KARAKTERISTIK LAPISAN BATAS ATMOSFER SAAT KEJADIAN HUJAN LEBAT DI BANDARA SOEKARNO-HATTA (Studi Kasus : 5 Februari 2018)

RENDI LUCKY HARTANTO*, PRASETYO UMAR FIRDIANTO, AHMAD FADLAN

Prodi Meteorologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jl. Perhubungan 1 No. 5 Pondok Betung, Pondok Aren Bintaro – Tangerang Selatan 15221

*email : rendi.lucky@gmail.com

Abstrak. Pada tanggal 5 Februari 2018 jam 17.00 WIB terjadi hujan lebat di Sekitar Bandara Soekarno-Hatta dengan jumlah curah hujan mencapai 70 milimeter/hari. Adanya kejadian tersebut menyebabkan kondisi udara tidak stabil dan turbulen di sekitar *runway* yang berkaitan langsung dengan lapisan batas atmosfer. Sehingga dapat mengganggu aktivitas penerbangan pada waktu itu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik lapisan batas atmosfer saat kejadian tersebut. Data yang digunakan adalah data pengamatan udara atas (*Radiosonde*) dan udara permukaan (*Sinoptik*) Stasiun Meteorologi Cengkareng (96749), model HYSPLIT dengan resolusi spasial 0.5° x 0.5° dan resolusi temporal tiap 3 jam dari *National Oceanic and Atmospheric Administration, Streamline*, dan Satelit Himawari-8 kanal *Infrared*. Metode yang digunakan adalah dengan menentukan nilai ketinggian lapisan batas atmosfer, *Richardson Number*(Ri), *Turbulence Kinetic Energy* (TKE) dan intensitas Turbulen saat kejadian dibandingkan dengan normalnya. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa ketinggian lapisan batas atmosfer mencapai 2,15 kilometer, Nilai Ri mencapai -0.37, dan TKE mencapai 4,12 m²/s² dengan intensitas Turbulen kuat. Selain itu, analisis indek *Radiosonde* menunjukkan kondisi udara yang cukup labil. Terdeteksi awan konvektif tebal di sekitar wilayah kejadian dengan suhu puncak awan mencapai -72°C.

Kata kunci: Karakteristik, Lapisan Batas Atmosfer, Hujan Lebat, Turbulen, Labil

Abstract. On February 5, 2018 at 17.00 pm there was heavy rains around the Soekarno-Hatta Airport with rainfall reaching 70 millimeters / day. The occurrence of such events causes unstable and turbulent air conditions around the runway that are directly related to the atmospheric boundary layer. So it can disrupt flight activity at that time. The purpose of this study is to know the characteristics of the boundary layer of the atmosphere when the incident. The data used are airborne observation data (Radiosonde) and surface air (Sinoptik) of Cengkareng Meteorological Station (96749), HYSPLIT model with 0.5ox 0.5o spatial resolution and temporal resolution every 3 hours from National Oceanic and Atmospheric Administration, Streamline and Satellite Himawari-8 Infrared channels. The method used is to determine the elevation value of the boundary layer of the atmosphere, Richardson Number (Ri), Turbulence Kinetic Energy (TKE) and Turbulent intensity when the incidence is compared with the normal. From this research it can be seen that the height of the boundary layer of the atmosphere reaches 2.15 kilometers, the value of Ri reaches -0.37, and TKE reaches 4.12 m²/s² with strong turbulent intensity. In addition, Radiosonde index analysis indicates an unstable air condition. Detected thick convective clouds around the incident area with cloud tops reaching -72°C

Keywords: Characteristic, Planetary Boundary Layer, Heavy Rain, Turbulent, Labil

.....

1. Pendahuluan

Pada tanggal 5 Februari 2018 terjadi hujan sangat lebat di wilayah Bandara Soekarno-Hatta. Diketahui bahwa hujan sudah dimulai sejak pagi hari tetapi dengan intensitas yang ringan. Kemudian intensitasnya semakin meningkat saat menjelang sore hari. Teramati dari Citra Satelit Himawari-8, intensitas hujan paling tinggi terjadi kira-kira pada jam 18.00 WIB (11.00 UTC). Jumlah curah hujan pada waktu tersebut mencapai 23 mm/jam yang termasuk dalam kategori hujan sangat lebat. Hal ini mengakibatkan terjadinya penundaan beberapa jadwal penerbangan beberapa maskapai. Selain itu, terjadi longsor di *underpass* Jalan Parimeter Selatan Bandara [1].

Salah satu fenomena yang timbul dengan adanya hujan lebat tersebut adalah turbulensi. Menurut Tonggal (2014), turbulensi merupakan pergerakan udara yang acak, kacau dan dihasilkan oleh beberapa faktor penyebab seperti perpindahan panas dari permukaan dan gesekan angin vertikal. Turbulensi tersebut dapat berpotensi dalam menimbulkang gangguan kenyamanan dan keselamatan pesawat [2,3]. Saat terjadi turbulensi, secara umum kondisi atmosfer tidak stabil sehingga dapat mengganggu kegiatan operasional pesawat baik saat terbang (take off), saat melakukan perjalanan (en-route), maupun saat mendarat (landing). Pengalaman memberikan gambaran yang nyata bahwa dari berbagai kecelakaan pesawat terbang yang terjadi di Indonesia maupun di dunia sering terjadi dikarenakan adanya gangguan dari unsur cuaca [4].

Pendekatan yang banyak dilakukan untuk menghitung turbulensi adalah dengan menduga besar energi kinetiknya [5,6]. Persamaan energi kinetik turbulensi atau Turbulence Kinetic Energy (TKE) didasari pada hubungan antara pola pengamatan atmosfer yaitu geser angin dan bouyancy dengan kejadian turbulensi [5]. Hasil penelitian McCan (1999) menunjukkan adanya hubungan antara intensitas turbulensi dengan besar energi kinetik, lebih lanjut Savli (2012) menyimpulkan bahwa energi kinetik turbulensi sangat berguna bagi ahli meteorologi untuk mengetahui kekuatan turbulensi.

Ada pula perhitungan turbulensi dengan menggunakan bilangan Richardson sebagai kriteria ada atau tidaknya turbulensi [5,7]. Selain itu, ketinggian lapisan pencampur juga penting dipahami untuk mengetahui ketinggian terjadinya pencampuran massa udara akibat turbulensi [8].

Klasifikasi turbulensi pada bidang penerbangan dibagi berdasarkan intensitas turbulensi yaitu: ekstrim, kuat, sedang, dan lemah. Namun hingga saat ini laporan turbulensi dalam penerbangan masih dilakukan secara subjektif [9].

2. Data dan Metode Penelitian

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data udara atas (sounding) model HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) dari NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Data tersebut dapat diunduh melalui https://ready.arl.noaa.gov/ready2-bin/listarcfile.pl?product=profile1a&userid=8239&metdata=GDAS1&mdatacfg=GDAS1&Lat=-6.12&Lon=106.65&x=-1&y=-1&sid=96749&elev=8&sname=SOEKARNO-HATTA_INTL

&state=--&cntry=ID&map=WORLD&misc=888. Resolusi spasial dan temporalnya adalah 1° x 1°dan tiap 3 jam dengan wilayah pengamatan di Stasiun Meteorologi Cengkareng (WMO 96749). Penggunaan data model tersebut dikarenakan adanya ketersediaan yang cukup rapat pada ripitasi waktunya. Sehingga dapat digunakan untuk memantau dan menganalisis kondisi atmosfer dengan lebih teliti, yang sesuai dengan Tonggal (2014).

Data pendukung dari penelitian ini adalah data pengamatan meteorologi permukaan (Synop) Stasiun Meteorologi Cengkareng. Data tersebut mempunyai resolusi temporal setiap 3 jam yang dapat diunduh https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en. Komponen datanya meliputi suhu udara, titik embun, kelembaban relatif, arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, curah hujan, jumlah tutupan awan, jenis awan, jarak pendang mendatar dan kondisi cuaca. Data tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi tiap parameter meteorologi di wilayah permukaan sekitar Bandara Soekarno-Hatta. Selain itu, data pendukung lainnya adalah data Satelit Himawari-8 kanal IR (Infrared). Data tersebut diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika) dengan resolusi spasial 2 kilometer x 2 kilometer dan resolusi temporal setiap 10 menit.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah identifikasi kejadian hujan sangat lebat pada tanggal 5 Februari 2018 menggunakan data *synop* dan Satelit Himawari-8. Kemudian menentukan ketinggihan turbulensi dengan metode termodinamik dan Kriteria kekuatan turbulensi dengan Bilangan Richardson.

a) Ketinggian Turbulensi

❖ Menentukan Solar Declination Angle

Solar Declination Angle didefinisikan sebagai sudut antara orbit dengan ekuator bumi [3,8].

$$\delta s = \phi r. \cos[\frac{C.(d - dr)}{dy}]$$

Keterangan:

 $\delta s = Solar Declination Angle$

 ϕr = Kemiringan sumbu bumi realtif (23,45°)

 $C = 2\pi \text{ radian} = 360^{\circ}$

d = Julian Date

dr = Summer Solstice

dy = Total hari dalam setahun

❖ Menghitung Sudut Elevasi

Sudut elevasi merupakan sudut matahari ketika berada di atas permukaan bumi [3,8].

$$\sin(\psi) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta s) - \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta s) \cdot \cos\left[\frac{C \cdot tUTC}{td} - \lambda e\right]$$

Keterangan:

 $\psi = \text{Sudut Elevasi } (^{\circ})$

 φ = *Latitude*

 $\lambda e = Longitude$

 $C = 2\pi \text{ radian} = 360^{\circ}$

tUTC = Coordinated Universal Time (jam)

td = Panjang hari (jam)

❖ Menghitung *Heat Flux*

Heat flux yaitu jumlah perpindahan kuantitas panas per unit area per unit waktu [3,8].

$$\mathcal{E}H = E.\sin(\psi)$$

Keterangan:

 $\mathcal{E}H = Heat \ Flux \ (W/m^2)$

 $E = Solar \ Constant \ (1368 \ W/m^2)$

 ψ = Sudut Elevasi (°)

❖ Menghitung *Heat Flux Kinematic*

Heat flux kinematic merupakan nilai fluks panas dibagi dengan massa jenis udara dan panas spesifik yang menghasilkan nilai persamaan untuk satuan suhu dan kecepatan angin [3,8].

$$FH = \frac{\mathcal{E}H}{\rho_{air}.Cp}$$

Keterangan:

FH = Heat Flux Kinematic (K m s⁻²)

 ρ_{air} = Massa jenis udara (Kg/m³)

 $Cp = Spesific Heat for Air (J K^{-1} Kg^{-1})$

 ρ_{air} .Cp = 1231 W m⁻²/K m s⁻¹

❖ Menentukan Cumulative Daytime Heating

Cumulative daytime heating (Q_{AK}) menggambarkan akumulasi panas harian per unit area dalam bentuk kinematic [3,8].

$$Q_{AK} = \frac{FH_{max} \cdot D}{\pi} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi t}{D}\right) \right]$$

Keterangan:

 Q_{AK} = Cumulative Daytime Heating (K Km)

 $FH_{max} = Heat Flux Kinematic Maximum (K m s⁻¹)$

D = Total durasi Heat Flux positif (s)

T = Waktu pengamatan (s), pada siang hari t=D; malam hari t=24-D

 $\Pi = 3.14$

❖ Menentukan Suhu Potensial terhadap Ketinggian

Suhu potensial adalah suhu parsel udara kering yang dibawa secara adiabatic dari posisi awal menuju tekanan standar 1000 mb [10].

$$\theta = T. \left(\frac{P_0}{P}\right)^{Rd/Cp}$$

Keterangan:

 θ = Suhu Potensial (K)

T = Suhu Udara (K)

 P_0 = Tekanan referensi (1000 mb)

P = Tekanan pada ketinggian tertentu (mb)

 $\frac{Rd}{Cp} = 0,286$

❖ Menentukan Ketinggian Lapisan Pencampuran

Lapisan pencampur adalah bagian dari *atmospheric boundary layer* yang merupakan lapisan terjadinya pergerakan konvektif akibat pemanasan permukaan dan turbulensi yang melakukan pencampuran secara efektif [6].

$$zi = \sqrt{\frac{Q_{AK}}{0.5 \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta z}}}$$

Keterangan:

zi = Ketinggian lapisan pencampur (Km)

 $\frac{\Delta\theta}{\Delta z}$ = Perubahan suhu potensial terhadap ketinggian (K/Km)

b) Kriteria Kekuatan Turbulensi dengan Bilangan Richardson

Bilangan Richardson (Ri) merupakan pengukuran intensitas pencampuran (turbulensi) dan menyediakan kriteria yang menunjukkan ada atau tidaknya turbulensi pada tingkat stabilitas lingkungan [11].

$$Ri = g \frac{(T2 - T1) + \gamma d(z2 - z1)}{T(u2 - u1)^2}$$

Keterangan:

T = Suhu udara (K)

 $g = Kecepatan gravitasi, 9.8 m/s^2$

γd = Dry Adiabatic Lapse Rate, 9,8 °C/Km

z =Ketinggian lapisan

u = Kecepatan angin (m/s)

Tabel 1. Kriteria Turbulensi dan Kestabilan Atmosfer berdasar nilai Ri [5,8]

Nilai Ri	Turbulensi	Stabil/Tidak Stabil
Ri < 0,0	Ada, konvektif kuat	Tidak stabil termal
0.0 < Ri < 0.25	Ada, konvektif lemah	
Ri > 0.25	Tidak ada	

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Kejadian Hujan Lebat dengan Pengamatan Meteorologi Permukaan (Sinoptik) Stasiun Meteorologi Cengkareng

Tabel 2. Data Sinoptik Stamet Cengkareng

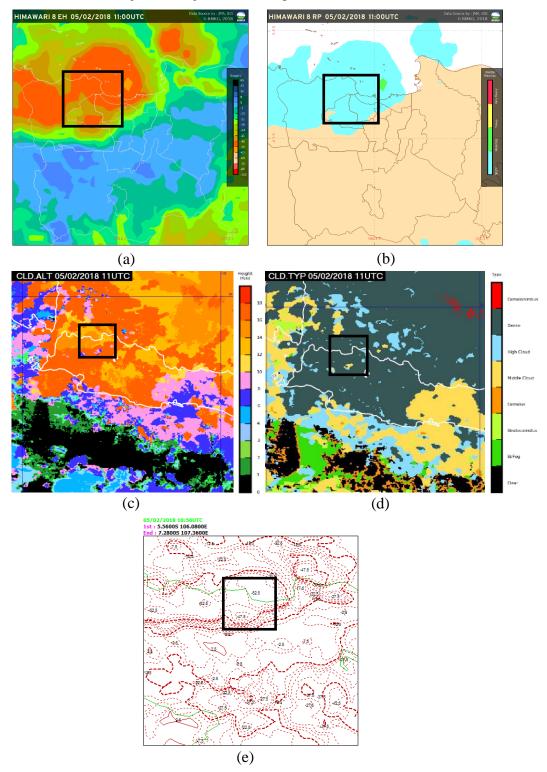
Tabel 2. Data Shioptik Stainet Cengkareng							
Jam (WIB)	Suhu Udara (^O C)	Titik Embun (^O C)	Kelembaban Relatif (%)	Arah Angin (^O)	Kecepatan Angin (Knot)	Tekanan Udara (Milibar)	Curah Hujan (Milimeter)
07	25.6	23.1	86.12	315	11.1	1012.6	0.2/3 jam yang lalu
10	27.1	23.5	80.76	315	22.2	1013.5	-
13	28.5	23.7	75.34	292.5	18.5	1011.5	-
16	24.7	23.3	92	202.5	16.7	1009.8	4.0/3 jam yang lalu
19	23.8	23.0	95	157.5	7.4	1011.9	66.0/3 jam yang lalu
22	24.1	23.4	95.88	202.5	3.7	1013.5	0.4/3 jam yang lalu

Tabel 3. Data Sinoptik Stamet Cengkareng

Tabel 5. Data Shioptik Stanlet Cengkareng						
Jam (WIB)	Jumlah Tutupan Awan (Okta)	Jarak Pandang Mendatar (Kilometer)	Cuaca Saat Jam Pengamatan	Cuaca 3 Jam Sebelumnya		
07	8	6	Hujan	Berawan menutupi lebih dari ½ langit dan kemudian Hujan		
10	8	6	Hujan	Berawan menutupi lebih dari ½ langit dan kemudian Hujan		
13	7	7	Hujan	Berawan menutupi lebih dari ½ langit		
16	8	5	Hujan	Berawan menutupi lebih dari ½ langit dan kemudian Hujan		
19	8	5	Hujan	Hujan disertai petir		
22	7	5	Mist	Berawan menutupi lebih dari ½ langit dan kemudian Hujan		

Tabel 1 dan 2 diatas menunjukan kondisi beberapa parameter meteorologi pada tanggal 5 Februari 2018 oleh pengamatan Stasiun Meteorologi Cengkareng (WMO 96745). Terlihat bahwa terjadi hujan sangat lebat diantara jam 16.00 WIB dan 19.00 WIB dengan jumlah curah hujan 66 mm/tiga jam. Sehingga rata-rata curah hujan mencapai 23 mm/jam yang menurut BMKG (2010), tergolong ke dalam hujan lebat. Selain itu, teramati pada jam pengamatan 19.00 WIB terdapat hujan disertai petir (Thunderstorm) pada periode 3 jam yang lalu sehingga kemungkinan besar dapat terjadi pada sekitar pukul 17.00 WIB. Parameter meteorologi yang lain teramati menunjukan kondisi atmosfer cenderung tidak stabil. Pada jam 16.00 WIB suhu udara mencapai 24.7 °C, titik embun 23.3 °C, kelembaban relatif 92%, kecepatan angin 16.7 knot dengan arah Selatan (202.5°), tekanan udara 1009.8 mb, jarak pandang mendatar 5 km, dan awan menutupi seluruh langit (8 okta). Sedangkan jam 19.00 WIB suhu udara mencapai 23.8 °C, titik embun 23.0 °C, kelembaban relatif 95%, kecepatan angin 7.4 knot dengan arah Selatan (157.5°), tekanan udara 1011.9 mb, jarak pandang mendatar 5 km, dan awan menutupi seluruh langit (8 okta).

3.2 Identifikasi Kejadian Hujan Lebat dengan Citra Satelit Himawari-8



Gambar 2.Pengamatan Menggunakan Citra Satelit Himawari-8. (a) Suhu Puncak Awan, (b) Curah Hujan Potensial, (c) Ketinggihan Puncak Awan, (d) Jenis Awan, (e) Kontur

Gambar 2 diatas menunjukan beberapa Citra Satelit Himawari-8 yang dapat digunakan untuk menganalisis kejadian hujan lebat tanggal 5 Februari 2018.

1417.366

12

-0.04576

-0.0645

Dapat diketahui bahwa perkembangan luasan awan paling besar dan matang teramati sekitar jam 11 UTC (18.00 WIB). Dengan kondisi awan demikian, diperkirakan bahwa hujan dengan intensitas paling tinggi terjadi pada waktu tersebut. Gambar 2a menunjukan distribusi spasial suhu puncak awan di wilayah Bandara Soekarno-Hatta. Sedangkan Gambar 2e menunjukan kontur isoline suhu puncak awan di wilayah tersebut. Dapat diketahui bahwa suhu puncak awan mencapai -52 °C, yang berarti awan tersebut mempunyai suhu yang sangat dingin dengan puncaknya yang dilapisi partikel es. Luasan awan dengan kondisi itu menutupi hampir seluruh bagian utara Kota Tangerang dan DKI Jakarta. Tipe awan dipresentasikan oleh Gambar 2d, yang mana awannya didominasi oleh awan dense cloud. Artinya bersifat tebal dan konvektif. Sedangkan ketinggian puncak awan diperlihatkan oleh Gambar 2cyang teramati mencapai 16 km. Untuk sebaran hujan, dipresentasikan oleh Gambar 2b yang terlihat hujannya merata dengan intensitas ringan hingga lebat. Oleh karena itu di Bandara Soekarno-Hatta dapat teramati adanya awan yang mempunyai tingkat energi konvektif yang kuat sehingga memicu terjadinya hujan sangat lebat.

3.3 Identifikasi Ketinggian Lapisan Batas Atmosfer dan Bilangan Richardson

JAM (UTC)	TANGGAL 4			TANGGAL 5			TANGGAL 6		
	zi	Ri (1000)	Ri (2000)	zi	Ri(1000)	Ri (2000)	zi	Ri(1000)	Ri (2000)
6	3108.33	-0.01763	-3.46141	3078.06	-0.02027	-0.06619	3087.91	-0.03152	-0.01113
9	2158.36	-0.01714	-3.45534	2132.77	-0.02422	-14.8685	2141.09	-0.05929	-0.15443

-0.00591

-16.2227

1408.98

-0.01475

-14.1904

Tabel 4. Nilai Ketinggian Lapisan Pencampuran dan Bilangan Richardson

1403.28

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa keadaan dari lapisan batas atmosfer (LBA) pada sebelum, sesaat dan sesudah kejadian hujan lebat yang di dapatkan dari data pengamatan radiosonde dari Stasiun Meteorologi Cengkareng. Didapatkan ketinggian lapisan LBA (zi) dari ketiga hari tersebut pada jam 06, 09, 12 UTC mengalami perubahan ketinggian yang tidak terlalu signifikan, akan tetapi pada tanggal 5 saat terjadi hujan lebat ketinggian LBA tercatat paling rendah dibandingkan dengan hari yang lain yaitu 1403,282 meter. Hal ini dikarenakan adanya pertumbuhan awan konvektif rendah yang semakin dekat dengan permukaan di daerah tersebut. Sedangkan dari perhitungan Richardson Number (Ri) menunjukkan perbedaan yang signifikan, Dilihat dari satu hari sebelum dan sesudah kejadian, Ri menunjukkan keadaan LBA yang hampir netral dan dibuktikan dengan tidak adanya cuaca yang signifikan pada hari tersebut namun pada tanggal 6 Ri mulai tidak stabil pada pukul 12 UTC. Sedangkan nilai Ri pada tanggal 5 menunjukkan keadaan atmosfer yang tidak stabil pada sore hari, yaitu pada pukul 9 dan 12 UTC dengan nilai Ri yang mencapai -14,8685 dan -16,227. Hal ini dibuktikan dengan hujan lebat yang terjadi pada rentang waktu 3 jam tersebut yang curah hujannya mencapai hingga 66,0 mm.

4. Kesimpulan

Dapat diketahui bahwa tanggal 5 Februari 2018 telah terjadi hujan sangat lebat pada sekitar jam 18.00 WIB dengan curah hujan mencapai 23 mm/jam. Kecepatan angin pada saat itu dapat mencapai lebih dari 16 knot dari arah Barat Daya. Terjadi pertumbuhan awan yang tebal, luas dan cukup tinggi dengan puncak awan dilapisi oleh partikel sangat dingin dan tingkat energi konvektif yang kuat.

Ketinggian lapisan batas atmosfer pada saat hujan sangat lebat cenderung lebih rendah daripada saat tidak hujan. Hal ini terjadi karena adanya perubahan kelembaban dilapisan permukaan menjadi semakin besar sehingga terbentuknya awan dengan ketinggian rendah. Awan tersebut secara umum bersifat konvektif kuat dengan tinggi dasar awan yang rendah. Sehingga mengakibatkan turunnya ketinggian lapisan batas atmosfer. Selain itu, saat hujan sangat lebat kondisi atmosfer semakin tidak stabil dan menyebabkan turbulensi kuat. Hal ini ditandai dengan nilai Bilangan Richardson yang kecil

Ucapan terima kasih

Disampaikan ucapan terima kasih banyak kepada Bapak Slamet Suyitno Rahardjo, S.Si, M.Si selaku Ketua Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi Geofisika (STMKG) yang telah mendukung penelitian ini. Kemudian kepada Bapak Dr. Aries Kristianto, M.Si selaku Kepala Program Studi Meteorologi yang telah memberikan inspirasi untuk membuat penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arya SP. 1999. Air Pollution Meteorology and Dispersion. New York: Oxford University Press.
- Arya SP. 2001. Introduction to Micrometeorology Second Edition. San Diego, California: Academic Press.
- BMKG. 2012. Analisis Musim Kemarau 2012 dan Prakiraan Musim Hujan 2012/2013. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika COMET. 2013. Tephygram mastery. New York: University Corporation for
- Atmospheric Research.
- Golding WL. 2000. Turbulence and its impact on commercial aviation. The Journal of Aviation/Aerospace Education & Reseach. 11(2): 19-30
- McCann DW. 1999. A simple turbulent kinetic energy equation and aircraft boundary layer turbulence. National Weather Digest. 23(1-2): 13-19. Oke TR. 2002. Boundary Layer Climates Second Edition. British: Taylor &
- 7. Francis e-Library
- Overeem A. 2002. Verification of clear-air turbulence forecasts [Technisch rapport]. Netherlands: KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute)
- Sasmito A. 2011. Peringatan dini dan diagnosis munculnya turbulensi cuaca cerah dan dampaknya pada pesawat. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. 12(3): 291-302
- 10. Stull R. 2000. Meteorology for Scientist and Engineers Second Edition. United States of America: Brooks/Cole Thomson Learning
- 11. Savli M. 2012. Turbulence kinetic energi TKE [skripsi]. Ljubljana: University of Ljubljana