

TEKNIK PREDIKSI HUJAN BERBASIS MODEL KONVEKSI LOKAL

Ina Juaeni

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Abstrak

Prediksi kejadian hujan dan curah hujan memang sangat diperlukan oleh masyarakat modern dewasa ini, terlebih masyarakat yang bergelut dalam sektor pertanian/perkebunan. Beberapa teknik prediksi kejadian hujan dan curah hujan menghasilkan prediksi dalam skala regional dan berbasis data pengamatan waktu lampau, sedangkan beberapa teknik prediksi yang lain sudah melibatkan proses atmosfer namun dalam skala global. Analisis proses konveksi dalam kaitannya dengan kejadian hujan dan curah hujan di wilayah Indonesia, memerlukan keterlibatan proses atmosfer skala lokal. Hal ini disebabkan, di wilayah Indonesia, cuaca pada umumnya dan hujan khususnya sangat bervariasi baik terhadap waktu maupun terhadap tempat. Untuk itu perlu lebih banyak dikembangkan teknik prediksi cuaca skala lokal.

Model konveksi lokal dapat menentukan parameter-parameter konveksi seperti kecepatan gerak massa udara vertikal, temperatur, kadar uap air, kadar tetes awan serta kadar tetes hujan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

- a. Persamaan Gerak
- b. Persamaan Kontinuitas
- c. Persamaan Termodinamika
- d. Persamaan Kesetimbangan Massa Uap air
- e. Persamaan Kesetimbangan Massa Tetes Awan
- f. Persamaan Kesetimbangan Massa Tetes Hujan

Luaran model konveksi, terutama kecepatan vertikal dan massa air cair dan atau padat, merupakan input untuk prediksi curah hujan (mm/inchi). Sedangkan kejadian hujan dapat diprediksi dari luaran kecepatan vertikal. Jika plot kecepatan vertikal terhadap waktu menunjukkan nilai negatif (gerakan udara turun) yang sebelumnya diawali dengan "updraft" yang cukup tinggi (4 s/d 10 m/det), maka diperkirakan pada saat tersebut terjadi hujan.

Kecepatan vertikal yang diperoleh dari model yang digabung dengan data radiosonde dapat digunakan untuk menentukan intensitas curah hujan dengan persamaan $I = w_c \rho_c (r_c - r_s) / \gamma$. Meskipun model konveksi ini masih sangat sederhana, karena hanya melibatkan beberapa proses mikrofisik dan juga dengan dimensi yang terbatas (satu setengah), namun model ini dapat memberikan alternatif metoda prediksi hujan, pada lokasi yang dilengkapi pengamatan radiosonde dan tanpa pengamatan kecepatan vertikal.

1. PENDAHULUAN

Prediksi kejadian hujan dan curah hujan telah lama dikembangkan para peneliti dalam dan luar negeri, khususnya para peneliti atmosfer. Prediksi kejadian hujan dan curah hujan memang sangat diperlukan oleh masyarakat modern dewasa ini, terlebih masyarakat yang bergelut dalam sektor pertanian/perkebunan. Beberapa teknik prediksi kejadian hujan dan curah hujan menghasilkan prediksi dalam skala regional dan berbasis data pengamatan waktu lampau, sedangkan beberapa teknik prediksi yang lain sudah melibatkan proses atmosfer namun dalam skala global. Beberapa tulisan sebelumnya (Ina Juaeni, 1996a; Ina Juaeni dkk, 1996b; Ina Juaeni, 2000) memperlihatkan bahwa dalam analisis proses konveksi dalam kaitannya dengan kejadian hujan dan curah hujan di wilayah Indonesia, memerlukan keterlibatan proses atmosfer skala lokal. Hal ini disebabkan, di wilayah Indonesia cuaca pada umumnya dan hujan khususnya sangat bervariasi baik terhadap waktu maupun terhadap tempat. Untuk itu perlu lebih banyak dikembangkan teknik prediksi cuaca skala lokal.

Pada kesempatan ini, penulis mengemukakan sebuah ulasan mengenai teknik prediksi kejadian hujan dan curah hujan lokal yang berbasis model konveksi lokal. Model Konveksi ini dibangun dari 6 persamaan konveksi (lihat pada Bagian 2) yang diselesaikan secara numerik dalam sebuah kolom konveksi dengan ukuran tertentu (lihat Pustaka) dalam ruang dimensi $3/2$, karena juga melibatkan massa udara di luar kolom

2. MODEL KONVEKSI LOKAL

Dengan model konveksi lokal dapat ditentukan parameter-parameter konveksi seperti kecepatan gerak massa udara vertikal, temperatur, kadar uap air, kadar

tetes awan serta kadar tetes hujan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut (Ogura, 1971; Ina Juaeni, 1996a):

- a. Persamaan Gerak
- b. Persamaan Kontinuitas
- c. Persamaan Termodinamika
- d. Persamaan Keseimbangan Massa Uap air
- e. Persamaan Keseimbangan Massa Tetes Awan
- f. Persamaan Keseimbangan Massa Tetes Hujan

Persamaan model konveksi diaplikasikan dalam kolom konveksi dengan ukuran tinggi dan diameter tertentu.

Model konveksi yang dibangun oleh Yoshimitsu Ogura (1971) diaplikasikan oleh D. Heimann (1985) dan Ina Juaeni (1996a, 1996b) untuk lokasi lain dengan menyelesaikan secara numerik persamaan a, b, c, d, dan e.

3. PERBANDINGAN MODEL

3.1. Model Konveksi Y. Ogura

Penyelesaian persamaan konveksi (a s/d e) diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar 1A s/d 1C memperlihatkan perubahan kecepatan vertikal, perbedaan temperatur dalam awan dengan lingkungannya dan kadar air cair, terhadap waktu dan ketinggian. Gambar 1A memperlihatkan bahwa kecepatan vertikal bertambah secara lambat pada menit ke duapuluh pertama, kemudian bertambah dengan cepat dan mencapai keadaan stasioner setelah 40 menit. Gambar 1B menunjukkan hal yang sama. Namun pada ketinggian sekitar 11 km, terlihat ada perbedaan temperatur negatif yang cukup besar. Hal ini kemungkinan disebabkan ada gerak ke atas pada lapisan isothermal. Gambar 1 C memperlihatkan hal yang sama seperti Gambar 1A dengan kadar air cair maksimum 8 g/kg pada ketinggian 9 km.

Sedangkan penyelesaian persamaan konveksi a s/d f diperlihatkan pada Gambar 2. Gambar 2A s/d 2E memperlihatkan perubahan kecepatan vertikal, beda temperatur, kadar air cair, kadar tetes awan, kadar tetes hujan dan kadar es, terhadap waktu dan ketinggian. Pada kasus ini terlihat bahwa setelah mencapai nilai maksimum pada menit ke 40 nilai parameter-parameter konveksi (w , ΔT dan Q_c) berkurang untuk kemudian hilang (nol). Pada Gambar 2D s/d 2F, kadar tetes awan, kadar tetes hujan dan es mulai berkurang pada menit ke 50.

Model konveksi Ogura telah memperlihatkan tiga tahap siklus hidup "thunderstorm", yaitu tahap perkembangan (menit ke 20 s/d 40), tahap matang ditandai dengan adanya "down draft" di dasar awan, dan tahap peluruhan yang ditandai adanya aliran massa turun yang menyebar secara horizontal.

3.2. Model Konveksi di LAPAN

Penyelesaian persamaan konveksi (a s/d e) untuk beberapa lokasi di Indonesia diperlihatkan pada Gambar 3 dan 4 (Ina Juaeni, 1996a dan 1996b). Gambar 3 dan 4 memperlihatkan bahwa pola perubahan parameter-parameter konveksi di beberapa tempat di Indonesia mengikuti pola pada model konveksi Ogura (Sub-Bagian 3.1), namun nilainya lebih kecil. Hal ini terutama disebabkan karena waktu dan tempat pengamatan yang berbeda.

Model konveksi LAPAN (Ina Juaeni, 199a) belum dapat menunjukkan siklus hidup "thunderstorm" secara lengkap sampai tahap peluruhan, karena beberapa proses mikrofisik yaitu pembentukan tetes hujan belum dilibatkan.

4. APLIKASI

Penyelesaian persamaan konveksi secara numerik membuka peluang untuk prediksi kejadian hujan dan curah hujan dengan cepat dan murah.

Luaran model konveksi, terutama kecepatan vertikal dan massa air cair dan atau padat, merupakan input untuk prediksi curah hujan (mm atau inchi). Sedangkan kejadian hujan dapat diprediksi dari luaran kecepatan vertikal. Jika plot kecepatan vertikal terhadap waktu menunjukkan nilai negatif (gerakan udara turun) yang sebelumnya diawali dengan updraft yang cukup tinggi (4 s/d 10 m/det), maka diperkirakan pada saat tersebut terjadi hujan.

Dari kecepatan vertikal yang diperoleh dari model yang digabung dengan data radiosonde dapat ditentukan intensitas curah hujan dengan persamaan (C. J. Wiesner, 1970):

$$I = w_c \rho_c (r_c - r_z) / 7$$

Dengan: subscript c menunjukkan level kondensasi
 r_z mixing ratio pada puncak lapisan dimana terjadi gerakan naik massa udara
 w_c kecepatan vertikal pada level kondensasi
 ρ_c kerapatan udara pada level kondensasi

Prediksi intensitas hujan model Y. Ogura diperlihatkan pada Gambar 2. Terlihat pada Gambar 2 bahwa intensitas hujan mulai tercatat pada menit ke 10 dan mencapai maksimum pada menit ke 60 untuk kemudian berkurang sampai berhenti pada menit ke 70. Sementara itu terlihat pada gambar 2C, 2E dan 2F bahwa tetes air, tetes hujan dan es juga terbentuk sampai menit ke 70. Sedangkan tetes awan terbentuk sampai menit ke 60.

Prediksi intensitas hujan dengan menggunakan persamaan pada bagian 4 dan model konveksi lokal

yang dikembangkan di LAPAN ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Prediksi Intensitas Hujan

Lokasi	Waktu	W(m/det)	Qc (g/g)	I(mm/jam)
Biak	1-12-1993	3.0	1×10^{-3}	11.78
	01-03-1993	2.9	2×10^{-4}	2.28
	02-01-1995	5.8	1.1×10^{-3}	25.06
	10-01-1995	1.8	1.5×10^{-3}	10.61
	01-02-1995	4.0	1×10^{-3}	15.71
Bandung	03-01-1996	1.07	1.16×10^{-3}	4.88
	05-01-1996	3.8	0.42×10^{-3}	6.27
	25-01-1996	0.29	0.06×10^{-3}	0.07
	26-01-1996	1.45	0.89×10^{-3}	5.07
Serpong	08-01-1995	1.99	0.35×10^{-3}	2.74
	10-01-1995	0.87	0.5×10^{-3}	1.71
	14-01-1995	6.0	1×10^{-3}	23.57

Keterangan:

W = kecepatan udara vertikal (model)

Qc = mixing ratio tetes awan (model)

I = intensitas hujan prediksi (mm/jam)

Contoh: Hasil simulasi untuk lokasi Biak pada 1 Desember 1993 menunjukkan bahwa kecepatan udara vertikal pada level kondensasi adalah 3 m/det, sedangkan mixing ratio tetes awan 1×10^{-3} g/g dan $\rho_c = 1.1 \times 10^3$ g/m³. Maka prediksi intensitas curah hujan prediksi 0.47 inci/jam atau 11.78 mm/jam.

Dari hasil di atas terlihat bahwa pada umumnya jika kecepatan udara vertikal kecil, maka mixing ratio tetes awanpun kecil. Hal ini dimungkinkan pada kondisi tanpa ada suplai uap air dari sekitar lokasi pengamatan. Jadi massa udara yang terangkat benar-benar berasal dari lokasi setempat. Karena kecepatan udara naik kecil maka massa uap air (dalam hal ini mixing ratio tetes awan) yang terangkat ke atas juga kecil. Demikian sebaliknya jika kecepatan udara

vertikal bertambah, maka mixing rasionya juga bertambah.

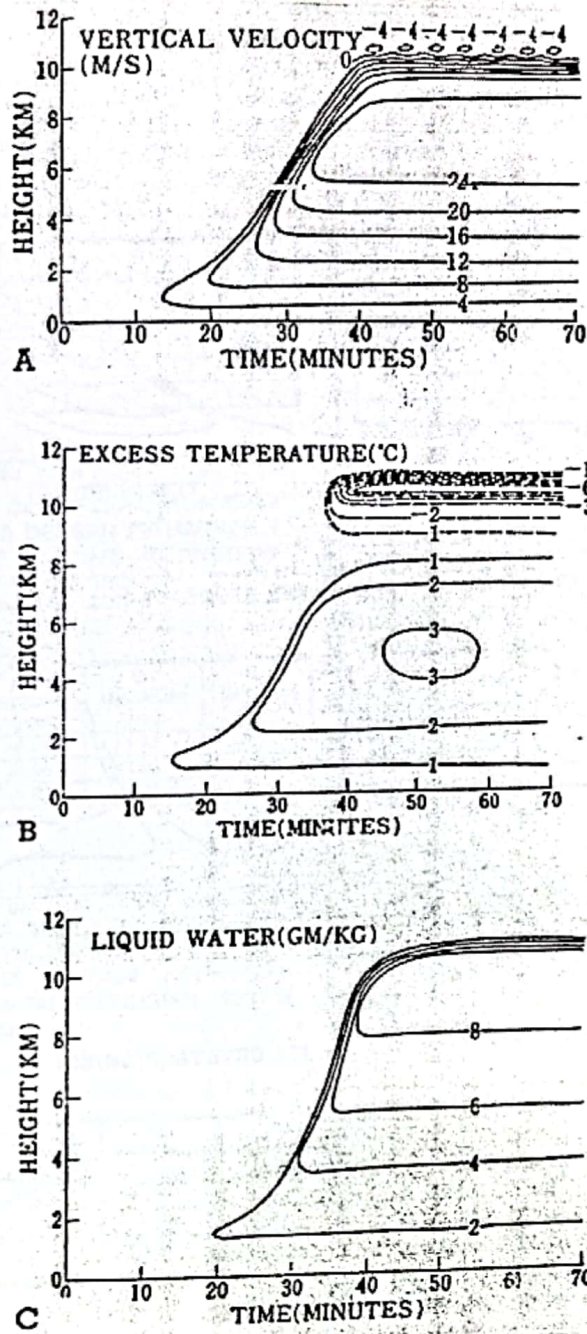
Dari tabel di atas juga terlihat bahwa intensitas hujan sangat tergantung pada kedua faktor tersebut (kecepatan udara vertikal dan mixing ratio). Intensitas hujan besar jika kecepatan udara vertikal dan mixing ratio besar.

5. KESIMPULAN

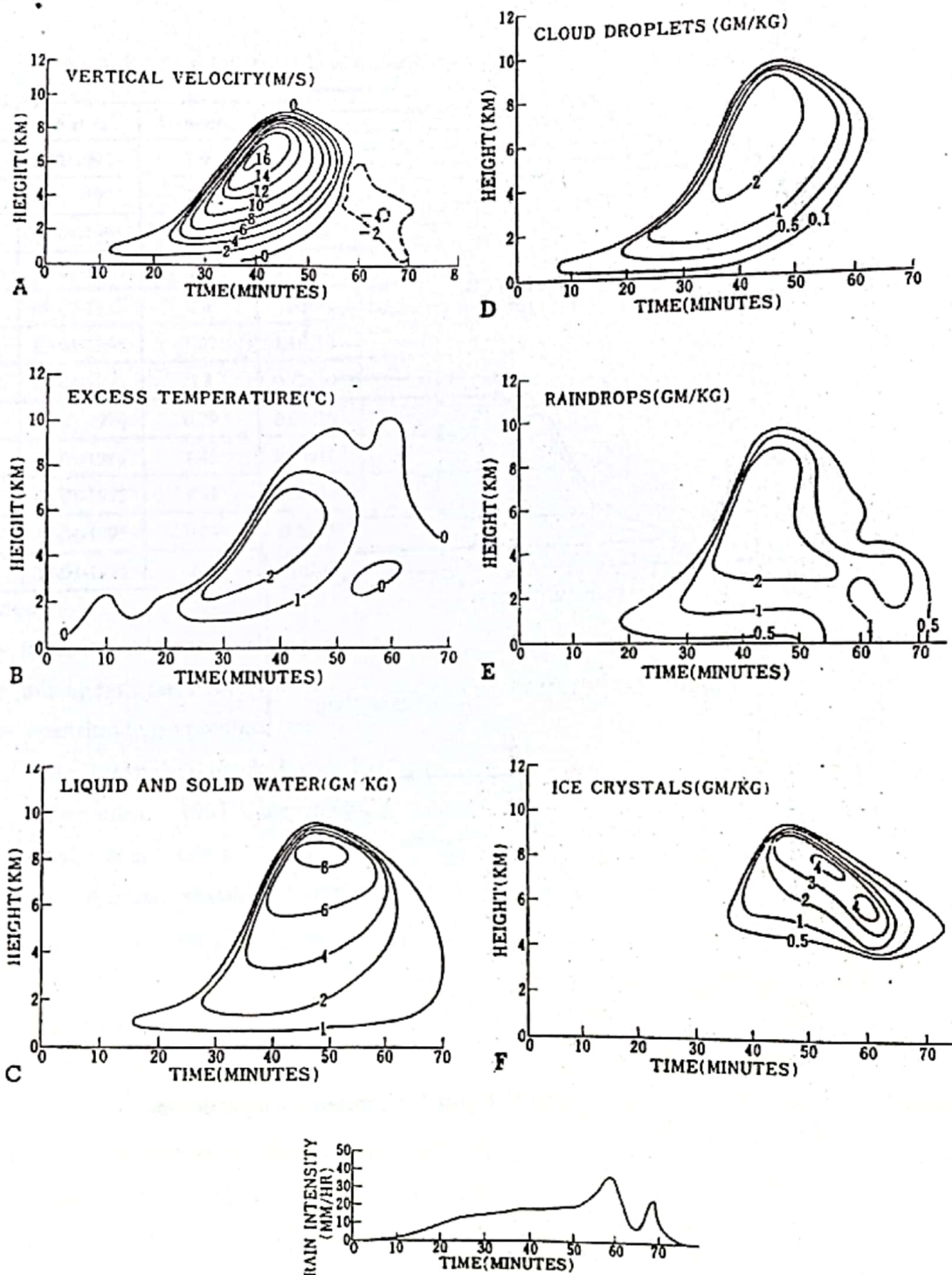
Meskipun model konveksi ini masih sangat sederhana, karena hanya melibatkan beberapa proses mikrofisik dan juga dengan dimensi yang terbatas (satu setengah), namun model ini dapat memberikan alternatif metoda prediksi hujan, pada lokasi yang dilengkapi pengamatan radiosonde dan tanpa pengamatan kecepatan vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Juaeni, I; 1996a. *Simulasi Numerik konveksi Termal dan Konveksi Awan Cumulus*. Majalah LAPAN no. 76.
2. Juaeni, I; 1996b. *Perkembangan dan Stratifikasi Awan Konveksi di Bandung, serpong dan Biak Dengan Menggunakan Model Konveksi Dimensi satu*. Warta LAPAN No. 49.
3. Ogura, Y dan T. Takahashi; 1971. *Numerical Simulation of the Life Cycle of a Thunderstorm Cell*. Monthly Weather Review.



Gambar 1: Penyelesaian persamaan konveksi Y. Ogura (Persamaan a sampai dengan e)
(Sumber: Ogura, 1971)



Gambar 2. Penyelesaian persamaan konveksi Y. Ogura (Persamaan a sampai dengan f) dan intensitas curah hujan prediksi (Sumber: Ogura, 1971)

Tabel 3-1: HASIL SIMULASI DARI MODEL KONVEKSI DIMENSI 1 (SATU) DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATUR 2° C DARI KETINGGIAN PERMUKAAN SAMPAI KETINGGIAN 500 M UNTUK BANDUNG.

Tgl	Tinggi Dasar Awan (m)	W Maksimum (m/det)	W Minimum (m/det)	Qc Maksimum (g/kg)	Qc Minimum (g/kg)
03	100	2.81	-2.04	0.02	0.00
05	1125	1.98	-3.15	0.28	0.00
25	-	1.88	-2.71	0.00	0.00
26	125	1.75	-3.43	0.09	0.00

Tabel 3-2: HASIL SIMULASI DARI MODEL KONVEKSI DIMENSI 1 (SATU) DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATUR 2° C DARI KETINGGIAN PERMUKAAN SAMPAI KETINGGIAN 1000 M UNTUK BANDUNG.

Tgl	Tinggi Dasar Awan (m)	W Maksimum (m/det)	W Minimum (m/det)	Qc Maksimum (g/kg)	Qc Minimum (g/kg)
03	1800	4.32	-2.18	4.64	0.00
05	1250	6.62	-1.72	0.41	0.00
25	1400	2.91	-2.33	0.23	0.00
26	1750	4.87	-1.96	3.57	0.00

Tabel 3-3: HASIL SIMULASI DARI MODEL KONVEKSI DIMENSI 1 (SATU) DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATUR 2° C DARI KETINGGIAN PERMUKAAN SAMPAI KETINGGIAN 500 M UNTUK KOTA SERPONG.

Tgl	Tinggi Dasar Awan (m)	W Maksimum (m/det)	W Minimum (m/det)	Qc Maksimum (g/kg)	Qc Minimum (g/kg)
05	250	4.01	-0.01	1.42	0.00
10	500	2.74	-1.00	1.86	0.00
14	800	10.28	-0.01	4.25	0.00

Tabel 3-4: HASIL SIMULASI DARI MODEL KONVEKSI DIMENSI 1 (SATU) DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATUR 2° C DARI KETINGGIAN PERMUKAAN SAMPAI KETINGGIAN 1000 M UNTUK KOTA SERPONG.

Waktu	Tinggi Dasar Awan (m)	W Maksimum (m/det)	W Minimum (m/det)	Qc Maksimum (g/kg)	Qc Minimum (g/kg)
08	300	4.48	-0.01	1.44	0.00
10	500	3.55	-1.11	1.67	0.00
14	800	10.19	-0.01	3.95	0.00

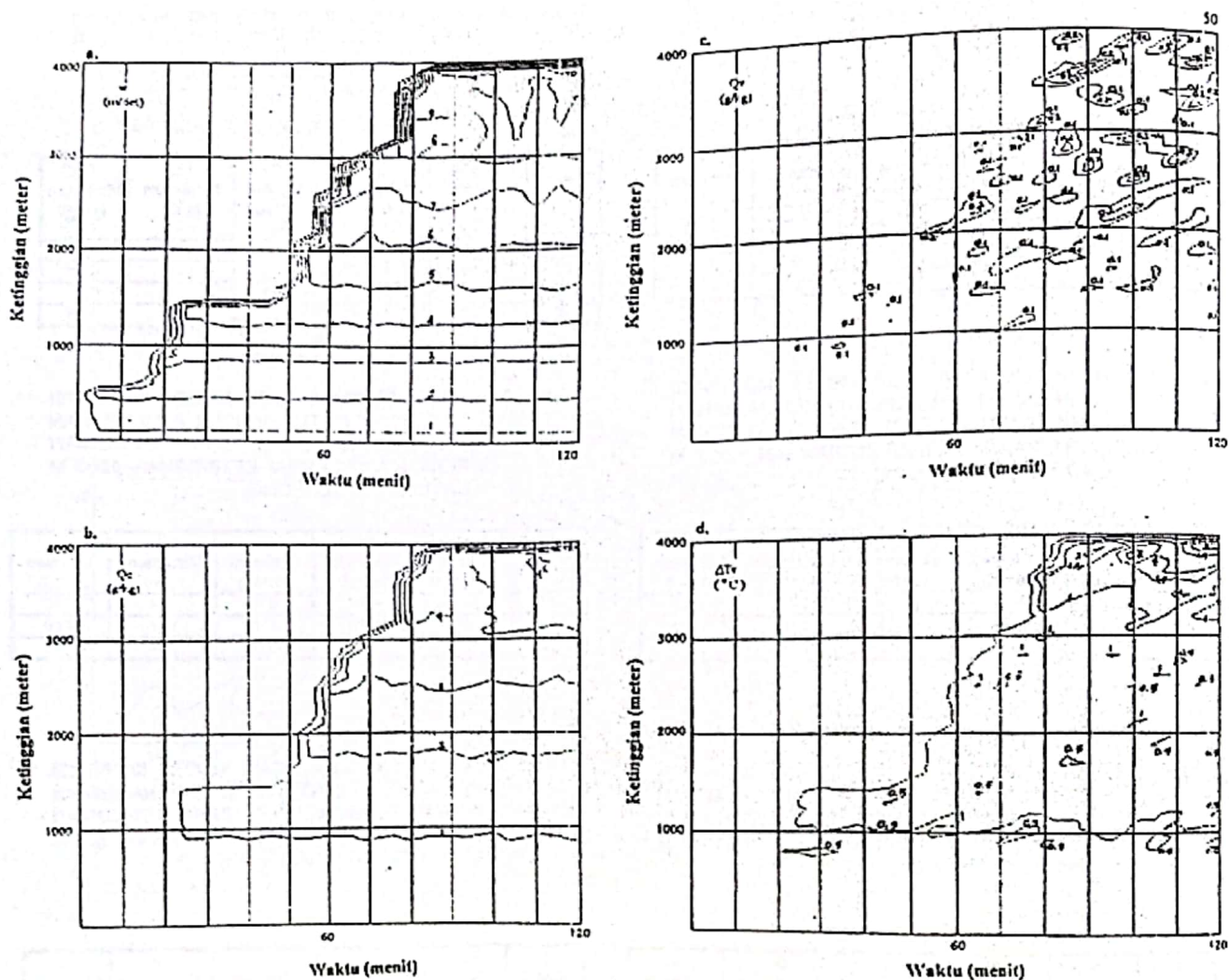
Tabel 3-6: HASIL SIMULASI DARI MODEL KONVEKSI DIMENSI 1 (SATU) DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATUR 2° C DARI KETINGGIAN PERMUKAAN SAMPAI KETINGGIAN 1000 M UNTUK KOTA BIAK.

Waktu	Tinggi Dasar Awan (m)	W Maksimum (m/det)	W Minimum (m/det)	Qc Maksimum (g/kg)	Qc Minimum (g/kg)
02	1250	15.59	0.00	5.86	0.00
10	1000	3.23	-0.91	2.91	0.00
31	750	14.66	0.00	6.05	0.00

Tabel 3-5: HASIL SIMULASI DARI MODEL KONVEKSI DIMENSI 1 (SATU) DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATUR 2° C DARI KETINGGIAN PERMUKAAN SAMPAI KETINGGIAN 500 M UNTUK KOTA BIAK.

Waktu	Tinggi Dasar Awan (m)	W Maksimum (m/det)	W Minimum (m/det)	Qc Maksimum (g/kg)	Qc Minimum (g/kg)
02	1250	15.59	0.00	5.86	0.00
10	1000	3.23	-0.91	2.91	0.00
31	750	14.66	0.00	6.05	0.00

Gambar 3. Hasil penyelesaian persamaan konveksi LAPAN (Persamaan a sampai dengan e) untuk Bandung, Serpong dan Biak. (Sumber: Ina Juani, 1996b)



Gambar 4 : Penyelesaian persamaan konveksi LAPAN (persamaan a s/d e) untuk Biak (1 Desember 1993)
 (Sumber: Ina Juani, 1996a)