

ESTIMASI TINGGI *PLANETARY BOUNDARY LAYER* DARI DATA RADIOSONDE DENGAN METODE GRADIEN DI INDONESIA

Kharmila Sari Hariyanti

ABSTRAK

Planetary Boundary Layer (PBL) adalah lapisan terpenting dari troposfer yang memiliki pengaruh timbal balik langsung dengan permukaan bumi. Ketebalan PBL adalah parameter penting untuk memahami proses perubahan cuaca, iklim, dan kualitas udara namun informasi tinggi PBL secara spasial dan temporal di wilayah Indonesia belum banyak. Makalah ini membahas estimasi tinggi PBL menggunakan metode gradien dari data observasi radiosonde untuk wilayah Indonesia. Pendekatan metode gradien berdasarkan parameter suhu udara (T), suhu potensial (θ), suhu potensial virtual (θ_v), kelembaban Relatif (RH) dan mixing ratio (r). Keragaman tinggi PBL akan dilihat secara temporal (harian dan bulanan) dan spasial. Analisis spasial berdasarkan posisi stasiun radiosonde yang dibagi menjadi tiga wilayah yaitu Bumi Belahan Utara Equator (BBU), Bumi Belahan Selatan Equator (BBS) dan Equator (EQU). Hasil estimasi tinggi PBL dengan metode gradien suhu potensial virtual memiliki nilai median tertinggi jika dibandingkan dengan empat metode lainnya. Pada siang hari estimasi tinggi PBL secara signifikan lebih tinggi dari malam hari di semua wilayah. Hasil uji t dan F menunjukkan bahwa metode gradien suhu aktual, suhu potensial, suhu potensial virtual dan kelembaban relatif tidak berbeda secara signifikan. Variasi median rata-rata bulanan tinggi PBL di wilayah BBS memiliki hubungan dengan pola hujan monsoonal, pada musim kemarau tinggi PBL lebih rendah dari musim hujan.

Kata kunci: Estimasi Tinggi Planetary Boundary Layer, Radiosonde, Metode Gradien

PENDAHULUAN

Planetary Boundary Layer (PBL) adalah bagian dari lapisan troposfer yang memiliki pengaruh timbal balik langsung dengan permukaan bumi dengan skala waktu hingga beberapa jam (Stull, R.B. 1988). Lapisan ini sangat penting karena merupakan tempat terjadinya proses perubahan energi, massa dan momentum antara bumi dengan atmosfer yang mengontrol kondisi cuaca, iklim dan kualitas udara (Oke, T.R. 1978). Ketebalan PBL adalah parameter penting untuk memahami proses perubahan iklim, cuaca, dan kualitas udara (Wang, X.Y., and Wang, K.C. 2014). Tinggi PBL bervariasi secara temporal (pagi, siang, sore dan malam hari) dan spasial (lintang tinggi, lintang sedang, lintang rendah, darat dan lautan) (Pal Arya, S. 1999).

Kebutuhan akan informasi tinggi PBL semakin besar khususnya untuk bidang prediksi cuaca, iklim, pencemaran udara dan penerbangan. Namun demikian ketersediaan data tinggi PBL secara spasial dan temporal di wilayah Indonesia belum ada. Salah satu upaya untuk mendapatkan informasi tinggi PBL adalah dengan menggunakan data observasi vertikal atmosfer. Ketersediaan data observasi vertikal atmosfer dari radiosonde di wilayah Indonesia sudah cukup banyak namun belum banyak dimanfaatkan untuk menentukan Tinggi PBL.

Dasar penentuan atau metode estimasi tinggi PBL dari data radiosonde umumnya masih subyektif yaitu dengan pengamatan visual profil vertikal suhu, kelembaban, atau kecepatan angin. Untuk menentukan tinggi PBL secara obyektif dapat didekati dengan metode gradien dari parameter suhu udara (T), suhu potensial (θ), suhu potensial virtual (θ_v), kelembaban Relatif (RH) dan mixing ratio (r) (Basha, G., and M. V. Ratnam 2009; Seidel, *et al.* 2010).

Makalah ini membahas estimasi tinggi PBL menggunakan lima metode gradien dari data observasi radiosonde untuk wilayah Indonesia. Untuk melihat metode mana yang paling konsisten (tidak berbeda secara signifikan) akan dilakukan uji statistik. Selanjutnya untuk melihat keragaman tinggi PBL akan dilakukan analisis secara temporal dan spasial. Analisis temporal meliputi analisis estimasi tinggi PBL harian (siang dan malam hari) dan bulanan. Analisis spasial meliputi analisis estimasi tinggi PBL berdasarkan posisi stasiun pengamatan radiosonde yang dibagi menjadi tiga wilayah yaitu Bumi Belahan Utara Ekuator (BBU), Bumi Belahan Selatan Ekuator (BBS) dan Ekuator (EKU).

BAHAN DAN METODE

Data Radiosonde

Data pengamatan harian (siang:12Z dan malam:00Z) stasiun radiosonde tahun 2013 diperoleh dari uwo.edu (<http://weather.uwo.edu/upperair/sounding.html>). Data yang tersedia adalah data tekanan (p : hPa), tinggi geopotensial (z : m), temperatur (T : $^{\circ}\text{C}$), kelembaban relatif (RH : %), mixing ratio (r : g/kg), arah angin (derajat) dan kecepatan angin (knot). Stasiun radiosonde yang digunakan dalam analisis berjumlah sembilan stasiun dan dikelompokkan menjadi tiga wilayah. Wilayah pertama adalah stasiun yang berada di BBU dengan posisi lintang lebih besar dari 1° LU yaitu stasiun Polonia, Kucing dan Manado. Wilayah kedua adalah stasiun yang berada di sekitar ekuator dengan posisi lintang antara 1° LU sampai dengan -1° LS yaitu stasiun Padang dan Palu. Wilayah ketiga adalah stasiun yang berada di BBS dengan posisi lintang lebih kecil dari -1° LS yaitu stasiun Pangkal Pinang, Cengkareng, Surabaya, dan Ujung Pandang. Informasi koordinat dan ketinggian stasiun radiosonde di Indonesia disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Informasi Koordinat dan Ketinggian Stasiun Radiosonde

	Barat	Tengah	Timur
BBU	Polonia Lintang : 3.56° LU Bujur : 98.6 BT Ketinggian : 8 mdpl	Kucing Lintang : 1.48 LU Bujur : 110.3 BT Ketinggian : 27 mdpl	Manado Lintang : 1.53 LU Bujur : 124.9 BT Ketinggian : 80 mdpl
EKU	Padang Lintang : -0.88 LS Bujur : 100.4 BT Ketinggian : 3 mdpl		Palu Lintang : -0.68 LS Bujur : 119.7 BT Ketinggian : 6 mdpl
BBS	Pangkal Pinang Lintang : -2.16 LS Bujur : 106.1 BT Ketinggian : 22 mdpl	Surabaya Lintang : -7.36 LS Bujur : 112.8 BT Ketinggian : 3 mdpl	Ujung Pandang Lintang : -5.06 LS Bujur : 119.6 BT Ketinggian : 14 mdpl
	Cengkareng Lintang : -6.11 LS Bujur : 106.7 BT Ketinggian : 8 mdpl		

Estimasi Tinggi PBL

Estimasi tinggi PBL dari data observasi 9 stasiun Radiosonde menggunakan lima metode gradien yang berbeda (Basha, G., and M. V. Ratnam 2009; Seidel, *et al.* 2010):

1. Estimasi tinggi PBL berdasarkan level maksimum gradien vertikal suhu udara (dT/dz)
2. Estimasi tinggi PBL berdasarkan level maksimum gradien vertikal suhu potensial ($d\theta/dz$)
3. Estimasi tinggi PBL berdasarkan level maksimum gradien vertikal suhu potensial virtual ($d\theta_v/dz$)
4. Estimasi tinggi PBL berdasarkan level minimum gradien vertikal kelembaban relatif (dRH/dz)
5. Estimasi tinggi PBL berdasarkan level minimum gradien vertikal mixing ratio (dr/dz)

Suhu potensial dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.286k} \quad (1)$$

Suhu potensial virtual dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\theta_v = \theta(1 + 0.6r) \quad (2)$$

Dimana T adalah suhu udara ($^{\circ}K$), p adalah tekanan (mb), θ adalah suhu potensial ($^{\circ}K$) dan r adalah mixing ratio (kg/kg).

Evaluasi Tingkat Ketidakpercayaan

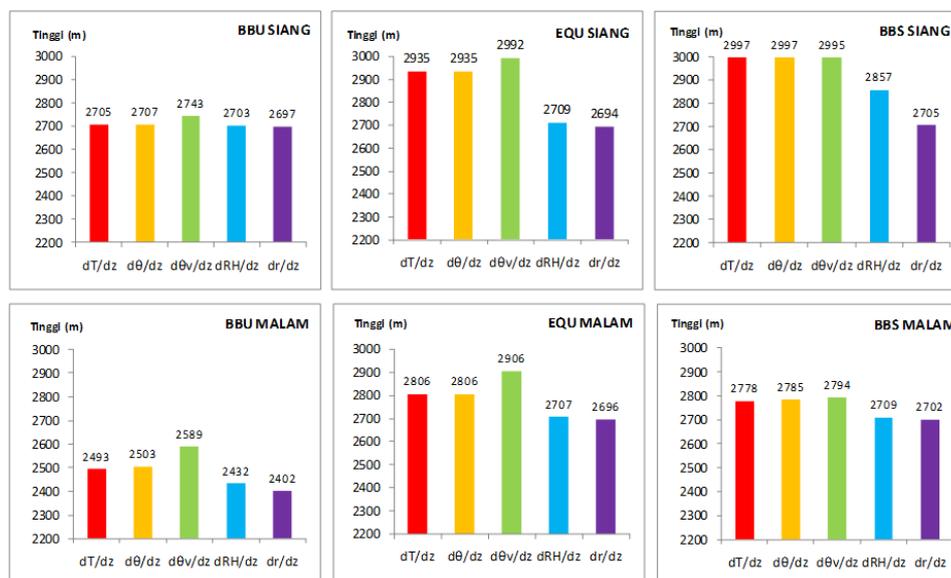
Untuk mengevaluasi tingkat ketidakpercayaan hasil estimasi tinggi PBL dari lima metode berbeda dilakukan uji statistik. Ada tiga uji statistik yang digunakan yaitu uji T, Uji F, dan Uji Koefisien korelasi linier person. Uji T digunakan untuk membandingkan rata-rata tinggi PBL, Uji F digunakan untuk membandingkan varian tinggi PBL sedangkan Uji Koefisien Korelasi Linier Person digunakan untuk melihat apakah kedua metode memiliki korelasi yang signifikan. Apabila hasil uji t dan F menunjukkan nilai P kecil artinya kedua metode berbeda secara signifikan sedangkan apabila nilai P dari uji Koefisien korelasi linier person kecil artinya kedua metode secara statistik berkorelasi signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Estimasi tinggi PBL antar Metode.

Analisis dilakukan untuk menentukan metode mana yang paling konsisten (tidak berbeda secara signifikan) berdasarkan nilai median, frekuensi kejadian, dan uji statistik untuk estimasi tinggi PBL. Kelima metode yang digunakan untuk menentukan tinggi PBL berdasarkan pada variabel vertikal yang berbeda. Terkadang kelima metode tersebut bisa menghasilkan estimasi tinggi PBL yang sama akan tetapi bisa juga berbeda.

Pada Gambar 1 disajikan distribusi nilai median hasil estimasi tinggi PBL dengan lima metode yaitu metode gradien suhu aktual (dT/dz), gradien suhu potensial ($d\theta/dz$), gradien suhu potensial virtual ($d\theta_v/dz$), gradien kelembaban relatif (dRH/dz) dan gradien mixing ratio (dr/dz). Hasil estimasi tinggi PBL dari setiap metode dikelompokkan berdasarkan waktu pengamatan (siang dan malam) dan posisi stasiun di BBU, BBS atau Ekuator.



Gambar 1. Distribusi nilai median estimasi tinggi PBL dengan lima metode pada siang dan malam hari di tiga wilayah kajian (BBU, Equator, BBS)

Estimasi tinggi PBL dengan lima metode gradien baik secara temporal (siang dan malam) maupun spasial (BBU, BBS, EQU) menunjukkan bahwa metode gradien suhu potensial virtual memiliki nilai median tinggi PBL yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan empat metode lainnya. Sebagai contoh untuk stasiun di wilayah equator pada siang dan malam hari, nilai median tinggi PBL adalah 2992 m dan 2906 m. Jika dibandingkan dengan metode gradien mixing ratio lebih tinggi 298 m pada siang hari dan 210 m pada malam hari (Gambar 2).

Berdasarkan distribusi nilai median estimasi tinggi PBL dari kelima metode di BBU pada siang hari relatif sama dimana beda tinggi hanya 46 m berbeda dengan hasil estimasi pada malam hari dengan beda tinggi mencapai 187 m. Sebaliknya di BBS pada siang hari perbedaan tinggi PBL antar metode lebih tinggi (292 m) di bandingkan dengan malam hari (92 m).

Pada siang hari estimasi tinggi PBL dengan metode gradien suhu aktual (dT/dz), gradien suhu potensial ($d\theta/dz$) dan gradien suhu potensial virtual ($d\theta_v/dz$) di semua wilayah cenderung sama dengan beda tinggi 2 m - 57 m. Pada malam hari estimasi tinggi PBL dengan metode gradien suhu aktual (dT/dz) relatif sama dengan gradien suhu potensial ($d\theta/dz$) dan estimasi tinggi PBL dengan metode gradien kelembaban relatif (dRH/dz) sama dengan gradien mixing ratio (dr/dz).

Selain membandingkan estimasi tinggi PBL antar metode berdasarkan distribusi nilai median juga dibandingkan berdasarkan frekuensi kejadian. Pada tabel 2 disajikan Persentase Estimasi Tinggi PBL berdasarkan frekuensi kejadian pada siang dan malam hari di BBU, BBS dan Equator. Persentase estimasi tinggi PBL di bagi menjadi enam kelas dengan jumlah sampel data lebih dari 1000 set data untuk setiap metode.

Hasil estimasi tinggi PBL di wilayah BBU, pada siang hari persentase kejadian tertinggi adalah 43% dengan tinggi PBL 3 – 4 km sedangkan pada malam hari lebih rendah yaitu 37 % dengan tinggi PBL 2 – 3 km. Untuk wilayah Equator dan BBS persentase kejadian tertinggi pada siang dan malam hari relatif sama berkisar 39% – 42% dan 38% – 40% dengan tinggi PBL 3 – 4 km. Pada siang hari di BBS estimasi tinggi PBL 4 – 5 km persentase kejadian (17%) lebih besar dari malam hari (13%) (Tabel 2).

Tabel 2. Persentase Estimasi Tinggi PBL berdasarkan frekuensi kejadian pada siang dan malam hari di BBU, BBS dan Equator

Tinggi PBL(km)	Siang					Malam				
	dT/dz	$d\theta/dz$	$d\theta_v/dz$	dRH/dz	dr/dz	dT/dz	$d\theta/dz$	$d\theta_v/dz$	dRH/dz	dr/dz
BBU										
0-1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
1-2	14	14	15	15	14	14	14	14	14	14
2-3	29	29	29	29	28	37	37	37	36	36
3-4	43	43	43	43	42	34	34	34	33	33
4-5	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9
5-6	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
EQU										
0-1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
1-2	12	12	13	13	12	11	11	11	11	11
2-3	29	29	29	29	28	35	35	35	34	34
3-4	42	42	42	40	39	41	41	41	40	39
4-5	14	14	13	13	13	13	13	13	12	12
5-6	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
BBS										
0-1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1-2	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10
2-3	29	29	29	29	28	34	34	34	33	33
3-4	40	40	40	39	38	39	39	39	39	38
4-5	17	17	17	16	16	13	13	13	13	12
5-6	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2

Selanjutnya untuk mengevaluasi tingkat ketidakpercayaan hasil estimasi tinggi PBL dari lima metode berbeda dilakukan uji statistik seperti disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil tiga uji statistik lima metode estimasi tinggi PBL

Perbedaan rata-rata (m) – Uji T					
	dT/dz	$d\theta/dz$	$d\theta_v/dz$	dRH/dz	dr/dz
dT/dz	-	3.0	16.0	57.0	115.0
$d\theta/dz$	0.9	-	13.0	60.0	118.0
$d\theta_v/dz$	0.6	0.7	-	73	131.0
dRH/dz	0.1	0.0	0.0	-	58.0
dr/dz	0.0	0.0	0.0	0.1	-
Rasio varian – Uji F					
	dT/dz	$d\theta/dz$	$d\theta_v/dz$	dRH/dz	dr/dz
dT/dz	-	1542.0	96.4	9.4	6.2
$d\theta/dz$	0.0	-	89.4	9.4	6.2
$d\theta_v/dz$	0.0	0.0	-	8.4	5.7
dRH/dz	0.0	0.0	0.0	-	17.4
dr/dz	0.0	0.0	0.0	0.0	-
Koefisien korelasi person (%)					
	dT/dz	$d\theta/dz$	$d\theta_v/dz$	dRH/dz	dr/dz
dT/dz	-	99.8	99.0	91.2	87.6
$d\theta/dz$	0.0	-	98.9	91.1	87.4
$d\theta_v/dz$	0.0	0.0	-	90.3	86.6
dRH/dz	0.0	0.0	0.0	-	95.4
dr/dz	0.0	0.0	0.0	0.0	-

Berdasarkan hasil uji T seperti disajikan pada tabel 3 diperoleh nilai P metode gradien suhu aktual dengan metode gradien suhu potensial, gradien suhu potensial virtual dan gradien kelembaban relatif adalah $> 0,05$ artinya antara metode gradien suhu aktual dengan tiga metode lainnya tidak berbeda secara signifikan sedangkan nilai p antara metode gradien suhu aktual dengan gradien mixing ratio kecil ($< 0,05$) artinya kedua metode berbeda secara signifikan. Hal ini di perkuat dengan perbedaan rata-rata estimasi tinggi PBL yang lebih dari 100 m (Tabel 3). Jika dilihat hasil uji T antara metode gradien kelembaban relatif dengan gradien mixing ratio, $p > 0,05$ artinya kedua metode tidak berbeda secara signifikan dimana perbedaan rata-rata estimasi tinggi PBL adalah 58 m. Berdasarkan hasil uji Koefisien korelasi linier person semua metode secara statistik berkorelasi signifikan ini terlihat dari nilai p yang kecil ($< 0,05$).

Variasi harian tinggi PBL di Stasiun Polonia Medan

Berdasarkan data hasil analisis Estimasi Tinggi PBL siang dan malam hari tanggal 21 April 2013 di stasiun Polonia Medan seperti disajikan pada tabel 4 dan 5, terlihat bahwa pada siang hari estimasi tinggi PBL mencapai 3285 m, ini lebih tinggi daripada hasil estimasi tinggi PBL malam hari (3156 m). Variasi tinggi PBL pada siang dan malam hari disebabkan pada siang hari terjadi proses pemanasan radiasi matahari sehingga menyebabkan peningkatan suhu (proses konveksi).

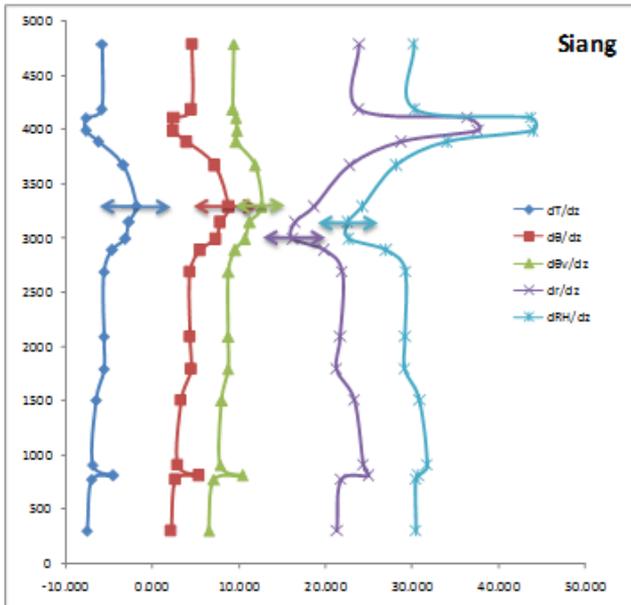
Tabel 4. Analisis PBL pada siang hari tanggal 21 April 2013 di Polonia

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	LH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTV K	TEMP K	θ K	θ_v K	N	dT/dz	d θ /dz	d θ_v /dz	dRH/dz	dr/dz
1006	25	29.6	66	17.5	0	0	305.4	302.8	302.3	305.5						
1000	80	28.6	58	14.57	10	2	304.4	301.8	301.8	304.4		-9.665	0.039	-2.495	-26.022	-13.978
976	294	27	59	13.74	10	10	304.7	300.2	302.3	304.8		-7.569	2.165	1.511	4.367	-3.697
925	767	23.4	61	12.03	5	8	305.4	296.6	303.3	305.5		-7.045	2.682	2.116	3.914	-3.229
921	805	23.4	61	12.09	5	8	305.8	296.6	303.7	305.9		-4.511	5.335	5.373	7.519	0.000
911	900	22.8	62	12.03	5	8	306.1	296.0	304.0	306.2		-6.897	2.901	2.807	17.241	-0.632
850	1501	18.6	73	11.65	335	4	307.8	291.8	305.7	307.8		-6.554	3.318	3.030	9.040	-1.695
822	1785	17	70	10.53	315	6	308.8	290.2	306.9	308.9		-5.612	4.427	3.762	-8.503	-3.759
793	2089	15.3	68	9.44	285	6	309.9	288.5	308.3	310.0		-5.654	4.353	3.767	-7.761	-3.293
739	2687	11.9	63	7.56	280	10	312.2	285.1	310.9	312.3		-5.660	4.330	3.783	-7.547	-3.057
722	2884	10.8	62	7.01	267	13	313	284.0	311.7	313.0		-4.636	5.492	4.548	-29.801	-5.166
713	2989	10.5	54	6	260	14	313.5	283.7	312.5	313.6		-3.101	7.307	5.682	-73.643	-8.798
700	3142	10	43	4.74	315	10	314.4	283.2	313.6	314.5		-2.703	7.825	6.239	-74.324	-8.547
688	3285	9.7	32	3.47	5	6	315.4	282.9	314.8	315.5		-1.905	8.782	7.599	-57.143	-6.324
657	3667	9	13	1.42	62	6	318.4	282.2	318.2	318.5		-3.344	7.203	6.799	-18.395	-2.191
640	3883	7.7	21	2.16	95	6	319.4	280.9	319.1	319.6		-6.250	3.969	4.697	40.625	3.781
632	3987	7	26	2.63	95	7	319.9	280.2	319.5	320.0		-7.692	2.355	4.779	140.271	12.624
623	4104	6	52	4.95	95	9	320.5	279.2	319.7	320.6		-7.653	2.450	4.639	137.755	11.378
617	4183	5.5	53	4.86	95	10	320.9	278.7	320.0	320.9		-5.900	4.499	4.295	2.950	-1.121
573	4782	2	54	4.19	95	12	323.5	275.2	322.7	323.5		-5.814	4.585	4.387	2.114	-1.089

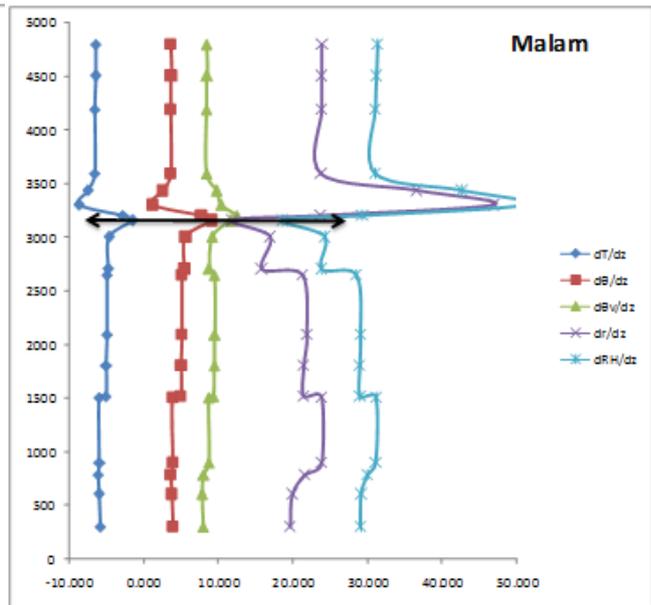
Tabel 5. Analisis PBL pada malam hari tanggal 21 April 2013 di Polonia

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	LH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTV K	TEMP K	θ K	θ_v K	N	dT/dz	d θ /dz	d θ_v /dz	dRH/dz	dr/dz
1008	25	24.4	88	17.14	0	0	299.9	297.6	296.9	300.0						
1000	95	25.2	79	16.23	0	0	301.2	298.4	298.4	301.3		14.667	24.357	22.840	-120.000	-9.800
991	175	26.6	70	15.67	19	1	303.3	299.8	300.6	303.4		3.415	13.157	12.174	-48.780	-6.146
977	300	25.9	69	14.97	50	2	303.7	299.1	301.1	303.8		-5.855	3.898	2.966	-9.368	-5.340
944	602	24.1	66	13.39	45	2	304.6	297.3	302.2	304.7		-6.029	3.704	2.807	-8.316	-5.114
925	781	23	65	12.51	110	4	305.1	296.2	302.9	305.2		-6.164	3.605	3.004	0.000	-3.459
913	894	22.3	66	12.38	150	4	305.5	295.5	303.3	305.5		-5.947	3.882	3.695	11.065	-1.176
851	1504	18.7	73	11.66	265	2	307.7	291.9	305.7	307.8		-5.968	3.855	3.667	11.290	-1.177
850	1514	18.6	73	11.65	260	2	307.8	291.8	305.7	307.8		-5.085	4.948	4.327	-10.169	-3.559
822	1799	17.2	70	10.61	210	4	309	290.4	307.1	309.1		-5.009	5.041	4.424	-10.363	-3.523
794	2093	15.7	67	9.61	250	4	310.4	288.9	308.6	310.4		-4.959	5.092	4.536	-9.445	-3.152
744	2646	13	62	7.94	291	4	312.9	286.2	311.5	312.9		-4.918	5.132	4.459	-14.754	-3.754
739	2703	12.7	58	7.32	295	4	313.1	285.9	311.7	313.1		-4.775	5.454	3.753	-61.798	-9.185
713	3002	11.3	40	4.67	270	6	314.2	284.5	313.4	314.3		-4.636	5.620	4.125	-57.395	-8.057
700	3156	10.6	32	3.67	220	4	314.9	283.8	314.3	315.0		-1.485	9.098	6.651	-113.861	-13.069
696	3204	11	17	2.03	205	3	315.5	284.2	315.2	315.6		-2.778	7.729	7.496	-6.944	-1.319
688	3300	10.2	31	3.48	175	2	315.9	283.4	315.4	316.0		-8.696	1.171	5.312	213.043	21.870
677	3434	9	66	7.06	155	3	316.8	282.2	315.5	316.8		-7.509	2.545	4.739	126.280	11.536
664	3593	8	68	6.86	130	4	317.3	281.2	316.1	317.4		-6.596	3.622	3.403	10.554	-1.227
617	4192	4	74	6.13	140	8	319.4	277.2	318.3	319.4		-6.593	3.594	3.380	9.890	-1.198
594	4503	2	77	5.77	125	8	320.4	275.2	319.4	320.5		-6.446	3.690	3.487	11.570	-1.124
573	4797	0.1	81	5.45	135	4	321.4	273.3	320.5	321.5		-6.494	3.636	3.436	12.987	-1.104
572	4811	0	81	5.43	139	4	321.5	273.2	320.5	321.6		-5.387	5.200	4.878	-6.734	-1.751

Pada Gambar 2 disajikan hasil estimasi Tinggi PBL di Stasiun Polonia Medan pada siang hari. Tinggi PBL hasil estimasi dengan metode gradien suhu udara (dT/dz), suhu potensial ($d\theta/dz$) dan suhu potensial virtual ($d\theta_v/dz$) adalah sama 3285 m (Tabel 4a). Sedangkan Estimasi tinggi PBL dengan menggunakan metode gradien kelembaban relatif (dRH/dz) lebih rendah yaitu 3142 m bahkan dengan metode gradien mixing ratio (dr/dz) hanya 2989 m. Berdasarkan hasil estimasi tinggi PBL pada siang hari terdapat perbedaan yang signifikan antar metode berbeda dengan estimasi tinggi PBL pada malam hari yang relatif sama yaitu 3156 m (Gambar 3).



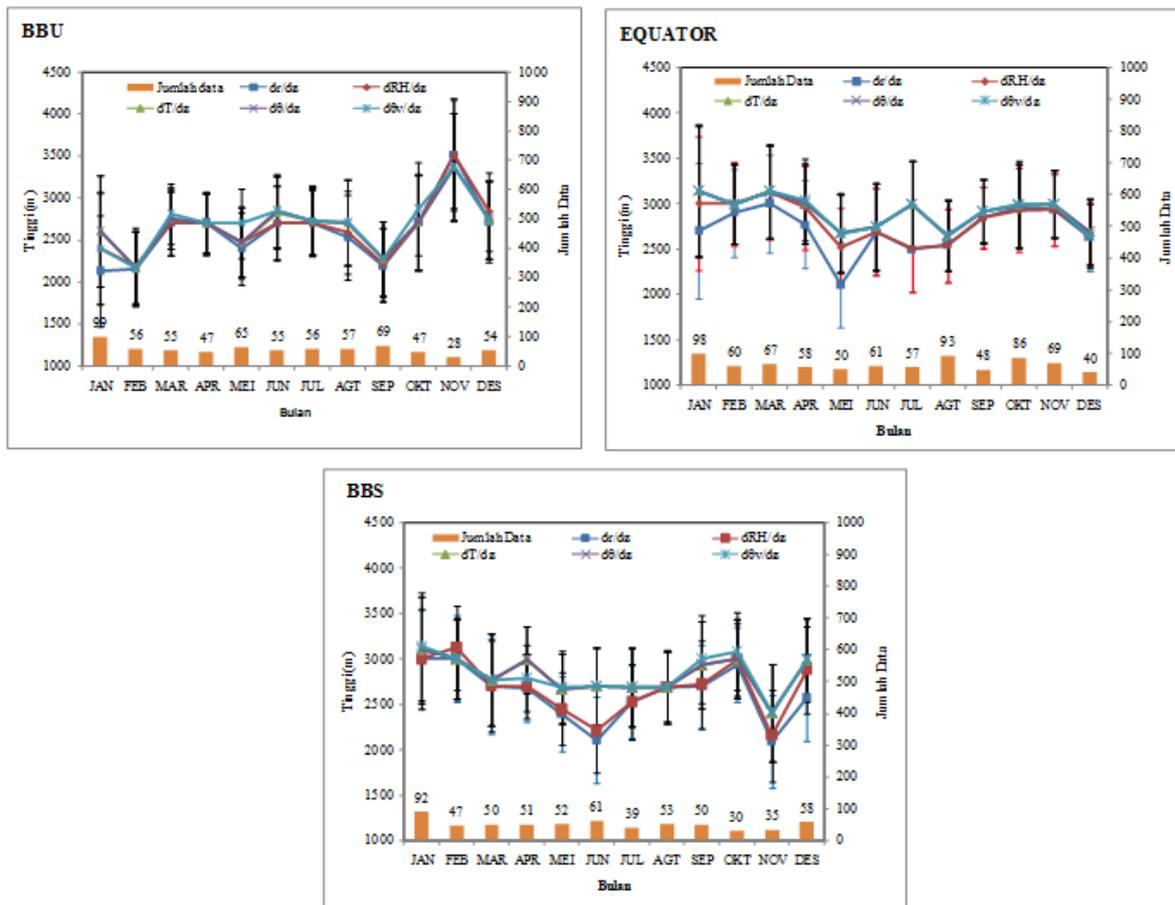
Gambar 2. Estimasi Tinggi PBL di Stasiun Polonia Medan pada siang hari (21 April 2013)



Gambar 3. Estimasi Tinggi PBL di Stasiun Polonia Medan pada malam hari (21 April 2013)

Variasi bulanan tinggi PBL

Untuk mendapatkan variasi bulanan tinggi PBL, hasil estimasi tinggi PBL harian setiap metode dari beberapa stasiun radiosonde pada wilayah yang sama digabungkan. Selanjutnya dihitung nilai rata-rata, standar defiasi dan median untuk setiap bulan dan diplot seperti disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Variasi median rata-rata bulanan tinggi PBL dari lima metode gradien periode Januari sampai Desember 2013. Garis vertikal menunjukkan standar deviasi dan diagram batang menunjukkan jumlah data yang digunakan dalam analisis

Variasi median rata-rata bulanan dari kelima metode memiliki kecenderungan pola yang sama di semua wilayah kecuali di equator pada bulan Juli dimana hasil estimasi tinggi PBL dengan metode gradien kelembaban relatif dan mixing ratio ($2,51 \pm 0,48$ km) lebih tinggi dari ketiga metode gradien suhu ($2,99 \pm 0,48$ km).

Estimasi tinggi PBL di BBU tertinggi adalah bulan November ($3,43 \pm 0,64$ km) dan minimum pada bulan Februari, Mei dan September berturut-turut : $2,17 \pm 0,44$ km ; $2,50 \pm 0,42$ km ; $2,24 \pm 0,44$ km. Estimasi tinggi PBL tertinggi di wilayah Equator adalah bulan Januari - Maret ($3,02 \pm 0,54$ km) dan terendah bulan Mei ($2,53 \pm 0,4$ km). Berbeda dengan di wilayah BBU, Estimasi Tinggi PBL di BBS pada bulan November adalah terendah ($2,29 \pm 0,53$ km) diikuti dengan bulan Juni ($2,48 \pm 0,44$ km). Sedangkan tertinggi adalah bulan Januari – Februari ($3,05 \pm 0,52$ km).

Berdasarkan hasil analisis variasi median rata-rata bulanan di wilayah BBS dengan pola hujan monsoonal ada kecenderungan pada musim kemarau (Mei – Agustus) estimasi tinggi PBL dan nilai standar deviasi lebih rendah yaitu $2,56 \pm 0,42$ km jika dibandingkan pada musim hujan (Des – Jan) yaitu $3,00 \pm 0,50$ km.

KESIMPULAN

1. Hasil estimasi tinggi PBL dengan metode gradien suhu potensial virtual memiliki nilai median tertinggi jika dibandingkan dengan empat metode lainnya.
2. Pada siang hari estimasi tinggi PBL secara signifikan lebih tinggi dari malam hari di semua wilayah.
3. Hasil uji t dan F menunjukkan bahwa metode gradien suhu aktual, suhu potensial, suhu potensial virtual dan kelembaban relatif tidak berbeda secara signifikan.
4. Variasi median rata-rata bulanan tinggi PBL di wilayah BBS memiliki hubungan dengan pola hujan monsoonal, dimana pada musim kemarau rata-rata tinggi PBL lebih rendah dari musim hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Stull, R.B. 1988. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers. London
- Oke, T.R. 1978. Boundary Layer Climate. Second Edition. Methuen, Inc. New York
- Wang, X.Y., and Wang, K.C. 2014. Estimation of Atmospheric mixing layer height from radiosonde data. Under review for journal Atmospheric Measurement Technique.
- Pal Arya, S. 1999. Air Pollution Meteorology and Dispersion. Oxford University Press. New York
- Basha, G., and M. V. Ratnam (2009), Identification of atmospheric boundary layer height over a tropical station using high resolution radiosonde refractivity profiles: Comparison with GPS radio occultation measurements, J. Geophys. Res., 114, D16101,
- Seidel, D.J., Ao, Chi O, and Li, Kun. 2010. Estimating climatological planetary boundary layer heights from radiosonde observation : Comparison of methods and uncertainty analysis. Journal of Geophysical Research. Vol 115. D16113.
- <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> diakses Mei 2014.