

DETEKSI POTENSI GERAK VERTIKAL ATMOSFER DI ATAS WILAYAH BANDUNG DAN SEKITARNYA

Enderwin

Sub Bidang Cuaca Ekstrim BMKG

ABSTRAK

Pada penelitian ini deteksi potensi gerak vertikal atmosfer di atas wilayah Bandung dan sekitarnya telah dicoba dilakukan. Upaya untuk mendeteksi potensi keberadaannya dilakukan dengan memanfaatkan terdapatnya konvergensi atau pengaruh kondisi orografi yang menjadi salah satu sebab dari timbulnya gerak vertikal tersebut. Melalui upaya interpolasi data angin pada arah horisontal (2D) di beberapa ketinggian yang berbeda untuk 9 waktu pengamatan pada bulan Oktober 2003, dilakukan analisis hodograf untuk menentukan indikasi kemampuan olahan data angin dalam mendeteksi potensi gerak vertikal, analisis divergensi untuk mengetahui terdapatnya konvergensi serta analisis vortisitas relatif untuk mengetahui terdapatnya pengaruh kondisi orografi. Setelah melalui analisis hodograph, hasil dari analisis divergensi dan vortisitas relatif selanjutnya dibandingkan dengan kondisi awan yang terjadi yang ditunjukkan oleh data MT-SAT kanal inframerah sebagai representasi akibat adanya gerak vertikal. Berdasarkan perbandingan kedua analisis tersebut menunjukkan bahwa analisis vortisitas relatif dapat mendeteksi adanya potensi gerak vertikal di atas wilayah penelitian dengan cukup signifikan sedangkan analisis divergensi sebaliknya. Hal tersebut menunjukkan bahwa gerak vertikal yang terjadi lebih didominasi oleh pengaruh kondisi orografi. Tingkat korelasi rata-rata deteksi potensi gerak vertikal yang diperoleh melalui analisis vortisitas relatif adalah 64 % dan hal tersebut sekaligus juga menunjukkan bahwa olahan data angin yang digunakan dapat berfungsi dengan cukup baik.

Kata kunci : gerak vertikal, hodograf, divergensi, vortisitas relatif

ABSTRACT

An attempt to detection the atmosphere vertical motion potency on Bandung and its around as the investigation area has been carried out. The investigation was done by utilize the convergence or orographic influences that caused the vertical motion. The wind data in regular points was found by horizontal interpolation of wind observation that observed in some places for 9 observation time in October 2003 as the first step and then was done the hodograph analysis to determine the ability of horizontal interpolation result to detection vertical motion potency, divergence analysis to detection the convergence and relative vorticity analysis analisis to detection the orographic influences. Base on the comparing of divergence and relative vorticity analysis with the MT-SAT data, they show the relative vorticity analysis can detect vertical motion potency on investigation area with significantly result whereas the divergence analysis is the opposite. This results give indication that the vertical motion on the investigation area more dominated by orographic influences as the main cause. Finally, the mean accuracy of detection vertical motion potency by relative vorticity analysis is 64 % and this result also show that the wind data in regular points by interpolation can be used well.

Key words: vertical motion, hodograph, divergence, relative vorticity

Naskah masuk : 24 Maret 2010

Naskah diterima : 20 Juni 2010

I. PENDAHULUAN

Pada pelaksanaan penerapan teknologi modifikasi cuaca (hujan buatan) di Indonesia terdapat peranan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di dalamnya. Salah satu peranan BMKG tersebut yang paling utama adalah melakukan analisis kondisi cuaca di wilayah dimana hujan buatan dilaksanakan termasuk dalam hal ini diantaranya adalah wilayah Bandung dan sekitarnya yang menjadi wilayah penelitian pada kesempatan ini (gambar 1).

Kendala utama yang sering dihadapi di lapangan dalam upaya menganalisa kondisi cuaca tersebut adalah terdapatnya keterbatasan dukungan data parameter cuaca baik jenis maupun tingkat kerapatannya terutama yang bersifat lokal atau yang berasal dari pengamatan langsung di dalam dan di sekitar wilayah penelitian. Disamping itu adanya tuntutan akan peningkatan kecepatan serta ketepatan dalam melakukan analisis juga menjadi hal yang harus senantiasa diupayakan untuk dapat dipenuhi. Oleh karenanya upaya untuk meningkatkan kualitas analisis atau paling tidak upaya optimalisasi pemanfaatan data yang ada merupakan suatu langkah yang harus dilakukan.

Salah satu upaya untuk mengatasi kendala serta upaya untuk memenuhi tuntutan tersebut, pada penelitian ini akan diupayakan adanya peningkatan serta optimalisasi pemanfaatan data parameter cuaca yang tersedia di lapangan, meskipun tingkat kerapatannya masih kurang dan hanya terdiri dari 1 jenis data parameter cuaca yakni data arah dan laju angin hasil dari pengamatan pilot balon (pibal) di beberapa titik⁴.

Optimalisasi pemanfaatan data dalam penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa langkah proses pengolahan serta analisis diantaranya melalui proses interpolasi guna meningkatkan kerapatan data¹⁰, proses analisis hodograf guna mengetahui indikasi kemampuan data hasil

interpolasi dalam mendeteksi potensi gerak vertikal³, proses analisis divergensi guna mengetahui terdapatnya konvergensi dan proses analisis vortisitas relatif guna mengetahui adanya pengaruh kondisi orografi. Dimana pada akhirnya kombinasi dari seluruh langkah dan proses analisis tersebut dapat digunakan dalam upaya mendeteksi adanya potensi gerak vertikal.

Selanjutnya adanya informasi mengenai potensi gerak vertikal tersebut tentunya sangat berguna bagi pelaksanaan hujan buatan mengingat berdasarkan informasi tersebut dapat diketahui atau ditentukan terdapatnya lokasi dengan potensi pertumbuhan awan. Hal ini dikarenakan adanya potensi gerak vertikal berkaitan langsung dengan keberadaan gerak vertikal dimana gerak vertikal tersebut mempunyai peranan penting dalam mempengaruhi terbentuknya awan, hujan maupun kondisi cuaca cerah¹².

II. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk :

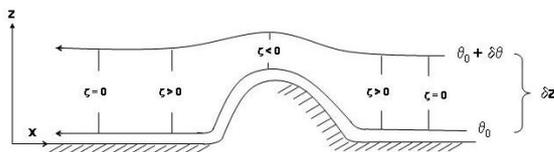
1. Mengidentifikasi pola arah dan kecepatan angin yang terjadi di atas wilayah penelitian
2. Mengidentifikasi kemampuan olahan data angin dalam mendeteksi terdapatnya potensi gerak vertikal
3. Mengidentifikasi terdapatnya potensi gerak vertikal di atas wilayah penelitian
4. Menganalisa tingkat akurasi hasil identifikasi potensi gerak vertikal dengan membandingkannya dengan data MT-SAT kanal infra merah (IR1)

III. BATASAN PENELITIAN

Beberapa batasan yang terdapat dalam penelitian ini, diantaranya :

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data arah dan laju angin di beberapa lapisan/ketinggian atmosfer dan data MT-SAT kanal infra merah (IR1)
2. Lapisan/ketinggian atmosfer yang dipertimbangkan adalah 5000, 6000, 7000,8000 dan 9000 kaki

Vortisitas sendiri merupakan suatu medan vektor yang didefinisikan sebagai curl dari kecepatan yang merupakan ukuran mikro dari perputaran pada setiap titik dalam fluida. Secara matematis vortisitas dapat dinyatakan sebagai curl dari kecepatan relatif untuk vortisitas relatif dan curl dari kecepatan absolut untuk vortisitas absolut⁵. Di dalam meteorologi dinamik yang menjadi perhatian utama dari vortisitas ini pada umumnya adalah bagian atau komponen vertikalnya. Oleh karenanya dengan mengetahui komponen vertikal ini akhirnya dapat diketahui adanya kemungkinan berubahnya ukuran kolom udara udara secara vertikal baik arah ke atas atau ke bawah yang dinyatakan dengan tanda positif atau negatif untuk arah gerakannya¹¹.

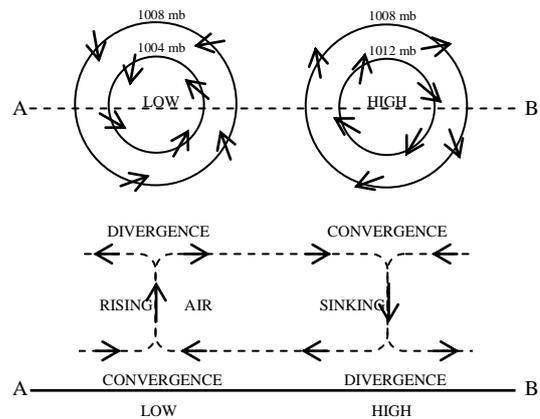


Gambar 3. Gambar skematis dari aliran udara yang melalui halangan topografi (sumber : Holton, 1992).

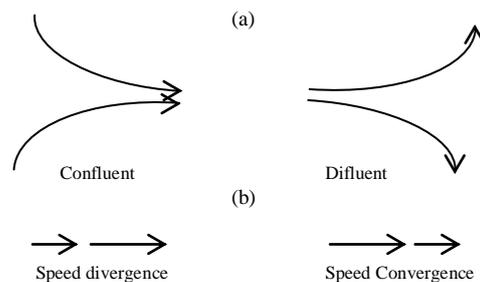
Terdapatnya konvergensi atau divergensi aliran massa udara dimana proses ini juga dapat menyebabkan timbulnya gerak vertikal¹². Penjelasan mengenai hal tersebut secara skematis ditunjukkan pada gambar 4. Dari gambar 4 tersebut tampak bahwa di daerah yang bertekanan rendah pada belahan bumi utara, aliran udara di lapisan batas (*boundary layer*) yakni lapisan bagian bawah troposphere dimana masih terdapat proses pencampuran dan gesekan antara udara dan permukaan daratan atau air, tidak hanya siklonik namun juga agak mengarah ke pusat tekanan. Adapun sebaliknya di daerah bertekanan tinggi aliran udaranya tidak hanya antisiklonik namun juga agak mengarah keluar dari pusat tekanan.

Terdapatnya konvergensi dan divergensi juga dapat diketahui melalui pola aliran udara yang digambarkan melalui streamline yang merupakan garis singgung

(*tangent*) vektor kecepatan angin seperti ditunjukkan pada gambar 5 (a). Jika arah streamline saling mendekat, gerakan disebut *confluent* dan akan menghasilkan konvergensi, adapun sebaliknya jika saling menjauh gerakan disebut *difluent* dan akan menghasilkan divergensi. Demikian pula jika ditinjau dari pola laju (*speed*) dari angin, dimana konvergensi dan divergensi dapat dihasilkan dari perubahan laju angin (*wind speed*) yang disebut laju konvergensi atau laju divergensi (gambar 5 (b)).



Gambar 4. Tinjauan secara horisontal dan vertikal di belahan bumi utara dari pola aliran udara di sekitar daerah tekanan rendah dan tinggi dimana terdapat konvergensi dan divergensi (sumber :Trewartha & Horn, 1980)



Gambar 5. Pola streamline yang memungkinkan terdapatnya konvergensi atau divergensi (sumber : Trewartha & Horn, 1980)

V. METODE

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam melakukan upaya deteksi potensi gerak vertikal ini. Di dalam tahap

interpolasi data di seluruh wilayah penelitian digunakan metode Kriging yang mempunyai spesifikasi sebagai Best Linier Unbiased Estimation (BLUE). Dengan memanfaatkan metode Kriging ini jumlah data dilipatgandakan dan posisi data dibuat lebih beraturan (2). Bentuk persamaan dari metode Kriging ini adalah sbb:

$$f(x, y) = \sum_{n=1}^r W_n f_n \quad (5.1)$$

dimana $f(x, y)$ = nilai baru
 f_n = nilai awal ke-n
 W_n = faktor bobot ke-n

Di dalam tahap pendeteksian potensi gerak vertikal digunakan 2 metode yakni metode dengan memanfaatkan penentuan nilai vortisitas relatif yang selanjutnya akan diterapkan pada bentuk koordinat isentropic dari vortisitas potensial Ertel dan metode dengan memanfaatkan penentuan nilai konvergensi atau divergensi dari titik-titik yang terdapat di dalam wilayah penelitian. Mengingat di dalam meteorologi dinamik yang menjadi perhatian utama dari vortisitas ini pada umumnya adalah bagian atau komponen vertikal dari vortisitas relatif, maka selanjutnya komponen ini yang akan ditentukan nilainya.

Selanjutnya penentuan nilai vortisitas relatif ini dapat diperoleh dengan memanfaatkan persamaan berikut yang dinyatakan sebagai sirkulasi di sekeliling area per satuan luas :

$$\begin{aligned} dC_{dxdy} &= udx + \left(v + \frac{\partial v}{\partial x} dx \right) dy - \left(u + \frac{\partial u}{\partial y} dy \right) dx - vdy \\ &= \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx dy = \zeta dx dy \\ &= \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \zeta \end{aligned} \quad (5.2)$$

dimana ∂u dan ∂v merupakan perubahan dari komponen angin arah horisontal, dan u

adalah untuk arah timur-barat sedangkan v untuk arah utara-selatan sedangkan w adalah komponen angin untuk arah vertikal.

Adapun persamaan vortisitas potensial Ertel yang digunakan dalam upaya pendeteksian potensi gerak vertikal ini dapat dituliskan sbb :

$$P \equiv (\zeta_\theta + f) \left(-g \frac{\partial \theta}{\partial p} \right) = \text{konstan} \quad (5.3)$$

dimana ζ_θ menunjukkan komponen vertikal dari vortisitas relatif pada permukaan isentropic, $f = 2\Omega \sin \phi$ merupakan parameter coriolis, g merupakan percepatan gravitasi, $\partial \theta$ merupakan perubahan suhu potensial dan ∂p merupakan perubahan tekanan udara.

Untuk penentuan nilai konvergensi dan divergensi dari aliran massa udara di atas wilayah penelitian, digunakan persamaan berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \quad (5.4)$$

merupakan bentuk dari divergensi massa dari persamaan kontinuitas, yang menyatakan bahwa laju perubahan kerapatan sama dengan minus divergensi massa. Dengan asumsi bahwa fluida incompressible dimana tidak terdapat perubahan densitas terhadap waktu ($\partial \rho / \partial t = 0$), selanjutnya persamaan (5.4) dapat ditulis menjadi :

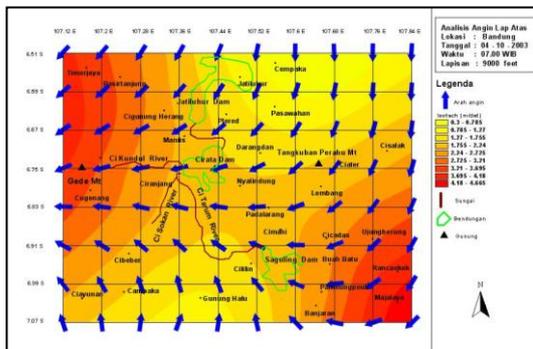
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5.5)$$

Disamping seluruh metode di atas juga digunakan metode hodograph untuk membantu mendeteksi terdapatnya potensi gerak vertikal secara lebih dini. Hasil dari analisis hodograph ini digunakan untuk menunjukkan indikasi ke arah terdapat atau tidaknya potensi gerak vertikal melalui informasi instabilitas yang dihasilkan⁶.

Hodograf sendiri merupakan gambaran dari vektor angin yang terjadi di setiap ketinggian (lapisan) atau gambaran dari vektor angin secara vertikal³.

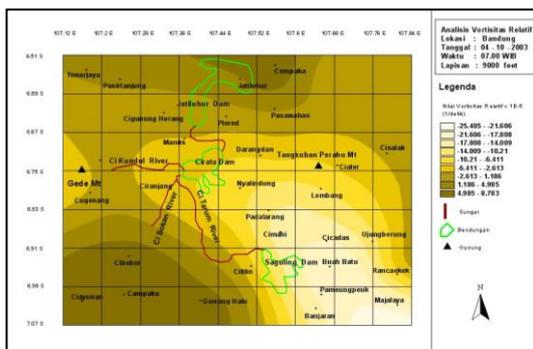
VI. HASIL

Hasil yang diperoleh dari seluruh rangkaian proses pengolahan data angin adalah berupa data baru yang lebih lengkap untuk setiap lapisan (level) yang meliputi seluruh wilayah penelitian. Salah satu contoh hasil data pengolahan angin tersebut dalam bentuk gambar ditunjukkan dalam gambar 6.



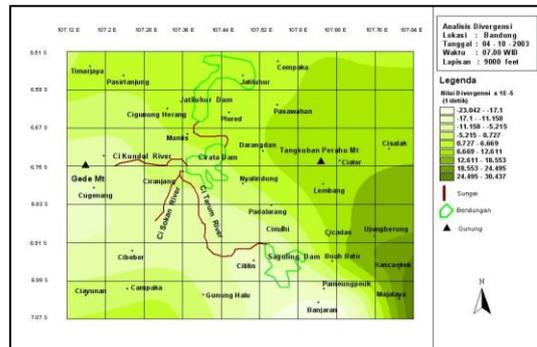
Gambar 6. Data model angin hasil dari pengolahan data angin hasil observasi

Hasil pengolahan data angin di atas selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai vortisitas relatif di seluruh wilayah pada setiap lapisan. Nilai yang diperoleh akan digunakan sebagai indikator ada atau tidaknya potensi gerak vertikal di wilayah penelitian. Hasil penentuan nilai vortisitas relatif ini ditunjukkan dalam gambar 7.



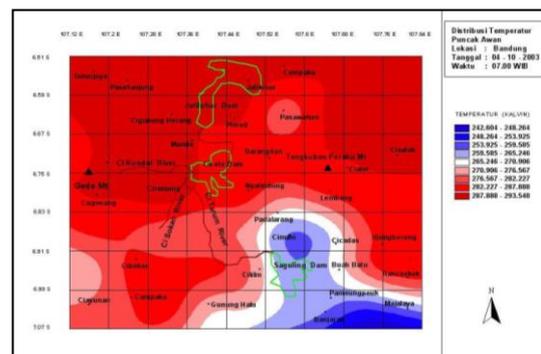
Gambar 7. Nilai vortisitas relatif di atas wilayah penelitian

Disamping penentuan nilai vortisitas di atas juga ditentukan nilai divergensi atau konvergensi di seluruh wilayah penelitian di setiap lapisan. Hasil yang diperoleh, salah satunya ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Nilai divergensi di atas wilayah penelitian

Sebagai pembanding dari indikasi terdapatnya gerak vertikal ke atas adalah data citra satelit digital. Penggunaan citra satelit ini didasarkan pada asumsi bahwa adanya awan-awan yang terbentuk merupakan dampak dari terdapatnya gerak vertikal di wilayah tersebut. Bentuk dari data citra satelit yang digunakan sebagai pembanding tersebut ditunjukkan pada gambar 9.

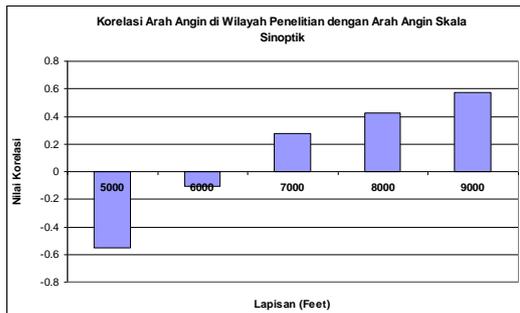


Gambar 9. Data citra satelit

VII. PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis dari seluruh data angin di setiap lapisan yang diperoleh melalui interpolasi, pada akhirnya dapat diketahui bahwa kondisi angin yang menunjukkan adanya aliran massa udara di seluruh wilayah penelitian pada umumnya

bergerak dari arah timur ke barat. Aliran massa udara ini mengalami hambatan akibat kondisi orografi dan bagian yang mendapatkan hambatan terbesar adalah bagian atau lapisan yang paling bawah. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 10 yang menggambarkan perubahan nilai korelasi dari arah angin real dengan angin hasil olahan.



Gambar 10. Nilai korelasi arah angin real dan hasil olahan (model) di setiap lapisan

Analisis hodograph yang digunakan dalam penelitian ini digunakan untuk mendeteksi indikasi adanya instabilitas dari seluruh lapisan atmosfer⁸ di atas wilayah penelitian. Berdasarkan analisis ini selanjutnya dapat ditentukan apakah data model angin yang dihasilkan dapat terus digunakan untuk mendeteksi potensi gerak vertikal atau tidak. Sehingga analisis ini pada akhirnya dapat digunakan sebagai filter data. Seperti ditunjukkan pada tabel

1, tampak bahwa tidak seluruh observasi menunjukkan indikasi adanya instabilitas namun hanya terdapat pada 3 waktu pengamatan saja yakni pada pengamatan no. 1, 2 dan 9

Meskipun analisis hodograph mengindikasikan instabilitas hanya pada 3 waktu pengamatan, namun dalam melakukan analisis vortisitas seluruh data model angin tetap dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan data vortisitas relatif yang telah diperoleh dengan datatemperatur puncak awan dan ditentukan tingkat korelasi antara kedua jenis data tersebut. Hasil lengkap dari nilai korelasi ini ditunjukkan pada tabel 2.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa tidak seluruh waktu pengamatan di seluruh lapisan menunjukkan hasil korelasi yang baik namun hanya pada waktu pengamatan di no 1, 2 dan 9 pada lapisan yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil ini pada akhirnya dapat diketahui bahwa analisis hodograf yang sebelumnya telah dilakukan telah dapat memberikan indikasi akan adanya instabilitas di atmosfer dan analisis vortisitas relatif dapat digunakan untuk mendeteksi potensi gerak vertikal terutama dalam nilai korelasi yang signifikan.

Tabel 1. Hasil analisis Hodograf

No	Tanggal Pengamatan	Potensi Instabilitas	Lapisan dengan $\partial v/\partial z$ tertinggi pada setiap pola siklonik
1	3 Oktober 2003	ya	7000 feet
2	4 Oktober 2003	ya	9000 feet
3	20 Oktober 2003	tidak	-
4	21 Oktober 2003	tidak	-
5	24 Oktober 2003	tidak	-
6	24 Oktober 2003	tidak	-
7	25 Oktober 2003	tidak	-
8	27 Oktober 2003	tidak	-
9	28 Oktober 2003	ya	6000 feet

Tabel 2. Nilai korelasi antara vortisitas dan temperatur puncak awan

No	Tanggal Pengamatan	correlation level of relative vorticity				
		5000 ft	6000 ft	7000 ft	8000 ft	9000 ft
1	3 Oktober 2003	0.07	0.43	0.58	0.222	0.47
2	4 Oktober 2003	-0.08	0.41	0.45	0.54	0.61
3	20 Oktober 2003	0.36	0.35	0.32	0.42	0.44
4	21 Oktober 2003	-0.29	-0.29	-0.33	-0.3	-0.27
5	24 Oktober 2003	0.08	0.08	-0.07	0.03	0.04
6	24 Oktober 2003	-0.33	-0.19	-0.06	-0.1	0.21
7	25 Oktober 2003	0.19	-0.14	-0.18	0.05	0.09
8	27 Oktober 2003	0.48	-0.09	0.3	0.41	0.38
9	28 Oktober 2003	0.42	0.72	0.63	0.58	0.41

Selanjutnya untuk analisis divergensi, setelah dibandingkan dengan nilai temperatur puncak awan dan ditentukan nilai korelasi antara keduanya pada akhirnya diperoleh nilai seperti ditunjukkan dalam tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa hanya terdapat 2 waktu analisis pada no 2 dan 7 yang mempunyai nilai korelasi yang baik. Hasil ini tentunya berbeda dengan nilai korelasi sebelumnya.

Dari perbedaan hasil ini (tabel 2 dan 3), pada akhirnya harus ditentukan salah satu dari keduanya yang lebih baik atau yang paling mungkin untuk diterapkan di lapangan. Berdasarkan kondisi fisisnya dapat diketahui bahwa ternyata terdapat inkonsistensi dari hasil analisis divergensi terhadap hasil dari analisis hodograph³ serta kondisi real temperature puncak awan atau ketinggian awan. Dalam hal ini inkonsistensi tersebut tidak terdapat dalam hasil analisis vortisitas relatif. Perbandingan dari hasil atau kemampuan kedua jenis analisis ini yakni divergensi dan vortisitas relatif dalam upaya untuk mendeteksi potensi gerak vertikal ditunjukkan pada tabel 4.

Dari perbandingan kedua analisis tersebut dapat diketahui adanya dominasi dari

analisis dari vortisitas relatif dalam mendeteksi potensi gerak vertikal. Hal ini menunjukkan bahwa analisis tersebut lebih dapat digunakan dalam mendeteksi potensi gerak vertikal di atas wilayah penelitian mengingat hasil yang diperoleh jauh lebih baik. Dengan demikian dapat diketahui juga adanya peranan dari kondisi orografi terhadap adanya potensi gerak vertikal ini mengingat terdapat banyak pegunungan di dalam wilayah penelitian. Dan pada akhirnya dapat disimpulkan juga bahwa potensi gerak vertikal yang terjadi di atas wilayah penelitian ini lebih didominasi oleh pengaruh orografi.

VIII. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini :

- Olahan data angin dengan menggunakan metode Kriging dapat digunakan untuk mengetahui kondisi angin dan deteksi potensi gerak vertikal atmosfer di atas wilayah penelitian.
- Deteksi terdapatnya potensi gerak vertikal udara di atas wilayah penelitian melalui analisis vortisitas

- relatif jauh lebih baik dibandingkan dengan melalui analisis nilai divergensi
- Gerak vertikal yang terjadi di atas wilayah penelitian lebih didominasi oleh pengaruh orografi
 - Tingkat akurasi rata-rata yang dapat diperoleh dari upaya deteksi potensi gerak vertikal melalui penentuan nilai vortisitas relatif adalah 64 %

Tabel 3. Nilai korelasi antara divergensi dan temperature puncak awan

No	Tanggal Pengamatan	Correlation Level of Divergence				
		5000 ft	6000 ft	7000 ft	8000 ft	9000 ft
1	3 Oktober 2003	0.01	0.08	-0.12	-0.13	-0.2
2	4 Oktober 2003	0.64	-0.21	-0.07	-0.3	-0.18
3	20 Oktober 2003	-0.13	0.35	0.32	0.42	0.44
4	21 Oktober 2003	0.03	-0.14	-0.04	-0.42	-0.07
5	24 Oktober 2003	-0.01	-0.04	0.04	0.05	-0.03
6	24 Oktober 2003	0.21	0.42	0.31	0.09	0.41
7	25 Oktober 2003	0.66	0.58	0.32	0.58	0.12
8	27 Oktober 2003	-0.31	-0.35	0.34	0.15	0.03
9	28 Oktober 2003	-0.37	-0.21	-0.24	-0.57	-0.34

Tabel 4. Perbandingan dari hasil analisis vortisitas relatif dan konvergensi

No	Hal	Analisis Vortisitas Relatif	Analisis Divergensi
1	Adanya korelasi terhadap hodograf	ya	tidak
2	Adanya korelasi terhadap puncak awan	ya	tidak
3	Kemampuan mendeteksi potensi gerak verikal	baik	kurang
4	Persentase korelasi ≥ 0	69 %	51 %
5	Persentase korelasi signifikan	18 %	9 %
6	Jumlah nilai korelasi	8.05	2.16
7	Tingkat akurasi dalam mendeteksi potensi gerak vertikal	64 %	-

IX. DAFTAR PUSTAKA

- ¹Bayong, T.H.K (2004), *Klimatologi*, Penerbit ITB, Bandung, 348p
- ²Danny Dorsel and Timothy La Breche (1997), *Kriging, Environmental Sampling and Monitoring Primer*, Virginia
- ³Doswel III, C, A (1991), *A Review For Forecaster On The Application Of Hodograph To Forecasting Severe Thunderstorms*, National Weather Digest, Vol. 16 No. 1, 2 - 16
4. Eandarwin (2003), *Pemanfaatan Model Angin Sederhana Dalam Menunjang Pelaksanaan Penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca*, Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 4 No.1, 21-28
5. Harwood, R. S (1981), *Dynamical Meteorology An Intoductory Selection : Atmospheric Vorticity and Divergence*, University of Edinburgh, Methuen London and NewYork, 33-54
6. Hess, S. L (1979), *Introduction to Theoretical Meteorology*, Krieger Publishing Company Malabar, Florida, 198-218
7. Holton, J. R (1992), *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Third Edition, Academic Press Inc, San Diego California
8. Laurent, H, Arai, N, Fomin, B, Machado, L. A, Gondim, L. A (2002), *Wind Extraction Using Satellite Image in CPTEC : New Version and Evaluation with WETAMC/LBA and Operational DSA/CPTEC data*, Brazilian Meteorological Congress IX - 2000 in Rio de Jeneiro, 3731 - 3739
9. Nielsen, J (2005), *Weather Observation and Analysis (ATMO 251)*, CourseText, Dept of Atmospheric Science, Texas A & M University
10. Pedder, M. A (1981), *Dynamical Meteorology An Intoductory Selection : Practical Analysis of Dynamical and Kinematic Structure for More Advanced Analysis Schemes*, University of Reading, Methuen London and NewYork, 87-99
11. Sudrajat, D.E (1990), *Prakiraan Medan Vortisitas Untuk Wilayah Indonesia dan Sekitarnya*, Karya Tulis, FMIPA Universitas Indonesia
12. Trewartha, G. T And Horn, L. H (1980), *An Introduction To Climate*, 5th edition, Mc Graw-Hill Company
13. Wilks, D. S (1995), *Statistical Methods in The Atmospheric Sciences*, Academic Press Inc
14. Wright, jr, J. M (1997), *Rawinsonde & Pibal Observation*, Federal Meteorological Handbook No.3, Washington DC