

SIMULASI ANGIN KENCANG DI BANDARA INTERNASIONAL LOMBOK DENGAN MODEL WRF TANGGAL 15 MARET 2012

Annisa Fauziah

ABSTRACT

On March, 15th 2012 a strong winds occurred in Lombok International Airport (BIL). The wind blowing at a speed over 35 knots at 14.00 pm until 15.00 pm where it is very disturbing the airlines activities and also damaging the infrastructures in the airport. To illustrate the strong winds in BIL and to know the reliability of the model, then the simulation with methods observation and experimental by WRF-ARW version 3.1 had to do. In this study, radiation scheme was tested toward wind speed to get the best scheme. After that, running the FNL data by the best scheme and also for the GFS data prediction to get the output to be analyzed. WRF-ARW output showed indicate that strong winds that occurred on March 15, 2012 in BIL due to a low pressure area in the South Indian Ocean of Lombok Island. The result showed that the best radiation scheme is RRTM-Dudhia with correlation value is 0,5 and RMSE value is 5,4. The model can illustrated the strong wind event very well, that can be seen by the output of the model either FNL or GFS data don't have a big difference value with the observation data. The wind speed of the model is about 40 knots that almost same as the observation data.

Keywords: extreme weather, strong wind, WRF.

ABSTRAK

Pada tanggal 15 Maret 2012 terjadi peristiwa angin kencang di Bandara Internasional Lombok (BIL) dengan kecepatan lebih dari 35 knot pada pukul 14.00 WITA hingga 15.00 WITA. Hal ini sangat mengganggu aktifitas penerbangan serta merusak infrastruktur di wilayah bandara. Untuk menggambarkan angin kencang di BIL serta mengetahui sejauh mana kehandalan model, maka dilakukan kajian dengan metode eksperimental dengan model WRF-ARW versi 3.1, serta dilakukan uji skema radiasi terhadap kecepatan angin permukaan untuk mendapatkan skema radiasi terbaik, kemudian me-running data FNL dengan skema terbaik tersebut serta melihat hasil prediksi dengan me-running data GFS. Hasil luaran model WRF-ARW menunjukkan bahwa angin kencang yang terjadi pada tanggal 15 Maret 2012 di BIL disebabkan karena adanya pusat tekanan rendah di Samudera Hindia Selatan Pulau Lombok. Skema radiasi terbaik adalah skema RRTM-Dudhia dengan nilai korelasi 0,5 dan RMSE 5,4. Model WRF-ARW mampu menunjukkan dengan baik kejadian angin kencang di BIL tanggal 15 Maret 2012, hal ini terlihat pada produk keluaran arah dan kecepatan angin permukaan, yang memiliki nilai tidak jauh berbeda antara model analisis maupun prediksi dengan hasil observasi. Angin permukaan diperkirakan mencapai 40 knot, dimana hal tersebut hampir sesuai dengan data observasi.

kata kunci: Angin Kencang, Cuaca Ekstrim, WRF.

PENDAHULUAN

Pada tanggal 15 Maret 2012 lalu terjadi peristiwa angin kencang di Bandara Internasional Lombok (BIL). Sepanjang hari angin bertiup dengan kecepatan lebih dari 20 knot. Pada puncaknya angin kencang bertiup dengan kecepatan lebih dari 35 knot atau 65 km/jam yang terjadi pada pukul 14.00 WITA hingga 15.00 WITA dimana hal ini sangat mengganggu aktifitas penerbangan serta merusak infrastruktur di wilayah bandara.

Analisis terhadap suatu kejadian fenomena cuaca ekstrim merupakan langkah awal untuk dapat memprediksikan suatu cuaca ekstrim kedepannya sehingga dapat mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan (Lubis, 2007). Model WRF-ARW (Weather Research and Forecasting-Advance Research WRF) versi 3.1 merupakan salah satu model regional yang saat ini banyak dikembangkan oleh kalangan ahli meteorologi dunia. Berdasarkan penelitian Listiaji (2007), model WRF-ARW ini cukup baik digunakan untuk Kajian curah hujan di pulau Lombok.

Pada penelitian ini, penulis ingin melihat sejauh mana performa WRF-ARW dalam menggambarkan peristiwa angin kencang di Bandara Internasional Lombok pada tanggal 15 Maret 2012 dengan menggunakan model WRF-ARW versi 3.1. Penggunaan model WRF-ARW diharapkan dapat digunakan untuk menganalisis dan memprakirakan fenomena atmosfer yang terjadi di suatu daerah yang tidak memiliki stasiun pengamatan cuaca.

TINJAUAN PUSTAKA

Weather Research And Forecasting (WRF)

WRF salah satu model prediksi cuaca numerik skala meso yang digunakan secara luas dalam prediksi cuaca di seluruh dunia. Model WRF-ARW memberikan beberapa kemampuan yang lebih baik dibandingkan model cuaca lainnya serta menawarkan kombinasi bermacam-macam opsi fisis. Jenis opsi fisis yang ditawarkan dari yang mudah dan efisien hingga yang canggih dari skema yang baru dikembangkan hingga skema yang sudah terbukti baik.

WRF-ARW merupakan salah satu model NWP dimana didalamnya terdapat sekumpulan system persamaan matematis komputer yang merepresentasikan secara numerik proses pembentukan cuaca di atmosfer.

Parameterisasi

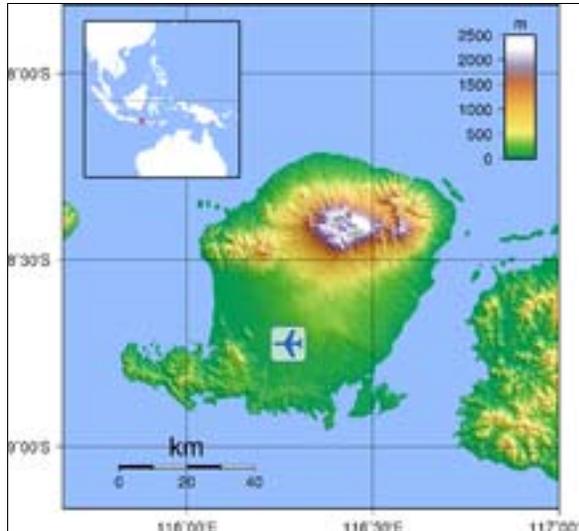
Parameterisasi merupakan cara untuk menghitung efek yang ditimbulkan oleh suatu proses tanpa memodelkan langsung proses tersebut (Tri Hadi Wahyudi, 2011). Pada penelitian ini akan dilakukan parameterisasi dengan dua opsi radiasi yang berbeda, yaitu skema radiasi gelombang panjang dan skema radiasi gelombang pendek. Tujuan dari parameterisasi transfer radiasi adalah untuk menghitung jumlah radiasi gelombang pendek dan gelombang panjang untuk kondisi bersih dan/atau berawan yang berpengaruh terhadap parameter cuaca seperti suhu permukaan, tekanan udara, dan angin.

Skema parameterisasi radiasi yang sesuai di Amerika berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Barker (2010) adalah skema radiasi gelombang panjang Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) (Mlawer dkk, 1997) dan skema radiasi gelombang pendek Dudhia (Dudhia, 1989).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Daerah penelitian meliputi Pulau Lombok yakni 115°BT -117°BT dan 7,75°LS-9°LS, khususnya pada titik kejadian di Stasiun Meteorologi Selaparang-Bandara Internasional Lombok (116,17°BT dan 8,45°LS).



Gambar 1. Peta pulau Lombok
(Sumber: <http://en.wikipedia.org>)

Tabel 1. Konfigurasi model WRF yang digunakan

Konfigurasi	Domain 1	Domain 2
Resolusi Grid Horizontal	21 km	7 km
Skema mikrofisik	WSM3	WSM3
Skema PBL	MRF	MRF
Skema Parameterisasi Kumulus	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch
Skema Radiasi Gelombang Panjang	RRTM, CAM	
Skema Radiasi Gelombang Pendek	Dudhia, CAM	
Level Vertikal	28 lapisan	

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data *Final Analysis* [*Final Global Data Assimilation System* (FNL)]

Data FNL memiliki resolusi $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (± 111 km) dengan format data WMO GRIB2. Data-data tersebut tersedia dalam 6 jam-an untuk waktu 00Z, 06Z, 12Z dan 18Z tiap hari. Data ini digunakan sebagai syarat awal dan batas model (Trilaksono, 2007). Data FNL yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *reanalysis* tanggal 14-16 Maret 2012.

2. Data GFS (*Global Forecasting System*)

Data GFS digunakan untuk input model WRF, sebagai nilai awal (*initial condition*) dan nilai batas (*boundary conditions*) dengan resolusi spasial awal 0,5 derajat (± 55 Km) dan resolusi temporal awal 3 Jam. Data GFS yang digunakan adalah data tanggal 15 Maret 2014 yang diunduh melalui situs <http://nomads.ncdc.noaa.gov>.

3. Data Observasi

Data Observasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *riil* pengamatan sinoptik angin permukaan tiap jam dari tahun 2012 hingga 2014 dari Stasiun Meteorologi Selaparang-BIL.

Metodologi

Metode penelitian yang digunakan disini adalah metode eksperimental, dimana dalam menentukan skema konfigurasi terbaik terlebih dahulu diadakan percobaan dengan

berbagai kombinasi skema radiasi yang ada untuk menentukan skema terbaik. Tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap.

Tahapan-tahapan tersebut sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data pengamatan cuaca permukaan (sinoptik) dari Stasiun Meteorologi Selaparang-BIL pada sebelum, sesaat, dan sesudah kejadian, 14-16 Maret 2012.
2. Mendownload data FNL dan GFS untuk tanggal 14-16 Maret 2013 selama 72 jam.
3. Membuat angin permukaan rata-rata bulan Maret tahun 2012-2014 dengan WRPLOTVIEW.
4. *Running WRF*
 - a. Dalam tahapan ini, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan domain. Penelitian ini menggunakan 2 domain (21 km dan 7 km) dengan titik poin berada di Stasiun Meteorologi Selaparang-BIL.



Gambar 2. Domain penelitian

- b. Menyelesaikan tahapan *pre-processing* pada WRF-Processing (WPS), yakni geogrid, ungrrib, dan metgrid.
- c. Setelah ketiga tahap tersebut selesai, maka tahap selanjutnya adalah proses numerik dalam WRF dimana dalam proses ini persamaan-persamaan fisis mulai digunakan. Tahap ini meliputi proses *real.exe* dan *wrf.exe*.
- d. Untuk tahapan *Post-Processing* digunakan ARWpost untuk mengubah data menjadi format .dat dan .ctl, proses analisis dilakukan dengan *men-display* data .ctl pada software Grads 2.0.

Konfigurasi WRF dalam penelitian ini tercantum pada tabel 1 yang menunjukkan konfigurasi yang kemungkinan cocok digunakan dalam menjalankan model WRF.

Tabel 2. Konfigurasi skema parameterisasi radiasi yang diuji

Skema	Radiasi Gelombang Panjang	Radiasi Gelombang Pendek
1	RRTM	Dudhia
2	RRTM	CAM
3	CAM	CAM
4	CAM	Dudhia

5. Melakukan uji skema terbaik dengan menggunakan luaran WRF-ARW yang berkaitan dengan kejadian angin kencang kemudian membandingkan data observasi permukaan dengan data luaran WRF-ARW menggunakan metode statistik sederhana yakni dengan mencari nilai Korelasi dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sehingga diperoleh skema radiasi yang sesuai dalam penelitian ini.

Adapun menurut Murray R. Spiegel (2008) rumus korelasi ditulis sebagai berikut:

$$r = \frac{(n \sum xy) - (\sum x \sum y)}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (3.1)$$

Dimana r merupakan korelasi dengan x, y merupakan variabel yang dibandingkan dengan x adalah nilai observasi dan y adalah nilai luaran model dan n menunjukkan banyaknya data.

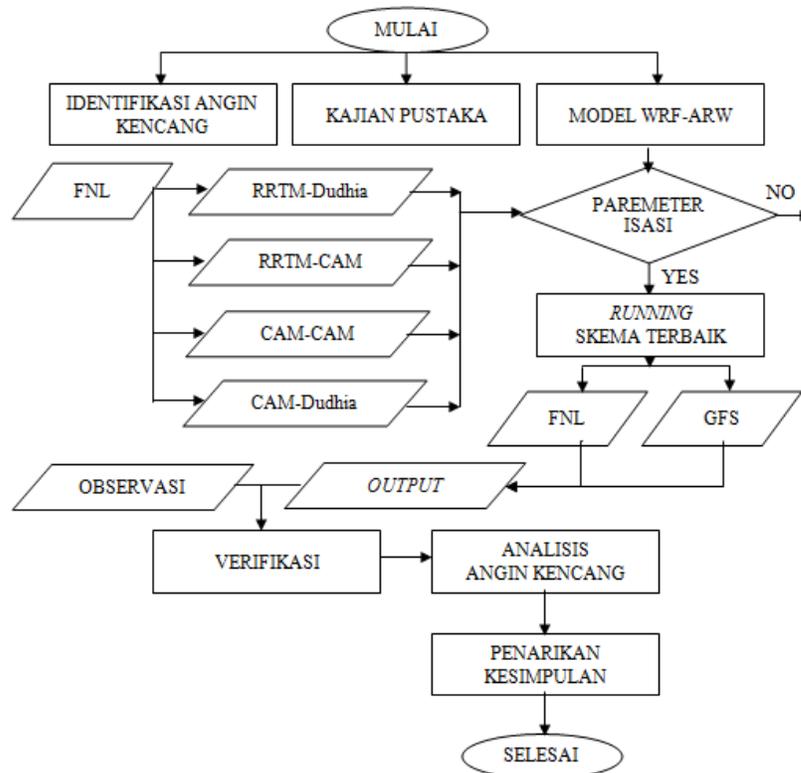
Sedangkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) dihitung untuk mendapatkan nilai yang memiliki error/kesalahan paling kecil bila dibandingkan dengan hasil observasi. Menurut WMO (2012), RMSE sering digunakan untuk menampilkan akurasi dari prakiraan dan ditulis dengan persamaan berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(F-O)^2}{N}} \quad (3.2)$$

Dimana N merupakan banyaknya data F luaran model dan O nilai hasil observasi. Jika RMSE mendekati 0, artinya nilai yang dibandingkan (nilai hasil luaran model) mendekati dengan nilai yang sebenarnya (hasil observasi). Untuk model yang sempurna mendekati hasil observasi adalah model yang nilai RMSE nya 0.

6. Me-running data GFS dengan skema terpilih untuk melihat bagaimana hasil dari Forecasting dengan model WRF-ARW.
7. Menganalisis kondisi atmosfer pada saat kejadian angin kencang dengan skema terpilih.
8. Menarik kesimpulan.

Berikut ini adalah diagram alir penelitian:

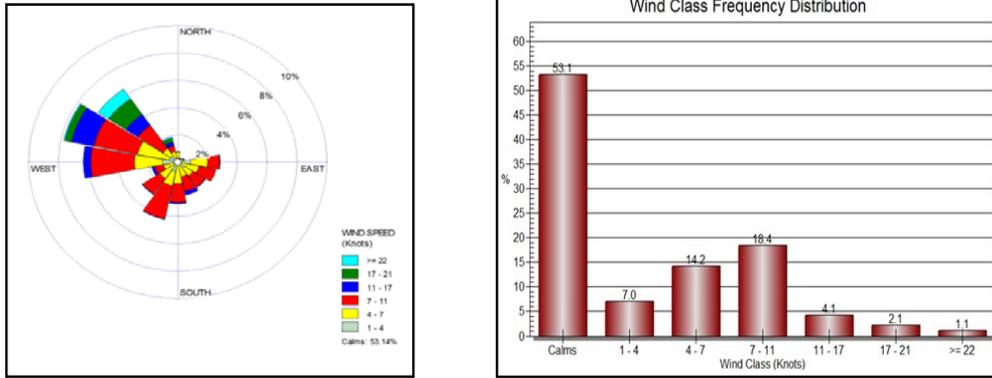


Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Klimatologis Angin Permukaan

Gambar Windrose dibawah ini menunjukkan arah dan kecepatan angin yang paling dominan pada bulan Maret.



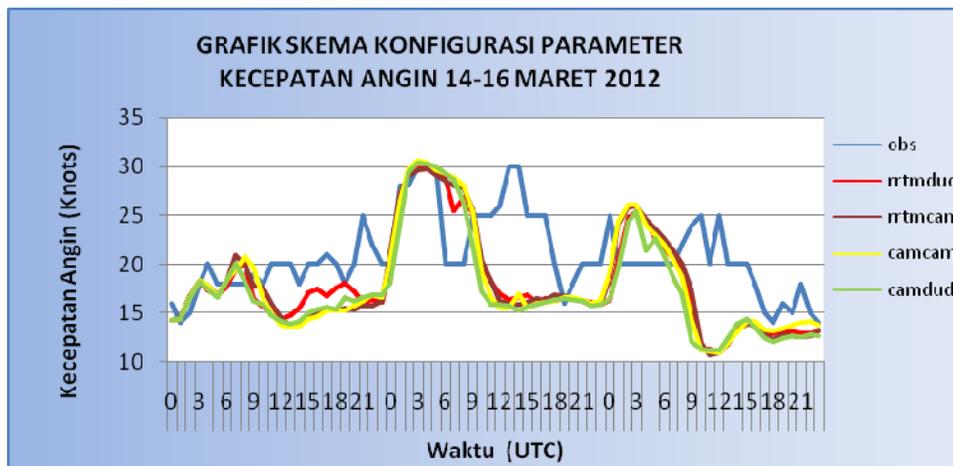
Gambar 4.(a) Windrose angin permukaan bulan Maret 2012-2014,(b) Grafik distribusi frekuensi kecepatan angin rata-rata permukaan

Terlihat angin permukaan pada bulan Maret dominan bertiup dari arah Barat hingga Barat Laut, sedangkan kecepatan angin dominan berada pada rentang 7 hingga 11 knot atau sekitar 14 hingga 22 km/jam.

Berdasarkan data observasi Stamet Selaparang-BIL tahun 2012 hingga 2014 dibuat grafik Frekuensi Distribusi kecepatan angin permukaan, terlihat bahwa frekuensi angin *Calm* sebanyak 53,1%, hal ini terjadi dikarenakan kondisi angin pada malam hingga pagi dini hari cenderung melemah. Kecepatan angin pada rentang 7 hingga 11 knot adalah terbanyak kedua yakni berkisar pada 18,4%. Untuk kecepatan angin dari 11 hingga 17 knot sebanyak 4,1% sedangkan kecepatan angin diatas 22 knot atau diatas 44 km/jam pada bulan Maret memiliki frekuensi 1,1% dapat dilihat bahwa frekuensi angin kencang diatas 22 knot dari tahun 2012 hingga 2014 merupakan frekuensi kejadian terkecil di Bandara Internasional Lombok

Uji Skema Parameterisasi

Sebelum melakukan *running* suatu model, maka perlu adanya uji terhadap skema parameterisasi untuk memperoleh skema terbaik. Berikut ini adalah grafik *time series* laju angin permukaan di Stasiun Meteorologi Selaparang-Bandara Internasional Lombok (BIL) sebagai hasil verifikasi data hasil Kajian oleh model WRF-ARW degan konfigurasi skema radiasi yang berbeda-beda.

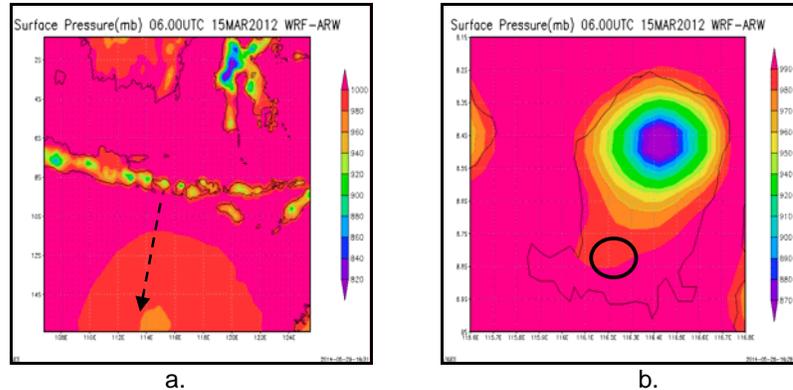


Gambar 5. Grafik skema konfigurasi parameter kecepatan angin

Pada grafik diatas, terlihat bahwa tiap tiap konfigurasi skema dapat menggambarkan laju angin permukaan dengan cukup baik. Tidaklah begitu mencolok perbedaan dari tiap-tiap skema model namun berdasarkan uji statistik secara sederhana didapatkan nilai korelasi

tiap-tiap skema terhadap data observasi yakni skema RRTM-Dudhia dimana skema radiasi gelombang panjang yaitu skema RRTM (*Rapid Radiative Transfer Model*) dan skema radiasi gelombang pendek Dudhia dengan nilai korelasi 0,5 sedangkan untuk skema RRTM-CAM, CAM-CAM dan CAM-Dudhia, memiliki nilai korelasi 0,4 terhadap data observasinya. Nilai RMSE Skema RRTM-Dudhia memiliki RMSE terkecil yakni 5,4 sedangkan untuk skema RRTM-CAM bernilai 5,7 dan untuk skema CAM-CAM bernilai 5,8 dan skema CAM-Dudhia RMSE bernilai 5,9. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kasus kajian angin kencang ini skema radiasi yang paling baik untuk digunakan adalah skema RRTM-Dudhia.

**Analisis Angin Dengan Skema RRTM-Dudhia
Analisis Tekanan Udara Permukaan**

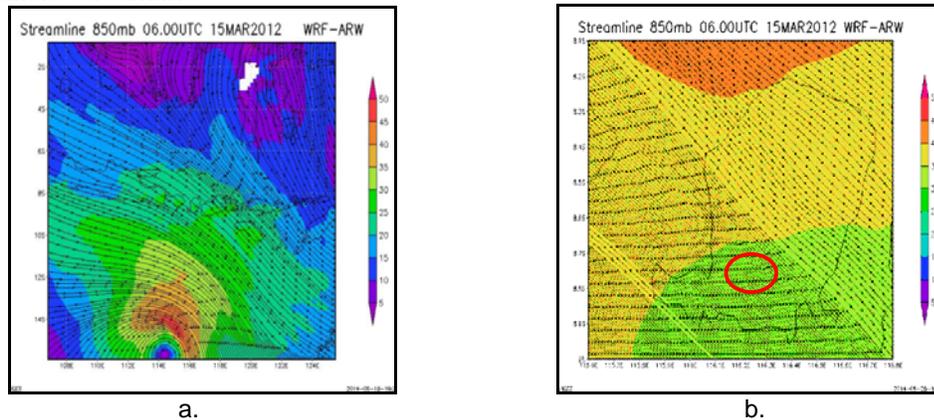


Gambar 6. (a) dan (b) Tekanan udara permukaan luaran WRF-ARW

Berdasarkan gambar 6 (a) hasil analisis luaran WRF-ARW pada tanggal 15 Maret 2012 pada jam 06.00 UTC dengan resolusi 21 km terlihat adanya pusat tekanan rendah di Samudera Hindia sebelah Selatan Pulau Lombok. Tercatat di BMKG pada tanggal 15 Maret 2012, terdapat Siklon Tropis Lua di Samudera Hindia Selatan Pulau Lombok. Pusat tekanan rendah tersebut mencapai 980 mb pada permukaannya. Hal ini berpotensi menimbulkan dampak pada kondisi angin di atas Pulau Lombok. Angin bertiup dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah, perbedaan tekanan ini berpotensi menyebabkan udara tertarik kuat menuju pusat tekanan rendah.

Gambar 6 (b) menunjukkan tekanan udara permukaan luaran WRF-ARW dengan resolusi 7 km. Terlihat tekanan udara permukaan di Pulau Lombok diatas 990 mb kecuali di sekitaran Gunung Rinjani (3.726 mdpl) dimana tekanan udaranya yang cenderung rendah. Tekanan Udara diatas Pulau Lombok lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara di Samudera Hindia Selatan Lombok, hal ini mengindikasikan adanya perbedaan tekanan yang cukup tinggi yang menyebabkan massa udara bergerak menuju pusat tekanan rendah di Selatan Lombok.

Analisis Streamline



Gambar 7. (a) dan (b) Streamline luaran WRF-ARW

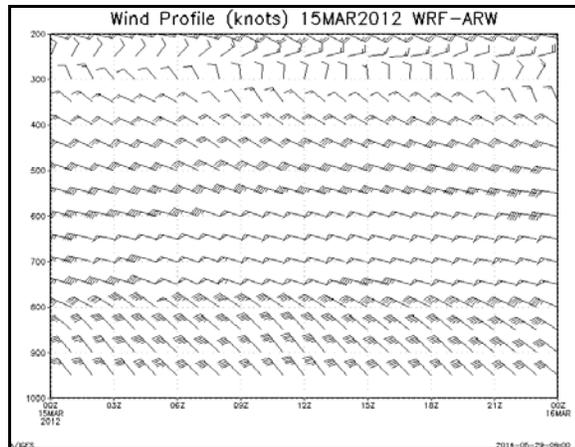
Gambar 7(a) merupakan gambar analisis *streamline* lapisan 850 mb luaran WRF-ARW dengan resolusi 21 km. Gambar 7(b) menunjukkan analisis *streamline* lapisan 850 mb luaran WRF-ARW dengan resolusi 7 km, terlihat adanya pola yang sama pada kedua *streamline* tersebut.

Angin yang bertiup di atas Pulau Lombok dari arah Barat Laut, terlihat adanya pusaran angin di Samudera Hindia selatan Lombok dengan kecepatan angin berkisar 30 hingga 50 knot atau sekitar 60 hingga 100 km/jam. Terlihat adanya pusaran angin dimana pada pusatnya kecepatan angin lemah, hal ini mengindikasikan adanya pusat tekanan rendah pada tanggal 15 Maret 2012.

Analisis Angin Perlapisan

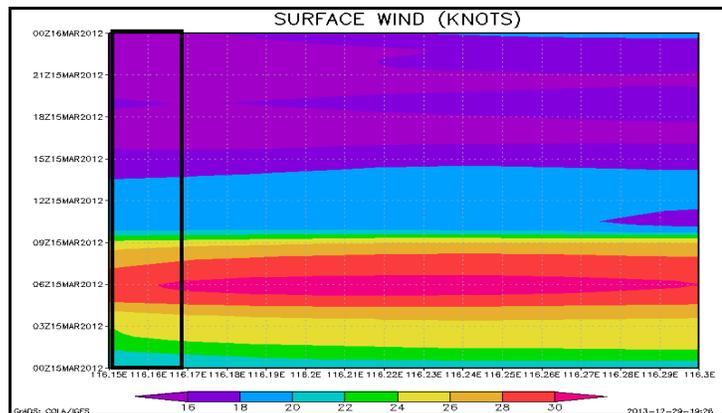
Dari hasil analisis diagram perubahan waktu untuk arah dan kecepatan angin perlapisan terlihat bahwa arah angin pada lapisan 950 hingga 850 mb angin bertiup dari arah barat laut. Pada pagi hari kecepatan angin berkisar antara 35-40 knot, kecepatan ini semakin bertambah dari siang hingga malam hari, angin berhembus dengan kecepatan 40-45 knot atau sekitar 80-90 km/jam.

Pada lapisan 750 hingga 600 mb angin bertiup dari arah barat dengan kecepatan mencapai 50 knot, sedangkan pada lapisan 550 hingga lapisan 350 mb kecepatan angin berangsur-angsur menurun hingga 15 knot. Pada lapisan 300 hingga 200 mb arah angin dari utara hingga timur dengan kecepatan angin berkisar antara 10 hingga 25 knot.



Gambar 8. Diagram perubahan temporal analisis angin perlapisan

Analisis Hovmoller Kecepatan Angin Permukaan



Gambar 9. Diagram Hovmoller analisis angin permukaan

Terlihat bahwa kecepatan angin dari pukul 00.00 UTC hingga pukul 05.00 UTC kecepatan angin di pagi hari sudah bertiup cukup kencang berkisar 20 knot hingga 28 knot dan meningkat lagi dari pukul 05.00 UTC hingga pukul 07.00 UTC angin yang mencapai lebih dari 30 knot. Berdasarkan grafik diatas hasil luaran WRF-ARW menunjukkan nilai kecepatan angin pada saat kejadian angin kencang pada tanggal 15 Maret 2012 pukul 06.00 UTC menunjukkan nilai 30 knot, sama dengan yang ditunjukkan hasil observasi dapat diketahui bahwa perbandingan nilai kecepatan angin permukaan dengan data observasi cukup baik. Keduanya memiliki pola variasi yang hampir sama.

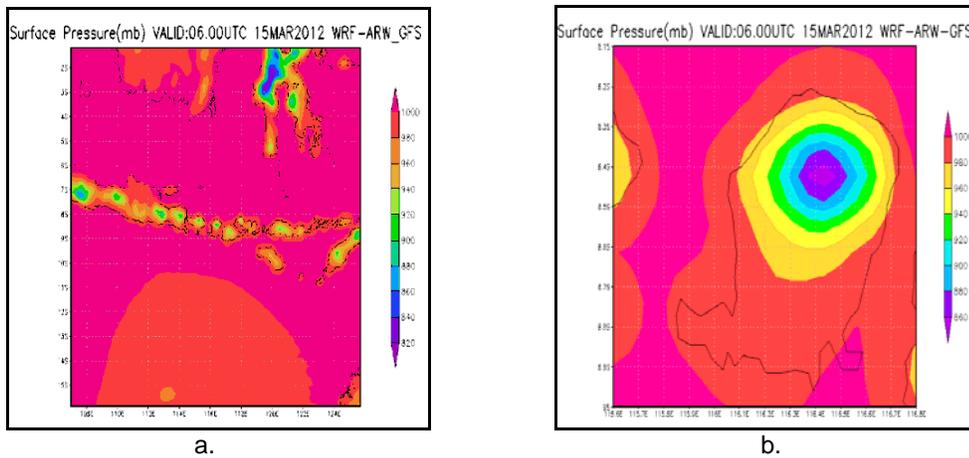
Berikut adalah diagram temporal kecepatan angin permukaan hasil luaran WRF-ARW pada tanggal 15 Maret 2012.

Prakiraan Angin Dengan Skema RRTM-Dudhia

Setelah didapatkan uji skema radiasi terbaik, serta me-running data reanalysis dalam hal ini penulis melakukan perilaku yang sama terhadap data GFS untuk mengetahui bagaimana hasil daripada prakiraan angin pada inisial waktu jam 00.00 UTC tanggal 15 Maret 2012. Adapun hasil luaran prakiraan menggunakan model WRF-ARW adalah sebagai berikut:

Prakiraan Tekanan Udara Permukaan

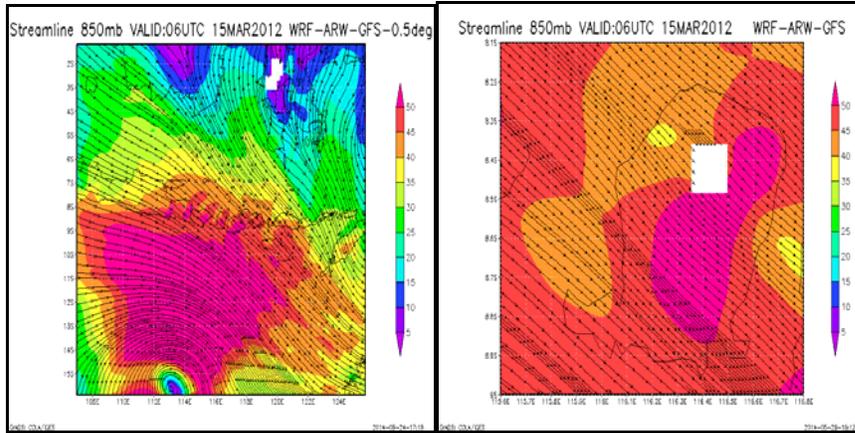
Berdasarkan hasil prakiraan luaran WRF-ARW pada jam 06.00 UTC terlihat adanya pusat tekanan rendah di Samudera Hindia selatan Lombok yang mencapai 980 mb. Sementara tekanan udara permukaan di kawasan Lombok bagian Tengah (BIL) diprakirakan berkisar 990 hingga 1000 mb. Perbedaan tekanan inilah yang mengindikasikan adanya gerakan udara dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan rendah yang menimbulkan angin kencang.



Gambar 10. (a) dan (b) Prakiraan tekanan permukaan

Prakiraan Streamline

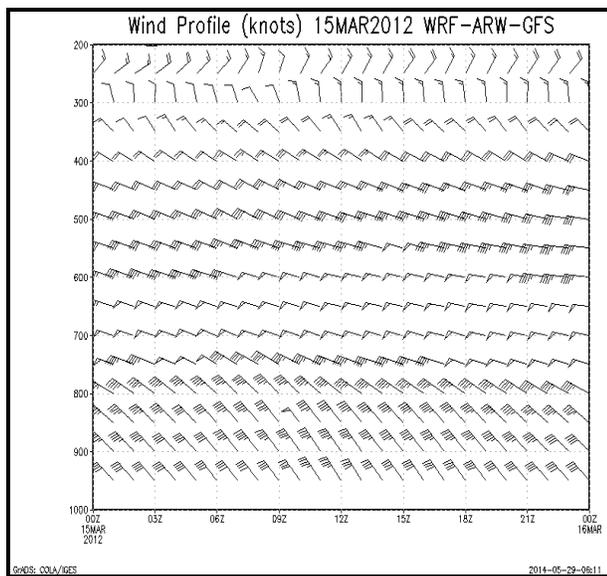
Dari hasil luaran WRF-ARW streamline 850 mb dengan menggunakan data GFS diperoleh kondisi prakiraan arah dan kecepatan angin yakni dari arah barat laut dengan kecepatan berkisar antara 40 hingga 50 knot pada jam 06.00 UTC di wilayah Bandara Internasional Lombok. Terlihat adanya pusaran angin di Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Lombok. Hal ini mengindikasikan adanya pusat tekanan rendah.



a. b.
Gambar 11. (a) dan (b) Prakiraan angin 850mb

Prakiraan Angin Perlapisan

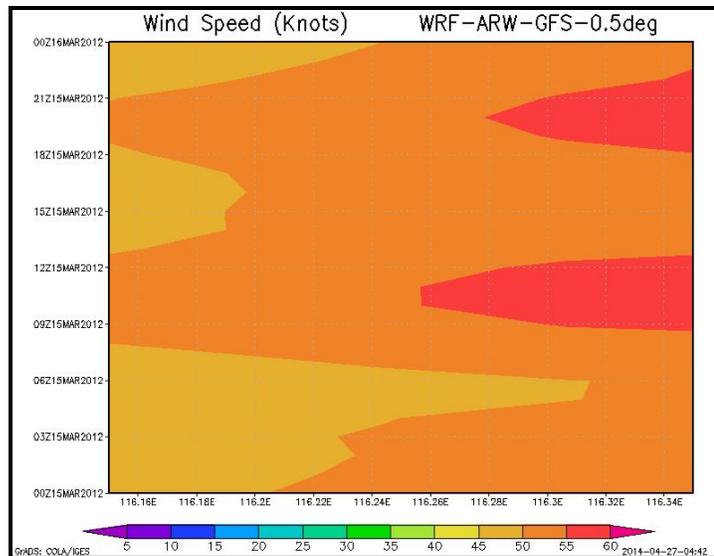
Dari diagram perubahan waktu untuk angin perlapisan, terlihat bahwa di prakirakan angin pada lapisan 950mb hingga 850mb berkisar antara 40 hingga 45 knot, sedangkan profil angin di lapisan 750 hingga 650 mb kecepatan angin berkisar 45 hingga 50 knot. Hal ini mengindikasikan pada tanggal 15 Maret 2012 sepanjang hari angin bertiup kencang dari lapisan bawah hingga lapisan atas.



Gambar 12. Diagram perubahan temporal prakiraan angin perlapisan

Prakiraan Hovmoller Kecepatan Angin Permukaan

Berikut dibawah ini adalah diagram temporal prakiraan kecepatan angin permukaan hasil luaran WRF-ARW pada tanggal 15 Maret 2012 di wilayah Bandara Internasional Lombok. Angin permukaan diprakirakan bertiup dengan kecepatan berkisar 40 knot pada jam 00.00 UTC hingga jam 07.00 UTC sedangkan pada jam 08.00 UTC diprakirakan kecepatan angin meningkat hingga 50 knot. Pada jam 13.00 UTC kecepatan angin diprakirakan berkisar 40 knot dan kembali meningkat mencapai 50 knot pada jam 18.00 UTC.



Gambar 13. Diagram Hovmoller prakiraan angin permukaan

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis output WRF-ARW, angin kencang di BIL pada tanggal 15 Maret 2012 disebabkan karena adanya Pusat Tekanan Rendah di Samudera Hindia Selatan Lombok.
2. Berdasarkan hasil uji skema parameterisasi radiasi, diperoleh skema radiasi terbaik untuk kecepatan angin di Bandara Internasional Lombok yaitu skema RRTM-Dudhia yang ditunjukkan dengan nilai korelasi terbesar sebesar 0,5 dan nilai RMSE terkecil sebesar 5,4.
3. Model WRF-ARW mampu menggambarkan dengan baik kejadian angin kencang di Bandara Internasional Lombok tanggal 15 Maret 2012, hal ini terlihat pada produk keluaran arah dan kecepatan angin permukaan, tekanan udara yang memiliki nilai tidak jauh berbeda antara model analisis maupun prediksi dengan hasil observasi.
4. Berdasarkan hasil running data GFS, model WRF-ARW dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat prakiraan cuaca, hal ini terlihat dari hasil running pada tanggal 15 Maret 2012 di Bandara Internasional Lombok, angin permukaan diprakirakan mencapai 40 knot, dimana hal tersebut hampir sesuai dengan data observasi, sehingga prakirawan dapat mengeluarkan warning/peringatan dini bagi pengguna jasa maupun masyarakat sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens C. Donald, *Meteorology Today*, 9th Edition, 2009.
- Anzhar, Kurnia. *Kajian lapisan Batas Planeter Berdasarkan Hasil Kajian model Meteorologi Skala Meso*. Institut Teknologi Bandung. 2006.
- ARW Version 3 Modeling System User's Guide January 2010.
- Baker, D., T. Downs, Mike Ku, W. Hao, Gopal S., M. Kiss, Matt J., D. Brown. 2010. Sensitivity Testing of WRF Physics Parameterizations for Meteorological Modeling and Protocol in Support of Regional SIP Air Quality Modeling in the OTROTC. *WRF Protocol* 3/11/10.
- BMKG. (2010). *Keputusan No.009 Tentang Prosedur Standart Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi cuaca ekstrim*. BMKG: Jakarta.
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077–3107.
- Fithra M.S,Zeki.2009.*Kajian Puting Beliung Indonesia (Studi Kasus Kajian Puting Beliung Kediri Desember 2007 dengan menggunakan Model WRF)*. Program Studi Meteorologi,Skripsi , FITB ITB, Bandung.



- Holton, J. R.. 2004. *An Introduction to Dynamic Meteorology 4th Edition*. Elsevier Academic Press, USA.
- Kalnay, E. 2003. *Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Listiaji, Eko. *Kajian Curah Hujan di Atas Pulau Lombok Studi Kasus Bulan Januari 2007*. Institut Teknologi Bandung. 2009.
- Lutgens et.al. *The Atmosphere, 8th Edition*, 2001.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated k-model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, 102 (D14), 16663–16682.
- Mooney, P.A, F. J. Muligan, R. Fealy. 2013. Evaluation of the Sensitivity of the Weather Research and Forecasting Model to Parameterization Schemes form Regional Climates of Europe over the Period 1990–95. *Journal of Climate*, 26, pp. 1002-1017.
- Spiegel, Murray R., Larry J. Stephens. 2008. *Theory and Problems of Statistics Fourth Ed.* McGraw-Hill Companies, Inc., New York. DOI: 10.1036/0071485848.
- Sulung, Gintang dkk. *Pengaruh Parameterisasi Kumulus terhadap Kajian Angin Kencang di Makassar dengan Menggunakan WRF*. Institut Teknologi Bandung.
- Tastula, Esa M., Vihma T. 2011. WRF Model Experiments on the Antarctic Atmosphere in Winter. *Published Online*, pp 1279-1291.
- Wahyudi, Hadi T., I. D. Gd. A. Junnaedhi, Luthfi I. Satrya, M. Santriyani, M. P. Anugrah, D. T. Octaria. 2011. *Pelatihan Model WRF*. ITB, Bandung.
- WMO. 2012. *Appendix A-Verivication Indexes*. Secretary of World Meteorology Organization: Geneva.