

Pendeteksian lightning dan thunderstorm pada area ruang udara bandara Jog/Wahh Adisutjipto International Airport dan Yogyakarta International Airport

Indro Lukito^{*1}, Intan Dyah Pradnjaparamitha², Bambang Sudibya³,
Denny Dermawan⁴

¹Program Studi Teknik Dirgantara Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto

^{2,3,4}Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto

Email Korespondensi: *lukito_dalbo@yahoo.com

Abstract. Daerah Istimewa Yogyakarta have Yogyakarta International Airport and Adisutjipto International Airport to serve both of civil and military flight mission. Airport must be supported by weather information system for the flight safety. One of any methodes to detect bad weather is using radiosonde to record weather moving in every step of atmospheric level. Using indexes of weather detection can predict the developing weather and presented thunderstorm, lightning and any storm in both of airport area. The significant weather such as thunderstorm and lightning shall be a big danger for the flight which are located n its weather area and must avoid its area. The research focused to operating of radiosonde and how to analyze the becoming weather worst by calculating the weathar indexes of reported radiosonde recording. The result of its analyze is usefull for pilots especially in any steps of the flight, takeoff, approach and landing. Operating of radiosonde equipment which consist of ground equipment, antenna system, Global Positioning System, software of MGPS2, provided any transmission data that can be used to predict possibility bad weather and presented storm. The results of this research are lightning density in Weather Zone A Yogyakarta International Airport is $d_A=17,97715$ lightning/km².yr with lightning threat level classified as "MIDDLE". Lightning density in Weather Zone B Adisutjipto International Airport is $d_B=9,346163$ lightning/km².yr with lightning threat level classified as "LOW". There were presented thunderstorm caused by high convection of heat in the atmosphere with possibility presented storm up to 75% in the bad weather condition.

Keywords: flight safety, radiosonde, thunderstorm, lightning

1. Pendahuluan

Faktor utama dalam penerbangan adalah keselamatan penerbangan. Keselamatan penerbangan didapatkan dari beberapa aspek penanganan yang bertujuan untuk menciptakan pesawat yang selamat tiba ditempat tujuan. Faktor-faktor penanganan tersebut yang terkait dengan tujuan keselamatan penerbangan (*Flight Savety*) adalah faktor teknik pesawat terbang, faktor operasi penerbangan, faktor pendukung operasional bandar udara, dan faktor cuaca.

Faktor cuaca sebagai penentu yang signifikan bagi terciptanya keselamatan penerbangan. Beberapa aspek dari faktor cuaca adalah cuaca permukaan dan cuaca atmosfer. Batasan cuaca permukaan adalah batasan dimana kondisi cuaca yang terjadi pada saat pesawat untuk *takeoff* dan *landing*, serta saat *climb* dan *approach* sedangkan batasan cuaca atmosfer adalah kondisi dimana cuaca disuatu ketinggian terbang dimana pesawat melintas pada area cuaca tersebut. Jika batasan cuaca atmosfer menunjukkan kondisi yang berbahaya saat dilintasi maka pesawat harus menghindari rute area cuaca tersebut dengan mengubah arah terbang atau mengubah ketinggian terbang.

Salah satu penyebab cuaca buruk di ketinggian terbang adalah keberadaan awan *Cummulonimbus* (Cb) dimana saat awan tersebut pada posisi rendah potensi yang tampak terlihat adalah *thunderstorm* (Ts). Bentuk ini menghasilkan badai petir atau halilintar. Keberadaan awan tersebut membahayakan penerbangan dan harus dihindari.

Tingginya frekuensi penerbangan berdampak pada terjadinya antrian pesawat khususnya di area udara Yogyakarta *International Airport* (YIA) dan Adisutjipto *International Airport* (JOG). Saat pesawat akan melakukan antri pendaratan (*holding*) diupayakan untuk pada area dimana tidak terdapat atau jarang terjadi potensi terbentuknya awan *cummulonimbus*.

Penerbang memerlukan informasi cuaca pada setiap tahapan terbangnya (*takeoff, climb, cruise, approach, landing*). Sistem informasi tentang cuaca haruslah tepat, terkini dengan keakuratan yang maksimal. Beberapa metode dilakukan untuk mendapatkan informasi cuaca dari alam mulai dari pengamatan langsung secara visual, pengamatan dengan menggunakan peralatan meteorology, dalam bentuk data dan selanjutnya dilakukan analisis prakiraan cuaca ke depan. Informasi dan hasil pengamatan akurat bagi penerbang sebagai salah satu preventif terhadap gangguan keselamatan penerbangan.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan observasi pada beberapa lokasi pengamatan baik di area udara JOG dan YIA serta menggunakan informasi data hasil pengamatan radiosonde oleh BMKG pada tiap level ketinggian atmosfer hingga 54.000 *feet* serta data *weather forecasting* dan *upper wind chart* dari *aerodrome meteorological office* kedua bandar udara. Selanjutnya hasil pengamatan dan data radiosonde hasil observasi menggunakan metode SWEAT dengan beberapa tahapan analisis berupa: (a) Indeks Kestabilan Awan, (b) *Showalter Stability Index* (SSI), (c) *Lifted Index* (LI), (d) *K Index* (KI), (e) *Total – Total Index* (TTI), dengan pendekatan formula formula:

$$SSI = T - T' \dots \dots \dots (1)$$

$$LI = T_{500} - T_{p_{500}} \dots \dots \dots (2)$$

$$KI = (t_{850} - t_{500}) + t_{d_{850}} - (t_{700} - t_{d_{700}}) \dots \dots \dots (3)$$

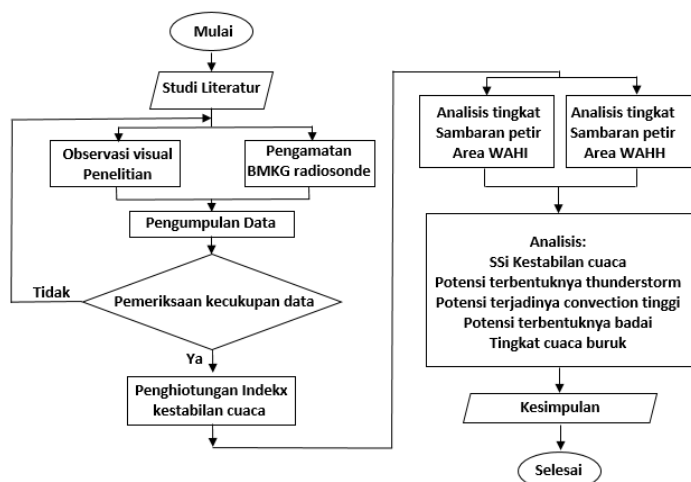
$$TTI = (t_{850} - t_{500}) + (t_{d_{850}} - t_{500}) \dots \dots \dots (4)$$

$$SWEAT = 12t_{d_{850}} + 20(TTI - 49) + 2F_{850} + F_{500} + 125(s + 0,2) \dots \dots \dots (5)$$

Dan penghitungan tekanan pada masing ketinggian atmosfer menggunakan pendekatan

$$P = P_b \times \left[\frac{T_b}{T_b + L_b \times (h - h_0)} \right]^{\frac{g_0 \times M}{R \times L_b}} \dots \dots \dots (6)$$

Proses penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Metode penelitian

Data yang diperlukan untuk melakukan analisis ini adalah:

Tabel 1. Static Pressure and Temperature Standard Lapse Rate

Subscript b	Height above sea level		Static pressure		Standard temperature	Temperature lapse rate	
	(m)	(ft)	(pascals)	(inHg)	(K)	(K/m)	(K/ft)
0	0	0	101325.00	29.92126	288.15	-0.0065	-0.0019812
1	11,000	36,089	22632.10	6.683245	216.65	0.0	0.0
2	20,000	65,617	5474.89	1.616734	216.65	0.001	0.0003048
3	32,000	104,987	868.02	0.2563258	228.65	0.0028	0.00085344
4	47,000	154,199	110.91	0.0327506	270.65	0.0	0.0
5	51,000	167,323	66.94	0.01976704	270.65	-0.0028	-0.00085344
6	71,000	232,940	3.96	0.00116833	214.65	-0.002	-0.0006096

Tabel 2. Data Weather Forecasting

TAFOR WAHI Yogyakarta International Airport	TAFOR WAHH Yogyakarta International Airport
TAF WAHI 212330Z 220017 12010G20KT 8000 FEW017CB BKN018 BECMG 1214 VRB01900 NSW SCT018 =	TAF WAHH 182330Z 190017 25008KT 9999 FEW020 BKN030 TEMPO 0305 FEW 018CB BECMG 0809 23005KT 5000 -TSRA FEW017CB BKN 110 =
TAF WAHI 272340Z 280017 30010KT 8000 SCT018 TEMPO 0610 7000 FEW017CB BKN019 BECMG 1012 12005KT 7000 SCT017 BECMG 0103 27010KT 8000 SCT019 =	TAF WAHH 222340Z 230017 28010KT 9999 SCT023 TEMPO 0712 8000 TS FEW020CB BECMG 1315 22003KT 7000 =
TAF WAHI 032345Z 040017 VRB08KT 9999 SCT018 TEMPO 0204 4000 -TSRA FEW018CB SCT020 BECMG 0710 28005KT 6000 -TS TEMPO 1214 2500 HZ FEW018CB =	TAF WAHH 282320Z 290017 30010KT 8000 SCT020 TEMPO 0618 4000 TSRA FEW019CB BKN020 BECMG 1214 00000KT 5000 HZ =
TAF WAHI 072350Z 080017 27008KT 9999 SCT018 TEMPO 0407 7000 TSRA FEW018CB BKN017 BECMG 1012 VRB03KT =	TAF WAHH 042315Z 050017 10008KT 9999 SCT018 TEMPO 0608 7000 RA FEW016CB TEMPO 1416 5000 RA FEW016CB BKN018 =
TAF WAHI 112330Z 120017 08006KT 7000 SCT018 BKN019 TEMPO 0406 4000 FEW017CB BECMG 0911 32010KT 8000 TEMPO 1213 4000 TSRA FEW017CB BKN017 =	TAF WAHH 072330Z 080017 VRB03KT 9999 SCT018 TEMPO 0509 7000 TSRA FEW017CB BKN018 BECMG 1020 27008KT HZ 6000 =
TAF WAHI 152345Z 160017 00000KT 9999 SCT018 BKN100 TEMPO 0708 6000 RA FEW016CB TEMPO 1013 5000 RA FEW016CB =	TAF WAHH 152340Z 161818 24005KT 9999 SCT018 TEMPO 0305 6000 RA FEW016CB BECMG 0911 04008KT TEMPO 1214 7000 RA FEW017CB =
TAF WAHI 212340Z 220024 12005KT 8000 SCT100 BECMG 0204 30009KT 3000 TSRA FEW017CB BECMG 1214 10003KT 7000 FEW016CB =	TAF WAHH 202310Z 210017 VRB08KT 9999 FEW018CB SCT018 TEMPO 0912 4000 -TSRA FEW015CB BECMG 1416 00000KT HZ FEW016CB =

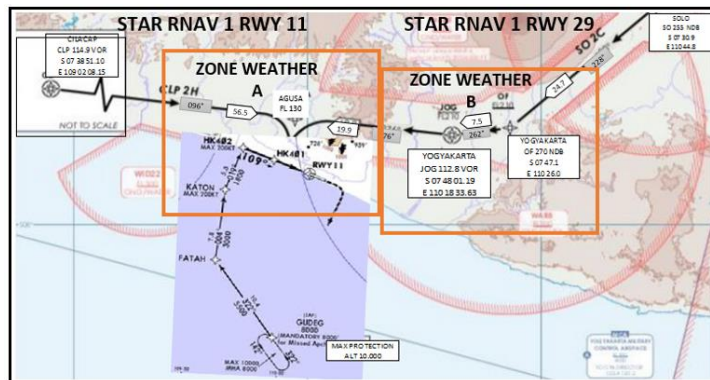
Tabel 3. Hasil Observasi BMKG

WAHH 02.00 z 2019.12.19												
Atmospheric level		Sea Level temperature		23.9 °C								
feet	meter	hPa	LR	t°C	t°F	td°C	td°F	T	T	Td	F	grs
1,000.00	304.88	955.72	2.20	21.70	34.02	19.69	34.00	294.85	296.21	292.84	18.00	17.00
2,000.00	609.76	913.40	2.21	19.48	33.99	17.53	33.98	292.63	294.41	290.68	22.00	23.00
3,000.00	914.63	872.95	2.21	17.27	33.97	15.07	33.95	290.42	292.74	288.22	24.00	26.00
4,000.00	1,219.51	834.30	2.27	14.82	33.95	12.72	33.93	287.97	291.01	285.87	21.00	24.00
5,000.00	1,524.39	797.36	2.23	12.75	33.93	11.66	33.92	285.90	289.02	284.81	16.00	22.00
6,000.00	1,829.27	762.05	2.26	10.34	33.90	8.92	33.89	283.49	285.67	282.07	17.00	18.00
7,000.00	2,134.15	728.30	2.25	8.15	33.88	7.96	33.88	281.30	283.55	281.11	17.00	19.00
8,000.00	2,439.02	696.06	2.29	5.58	33.86	5.28	33.85	278.73	281.07	278.43	23.00	18.00
9,000.00	2,743.90	665.23	2.27	3.47	33.83	5.37	33.85	276.62	278.80	278.52	26.00	26.00
10,000.00	3,048.78	635.78	2.20	1.90	33.82	2.94	33.83	275.05	277.50	276.09	24.00	18.00
11,000.00	3,353.66	607.62	2.25	(0.85)	33.79	1.55	33.82	272.30	274.64	274.70	22.00	19.00
12,000.00	3,658.54	580.72	2.23	(2.86)	33.77	0.37	33.80	270.29	272.67	273.52	18.00	18.00
13,000.00	3,963.41	555.00	2.21	(4.83)	33.75	(1.45)	33.79	268.32	270.49	271.70	18.00	18.00
14,000.00	4,268.29	530.43	2.22	(7.18)	33.73	(4.04)	33.76	265.97	268.33	269.11	19.00	19.00
15,000.00	4,573.17	506.94	2.20	(9.10)	33.71	(4.70)	33.75	264.05	266.29	268.45	20.00	18.00
16,000.00	4,878.05	484.49	2.29	(12.74)	33.67	(8.27)	33.72	260.41	262.60	264.88	24.00	21.00
17,000.00	5,182.93	463.04	2.26	(14.52)	33.65	(10.58)	33.69	258.63	261.04	262.57	23.00	23.00
18,000.00	5,487.80	442.54	2.23	(16.24)	33.64	(13.01)	33.67	256.91	259.19	260.14	22.00	18.00
19,000.00	5,792.68	422.94	2.22	(18.28)	33.62	(15.09)	33.65	254.87	257.25	258.06	25.00	19.00
20,000.00	6,097.56	404.21	2.27	(21.50)	33.59	(18.42)	33.62	251.65	254.02	254.73	18.00	18.00
21,000.00	6,402.44	386.31	2.26	(23.56)	33.56	(20.54)	33.59	249.59	251.91	252.61	28.00	23.00
22,000.00	6,707.32	369.21	2.29	(26.48)	33.54	(23.13)	33.57	246.67	248.86	250.02	19.00	23.00
23,000.00	7,012.20	352.86	2.25	(27.85)	33.52	(25.88)	33.54	245.30	247.49	247.27	18.00	22.00
24,000.00	7,317.07	337.23	2.20	(28.90)	33.51	(27.32)	33.53	244.25	246.66	245.83	21.00	23.00
25,000.00	7,621.95	322.30	2.21	(31.35)	33.49	(29.30)	33.51	241.80	244.08	243.85	23.00	12.00
26,000.00	7,926.83	308.03	2.21	(33.56)	33.46	(31.46)	33.49	239.59	241.78	241.69	18.00	14.00
27,000.00	8,231.71	294.39	2.28	(37.66)	33.42	(35.18)	33.45	235.49	237.90	237.97	19.00	17.00
28,000.00	8,536.59	281.35	2.24	(38.82)	33.41	(36.45)	33.44	234.33	236.61	236.70	21.00	25.00
29,000.00	8,841.46	268.90	2.23	(40.77)	33.39	(38.38)	33.42	232.38	232.00	234.77	19.00	27.00
30,000.00	9,146.34	256.99	2.26	(43.90)	33.36	(42.70)	33.37	229.25	228.88	230.45	18.00	21.00
31,000.00	9,451.22	245.61	2.21	(44.61)	33.35	(43.17)	33.37	228.54	228.22	229.98	25.00	19.00
32,000.00	9,756.10	234.73	2.20	(46.50)	33.34	(45.72)	33.34	226.65	227.84	227.43	28.00	18.00
33,000.00	10,060.98	224.34	2.23	(49.69)	33.30	(50.07)	33.30	223.46	224.90	223.08	23.00	25.00
34,000.00	10,365.85	214.41	2.26	(52.94)	33.27	(52.99)	33.27	220.21	221.31	220.16	23.00	28.00
35,000.00	10,670.73	204.91	2.24	(54.50)	33.26	(55.89)	33.24	218.65	219.74	217.26	28.00	23.00
36,000.00	10,975.61	195.84	2.20	(55.30)	33.25	(56.40)	33.24	217.85	218.96	216.75	29.00	23.00
37,000.00	11,280.49	187.17	2.20	(57.50)	33.23	(58.68)	33.21	215.65	216.97	214.47	23.00	21.00
38,000.00	11,585.37	178.88	2.20	(59.70)	33.20	(60.98)	33.19	213.45	214.86	212.17	24.00	24.00
39,000.00	11,890.24	170.96	2.20	(61.90)	33.18	(63.15)	33.17	211.25	212.44	210.00	21.00	28.00
40,000.00	12,195.12	163.39	2.20	(64.10)	33.16	(65.34)	33.15	209.05	210.26	207.81	19.00	29.00
41,000.00	12,500.00	156.15	2.20	(66.30)	33.14	(67.50)	33.13	206.85	208.04	205.65	18.00	23.00
42,000.00	12,804.88	149.24	2.20	(68.50)	33.12	(69.75)	33.10	204.65	206.09	203.40	25.00	24.00
43,000.00	13,109.76	142.63	2.20	(70.70)	33.09	(71.97)	33.08	202.45	203.67	201.18	28.00	21.00
44,000.00	13,414.63	136.31	2.22	(73.78)	33.06	(75.17)	33.05	199.37	200.79	197.98	23.00	18.00
45,000.00	13,719.51	130.28	2.27	(78.25)	33.02	(79.61)	33.00	194.90	195.10	193.54	23.00	17.00
46,000.00	14,024.39	124.51	2.28	(80.98)	32.99	(82.31)	32.98	192.17	193.45	190.84	25.00	26.00
47,000.00	14,329.27	119.00	2.25	(81.85)	32.98	(83.11)	32.97	191.30	192.62	190.04	23.00	25.00
48,000.00	14,634.15	113.73	2.25	(84.10)	32.96	(85.22)	32.95	189.05	190.24	187.93	28.00	22.00
49,000.00	14,939.02	108.69	2.29	(88.31)	32.92	(89.51)	32.90	184.84	186.13	183.64	27.00	25.00
50,000.00	15,243.90	103.88	2.21	(86.60)	32.93	(87.88)	32.92	186.55	187.64	185.27	29.00	23.00
51,000.00	15,548.78	99.28	2.20	(88.30)	32.92	(89.57)	32.90	184.85	186.14	183.58	23.00	28.00
52,000.00	15,853.66	94.88	2.24	(92.58)	32.87	(93.67)	32.86	180.57	181.89	179.48	17.00	27.00
53,000.00	16,158.54	90.68	2.23	(94.29)	32.86	(95.47)	32.85	178.86	180.25	177.68	26.00	29.00
54,000.00	16,463.41	86.67	2.27	(98.68)	32.81	(99.91)	32.80	174.47	175.66	173.24	25.00	23.00

Tabel 4. Data Weather Presentation

WEATHER PRESENTATION January 2019

Day	Cloud Presentation									Significant Weather Presentation			Weather Zone A		Weather Zone B	
	Low			Middle			High			TS	RA	Ice	CB Density	Presented lightning	CB Density	Presented Lightning
	Dens	kind	heigh feet	Dens	kind	heigh feet	Dens	kind	heigh feet							
1	Scatter	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	7600	Scatter	Ci Cs Cb	22000	1	1	1	Frequent	70	Occasional	190
2	Broken	Cu Sc Cb	1660	Broken	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	22500	1	0	1	Occasional	98	Frequent	22
3	Scatter	Cu Sc Cb	1540	Scatter	Ac As Cb	8300	Scatter	Ci Cs Cb	21600	1	1	1	Isolated	104	Isolated	25
4	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	8500	Scatter	Ci Cs Cb	23000	1	1	1	Occasional	29	Isolated	14
5	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	1	1	1	Isolated	118	Occasional	23
6	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24500	1	0	1	Isolated	190	Occasional	22
7	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	8000	Scatter	Ci Cs Cb	24000	0	1	1	Occasional	0	Isolated	0
8	Broken	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	8500	Scatter	Ci Cs Cb	23000	1	1	1	Isolated	98	Isolated	26
9	Scatter	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24000	1	1	1	Occasional	116	Occasional	121
10	Scatter	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	9000	Scatter	Ci Cs Cb	26000	0	1	1	Occasional	0	Isolated	0
11	Scatter	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	7000	Scatter	Ci Cs Cb	24000	1	0	1	Isolated	22	Occasional	176
12	Broken	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	22000	1	1	1	Occasional	28	Occasional	22
13	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	8500	Scatter	Ci Cs Cb	23000	0	1	0	Occasional	0	Isolated	0
14	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	1	1	1	Isolated	148	Occasional	23
15	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24500	1	1	1	Isolated	79	Occasional	105
16	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	8500	Scatter	Ci Cs Cb	23000	1	1	1	Occasional	98	Isolated	65
17	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	0	0	0	Isolated	0	Occasional	0
18	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	1	1	1	Isolated	174	Occasional	33
19	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	1	1	1	Occasional	92	Occasional	23
20	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24500	1	0	1	Isolated	25	Occasional	45
21	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	1	1	1	Isolated	28	Occasional	65
22	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24500	1	1	1	Isolated	25	Occasional	180
23	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	8000	Scatter	Ci Cs Cb	24000	1	1	1	Occasional	28	Isolated	19
24	Few	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	10500	Scatter	Ci Cs Cb	25000	1	1	1	Isolated	129	Occasional	23
25	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24500	0	1	1	Isolated	0	Occasional	19
26	Scatter	Cu Sc Cb	1800	Scatter	Ac As Cb	8000	Scatter	Ci Cs Cb	24000	1	1	1	Occasional	89	Isolated	85
27	Broken	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	8500	Scatter	Ci Cs Cb	23000	1	1	1	Isolated	56	Isolated	175
28	Scatter	Cu Sc Cb	1700	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	24000	0	0	1	Occasional	0	Occasional	0
29	Scatter	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	9000	Scatter	Ci Cs Cb	26000	0	1	1	Occasional	0	Isolated	0
30	Scatter	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	7000	Scatter	Ci Cs Cb	24000	1	1	1	Isolated	26	Occasional	39
31	Broken	Cu Sc Cb	1450	Scatter	Ac As Cb	7500	Scatter	Ci Cs Cb	22000	0	1	1	Occasional	0	Occasional	0



Gambar 2. Weather Area JOG - YIA

3. Hasil dan Pembahasan

Dengamatan secara *visual* saat terbentuknya *rain*, *thunderstorm* dan *lightning*. didapatkan foto dan video rekaman bentukan awan Cb dan bentukan *thunderstorm* berikut ini



Gambar 3. Light Thunderstorm Area YIA 04 Januari 2019



Gambar 4. Video Thunderstorm Rain (TSRA) Area YIA
12 Januari 2019 12.14z (19.14 LT)

A. Penghitungan dan Analisis Cuaca Berdasarkan Data Radiosonde

Menggunakan data tabel 4 dilakukan penghitungan persentase terhadap kejadian dan didapatkan hasil kejadian thunderstorm (TS) sebanyak 23 kali (30%), rain (RA) sebanyak 25 kali (32%), dan icing (ICE) sebanyak 29 kali (38%). Sedangkan terjadinya awan Cb dengan kerapatan ISOL sebanyak 16 kali (51,6%), OCNL 13 kali (42%), dan FREQ 2 kali (6,5%).

Jumlah terjadinya lighting terakumulasi mulai dari Februari 2019 hingga Januari 2019 sebesar nuari 2019 pada area WAHI sebanyak 9328 kali, pada area WAHH sebanyak 6125 kali, seperti terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5. Tebel presentasi Weather JOG dan YIA 2019

Bulan/2019	Total persentase per bulan			Persentase Awan Cumulonimbus			Weather Zone A TTL Lighting	Weather Zone B TTL Lighting
	TS	RA	Ice	Isol	Ocnl	Fregt		
Januari	23 (29,9 %)	25 (32,5 %)	29 (37,7 %)	16 (51,6 %)	13 (41,9 %)	2 (6,45 %)	1870	1540
Februari	18 (30 %)	19 (31,7 %)	23 (38,3 %)	13 (46,4 %)	10 (35,7 %)	5 (0,3 %)	1650	1320
Maret	14 (29,2 %)	16 (33,3 %)	18 (37,5 %)	4 (19 %)	11 (52,4 %)	6 (0,49 %)	1210	880
April	8 (29,6 %)	9 (33,3 %)	10 (37 %)	4 (13,3 %)	21 (70 %)	5 (0,63 %)	770	440
Mei	3 (30 %)	3 (30 %)	4 (40 %)	11 (35,5 %)	17 (54,8 %)	3 (0,86 %)	329	110
Juni	5 (45,5 %)	4 (36,4 %)	2 (18,2 %)	14 (46,7 %)	12 (40 %)	4 (1,27 %)	299	100
Juli	4 (36,4 %)	3 (27,3 %)	4 (36,4 %)	16 (51,6 %)	10 (32,3 %)	5 (1,79 %)	265	94
Agustus	5 (41,7 %)	3 (25 %)	4 (33,3 %)	16 (51,6 %)	11 (35,5 %)	4 (1,21 %)	316	108
September	4 (40 %)	3 (30 %)	3 (30 %)	12 (40 %)	10 (33,3 %)	8 (2,35 %)	322	108
Oktober	4 (36,4 %)	4 (36,4 %)	3 (27,3 %)	16 (51,6 %)	10 (32,3 %)	5 (1,51 %)	317	105
November	5 (27,8 %)	6 (33,3 %)	7 (38,9 %)	13 (43,3 %)	8 (26,7 %)	9 (1,59 %)	550	220
Desember	16 (29,1 %)	18 (32,7 %)	21 (38,2 %)	13 (41,9 %)	7 (22,6 %)	11 (0,76 %)	1430	1100
Mean	9 (33,8 %)	9 (31,8 %)	11 (34,4 %)	12 (41,1 %)	12 (39,8 %)	6 (1,6 %)	Σ 9328	6125

Dengan menggunakan parameter coordinate batas wilayah udara, kemudian dihitung dan diketahui luas area udara Zona Weather A (area WAHI) sebesar 1.804,896819 km² dan luas area udara Zona Weather B (area WAHH) sebesar 659,0940182 nm² (2.260,629209 km²) maka diketahui nilai kerapatan sambaran petir untuk kedua area zona adalah sebagai berikut

$$\text{Kerapatan sambaran petir zona WAHI } d_A = \frac{9.328}{1.804,896819}$$

$$d_A = 17,97715$$

Berdasarkan tabel tingkat kerapatan sambaran petir dinyatakan dalam kategori “SEDANG”.

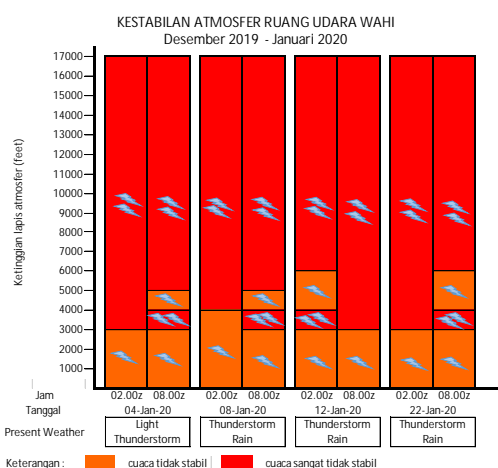
$$\text{Kerapatan sambaran petir zoba WAHH } d_B = \frac{6.125}{2.260,629209}$$

$$d_B = 9,346163$$

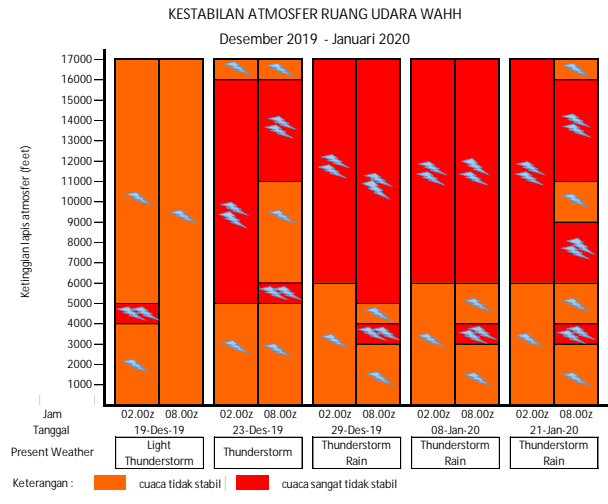
Berdasarkan tabel tingkat kerapatan sambaran petir dinyatakan dalam kategori “RENDAH”.

B. Penghitungan kestabilan cuaca.

Dengen referensi nilai Showalter Index (SSI), sebagai perbandingan kelembaban lapisan permukaan dan suhu lapisan level bertekanan 500 mbar dari ketinggian 1000 feet hingga 17000 feet pada masing waktu pengamatan kejadian diketahui kondisi kestabilan cuaca dan potensi terjadinya petir untuk masing masing area sebagai berikut:



Gambar 5. Kestabilan Atmosfer Ruang Udara WAHI



Gambar 6. Kestabilan Atmosfer ruang udara WAHH

C. Penghitungan Lifting Index (LI)

LI merupakan indeks stabilitas yang digunakan untuk menentukan potensi badai.

Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 500 hPa, yaitu rata-rata pada ketinggian 15000 feet hingga 16000 feet

Area WAHI:

$$NP T_{500} = 264,59 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (265,50 - 264,59) \right)$$

$$NP T_{500} = 265,22 \text{ K}$$

$$NP T_{p500} = 269,37 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (270,39 - 269,37) \right)$$

$$NP T_{p500} = 270,07 \text{ K}$$

$$LI = T_{500} - T_{p500}$$

$$LI = 265,22 - 270,07$$

$$LI = - 4,86$$

Dari tabel LI diketahui kondisi terjadinya thunderstorm dan berpotensi besar terjadinya badai

Area WAHH:

$$NP T_{500} = 260,41 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (264,05 - 260,41) \right)$$

$$NP T_{500} = 262,92 \text{ K}$$

$$NP T_{p500} = 262,60 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (266,29 - 262,60) \right)$$

$$NP T_{p500} = 265,15 \text{ K}$$

$$LI = T_{500} - T_{p_{500}}$$

$$LI = 262,92 - 265,15$$

$$LI = - 2,22$$

Dari tabel LI diketahui kondisi terjadinya thunderstorm dan berpotensi kecil terjadinya badai

D. Penghitungan nilai K Index (KI)

KI adalah ukuran potensi badai akibat gerak konvektif, berdasarkan selang suhu vertikal. Indeks menunjukkan terjadinya hujan dengan menghitung tingkat curah hujan.

Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 850 hPa, 700 hPa, dan 500 hPa, yaitu pada ketinggian 3000 feet – 4000 feet, 7000 feet – 8000 feet, dan 15000 feet – 16000 feet.

Area WAHI

$$NPt_{850} = 14,82 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (17,27 - 14,82) \right)$$

$$NPt_{850} = 15,82^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{500} = -9,10 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (-9,10 - (-12,74)) \right)$$

$$NP t_{500} = -10,23^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d850} = 12,72 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (15,07 - 12,72) \right)$$

$$NP t_{d850} = 13,67^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{700} = 5,58 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (8,15 - 5,58) \right)$$

$$NP t_{700} = 5,89^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d700} = 5,28 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (7,96 - 5,28) \right)$$

$$NP t_{d700} = 5,61^{\circ}\text{C}$$

$$KI = (t_{850} - t_{500}) + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700})$$

$$KI = (15,82 - (-10,23)) + 13,67 - (5,89 - 5,61)$$

$$KI = 39,42$$

Dari tabel KI menunjukkan bahwa cuaca saat itu berpeluang terjadinya konveksi sedang, curah hujan sedang dan kemungkinan terjadinya badai.

Area WAHH

$$NPt_{850} = 16,60 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (18,81 - 16,60) \right)$$

$$NPt_{850} = 17,5^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{500} = -7,65 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (-7,65 - (-8,56)) \right)$$

$$NP t_{500} = -7,93^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d850} = 14,50 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (16,61 - 14,50) \right)$$

$$NP t_{d850} = 15,36^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{700} = 7,84 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (9,94 - 7,84) \right)$$

$$NP t_{700} = 8,10^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d700} = 7,54 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (9,75 - 7,54) \right)$$

$$NP t_{d700} = 7,81^{\circ}\text{C}$$

$$KI = (t_{850} - t_{500}) + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700})$$

$$KI = (17,50 - (-7,93)) + 15,36 - (8,10 - 7,81)$$

$$KI = 40,49$$

Dari tabel KI menunjukkan bahwa berpeluang terjadinya konveksi tinggi, curah hujan tinggi dan kemungkinan terjadinya badai.

E. Penghitungan nilai Total – Totals Index (TTI)

TTI dihitung untuk mengukur potensi pengembangan badai dan tingkat kehebatan badai. Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 850 hPa, dan 500 hPa, yaitu pada ketinggian 3000 feet – 4000 feet, dan 15000 feet – 16000 feet.

Area WAHI

$$TTI = (17,50 - (-4,62)) + (15,36 - (-4,62))$$

$$TTI = 48,71$$

Dari tabel TTI menunjukkan bahwa cuaca saat itu berpeluang terjadinya konveksi sedang, curah hujan sedang dan kemungkinan terjadinya badai 75%.

Area WAHH

$$TTI = (15,82 - (-10,23)) + (13,67 - (-10,23))$$

$$TTI = 49,94$$

Dari tabel TTI menunjukkan bahwa cuaca saat itu berpeluang terjadinya konveksi sedang, curah hujan sedang dan kemungkinan terjadinya badai 75%.

F. Penghitungan nilai SWEAT Index.

Index SWEAT digunakan untuk memperkirakan potensi cuaca buruk, tetapi tetap memperhitungkan adanya mekanisme pemicu lain yang dapat mempengaruhi terjadinya cuaca buruk. Nilai indeks SWEAT yang rendah menandakan tidak adanya cuaca buruk, demikian sebaliknya. Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 850 hPa, dan 500 hPa, yaitu pada ketinggian 3000 feet – 4000 feet, dan 15000 feet – 16000 feet.

Area WAHI

$$NP Crs850 = 20 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (26 - 20) \right)$$

$$NP Crs850 = 22,44^{\circ}$$

$$\text{sehingga nilai } s = \sin 22,44 = 0,381$$

$$SWEAT = (12 \times 15,36) + 20(48,71 - 49) + (2 \times 21,81 + 18,93 + 125(0,381 + 0,2))$$

$$SWEAT = 313,8097$$

Dari tabel SWEAT menunjukkan cuaca saat itu dalam kondisi buruk.

Area WAHH

$$NP\ Crs850 = 24 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (26 - 24) \right)$$

$$NP\ Crs850 = 22,81^0$$

sehingga nilai $s = \sin 22,81 = 0,419$

$$SWEAT = (12 \times 13,67) + 20(49,94 - 49) + (2 \times 22,22 + 21,24 + 125(0,419 + 0,2))$$

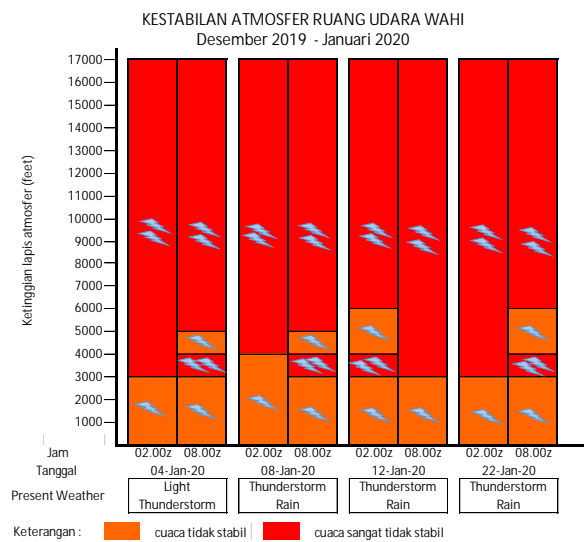
$$SWEAT = 325,9522$$

Dari tabel SWEAT menunjukkan cuaca saat itu dalam kondisi buruk.

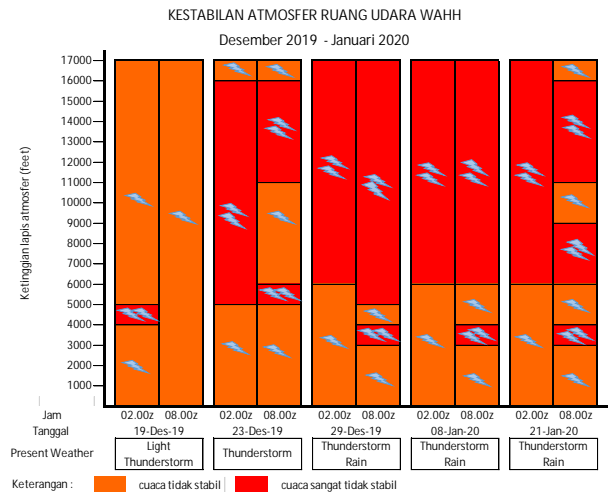
Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa

- a. Cuaca dengan tingkat sambaran petir di area Yogyakarta International Airport adalah ($d_A = 17,97715$) dalam kategori “SEDANG” dan di area Adisutjipto International Airport selama tahun 2019 adalah ($d_B = 9,346163$) dalam kategori “RENDAH”.

Dengan referensi nilai Showalter Index (SSI), sebagai perbandingan kelembaban lapisan permukaan dan suhu lapisan level bertekanan 500 mbar dari ketinggian 1000 feet hingga 17000 feet pada masing waktu pengamatan kejadian diketahui kondisi kestabilan cuaca dan potensi terjadinya petir untuk masing masing area sebagai berikut:



Gambar 7. Kestabilan Atmosfer Ruang Udara WAHI



Gambar 8. Kestabilan Atmosfer ruang udara WAHH

b. Penghitungan Lifting Index (LI)

LI merupakan indeks stabilitas yang digunakan untuk menentukan potensi badai. Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 500 hPa, yaitu rata-rata pada ketinggian 15000 feet hingga 16000 feet

Area WAHI:

$$NP T_{500} = 264,59 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (265,50 - 264,59) \right)$$

$$NP T_{500} = 265,22 K$$

$$NP T_{p500} = 269,37 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (270,39 - 269,37) \right)$$

$$NP T_{p500} = 270,07 K$$

$$LI = T_{500} - T_{p500}$$

$$LI = 265,22 - 270,07$$

$$LI = - 4,86$$

Dari tabel LI diketahui kondisi terjadinya thunderstorm dan berpotensi besar terjadinya badai

Area WAHH:

$$NP T_{500} = 260,41 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (264,05 - 260,41) \right)$$

$$NP T_{500} = 262,92 K$$

$$NP T_{p500} = 262,60 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (266,29 - 262,60) \right)$$

$$NP T_{p500} = 265,15 K$$

$$LI = T_{500} - T_{p_{500}}$$

$$LI = 262,92 - 265,15$$

$$LI = - 2,22$$

Dari tabel LI diketahui kondisi terjadinya thunderstorm dan berpotensi kecil terjadinya badai

c. Penghitungan nilai *K* Index (KI)

KI adalah ukuran potensi badai akibat gerak konvektif, berdasarkan selang suhu vertikal. Indeks menunjukkan terjadinya hujan dengan menghitung tingkat curah hujan.

Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 850 hPa, 700 hPa, dan 500 hPa, yaitu pada ketinggian 3000 feet – 4000 feet, 7000 feet – 8000 feet, dan 15000 feet – 16000 feet.

Area WAHI

$$NPt_{850} = 14,82 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (17,27 - 14,82) \right)$$

$$NPt_{850} = 15,82^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{500} = -9,10 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (-9,10 - (-12,74)) \right)$$

$$NP t_{500} = -10,23^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d850} = 12,72 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (15,07 - 12,72) \right)$$

$$NP t_{d850} = 13,67^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{700} = 5,58 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (8,15 - 5,58) \right)$$

$$NP t_{700} = 5,89^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d700} = 5,28 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (7,96 - 5,28) \right)$$

$$NP t_{d700} = 5,61^{\circ}\text{C}$$

$$KI = (t_{850} - t_{500}) + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700})$$

$$KI = (15,82 - (-10,23)) + 13,67 - (5,89 - 5,61)$$

$$KI = 39,42$$

Dari tabel KI menunjukkan bahwa cuaca saat itu berpeluang terjadinya konveksi sedang, curah hujan sedang dan kemungkinan terjadinya badai.

Area WAHH

$$NPt_{850} = 16,60 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (18,81 - 16,60) \right)$$

$$NPt_{850} = 17,5^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{500} = -7,65 + \left(\frac{500 - 484,49}{506,94 - 484,49} \times (-7,65 - (-8,56)) \right)$$

$$NP t_{500} = -7,93^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d850} = 14,50 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (16,61 - 14,50) \right)$$

$$NP t_{d850} = 15,36^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{700} = 7,84 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (9,94 - 7,84) \right)$$

$$NP t_{700} = 8,10^{\circ}\text{C}$$

$$NP t_{d700} = 7,54 + \left(\frac{700 - 696,06}{728,30 - 696,06} \times (9,75 - 7,54) \right)$$

$$NP t_{d700} = 7,81^{\circ}\text{C}$$

$$KI = (t_{850} - t_{500}) + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700})$$

$$KI = (17,50 - (-7,93)) + 15,36 - (8,10 - 7,81)$$

$$KI = 40,49$$

Dari tabel KI menunjukkan bahwa berpeluang terjadinya konveksi tinggi, curah hujan tinggi dan kemungkinan terjadinya badai.

d. Penghitungan nilai Total – Totals Index (TTI)

TTI dihitung untuk mengukur potensi pengembangan badai dan tingkat kehebatan badai.

Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 850 hPa, dan 500 hPa, yaitu pada ketinggian 3000 feet – 4000 feet, dan 15000 feet – 16000 feet.

Area WAHI

$$TTI = (17,50 - (-4,62)) + (15,36 - (-4,62))$$

$$TTI = 48,71$$

Dari tabel TTI menunjukkan bahwa cuaca saat itu berpeluang terjadinya konveksi sedang, curah hujan sedang dan kemungkinan terjadinya badai 75%.

Area WAHH

$$TTI = (15,82 - (-10,23)) + (13,67 - (-10,23))$$

$$TTI = 49,94$$

Dari tabel TTI menunjukkan bahwa cuaca saat itu berpeluang terjadinya konveksi sedang, curah hujan sedang dan kemungkinan terjadinya badai 75%.

e. Penghitungan nilai SWEAT Index.

Index SWEAT digunakan untuk memperkirakan potensi cuaca buruk, tetapi tetap memperhitungkan adanya mekanisme pemicu lain yang dapat mempengaruhi terjadinya cuaca buruk.

Nilai indeks SWEAT yang rendah menandakan tidak adanya cuaca buruk, demikian sebaliknya.

Dengan menggunakan data rekaman radiosonde dilakukan penghitungan pada ketinggian dimana tercapai tekanan yang mendekati 850 hPa, dan 500 hPa, yaitu pada ketinggian 3000 feet – 4000 feet, dan 15000 feet – 16000 feet.

Area WAHI

$$NP Crs850 = 20 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (26 - 20) \right)$$

$$NP Crs850 = 22,44^{\circ}$$

$$\text{sehingga nilai } s = \sin 22,44 = 0,381$$

$$\text{SWEAT} = (12 \times 15,36) + 20(48,71 - 49) + (2 \times 21,81 + 18,93 + 125(0,381 + 0,2))$$

$$\text{SWEAT} = 313,8097$$

Dari tabel SWEAT menunjukkan cuaca saat itu dalam kondisi buruk.

Area WAHH

$$NP\ Crs850 = 24 + \left(\frac{850 - 834,30}{872,95 - 834,30} \times (26 - 24) \right)$$

$$NP\ Crs850 = 22,81^0$$

sehingga nilai $s = \sin 22,81 = 0,419$

$$SWEAT = (12 \times 13,67) + 20(49,94 - 49) + (2 \times 22,22 + 21,24 + 125(0,419 + 0,2))$$

$$SWEAT = 325,9522$$

Dari tabel SWEAT menunjukkan cuaca saat itu dalam kondisi buruk.

4. Kesimpulan

Cuaca dengan tingkat sambaran petir di area Yogyakarta International Airport adalah ($d_A = 17,97715$) dalam kategori “SEDANG” dan di area Adisutjipto International Airport selama tahun 2019 adalah ($d_B = 9,346163$) dalam kategori “RENDAH”. Dilihat dari tingkat stabilan cuaca ruang udara WAHI berpeluang terjadi heavy rain, thunderstorm serta lightning hingga 75% yang cenderung lebih stabil dan lama pada ketinggian mulai dari 3000 feet dan di atasnya sementara ruang udara WAHH berpeluang terjadi heavy rain, thunderstorm serta lightning hingga 75% dan dengan tingkat keburukan cuaca yang tidak stabil.

Pada area WAHI nilai-nilai indek yang didapatkan adalah $LI = -4,86$, $KI = 39,42$, $TTI = 48,71$, dan $SWEAT = 313,8097$. Sementara pada area WAHH nilai-nilai indek yang didapatkan adalah $LI = -2,22$, $KI = 40,49$, $TTI = 49,94$ dan $SWEAT = 325,9522$. Secara umum ruang udara WAHI berpeluang lebih besar terjadinya badai thunderstorm dan lightning dengan kestabilan yang lebih besar dibandingkan dengan area WAHH.

5. Ucapan Terima kasih

Ucapan terima-kasih disampaikan kepada P3M Sekolah Tinggi Teknologin Adisutjipto yang telah berperan dalam memberikan bantuan dana untuk pelaksanaan penelitian ini

6. Daftar Pustaka

- [1] AMS Glossary of Meteorology, 1990
- [2] Budiarti M. Muslim & Ihamsyah, 2015. Studi Indeks Stabilitas Udara Terhadap Prediksi Badai Guntur
- [3] Djazim Syaifullah, 2010. Potensi Atmosfer Dalam pembentukan Awan Konvektif Pada Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca di Das Kotopanjang dan Das Singkarak
- [4] Djuric D, 1994. Weather Analysis, Prentice-Hall Inc.
- [5] Lukito Indro, 2017. Diktat Meteorology penerbangan. Merpati Training Center.
- [6] Minder JRPW dan ID Lundquist, 2010. Surface Temperature Lapse Rate Over Complex Terrain.
- [7] Niviani RM, 2016. Analisis Potensi Badai Guntur dengan Metode Rapid Miner dan Fuzzy Logic.
- [8] Roger, 1979, A Short Course In Cloud Physic, 2nd edition, Pergamon Press.
- [9] Salby, 1996. Fundamental of Atmospheric Physic, Volume 61 Academic Press, Sandiego
- [10] Simson Garfinkel, 2011. The Cloud Imperative – Technology review (MIT)
- [11] Stull BR, 1988. An Introduction to Boundary Layer Meteorology
- [12] Tonny Gunawan dan Lestari Naomi Lydia Pandiangan, 2014. Kajian Tingkat Sambaran Petir balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

- [13] Ulfah Kurnia, Didik Sugianto, Rahmat Urdani, 2017. Analisis Potensi Thunderstorm di Suntan Iskandar Muda Menggunakan Metode SWEAT
- [14] Wallace Jhon, and Peter V Hobbs, 1977. Atmospheric Science and Introduction Survey. Academic Press, New York
- [15] Sensirion. 2007. SHT1x Humidity and Temperature Sensor.
- [16] Pramana P Agosto., 2012, Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu, Kelembapan dan Tekanan Udara . Akademi Meteorologi dan Geofisika Jakarta
- [17] Toruan, Kanton L., 2009. Automatic Weather Station (AWS) Berbasis Mikrokontroler Tesis, Program Pasca Sarjana Fakultas MIPA UI, Depok
- [18] Edward Aguado, and James E.burt. Understanding Weather and Climate. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2017