

PERBANDINGAN PROFIL VERTIKAL DIVERGENSI DAN VORTISITAS MODEL WRF DENGAN LUARAN SATAID KEJADIAN HUJAN LEBAT BATAM TANGGAL 30 – 31 JANUARI 2013

Akhmad Fadholi

Abstrak: Divergensi dan vortisitas merupakan dua parameter yang erat kaitannya dengan proses dinamis atmosfer khususnya dalam proses pembentukan awan. Analisis terkait dua parameter tersebut mengalami perkembangan dengan munculnya model numerik yang dapat digunakan untuk menampilkan kedua parameter tersebut. Di Indonesia, Weather Research Forecasting (WRF) dan Satellite Animations and Interactive Diagnosis (SATAID) merupakan cara yang sering digunakan untuk menampilkan divergensi dan vortisitas, khususnya dalam analisis kondisi cuaca buruk seperti hujan lebat. Dalam kasus hujan lebat yang terjadi di Batam pada tanggal 30-31 Januari 2011, penulis mencoba membandingkan nilai divergensi dan vortisitas dari hasil olahan WRF dan SATAID. Hasil menunjukkan beberapa perbedaan yang signifikan. Perbedaan tersebut antara lain nilai divergensi dan vortisitas yang WRF yang jauh lebih tinggi dibandingkan SATAID dan pola pergerakan nilai divergensi dan vortisitas secara temporal untuk tiap lapisan isobarik sehingga menyebabkan korelasi yang rendah dan nilai RMSE yang besar antara WRF dan SATAID.

Kata kunci: divergensi, vortisitas, WRF, SATAID.

ABSTRACT: Divergence and vorticity are two parameters are closely related to dynamic atmospheric processes, especially in the process of cloud formation . Analysis of these two parameters has been developed by using numerical models that can be used to calculate and display both divergence and vorticity. In Indonesia, Weather Research Forecasting (WRF) and Satellite Animations and Interactive Diagnosis (SATAID) are commonly used to display the divergence and vorticity, especially in analysis of bad or extreme weather conditions such as heavy rain. In the case of heavy rain that occurred in Batam on 30 to 31th January 2011, the author tries to compare the value of the divergence and vorticity from WRF and SATAID. Result shows some significant differences from both WRF and SATAID. The differences between divergence and vorticity that WRF is much higher than SATAID and movement patterns of divergence and vorticity values for each isobaric level temporally causes low correlation and large RMSE values between WRF and SATAID.

Keywords: divergence, vorticity, WRF, SATAID

PENDAHULUAN

Dalam melakukan analisis cuaca, khususnya pada analisa kejadian cuaca ekstrim digunakan parameter-parameter cuaca sebagai identifikasi kondisi-kondisi signifikan

terkait proses dinamis yang terjadi di atmosfer. Parameter cuaca terkait proses dinamika atmosfer yang biasa dikaji antara lain divergensi dan vortisitas. Dua parameter tersebut berkaitan langsung dengan pergerakan

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi
E-mail: akhmad.fadholi@bmgk.go.id

massa udara yang mempunyai peran dalam pembentukan awan konventif.

Saat ini, pembahasan tentang analisis cuaca maupun iklim tidak lepas dari penggunaan model prediksi cuaca numerik atau *Numerical Weather Prediction* (NWP). Salah satu pemodelan parameter cuaca yang sering dipakai saat ini adalah *Weather Research Forecasting* (WRF). Selain digunakan dalam pemodelan prakiraan cuaca, WRF juga digunakan dalam analisis parameter cuaca dengan data reanalisis. Selain WRF, Badan Meteorologi Jepang (JMA: *Japan Meteorological Agency*) juga mengeluarkan aplikasi yang dikenal dengan *Satellite Animations and Interactive Diagnosis* (SATAID) yang digunakan dalam menampilkan data NWP *Global Spectral Model* (GSM). Meskipun fungsi pokok aplikasi tersebut adalah analisa data citra satelit MTSAT (*Multi-functional Transport Satellite*), SATAID juga sering kali digunakan dalam menampilkan data NWP. WRF maupun SATAID, dapat digunakan dalam analisis parameter cuaca khususnya divergensi dan vortisitas.

Perbandingan dua parameter cuaca tersebut menggunakan WRF dan SATAID khususnya pada kondisi cuaca ekstrim belum pernah dilakukan di Indonesia. Penelitian ini mengambil

kasus hujan lebat yang menyebabkan banjir di Batam pada tanggal 30-31 Januari 2013. Penelitian ini membandingkan divergensi dan vortisitas hasil olahan WRF dengan SATAID, dan diharapkan dapat memberikan kesimpulan tentang kaitan kondisi kedua parameter dari WRF dan SATAID terhadap kondisi hujan lebat. Selain itu juga diharapkan mampu memberikan hasil tentang korelasi dan selisih antara WRF dan SATAID sehingga dapat menjadi acuan pada penelitian atau pengembangan selanjutnya.

Divergensi dan Vortisitas

Divergensi didefinisikan sebagai pergerakan massa udara yang menyebar dalam suatu area. Sebaliknya, jika pergerakan massa udara mengumpul maka terjadi konvergensi (Holton, 2004). Nilai divergensi positif mengindikasikan adanya pergerakan menyebar secara horizontal, dan sebaliknya merupakan konvergensi atau terdapat pertemuan/pemampatan massa udara.

$$D = \text{div}\bar{U} = \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (1)$$

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

timur-barat (∂x) sedangkan v untuk arah utara-selatan (∂y).

Vortisitas adalah ukuran dari rotasi dalam fluida dan memiliki kedua besaran skalar dan arah (**Holton, 2004**). Semakin tinggi nilai mutlak vortisitas maka semakin besar vektor angin yang berotasi. Untuk daerah lintang selatan, vortisitas negatif menunjukkan adanya siklonik yang mengakibatkan terbentuknya awan konvektif dan berlaku sebaliknya untuk lintang utara (**Seto, 2000**).

$$\zeta = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

Divergensi dan vortisitas merupakan dua parameter cuaca yang saling berkaitan dan sering digunakan dalam analisis pertumbuhan awan khususnya awan konvektif. Terdapatnya konvergensi atau divergensi aliran massa udara dapat menyebabkan timbulnya gerak vertikal (**Enderwin, 2010**). Pertumbuhan awan akan dengan mudah terjadi jika vortisitas negatif, dimana massa udara yang masuk akan berkonvergensi dan tumbuhlah awan-awan konvektif (**Seto, 2000**). Sedangkan menurut Hariadi (**2010**), kedua parameter tersebut merupakan indikator keadaan sesaat proses presipitasi di atas suatu tempat.

Model WRF

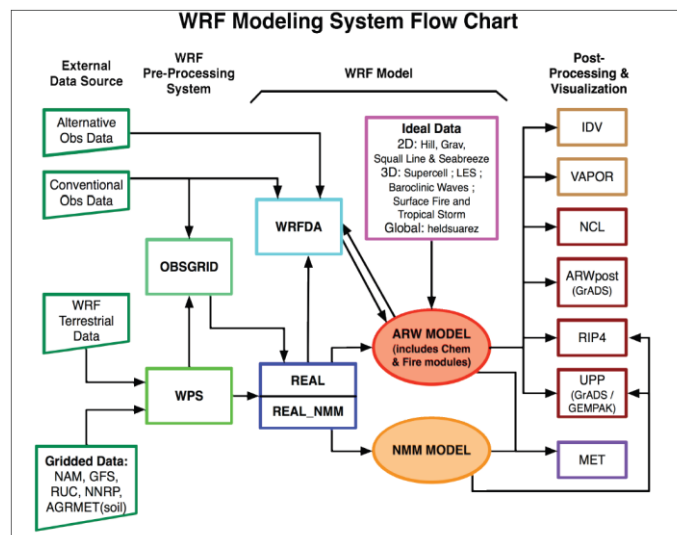
WRF (*Weather Reasearch and Forecasting*) Model merupakan salah satu model regional yang saat ini banyak dikembangkan oleh kalangan *meteorologist*. WRF dapat memodelkan kondisi atmosfer di suatu wilayah sehingga dapat membantu dalam mempelajari suatu kejadian meteorologi dengan lebih baik (**Sulung, dkk, 2011**). WRF (WRF-ARW) merupakan model generasi lanjutan sistem simulasi cuaca numerik skala meso yang didesain untuk melayani simulasi operasional dan kebutuhan penelitian atmosfer. Model ini mempunyai keistimewaan inti dinamik yang berlipat, variasi 3-dimensional (3DVAR) sistem asimilasi data dan arsitektur perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan komputasi secara paralel dan sistem ekstensibel. WRF cocok untuk aplikasi yang luas dari skala meter sampai ribuan meter.

Usaha untuk mengembangkan WRF merupakan kerjasama kolaborasi, yang pada prinsipnya antara *National Center for Atmospheric Reasearch* (NCAR), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *National centers for Environmental Prediction* (NCEP) dan *Forecast systems Laboratory* (FSL),

dan *Air Force Weather Agency* (AFWA), *Naval Research Laboratory*, Universitas Oklahoma dan *Federal Aviation Administration* (FAA).

WRF merupakan model yang fleksibel dan memiliki *code portable* yang efisien untuk lingkungan computing dan paralel supercomputer sampai laptop. WRF modular, *single-source code* dapat di konfigurasi untuk penelitian dan aplikasi

operfasional. Memiliki pilihan spektrum fisi dan dinamis yang diperoleh dari percobaan dan hasil komunitas ilmiah. Terdapat WRF-Var yang merupakan sistem variasi data asimilasi yang dimana dapat memadukan data observasi untuk mengoptimalkan kondisi inisial model, dan juga WRF-Chem model untuk pemodelan kimia udara (Wahyudi, dkk, 2011).



Gambar 1. Diagram Alir Proses Running WRF

SATAID

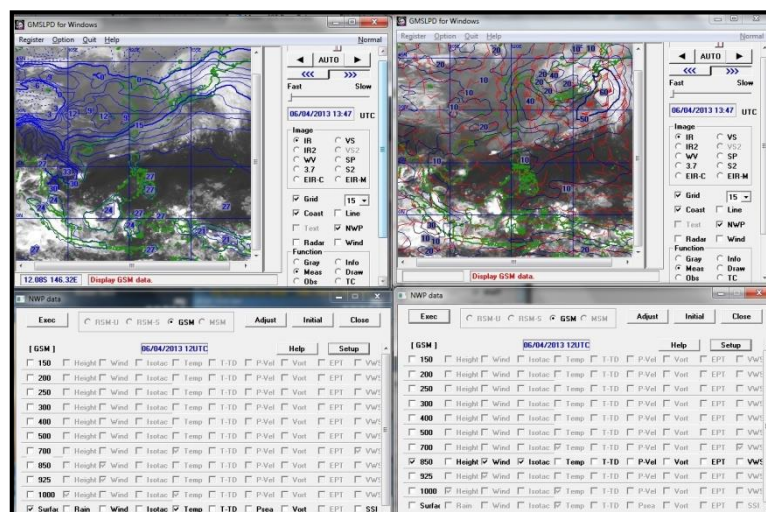
JMA (*Japan Meteorology Agency*) meluncurkan satelit cuaca MTSAT (*Multi-functional Transport Satellites*) yang secara umum bertujuan untuk mengamati perkembangan atmosfer dalam rangka pencegahan dan mitigasi bencana alam yang diakibatkan oleh badai topan dan cuaca buruk lainnya (Fadholi, 2013). JMA

kemudian mengembangkan sebuah aplikasi yang diberi nama SATAID (*Satellite Animation and Interactive Diagnosis*) yang berfungsi mengambil data parameter meteorologi dari citra satelit MTSAT. Penggunaan aplikasi tersebut sebagai penyedia data dukung parameter meteorologi pada citra satelit untuk menganalisa kejadian alam, baik yang terkait dengan cuaca maupun

bencana (Andriyanto, 2011). SATAID adalah satu set software yang dijalankan di dalam sistem operasi Windows, berfungsi untuk mengolah gambar satelit (Harsa, 2011).

Hal yang paling mendasar dari pengolahan citra satelit MTSAT dengan menggunakan aplikasi SATAID yaitu teknik menampilkan citra satelit sebagai indentifikasi awan dan teknik pemanfaatan data *Numerical Weather Prediction* (NWP) sebagai analisis unsur-unsur cuaca (Fadholi, 2013). Data NWP yang telah diunduh

dan diolah menggunakan SATAID merupakan data NWP Global Spectral Model (GSM) yang disediakan oleh JMA. Berbeda dengan data citra satelit, data NWP tersedia 4 kali sehari pada jam 00, 06, 12, dan 18 UTC sehingga untuk dapat menampilkan tiap jamnya harus diinterpolasi. Dengan data NWP tersebut maka dapat diketahui parameter-parameter cuaca lainnya seperti suhu, kelembaban, angin, vortisitas, depresi suhu, dan nilai labilitas udara (JMA, 2006).



Gambar 2. Data NWP dioverlay ke dalam citra satelit

METODE PENELITIAN

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data *final model National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) yang didapat dari <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2> dan data SATAID serta model GSM yang

didapat dari <ftp://satelit.bmkg.go.id>. Hasil pengolahan yang dibahas dan dianalisa hanya pada parameter divergensi dan vortisitas yang dihasilkan dari WRF maupun SATAID. Fokus lokasi pada koordinat stasiun meteorologi Hang Nadim Batam yaitu 1,1° Lintang Utara (LU) dan 104,1° Bujur Timur (BT)

dengan waktu kejadian mulai tanggal 30 Januari jam 00 UTC hingga 31 Januari 2013 jam 06 UTC.

Pengolahan WRF

Sebagai syarat awal dan syarat batas model digunakan data FNL (*Final Analysis*) dari *National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) dengan interval waktu selama 6 jam, yang memiliki resolusi $1^\circ \times 1^\circ$ yang dapat didownload melalui situs <http://rda.ucar.edu>. Sementara data pengamatan permukaan diperoleh dari

hasil pengamatan stasiun meteorologi Hang Nadim Batam yang berkoordinat $1,1^\circ$ Lintang Utara dan $104,1^\circ$ Bujur Timur.

Oleh karena keterbatasan model WRF yang ada pada saat dilakukan percobaan, maka dalam percobaan ini domain tanpa nesting, yakni langsung mengambil domain dengan resolusi 6 km, dengan data yang diolah selama 30 jam, terhitung dari 30 Januari 2011 pukul 00.00 UTC sampai dengan 31 Januari 06.00 UTC. Adapun untuk lebih jelasnya mengenai proses running yang dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Informasi Proses Running WRF

TIBE GRID	Arakawa C-Grid
KATEGORI LAND USE	USGS (<i>Mixed Dyland/Irregated Coplaid and Pasture</i>)
DIMENSI GRID BARAT-TIMUR	149
DIMENSI GRID SELATAN-UTARA	110
DIMENSI GRID DASAR-PUNCAK	28
RESOLUSI GRID PADA SB. X (DX)	6000 m
RESOLUSI GRID PADA SB. Y (DY)	6000 m
PUSAT LINTANG	1° LU
PUSAT BUJUR	104° BT
SKEMA MIKROFISIK	<i>WRF Single Moment 5 Class Scheme</i>
SKEMA RADIASI GEL. PANJANG	<i>RRTM (Rapid Radiation Transfer Model) Scheme</i>
SKEMA RADAIASI GEL. PENDEK	Dudhia
OPSI LAP. PERMUKAAN	MM5
OPSI PERMUKAAN DARAT	<i>NOAH Land Surface</i>
OPSI LAP. BATAS (PBL)	<i>YSU (Yonsei University) Scheme</i>
OPSI CUMULUS	<i>KF (Kain-Fritsch) Scheme</i>
SUMBER INPUT PERMUKAAN	WPS/geogrid
UPDATE DATA SST	<i>No SST Update</i>
FEEDBACK	<i>One-way nesting</i>
LANGKAH WAKTU INTEGRASI	30 detik

Setelah proses *running* model WRF selesai, maka dihasilkan banyak parameter yang dapat digunakan

sebagai bahan analisis. Namun pada penelitian ini, beberapa parameter yang diambil sebagai bahan analisa antara

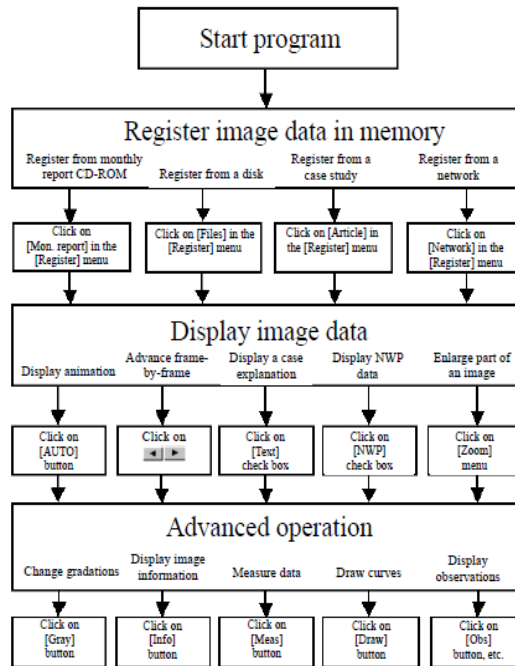
lain temperature, kelembaban, angin dan curah hujan.

Pengolahan SATAID

Secara umum, langkah-langkah pengolahan dalam SATAID terbagi

menjadi empat yaitu *start program, register image data in memory, display image data, dan advanced operation.*

Bagian-bagian langkah umum tersebut dapat dilihat pada diagram alir pengolahan pada Gambar 3.



Gambar 3. Langkah-langkah Umum pengolahan SATAID

Pengolahan data NWP pada SATAID didahului dengan register data satelit baik *Infra-Red* (IR-1) tanggal 30 Januari 2011 jam 00 UTC hingga 31 Januari 2011 jam 06 UTC. Selanjutnya, dilakukan *register data* NWP GSM tanggal 30 Januari 2011 (jam 00, 06, 12, 18 UTC dan 31 Januari 2011 (jam 00, 06, 12, 18 UTC). Hal ini disebabkan data satelit tersebut mencakup peta yang mempunyai koordinat yang merupakan tempat SATAID untuk

melakukan plotting data NWP. Penampilan data NWP GSM sehingga didapatkan divergensi dan vortisitas pada SATAID memerlukan langkah-langkah sebagai berikut.

- Register data satelit
- Register data NWP GSM
- Aktifkan NWP dan jendela NWP akan aktif
- Pada jendela NWP, aktifkan “*Vort*” untuk vortisitas atau “*Div*” untuk divergensi

- Pilih fungsi *measure*
- Pilih fungsi Time
- Klik di koordinat lokasi penelitian

Korelasi

Perhitungan korelasi dimaksudkan untuk mencari nilai kekuatan hubungan antara dua peubah acak (Susanti, dkk, 2013). Dalam hal ini digunakan hanya untuk menentukan besarnya hubungan kedekatan antara nilai divergensi dan vortisitas yang dihasilkan dari pengolahan WRF dengan SATAID. Perhitungan korelasi difokuskan pada satu titik yaitu pada 1,1° LU dan 104,1° BT. Persamaan 3 adalah rumus korelasi yang digunakan:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Keterangan :

r = Nilai korelasi

x_i = divergensi/vortisitas WRF

y_i = divergensi/vortisitas SATAID

Nilai r berkisar antara +1 sampai -1 dengan nilai r bergantung pada fase kurva variabel yang dimaksud. Jika kedua series data (WRF dan SATAID) paralel, maka nilai r akan positif, sedangkan apabila fase berlawanan maka nilai r akan negatif. Apabila nilai r

mendekati (+1) atau r mendekati -1 maka divergensi/vortisitas WRF memiliki korelasi linear yang tinggi dengan SATAID. Tanda negatif mendekati -1 berarti hubungan sangat kuat dan berlawanan fase. Sedangkan, jika nilai r mendekati 0 maka antara WRF dan SATAID hampir tidak memiliki hubungan (relasi).

Root Mean Square Error (RMSE)

Metode **RMSE** ini digunakan untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi antara nilai divergensi dan vortisitas antara hasil olahan WRF dengan SATAID. Sama seperti perhitungan korelasi, perhitungan RMSE dilakukan pada satu titik juga yaitu 1,1° LU dan 104,1° BT. Persamaan 4 adalah rumus RMSE yang digunakan (Arif, dkk, 2012):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{a,1} - x_{b,1})^2}{n}} \quad (4)$$

Keterangan :

X_a = Nilai divergensi/vortisitas WRF

X_b = Nilai divergensi/vortisitas SATAID

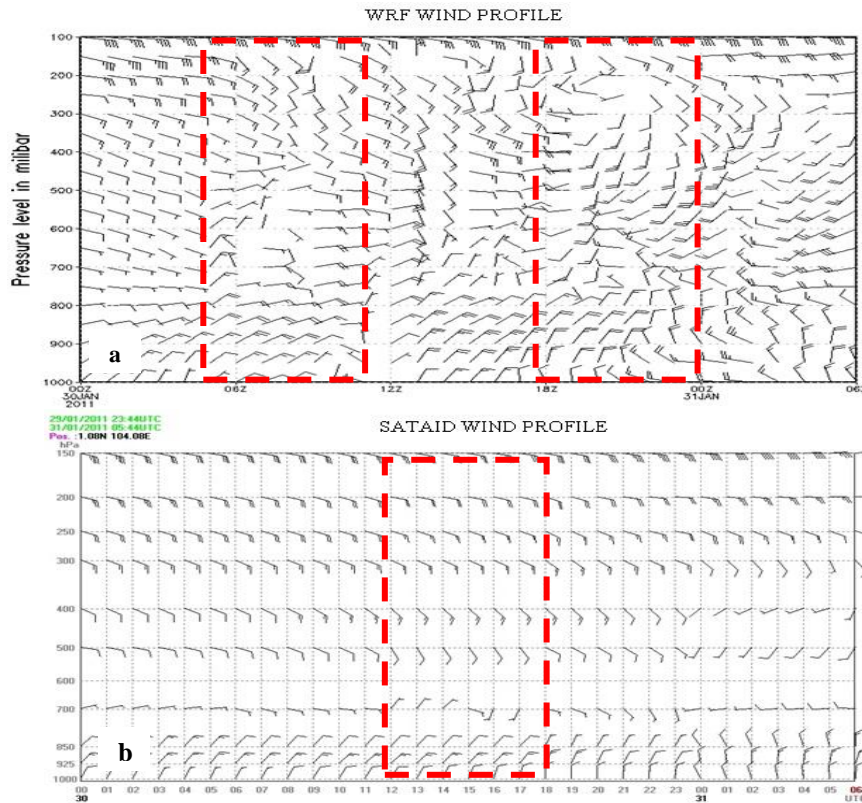
n = Banyaknya data

Perlu diketahui bahwa nilai terbaik RMSE adalah 0, artinya data divergensi/vortisitas WRF sama dengan SATAID. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin jauh nilai data

divergensi/vortisitas WRF dengan terlebih dahulu memberikan SATAID.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data menggunakan model WRF dan SATAID sebagai berikut.



Gambar 4. (a) Profil Angin WRF dan (b) Profil Angin SATAID

Perbandingan pola angin perjam secara vertikal temporal selama 31 jam menunjukkan perbedaan yang signifikan antara hasil model WRF dan SATAID. Pada saat mulai kejadian hujan lebat di Batam sekitar jam 06 hingga 10 UTC tanggal 30 Januari 2013, model WRF menunjukkan perubahan arah dan kecepatan angin signifikan antara lapisan 700 hingga

500 mb dimana terjadi gerak rotasi secara vertikal dengan kecepatan angin bervariasi mulai dari 2 hingga 10 knot. Hal tersebut bisa jadi merupakan suatu fokus nilai divergensi dan vortisitas yang terjadi. Kondisi perubahan lain yang signifikan juga terlihat jelas antara jam 18 UTC hingga jam 00 UTC tanggal 31 Januari 2013 dengan perubahan arah dan kecepatan angin

yang terjadi hingga lapisan 200 mb menimbulkan gerak rotasi, terutama dari lapisan 400 hingga 200 mb. Gerak rotas berlawanan dengan arah jarum jam yang mengindikasikan adanya konvergensi dan vortisitas tinggi. Hal tersebut terkait dengan pembentukan awan yang kuat sebelum terjadi hujan sangat lebat di esok harinya. Sedangkan pada hasil olahan SATAID, perubahan signifikan arah dan kecepatan angin mulai terdeteksi pada tanggal 30 Januari 2013 jam 12 hingga 18 UTC pada lapisan 700 mb saja. Hampir sama dengan kejadian pada analisis WRF, kondisi angin mengindikasikan adanya gerak rotasi berlawanan dengan arah jarum jam yang dapat diindikasikan sebagai potensi pembentukan awan yang kuat.

Perbandingan Divergensi WRF dan SATAID

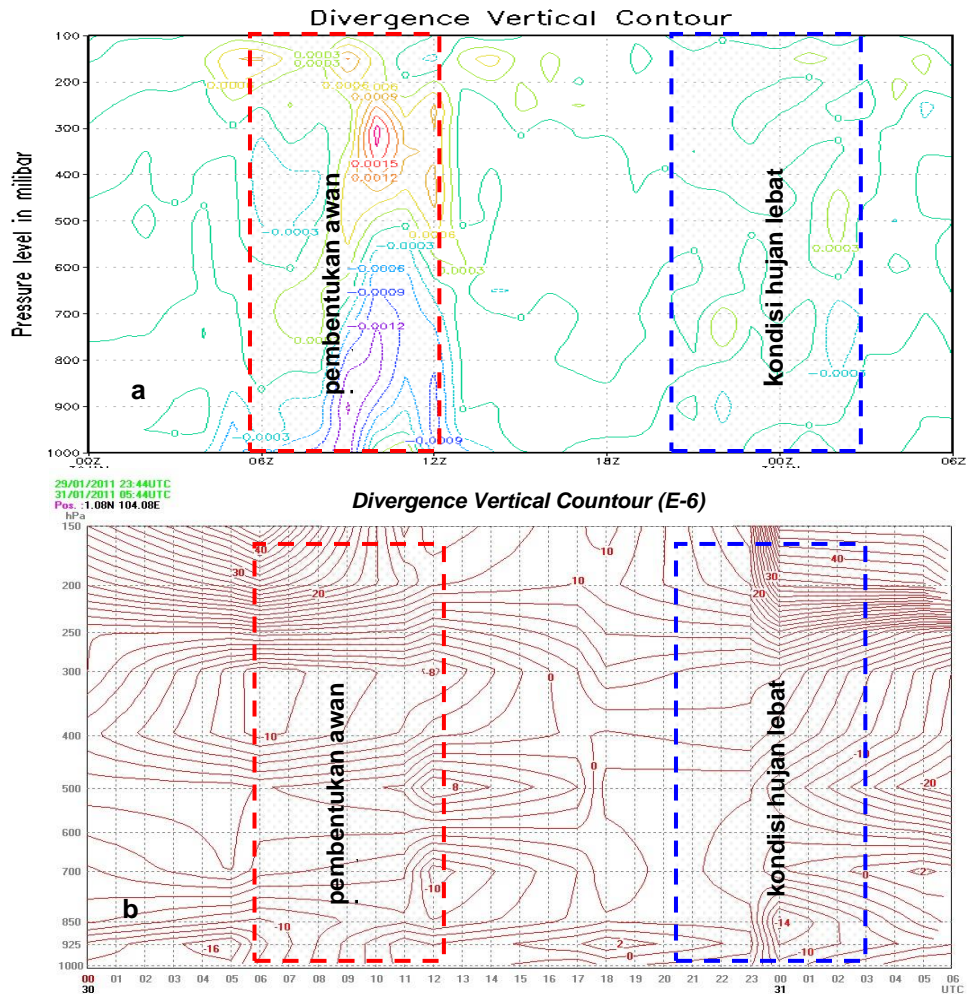
Perubahan kondisi cuaca signifikan terutama dalam kasus kejadian hujan lebat yang disebabkan oleh awan-awan konvektif, akan menampilkan perubahan nilai divergensi yang signifikan. Hal ini terjadi karena dalam pembentukan awan konvektif, maka pada prosesnya akan memerlukan nilai divergensi negatif yaitu tanda akan adanya

pumpunan massa udara yang disebabkan massa udara yang berkumpul memusat secara horizontal, dengan kata lain terjadi proses konveksi. Penampilan profil divergensi secara vertikal dapat menambah detail analisis yang dilakukan dalam identifikasi proses pembentukan maupun peluruhan awan.

Terkait pola divergensi secara vertikal temporal selama hujan lebat berlangsung, hasil olahan WRF dan SATAID memberikan hasil dengan pola yang hampir sama dalam hal pergerakan nilai positif atau negatif yang terkait dengan proses konveksi pembentukan awan.

Melihat catatan kejadian hujan tiap tiga jam dari stasiun pengamat, perbandingan kondisi nilai divergensi antara hasil WRF dan SATAID terlihat. Pada pencatatan curah hujan, kondisi lebat mulai terjadi jam 15 UTC tanggal 30 Januari 2011 hingga puncaknya antara jam 00 hingga 03 UTC hari selanjutnya. Maka, terjadi pertumbuhan awan yang kuat sebelum waktu hujan lebat. Kondisi proses pembentukan awan yang kuat dapat dilihat dari pola divergensi baik dari WRF maupun SATAID antara jam 06 hingga 12 UTC tanggal 31 Januari 2011 dimana terjadi divergensi negatif (konvergensi) mulai lapisan permukaan hingga hampir

mencapai 400 mb. Kemiripan pola dilihat dari positif atau negatif nilai tersebut bukan dari nilainya, namun divergensi.



Gambar 5. (a) Kontur vertikal divergensi WRF dan (b) Kontur vertikal divergensi SATAID

Perbandingan antara nilai divergensi dari WRF dan SATAID juga dilakukan pada beberapa lapisan isobarik untuk mengetahui lebih detail perbedaan nilai dan pola pergerakan tiap jam dengan grafik (Lampiran 1.a & 1.b).

Pada grafik divergensi WRF (Lampiran 1.a) bahwa secara umum terlihat adanya fluktuasi nilai divergensi yang sangat tinggi antara jam 06

hingga 15 UTC tanggal 30 Januari 2013. Pada kondisi tersebut dapat diketahui adanya proses pembentukan dan peluruhan awan (hujan). Kondisi tersebut hampir sama jika dikaitkan dengan pencatatan hujan stasiun. Pada pada jam selanjutnya kondisi nilai divergensi cenderung menurun. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya konvergensi atau aliran massa udara yang memusat hingga lapisan

700 mb. Pada jam-jam tersebut merupakan proses pertumbuhan awan konvektif yang kuat. Sedangkan divergensi hasil olahan SATAID (Lampiran 1.b), divergensi lapisan permukaan hingga 700 mb bernilai negatif yang secara jelas dari awal hingga akhir. Namun, kondisi yang signifikan tentang divergensi negatif adalah pada jam 00 hingga 12 UTC tanggal 30 Januari 2011. Hal tersebut mengindikasikan potensi pembentukan

awan yang secara terus menerus. Meskipun didominasi oleh nilai negatif yang berarti terjadi konvergensi, nilai divergensi SATAID mempunyai selisih yang jauh dengan WRF (meskipun sama-sama negatif).

Dari hasil perbandingan nilai divergensi pada lapisan permukaan (surface/SFC), 1000 mb, 850 mb, 700 mb, dan 500 mb pada titik 1,1° LU dan 104,1° BT, didapatkan nilai korelasi dan RMSE pada Tabel 2.

Tabel 2. Korelasi dan RMSE antara nilai divergensi WRF dan SATAID

Level Isobarik	Korelasi	RMSE (E-6)
Permukaan	0,15	425,16
1000 mb	0,18	469,24
850 mb	0,18	389,42
700 mb	0,03	322,40
500 mb	0,17	269,19

Hasil korelasi WRF dan SATAID menunjukkan hubungan yang sangat lemah untuk semua lapisan, meskipun keduanya diambil pada kasus dan waktu yang sama. Hal tersebut kemungkinan dikarenakan nilai divergensi yang berbeda jauh antara hasil WRF dan SATAID dan pergerakan *trend* nilai yang jauh berbeda. Selain itu juga, sistem interpolasi dari SATAID yang kemungkinannya tidak sama dengan WRF.

Hasil perbandingan nilai juga menunjukkan RMSE yang sangat besar

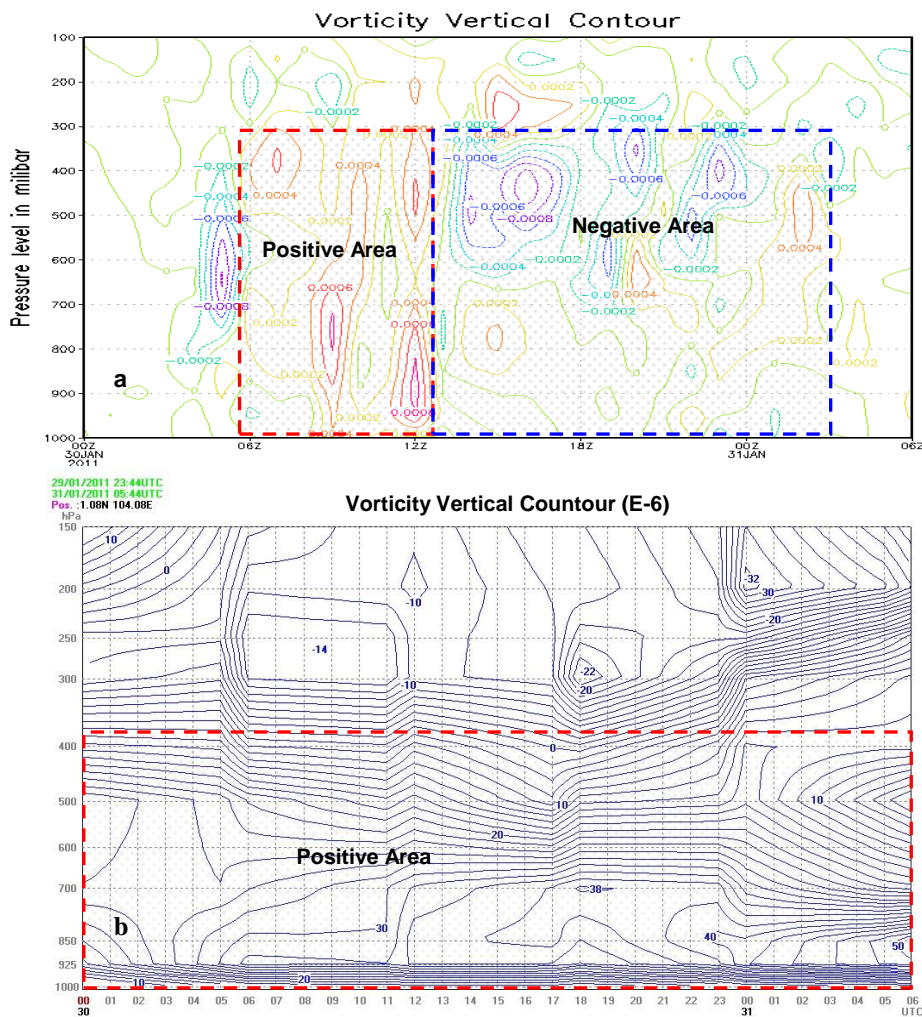
yang dikarenakan selisih nilai sangat besar antara WRF dan SATAID untuk tiap jamnya. Namun dalam perbandingan dengan kondisi di lapangan terutama pada pencatatan hujan, fluktuasi divergensi dan pergerakan nilai WRF lebih memenuhi untuk proses pertumbuhan awan yang kuat hingga hujan lebat.

Perbandingan Vortisitas WRF dan SATAID

Kondisi vortisitas erat kaitannya dengan potensi pengangkatan massa

udara dalam menunjang proses konveksi yang menyebabkan awan-awan konvektif. Pada kasus hujan lebat yang terjadi di Batam, vortisitas nilai positif merupakan potensi pengangkatan massa udara karena terjadi putaran (vortex) dengan skala

mikro. Hal tersebut sangat identik dengan lapisan permukaan, namun tidak menutup potensi kejadian di lapisan atas. Nilai vortisitas secara vertikal temporal akan menambah detail identifikasi proses pertumbuhan dan peluruhan awan (hujan).



Gambar 6. (a) Kontur vertikal vortisitas WRF dan (b) Kontur vertikal vortisitas SATAID

Perbandingan nilai vortisitas WRF dan SATAID secara vertikal temporal pada kasus hujan lebat dapat memberikan gambaran tentang sensitivitas baik WRF maupun SATAID

dalam analisis kondisi dinamika atmosfer yang terjadi. Perbandingan tersebut ditampilkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan perbedaan pola yang dihasilkan WRF

dan SATAID. Seperti yang diketahui bahwa vortisitas di belahan bumi utara bernilai positif maka berpotensi ada pengangkatan massa udara sedangkan nilai negatif menyebabkan sebaliknya. Pada WRF, secara umum kondisi vortisitas vertikal secara temporal terbagi menjadi 2 area yaitu area positif dan area negatif. Area positif WRF menampilkan adanya potensi pembentukan awan yang kuat antara jam 06 hingga 12 UTC tanggal 31 Januari 2011. Sedangkan pada jam-jam berikutnya merupakan area negatif dimana nilai vortisitas didominasi nilai negatif yang mengindikasikan adanya pergerakan massa udara yang turun dan diasumsikan sebagai kondisi hujan lebat. Sedangkan pada SATAID, nilai vortisitas positif mendominasi lapisan permukaan hingga 400 mb sejak awal hingga akhir. Sehingga diasumsikan terjadi pertumbuhan awan yang terus-menerus dan sulit mengindikasikan waktu terjadinya hujan lebat.

Perbandingan antara nilai vortisitas dari WRF dan SATAID juga dilakukan seperti pada nilai divergensi (Lampiran 2.a & 2.b). Nilai vortisitas hasil WRF (Lampiran 2.a) mempunyai *range* fluktuasi yang tinggi sehingga dapat dilihat perpotongan garis antar lapisan isobarik yang menandakan adanya kondisi yang dinamis. Nilai

vortisitas positif pada series yang ditampilkan terletak antara jam 06 hingga 15 UTC tanggal 30 Januari 2011. Pada jam-jam tersebut nilai vortisitas semua lapisan isobarik positif, menandakan aktifitas konveksi kuat dalam pembentukan awan dengan nilai maksimum hampir mencapai -10^{-3}s^{-1} .

Nilai vortisitas SATAID (Lampiran 2.b) mempunyai pola yang hampir sama dengan nilai divergensinya. Pola yang hampir sama tersebut adalah adanya kondisi pertumbuhan awan yang terjadi sepanjang series. Kondisi tersebut terlihat statis dan kurang cocok dengan kondisi di lapangan dimana terjadi hujan yang lebat dengan waktu yang tidak kontinu. Nilai positif pada semua lapisan isobarik yang terjadi dari awal hingga akhir merupakan perbedaan signifikan dari nilai vortisitas hasil WRF.

Dari hasil perbandingan nilai divergensi pada lapisan permukaan (surface/SFC), 1000 mb, 850 mb, 700 mb, dan 500 mb pada titik $1,1^{\circ}$ LU dan $104,1^{\circ}$ BT, didapatkan nilai korelasi dan RMSE pada Tabel 3.

Hasil korelasi antara WRF dan SATAID hampir sama dengan korelasi divergensinya. Sebab umum korelasi yang lemah tersebut juga dimungkinkan karena perbedaan perhitungan WRF dengan SATAID. Jika dikaitkan dengan

kondisi di lapangan yang terjadi hujan yang dihasilkan WRF terlihat lebih lebat secara tidak kontinu, vortisitas dinamis dibandingkan SATAID.

Tabel 3. Korelasi dan RMSE antara nilai vortisitas WRF dan SATAID

Level isobarik	KORELASI	RMSE (E-6)
Permukaan	-0,40	178,17
1000 mb	-0,18	135,77
850 mb	-0,08	227,91
700 mb	0,03	277,69
500 mb	-0,37	375,80

KESIMPULAN

Perbandingan divergensi dan vortisitas antara model WRF dan luaran SATAID pada kasus hujan lebat di Batam tanggal 30-31 Januari 2011 dengan mengambil titik di stasiun meteorologi Hang Nadim Batam menunjukkan bahwa :

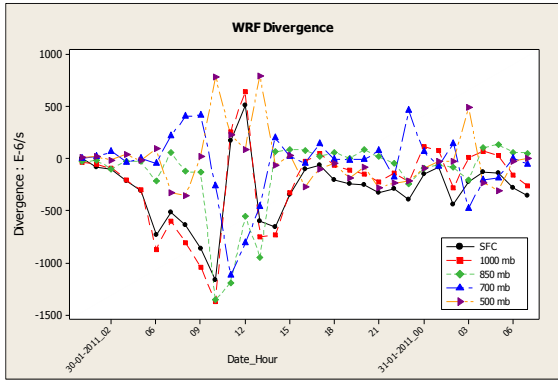
1. Nilai divergensi dan vortisitas WRF cenderung lebih besar dibanding SATAID.
2. Nilai divergensi dan vortisitas WRF lebih fluktuatif dibanding SATAID. Hal tersebut menunjukkan kondisi di WRF lebih dinamis dan selaras dengan kondisi hujan lebat.
3. Kondisi divergensi dan vortisitas vertikal secara temporal hasil WRF lebih cocok dalam mengidentifikasi kondisi pertumbuhan awan dan peluruhan awan (hujan).

DAFTAR PUSTAKA

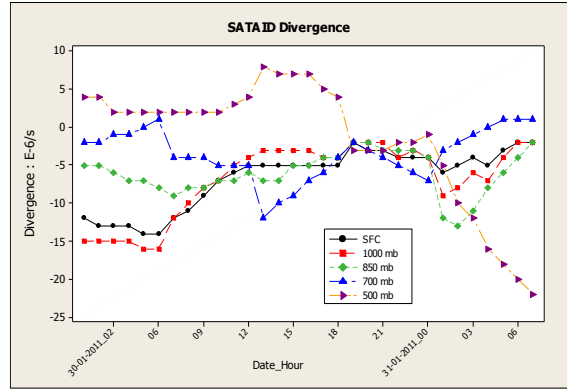
- Andriyanto, R., 2011. *Modul Diklat Teknis Meteorologi Publik : Interpretasi Citra Satelit*. Pusat Meteorologi Publik. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Arif, F.M., Gernowo, R., dan Febrianty, D. 2012. Analisa Data Curah Hujan Stasiun Klimatologi Semarang Dengan Model Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Berkala Fisika* Vol. 15, No. 1 2012 Hal. 21 – 26.
- Endarwin. 2010. Deteksi Potensi Gerak Vertikal Atmosfer Di Atas Wilayah Bandung Dan Sekitarnya. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. Vol. 11 No. 1 Hal 44 – 51.
- Fadholi, A. Pengolahan Data Citra Satelit MTSAT Menggunakan Aplikasi Sataid (Sattelite Animations And Interactive Diagnosis). *Jurnal Informatika dan Komputasi STMIK Indonesia Jakarta*. Vol.7 No.1.
- Hariadi T.E., 2010, Telaah Profil Divergensi Dan Vortisitas Luaran GCM CSIRO-9 Serta Hubungannya Dengan Curah Hujan . *Jurnal LAPAN*.

- Harsa, H., dkk. 2011. Pemanfaatan Sataid Untuk Analisa Banjir dan Angin Puting Beliung : Studi Kasus Jakarta dan Yogyakarta. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 12 No. 2. Hal 197-205.
- Holton, J.R., 2004. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press: International Geophysics Series Volume 88, Fourth Edition.
- JMA. 2006. *SATAID Operation Manual*. Japan Meteorology Agency (JMA).
- Seto, T.H., 2000. Mengapa Hanya Sedikit Awan Konvektif Yang Tumbuh di Atas Daerah Bandung Pada Periode 10 Desember 1999 s.d 04 Januari 2000?. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 1, No. 1. Hal. 61-66.
- Sulung, G, dkk. 2011. *Pengaruh Parameterisasi Kumulus terhadap Simulasi Angin Kencang di Makassar dengan Menggunakan WRF*. Bandung: ITB.
- Susanti, S., dkk. 2013. Analisis Tingkat Kekeringan Menggunakan Parameter Cuaca di Kota Pontianak dan Sekitarnya. *Jurnal Prisma Fisika*. Vol. I No. 2. Hal. 75-81.
- Wahyudi, T., dkk. 2011. *Pelatihan Model WRF*. Bandung: ITB.

LAMPIRAN 1

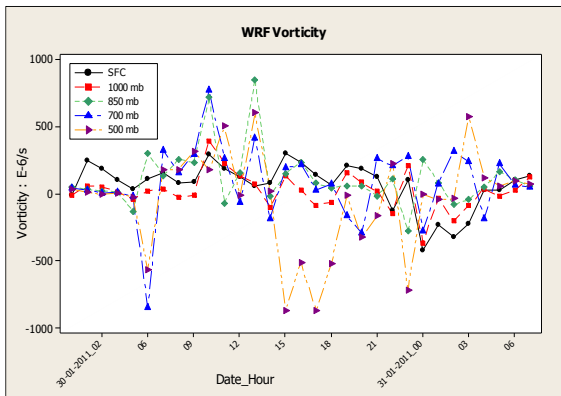


a. Grafik divergensi hasil olahan WRF

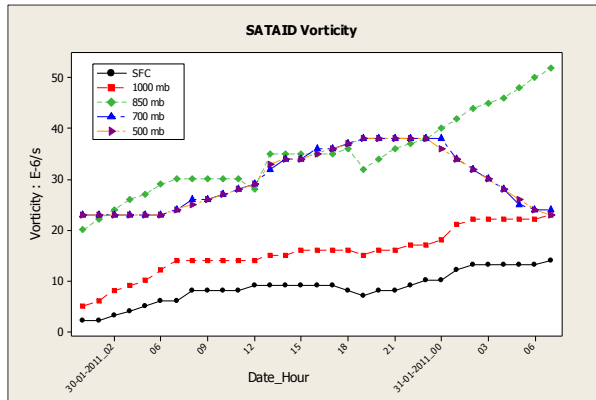


b. Grafik divergensi hasil olahan SATAID

LAMPIRAN 2



a. Grafik vortisitas hasil olahan WRF



b. Grafik vortisitas hasil olahan SATAID