang dengan amplitudo maksimum pada angin zonal, suhu, kecepatan vertikal, dan tekanan di ekuator. Sementara itu, tidak terdapat perturbasi angin meridional yang terkait dengan gelombang Kelvin [6], [7].

Pada lingkup atmosfer, gelombang Kelvin memegang peran penting dalam dinamika atmosfer tropis karena diduga sebagai pemicu dari fenomena *Madden Julian Oscillation* (MJO) dan *Quasi Biennial Oscillation* (QBO) [8]. QBO merupakan salah satu parameter yang diperhitungkan untuk memprediksi kemunculan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) di Indonesia, serta dapat mempengaruhi aktivitas transport ozon [9]. Fenomena MJO berdampak pada peningkatan aktivitas konvektif dan berpengaruh besar terhadap kondisi cuaca di wilayah tropis yang dilewatinya [10]. Dengan demikian, investigasi gelombang Kelvin penting untuk dilakukan terutama menggunakan pengamatan vertikal, baik dari permukaan ataupun satelit.

Investigasi terkait perambatan gelombang Kelvin pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data parameter atmosfer seperti temperatur, kelembapan dan angin. Data parameter atmosfer diperoleh dari hasil pengamatan instrumen radiosonde dan *Global Navigation Satellite System Radio Occultation* (GNSS-

RO). Radiosonde dan GNSS-RO menyediakan data harian profil atmosfer yang dapat digunakan untuk berbagai penelitian sains atmosfer. Fokus utama penelitian kali ini adalah mengidentifikasi perambatan gelombang Kelvin pada fluktuasi parameter temperatur, kelembapan dan angin di wilayah Indonesia, khususnya Padang, Jakarta dan Pontianak.

Metode

Radiosonde

Radiosonde merupakan seperangkat sensor pengukur unsur-unsur cuaca yang diterbangkan oleh balon dengan kecepatan tertentu [11]. Penelitian ini memanfaatkan data parameter atmosfer yang diukur oleh radiosonde berupa temperatur (T), kelembapan spesifik (q), dan komponen angin zonal (u) yang diperoleh melalui website *University of Wyoming* (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Website tersebut menyediakan data parameter atmosfer dari hasil pengukuran radiosonde setiap jam 00 UTC dan 12 UTC. Sampel data setengah harian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pengukuran pada stasiun Padang, Jakarta dan Tarakan dengan koordinat yang ditampilkan pada **Tabel 1**. Data parameter atmosfer diolah menjadi data anomali dan dibuat plot deret waktu untuk dianalisis.

Table 1. Stasiun pengamatan radiosonde.

No	Kode	Stasiun	Longitude	Latitude	Ketinggian
1	96163	Padang	100.35	-0.88	3 m
2	96749	Jakarta	106.65	-6.11	8 m
3	96581	Pontianak	109.40	-0.15	3 m

GNSS-RO

Selain parameter atmosfer dari radiosonde, penelitian ini juga menggunakan data temperatur (T) dan kelembapan spesifik (q) pengamatan GNSS-RO. Data yang digunakan merupakan hasil pengamatan per-hari untuk wilayah Padang, Jakarta dan Pontianak periode Januari hingga Mei 2023. GNSS-RO merupakan Teknik penginderaan jauh yang memanfaatkan satelit untuk mengukur parameter atmosfer dengan akurasi dan resolusi vertikal tinggi dalam cakupan global [12]. Sama halnya dengan pengamatan radiosonde, data parameter atmosfer GNSSRO juga dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk kontur anomali untuk melihat fluktuasi dan arah perambatan temperatur disetiap daerah pengamatan.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak GNU-Octave untuk mengolah data pengamatan dari radiosonde dan GNSS-RO. Nilai parameter atmosfer diolah menggunakan metode interpolasi linear, dengan persamaan sebagai berikut:

$$y_n = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x_n - x_1) + y_1 \quad (1)$$

dimana x_1 dan y_1 adalah nilai variable pertama, x_2 dan y_2 adalah nilai variable kedua, x_n merupakan titik tengah diantara x_1 dan x_2 .

Untuk menganalisis perambatan gelombang temperatur dan komponen angin, diperlukan data anomali T, u dan v yang dicari dengan mengurangi nilai pengamatan terhadap nilai rata-ratanya. Data anomali temperatur GNSS-RO kemudian diolah menggunakan metode filtering yang memanfaatkan penerapan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mentransformasi sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi. Pada penelitian ini, metode FFT diterapkan pada filter data pengamatan GNSS-RO guna memperjelas arah dan fluktuasi perambatan gelombang temperatur. FFT dapat memfilter frekuensi yang berbeda-beda pada suatu sinyal [13]. Dalam aplikasinya, FFT berfungsi untuk menyelesaikan perhitungan *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang dapat mengubah sinyal dengan domain waktu menjadi domain frekuensi [14]. Secara matematis DFT didefinisikan dengan persamaan:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp \left[-\frac{2j\pi ux}{N} \right] \quad (2)$$

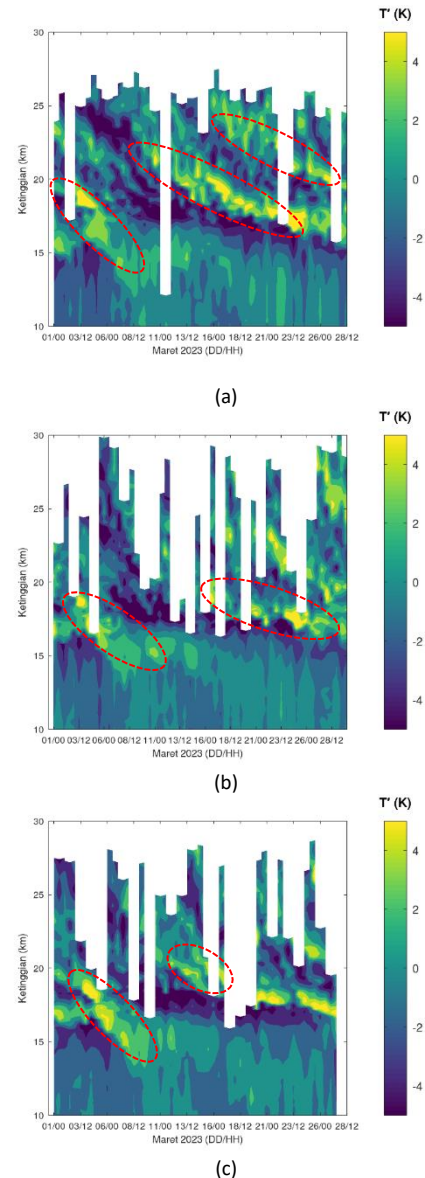
$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \left(\cos \left(\frac{2j\pi ux}{N} \right) - j \sin \left(\frac{2j\pi ux}{N} \right) \right) \quad (3)$$

dengan N merupakan banyaknya sampel yang diambil.

Hasil dan Pembahasan

Untuk mengidentifikasi perambatan gelombang Kelvin pada fluktuasi parameter atmosfer, dilakukan pemodelan data T, q, u dan v menggunakan software GNU Octave. Data pengamatan radiosonde dan GNSS-RO pada setiap daerah pengamatan ditampilkan dalam bentuk kontur deret waktu. **Gambar 1** merupakan kontur temperatur anomali (T') radiosonde wilayah Padang, Jakarta dan Pontianak periode Maret 2023. Nilai

T' radiosonde didapatkan melalui pengurangan data pengamatan dengan rerata temperatur sepanjang bulan Maret 2023.

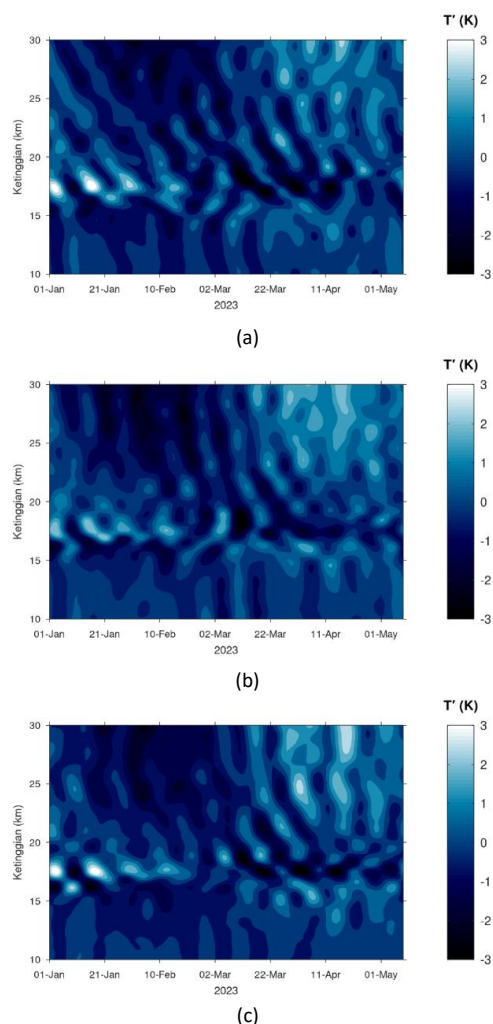


Gambar 1. Anomali temperatur data radiosonde periode Maret 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta dan (c) Pontianak. Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan perambatan anomali temperatur yang identik dengan gelombang Kelvin.

Berdasarkan **Gambar 1**, terdeteksi beberapa fluktuasi nilai T' . Fluktuasi T' yang signifikan dapat ditemukan mulai dari lapisan troposfer atas hingga stratosfer bawah, yakni setelah melewati ketinggian 15 km. Fluktuasi nilai T' ini dipercaya terjadi akibat pengaruh aktivitas gelombang Kelvin ekuatorial. Asumsi tersebut

didasari dengan studi yang menyebutkan bahwa gelombang Kelvin bergerak di lapisan stratosfer dengan amplitudo suhu yang besar [20].

T' pada Gambar 1 berfluktuasi dalam rentang -4 sampai 4 K. Nilai T' positif menunjukkan perubahan temperatur yang lebih hangat, sementara T' negatif menandakan perubahan temperatur yang lebih dingin. Perambatan T' positif pada wilayah Padang (Gb. 1a) terdeteksi muncul disekitar tanggal 1 Maret, 9 Maret dan 16 Maret. T' berfluktuasi dengan rentang waktu 7-10 harian yang identik dengan periode perambatan *Fast Kelvin Waves* [19]. Sementara itu, pada wilayah Jakarta dan Pontianak terdeteksi perambatan T' yang identik dengan periode *Slow Kelvin Waves* yakni 10-20 harian [19].



Gambar 2. Anomali temperatur data GNSS-RO periode Januari-Mei 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta dan (c) Pontianak.

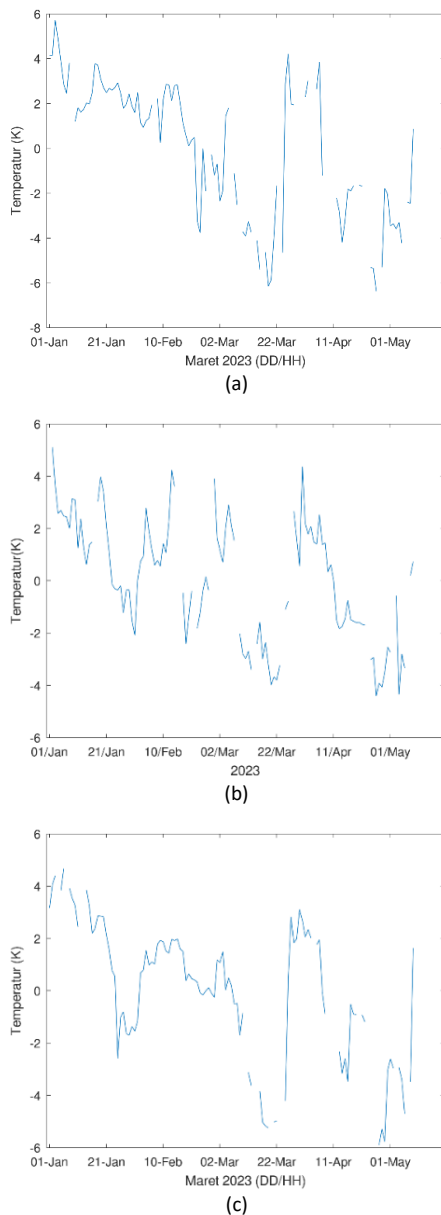
Analisis fluktuasi T' dalam penelitian ini juga dilakukan pada data pengamatan GNSS-RO. Data T' GNSS-RO diolah menggunakan metode filtering FFT untuk mengidentifikasi perambatan gelombang Kelvin. Filter FFT yang digunakan merupakan *high pass filter* dengan periode 10-20 harian. Hasil pengolahan data T' GNSS-RO ditampilkan pada **Gambar 2**.

Gambar 2 menunjukkan fluktuasi T' sepanjang bulan Januari hingga Mei 2023 di daerah Padang, Jakarta dan Pontianak. Fluktuasi T' berkisar antara -3 sampai 3 K. Nilai T' negatif ditunjukkan dengan warna yang semakin gelap, sementara nilai T' positif diwakilkan dengan warna yang semakin terang.

Menurut Shaaban, A. A., & Roundy, P. E. (2021) propagasi gelombang Kelvin ke arah bawah (*downward propagation*) dapat ditemukan di lapisan stratosfer. Pada penelitian ini, teridentifikasi perambatan T' ke arah bawah di ketinggian 30-15 km yang termasuk ke dalam lapisan stratosfer bawah dan troposfer atas (Gb. 2). Perambatan T' ke bawah terlihat berfluktuasi dengan periode *slow Kelvin waves*, yakni antara 10 hingga 20 hari. Jika kita lihat pada Gambar 2a, teridentifikasi T' positif pada 1 Januari 2023 di ketinggian 30 km. T' tersebut merambat ke arah kanan bawah dan berhenti di sekitar ketinggian 17-18 km pada pertengahan Februari 2023. Temperatur di ketinggian 17-18 km ini kemudian berfluktuasi menjadi lebih dingin selama pertengahan Februari hingga awal Maret 2023, dan kembali menghangat disekitar tanggal 3 Maret 2023.

Fluktuasi T' pada Gambar 2 paling dominan terjadi di sekitar ketinggian 17 km. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Randel dan Fei Wu tahun 2005 yang menyebutkan bahwa gelombang Kelvin memiliki amplitudo maksimum di dekat tropopause tropis, tepatnya sekitar ketinggian 17 km. Fluktuasi anomali temperatur di ketinggian 17 km wilayah Padang, Jakarta dan Pontianak ditampilkan pada **Gambar 3**.

Berdasarkan **Gambar 3a, 3b dan 3c**, terdeteksi kenaikan dan penurunan nilai T' yang signifikan di ketinggian 17 km sepanjang bulan Januari-Mei 2023. Nilai T' tertinggi di daerah Padang (**Gb. 3a**) menyentuh angka positif 6 K sementara T' terendah berkisar pada nilai -7 K. Pada wilayah Jakarta (**Gb. 3b**), nilai T' tertinggi berada pada angka sekitar 5 K dan nilai terendah menyentuh angka lebih dari -4 K. Sementara itu, nilai T' tertinggi di daerah Pontianak (**Gb. 3c**) berkisar antara 4-5 K, kemudian terjadi penurunan yang signifikan pada awal Mei 2023 menuju angka -6 K.

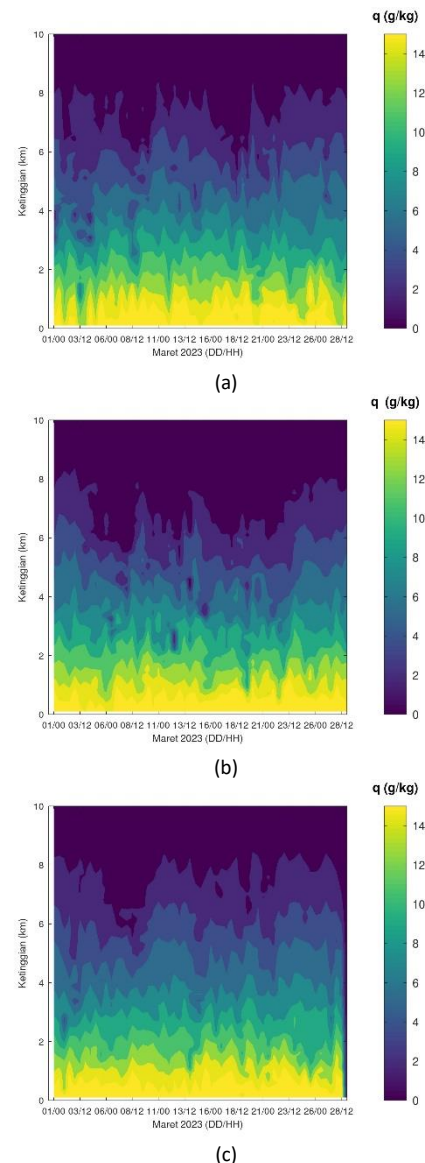


Gambar 3. Anomali temperatur pada ketinggian 17 km data GNSS-RO periode Januari-Mei 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta dan (c) Pontianak.

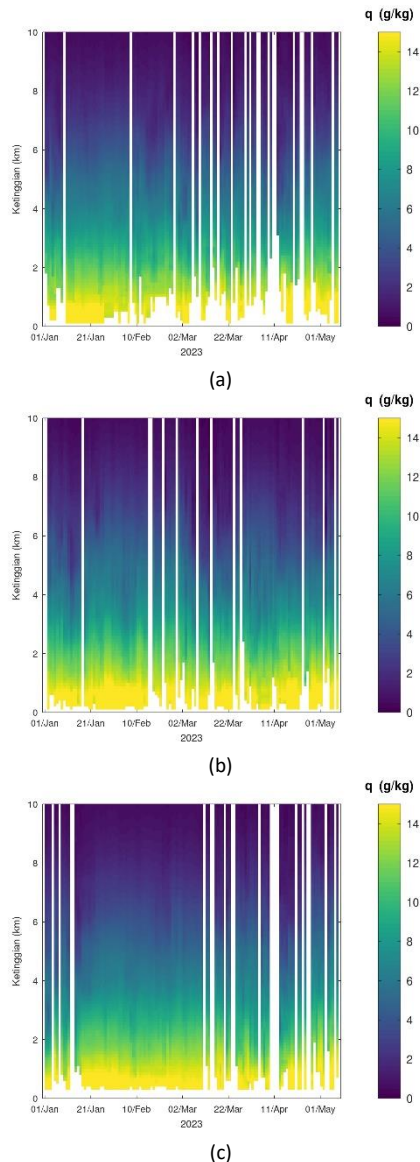
Perambatan fluktuasi T' pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** dapat diidentifikasi dengan jelas setelah melewati ketinggian 15 km. Hal ini diasumsikan terjadi karena pengaruh dari parameter kelembapan atmosfer. Menurut Takasuka, et. al., 2019, pembentukan gelombang atmosfer dapat dipengaruhi oleh stabilitas termal di udara. Udara yang semakin kering cenderung

memiliki kondisi termal yang lebih stabil dibandingkan udara lembab.

Penelitian ini menganalisis kondisi udara atmosfer melalui parameter kelembapan spesifik (q). Data q hasil pengamatan radiosonde dan GNSS-RO ditampilkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Kontur q radiosonde wilayah Padang, Jakarta dan Pontianak memiliki periode waktu sepanjang satu bulan Maret 2023. Sementara itu, kontur q GNSS-RO dibuat dengan rentang waktu yang lebih panjang, yakni periode bulan Januari-Mei 2023.



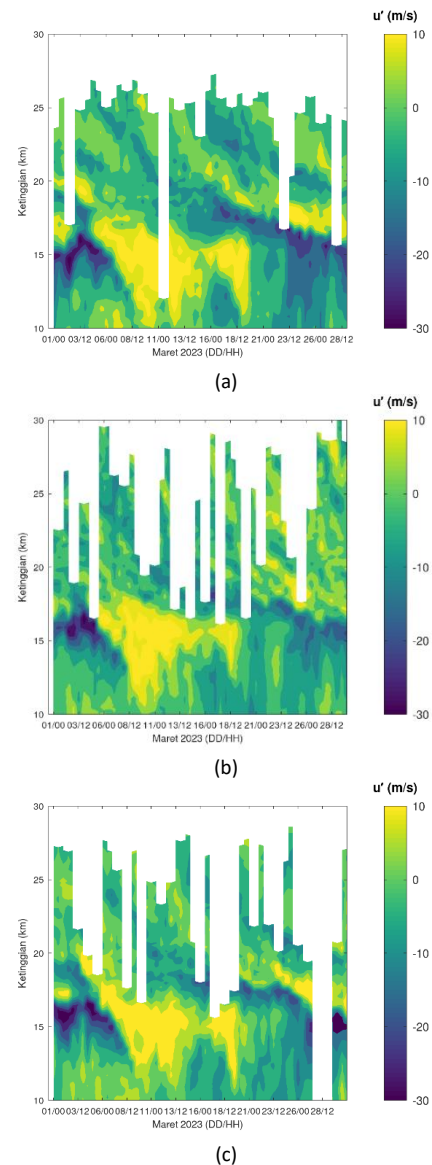
Gambar 4. Kelembapan spesifik data radiosonde periode Maret 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta dan (c) Pontianak.



Gambar 5. Kelembapan spesifik data GNSS-RO periode Januari-Mei 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta, dan (c) Pontianak.

Kontur q pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** menunjukkan distribusi nilai yang berkisar antara 0 hingga 14 g.kg^{-1} . Nilai q yang semakin tinggi merepresentasikan kondisi atmosfer yang lebih lembab, sementara nilai yang rendah menandakan keadaan sebaliknya. Nilai q yang mencapai 14 g.kg^{-1} terdeteksi di ketinggian 0-1 km. Seiring bertambahnya ketinggian, nilai q cenderung menurun hingga konstan pada angka 0 setelah melewati 10 km. Keadaan stabil $q = 0$ menjadi salah satu faktor fluktuasi T' baru terlihat pada ketinggian diatas 15 km. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa T'

berfluktuasi ketika q berada dalam keadaan kering, dimana udara atmosfer tidak dipengaruhi oleh uap air.



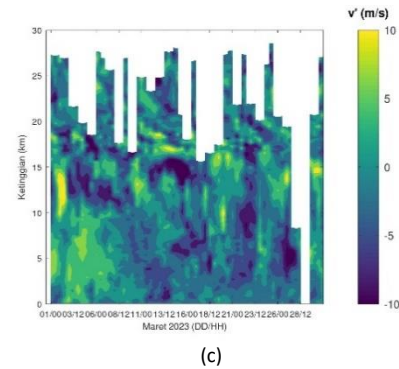
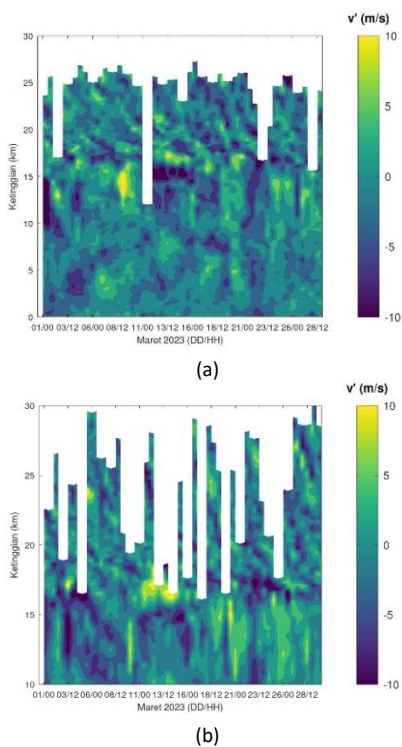
Gambar 6. Anomali angin zonal data radiosonde periode Maret 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta dan (c) Pontianak.

Selain terlihat melalui fluktuasi temperatur, perambatan gelombang Kelvin juga dapat dideteksi pada perturbasi angin zonal. Gelombang Kelvin dipercaya sebagai salah satu faktor yang mendorong pola gerakan angin zonal [24]. Pergerakan angin zonal ke arah timur menandakan adanya perambatan gelombang Kelvin.

Pada penelitian ini dilakukan analisis perambatan gelombang Kelvin pada fluktuasi anomali angin zonal

(u'). Data u' yang digunakan merupakan hasil pengamatan radiosonde wilayah Padang, Jakarta dan Pontianak periode Maret 2023. Hasil pengolahan data ditampilkan melalui kontur u' pada **Gambar 6**.

Berdasarkan **Gambar 6**, nilai fluktuasi u' di daerah Padang, Jakarta dan Pontianak berada diantara -30 hingga 10 m.s^{-1} . u' bernilai positif menunjukkan pergerakan angin ke arah timur, sementara nilai negatif menandakan pergerakan ke arah barat. Selama periode Maret 2023, terdeteksi adanya perambatan angin menuju ke arah timur dengan osilasi 10-20 harian. Pergerakan angin ke arah timur ini berhembus dari daerah Padang menuju Pontianak. Pola angin yang bergerak ke arah timur tersebut memenuhi ciri perambatan gelombang Kelvin.



Gambar 7. Anomali angin meridional data radiosonde periode Maret 2023 pada daerah (a) Padang, (b) Jakarta dan (c) Pontianak

Berbeda dengan komponen angin zonal, pertubasi anomali angin meridional (v') (**Gambar 7**) tidak menunjukkan pola perambatan gelombang Kelvin. Fluktuasi v' selama periode Maret 2023 lebih didominasi dengan osilasi skala 3-5 harian. Osilasi gelombang yang memiliki periode waktu serupa adalah gelombang *Mixed Rossby-Gravity* (MRG) [23]. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa komponen angin meridional lebih identik dengan perambatan gelombang MRG.

Kesimpulan

Perambatan fluktuasi yang identik terhadap gelombang Kelvin terlihat pada parameter temperatur dan komponen angin zonal. Perambatan anomali temperatur dan anomali angin zonal yang diamati pada penelitian ini berpropagasi ke arah timur. Fluktuasi temperatur terjadi di lapisan tropopause dengan ketinggian diatas 15 km. Anomali temperatur berfluktuasi dengan rentang interval -4 sampai 4 K untuk data radiosonde dan -3 hingga 3 K untuk data GNSS-RO. Fluktuasi anomali angin zonal berkisar antara -30 hingga 10 m.s^{-1} . Periode fluktuasi anomali temperatur dan anomali angin zonal yang teramati memiliki skala 7-10 harian serta 10-20 harian.

Konflik Kepentingan

Penulis dengan ini menyatakan bahwa dalam penelitian ini tidak ada konflik kepentingan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas bantuan fasilitas penelitian. Terimakasih kepada peneliti di Pusat Riset

Iklim dan Atmosfer (PRIMA) BRIN dan dosen Prodi Fisika Universitas Jenderal Soedirman atas dukungan serta bimbingan selama kegiatan. Penelitian ini didanai oleh Program Bantuan Riset Tugas Akhir (BARISTA) NOMOR 108/II/HK/2023 dan Program Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) No. RIIM-33398258871.

Referensi

- [1] P. Setiani, Sains Perubahan Iklim. Jakarta Timur: PT Bumi Aksara, 2020.
- [2] H. A. rahman, "Global Climate Change and Its Effect on Human Habitat and Environment in Malaysia," *Malaysian Journal of Environmental Management*, vol. 10, pp. 17-32, Jan. 2009.
- [3] R. Syafina, Dasep, and Noersomadi, "Pemodelan Perambatan Gelombang Mixed Rossby-Gravity di Lapisan Stratosfer Bawag Menggunakan Algoritma Linier Gauss-Newton," *Jurnal EurekaMatika*, vol. 10, pp. 79-92, Des. 2022.
- [4] M. C. Wheeler, "Tropical Meteorology Equatorial waves," *Encyclopedia op Atmospheric Sciences, Second Editition*, vol. 6, pp. 102-112, Feb. 2015.
- [5] N. Cornelius A, "Identifikasi Gelombang Kelvin di Lapisan Tropopause Indonesia Bagian Barat dengan Menggunakan Data Sounding NOAA," *Jurnal Sains & Teknologi Modivikasi Cuaca*, vol 11. Pp. 19-27, Jun. 2010.
- [6] J. R. Holton, An Introduction to Dynamic Meteorology Fourth Edition. Elsevier Academic Press, 2004.
- [7] T. Matsuno, "Quasi-geostropic Motion in the Equatorial Area," *J. Meteorol. Soc. Jpn*, Vol. 4. Pp 25-42, Feb. 1966.
- [8] S. W. Lubis, S. Setiawan, "Identifikasi Gelombang Kelvin Atmosfer Ekuatorial di Indonesia Berbasis Data NCEP/NCAR Reanalysis I," *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, vol. 10, pp.71-82, Dec. 2010.
- [9] N. Ambarsari, E. Yulihastini, " Pengaruh Osilasi Tahunan dan ENSO terhadap variabilitas ozon total Indonesia," *Jurnal Teknologi Indonesia*, vo. 34, pp. 90-97, 2011.
- [10] S. Maharani, H. A. Rejeki, "Pengaruh Propagasi Madden Julian Oscillation (MJO) di Benua Maritim Indonesia (BMI) Terhadap Siklus Diurnal Dinamika Atmosfer dan Cuaca Hujan di Provinsi Lampung Tahun 2018," *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, vol. 22, pp. 71-84, Dec. 2021.
- [11] P. Setiawan, dkk, "Estimasi Air Mampu Curah Menggunakan Data Modis Sebagai Informasi Spasial di Pulau Jawa," *Jurnal Penginderaan Jauh*, vol. 3, pp. 64-76, Jun. 2006.
- [12] C. Shu-Ya, dkk, "An Impact Study FNSS RO on the Prediction of Typhoon Nepartak (2016) Using a Multiresolution Global Model with 3D-Hybrid Data Assimilation," *American Meteorological Society Journals*, vol. 36, pp. 957-977, Jun. 2021.
- [13] D. T. Kusuma, *Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy* (AE) Musik," *Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatia*, vol. 14, pp. 28-35, Oct. 2020.
- [14] A. Y. Pratama, dkk, " Noise Handling pada Sinyal Seismik Menggunakan Fourier Transform," *E-Proceeding of Engineering*, vo. 7, pp. 4699-4710, Agustus 2020.
- [15] D. F. Andarini, Noersomadi, "Deteksi Pengaruh Gelombang Kelvin pada Fluktuasi Uap Air di Tropopause Menggunakan Model Inversi," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 34, pp. 63-71, Mar. 2020.
- [16] G. Y. Yang, B. J. Hoskins, J. M. Slingo, "Equatorial Waves in Opposite QBO Phase," *Journal of the Atmospheric Sciences*, vo. 66, pp. 839-862, April 2011.
- [17] G. N. Kiladis, M. C. Wheeler, P. T. Haertel, K. H. Straub & P. E. Roundy, "Convectively coupled equatorial waves," *Reviews of Geophysics*, vol. 47, pp. 1-42, April 2009.
- [18] F. R. Muhammad, C. Vincent , A. King & S. W. Lubis, "The Impacts of Convectively Coupled Equatorial Waves on Extreme Rainfall in Northern Australia," *American Meteorological Society Journals of Climate*, Aug. 2024.
- [19] E. Yigit, & A. S. Medvedev, "Internal wave coupling processes in Eart's atmosphere," *Advances in Space Rerearch*, vol. 55, pp. 983-1003, Fe. 2015.
- [20] J. M. Wallace, and V. Kousky, "Observational evidence of Kelvin waves in the tropical stratosphere," *J. Atmos. Sci.*, vol. 25, pp. 900-907, 1968.
- [21] A. A. Shabaan, & P. E. Roundy, "Upward and downward atmospheric Kelvin waves over the Indian Ocean," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 147, pp. 3154-3179, Jul. 2021.
- [22] W. J. Randel, and F. Wu, "Kelvin wave variability near the equatorial tropopause obserberd in GPS radio occultation measurments," *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, Feb. 2005.
- [23] D. Takasuka, & S. Yokoi, "Observational Evidence of Mixed RossbyGravity Waves as a Driving Force for the MJO Convective Initiation and Propagation," *Geophysical Research Letters*, vol. 46, May 2019.
- [24] M. Ern, and P. Preusse, "Wave fluxes of equatorial Kelvin waves and QBO zonal wind forcing derivverd from SABER and ECMWF temperature space-time spectra," *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 12, pp. 3957-3986, Jun. 2019.