

PEMODELAN TLCL DAN TCCL UNTUK KOTA BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODA SKEW-T PLOTTING

Toni Samiaji
Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN

ABSTRACT

Simple model has been made to predict temperature of LCL and CCL based on surface dew point data. The method which used is skew-T plotting, i.e. plotting temperature and dew point profile of radiosonde data on aerogram paper. The data which used is radiosonde sounding data of Bandung in 1992, 1995, 1997 and 1999. Model formula which obtained has linear form, where surface dew point stright proportional to LCL and CCL temperature. CCL and LCL temperature modelling based on surface humidity data has been made too, where LCL and CCL temperature perhaps could be approximated by natural logarithmic of surface humidity. LCL temperature has good correlation to CCL temperature, and generally form linear and stright proportional.

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan model sederhana untuk memprediksi suhu *Lifting Condensation Level* (LCL) dan *Convective Condensation Level* (CCL) berdasarkan data titik embun permukaan. Metoda yang dipakai adalah metoda *skew-T plotting* yaitu dengan cara memplot profil suhu dan titik embun dari data radiosonde pada kertas aerogram. Data yang dipakai adalah data peluncuran radiosonde di Bandung tahun 1992, 1995, 1997, dan 1999. Perumusan model yang diperoleh adalah berbentuk linear, yang mana titik embun permukaan berbanding lurus dengan suhu LCL dan CCL. Telah pula dibuat pemodelan suhu LCL dan CCL berdasarkan data kelembaban permukaan, yang mana suhu LCL dan CCL mungkin bisa didekati dengan persamaan logaritma natural dari pada kelembaban permukaan. Suhu LCL mempunyai korelasi yang cukup baik terhadap suhu CCL, dan pada umumnya berbentuk linear dan berbanding lurus.

Kata kunci: suhu jenuh parcel, suhu kondensasi parcel, skew-T plotting, model

1 PENDAHULUAN

Prediksi TLCL (suhu jenuh parcel) dan TCCL (suhu kondensasi parcel) dilakukan karena parameter-parameter tersebut (TLCL dan TCCL) sangat penting dalam mempelajari mekanisme terjadinya konveksi. Yang mana konveksi adalah merupakan gambaran bagaimana terjadinya awan khususnya awan cumulus. Sedangkan awan di Indonesia umumnya merupakan awan cumulus, karena Indonesia terletak di equator dan merupakan negara yang kelembabannya cukup tinggi.

Awan erat kaitannya dengan cuaca, untuk memprediksi cuaca khususnya hujan umumnya diperlukan data radiosonde di beberapa lokasi. Dari data radiosonde dengan memplot profil suhu dan titik embun pada kertas aerogram atau disebut juga Skew-T bisa diperoleh titik LCL dan CCL. Metoda Skew-T ini sudah sering dipakai di beberapa negara Amerika dan Eropa, bahkan sekarang sudah dibuat menjadi suatu software yang namanya Raob. Sudah banyak negara yang menggunakan software Raob ini, di Indonesia juga BPPT sudah menggunakannya, akan tetapi LAPAN belum menggunakannya. Untuk itu penulis masih menggunakan metoda konvensional yaitu dengan cara memplot data radiosonde pada kertas aerogram.

Pada tulisan ini tidak semua parcel akan mengalami jenuh dengan uap air atau mengalami kondensasi dari setiap analisa data hasil *sounding*, tergantung dari *lapse rate* suhu potensial dan *lapse rate* suhu potensial basah apakah bernilai negatif, nol atau positif [Rogers R.R., 1976]. Artinya sangat ditentukan oleh kestabilan udara,

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} > 0 \quad \text{artinya stabil} \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \quad \text{artinya netral} \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} < 0 \quad \text{artinya tidak stabil} \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

bila tidak stabil maka terjadilah *updraft* (parcel naik ke atas) karena *bouyancy* (gaya apung) hingga mungkin bisa melampaui titik CCL dan LCL. Tetapi bila udara bersifat stabil maka yang terjadi adalah *downdraft* (angin vertikal ke bawah) sehingga parcel tidak mengalami jenuh dan kondensasi, karena bercampur dengan udara luar [Samiaji, 2004].

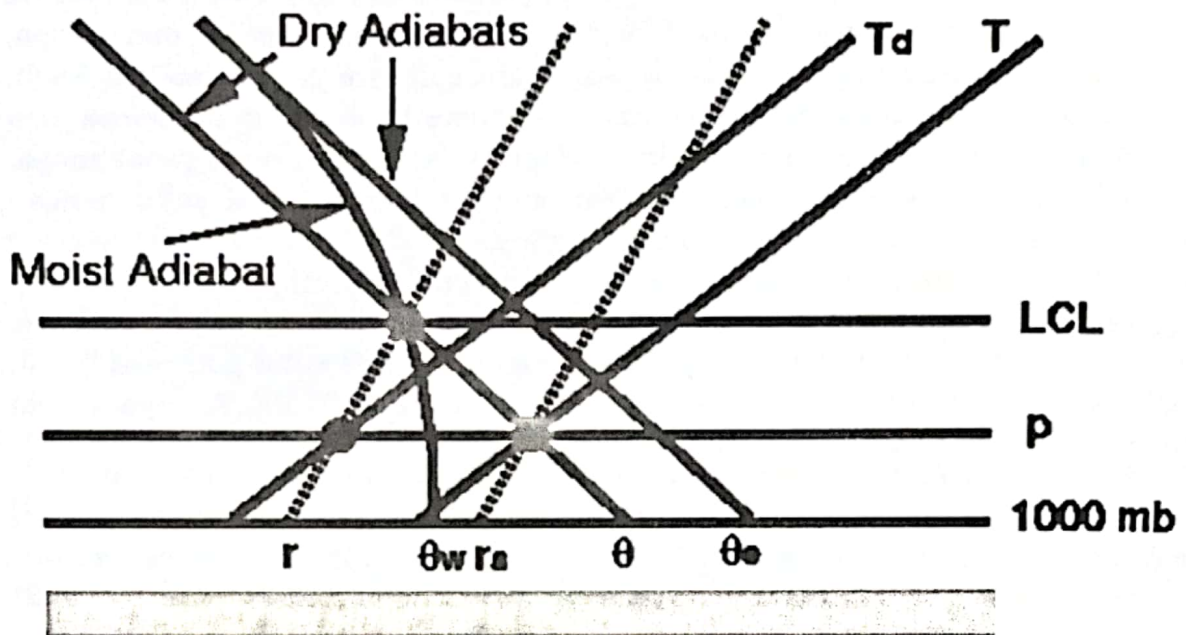
2 DATA DAN PENGOLAHANNYA

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data radiosonde untuk kota Bandung tahun 1992, 1995, 1997 dan 1999, yang meliputi profil suhu, tekanan, kelembaban, titik embun dan ketinggian, semuanya ada 14 profil (14 peluncuran). Contoh data radiosonde ada pada Lampiran.

Data profil suhu dan titik embun permukaan diplot di atas kertas aerogram, kemudian dari titik suhu permukaan ditarik garis adiabatik kering sampai memotong garis *mixing ratio* yang ditarik dari titik embun permukaan. Titik potong ini disebut dengan titik LCL (*Lifting Condensation Level*), yakni titik dengan parcel mulai menjadi jenuh dengan uap air apabila parcel naik secara adiabatik kering [Unisys, 2004, 1998, Roger, 1976, dan TNI AU, 1986]. Pada titik ini bisa dibaca suhu dan tekanannya (otomatis ketinggiannya bisa dicari dari data profil hasil peluncuran radiosonde). Selanjutnya parcel dari titik LCL selama naik mengalami proses adiabatik basah.

Metoda Skew-T plotting ini dan penentuan titik LCL bisa dilihat pada Gambar 2-1 [Unisys, 2004].

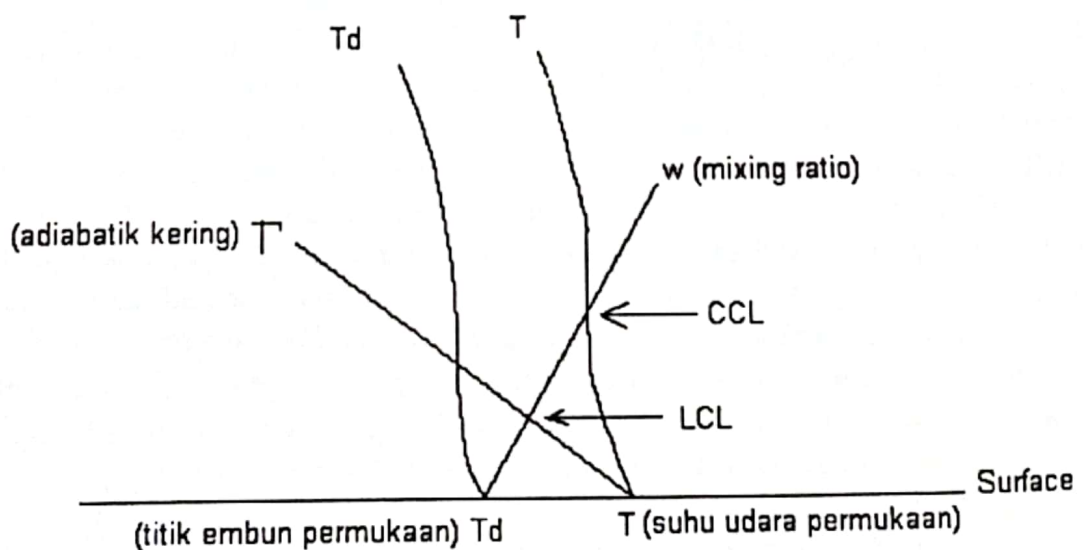
Skew-T Diagram / Tephigram



(Sumber : [Http://Weather.unisys.com/upper_air](http://Weather.unisys.com/upper_air))

Gambar 2-1: Skema metoda Skew-T Plotting (Skew-T Diagram)

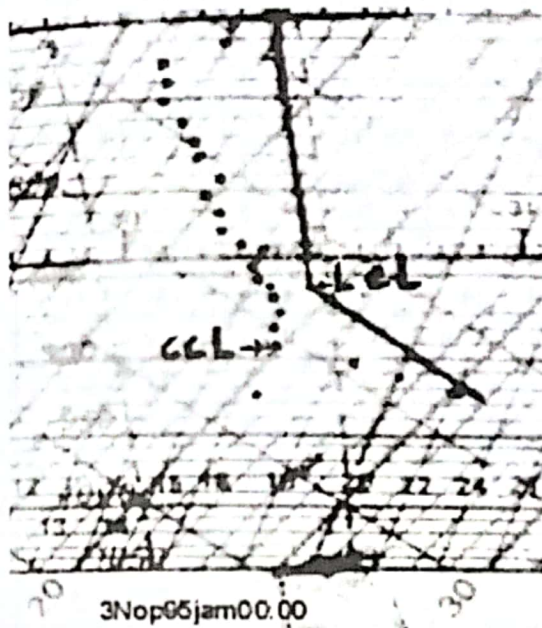
Menurut Jeff Haby (2004) dan menurut Petunjuk Teknis Analisa Sounding, titik CCL ditentukan dengan cara memotongkan garis *mixing ratio* yang ditarik dari titik embun awal (permukaan) sampai memotong profil suhu vertikal [[Http://www.theweatherprediction.com/habyhints/320/](http://www.theweatherprediction.com/habyhints/320/) dan TNI AU, 1986]. Penentuan titik LCL dan CCL diperlihatkan pada Gambar 2-2. Titik CCL merupakan titik kondensasi dengan parcel tersebut diharapkan mulai mengalami kondensasi apabila naik secara adiabatik.



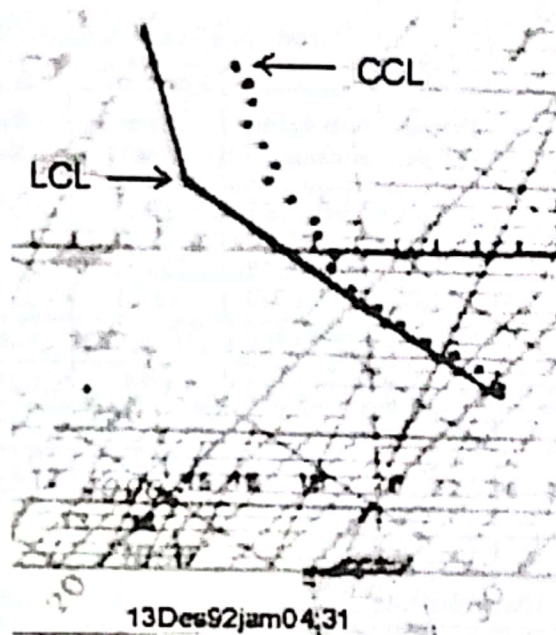
(Sumber : 1. TNI AU, 1986, Petunjuk Teknis Analisa "Sounding", hal. 8 dan 2. [Http://www.theweatherprediction.com/habyhints/320/](http://www.theweatherprediction.com/habyhints/320/))

Gambar 2-2: Penentuan titik LCL dan CCL

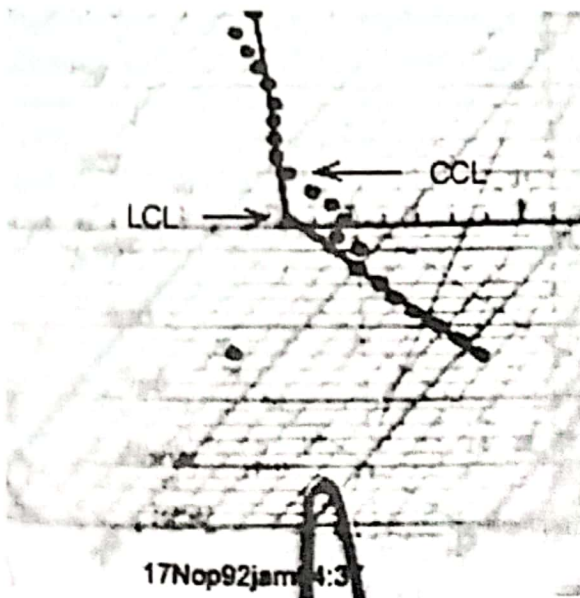
Contoh hasil plotting data pada kertas aerogram ada pada Gambar 2-3 s.d 2-6. Setelah diperoleh titik CCL dan LCL, kemudian dicari hubungan antara parameter-parameter phisis tersebut dengan excel.



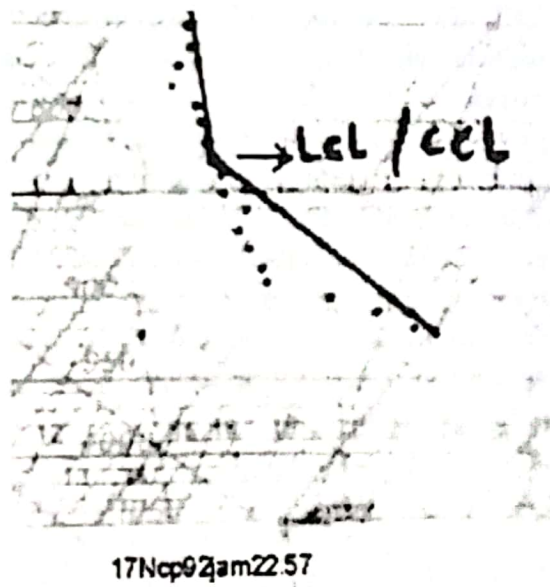
Gambar 2-3: Udara tidak stabil, terjadi *updraft* dan awan terbentuk



Gambar 2-4: Udara stabil, terjadi *downdraft* yang lemah dari permukaan hingga ketinggian 850 mBarr dan awan tidak terbentuk



Gambar 2-5: Udara netral dari permukaan hingga ketinggian 840 mBarr, kemudian terjadi *downdraft* sehingga awan tidak terbentuk



Gambar 2-6: Udara tidak stabil, terjadi *updraft*, awan terbentuk, titik LCL dan CCL berhimpit

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai hasil dari plotting suhu dan titik embun pada kertas aerogram, maka diperoleh T_{CCL} , T_{LCL} seperti pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: DATA KONDISI PERMUKAAN, T_{CCL} DAN T_{LCL}

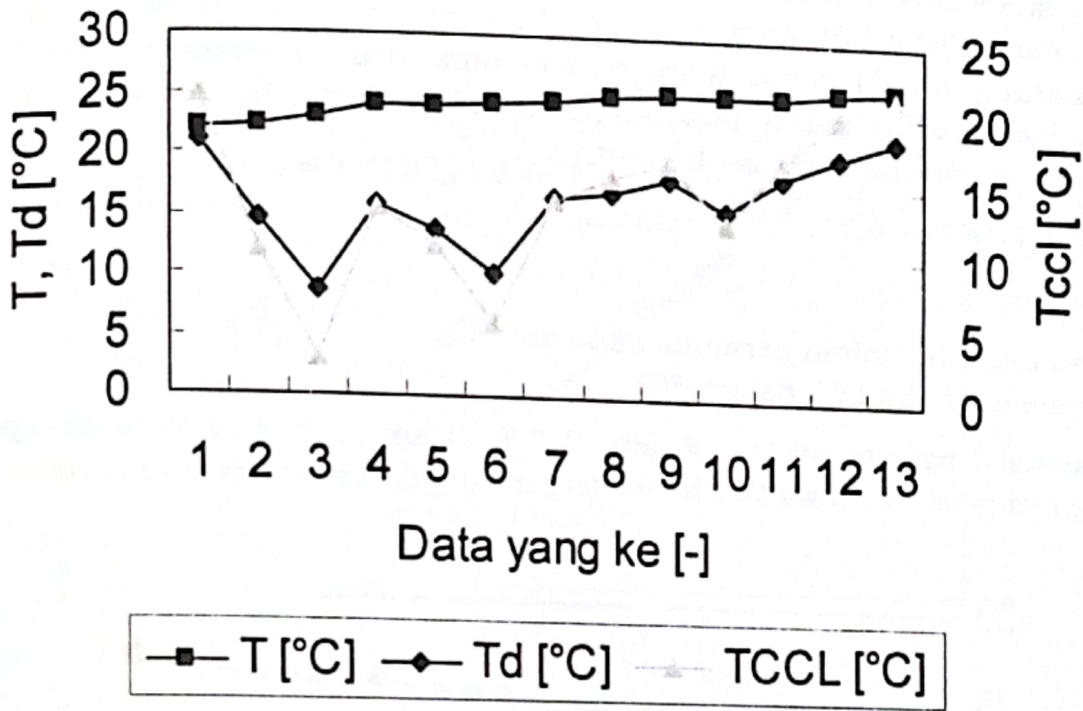
No.	Tanggal dan tahun peluncuran	Jam [GMT]	Po [mBarr]	T [°C]	Rh [%]	Td [°C]	TCCL [°C]	TLCL [°C]
1.	17 November 1992	22:57	923,2	25,1	61	17,1	15,3	15,3
2.	17 November 1992	4:37	920,5	25,4	65	18,4	16,4	16,8
3.	17 November 1992	23:21	921,4	24	60	15,8	13	14
4.	3 November 1995	0:00	925,3	25,8	73	20,6	19,8	19
5.	30 November 1992	4:24	924,6	24,3	41	10,3	5,1	7
6.	13 Desember 1992	4:31	925,7	25,5	55	15,8	12,3	13,5
7.	23 Maret 1999	0:32 UTC	929,1	22,3	62	14,7	10,1	12,8
8.	14 Desember 1992	4:01	926,8	23,1	40	8,8	2,5	5,6
9.	19 Nopember 1992	4:10	925,9	25,5	66	18,7	16,6	17,1
10.	17 Nopember 1992	23:21	921,4	24	60	15,8	13	13,8
11.	01 Desember 1992	4:10	925,7	24,6	61	16,6	13,6	14,7
12.	16 Nopember 1992	17:34	921,7	24,2	52	13,8	10,4	11,5
13.	07 April 1997	22:51	922,3	22,1	93	20,9	20,7	20,7
14.	03 Nopember 1995	23:59	926,2	26,2	78	22,1	21,3	20,8

Hubungan antara suhu permukaan dan titik embun terhadap suhu CCL digambarkan pada Gambar 3-1. Nampak bahwa meskipun suhu permukaan naik terus, tetapi suhu CCL berfluktuasi, akan tetapi bila dilihat dari titik embun, maka terlihat jika titik embun berfluktuasi, suhu CCLpun ikut berfluktuasi, jadi nampaknya titik embun bisa dikorelasikan terhadap suhu CCL. Jika titik embun dikorelasikan terhadap suhu CCL, maka terlihat seperti Gambar 3-2 berbentuk linear, koefisien korelasinya cukup besar $R = 0,996$. Berdasarkan gambar ini terlihat bahwa bila suhu titik embun naik maka suhu CCL menjadi naik. Jadi besarnya suhu parcel saat berkondensasi tergantung dari suhu titik embun awal (permukaan). Berdasarkan gambar ini pula untuk memprediksi suhu CCL bisa ditentukan dari titik embun permukaan dengan pendekatan sebagai berikut.

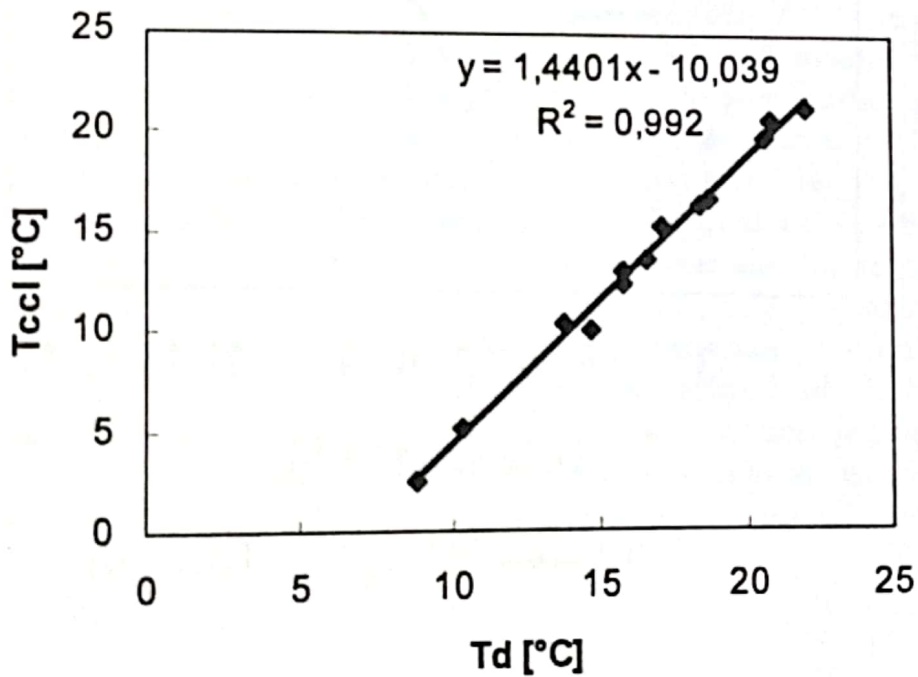
$$T_{ccl} = 1,4401T_d - 10,039^{\circ}C \dots\dots\dots (3-1)$$

Keterangan:

- T_d = titik embun dalam [°C],
- T_{ccl} = adalah suhu CCL dalam [°C].



Gambar 3-1: Hubungan antara suhu permukaan dan titik embun dengan suhu CCL



Gambar 3-2: Korelasi titik embun terhadap suhu CCL

Hubungan antara suhu permukaan dan titik embun terhadap suhu LCL ditunjukkan pada Gambar 3-3. Dari grafik tersebut jelas terlihat bahwa bila titik embun berfluktuasi maka suhu LCL-pun berfluktuasi. Jadi nampaknya titik embun bisa dikorelasikan dengan suhu LCL. Jika titik embun dikorelasikan terhadap suhu LCL, maka nampak pada Gambar 3-4 mempunyai koefisien

korelasi $R = 0,997$. Berdasarkan gambar ini terlihat bahwa bila suhu titik embun naik maka suhu LCL menjadi naik. Jadi besarnya suhu parcel ketika jenuh tergantung dari besarnya suhu titik embun awal. Berdasarkan gambar ini juga memprediksi suhu LCL bisa ditentukan dari titik embun permukaan dengan pendekatan sebagai berikut.

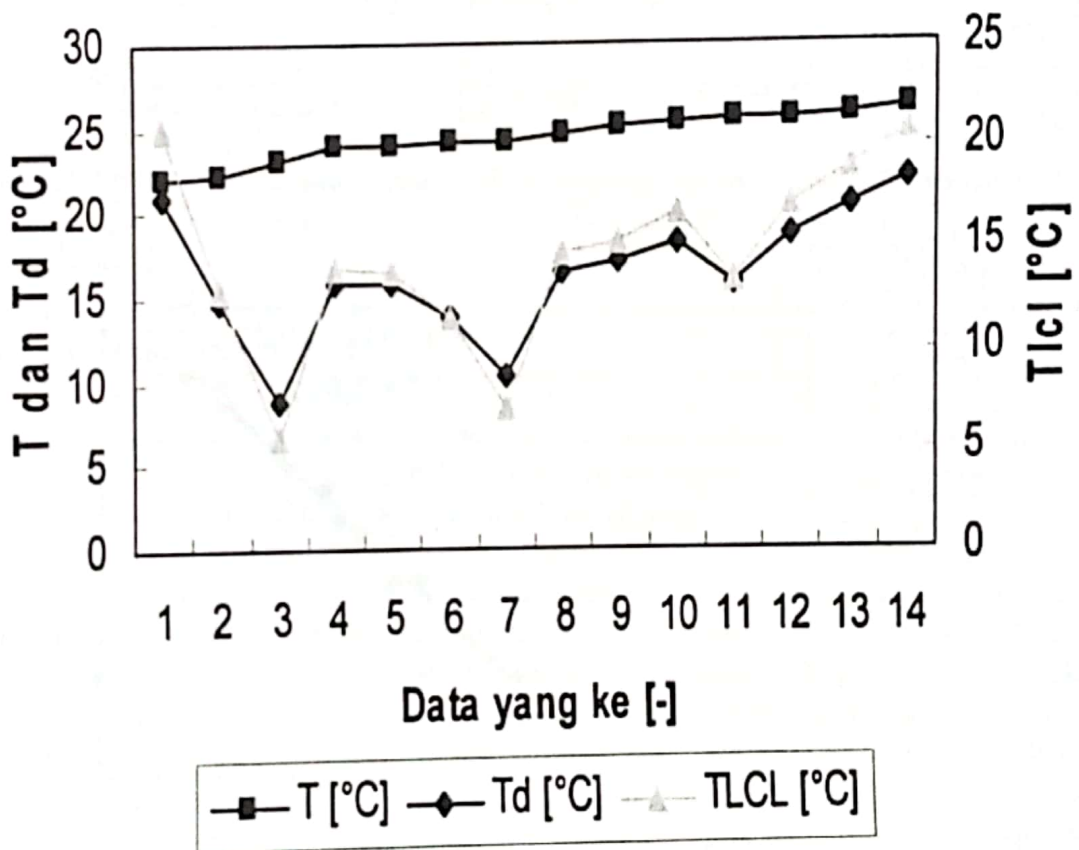
$$T_{lcl} = 1,1796T_d - 4,8572 \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan:

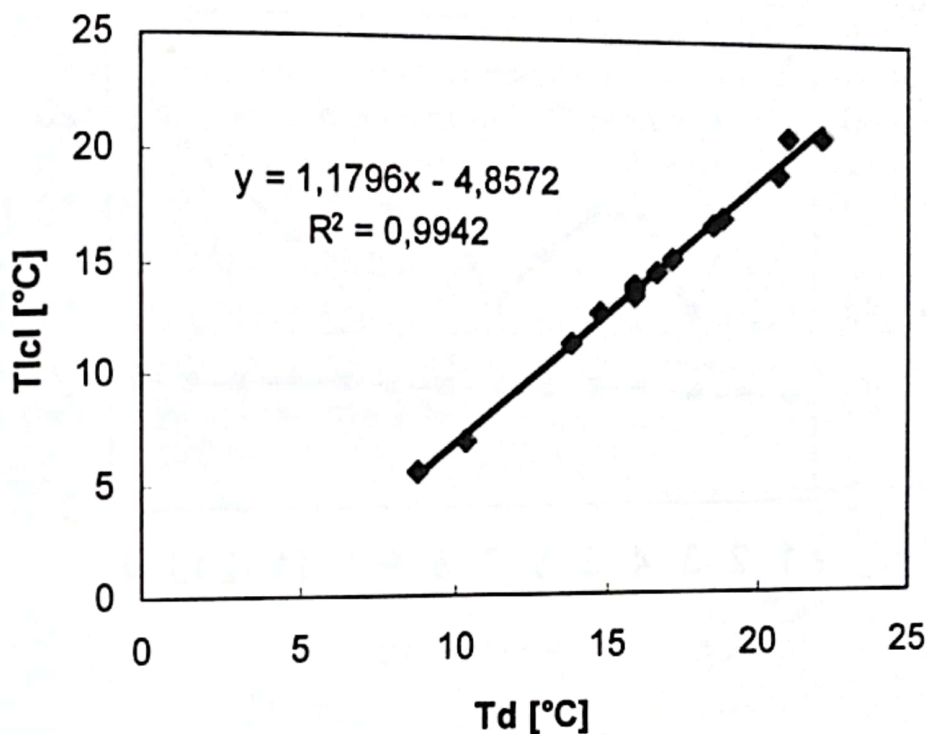
T_d =suhu titik embun permukaan dalam [$^\circ\text{C}$],

T_{lcl} =adalah suhu LCL dalam [$^\circ\text{C}$].

Ini sesuai dengan pernyataan Rogers (1976) dalam *A short course in cloud physics* yang mengatakan bahwa LCL hanya tergantung dari sifat udara di permukaan.



Gambar 3-3: Hubungan antara suhu permukaan dan titik embun terhadap suhu LCL



Gambar 3-4 Korelasi titik embun terhadap suhu LCL

Titik embun adalah suhu udara bila udara dalam keadaan jenuh dengan uap air. Keadaan ini bisa terjadi apabila kelembaban udara 100 %. Artinya (lihat dari persamaan 3-3) bila nilai e (besarnya tekanan uap air) sama dengan nilai e_s (besarnya tekanan uap jenuh), maka $RH = 100 \%$.

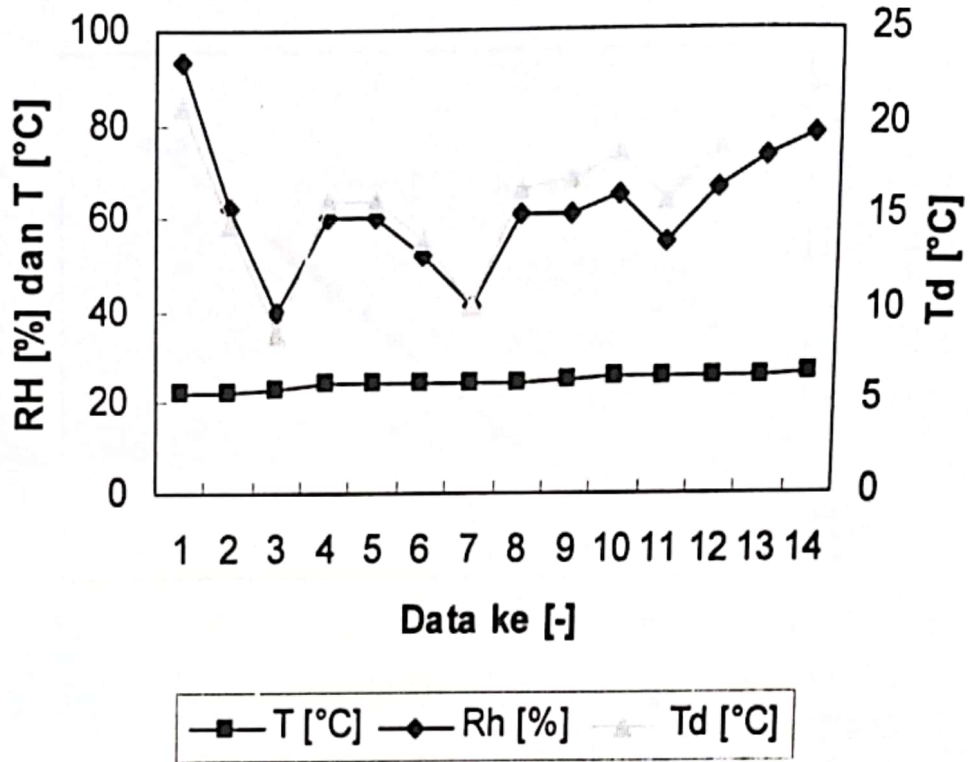
Pengukuran dengan radiosonde atau ozonsonde, maka titik embun itu bisa diperoleh. Namun apabila pengukuran dengan weather station, titik embun tidak diukur, karena yang diukur adalah tekanan, suhu dan kelembaban udara permukaan. Jadi untuk memperoleh titik embun permukaan harus dilihat di tabel tekanan uap jenuh (misalnya *Smithsonian Meteorological Tables*) berdasarkan data suhu udara permukaan (karena tekanan uap jenuh hanya dipengaruhi oleh suhu udara bukan oleh tekanan udara) dan dengan memasukkan data kelembaban pada persamaan

$$RH = 100 e/e_s \dots\dots\dots (3-3)$$

Keterangan:

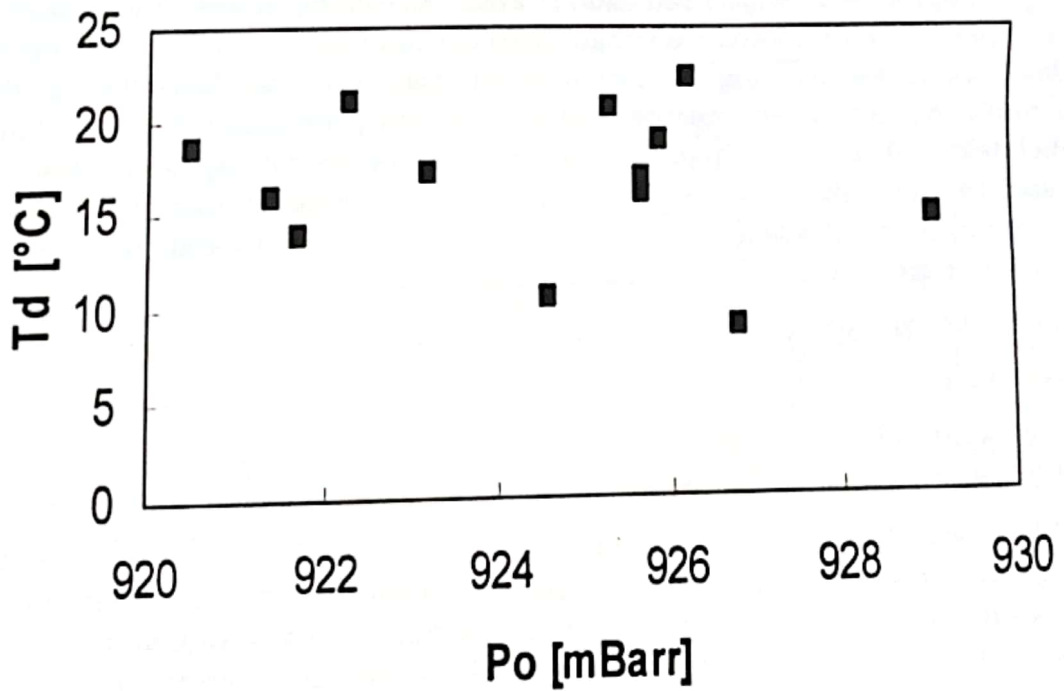
- e = tekanan uap air [mBarr]
- e_s = tekanan uap jenuh [mBarr]

akan diperoleh titik embun [Rogers R.R., 1976]. Suhu udara jelas berpengaruh terhadap tekanan uap jenuh, lalu bagaimana pengaruh suhu udara terhadap titik embun. Dari Gambar 3-5, nampak bahwa suhu udara tidak berpengaruh terhadap titik embun, yang berpengaruh adalah kelembaban.



Gambar 3-5: Hubungan suhu udara dan kelembaban terhadap titik embun

Demikian pula dari Gambar 3-6, bahwa tekanan udara tidak berpengaruh terhadap titik embun. Jadi karena nampaknya yang berpengaruh adalah kelembaban, maka

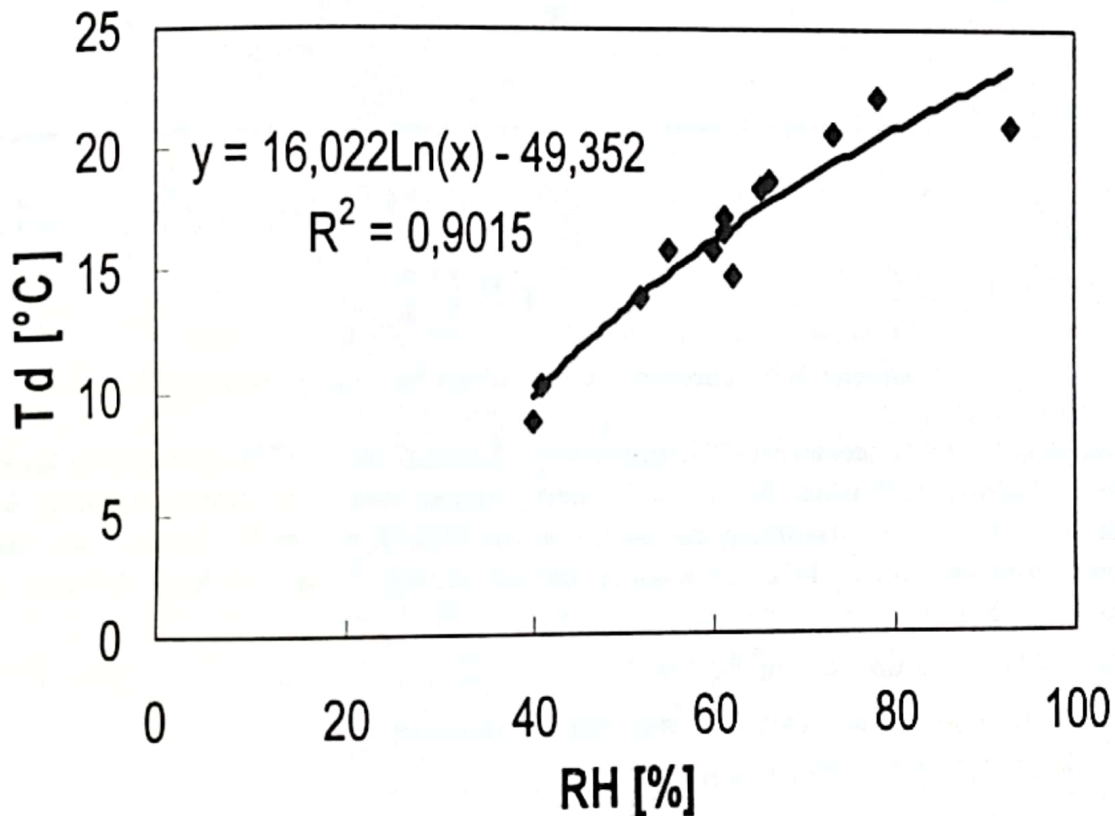


Gambar 3-6: Hubungan tekanan udara dengan titik embun

kalau dikorelasikan kelembaban terhadap titik embun akan nampak seperti Gambar 3-7 dengan koefisien korelasi $R = 0,949$. Berdasarkan Gambar 3-7 nampak bahwa jika kelembaban semakin besar maka titik embun-pun semakin besar pula, untuk memprediksi titik embun secara kasar berdasarkan kelembaban permukaan di Bandung bisa didekati dengan persamaan logaritma natural

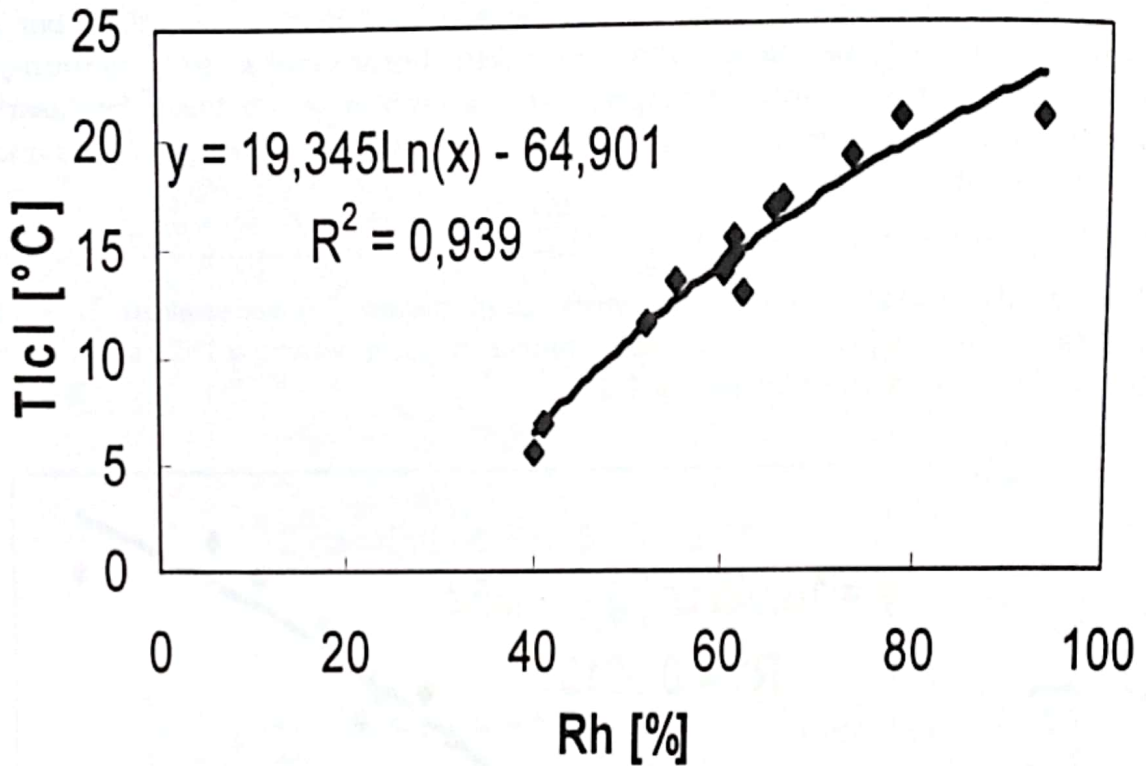
$$T_d = C(16,022\ln(RH/A) - 49,352) \dots\dots\dots (3-4)$$

dengan RH adalah kelembaban permukaan dalam [%] sedangkan T_d adalah titik embun dalam $^{\circ}\text{C}$, dan C adalah konstanta yang besarnya 1°C , sedangkan A adalah konstanta yang besarnya 1 %.



Gambar 3-7: Korelasi kelembaban terhadap titik embun

Dari uraian di atas jelas terlihat bahwa besarnya suhu ketika parcel mulai kondensasi (CCL) dan jenuh (LCL) tergantung dari keadaan awal terutama titik embun permukaan. Sedangkan dari Gambar 3-7 titik embun dipengaruhi oleh kelembaban, lalu bagaimana pengaruh kelembaban terhadap suhu LCL dan suhu CCL? Pada Gambar 3-8 dan 3-9 nampak bahwa dengan semakin tinggi kelembaban



Gambar 3-8: Korelasi kelembaban terhadap suhu LCL

maka suhu LCL dan suhu CCL-pun menjadi tinggi pula. Tetapi nampak korelasi kelembaban terhadap suhu LCL mempunyai koefisien korelasi yang lebih tinggi ($R = 0,969$) dibanding terhadap suhu CCL ($R = 0,947$). Sedangkan untuk memprediksi suhu LCL di atas kota Bandung, bisa didekati dengan persamaan logaritma natural

$$T_{lcl} = C(19,345 \text{ Ln } (RH/A) - 64,901) \dots\dots\dots (3-5)$$

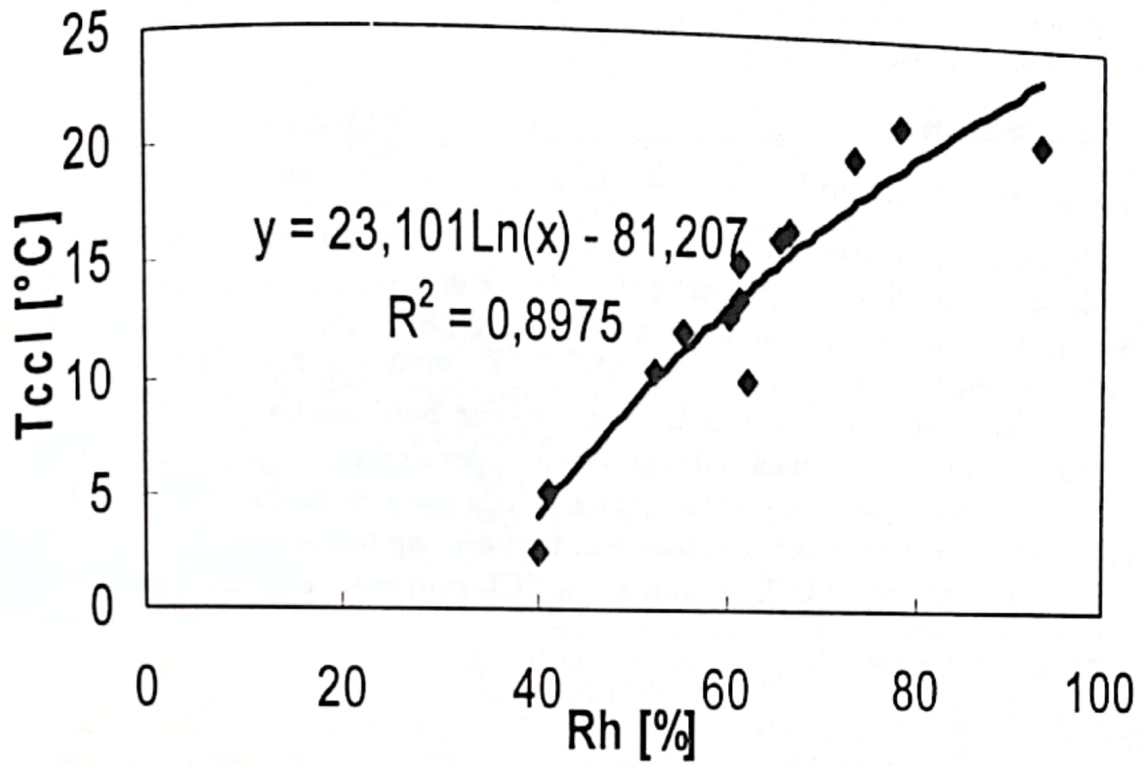
dan untuk prediksi suhu CCL dengan persamaan

$$T_{ccl} = C(23,101 \text{ Ln } (RH/A) - 81,207) \dots\dots\dots (3-6)$$

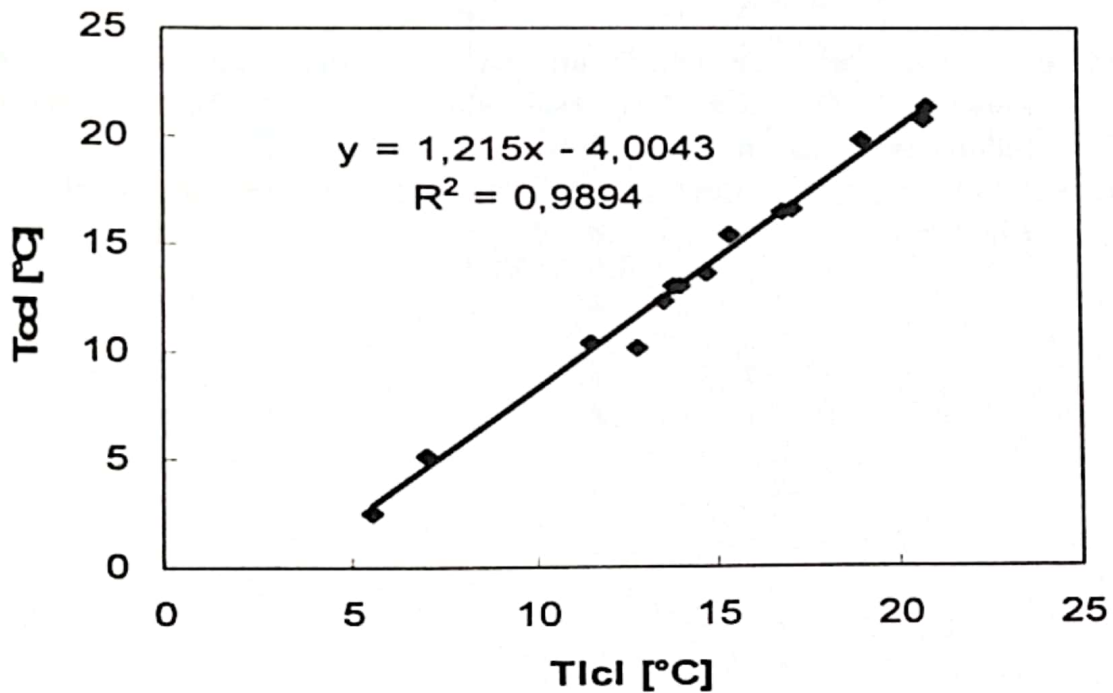
dengan T_{lcl} adalah suhu LCL, T_{ccl} adalah suhu CCL dalam [°C] dan RH adalah kelembaban udara permukaan dalam [%] dan C adalah konstanta yang besarnya 1°C, sedangkan A adalah konstanta yang besarnya 1 %.

Sebagaimana telah disebutkan di atas bahwa suhu CCL dan suhu LCL bisa diprediksi dengan kelembaban permukaan. Lalu bagaimanakah hubungan suhu CCL dan LCL ini? Pada Gambar 3-10 ditunjukkan korelasi suhu LCL terhadap suhu CCL, yang mana dengan semakin tinggi suhu LCL maka suhu CCL-pun menjadi tinggi, koefisien korelasinya $R = 0,995$. Untuk memprediksi suhu CCL, bilamana suhu LCL sudah diketahui boleh dengan persamaan berikut

$$T_{ccl} = 1,215T_{lcl} - 4,0043^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (3-7)$$



Gambar 3-9: Korelasi kelembaban terhadap suhu CCL



Gambar 3-10: Korelasi suhu LCL terhadap suhu CCL

Model pada persamaan 3-4 mempunyai persentase kesalahan 0,6 sampai 14,3 %. Untuk menguji keakuratan beberapa model yang dituliskan pada

persamaan 3-1, 3-2, 3-5 dan 3-6 diperlukan suatu alat yang dapat mengukur langsung suhu LCL dan CCL.

4 KESIMPULAN

Sebagai hasil penelitian ini bisa ditarik kesimpulan bahwa :

- Titik embun mempunyai korelasi yang cukup baik terhadap suhu LCL dan CCL, dan pada umumnya berbentuk linear dan berbanding lurus.
- Semakin tinggi suhu titik embun permukaan maka suhu CCL dan LCL-pun menjadi tinggi pula.
- Untuk memprediksi suhu LCL secara kasar berdasarkan data kelembaban permukaan mungkin bisa didekati dengan persamaan logaritma natural.
- Suhu LCL mempunyai korelasi yang cukup baik terhadap suhu CCL, dan pada umumnya berbentuk linear dan berbanding lurus.
- Semakin tinggi suhu LCL, maka suhu CCL-pun menjadi tinggi pula.

DAFTAR RUJUKAN

- Haby, J., 2004. [Http://www.theweatherprediction.com/habyhints/320/](http://www.theweatherprediction.com/habyhints/320/).
- Rogers R.R., 1976. *A Short Course in Cloud Physics*, Pergamon Press, pp. 19-34, Oxford, 1976.
- Samiaji, T., 2004. Trayektori Parsel di atas Kota Bandung, p. 43, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta, 2004.
- TNI AU, 1986. *Petunjuk teknis analisa sounding*, pp. 7-8, Angkatan Bersenjata Republik Indonesia Markas Besar Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara, Jakarta, 1986.
- Unisys, 2004. [Http://Weather.Unisys.Com/upper air](http://Weather.Unisys.Com/upper_air), Last modified August 13, 1998.

Lampiran

Station: 6.90 S 107.60 E 740 m from the sea level
 Date: 1995-11-03 Started at Gmt 00:00
 Rs-number: 510503402
 Computing density: 2 s
 PTU identified: 92 %
 GC-corrections: P 0.0 hPa, T 0.0 C, U -2 %
 Wind computing mode: Remote OMEGA
 Phase fitting length:
 250 s from the surface up to 300 s
 250 s from 300 s up to 900 s
 250 s from 900 s up to the end of the sounding

0 0	740	925.6	25.8	1	-34.4	0	0.0	TUdfv	
0 2	742	925.3	25.8	73	20.6	30	1.9	TU	Ti
0 4	746	924.8	25.7	73	20.5	38	2.3		Ti
0 6	753	924.1	25.6	74	20.6	45	2.7		Ti
0 8	764	923.0	25.4	74	20.4	52	3.1		Ti
0 10	777	921.7	25.2	75	20.5	58	3.4		Ti
0 12	785	920.8	25.0	76	20.5	64	3.7		PiTiUi
0 14	794	919.9	24.9	76	20.4	69	4.0		PiTiUi
0 16	805	918.7	24.7	77	20.4	73	4.2		PiTiUi
0 18	813	917.8	24.6	77	20.3	76	4.3		PiTiUi
0 20	822	916.9	24.4	78	20.3	79	4.4		Ti
0 22	830	916.0	24.3	78	20.2	82	4.5		Ti
0 24	841	914.9	24.1	79	20.2	84	4.5		Ti
0 26	850	914.0	23.9	80	20.3	86	4.5		Ti
0 28	858	913.1	23.8	81	20.4	87	4.5		Ti
0 30	869	912.0	23.6	82	20.4	89	4.5		Ti
0 32	878	911.1	23.4	84	20.6	90	4.4		Ti
0 34	884	910.5	23.3	86	20.8	91	4.3		PiTiUi
0 36	893	909.6	23.2	89	21.3	92	4.2		PiTiUi
0 38	899	908.9	23.1	91	21.6	93	4.1		Ti
0 40	908	908.0	22.9	91	21.4	93	4.0		Ti
0 42	920	906.7	22.7	91	21.2	94	3.9		Ti
0 44	933	905.4	22.5	91	21.0	94	3.8		Ti
0 46	948	903.8	22.2	92	20.8	94	3.7		Ti
0 48	961	902.5	22.0	91	20.5	94	3.6		Ti
0 50	974	901.2	21.8	91	20.3	94	3.5		Ti
0 52	980	900.5	21.7	91	20.2	93	3.6		PiTiUi