

# Prediksi Cuaca Secara Numerik Menggunakan Model Barotropik di atas Wilayah Indonesia dan Sekitarnya

Plato Martuani Siregar<sup>1</sup> dan Andhika Rahman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Meteorologi,  
Kelompok Sains Atmosfer,  
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

paltirajass@gmail.com

## Abstrak

*Uji coba prediksi numerik untuk keadaan cuaca di atas Indonesia dan sekitarnya menggunakan model Barotropik telah berhasil memprediksi 24-96 Jam kedepan. Data inisial yang digunakan adalah ketinggian geopotensial dari ECMWF(European Center for Medium Range Forecast) yang mencakup luas resolusi data spasial 0,125°. Hasil prediksi memperlihatkan bahwa pengaruh syarat batas menjadi tidak terlalu penting dalam pusat area prediksi (forecast 24 jam kedepan) dan telah sukses mendapat korelasi sebesar 0,87 antara prediksi geopotensial dan hasil pengamatan, sedangkan kesalahan relatif dari perubahan geopotensial adalah 0,58. Prediksi jangka pendek persamaan vortisitas menghasilkan keluaran yang dapat diubah menjadi upstream kecepatan angin, gradient tekanan dan medan curah hujan untuk langkah waktu 1 jam. Perolehan penting dari model adalah parameterisasi konveksi cumulus sebagai fungsi konvergensi kelembaban udara dan ada kopel kuat gerak udara naik dan medan angin melalui perhitungan tutupan awan. Pembentukan ini mendekati gambaran simulasi dari suatu vorteks.*

*Kata kunci: vortisitas, prediksi, geopotensial dan kelembaban udara*

## PENDAHULUAN

Komoditas perkebunan teh asal Jawa Barat ternyata sangat potensial. Terbukti kontribusi produksi teh Jawa Barat untuk tingkat nasional paling tinggi, yaitu mencapai 77%. Namun kondisi tersebut berbanding terbalik dengan lahan perkebunan teh yang setiap tahun menyusut sekitar 3.000 ha (Konversi lahan perkebunan teh menjadi lahan terbangun mengakibatkan penurunan produksi teh setiap tahunnya). Penurunan produksi ini diakibatkan selain perubahan iklim, tingkat konversi lahan, diversifikasi komoditas dan umur teh yang masih muda. Begitu juga yang terjadi di perkebunan teh di wilayah Kabupaten Bandung. Selain, tingkat konversi lahan menjadi pemukiman atau agrowisata, juga terjadi diversifikasi komoditas menjadi kelapa sawit. Hal ini diduga nilai ekonomis dari kelapa sawit yang lebih menguntungkan serta umur tanaman teh yang sudah tidak produktif, [1]. Tujuan penelitian ini adalah diperuntukkan pada wilayah perkebunan tanam teh yakni memperkirakan (forecast 5 hari kedepan) kejadian hujan untuk pelaksanaan pekerjaan misalnya rencana pemetikan pucuk teh yang rutin dilakukan untuk setiap 10 hari sekali atau jadwal pengeringan dll. Penerapan model barotropik atmosfer 2-level untuk wilayah Indonesia (12N-12S) dan (90BT-150BT) diharapkan dapat digunakan untuk forecast vortisitas atmosfer, lalu dengan ini dapat dilakukan penaksiran hari hujan 4 hari kedepan (seminggu hari kerja).

Atmosfer dinyatakan dalam 10 level vertikal dengan masing-masing tebal lapisan adalah 100 mb pada untuk jangkauan 1000-100 mb. Tekanan digunakan sebagai koordinat vertikal dan horizontal dipakai pada proyeksi peta stereograf. Keadaan atmosfer dicirikan dalam geopotensial di atas permukaan, dua komponen angin pada setiap level dan rasio campuran kelembaban untuk masing-masing tebal lapisan 100 mb di bawah 300 mb. Atmosfer dianggap menjadi kering di atas 300 mb dan tidak ada jarak dibuat antara es dan air di

bawah 300 mb. Asumsi lain atmosfer juga dianggap hidrostatis, lalu efek gesekan dan topografi diabaikan. Rasio campuran dipilih sebagai parameter untuk pernyataan kandungan uap air dan kontras dengan kelembaban spesifik yang digunakan untuk pernyataan kandungan uap air [2]. Pada umumnya model atmosfer dibangun berdasarkan hukum-hukum mekanika yakni persamaan momentum meridional/zonal bumi dan kontinuitas. Persamaan termodinamik dinyatakan sebagai kerja termal yang bertujuan untuk mendapatkan efek kondensasi dan evaporasi yang penting agar mengetahui apakah udara sudah jenuh atau tidak. Berikut ini adalah persamaan momentum untuk arah meridional dan zonal:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + m \left( U \frac{\partial u}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} \right) - f v = - \frac{m}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + m \left( U \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial v}{\partial y} \right) + f u = - \frac{m}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2)$$

Dimana  $m(\varphi = \text{lintang})$  merupakan faktor peta dan selanjutnya persamaan kontinuitas,  $u$  adalah kecepatan angin Timur-Barat (m/detik),  $v$  adalah kecepatan angin Utara-Selatan (m/detik), dan  $p$  adalah tekanan atmosfer (mbar).

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

Bentuk gerak persamaan (1) dan (2) mestilah merupakan gerak skala sinoptik yang sudah terproyeksikan dalam peta silinder mekator. Lakukan penurunan  $\frac{\partial}{\partial y}$  (1) dikurangi  $\frac{\partial}{\partial x}$  (2) akan diperoleh hasil penjumlahan tiga suku yaitu suku divergensi, kemiringan dan solenoid. Dengan pendekatan analisa gerak skala sinoptik, maka yang digunakan hanyalah bentuk divergensi untuk mendapatkan vortisitas mutlak Barotropik sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) + U \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) + V \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) - f \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (4)$$

Catatan bahwa definisi vortisitas relatif adalah  $\zeta = - \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$ , lalu besaran ini dimasukkan pada persamaan (4) di atas, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut,

$$- \frac{\partial \zeta}{\partial t} - U \frac{\partial \zeta}{\partial x} - V \frac{\partial \zeta}{\partial y} + f \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (5)$$

Dimana  $\zeta$  adalah vortisitas ( $10^{-7}$ /detik). Kalikan persamaan (5) dengan negatif dan diperoleh,

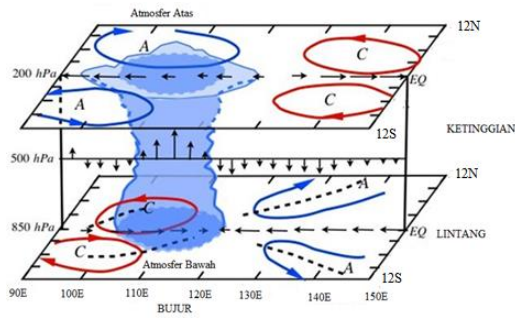
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + U \frac{\partial \zeta}{\partial x} + V \frac{\partial \zeta}{\partial y} - f \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (6)$$

Selama beberapa tahun pada area terbatas, *mesh* model prediksi halus telah terpakai hal yang khusus, beberapa diantaranya adalah: (a) model 10 lapisan [3], dimana telah merancang prediksi pergerakan frontal dan hujan; (b) model Krishnamurti [2,4], dimana telah menggunakannya untuk prediksi dan studi struktur gangguan lintang rendah dan bentuk skala meso dari badai lintang tengah; dan (c) model ujicoba Miller untuk prediksi sistem cuaca tropis meliputi pembentukan dan pergerakan *hurricane* [5,6]. Model ini telah digunakan untuk menganalisa energi dari awan rendah di troposfer atas di tropis untuk mempelajari efek induksi danau pada gangguan musim dingin dan untuk menganalisa gelombang-gelombang Afrika. Penerapan model area terbatas membuat masalah khusus pada batas lateral dari domain *forecast* dan penggunaan jarak grid kecil di periksa hanya dalam area dimana data relatif padat dalam lokasi khusus (prediksi titik dari lokasi lahan longsor akibat siklon tropis) tidak hanya perlu model *mesh* halus tetapi juga spesifikasinya lengkap berdasarkan fisika atmosfer.

## FORECAST GEOPOTENSIAL DAN POTENSIAL VORTISITAS

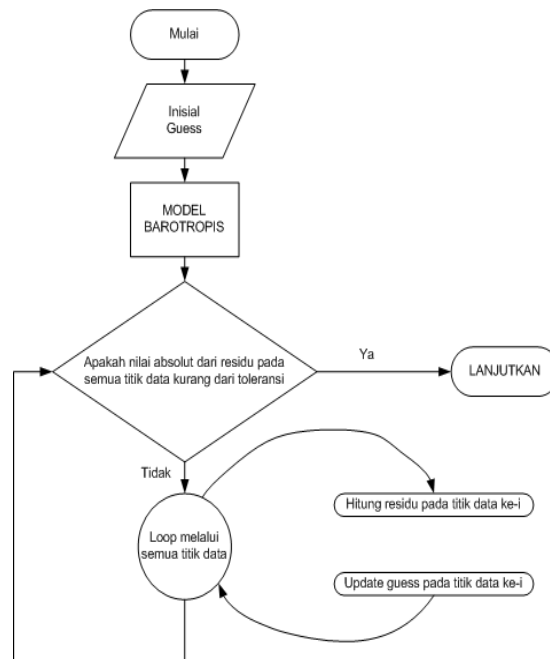
Data awal (initial/guess) terdiri dari ketinggian geopotensial pada 500 mb dan rasio campuran pada level tekanan standar (permukaan tanah) dan asumsi tidak ada lagi uap air ketinggian di atas 400 mb. Formula interpolasi sederhana digunakan yang penting adalah mendapatkan tinggi geopotensial setiap interval 100 mb

yang dimulai pada level 1000 mb hingga 100 mb dan rasio campuran pada level 950-350 mb. Medan angin awal dipilih yang tidak divergen untuk menghitung geopotensial 1-4 hari kedepan.



Gambar 1. Apresiasi model Barotropik untuk Wilayah Indonesia dan sekitarnya

Pada penelitian ini model dirancang untuk dua lapisan yaitu atmosfer level atas berada pada 500 mb dan level bawah berada pada 1000 mb lihat gambar 1 di atas. Dengan demikian model barotropik di apresiasikan sebagai aliran atas (*Upstream*) dimana akan terjadi proses-proses fisis hingga terdapat kejadian kondensasi uap air udara menjadi butiran awan atau hujan.



Gambar 2. Flowchart konseptual untuk *forecast* vortisitas dan hujan.

Pada diagram alir konseptual untuk *forecast* vortisitas memperlihatkan bahwa estimasi kuadrat terkecil alur keluaran model barotropik dikurangi dengan solusi eksak merupakan nilai residu sebagai pembatas apakah komputasi berlanjut atau pembaharuan data, lihat gambar 2. Persamaan vortisitas didorong oleh anggapan bahwa aliran akan mengalami rotasi secara berangsur, cairan encer, bawah datar, densitas tetap dan seimbang hidrostatik. Anggapan ini adalah biasanya untuk penghilangan kecepatan vertikal, juga variasi vertikal dari kecepatan horizontal. Lalu aliran dua dimensi dan tak divergen ditentukan oleh vortisitas yang tidak bergantung pada sumbu rotasi. Vortisitas yang tegak lurus terhadap kecepatan angin dan komponen vertikal dari vortisitas mengalami peregangan dan berpola kerucut yang dirumuskan sebagai:

$$\frac{D(\zeta + f)}{Dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \cdot \nabla \zeta = 0 \tag{7}$$

Menggunakan kondisi inkompresibel definisi fungsi arus adalah

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad u = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \text{dan} \quad \zeta = \nabla^2 \psi \tag{8}$$

Anggap bahwa vortisitas latar belakang pada bidang tangent diberikan oleh  $f=f_0+\beta y$ , maka persamaan vortisitas barotropis adalah

$$\frac{D(\zeta + f)}{Dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \cdot \nabla \zeta + \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \tag{9}$$

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \tag{10}$$

Fungsi arus dapat dihitung dari ketinggian geopotensial dengan pernyataan:

$$\psi = \frac{g}{f_0} \phi \tag{11}$$

Dimana  $\psi$  adalah fungsi arus dan  $\phi$  adalah ketinggian geopotensial (millibar). Integrasi barotropis menggunakan persamaan vortisitas barotropis tak divergen dengan langkah waktu satu jam dan menggunakan modifikasi metoda jejak akan dipakai untuk persamaan vortisitas [6,7],

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + U \frac{\partial \zeta}{\partial x} + V \frac{\partial \zeta}{\partial y} = R \tag{12}$$

Dimana R menyatakan suku sisa (residu) dalam persamaan vortisitas.

$$\zeta(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 A_{i,j} x^i y^j \tag{13}$$

Nilai di *Upstream* dari  $u, v, \zeta$  dan  $R$  diperoleh dengan interpolasi dari nilai variabel spesifik diatas grid regular. Skema interpolasi bikubik telah digunakan untuk eksperimen. Variabel R ditetapkan nol. Metoda bikubik terdiri dari *fitting* kurva titik grid 441 x 193 dengan nilai titik ditempatkan pada tengah kotak grid. Kerja untuk prediksi evolusi medan udara basah adalah mengikuti bentuk persamaan pengangkutan uap air.

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dq_s}{dt} + A_w \nabla^2 q + g \frac{\partial \sigma}{\partial p} \tag{14}$$

Dimana  $A_w$  adalah koefisien diffuse dan  $q$  adalah rasio campuran, (g/kg) didefinisikan dengan

$$q = \frac{\epsilon e}{p - e} \tag{15}$$

Dimana  $e$  adalah tekanan uap air dan  $\epsilon$  adalah rasio berat molekul uap air dengan berat molekul udara kering (=0.062197). Udara jenuh  $e_s$ , tekanan uap diatas transformasi cairan dan uap diatas  $e_s$  transformasi dan kemudian  $q_s$  adalah rasio campuran jenuh, (g/kg):

$$q_s = \frac{\epsilon e_s}{p - e_s} \tag{16}$$

Selama anggapan semua produk kondensasi jatuh dari sistem sebagai presipitasi  $P_r$  dapat ditafsir sebagai laju presipitasi,

$$P_r = \int - \frac{dq_s}{dt} dm \tag{17}$$

Dimana  $dm$  adalah perubahan massa air cair dan  $P_r$  adalah laju curah hujan, (mm/hari).

### PENDEKATAN ADVEKSI DAN VORTISITAS BAROTROPIK

Beberapa masalah terkait dengan integrasi persamaan primitif meteorologi dapat diuji dari suatu analisis persamaan sederhana yang sering digunakan untuk menganalisa prosedur komputasi sebagai berikut:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + U \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \tag{18}$$

Ini berarti  $F$  berpindah sepanjang  $x$  dengan laju  $c$  yang akan memiliki solusi eksak adalah:

$$\zeta = A \cos k(x - Ut) \tag{19}$$

Integrasi persamaan barotropik tidak divergen dengan langkah waktu enam jam telah dilakukan menggunakan modifikasi yang diajukan [8,9,10].  $\zeta$  menyatakan vortisitas mutlak dan  $R$  adalah residu. Disini

akan dilakukan mirip prosedur Sawyer untuk persamaan vortisitas (12) akan memiliki solusi eksak sebagai berikut,

$$\zeta(x, y, t) = A \cos (kx + ly - \omega t) \tag{20}$$

Dimana k dan l adalah bilangan gelombang untuk arah x dan l, sedangkan  $\omega$  adalah frekuensi sudut.

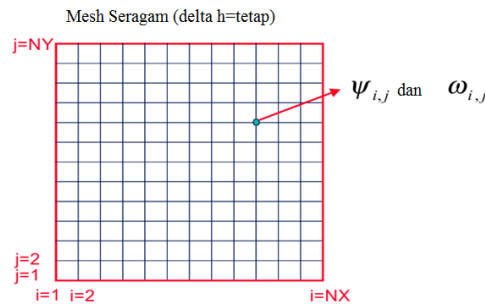
Ada dua skema dasar yakni *forward difference scheme* (FTBS) dan *centered difference scheme* (CTCS). Kedua skema ini memiliki keuntungan dan kesulitan dalam error dan stabilitas. Skema dari persamaan vortisitas adveksi setelah di ubah dalam bentuk geopotensial adalah:

$$\frac{\phi_{i,j}^{m+1} - \phi_{i,j}^m}{\Delta t} = -U \frac{\phi_{i+1,j}^m - \phi_{i,j}^m}{\Delta x} - V \frac{\phi_{i,j+1}^m - \phi_{i,j}^m}{\Delta y} + R(\Delta x, \Delta y, \Delta t) \tag{21}$$

Tidak mudah untuk memperluas metoda numerik adveksi dalam dua dimensi, contoh paling menarik adalah metoda Lax-Wendroff [11,12,13]. Bentuk turunan melintang dalam skema 2D Lax-Wendroff utuh yang digunakan dapat ditulis (ambil,  $\Delta x = \Delta y = \Delta h$ ) sebagai:

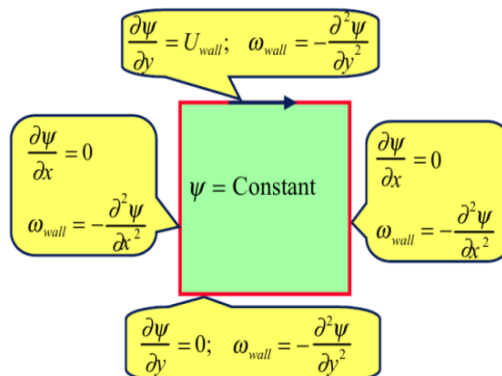
$$\begin{aligned} \phi_{i,j}^{m+1} = & \phi_{i,j}^m - \left[ \frac{U}{2} (\phi_{i+1,j}^m - \phi_{i-1,j}^m) - \frac{V}{2} (\phi_{i,j+1}^m - \phi_{i,j-1}^m) - \frac{U^2}{2} (\phi_{i+1,j}^m - 2\phi_{i,j}^m + \phi_{i-1,j}^m) \right. \\ & - \frac{V^2}{2} (\phi_{i,j+1}^m - 2\phi_{i,j}^m + \phi_{i,j-1}^m) \\ & \left. + \frac{UV}{4} (\phi_{i+1,j+1}^m - \phi_{i-1,j+1}^m - 2\phi_{i+1,j-1}^m - \phi_{i-1,j-1}^m) \right] \end{aligned} \tag{22}$$

Keuntungan utama dari metoda ini adalah sedikit komputasi diperlukan untuk memecahkan sistem terbagi, kemudian mereduksi biaya komputasi. Stabilitas tergantung ketat pada bilangan Courant juga jauh lebih dari skema 2D lainnya.



Gambar 3. Mesh model vortisitas dirancang dengan titik seragam tanpa pembobotan dengan ukuran 441 x 193

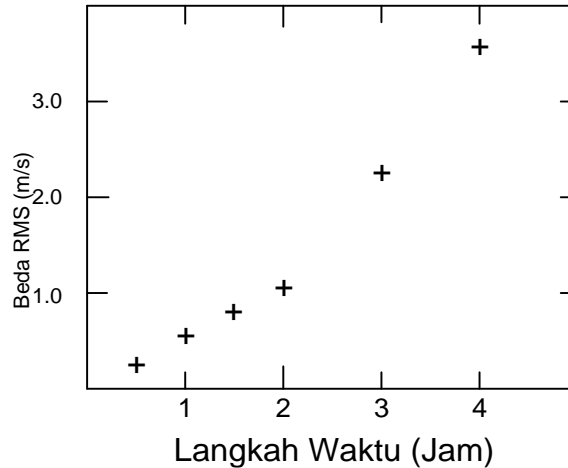
Pada gambar 3 mesh model vortisitas dirancang dengan titik seragam tanpa pembobotan agar pembuatan program lebih mudah. Syarat batas untuk atmosfer akan berbeda jika dibandingkan model untuk laut karena tidak terdapat dinding yang keras membatasi wilayah atmosfer, maka trik yang dilakukan adalah membuat syarat batas sejauh mungkin dari nilai *forecast internal* model. Lalu syarat Driclet dan Neuman dapat diterapkan seperti dalam gambar 4 untuk model vortisitas Barotropik di sekitar wilayah Indonesia dengan  $\omega_{wall}$  dianggap sebagai dinding yang kaku/tegar [13,14].



Gambar 4. Syarat batas model vortisitas barotropik

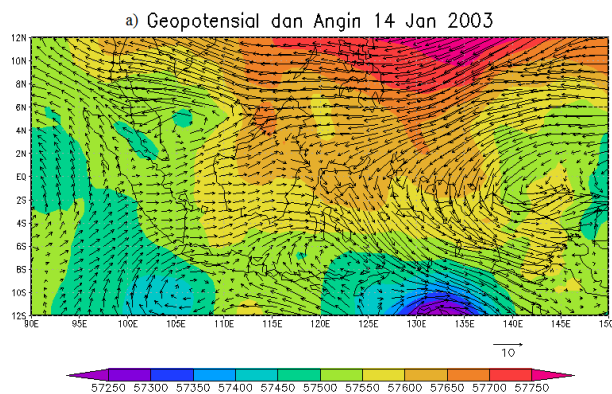
## HASIL PERHITUNGAN DAN PERBANDINGAN DENGAN DATA REFERENSI

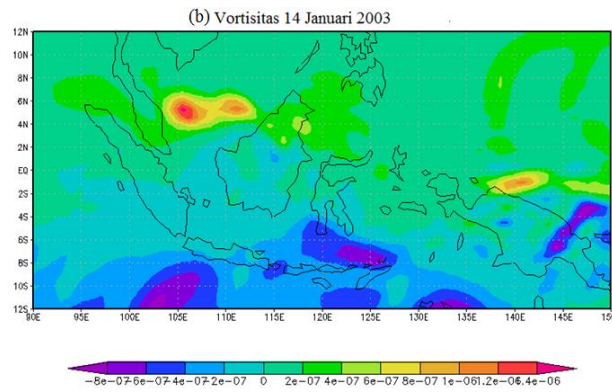
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah ketinggian geopotensial (lihat pada gambar 6a) dimana belum ditemukan tanda-tanda vortek sepanjang wilayah Indonesia dan kelembapan relatif dari ECMWF (*European Center for Medium Range Forecast*) yang mencakup luas resolusi data spasial  $0,125^0$ . RMS beda vektor (meter per detik) antara integrasi dilakukan dengan langkah waktu ditunjukkan sepanjang *abscissa* dan integrasi dasar dilakukan dengan langkah waktu 15 menit.



Gambar 5. Pembacaan sepanjang *abscissa* adalah dalam jam dan nilai RMS dipakai hingga *forecast* 24 jam.

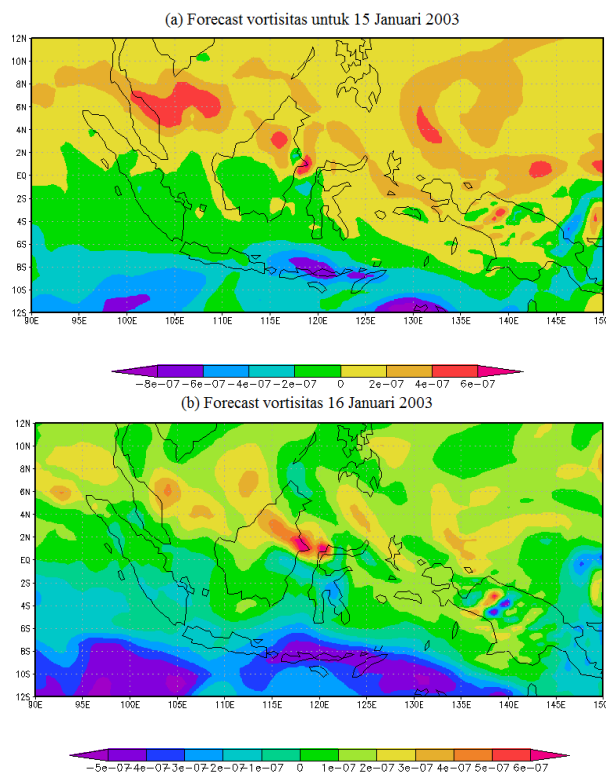
Uji coba dibuat untuk menentukan sensitivitas integrasi *semi-Lagrangian integration* terhadap ukuran dari langkah waktu. Proses berjalan dibentuk dengan langkah waktu pertambahan 0,5 jam dari 0,5-4 jam yang semuanya dibandingkan dengan proses berjalan dengan langkah waktu 15 menit. RMS (*Root Mean Square*) vektor angin berbeda dihitung dan ditampilkan pada gambar 5, dimana grafik menunjukkan bahwa beda RMS berangsur meningkat untuk langkah waktu lebih besar dari dua jam. Pada ujicoba untuk geopotensial awal di ketinggian 500 mb tanggal 14 Januari 2003 Jam 00 WIB untuk wilayah Indonesia (12N-12S) dan (90BT-150BT) digunakan untuk *forecast* 15 Januari 2003 Jam 00 WIB menghasilkan korelasi rata-rata untuk semua titik grid sebanyak  $441 \times 193$  antara hasil *forecast* dan data observasi pada tanggal dan jam yang sama adalah sebesar 0,87 dengan kesalahan relatif dari perubahan geopotensial adalah 0,58.

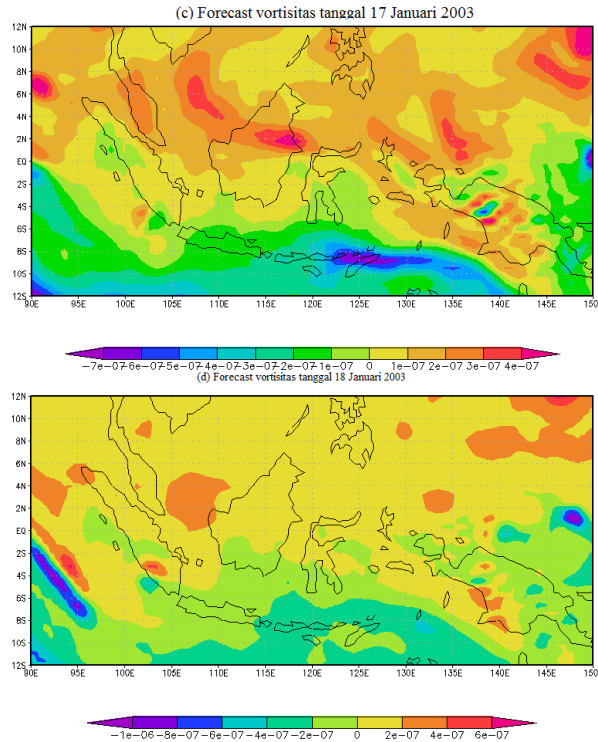




Gambar 6. Data Inisial dari (a) geopotential diubah menjadi (b) vortisitas di 500-mb pada jam 00 WIB 14 Jan 2003.

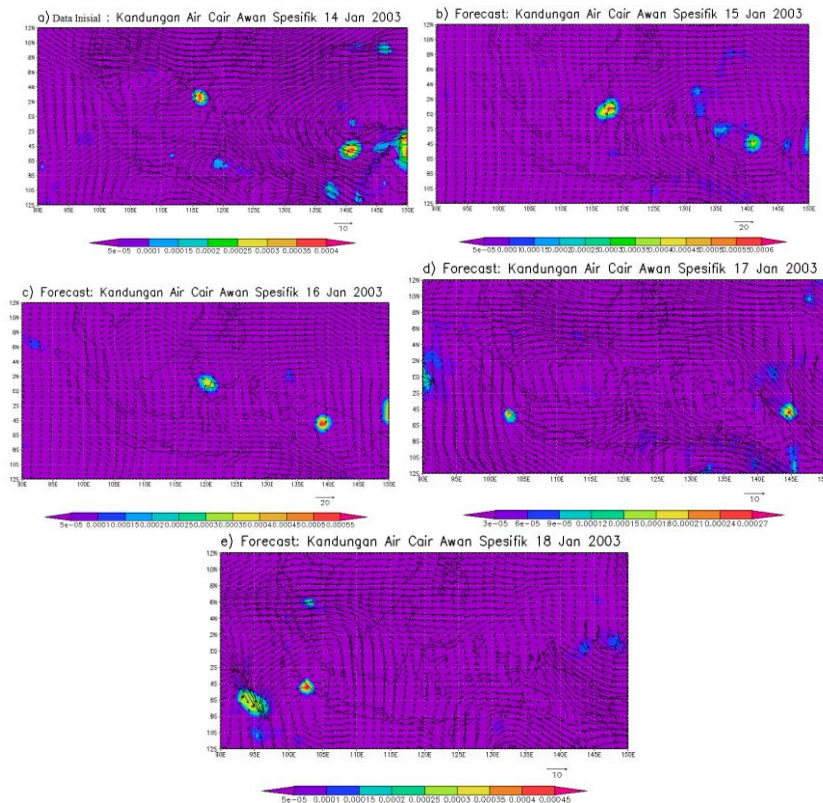
Pada gambar 6a dipilih keadaan dimana terdapat paling sedikit kejadian vortek di Wilayah Indonesia tetapi pada lokasi akan dapat tumbuh secara berangsur yaitu sekitar bulan januari setiap tahunnya. Pada bagian Barat daya pulau Jawa dan bagian Timur laut Indonesia terlihat sudah ada kejadian vortek.





Gambar 7. Forecast vortisitas (a-d) pada 500 mb pada setiap jam 00 WIB pada tanggal 15-18 Januari 2003.

Hasil *forecast* vortisitas untuk tanggal 15-16 Januari 2003 pada gambar 7a dan 7b memperlihatkan ada pertumbuhan vortisitas yang negatif  $-7 \times 10^{-7}/detik$  sekitar pulau Timor hingga ke selat Bali yang dapat ditafsirkan sebagai udara naik atau terjadi pertumbuhan awan. Lalu perlahan menghilang untuk tanggal 17-18 Januari 2003 pada gambar 7c dan 7d dengan nilai  $-2 \times 10^{-7}/detik$ . Berikut adalah *forecast* awan yang sudah berbentuk air pada 500 mb.



Gambar 8. Forecast kandungan air cair awan spesifik (gr/kg), b sampai e setiap jam 00 WIB untuk 15-18 Jan 2003.

Gambar 8.a secara umum memperlihatkan pertumbuhan awan air cair/butiran hujan yang terjadi pada garis arus rapat menjadi lebih renggang misalnya di Bagian tengah Papua atau laut Arafuru, Selatan Sumatera dan laut Jawa. Pada bagian lain adalah pertemuan angin Utara dan Selatan juga muncul awan yang memiliki air cair berlokasi Kalimantan Utara dan Bagian Selatan Sulawesi. Gambar 8b sampai dengan e memperlihatkan pertumbuhan berangsur vortek di Bagian Barat daya Sumatera, Tenggara Pulau timor, laut Cina Selatan, Barat daya Jawa dan Bagian Tengah Papua dengan kecepatan angin pada lokasi vortek bervariasi 5-20 m/s.

Salah satu penerapan model barotropik adalah menentukan kapan hari petik pucuk teh bilamana tidak ada kejadian hujan dalam satu hari. Data curah hujan dasarian Kab.Bandung dicuplik dari data *domain* wilayah Indonesia 12° LU – 12° LS dan 90° BT – 145° BT selang tahun 1987-2016, lalu data tersebut difitting menggunakan deret Fourier untuk memperoleh proyeksi curah hujan dasarian hingga tahun 2030. Setelah panen pucuk teh dilakukan maka pucuknya akan tumbuh lagi 10 hari setelahnya, sehingga untuk menentukan proyeksi produksi teh dibutuhkan jumlah hari petik dalam satu dasarian pertahun. Hari petik adalah hari dimana tidak adanya hujan, sehingga petani dapat dengan maksimal memetik tehnya dan langsung dapat diolah ke tahap selanjutnya. Untuk hari petik sampai tahun 2030 didapatkan dari hasil *fitting* geopotensial rata-rata per 10 harian pada ketinggian 500 mb untuk wilayah 12° LU – 12° LS dan 90° BT – 145° BT. Setelah didapatkan hasil *fitting* geopotensial tersebut kemudian dipilih 1 nilai geopotensial rata-rata per 10 harian sebagai syarat awal untuk model barotropik. Model barotropik akan mengeluarkan hasil *forecast* selama 10 hari kedepan yang berupa nilai vortisitas. Nilai vortisitas ini dapat diestimasi hingga menjadi laju presipitasi. Selanjutnya dipilih koordinat wilayah Kab.Bandung untuk melihat ada tidaknya hujan di koordinat tersebut. Kemudian dihitung total hari tidak hujan selama dasarian tersebut.

Tabel 1. Jumlah hari petik pucuk teh hingga tahun 1987-2016 untuk proyeksi hingga tahun 2030 di Kab.Bandung.

tahun	januari			februari			maret			april			mei			juni			juli			agustus			september			oktober			november			desember			jumlah	
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III					
1987	3	2	1	5	0	1	3	2	2	6	6	8	5	7	7	6	10	9	10	9	10	7	6	7	8	9	10	8	8	9	4	3	0	1	1	6	199	
1988	5	2	0	2	6	3	1	0	4	7	3	7	5	7	6	7	5	10	8	8	10	8	9	10	10	8	10	9	7	4	3	0	4	3	4	2	197	
1989	0	2	4	4	0	0	3	1	1	2	3	3	5	5	2	3	7	6	8	6	7	6	10	10	8	10	8	8	8	1	3	7	3	0	4	166		
1990	1	0	3	5	0	1	2	7	5	7	7	2	9	5	3	7	10	7	7	9	10	7	9	8	9	10	8	10	10	9	7	9	3	3	2	0	211	
1991	1	0	2	1	0	6	3	3	4	1	0	2	4	10	10	10	8	10	9	8	9	8	10	10	8	8	10	10	8	9	7	1	1	1	3	5	200	
1992	3	3	3	1	1	4	4	0	0	5	2	5	6	4	4	10	10	8	8	10	10	10	7	6	7	8	4	2	4	4	2	1	1	0	4	161		
1993	2	3	4	8	1	2	1	4	2	0	2	4	2	9	9	8	8	8	8	7	10	6	8	10	10	9	10	10	8	10	8	3	1	2	0	2	199	
1994	0	1	1	0	1	1	1	1	1	5	1	5	6	9	10	9	10	10	10	9	7	9	10	10	8	6	9	9	9	10	3	8	5	1	1	8	204	
1995	0	1	2	1	1	1	1	1	4	1	3	5	7	7	8	8	6	8	7	9	10	7	9	7	7	10	6	10	5	2	5	1	0	1	4	0	165	
1996	3	1	2	1	3	1	3	1	7	1	8	10	10	8	8	8	10	8	6	10	10	7	10	10	9	9	8	5	2	2	2	3	3	1	7	200		
1997	4	1	2	0	3	5	4	6	2	2	4	4	8	8	8	8	10	9	8	10	9	8	9	6	6	9	8	9	10	9	10	1	2	0	0	4	206	
1998	6	5	4	3	1	0	1	0	1	2	2	1	3	6	7	4	3	5	6	7	7	7	9	9	9	10	4	4	2	1	0	4	1	0	6	0	140	
1999	0	0	2	2	3	2	2	0	0	1	5	7	4	6	8	9	9	9	9	9	10	10	9	10	10	10	9	10	3	3	4	1	1	0	3	4	185	
2000	2	1	3	1	4	0	3	3	1	1	2	1	2	9	4	6	9	7	9	9	9	8	10	10	9	10	6	5	4	3	0	0	2	3	3	3	164	
2001	0	0	1	1	2	5	2	2	0	3	3	6	7	6	2	1	7	10	10	9	9	10	9	10	6	10	7	3	5	0	0	3	0	4	5	7	165	
2002	5	3	0	1	6	3	1	3	2	4	3	5	6	10	10	8	9	10	10	5	10	10	10	10	10	10	9	8	10	8	3	3	0	4	2	2	212	
2003	4	9	0	1	1	0	1	3	3	4	5	2	4	10	9	9	10	8	9	9	8	10	9	9	7	6	7	7	4	8	1	4	0	2	2	2	187	
2004	0	0	0	2	2	0	1	1	0	1	6	4	5	8	6	10	8	10	9	5	10	9	5	8	7	10	6	8	10	8	5	2	1	2	1	0	170	
2005	1	3	3	0	2	0	4	2	0	2	7	4	9	7	8	6	6	8	6	10	9	10	10	10	10	10	8	8	5	1	6	6	4	1	0	1	179	
2006	0	0	4	2	1	1	1	3	4	0	1	3	3	6	5	8	9	10	10	10	9	8	8	8	8	8	7	10	10	8	7	6	5	5	2	0	190	
2007	8	5	3	6	1	2	3	0	2	1	1	2	7	5	9	5	10	8	7	9	8	8	8	8	5	9	10	9	10	4	5	0	2	6	2	0	180	
2008	5	2	2	0	1	1	0	0	2	1	3	6	6	9	9	10	9	10	10	7	9	10	10	7	7	10	8	4	5	2	0	0	0	0	3	178		
2009	3	5	2	1	0	2	0	7	0	2	4	3	3	3	7	6	9	10	9	9	10	9	10	10	10	8	10	9	5	6	8	1	3	2	1	3	180	
2010	2	5	0	0	1	1	1	3	1	3	2	3	2	2	3	5	7	7	4	4	9	9	6	6	5	0	1	2	5	0	1	4	2	0	0	106		
2011	2	3	1	1	4	1	0	5	1	0	4	2	3	4	5	9	10	8	9	7	9	6	9	8	9	5	7	7	7	9	2	2	1	3	2	0	156	
2012	3	1	1	0	3	0	2	5	3	1	1	7	5	6	9	7	9	10	9	9	7	8	8	7	3	9	6	10	8	3	2	4	0	0	1	0	167	
2013	1	4	0	2	0	1	1	1	3	2	1	4	4	3	1	6	2	7	4	4	9	10	9	10	9	9	10	9	10	2	3	2	5	2	1	1	152	
2014	2	0	5	2	2	3	0	2	2	1	2	8	2	3	8	3	3	9	9	7	9	9	10	8	8	8	8	8	8	8	0	0	1	0	1	0	160	
2015	2	6	1	2	2	3	1	0	2	2	0	0	4	9	10	6	9	10	9	10	9	6	8	7	7	7	10	9	10	8	2	3	0	0	4	185		
2016	2	0	4	0	1	2	2	0	1	0	3	1	5	5	5	4	6	7	6	3	6	8	9	9	6	7	1	0	3	2	1	1	0	2	0	115		
2017	3	5	2	1	1	2	3	7	2	2	4	3	3	3	7	6	6	8	7	7	8	10	10	5	7	7	10	8	4	5	2	4	3	1	3	3	172	
2018	5	2	2	0	1	1	0	2	2	1	3	6	6	6	7	6	8	8	8	9	10	10	10	10	9	9	8	8	7	7	5	3	4	2	1	4	2	182
2019	3	2	4	2	3	3	2	0	2	0	3	4	5	5	5	5	6	7	6	7	7	8	8	8	7	6	7	4	3	2	4	3	0	2	0	3	146	
2020	3	5	2	1	1	2	3	7	2	2	4	3	3	3	7	6	6	8	7	7	8	10	10	6	7	8	10	8	4	5	2	4	3	1	3	3	174	
2021	5	2	2	0	1	1	0	2	2	1	3	6	6	6	7	6	8	8	8	9	10	10	10	10	9	9	8	8	7	6	5	3	4	2	1	4	2	181
2022	3	2	4	2	3	3	2	0	2	0	3	4	5	5	5	5	6	7	6	7	7	8	8	8	7	6	7	4	3	2	4	3	0	2	0	3	146	
2023	3	5	2	1	1	2	3	7	2	2	4	3	3	3	7	6	6	8	7	7	8	10	10	5	7	7	10	8	4	5	2	4	3	1	3	3	172	
2024	5	2	2	0	1	1	0	2	2	1	3	6	6	6	7	6	8	8	8	9	10	10	10	10	9	9	8	8	7	6	5	3	4	2	1	4	2	181
2025	3	2	4	2	3	3	2	0	2	0	3	4	5	5	5	5	6	7	6	7	7	8	8	8	7	6	7	4	3	2	4	3	0	2	0	3	146	
2026	3	5	2	1	1	2	3	7	2	2	4	3	3	3	5	5	6	8	7	7	8	10	10	6	7	8	10	8	4	5	2	4	3	1	3	3	171	
2027	5	2	2	0	1	1	0	2	2	1	3	6	6	6	7	6	8	8	8	9	10	10	10	10	9	9	8	8	7	6	5	3	4	2	1	4	2	181
2028	3	2	4	2	3	3	2	0	2	0	3	4	5	5	5	5	6	7	6	7	7	8	8	8	7	6	7	4	3	2	4	3	0	2	0	3	146	
2029	3	5	2	1	1	2	3	7	2	2	4	3	3	3	7	6	6	8	7	7	8	10	10	5	7	7	10	8	4	5	2	4	3	1	3	3	172	
2030	5	2	2	0	1	1	0	2	2	1	3	6	6	6	7	6	8	8	8	9	10	10	10	9	9	8	8	7	7	5	3	4	2	1	4	2	182	

Jumlah hari petik dipengaruhi musim dan variabilitas iklim, saat musim kemarau jumlah hari petik lebih banyak dibandingkan musim hujan karena lebih banyak hari tidak hujan saat musim kemarau. Variabilitas

iklim berpengaruh terhadap panjang musim sehingga juga berpengaruh terhadap jumlah hari petik. Pada tabel 1 memperlihatkan warna merah merupakan jumlah peluang hari dilakukan pemetikan pucuk teh dalam satu dasarian yang memiliki curah hujan dasarian kurang dari 50 mm/dasarian dan warna biru untuk curah hujan lebih besar dari 50 mm/dasarian.

## KESIMPULAN

Syarat batas yang lebih lebar dapat dilakukan untuk menghindari efek akibat asumsi batas sebagai tembok pada nilai dalam pada model barotropik. Data inisial geopotensial bersifat non divergen dapat mendeteksi *forecast* bersifat vortek. Model ini telah memberikan hasil baik dipakai di Kab.Bandung dengan akurasi sekitar 87 persen untuk kegiatan rencana pemetikan pucuk teh secara khusus dan penjadwalan kerja lainnya pada seluruh wilayah Indonesia secara umum hingga *forecast* 4 hari dengan langkah waktu 1 jam. Jumlah hari petik sangat dipengaruhi oleh musim dan variabilitas iklim, saat musim kemarau jumlah hari petik rata-rata 8 hari dalam 10 hari dan dibandingkan musim hujan rata-rata hanya 4 hari per dasarian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah ini didanai oleh P3MI, Institut Teknologi Bandung 2017.

## REFERENSI

1. Laporan Direktorat Jendral Perkebunan, Provinsi Jawa Barat (2016)
2. T. N. Krishnamurti, *An experiment in numerical prediction in equatorial latitudes*, Quart I. R. Met. Soc.(1969)
3. F. H. Bushby and Margaret S. Timpson, *a 10-level atmospheric model and frontal rain*, royal meteorological society (1967)
4. T. N. Krishnamurti, *Numerical Integration of Primitive Equation by a Quasi-Lagrangian Advective Schema*, Journal of Applied Meteorology (1962)
5. Joseph Smagorinsky, *On the Dynamic Prediction of Large-scale Condensation by Numerical method*, Mon. Weather Rev. (1955)
6. Banner i. Miller, Peter p. Chase, and brian r. Jarvinen, *Numerical Prediction of Tropical Weather Systems*, Monthly Weather Review (1972)
7. J. G. Charney and a. Eliassen, *A Numerical Method for Predicting the Perturbations of the Middle Latitude Westerlies*, Journal of Meteorology(1949)
8. J. G. Charney, r. Fjortoft, j. Von neumann, *Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation*, a quarterly Journal of geophysics (1950)
9. André Robert, *A Stable Numerical Integration Scheme for the Primitive Meteorological Equations*, Canadian meteorological and Oceanographic Society (1980)
10. Harry f. Hawkins and stanley l. Rosenthal, *On the computation of stream functions from the wind field*, Monthly Weather Review (1965)
11. H.L. Kuo, *A two-Layer Model Study of the combined Barotropic and Baroclinic instability in the Tropics*, Journal of The Atmospheric Sciences (1978)
12. Bert bolin, *Numerical Forecasting with the Barotropic Model*, University of Stockholm (1955)
13. Lcdr. William e. Hubert, u. S. Navy, *Hurricane trajectory forecasts from a non-divergent, non-geostrophic, barotropic model*, monthly weather review(1957)
14. Wolfgang U. Dan Roger K.S., *A numeric study of tropical cyclone motion using a barotropic model*, Q.J.R.Meteorol. Soc. (1991)