

REANALISIS WEATHER RESEARCH AND FORECAST - FOUR DIMENSION DATA ASSIMILIATION (WRF-FDDA) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI ESTIMASI POTENSI ENERGI ANGIN DI DAERAH LEPAS PANTAI (STUDI KASUS: PANTAI SELATAN JAWA BARAT)

Nurry Widya Hesty^{*)1}, Tri Wahyu Hadi^{)}**

***) Puslitbangtek Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi,
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
JI Ciledug Raya Kav. 102 Cipulir Kebayoran Lama 12230**

*****) Program Studi Sains Kebumihan
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
Institut Teknologi Bandung
JI Ganesha 10 Bandung 40132
¹e-mail: nurry.hesty@gmail.com**

Diterima 4 Agustus 2015, Direvisi 12 Oktober 2015, Disetujui 18 Desember 2015

ABSTRACT

An accurate and high resolution wind energy potential maps are needed to encourage the development of wind energy industry in Indonesia. In this study, offshore wind energy resource mapping in the southern West Java area was carried out with the state-of-the-art atmospheric simulation using Weather Research and Forecast (WRF) model. In order to improve its accuracy, nudging of Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) wind data was applied with Four Dimension Data Assimilation (FDDA) technique. Sensitivity test was also performed with comparison using six planetary boundary layer (PBL) parameterizations in sampled cases. It is found that (Yonsei University) YSU PBL parameterization produced smallest error against observational data and selected to run the model simulation throughout one year period of 2008. Model results are verified against observational data from the anemometric mast at Sukabumi. The results show that the FDDA technique can reduce RMSE and reproduce similar wind distribution patterns to the wind measurement data. Here, we show the analyses of the model performance to evaluate the improvements through the assimilation.

Keywords: WRF, FDDA, the potential of wind, Offshore

ABSTRAK

Peta potensi energi angin lepas pantai yang akurat, memiliki resolusi tinggi, dan tidak tergantung pengukuran *insitu* sangat dibutuhkan untuk mengurangi biaya pengukuran langsung dan mendorong pengembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia. Dalam penelitian ini, dilakukan teknik asimilasi data *nudging* FDDA untuk memperbaiki akurasi model cuaca skala meso WRF di lepas pantai selatan Jawa Barat menggunakan data angin permukaan *laut Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) sebagai data asimilasi. Tes sensitifitas dilakukan dengan membandingkan enam buah parameterisasi *Planetary Boundary Layer* (PBL) terhadap sampel. Hasil uji menyatakan skema PBL *Yonsei University* (YSU) menjadi skema yang paling mendekati data stasiun pengamatan dan terpilih untuk dijalankan sepanjang 2008. Hasil model diverifikasi dengan data stasiun pengukuran di Sukabumi. Hasil verifikasi menunjukkan asimilasi data FDDA dapat mereduksi nilai RMSE dan menghasilkan pola distribusi angin mirip dengan data stasiun pengukuran.

Kata kunci: *WRF, FDDA, Potensi angin, Lepas pantai*

1 PENDAHULUAN

Usaha identifikasi potensi energi angin berupa pemasangan menara anemometer telah dilakukan di beberapa wilayah Indonesia. Analisis potensi energi angin di daerah Sukabumi hasil pengukuran menara anemometer sepanjang 2008 berdasarkan laporan kegiatan kajian potensi angin dari P3TKEBTKE-KESDM 2008 menunjukkan faktor kapasitas turbin referensi baik untuk Bonus 1 MW maupun Bonus 2 MW adalah sebesar 23%. Faktor kapasitas tersebut masih cukup kecil dibandingkan kajian beberapa jenis turbin angin (Boccard, 2008) yang mencapai 20%-50%. Saat ini telah terpasang *pilot project* PLT Angin 100 KW di lokasi menara anemometer tersebut yang kinerjanya masih dalam penelitian. Walaupun menurut hasil kajian tersebut potensi energi angin di Sukabumi cukup baik, namun potensi energi angin lepas pantainya diharapkan lebih menjanjikan. Beberapa kajian tentang kecepatan angin lepas pantai laut Eropa bagian utara dan laut Mediterania (Pontes, 2007), di lepas pantai Denmark (Barthelmie, 1999), dan di laut Baltic (Lange *et al.*, 2004) menyebutkan kecepatan angin lepas pantai lebih tinggi karena turbulensi yang lebih rendah dan kekasaran permukaan air lebih rendah. Akan tetapi pemahaman karakteristik angin lepas pantai Indonesia masih sangat terbatas, terlebih karena data pengukuran *Automatic Weather Station* (AWS) wilayah tersebut tidak ada. Pengukuran angin lepas pantai menjadi tugas yang sulit, tidak hanya karena butuh fondasi dan struktur menara yang kuat, tetapi juga menjadi tantangan besar untuk menyediakan *power supply* dan transfer data yang kontinu, termasuk juga kesulitan memelihara dan memperbaiki jika ada kerusakan. Kesulitan-kesulitan tersebut menyebabkan pengukuran angin lepas pantai membutuhkan biaya tinggi.

Pemodelan cuaca numerik skala meso seperti *Weather Research and Forecasting* (WRF) menawarkan kemampuan mensimulasikan angin di daerah yang sedikit atau bahkan tidak ada stasiun pengukuran. Di lain pihak, hasil model WRF sering memiliki kekurangan dalam akurasi. Usaha untuk meningkatkan akurasi hasil model melalui penetapan kondisi awal yang akurat dikenal dengan teknik asimilasi data. Teknik asimilasi data yang umum dipakai adalah metode statistik (*optimal interpolation* (OI) dan *Kalman Filter*, metode variasional (3D-Var dan 4D-Var), serta metode empiris yang dikenal dengan metode *nudging Four Dimension Data Assimilation* (FDDA).

Dibandingkan metode statistik dan variasional, metode *nudging* FDDA memiliki formula matematika yang jauh lebih sederhana berdasarkan teknik interpolasi yang sederhana. Metode ini memberikan hasil yang baik dan tidak membutuhkan sumberdaya komputasi yang besar (Lorenc, 1986). Dalam penelitian yang dilakukan di wilayah Colorado, Stauffer *et al.* (1994), teknik *nudging* FDDA pada model *Fifth-*

Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) menghasilkan data set yang sesuai dengan pengamatan dan mewakili topografi lokal dan efek konvektif.

Estimasi potensi energi angin lepas pantai yang akurat, memiliki resolusi tinggi, dan tidak tergantung pengukuran *insitu* sangat dibutuhkan untuk mengurangi biaya pengukuran langsung dan mendorong pengembangan teknologi PLT Angin di Indonesia. Karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk menyelidiki karakteristik dan estimasi potensi energi angin lepas pantai melalui model yang akurat. Teknik asimilasi data *nudging* FDDA pada model skala meso WRF di lepas pantai Indonesia dilakukan untuk memenuhi tujuan tersebut. Hasil model kemudian diverifikasi dengan data pengukuran angin di ketinggian 10, 30, dan 50 m.

2 METODOLOGI

Model prediksi cuaca numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Advanced Research WRF (WRF- ARW) Ver 3.1*. Domain simulasi adalah wilayah selatan Jawa Barat (Gambar 2-1) menggunakan tiga kali *downscaling* dengan tujuan mendapatkan pola cuaca yang lebih detail sesuai dengan kondisi lokal seperti topografi dan garis pantai. Resolusi domain ketiga yaitu 3 km diharapkan cukup baik untuk meninjau kejadian angin kencang.

WRF dijalankan dalam dua skema operasi. Skema yang pertama sebagai kontrol, yaitu WRF dijalankan tanpa data asimilasi hanya menggunakan data FNL sebagai kondisi awal dan batas. Skema kedua WRF dijalankan dengan teknik asimilasi data *nudging* FDDA menggunakan data angin permukaan laut CCMP.



Gambar 2-1: Domain model yang digunakan dalam simulasi

Pada setiap skema diuji sensitifitas parameterisasi *Planetary Boundary Layer (PBL)*. Hal ini didasarkan pada penelitian Draxl *et al.* (2014) yang menyatakan kinerja model cuaca numerik skala meso untuk energi angin pada ketinggian rotor turbin sangat tergantung pada pemilihan parameterisasi lapisan batas planet (PBL) dalam model. Uji PBL dilakukan hanya pada domain ketiga. Konfigurasi parameterisasi model dapat dilihat pada Tabel 2-1. Dalam tabel tersebut dapat dilihat ada 6 uji skema PBL dipakai dalam simulasi. Uji sensitifitas PBL mengambil sampel 5 hari dengan melihat kejadian kecepatan angin tertinggi data stasiun pengamatan pada masing-masing musim DJF (Desember-Januari-Februari), MAM (Maret-April-Mei), JJA (Juni-Juli-Agustus), dan SON (September-Oktober-November). Validasi model dilakukan terhadap

data anemometer sepanjang 2008 yang berlokasi di desa Ciemas, Sukabumi. Menara tersebut memiliki 3 titik ketinggian pengukuran, yaitu di ketinggian 10m, 30m, dan 50m.

Enam buah parameterisasi PBL diuji pada model WRF tanpa nudging menghasilkan skema Yonsei University (YSU) sebagai dua skema parameterisasi yang memiliki Root Mean Square Error (RMSE) paling kecil sehingga lebih mendekati data observasi Sukabumi. Hal ini berarti pola kecepatan angin lokasi menara anemometer Sukabumi digambarkan paling baik oleh skema YSU. Selanjutnya parameterisasi PBL YSU dijalankan pada kedua skema operasi sepanjang 2008.

Model menggunakan 35 level sigma, dengan 10 level berada di bawah ketinggian 500m. Verifikasi dan analisis dilakukan terhadap hasil model yang diinterpolasi ke ketinggian 10m, 30m, dan 50m di atas permukaan tanah sesuai dengan data pengukuran Sukabumi. Ketinggian 50 m juga merupakan ketinggian standar hub turbin angin dan pembuatan peta potensi energi angin.

Verifikasi data secara kualitatif dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data pengukuran secara time series. Metode verifikasi secara kuantitatif yang digunakan yaitu nilai Root Mean Square Error (RMSE), Root Mean Square Vector Error (RMSVE), bias, dan korelasi. Selanjutnya output model berupa peta color-code yang merepresentasikan kecepatan angin (m/det) pada ketinggian 50 m digunakan untuk mengidentifikasi lokasi berpotensi.

Meskipun kecepatan angin telah didapatkan dan memenuhi persyaratan dalam besarnya kecepatan namun masih terdapat faktor lain yang harus diperhatikan dalam pemasangan pembangkit energi angin diantaranya kedalaman air, jarak lepas pantai (dari garis pantai) dan taman nasional laut. Jarak lepas pantai dari pantai kurang dari 5 m tidak diperbolehkan menurut International Energy Agency (IEA) untuk menghindari kerusakan habitat laut dan gangguan bagi kapal. Sedangkan jarak 25 km atau lebih sangat berpengaruh terhadap kenaikan biaya kabel koneksi jaringan. Oleh karena itu lokasi lepas pantai berpotensi dalam penelitian ini dibatasi berjarak 20 km dari pantai.

Tabel 2-1: SKEMA KONFIGURASI MODEL

	D1	D2	D3
Periode	29 Januari – 14 Desember 2008		
Resolusi horisontal (km)	27	9	3
Level vertikal	35	35	35
PBL	YSU	YSU	Model Asymmetric Convective (ACM2) Model Medium Range Forecast (MRF) Model Mellor–Yamada–Janjic (MYJ) Model Quasi-Normal Scale Elimination (QNSE) Skema Yonsei University (YSU) Mellor–Yamada–Nakanishi–Niino Level 2 (MYNN2)

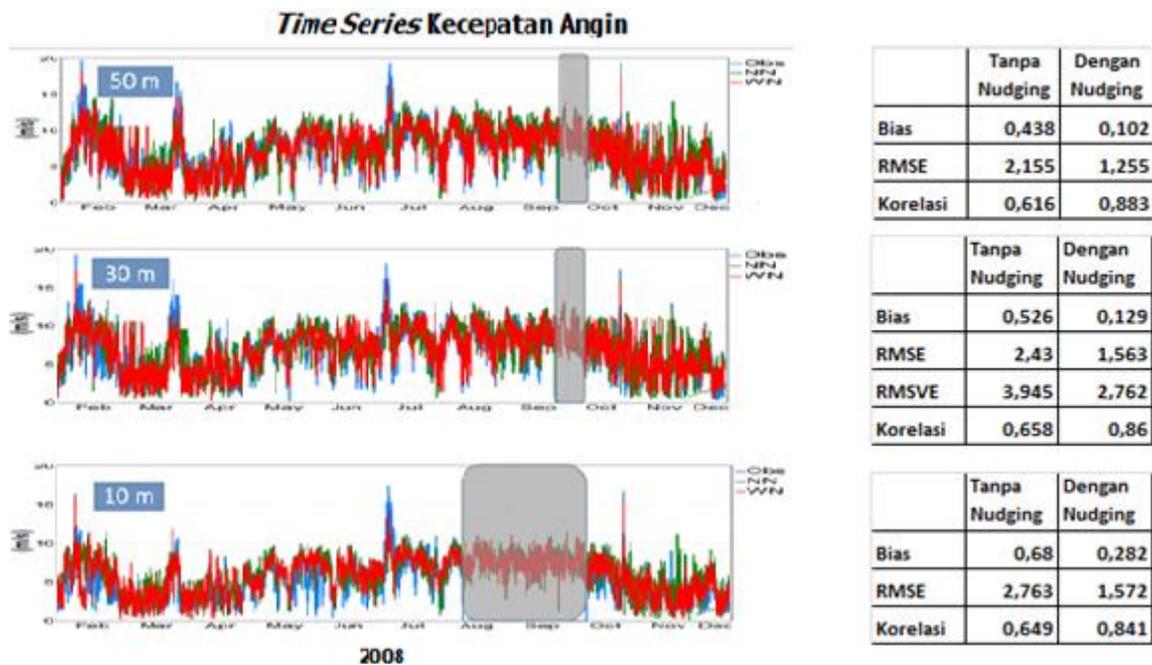
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Verifikasi Hasil Simulasi 1 Tahun

Time series kecepatan angin rata-rata per jam diperoleh dari model WRF dengan dan tanpa nudging di lokasi stasiun Sukabumi. Time series sepanjang 2008 di tiga ketinggian, yaitu 10 m, 30 m, dan 50 m ditampilkan pada Gambar 3-1. Daerah yang diberi bayangan (shading) merepresentasikan data kosong yaitu saat anemometer

mengalami kerusakan sehingga tidak merekam data. Data observasi, model tanpa nudging (NN), dan model dengan nudging (WN) masing-masing direpresentasikan dengan grafik warna hijau, biru, merah. RMSE tereduksi secara signifikan antara model tanpa nudging dan model dengan nudging. Hasil simulasi dengan nudging di ketinggian 50m, korelasi mencapai 88% dan RMSE sebesar 1,3 m/det. Terlihat bahwa model tanpa nudging dan dengan nudging keduanya menunjukkan overestimasi terhadap data pengukuran. Namun model dengan nudging memperkecil overestimasi sehingga menurunkan error.

Penelitian Fajrin (2014) menyebutkan penggunaan *Power Law* dengan nilai konstanta *wind shear* 1/7 sangat bervariasi dan sensitif terhadap siklus pemanasan dan pendinginan udara permukaan serta tinggi kekasaran permukaan sehingga menyebabkan estimasi kecepatan angin disuatu lokasi dan ketinggian tertentu memiliki RMSE cukup tinggi. Dilain pihak penelitian Ameldam (2012) mengatakan penggunaan data satelit seperti *National Centers for Environmental Prediction-Final* (NCEP-FNL) dan CCMP secara langsung sangat tidak disarankan untuk merepresentasikan data observasi atau untuk estimasi kecepatan angin suatu wilayah dikarenakan data satelit memiliki resolusi yang kasar. Beberapa teknik *statistical downscaling* yang dilakukan Ameldam (2012) terhadap kedua data satelit tersebut ternyata tidak mampu mereduksi nilai RMSE secara signifikan.



Gambar 3-1: Time series kecepatan angin data observasi, model tanpa nudging, dan model dengan nudging sepanjang 2008 diketinggian 10 m, 30m, dan 50 m

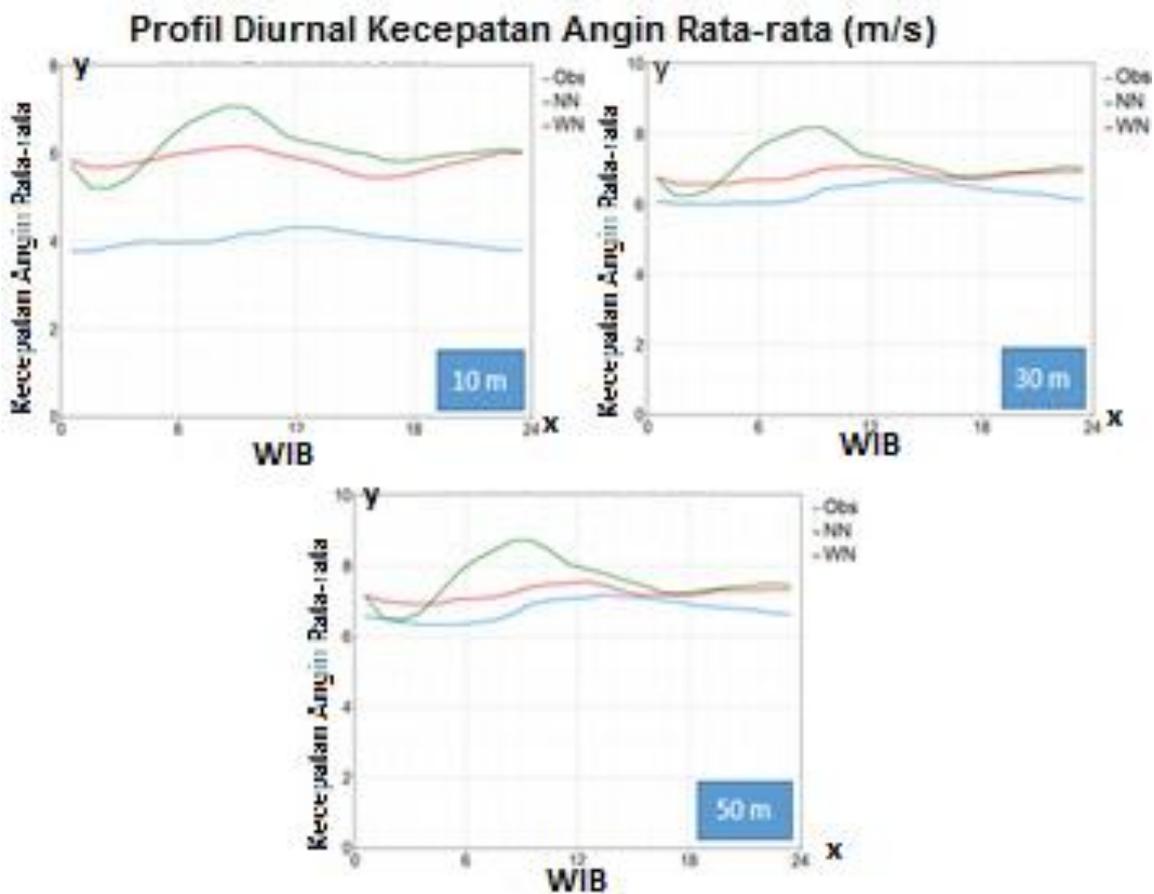
Berdasarkan kajian tersebut di atas, penelitian yang dilakukan penulis di wilayah Sukabumi menggunakan metode *dynamical downscaling* yang memperhatikan kondisi fisis dan dinamis atmosfer dalam perhitungan skala *grid*-nya untuk memperoleh resolusi lebih tinggi. Lebih khusus, perlakuan teknik asimilasi data nudging FDDA pada *dynamical downscaling* pada wilayah kajian menghasilkan data set angin yang memenuhi kriteria yang diajukan Emery (2001) sebagai panduan model meteorologi untuk angin yaitu untuk kecepatan angin nilai $RMSE \leq 2$ m/det dan $-0,5 \leq Bias \leq 0,5$.

Profil diurnal kecepatan angin rata-rata diperlihatkan pada Gambar 3-2. Data pengukuran, model tanpa nudging, dan model dengan nudging masing-masing direpresentasikan oleh garis biru, hijau, dan merah. Model tanpa nudging dan dengan nudging memiliki tren yang mirip dengan data pengukuran, namun model dengan nudging

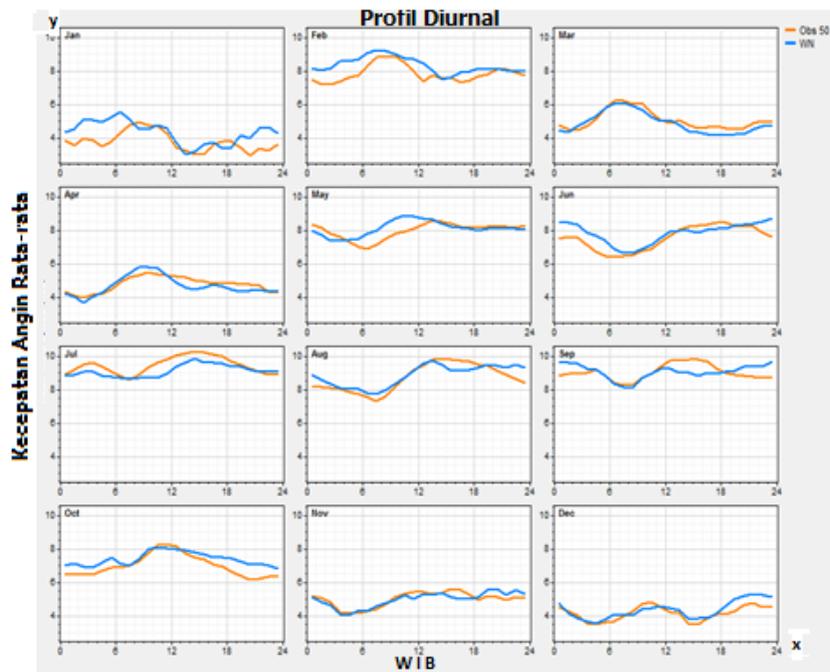
nudging lebih mendekati data pengukuran. Dari gambar tersebut dapat dilihat kecepatan angin maksimum terjadi di siang hari antara pukul 10.00 sampai dengan pukul 14.00. Hal ini dikarenakan pada siang hari proses pencampuran (*mixing*) udara lebih kuat dibandingkan pada malam hari. Selain itu di siang hari terjadi fluktuasi suhu yang besar di permukaan dan juga antara daratan dan lautan sehingga fluktuasi tekanan yang mempengaruhi pergerakan angin juga semakin besar. Sedangkan pada malam hari kecepatan angin berkurang karena radiasi matahari tidak ada sehingga pemanasan tidak terjadi.

Kecepatan angin lebih tinggi di siang hari, mulai pukul 10.00 dan cenderung konstan sampai pukul 14.00, kemudian mulai menurun seiring terbenamnya matahari. Ketika itu, permukaan Bumi mulai mendingin relatif terhadap udara di atasnya. Lapisan batas terstratifikasi stabil, kecepatan angin permukaan *calm*, sedangkan kecepatan angin lapisan atasnya meningkat. Karena pada malam hari tidak terjadi pencampuran, kecepatan angin antara lapisan atas dan bawahnya terpisah. Kecepatan angin menurun secara bertahap sampai mencapai nilai tertentu dan kemudian konstan sampai matahari mulai terbit. Siklus ini terjadi konsisten selama satu hari, seiring dengan siklus pemanasan dan pendinginan udara lapisan permukaan.

Dengan mengetahui variasi harian dari kecepatan angin, dapat diketahui saat-saat dimana angin bertiup kencang dalam satu hari, sehingga dapat digunakan untuk menentukan berapa jam dalam sehari semalam energi angin di daerah tersebut dapat dipergunakan untuk menggerakkan turbin.



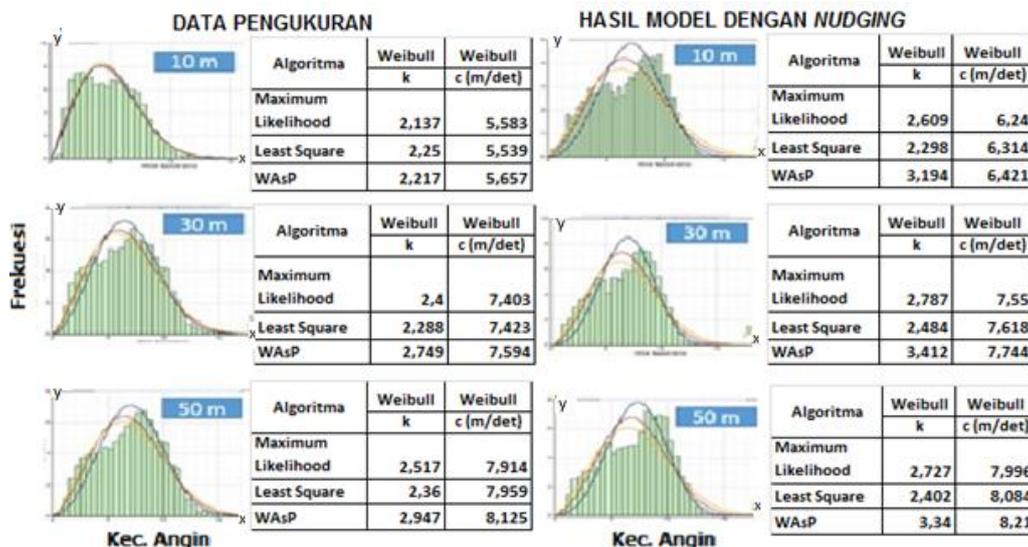
Gambar 3-2: Profil diurnal kecepatan angin data observasi, model tanpa *nudging*, dan model dengan *nudging* di ketinggian 10 m, 30m, dan 50 m



Gambar 3-3: Profil diurnal kecepatan angin per bulan data observasi (merah), dan model dengan nudging (biru) di ketinggian 50 m

Gambar 3-3 memperlihatkan profil diurnal kecepatan angin per bulan antara data observasi dengan hasil model nudging. Kecepatan angin lebih dari 5 m/det sangat signifikan secara kontinyu terjadi terutama pada Mei sampai Oktober. Pada periode itu wilayah pantai selatan Jawa Barat dan Sukabumi mengalami kecepatan angin yang cukup besar.

Untuk memahami pola distribusi angin dalam rentang waktu panjang dapat menggunakan fungsi Weibull. Parameter Weibull sangat diperlukan untuk menganalisa frekuensi distribusi kecepatan berdasarkan rata-rata musiman dan tahunan. Gambar 3-4 menunjukkan model dengan nudging menghasilkan parameter Weibull (c dan k) yang mendekati parameter Weibull data pengukuran. Jumlah atau durasi sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai parameter k. Semakin besar nilai k maka semakin besar durasinya. Nilai c disebut sebagai parameter skala. Semakin besar nilai c maka kurva akan bergeser ke arah kecepatan angin tinggi dan semakin banyak jumlah hari yang memiliki tiupan angin kencang, demikian juga sebaliknya.

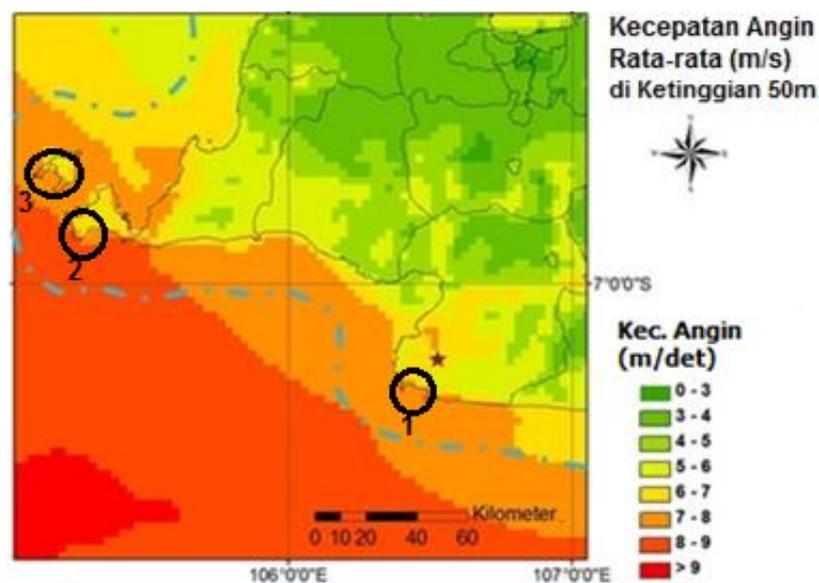


Gambar 3-4: Perbandingan Distribusi Weibull di ketinggian 10m, 30m, dan 50m antara data observasi dengan model nudging

Gambar 3-4 menunjukkan model dengan *nudging* memiliki distribusi Weibull yang lebih ‘runcing’ dibanding data observasi, hal ini menunjukkan data observasi lebih tersebar dan memiliki *range* kecepatan angin yang lebih besar. Frekuensi data observasi pada angin kecepatan tinggi memiliki *range* yang lebih besar dari pada model WN, yang berpengaruh pada perkiraan besarnya rapat daya yang dihasilkan.

3.2 Peta Potensi Energi Angin Lepas Pantai

Keluaran model dengan *nudging* selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi potensi energi angin. Menurut panduan *Energy Sector Management Assistance Program* (ESMAP) keluaran standar model skala meso yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi potensi angin adalah peta *color-code* yang merepresentasikan data kecepatan angin (m/det) pada ketinggian standar *hub* turbin angin. Peta tersebut memberikan gambaran mengenai lokasi yang potensial untuk pengembangan energi angin.



Gambar 3-5: Kecepatan angin rata-rata tahun 2008 di ketinggian ketinggian 50 m

Gambar 3-5 merupakan peta kecepatan angin rata-rata di ketinggian 50m. untuk wilayah *on shore*, kecepatan angin yang tinggi (6 – 7 m/det) terjadi di Sukabumi tempat menara anemometer terpasang (dilambangkan dengan bintang), Pandeglang, dan sepanjang pantai selatan. Kecepatan angin tersebut cukup menjanjikan karena umumnya kecepatan angin rata-rata yang digunakan sebagai *cut in* turbin angin komersial adalah 5 m/det. Sementara kecepatan angin di daerah *offshore* (direpresentasikan dengan garis putus-putus warna biru, dengan jarak 20 km dari garis pantai) menunjukkan angka lebih dari 7 m/det, yang artinya potensi daya listrik yang dihasilkan akan jauh lebih besar. Lokasi potensial untuk *offshore* adalah Ujung Genteng, Ujung Kulon, dan Pulau Panaitan (ditunjukkan berturut-turut dengan angka 1, 2, 3 pada Gambar 3-5). Wilayah Sukabumi terlihat memiliki kecepatan angin rata-rata yang cukup tinggi dibandingkan wilayah darat lainnya. Kabupaten Sukabumi merupakan daerah yang berbukit-bukit sehingga kemungkinan mekanisme *channeling* menjadi faktor yang mempercepat aliran angin. Mekanisme memungkinkan terjadinya angin lokal yang kencang di ujung terowongan atau celah antara dua gunung atau bukit.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Metode FDDA pada WRF memperbaiki akurasi model dengan mereduksi *error*. RMSE hasil simulasi dengan FDDA di ketinggian 50 m menurun menjadi sebesar 1,255

m/det dibandingkan tanpa FDDA yaitu sebesar 2,155 m/det. Penggunaan metode WRF-FDDA menghasilkan data set kecepatan angin sesuai panduan model meteorologi angin yang diajukan Emery (2001). Peta hasil simulasi menunjukkan Sukabumi menjadi lokasi *on shore* yang memiliki potensi energi angin menjanjikan. Wilayah Sukabumi memiliki topografi pegunungan di sebelah utara yang memungkinkan terjadinya mekanisme *channeling* sehingga mempercepat aliran angin.

Identifikasi awal berdasarkan peta hasil simulasi, untuk lokasi *offshore* yang memiliki potensi besar adalah Ujung Genteng, Ujung Kulon, dan Pulau Panaitan. Penelitian dan validasi lebih lanjut diperlukan untuk menunjang identifikasi awal ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk penyediaan data pengukuran Sukabumi sebagai data verifikasi dan sumberdaya komputer untuk menjalankan simulasi model.

DAFTAR RUJUKAN

- Ameldam, P., 2012. *Pengujian Data NCEP-FNL Dan CCMP Untuk Potensi Energi Angin (Studi Kasus Di Jawa Barat)*, Skripsi ITB.
- Barthelmie, R. J., 1999. *The Effects Of Atmospheric Stability On Coastal Wind Climates*, Meteorol Appl, 6, 39-47.
- Boccard, N., 2009. *Capacity Factor of Wind Power. Energy policy*, Oxford: Elsevier, ISSN 0301-4215, ZDB-ID 1862959. - Vol. 37, 2679-2688.
- Draxl C., Andrea N. Hahmann, Alfredo Peña, Gregor Giebel, 2014. *Evaluating Winds And Vertical Wind Shear From Weather Research And Forecasting Model Forecasts Using Seven Planetary Boundary Layer Schemes*, Wind Energy, 17:1, 39-55.
- Fajrin, A., 2014. *Variabilitas Profil Angin di Wind Farm Pantai Pandan Simo Ditinjau dari Koefisien Wind Shear*, Skripsi ITB.
- Lange, B., 2004. *Comparison of Wind Conditions of Offshore Wind Farm Sites in the Baltic and North Sea*, Proceedings of the German Wind Energy Conference DEWEK 2004, Wilhelmshaven, Germany.
- Lange, B., S. Larsen, J. Hojstrup, and R. Barthelmie, 2004. *Importance of Thermal Effects and Sea Surface Roughness for Offshore Wind Resource Assessment*, J Wind Eng Ind Aerod, 92, 959-988.
- Lorenz A., 1986. *Analysis Methods For Numerical Weather Prediction*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc, 112, 1177-1194.
- Pontes, M-T, Sempreviva, AM, Barthelmie, R., Giebel, G., Costa, P., 2007. *Integrating Offshore Wind And Wave Resource Assessment*, Proc. 7th European Wave and Tidal Energy Conference, Porto, Portugal.
- P3TIKEBIKE-Kementerian ESDM, 2008. *Laporan Penelitian Kajian PLT Angin di Indonesia Bagian Timur*.
- Stauffer, D.R., Seaman, N., 1994. *Multiscale Four-Dimensional Data Assimilation*, Journal of Applied Meteorology, vol. 33, 416-434.

