

**PEMANFAATAN DATA REANALISIS (ERA5) DALAM
SIMULASI CLEAR AIR TURBULENCE PADA PESAWAT
BTK7581, BTK6582, SJV756, DAN SJV739
(STUDI KASUS 17-18 AGUSTUS 2024)**
*UTILIZATION OF REANALYSIS DATA (ERA5) IN CLEAR AIR
TURBULENCE SIMULATION AT BTK7581, BTK6582, SJV756,
AND SJV739 AIRCRAFT (CASE STUDY AUGUST 17-18th,
2024)*

Eria Wahdatun Nangimah^{1*)}, Reyvaldo Tristyanto²⁾

^{1,2)} Stasiun Meteorologi Kelas I Soekarno-Hatta, Bandar Udara Soekarno-Hatta Gedung
611 (Tower), Tangerang, 15126

* Email : eriawangimah@gmail.com

ABSTRAK

Clear Air Turbulence (CAT) merupakan fenomena turbulensi yang diakibatkan oleh faktor selain konvektif. Pada umumnya CAT terjadi antara 8 km hingga 12 km. Fenomena ini sangat merugikan pada penerbangan, karena tidak dapat dideteksi oleh peralatan yang ada didalam pesawat. Apabila pesawat mengalami kejadian CAT maka pesawat melaporkannya melalui AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) sesaat setelah mengalami turbulensi. Dalam penelitian ini, empat kejadian CAT pada tanggal 17-18 Agustus 2024 disimulasikan menggunakan data model Reanalisis (ERA5). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks terbaik dalam mendeteksi dua kejadian CAT tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit produk Cloud Type dan data keluaran Reanalisis (ERA5) yang ditampilkan oleh software GRADS. Indeks yang digunakan untuk mendeteksi fenomena CAT adalah indeks VWS, Ri dan TI1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua indeks yaitu VWS dan Ri hasil keluaran model Reanalisis (ERA5) menunjukkan potensi turbulensi ringan hingga sedang pada keempat lokasi kejadian, sedangkan Indeks TI1 mengindikasikan adanya potensi turbulensi ringan-ekstrem. Indeks-indeks tersebut cukup mampu mensimulasikan kejadian turbulensi pada tanggal 17-18 Agustus 2024.

Kata kunci: Turbulensi, VWS, Ri, TI1

1. Pendahuluan

Turbulensi merupakan salah satu fenomena cuaca skala lokal yang berlangsung dalam waktu singkat. Turbulensi dapat berdampak dan membahayakan pada penerbangan khususnya saat pesawat berada dalam fase *en-route*. Beberapa penerbangan terganggu hingga penumpang mengalami cedera saat pesawat mengalami turbulensi [1]. Frekuensi kejadian turbulensi semakin meningkat setiap tahunnya akibat dari perubahan iklim yang berlangsung [1].

Peningkatan tidak hanya terjadi dari kuantitas kejadian turbulensi, namun diikuti juga oleh intensitas turbulensi. Hal ini perlu mendapat perhatian dari stakeholder dan maskapai terkait dalam perencanaan penerbangan.

Berdasarkan penyebabnya turbulensi dapat terjadi akibat beberapa faktor antara lain gelombang gunung, konveksi yang kuat, dan pada wilayah tanpa awan atau *Clear Air Turbulence (CAT)*. Pada umumnya CAT terjadi antara 8 km hingga 12 km [2]. Fenomena CAT belum dapat dideteksi

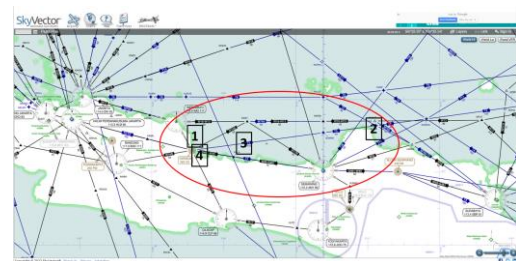
dengan peralatan pada pesawat seperti LIDAR dan radar karena tidak disebabkan oleh awan, sehingga informasi mengenai CAT hanya berdasarkan *Pilot Report* atau PIREP. Salah satu metode pendeteksian turbulensi adalah simulasi menggunakan model cuaca [3]. Parameter angin keluaran model diolah menggunakan persamaan tertentu untuk menghasilkan indeks atau parameter. Beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan turbulensi antara lain *Turbulence Index 1* [4], *vertical wind shear* (VWS), dan Bilangan Richardson. Model reanalisis merupakan pendekatan dalam analisis data dengan memperbaharui model menggunakan data terbaru.

Pada tanggal 17 Agustus 2024 pukul 23.00 UTC hingga 18 Agustus 2024 pukul 01.20 UTC terjadi 4 kali kejadian turbulensi yang dilaporkan dalam sandi PIREP. Seluruh kejadian turbulensi yang dilaporkan terjadi di sekitar wilayah cek point CA-ANY atau sekitar wilayah pantai utara Jawa Tengah hingga Jawa Barta (Gambar1). Kejadian berlangsung dalam waktu yang singkat dengan intensitas *moderate turbulence* (sedang). Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan kejadian turbulensi menggunakan data model reanalisis ERA5 keluaran ECMWF, sandi PIREP dan citra satelit himawari. Hal ini bertujuan untuk melihat aspek yang menyebabkan terjadinya turbulensi. Data angin model ERA5 diolah dengan persamaan yang dijelaskan lebih lanjut pada metode penelitian untuk menghasilkan nilai *vertical wind shear* (VWS), bilangan Richardson (Ri), dan *Turbulence Index 1* (TI1) menggunakan GRADS. Pada penelitian

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kasus kejadian *Clear Air Turbulence* (CAT)

pada tanggal 17-18 Agustus 2024. Terdapat empat kejadian CAT, yang pertama dialami pesawat SJV756 pada pukul 23.31 UTC tanggal 17 Agustus 2024, yang kedua dialami pesawat SJV739 pada pukul 23.53 UTC, kemudian disusul kejadian pada pesawat BTK6582 pada hari berikutnya 18 Agustus 2024 pukul 00.02 UTC, dan yang terakhir pada pukul 00.16 UTC yang dialami oleh BTK7581. Lokasi kejadian terletak di sekitar wilayah CA-ANY sesuai dengan perubahan ketinggian pada data *fightradar24.com* dan dipetakan pada peta *skyvector.com* seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber peta: *skyvector.com*

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif berdasarkan hasil kualitatif dan kuantitatif dari berbagai data yang digunakan. Data yang digunakan adalah data *PIREP* dalam bentuk sandi yang diterbitkan oleh JATSC, citra Satelit Himawari 9 *Cloud Type*, data Reanalisis ERA5, dan data pendukung lain pada waktu kejadian (17 Agustus 2024, 23.00 UTC hingga 01.00 UTC tanggal 18 Agustus 2024). Data Reanalisis ERA5 sebelumnya digunakan untuk penelitian Klimatologi CAT di *Upper Troposphere* dan *Lower Stratosphere* di belahan bumi utara dan mampu mengidentifikasi kejadian CAT selama 41 tahun [5]. Data *PIREP* merupakan data observasi langsung oleh pilot yang digunakan untuk menentukan waktu dan lokasi kejadian. Citra satelit digunakan untuk melihat gambaran awan pada saat kejadian sehingga dapat ditentukan turbulensi

disebabkan oleh awan atau CAT. Data angin keluaran model diolah untuk menghasilkan nilai VWS, Ri, dan TI1.

Berikut perhitungan Indeks Turbulensi TI1, VWS, dan Ri pada persamaan dibawah ini:

$$A_T = 0,5\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)(DEF(\cos(2\beta + CVG)))$$

$$A_T = 0,5\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)(DEF(\cos(2\beta + CVG)))$$

$$DST = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$DSH = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$CVG = -\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)$$

$$DEF = (DST^2 + DSH^2)^{1/2}$$

Persamaan di atas menjelaskan A_T adalah laju perubahan terhadap waktu dari gradien suhu pada tekanan konstan permukaan. $\frac{\partial T}{\partial n}$ adalah besarnya gradien suhu *sensible* terhadap isotherm. DEF adalah deformasi horizontal dari akar kuadrat jumlah kuadrat peregangan (DST) dan geser deformasi yang disebabkan oleh geser angin horizontal (DSH), β adalah sudut diantara sumbu dilatasi (peregangan sumbu aliran deformasi) dan isotherm suhu potensial. CVG adalah konvergensi. Gradien suhu terkait dengan VWS dan persamaan angin termal. Hubungan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$TI1 = VWS \cdot DEF$$

$$VWS = \frac{(\Delta u^2 + \Delta v^2)^{1/2}}{\Delta z}$$

Nilai VWS minimal 6 kt/1000 ft ($9.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) merupakan *threshold* untuk potensi CAT *moderate or greater* (MOG) [4]. *Threshold* Turbulence Index 1 (TI1) yang digunakan adalah sebagai berikut (Tabel 1) [7]:

Tabel 1. Ambang Batas *Turbulence Index* 1 (TI1) [7]

Kategori	Ambang Batas (s^{-2})
<i>Null</i>	1.9×10^{-7}
<i>Light</i>	2.4×10^{-7}
<i>Moderate</i>	4.6×10^{-7}
<i>Severe</i>	7.2×10^{-7}
<i>Extreme</i>	9.9×10^{-7}

Sedangkan *Richardson Number* dalam meteorologi diformulasikan sebagai berikut [8]:

$$Ri = ((g/\theta \partial\theta/\partial z))/(\partial V/\partial z)^2$$

dengan Ri adalah Bilangan *Richardson* yang merupakan rasio antara stabilitas yang diukur sebagai kuadrat frekuensi *Brunt-Vaisala* (N) dengan kuadrat VWS. Notasi g adalah percepatan gravitasi bumi, θ adalah suhu potensial. Suku $\partial\theta/\partial z$ merupakan perubahan suhu potensial terhadap elevasi (sekaligus menggambarkan stabilitas udara pada elevasi tersebut) (Km^{-1}) dan $\partial V/\partial z$ merupakan geser angin vertikal atau *Vertical Wind Shear* (s^{-1}). Suhu potensial dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P}\right)^{R/Cp}$$

Persamaan diatas menerangkan bahwa θ adalah Suhu potensial (Kelvin). T adalah suhu udara lingkungan (Kelvin), p adalah tekanan udara (mb), dan R adalah konstanta gas spesifik udara kering ($287.06 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Notasi Cp adalah koefisien panas spesifik udara kering pada tekanan konstan, R/Cp adalah konstanta yang harganya 0.286.

Dalam pelayanan penerbangan harga bilangan Ri [4] adalah sebagai berikut:

- o Jika nilai bilangan Richardson berada diantara 0.25 dan 1.0 maka dikategorikan sebagai daerah turbulensi.
- o Jika nilai bilangan Richardson kurang dari 0.25 maka dikategorikan sebagai turbulensi lemah.

Kemudian ditampilkan juga analisis angin model pada ketinggian dimana turbulensi terjadi untuk melihat pola angin yang terbentuk. Data model dapat menentukan intensitas turbulensi dan faktor yang mendukung terjadinya turbulensi.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Waktu Kejadian

Berdasarkan data PIREP (*Pilot Report*) tanggal 17-18 Agustus 2024 pukul 23.00 UTC hingga 01.20 UTC terjadi *Moderate Turbulence* pada ketinggian 33.000 feet hingga 35.000 feet dan mengakibatkan empat pesawat turun dari ketinggian 33.000 feet dan 34.000 feet ke sekitar 30.000 feet berdasarkan data perubahan ketinggian pesawat di flightradar24.

Date : 2024-08-17 (yyyy-mm-dd)

Time : 23:30:00 – 01 : 20:00 UTC

Shift : Pagi

Cabang : JATSC

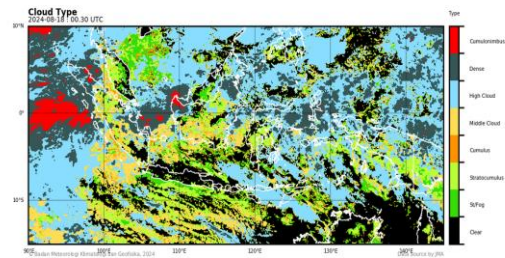
Divisi/Unit : ACC/UJ

Category : OPERASIONAL

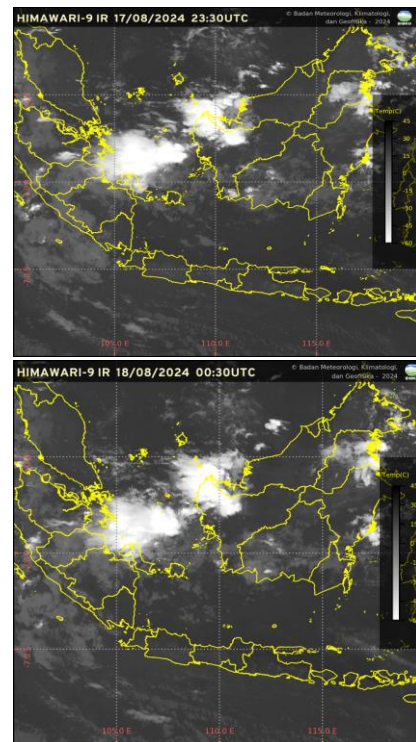
Keterangan :

MODERATE TURBULANCE F330-F350 FROM CA-ANY INFO BY (BTK7581 WIHH -WARA ,BTK6582 WIII-WARR, SJV756 WIII-WADD, SJV739 WADD-WIII)

3.2 Produk Satelit HIMAWARI



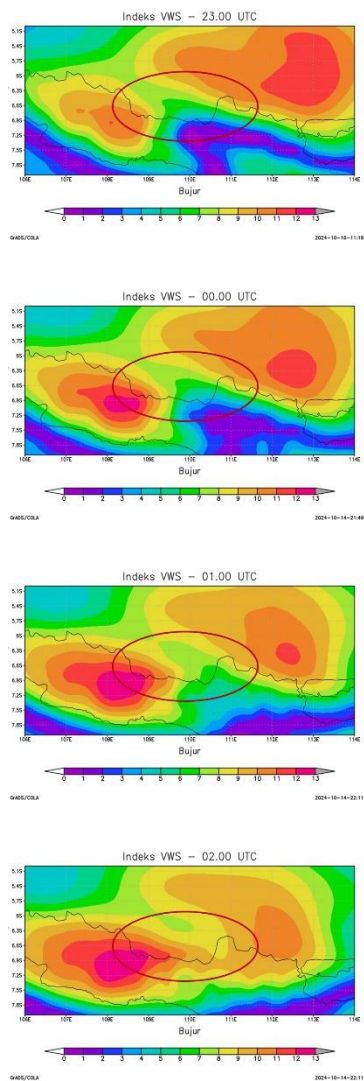
Gambar 2. Citra Satelit Himawari-9 Cloud Type pukul 23.30 UTC dan 00.30 UTC.



Gambar 3. Citra Satelit Himawari-9 kanal Visible pukul 23.30 UTC dan 00.30 UTC.

Berdasarkan citra satelit HIMAWARI produk *Cloud Type* (Gambar 2), pada empat kejadian turbulensi tidak terdapat awan konvektif di lokasi masing-masing kejadian tersebut. Kemudian berdasarkan citra satelit kanal Visible terlihat bahwa pada lokasi kejadian tidak terdapat awan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kejadian turbulensi tersebut termasuk dalam kategori *Clear Air turbulence* (CAT).

3.3 Data Vertical Wind Shear (VWS)



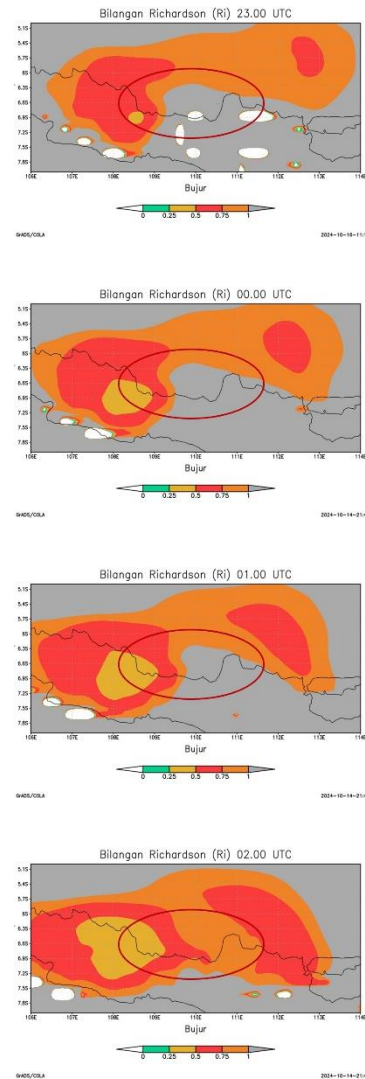
Gambar 4. Produk *Vertical Wind Shear* dari pukul 23.00 UTC sampai 02.00 UTC.

Berdasarkan Data Indeks *Vertical Wind Shear* (VWS) di antara ketinggian 300 mb dan 250 mb atau 30.000 feet dan 34.000 feet (Gambar 4), nilai indeks pada pukul 23.00 UTC adalah 5-11 ($\times 10^{-3} s^{-1}$) pada lokasi kejadian turbulensi. Pada pukul 00.00 UTC hingga 02.00 UTC nilai indeks pada lokasi kejadian meningkat, yaitu berkisar antara 5-13 ($\times 10^{-3} s^{-1}$).

Nilai Indeks VWS menunjukkan nilai tertinggi $13 \times 10^{-3} s^{-1}$ dimana nilai ini sudah memenuhi *threshold* MOG

(*moderate or greater*) CAT [4], sehingga dapat disimpulkan pada lokasi kejadian terdapat potensi turbulensi sedang-kuat.

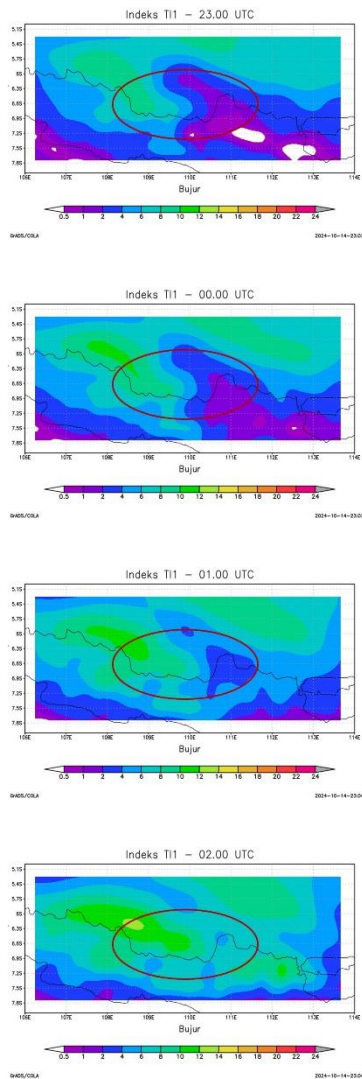
3.4 Bilangan Richardson (Ri)



Gambar 5. Produk *Richardson Number* dari pukul 23.00 UTC sampai 02.00 UTC.

Berdasarkan Data Indeks Bilangan *Richardson* (Ri) di antara ketinggian 300 mb dan 250 mb atau 30.000 feet dan 34.000 feet nilai indeks Ri pada pukul 23.00 UTC hingga 02.00 UTC adalah 0.25-1 pada lokasi kejadian yang mengindikasikan adanya turbulensi.

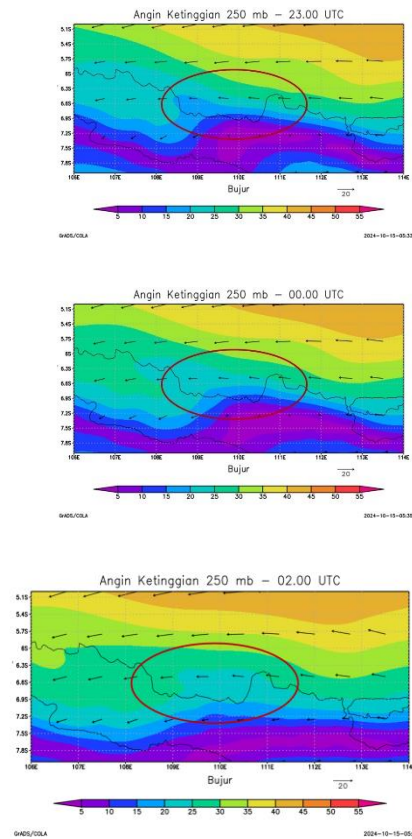
3.5 Turbulence Index 1 (TI1)



Gambar 6. Produk *Turbulence Index 1* (TI1) dari pukul 23.00 UTC sampai 02.00 UTC.

Berdasarkan data produk *Turbulence Index 1* (TI1) di antara ketinggian 300 mb dan 250 mb (Gambar 6) nilai indeks TI1 pada pukul 23.00 UTC adalah $1-10 (x10^{-7} s^{-2})$ pada lokasi kejadian, sedangkan pada pukul 00.00 -02.00 UTC nilai indeks pada lokasi kejadian adalah $1-14 (x10^{-7} s^{-2})$ yang mengindikasikan potensi turbulensi ringan hingga ekstrem berdasarkan *threshold* TI1 pada Tabel 1.

3.6 Arah dan Kecepatan Angin



Gambar 7. Arah dan kecepatan angin lapisan 250 mb (knot) dari pukul 23.00 UTC sampai 01.00 UTC.

Arah angin lapisan 250mb (Gambar 7) umumnya untuk semua kejadian bergerak dari arah Timur. Kecepatan angin bervariasi berkisar antara 05-35 knot. Nilai ini lebih kecil dari ambang batas nilai *jet stream* yang diberikan WMO yaitu 58 knot [6].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa fenomena turbulensi yang dialami oleh empat pesawat pada tanggal 17-18 Agustus 2024 adalah termasuk *Clear Air Turbulence* (CAT). Nilai Indeks VWS menunjukkan potensi turbulensi sedang-kuat, berdasarkan bilangan *Richardson* (Ri) disimpulkan bahwa pada wilayah kejadian terdapat potensi turbulensi,

dan berdasarkan nilai indeks TI1 pada lokasi kejadian terdapat potensi turbulensi ringan hingga ekstrim. Ketiga indeks yaitu VWS, Ri, dan TI1 hasil keluaran model Reanalisis (ERA5) cukup mampu mensimulasikan kejadian turbulensi pada tanggal 17-18 Agustus 2024. Terdapat nilai overestimate pada indeks TI1 yaitu potensi turbulensi ekstrem.

Daftar Pustaka

- [1] Kaplan, M. L., Huffman, A. W., Lux, K. M., Charney, J. J., Riordan, A. J., & Lin, Y. L. (2005). Characterizing the severe turbulence environments associated with commercial aviation accidents. Part 1: A 44-case study synoptic observational analyses. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 88, 129-152.
- [2] Williams, P. D. (2017). Increased light, moderate, and severe clear-air turbulence in response to climate change. *Advances in atmospheric sciences*, 34(5), 576-586.
- [3] Overeem, A. (2002). *Verification of clear-air turbulence forecasts* (p. 76). De Bilt, The Netherlands: KNMI.
- [4] Ellrod, G. P., & Knapp, D. I. (1992). An objective clear-air turbulence forecasting technique: Verification and operational use. *Weather and Forecasting*, 7(1), 150-165.
- [5] Lee, J. H., Kim, J. H., Sharman, R. D., Kim, J., & Son, S. W. (2023). Climatology of clear-air turbulence in upper troposphere and lower stratosphere in the Northern Hemisphere using ERA5 reanalysis data. *Journal of Geophysical Research*: *Atmospheres*, 128(1), e2022JD037679.
- [6] Haq, Bagas E. A., & Khotimah, Mia K. (2017). Uji Performa Indeks Turbulensi Pada Kejadian Clear Air Turbulence di Wilayah Indonesia (Periode 2007-2016). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Desember 2017 Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*.
- [7] Kim, J., Chun, H., Sharman, R.D., & Keller, Tedy. (2011). Evaluations of Upper-Level Turbulence Diagnostics Performance Using the Graphical Turbulence Guidance (GTG) System and Pilot Reports (PIREPs) over East Asia. *Journal of Applied Meteorology and Clomatology Volume 50*, 1936-1951.
- [8] Sasmito, A. (2011). Peringatan Dini Dan Diagnosis Munculnya Turbulensi Cuaca Cerah Dan Dampaknya Pada Pesawat. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Volume 12 No.3*, 291-302.