

PARAMETER TROPOSFER DAN TROPOPAUSE DI KOTOTABANG DAN HUBUNGANNYA DENGAN TEMPERATUR PERMUKAAN

TROPOSPHERE AND TROPOPAUSE PARAMETERS AT KOTOTABANG AND ITS RELATIONSHIP WITH SURFACE TEMPERATURE

Ina Juaeni¹, Ginaldi Ari Nugroho¹, Soni Aulia Rahayu¹, Trismidianto¹, Safrijon¹, Ridho Pratama¹, Halimurrahman¹, Hiroyuki Hashiguchi², Toshitaka Tsuda²

¹Indonesian National Institute of Aeronautics and Space

² Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

Naskah masuk: 18 November 2019 Naskah diperbaiki: 15 November 2021 Naskah diterima: 15 Desember 2021

ABSTRAK

Penjalaran panas di atmosfer terjadi dari permukaan menuju lapisan di atasnya melalui radiasi gelombang panjang yang menyebabkan temperatur atmosfer semakin berkurang terhadap ketinggian. Teori ini membentuk hipotesis bahwa ada hubungan antara parameter atmosfer permukaan dengan parameter troposfer. Berdasarkan hipotesis tersebut dilakukan studi terhadap kondisi troposfer pada skala lokal dan korelasinya dengan temperatur permukaan (ST) sebagai parameter proses penjalaran radiasi gelombang panjang. Parameter troposfer yang diteliti adalah *lapse rate* di troposfer (LRT), temperatur terdingin di troposfer (CPT-T), ketinggian temperatur terdingin troposfer (CPT-H) dan ketebalan troposfer (CPT-D). Semua parameter tersebut ditentukan dari data Radiosonde di Loka Pengamatan Antariksa dan Atmosfer di Kabupaten Agam, Sumatera Barat 100,32° BT; 0,20° LS, dengan ketinggian 865 m di atas permukaan laut, pada periode November 2002, April 2004, Agustus 2016 dan Maret 2018. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai CPT-T yang diperoleh antara -77,49 °C hingga -95,11 °C. Temperatur terdingin dicapai pada ketinggian 15600 m hingga 19650 m. *Lapse rate* di troposfer bervariasi dalam rentang yang cukup lebar -17 °C hingga 18 °C setiap 100 m. Variasi temporal menunjukkan terjadi perbedaan pada nilai maksimum dan minimumnya. Plot sebar antara ST dengan CPT-T/CPT-H/CPT-D menunjukkan adanya *trend* positif dan *trend* negatif. Keterkaitan *trend* negatif dengan aktivitas konveksi ditunjukkan dengan data tahun 2016 dan 2018. Perhitungan koefisien korelasi dengan menggunakan persamaan Pearson dan validasinya untuk semua data, menunjukkan bahwa ST tidak mempunyai hubungan dengan CPT-T, CPT-D ataupun CPT-H (koefisien korelasi perhitungan (r_p) < koefisien korelasi tabel (r_T)).

Kata kunci: Temperatur permukaan, CPT-T, CPT-H, LRT, CPT-D

ABSTRACT

The heat propagation in the atmosphere occurs from the surface to above through long-wave radiation which causes the atmospheric temperature to decrease with altitude. This theory forms the hypothesis that there is a relationship between surface atmospheric parameters and troposphere parameters. Based on this hypothesis, a study was conducted on the local troposphere condition and its correlation with surface temperature (ST) as a long-wave radiation propagation process parameter. The troposphere parameters studied were the lapse rate in the troposphere (LRT), the coldest temperature in the troposphere (CPT-T), the altitude of the coldest temperature in the troposphere (CPT-H) and the thickness of the troposphere (CPT-D). All parameters are determined from the Radiosonde data at the Atmospheric and Space Observation Center in Agam Regency, West Sumatra 100.32° E; 0.20° S, with an altitude of 865 m above sea level, in November 2002, April 2004, August 2016 and March 2018. The results show that the CPT-T values obtained are between -77.49 °C to -95.11 °C. The coldest temperatures are reached at an altitude of 15600 m to 19650 m. The lapse rate in the troposphere varies in a fairly wide range of -17 °C to 18 °C every 100 m. The temporal variations show a difference in the maximum and minimum values. The scatter plot between ST and CPT-T/CPT-H/CPT-D shows the positive and the negative trend. The correlation of negative trend and convective activity is shown by the 2018 data. Determination of the correlation coefficient using the Pearson equation and its validation for all data shows there is no relationship between ST and CPT-T, CPT-D, or CPT-H (calculated correlation coefficient (r_p) < table correlation coefficient (r_T)).

Key words: Surface temperature, CPT-T, CPT-H, LRT, CPT-D

1. Pendahuluan

Troposfer adalah lapisan atmosfer dimana terjadi semua jenis cuaca yang berpengaruh besar terhadap kehidupan di bumi. Pengaruh troposfer terhadap lapisan di atasnya disinggung dalam referensi [1] bahwa *Tropical Tropopause Layer* (TTL) penting sebagai wilayah tempat masuknya udara ke stratosfer dan referensi [2] menunjukkan bahwa troposfer menciptakan batas atas *mixing ratio* uap air stratosfer. Karena perannya sedemikian penting dalam berbagai proses yang terjadi di dalam lapisan itu sendiri maupun lapisan di atasnya (lapisan stratosfer bawah), maka mendeteksi kondisi setiap saat dan perubahan yang terjadi di troposfer sangat diperlukan. Beberapa parameter yang digunakan untuk mempelajari kondisi troposfer/tropopause adalah temperatur terdingin (*Cold Point Tropopause- Temperatur/CPT-T*), ketinggian/tebal tropopause (*Cold Point Tropopause-Height/CPT-H* atau *Cold Point Tropopause-Depth/CPT-D*) dan laju temperatur troposfer (*Lapse Rate Tropopause/LRT*).

Penelitian tentang hubungan troposfer dan parameter lain pada [3] menunjukkan bahwavariabilitas titik terdingin tropopause (CPT-T) tropis berhubungan dengan aktivitas konveksi. Anomali CPT-T negatif seiring dengan anomali radiasi gelombang panjang negatif yang diduga berkaitan dengan peningkatan konveksi yang berlangsung selama 2 sampai 10 hari [3]. Panas yang ada di troposfer berasal dari panas radiasi gelombang panjang dari permukaan bumi, sehingga ketika panas/temperatur di permukaan mendapat gangguan, salah satunya karena ada aktifitas konveksi maka kondisi atmosfer di troposfer menunjukkan indikasi adanya gangguan tersebut. Dengan data yang diperoleh dari *Global Positioning System* (GPS) *Radio Occultation* [4] juga menemukan hal yang sama bahwa anomali CPT-T berhubungan dengan aktivitas konveksi.

Penelitian terkait variabilitas yang dilakukan dalam [5] menunjukkan bahwa variasi CPT-T musiman di Gadanki (India) berbeda dengan CPT-T di wilayah Pasifik barat, padahal fitur lain menunjukkan kesamaan. CPT-T di Gadanki berada di bawah nilai 191° K mulai Desember sampai Mei. Ketebalan troposfer berkurang pada musim panas dan berkorelasi kuat dengan temperatur puncak awan (TBB). CPT-H dan CPT-T berturut-turut berfluktuasi sebesar ~ 1 km dan $\sim 3^{\circ}$ K. Menariknya, pada saat langit cerah, CPT-H dan CPT-T meningkat. Pada [5], korelasi yang kuat nampak antara LRT dan temperatur pada skala subharian seperti yang ditemukan dalam [3] dan [4], pada [5] CPT-H meningkat sekitar $\sim 0,6$ sampai $0,8$ km pada beberapa kasus dan berkurang sekitar ~ 1 km pada kasus lain, selama konveksi.

Studi serupa dilakukan dalam [6]. Studi dilakukan untuk skala waktu kurang dari satu hari sampai satu harian dengan menggunakan data Radiosonde/ radar VHF. Dalam penelitiannya, [6] menunjukkan bahwa aktivitas konveksi dan pasang surut harian sangat mungkin menyebabkan terjadi variasi ketinggian tropopause tropis. Penelitian serupa menunjukkan adanya modulasi pasang surut pada ketinggian tropopause [7]. Variasi harian tropopause dari data radiosonde dalam [8] dan [9] juga menunjukkan keterkaitan dengan aktivitas konveksi. Sementara hubungan kondisi tropopause dengan aktivitas gelombang planeter ditunjukkan dalam [10] dan [11].

Gerhana matahari juga diduga berpengaruh terhadap variasi temperatur di troposfer dan tropopause. Pengukuran temperatur troposfer dan stratosfer bawah dilakukan di Thumba Equatorial Rocket Launching Station (TERLS) ($8,5^{\circ}$ LU; $76,9^{\circ}$ BT) pada saat gerhana matahari sebagian (22 Juli 2009) dan pada saat *eclipse* tahunan (15 Januari 2010). Selama gerhana matahari sebagian, temperatur berkurang $2-3^{\circ}\text{C}$ di tropopause, di stratosfer bawah temperatur meningkat $\sim 2,6^{\circ}\text{C}$. Selama *eclipse* tahunan temperatur sekitar tropopause berkurang $\sim 2^{\circ}\text{C}$ [12].

Dari studi literatur di atas, dapat disimpulkan bahwa kondisi troposfer (CPT-T, CPT-H dan LRT) dapat di pantau melalui temperatur permukaan, pasang surut harian, gerhana matahari dan temperatur puncak awan karena keterkaitannya satu dengan yang lain. Semua parameter yang berpotensi sebagai prediktor seperti temperatur permukaan, gerhana matahari, pasang surut dan temperatur puncak awan, perlu diuji kesesuaiannya untuk wilayah Indonesia. Radiasi gelombang pendek matahari memanasi permukaan bumi, daratan, lautan tetapi tidak memanasi atmosfer, sedangkan radiasi gelombang panjang matahari diradiasikan dari permukaan ke lapisan udara di atasnya sehingga dasar troposfer adalah wilayah yang paling tinggi temperaturnya. Proses penjalaran gelombang panjang dari permukaan ke troposfer/tropopause menjadi dasar terbentuk hipotesis bahwa ada hubungan antara temperatur permukaan dengan kondisi troposfer/tropopause, jika ada perubahan pada temperatur permukaan diduga kondisi troposfer/tropopause juga berubah. Perubahan dapat terjadi dalam semua skala waktu, sesaat, harian, bulanan, tahunan, atau puluhan tahun. Sejalan dengan penjelasan di atas, makalah ini memuat hasil penelitian terhadap variasi parameter troposfer (CPT-T, CPT-H, CPT-D dan LRT) dan hubungannya dengan temperatur permukaan (ST) sebagai parameter proses penjalaran radiasi gelombang panjang untuk lokus Kototabang (Sumatera Barat).

2. Metode Penelitian

Seperti telah disinggung pada pendahuluan, parameter troposfer yang dievaluasi adalah LRT, CPT-T, CPT-H dan CPT-D. Parameter-parameter tersebut dievaluasi dari data Radiosonde yang diluncurkan di Loka Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Kabupaten Agam, Sumatera Barat (100,32° BT; 0,20 °LS, dengan elevasi 865 m di atas permukaan laut). Data Radiosonde yang digunakan adalah data pada periode 01 November sampai dengan 29 November 2002, 10 April sampai dengan 10 Mei 2004, 30 Agustus sampai dengan 02 September 2016, dan 05 Maret sampai dengan 09 Maret 2018. Dua data pertama diperoleh dari RISH Kyoto University, sedangkan dua data terakhir diperoleh dari peluncuran langsung oleh peneliti PSTA-LAPAN. Peluncuran radiosonde dilakukan minimal 2 kali sehari dengan jumlah data 171 untuk tahun 2002, 126 data untuk tahun 2004, 12 data untuk tahun 2016 dan 9 data untuk tahun 2018. Jadwal peluncuran Radiosonde diusahakan sesuai standar waktu WMO (pukul 06:00, pukul 12:00 dan pukul 18:00), tetapi jadwal dapat dimajukan atau dimundurkan disesuaikan dengan kondisi atmosfer saat itu misalnya jika angin terlalu kencang atau hujan sangat deras yang dapat mempengaruhi hasil pembacaan sensor radiosonde, seperti contoh kasus waktu peluncuran tahun 2016 dan 2018. Jadwal peluncuran radiosonde tahun 2016 dan 2018 diperlihatkan pada Tabel 1. Radiosonde yang digunakan pada tahun 2002 dan 2004 adalah Vaisala RS-92 dan pada tahun 2016 dan 2018 adalah Vaisala RS41-SG, S/N: M2710588.

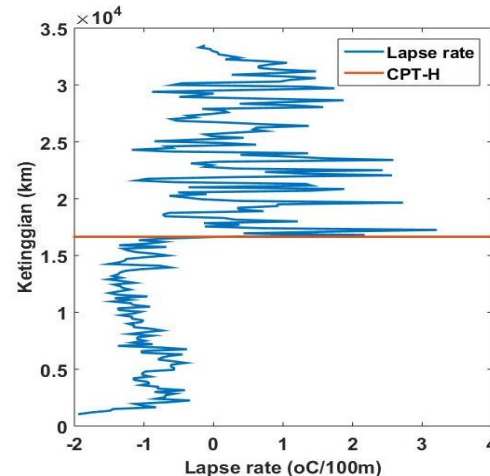
Tabel 1. Waktu peluncuran Radiosonde dan ketinggian maksimum tahun 2016 [13] dan 2018 [14]

Waktu setempat		Ketinggian maksimum (km)
2016/08/30	08:45	26,8
	11:12	25,9
	15:35	25,6
2016/08/31	07:27	26,1
	11:58	26,9
	19:01	24,6
2016/09/01	07:08	26,6
	10:55	24,4
	15:08	18,3
2016/09/02	07:22	25,5
	11:07	24,2
	18:55	20,7
2018/03/05	09:59	25,5
	12:27	24,5
2018/03/06	08:25	23,4
	11:41	26,7
2018/03/07	08:25	23,1
	12:39	21,7
2018/03/08	08:45	25,0
	Tidak ada peluncuran	Tidak ada peluncuran
2018/03/09	08:27	24,6
	11:49	25,5

3. Hasil dan Pembahasan

Secara umum, *lapse rate* atau penurunan temperatur terhadap ketinggian bervariasi dalam rentang yang cukup lebar (catatan: tanpa filter *outlier*) antara -17°C sampai 15°C per 100 m untuk tahun 2002, -11°C sampai 18°C untuk tahun 2004, -2°C sampai 4°C untuk tahun 2016 dan 2018. Kasus *lapse rate* untuk tanggal 1 November 2002 pukul 12:05:00 yang diperlihatkan pada Gambar 1 bervariasi dari -3°C sampai 5°C. Nilai *lapse rate* di troposfer bawah adalah negatif, berangsur-angsur meningkat seiring meningkatnya ketinggian sampai menjadi positif. Ketinggian dimana *lapse rate* tidak lebih dari 2°C/km atau 0,2°C/100 m atau mendekati nol adalah batas troposfer sesuai definisi WMO [5]. Batasan mengenai *lapse rate* kemudian menjadi acuan untuk menentukan CPT-T, CPT-H dan CPT-D. Pada kasus tanggal 1 November 2002 pukul 12:05:00, batas troposfer adalah pada ketinggian 16500 m, maka ketebalan troposfer adalah 15635 m (16500 m - 865 m).

Definisi parameter-parameter tersebut diatas menghasilkan nilai-nilai CPT-T, CPT-H, dan CPT-D untuk masing-masing periode data, nilai-nilai jangkauannya diperlihatkan pada Tabel 2. Terlihat ada perbedaan nilai maksimum dan minimum untuk periode data yang berbeda.



Gambar 1. *Lapse rate* pada tanggal 1 November 2002 pukul 12:05:00

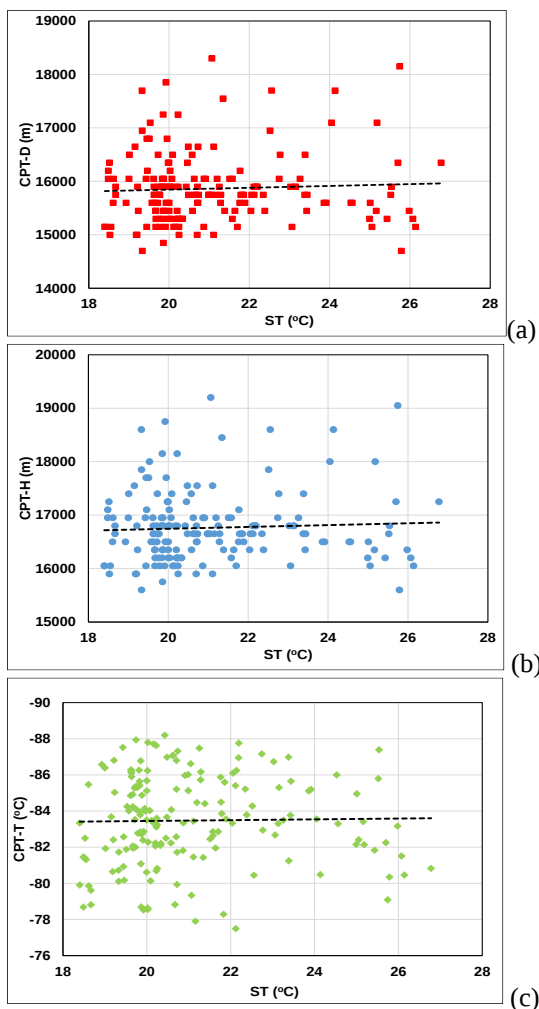
Tabel 2. Kisaran CPT-T, CPT-H dan CPT-D

	Tahun			
	2002	2004	2016	2018
CPT-T (°C)				
Min,	-88,19	-95,11	-86,59	-85,94
Maks.	-77,49	-80,11	-82,35	-82,59
CPT-H (m)				
Min,	15600	16200	16729	16037
Maks.	19200	19650	17360	17773
CPT-D (m)				
Min,	147001	15335	157851	152491
Maks.	8300	18785	6579	6998

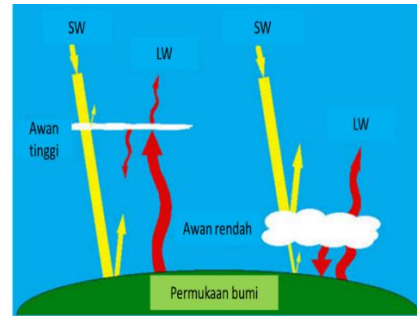
Min. = minimum, Max. = maksimum

Variasi parameter tropopause dan kecenderungan antar parameter ditampilkan dalam bentuk plot sebar (*scatter plot*) pada Gambar 2 untuk data tahun 2002, Gambar 4 untuk data tahun 2004, Gambar 5 untuk data tahun 2016, dan Gambar 6 untuk data tahun 2018.

Plot sebar ST dengan CPT-D pada Gambar 2a menunjukkan kecenderungan positif, atau jika ST meningkat CPT-D juga meningkat. Hal yang sama terlihat untuk plot sebar antara ST dengan CPT-H (Gambar 2b). Fluktuasi CPT-D dan CPT-H sebenarnya sama, karena CPT-D adalah CPT-H dikurangi ketinggian tempat. Plot sebar ST dengan CPT-T juga menunjukkan kecenderungan positif (Gambar 2c), jika ST meningkat maka CPT-T bertambah (negatif).

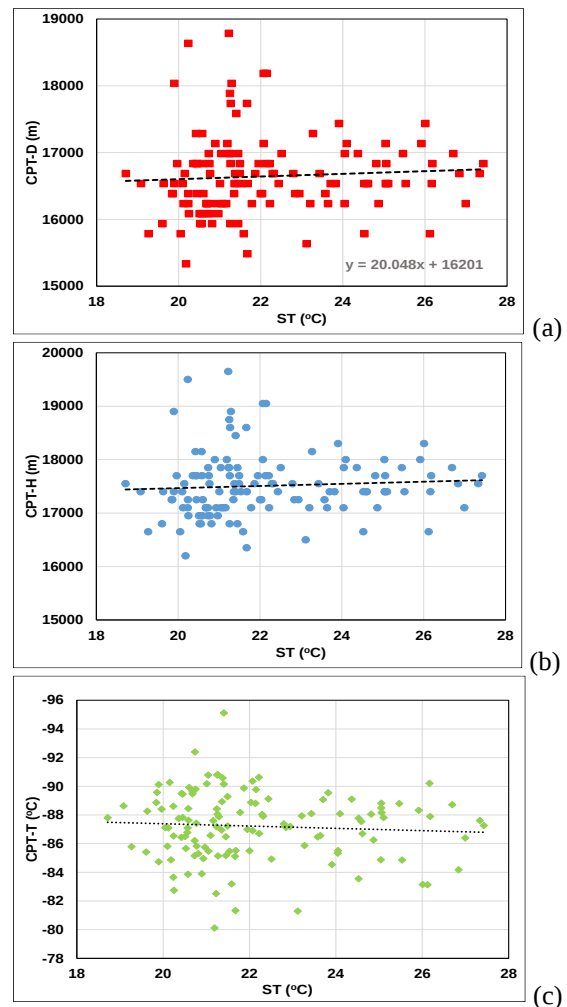


Gambar 2. Plot sebar antar parameter untuk data tahun 2002 (a) ST dengan CPT-D, (b) ST dengan CPT-H, dan (c) ST dengan CPT-T

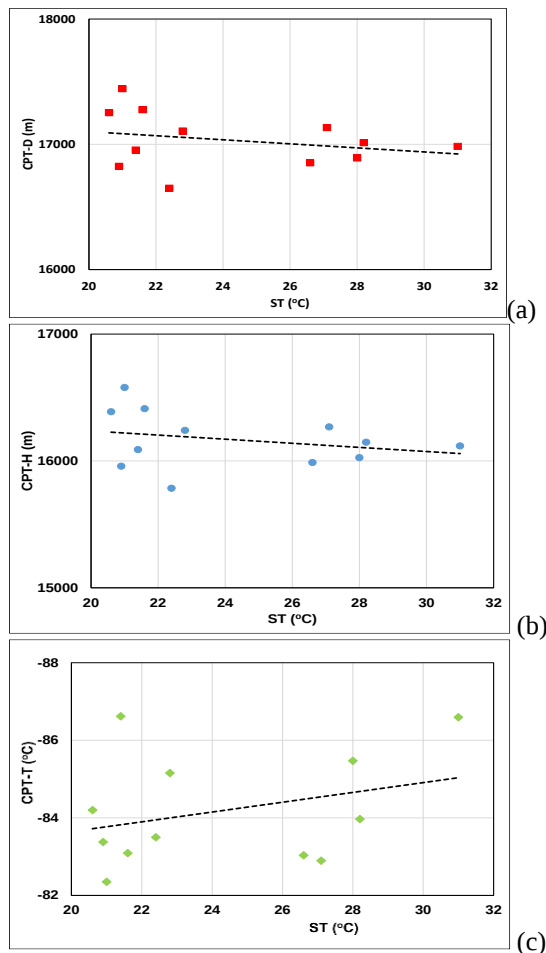


Gambar 3. Hubungan awan dengan radiasi matahari di bumi (Gambar diadopsi dari <https://www.nasa.gov>)

Pada data selanjutnya, yaitu periode observasi tahun 2004 (Gambar 4a, 4b, dan 4c), plot sebar ST dengan parameter troposfer/tropopause menunjukkan bahwa penyebaran ST terhadap CPT-D/CPT-H cenderung positif. Sedangkan *trend* antara ST dan CPT-T, negatif.



Gambar 4. Plot sebar antar parameter untuk data tahun 2004 (a) ST dengan CPT-D, (b) ST dengan CPT-H, (c) ST dengan CPT-T



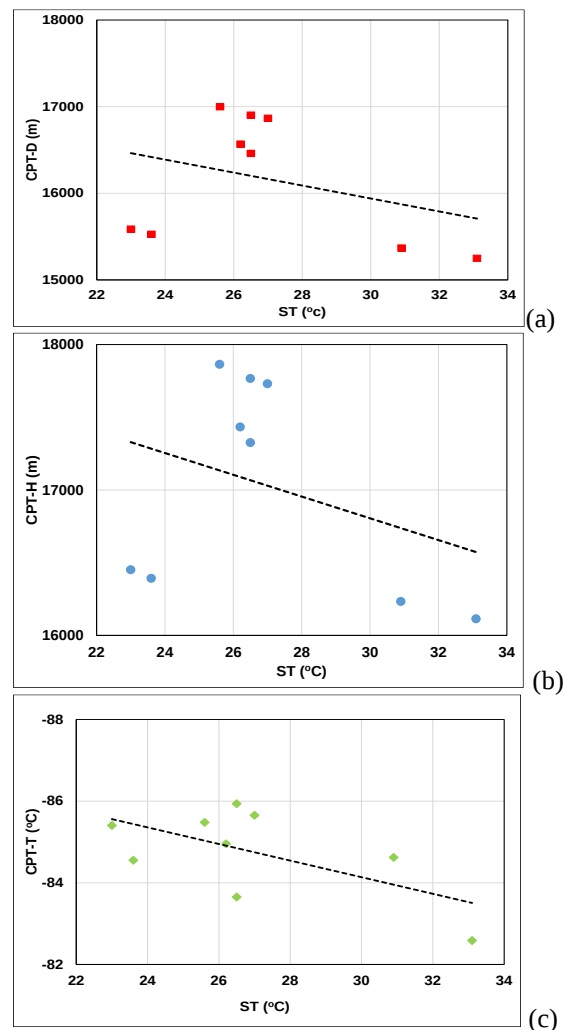
Gambar 5. Plot sebar antar parameter untuk data tahun 2016 (a) ST dengan CPT-D, (b) ST dengan CPT-H, dan (c) ST dengan CPT-T

Trend negatif juga ditunjukkan oleh data tahun 2016 (Gambar 5a, dan 5b), antara ST dengan CPT-D, dan ST dengan CPT-H, sedangkan antara ST dengan CPT-T memiliki *trend* positif. Ketika ST bertambah, CPT-T semakin bertambah negatif. Untuk data tahun 2018, ST dengan CPT-H, CPT-D dan CPT-T menunjukkan *trend* negatif. Pada saat ST naik, CPT-D/CPT-H turun (Gambar 6a, 6b, dan 6c).

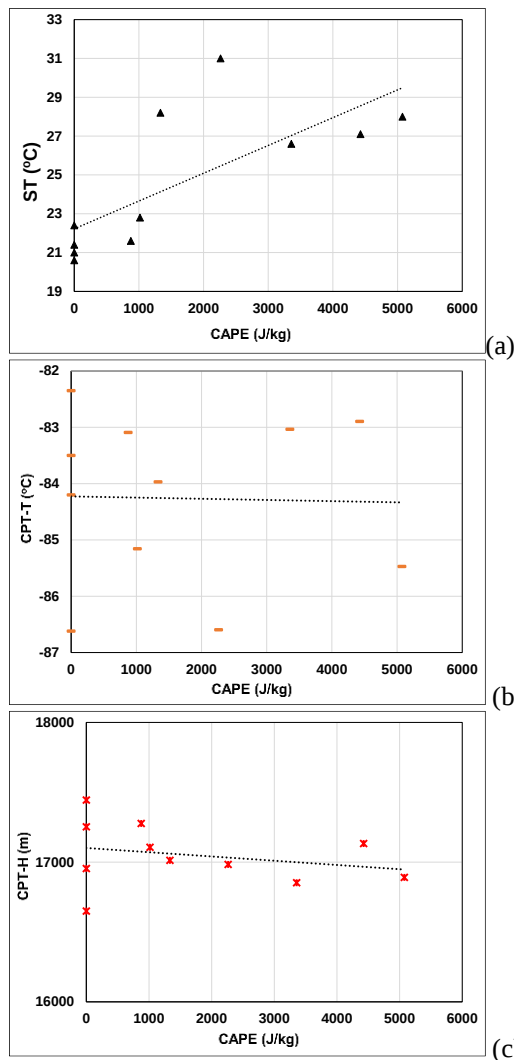
Ketika temperatur permukaan semakin tinggi dan temperatur tropopause semakin tinggi atau semakin negatif maka tropoposfer semakin tebal karena panas radiasi gelombang panjang yang menjalar secara vertikal semakin jauh (*trend* positif). Ini seperti yang nampak pada Gambar 2 (a dan b) untuk data tahun 2002 dan Gambar 4 (a dan b) untuk tahun 2004. Kondisi ini akan tercapai jika tidak awan atau hanya ada awan tinggi. Jika ditemukan kondisi yang tidak seperti di atas, maka diduga terjadi gangguan pada proses penjaralan radiasi gelombang panjang. Salah satu gangguan yang mungkin adalah aktivitas konveksi di lapisan bawah [3], [15]. Ketika terjadi konveksi, panas laten dan panas sensibel yang terbentuk serta awan-awan mengubah distribusi dan

jumlah panas radiasi gelombang panjang di atmosfer (Gambar 3). Kebalikannya, jika temperatur permukaan naik tetapi temperatur troposfer/tropopause semakin kecil/semakin menuju positif maka ketebalan/ketinggian troposfer/tropopause berkurang (*trend* negatif) karena jarak penjaralan gelombang panjang semakin pendek. *Trend* negatif ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Yang ditunjukkan oleh Gambar 4 adalah kondisi dimana suhu terdingin tropopause tidak mengikuti *trend* positif seperti ST, CPT-H/CPT-D. Artinya bahwa penurunan temperatur terjadi dengan lambat atau LRT kecil. Sedangkan Gambar 5, kebalikan dari Gambar 4, bahwa terjadi pengurangan ketinggian/tebal lapisan tropopause ketika terjadi kenaikan temperatur permukaan/ST dan temperatur tropopause/CPT-T. Artinya bahwa penurunan temperatur di troposfer terjadi dengan cepat, LRT besar. Kembali mengacu pada Gambar 3, hal ini dapat disebabkan adanya pembentukan awan di lapisan troposfer.

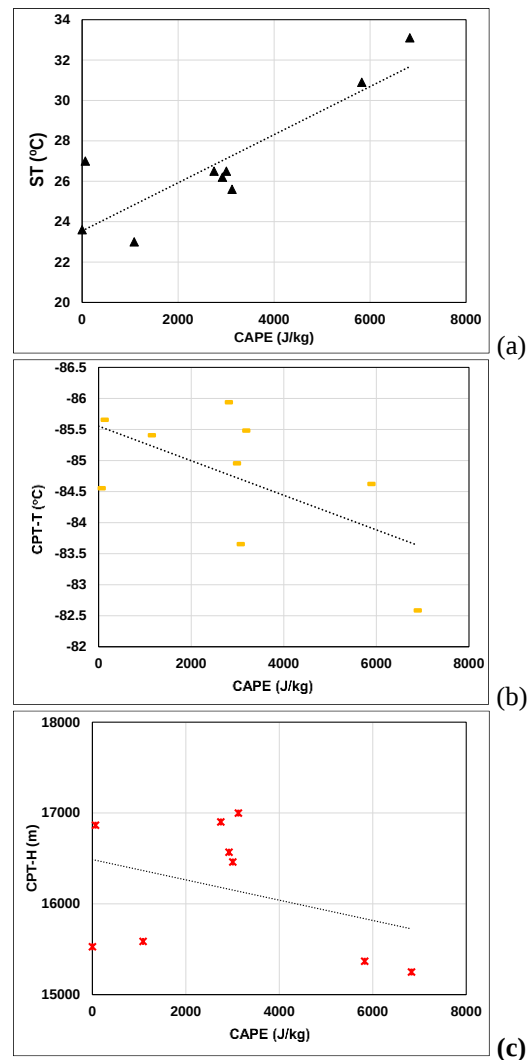


Gambar 6. Plot sebar antar parameter untuk data tahun 2018 (a) ST dengan CPT-D, (b) ST dengan CPT-H, (c) ST dengan CPT-T



Gambar 7. Plot sebar untuk tahun 2016 (a) ST dengan CAPE, (b) CPT-T dengan CAPE, dan (c) CPT-H dengan CAPE

Pengujian keterkaitan *trend* negatif dengan aktivitas konveksi dilakukan untuk data tahun 2016 dan 2018. Aktivitas konveksi diwakili oleh nilai Convective Available Potential Energy (CAPE). Data CAPE sebagai indikator aktivitas konveksi, nilai CAPE semakin tinggi menunjukkan aktivitas konveksi semakin tinggi. CAPE tahun 2016 dan 2018 menunjukkan *trend* positif terhadap kenaikan ST, seperti ditunjukkan pada Gambar 7 (a) dan Gambar 8 (a) dan *trend* negatif terhadap CPT-T (Gambar 7 (b) dan Gambar 8 (b)). Pada saat CAPE meningkat, CPT-H menurun (Gambar 7 (c) dan Gambar 8 (c)). Dua kasus data tahun 2016 dan 2018 menunjukkan bahwa aktivitas konveksi (CAPE) terjadi bersamaan dengan kenaikan ST dan menyebabkan gangguan pada fluktuasi CPT-T dan CPT-H atau mengurangi CPT-T dan CPT-H.



Gambar 8. Plot sebar untuk tahun 2018 (a) ST dengan CAPE, (b) CPT-T dengan CAPE, dan (c) CPT-H dengan CAPE

Trend yang ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 6 sesuai dengan tanda koefisien korelasi seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Koefisien korelasi negatif bersesuaian dengan *trend* turun dan sebaliknya. Korelasi hasil perhitungan (r_p) kemudian dibandingkan dengan korelasi tabel (r_T). Jika $r_p < r_T$ maka dua parameter yang dibandingkan tidak ada hubungan, jika $r_p > r_T$, maka parameter yang dibandingkan berhubungan. Nilai korelasi antara temperatur permukaan (ST) dengan CPT-D, CPT-H dan CPT-T untuk tahun 2002 dan 2004 perhitungan (r_p) lebih kecil dibanding korelasi tabel (r_T). Untuk tahun 2016 dan 2018, korelasi ST dengan CPT-D, CPT-H dan CPT-T menunjukkan $r_p < r_T$, kecuali korelasi ST dengan CPT-T, r_p mendekati r_T . *Trend* positif maupun *trend* negatif pada masing-masing data yang diteliti, disertai oleh penyebaran data yang sangat acak jauh dari garis *trend* yang menyebabkan koefisien korelasi menjadi kecil.

Tabel 3. Koefisien korelasi antara parameter troposfer

	Tahun			
	2018	2016	2004	2002
r_T	0,7	0,6	0,18	0,15
r_P				
TS vs CPT-D	-0,33	-0,26	0,07	0,05
TS vs CPT-H	-0,33	-0,26	0,07	0,05
TS vs CPT-T	0,61	-0,32	0,07	-0,02

Catatan:

r_T ditentukan pada tingkat kepercayaan $\alpha=5\%$

3. Kesimpulan

Evaluasi terhadap data Radiosonde periode tahun 2002, 2004, 2016 dan 2018, menunjukkan bahwa LRT dari permukaan sampai ketinggian maksimum yang dicapai radiosonde (26-35 km) bervariasi dalam rentang yang cukup lebar. Parameter yang diperoleh dari batasan LRT sebesar $0,2^\circ\text{C}/100\text{ m}$, yaitu CPT-T, CPT-D dan CPT-H juga bervariasi terhadap waktu. *Trend* yang ditunjukkan dari plot sebar ada yang menunjukkan *trend* positif, artinya kecenderungan parameter troposfer/tropopause dan ST meningkat. Juga ditemukan *trend* negatif ketika ST meningkat, CPT-D/CPT-H berkurang. Sementara uji korelasi antara ST dengan parameter troposfer/tropopause menunjukkan tidak ada hubungan antara ST dengan CPT-T/CPT-D/CPT-H untuk semua data ($r_P < r_T$), yang berhubungan dengan sebaran data yang jauh dari garis *trend* positif/*trend* negatif. Adanya gangguan dari aktivitas konveksi untuk penjaralan gelombang panjang ditunjukkan dengan kasus data tahun 2016 dan 2018. Peningkatan CAPE atau aktivitas konveksi berhubungan dengan peningkatan ST, dan menyebabkan *trend* negatif/pengurangan CPT-H dan CPT-T.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Ka. Loka Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Kabupaten Agam beserta seluruh staf yang telah membantu baik dalam proses peluncuran radiosonde maupun dalam memenuhi kebutuhan data Kototabang yang lain.

Daftar Pustaka:

- [1] Holton, J. R., P. H. Haynes, M. E. McIntyre, A. R. Douglass, R. B. Rood, and L. Pfister: Stratosphere-troposphere exchange, *Rev. Geophys.*, **33**, 403–439, doi:10.1029/95RG02097, 1995.
- [2] Brewer, A. W.: Evidence for a world circulation provided by the measurements of helium and

water vapor distribution in the stratosphere, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **75**, 351–363, doi: 10.1002/qj.49707532603, 1949.

- [3] Zhou, X. and James R. Holton: Intraseasonal Variations of Tropical Cold-Point Tropopause Temperatures, *J. of Clim.*, **15**, 1460-1473, 2002.
- [4] Kim, J. and Son, S.W.: Tropical cold-point tropopause: climatology, seasonal cycle, and intraseasonal variability derived from COSMIC GPS radio occultation measurements, *J. Clim.*, **25**, 2012.
- [5] Mehta, S. K., M. Venkat Ratnam, and B. V. Krishna Murthy: Variability of the tropical tropopause over Indian monsoon region, *J. Geophys. Res.*, **115**, D14120, doi:10.1029/2009JD012655, 2010.
- [6] Yamamoto, M. K., M. Fujiwara, T. Horinouchi, H. Hashiguchi, and S. Fukao: Kelvin-Helmholtz instability around the tropical tropopause observed with Equatorial Atmosphere Radar, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, doi:10.1029/2002GL016685, 2003.
- [7] Das, S. S., Jain, A. R., Kumar, K. K., and Rao, D. N.: Diurnal variability of the tropical tropopause: significance of the VHF Radar measurements, *Radio Sci.*, **43**, RS6003, doi:10.1029/2008RS003824, 2008.
- [8] Reid, G. C., and K. S. Gage: The tropical tropopause over the western Pacific: Wave driving, convection, and the annual cycle, *J. Geophys. Res.*, **101**, 21, 233–21,241, doi:10.1029/96JD01622, 1996.
- [9] Johnson, R. H.: Short - term variation of the tropopause height over Winter Monex area, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 1152–1163, doi:10.1175/1520-0469 (1986) 043 <1152:STVOTT> 2.0.CO; 2, 1996.
- [10] Tsuda, T., Y. Murayama, H. Wiryosumarto, S. W. B. Harijono, and S. Kato: Radiosonde observations of equatorial atmosphere dynamics over Indonesia: 1. Equatorial waves and diurnal tides, *J. Geophys. Res.*, **99**, doi:10.1029/94JD00355, 1994.
- [11] Krishna Murthy, B. V., K. Satheesan, K. Parameswaran, M. N. Sasi, G. Ramkumar, Y. B. Kumar, K. Raghunath, and M. Krishniah: Equatorial waves in temperature in the altitude range 4 to 70 km, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **128**, 819–837, doi:10.1256/0035900021643700, 2002.
- [12] Subrahmanyam, K. V., G. Ramkumar, K. K. Kumar, D. Swain, S. V. Sunil Kumar, S. S. Das, R. K. Choudhary, K. V. S. Namboodiri, K. N. Uma, S. B. Veena, S. R. John, and A. Babu: Temperature perturbations in the troposphere-stratosphere over Thumba (8.5 N, 76.9 E) during the solar eclipse 2009/2010, *Ann. Geophys.*, **29**, 275–282, doi:10.5194/angeo-29-275-2011, 2011.

- [13] Juaeni, I., G. A Nugroho, S. A Rahayu, Safrijon, Halimurrahman: Observation of Temperature Profiles of Kototabang (Bukittinggi-West Sumatera Indonesia) Using Radiosonde and Rain Event Identification, IOP Publishing, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, **166**, 012032 doi :10.1088/1755-1315/166/1/012032, 2018a.
- [14] Juaeni, I., Ginaldi Ari, dan Safrijon: Stratifikasi awan konveksi berdasarkan model atmosfer satu kolom (MASK), Bagian buku Sains dan Teknologi Atmosfer serta Aplikasinya di Benua Maritim Indonesia, ISBN: 978-602-6465-19-1, 2018b.
- [15] Son, S. W., and S. Lee: Intraseasonal variability of the zonal-mean tropical tropopause height. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 2695–2706, 2007.