

APLIKASI METODE ENSEMBLE MEAN UNTUK MENINGKATKAN RELIABILITAS PREDIKSI HyBMG

APPLICATION OF ENSEMBLE MEAN TO IMPROVE RELIABILITY OF HyBMG FORECAST

Kurnia Endah Komalasari^{1*}, Yuaning Fajariana¹, Tri Astuti Nuraini¹, Rian Anggraeni¹

¹Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa I/No.2 Kemayoran, Jakarta 10720

*E-mail: nangdare01@gmail.com

Naskah masuk: 03 Juli 2015, Naskah diperbaiki: 21 September 2016, Naskah diterima: 28 September 2016

ABSTRAK

Tingginya variasi curah hujan di Indonesia mengakibatkan sulit untuk menentukan model prakiraan iklim yang memiliki validitas dan reliabilitas terbaik. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan model prakiraan iklim dengan akurasi yang lebih baik dengan menggunakan metode ensemble mean. Metode ensemble mean menggabungkan hasil prediksi dari empat model prakiraan iklim berbasis statistik yang terintegrasi ke dalam software HyBMG, yaitu ARIMA, ANFIS, Wavelet ANFIS, dan Wavelet ARIMA. Berdasarkan hasil uji coba terhadap data curah hujan dari tahun 2003-2012, ensemble mean dapat meningkatkan performa dari hasil prakiraan iklim dengan *single method*; hasil prakiraan iklim untuk metode ARIMA dapat meningkat hingga 44.4%, ANFIS 43.4%, Wavelet ARIMA 55.6%, dan Wavelet ANFIS hingga 58.6%.

Kata kunci: Ensemble Mean, curah hujan, TRMM, Prediksi

ABSTRACT

The high rainfall variability in Indonesia makes it difficult to determine the climate forecast models that have the best reliability and validity. This study was conducted to obtain climate forecasting model with better accuracy using the ensemble mean. This method combines prediction results from four statistical climate models integrated within the HyBMG software, i.e. ARIMA, ANFIS, ANFIS Wavelet and Wavelet ARIMA. Based on test results of the 2003-2012 rainfall data, the ensemble mean method is proven to improve the performance of climate forecasts results with only one single method; for ARIMA the improvement is up to 44.4%, ANFIS 43.4%, ARIMA Wavelet 55.6%, and Wavelet ANFIS 58.6%.

Key Words: Ensemble Mean, Rainfall, TRMM, Prediction

1. Pendahuluan

Presipitasi merupakan butir-butir air atau kristal es yang keluar dari awan yang berhasil mencapai bumi [1]. Sementara hujan adalah salah satu bentuk presipitasi yang berbentuk cairan yang terbentuk apabila titik air yang terpisah jatuh ke bumi dari awan. Daur ini berlangsung dari lembaban laut yang menguap, berubah menjadi awan, terkumpul menjadi awan mendung lalu turun kembali ke bumi sebagai hujan dan akhirnya kembali ke laut melalui sungai dan anak sungai [2]. Presipitasi disebagian besar di dunia turun ke tanah sebagai hujan kemudian diukur pada permukaan sebagai jumlah curah hujan dalam satuan mm atau intensitas hujan mm/jam [3]. Sementara curah hujan (mm) merupakan ketinggian air hujan yang jatuh pada tempat yang datar dengan asumsi tidak

menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) mm adalah air hujan setinggi 1 (satu) mm yang jatuh (tertampung) pada tempat yang datar seluas 1 m² dengan asumsi tidak ada yang menguap, mengalir dan meresap [4].

Seiring dengan perkembangan teknologi, pengukuran observasi presipitasi tidak hanya dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan namun juga dilakukan dengan pendekatan penginderaan jauh (*remote sensing*) menggunakan satelit. Penggunaan satelit sebagai alat untuk mengukur presipitasi telah banyak dikembangkan. Walaupun bukan merupakan pengukuran langsung, namun cakupan wilayahnya yang luas membuat data ini menjadi salah satu referensi yang cukup penting untuk pengukuran hujan di suatu wilayah, khususnya di wilayah yang sulit

dijangkau. Khusus untuk wilayah tropik, saat ini telah tersedia sebuah perangkat penginderaan jauh yang melakukan misi pengukuran curah hujan di wilayah tropik menggunakan satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

Besarnya curah hujan yang akan terjadi tidak dapat ditentukan dengan pasti namun dapat diprediksi atau diperkirakan. Dengan menggunakan data historis curah hujan beberapa waktu yang lampau, maka dapat diramalkan berapa besar curah hujan yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Secara umum curah hujan di wilayah Indonesia didominasi oleh adanya fenomena-fenomena global antara lain Monsun Asia-Australia, El-Nino, sirkulasi Timur-Barat (*Walker Circulation*) dan Utara Selatan (*Hadley Circulation*) serta beberapa sirkulasi karena pengaruh lokal [5,6,7].

Saat ini telah banyak metode prediksi berbasis statistika yang dikembangkan untuk mendapatkan prakiraan iklim khususnya untuk curah hujan yang lebih akurat. Namun dengan tingginya variasi dari curah hujan di Indonesia setiap tahunnya sulit untuk dapat menentukan metode prediksi yang memiliki validitas sekaligus reliabilitas yang tinggi. Begitu juga dengan HyBMG yang merupakan salah satu model yang dikembangkan oleh Puslitbang BMKG dalam melakukan prediksi bidang iklim. Keandalan tiap metode pada HyBMG berbeda pada tiap ZOM baik secara spasial maupun temporal [8].

Salah satu metode prediksi yang dapat digunakan untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan *ensemble* (gabungan) dari metode-metode peramalan yang ada. Metode *ensemble* sejak lama telah dikembangkan dan digunakan sebagai alat peramalan pada berbagai pusat peramalan besar di dunia seperti di Eropa yang menggunakan ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) yang mengembangkan metode *ensemble* ECMWF Ensemble Prediction System sejak tahun 1993[9]. Selain itu NAEFS (North American Ensemble Forecast System) yang merupakan kerjasama antara Meteorological Service of Canada (MSC) di Canada, National Weather Service (NWS) di Amerika Serikat dan National Meteorological Service of Mexico (NMSM) di Meksiko menggunakan metode *ensemble* untuk mendapatkan hasil prediksi *ensemble* cuaca di Amerika Utara [10].

Menurut Palmer dan Leutbecher (2007) *ensemble* mempunyai arti kumpulan dari beberapa model, sehingga dapat disimpulkan bahwa peramalan dengan menggunakan konsep *ensemble* adalah peramalan yang didasarkan pada kumpulan dari beberapa model [11]. Metode *ensemble mean* adalah metode penggabungan hasil prediksi semua member dengan

merata-ratakan hasil prediksi tersebut [12]. Dalam penelitian ini diujicobakan penggunaan teknik *ensemble mean* yang menggabungkan metode-metode yang ada dalam sistem prediksi HyBMG untuk memperbaiki kualitas prediksi curah hujan.

2. Metode Penelitian

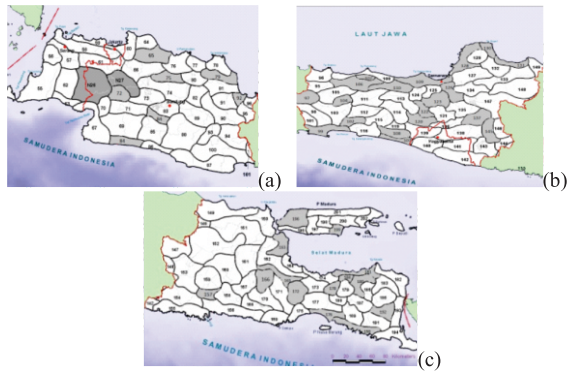
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan TRMM versi 7 yang dibentuk menjadi ZOM (Zona Musim) dengan merata-rata tiap titik yang berada pada ZOM yang sama, kemudian diagregasi kedalam format 10 harian (dasarian). Dalam penelitian ini diuji cobakan pada 99 ZOM dari periode tahun 1998-2012. Pulau Jawa terdiri atas 150 Zon Musim dan dua Zona Non musim [13]. Zona musim yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1 kecuali wilayah yang berwarna abu-abu.

Satelit TRMM memiliki resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ yang tersedia dalam beberapa resolusi waktu, yaitu: bulanan (3B43), harian (3B42), dan 3 jam (3B42). Dalam penelitian ini data TRMM yang digunakan adalah data harian (3B42).

Prediksi. Tahap prediksi dimulai dengan penyusunan data dalam format dasarian sebagai input untuk melakukan prediksi univariat dengan metode Arima, Wavelet ANFIS, Wavelet ARIMA dan ANFIS setiap lima tahun untuk prediksi tahun selanjutnya yaitu tahun 1998-2002 untuk prediksi 2003, 1999-2003 untuk prediksi 2004 hingga prediksi tahun 2012.

Dalam penelitian ini menguji cobakan 4 (empat) metode prediksi univariat yang tergabung dalam sistem prediksi yang ada dalam aplikasi HyBMG yaitu ARIMA, ANFIS, Wavelet ANFIS, dan Wavelet ARIMA. $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)T$ merupakan model campuran antara model *Autoregressive* (AR) berordo p dengan *Moving Average* (MA) berordo q yang mengalami differensiasi sebanyak d kali dan model campuran antara model musiman *Autoregressive* (AR) berordo P dengan *moving average* (MA) musiman berordo Q yang mengalami diferensiasi musiman sebanyak D kali dengan periode musiman T.

Transformasi wavelet merupakan perbaikan dari transformasi Fourier. Dimana transformasi fourier hanya dapat menangkap informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu ataukah tidak, tapi tidak dapat menangkap dimana frekuensi itu terjadi. Transformasi wavelet dapat digunakan untuk menganalisa deret waktu yang mengandung daya non stasioner pada frekuensi yang berbeda[8].



Gambar 1. Zona musim yang digunakan dalam penelitian di Wilayah Jawa (warna putih) untuk Provinsi a) Jawa Barat, b) Jawa Tengah, c) Jawa Timur.

Dalam transformasi wavelet curah hujan dianggap sebagai sinyal yang benar-benar non stationer sehingga analisis curah hujan bertujuan mengetahui periodisitas dan informasi kapan terjadinya. Untuk itu perlu suatu transformasi yang dapat memberikan tampilan waktu-frekuensi dari sinyal [14]. Transformasi wavelet dari $x(t)$ atau sinyal hujan menghasilkan *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Koefisien-koefisien ini selanjutnya direntangkan ke depan sepanjang selang tertentu sebelum kemudian disatukan kembali. Untuk prediksi curah hujan univariat dengan transformasi wavelet proses merentangkan ke depan dilakukan dengan dua metode prediksi: ARIMA dan ANFIS. Oleh karena itu metode wavelet memberikan dua hasil yaitu dari hasil transformasi *Wavelet ANFIS* dan Transformasi *Wavelet ARIMA*.

Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) yaitu sistem *fuzzy logic* yang diterapkan pada konsep jaringan *adaptive* [15]. *Neural-network* mengenal pola-pola dan menyesuaikan pola terhadap perubahan lingkungan, sedangkan *fuzzy logic* menggabungkan pengetahuan manusia dan mencari kesimpulan untuk membuat suatu keputusan.

Ensemble. Ensemble (penggabungan) dilakukan dengan mengkombinasikan beberapa metode yang berbeda ataupun mengkombinasikan suatu metode dengan parameter atau kondisi awal yang berbeda. Hasil dari keempat metode tersebut kemudian dilakukan ensemble dengan menggunakan *ensemble mean* yaitu menggabungkan hasil prediksi dengan merata-rata hasil prediksi dari ke empat metode prediksi pada waktu yang sama,

$$\bar{\psi}(\lambda, \phi) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \psi_j \quad (1)$$

Dimana $\psi(\lambda, \phi)$, merupakan hasil gabungan dari N metode prediksi yang ada dengan rata-rata λ dan varians ϕ [16].

Validasi. Validasi dilakukan dengan menghitung kedekatan pola hasil prediksi dan observasi dengan menggunakan *pearson product moment correlation coefficient* (r) yang sebelumnya dilakukan uji hipotesis korelasi. Koefisien korelasi selain untuk mengukur keeratan hubungan pada data interval dan rasio, juga menentukan arah hubungan dimana positif berarti hubungan searah sementara negatif berarti berbanding terbalik [16, 18]. Menurut Colton [19] tingkat keeratan hubungan antara dua variabel kuantitatif dibagi atas 4 kategori yaitu:

- 0 - 0.25 : tidak ada hubungan / lemah
- 0.25 - 0.5 : hubungan sedang
- 0.5 - 0.75 : hubungan kuat
- 0.75 - 1 : hubungan sangat kuat

Uji hipotesis korelasi dengan tingkat kepercayaan 95% atau tingkat kesalahan α (kesalahan menolak H_0 padahal benar) sebesar 5%. Uji hipotesis korelasi adalah sebagai berikut:

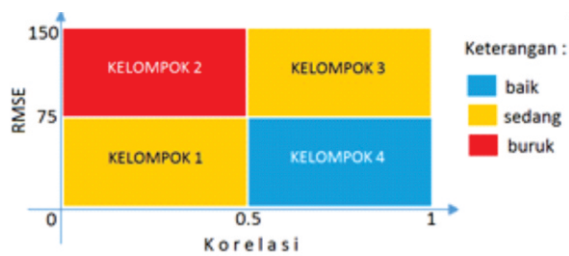
$H_0: \rho = 0$ (Tidak ada hubungan antara Observasi dan Prediksi),

$H_1: \rho \neq 0$ (Ada hubungan antara Observasi dan Prediksi)

Maka jika p -value (signifikansi) ≤ 0.05 , menunjukkan bahwa terdapat cukup bukti untuk menolak H_0 (H_0 ditolak), yang berarti bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara observasi dan prediksinya, namun jika p -value lebih besar dari 0,05 maka tidak cukup bukti untuk menolak H_0 (H_0 tidak ditolak) yang berarti bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara keduanya [20]. Kemudian dihitung berapa persen koefisien korelasi yang signifikan dari tiap metode di setiap tahunnya.

Untuk validasi model, selain menggunakan nilai korelasi juga digunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang biasa digunakan untuk mengevaluasi akurasi hasil prediksi berdasarkan selisih antara nilai observasi dan prediksi (dalam penelitian ini nilai RMSE dibatasi hingga 150mm).

Berdasarkan nilai koefisien korelasi dan RMSE, hasil prediksi kemudian dibagi menjadi empat kelompok, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Evaluasi hasil prediksi berdasarkan RMSE dan korelasi

Dalam penelitian ini prediksi dengan korelasi $>0,5$ dan $RMSE < 75$ mm dimasukkan kedalam kelompok 4 yaitu prediksi dengan memiliki akurasi baik, sementara prediksi dengan korelasi $<0,5$ dan $RMSE > 75$ mm dimasukkan kedalam kelompok 2.

Prakiraan sifat musim juga dilakukan dalam penelitian ini namun hanya untuk pada tahun 2012, evaluasi akurasi hasil prakiraan dilakukan dengan bantuan tabel kontingensi.

3. Hasil dan Pembahasan

Prediksi dilakukan terhadap 99 ZOM di wilayah Jawa dengan menggunakan metode ANFIS, ARIMA, Wavelet ANFIS dan Wavelet ARIMA yang kemudian dilakukan *ensemble mean* dari keempat metode tersebut.

Dari hasil prediksi kelima metode dilakukan perhitungan koefisien korelasi dan pengujian signifikansinya antara observasi dan kelima hasil prediksi, dengan α sebesar 5% diperoleh hasil pengujian terhadap 99 zom selama 10 tahun pengujian seperti terlihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa pengujian metode ANFIS bila dibandingkan dengan metode prediksi lainnya yaitu ANFIS, Wavelet ANFIS, Wavelet ARIMA maka metode ANFIS dapat memberikan persentase tertinggi selama tiga tahun dari 10 tahun yang diujikan yaitu pada tahun 2007, 2009 dan 2010 sementara metode lain pada tahun 2007 justru rendah. Seperti halnya wavelet ANFIS, tidak ada zom dari hasil model wavelet ANFIS yang memiliki korelasi signifikan di tahun tersebut. Kemudian metode ARIMA bila dibandingkan dengan metode prediksi lainnya yaitu ANFIS, Wavelet ANFIS, Wavelet ARIMA terlihat dapat memberikan persentase signifikan tertinggi selama empat tahun yaitu pada tahun 2003, 2006, 2008, dan 2011.

Sementara bila kita lihat hasil dari metode *ensemble mean* cukup konsisten memberikan hasil yang lebih baik hal ini ditunjukkan dari persentase wilayah yang memiliki korelasi signifikan pada α 5% selalu berada diatas 90%. Selama tahun 2003-2012 kecuali tahun 2010, ensemble mean dapat meningkatkan signifikansi koefisien korelasi untuk metode ANFIS

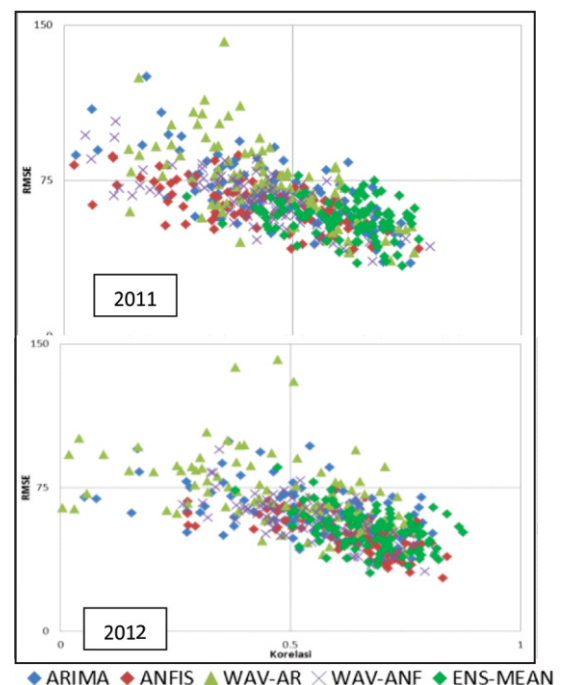
sebesar 4%, ARIMA 8%, Wavelet ANFIS hingga 24%, dan Wavelet ARIMA hingga 14%.

Hasil diagram pencar dapat dilihat pada gambar 3 (tahun 2011 dan 2012) yang kemudian dihitung persentase tiap tahunnya yaitu dari tahun 2003 hingga 2012.

Metode terbaik dalam pengujian ini adalah metode yang berada di kelompok 4 yaitu metode dengan tingkat kesesuaian pola yang tinggi dan variasi terhadap data observasi yang kecil ($r > 0.5$ dan $RMSE < 75$ mm). Persentase tiap kelompok untuk kelima metode pada tahun 2011 dan 2012 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Persentase wilayah dengan koefisien korelasi yang signifikan pada $\alpha=5\%$ untuk kelima metode selama tahun 2003-2012

Tahun	Metode				
	ANFIS	ARIMA	WavANF	WavAR	EnsMean
2003	87%	90%	78%	85%	97%
2004	95%	99%	69%	98%	99%
2005	85%	81%	82%	78%	96%
2006	86%	97%	67%	92%	98%
2007	98%	84%	0%	79%	95%
2008	96%	98%	74%	95%	97%
2009	99%	82%	91%	71%	99%
2010	75%	52%	61%	38%	63%
2011	74%	83%	74%	78%	88%
2012	96%	84%	96%	77%	98%
Rata2	89%	85%	69%	79%	93%



Gambar 3. Plot RMSE dan Korelasi hasil prediksi ke lima metode pada tahun 2011 dan 2012

Tabel 2. Persentase hasil prediksi disetiap kelompok pada tahun 2011 dan 2012

	2011				
	ARIMA	ANFIS	WavAR	WavANF	EnsMean
Kelompok ¹	27%	49%	23%	54%	18%
Kelompok ²	25%	14%	43%	24%	0%
Kelompok ³	2%	0%	4%	0%	1%
Kelompok ⁴	46%	37%	29%	22%	81%
	2012				
	ARIMA	ANFIS	WavAR	WavANF	EnsMean
Kelompok ¹	24%	15%	19%	26%	1%
Kelompok ²	12%	0%	27%	4%	1%
Kelompok ³	3%	0%	9%	1%	1%
Kelompok ⁴	61%	85%	44%	69%	97%

Pada Tabel 2 terlihat ensemble mean dapat meningkatkan akurasi hasil prediksi pada keempat metode prediksi yang diujikan, hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya persentase hasil prediksi hasil prediksi dikelompok 4 (korelasi diatas 0.5 dengan RMSE dibawah 75mm) baik pada tahun 2011 maupun 2012. Pada tahun 2012 ANFIS memberikan persentasi terbanyak di kelompok 4 sebanyak 84,8%, kemudian setelah dilakukan ensemble mean persentase prediksi dikelompok 4 meningkat menjadi 97% (naik 12,1%). Peningkatan persentase prediksi di kelompok 4 dengan metode ensemble mean terhadap keempat metode prediksi dari tahun 2003-2012 dapat dilihat pada tabel 3.

Dari sepuluh tahun yang diujikan dari tahun 2003-2012, ensemble mean secara umum dapat meningkatkan performa ARIMA hingga 44.4%, ANFIS hingga 43.4%, Wavelet ARIMA hingga 55.6%, dan Wavelet ANFIS hingga 58.6%. Walaupun pada metode ANFIS di tahun 2003, 2007, 2009, dan 2010 persentase kelompok 4 malah turun antara 2-8.1%.

Uji prakiraan musim hanya dilakukan satu tahun yaitu ditahun 2012. Hasil prakiraan sifat musim untuk tahun 2012 menunjukkan ensemble mean belum dapat memberikan peningkatan akurasi. Hasil uji ketepatan prakiraan musim kemarau dan musim hujan terhadap kelima metode dapat dilihat pada tabel 4 dan 5.

Dari tabel 4 terlihat bahwa dari uji coba prakiraan sifat musim tahun 2012, kelima metode memberikan hasil yang hampir sama dimana persentase terbanyak pada prediksi yang over estimate. Metode yang memiliki persentase Hit terbanyak adalah metode Wavelet ANFIS sebanyak 44%, kemudian ensemble mean 40%, ARIMA 39%, sementara ANFIS dan wavelet ARIMA memberikan hasil yang sama yaitu 35%.

Tabel 3. Selisih persentase ensemble mean terhadap metode ARIMA, ANFIS, Wavelet ARIMA, WaveletANFIS dikelompok 4

Tahun	ARIMA	ANFIS	WAV-ARIMA	WAV-ANFIS
2003	14,1%	-4,0%	24,2%	11,1%
2004	9,1%	27,3%	12,1%	50,5%
2005	24,2%	5,1%	31,3%	32,3%
2006	6,1%	23,2%	13,1%	44,4%
2007	23,2%	-2,0%	30,3%	17,2%
2008	17,2%	25,3%	22,2%	55,6%
2009	44,4%	-8,1%	55,6%	8,1%
2010	8,1%	-3,0%	17,2%	6,1%
2011	35,4%	43,4%	51,5%	58,6%
2012	36,4%	12,1%	52,5%	28,3%

Tabel 4. Uji ketepatan hasil prakiraan sifat hujan musim kemarau 2012 terhadap data TRMM di Pulau Jawa

Metode	HIT	Over Estimate	Under Estimate	Jumlah
ARIMA	39%	54%	7%	100%
ANFIS	35%	60%	5%	100%
WavARIMA	35%	60%	5%	100%
WavANFIS	44%	53%	4%	100%
EnsMean	40%	53%	7%	100%

Tabel 5. Uji ketepatan hasil prakiraan sifat hujan musim hujan 2012 terhadap data TRMM di Pulau Jawa

Metode	HIT	Over Estimate	Under Estimate	Jumlah
ARIMA	43%	51%	6%	100%
ANFIS	72%	11%	17%	100%
WavARIMA	28%	58%	14%	100%
WavANFIS	66%	21%	14%	100%
EnsMean	47%	41%	13%	100%

Pada prediksi musim hujan persentase terbanyak untuk prediksi yang masuk kategori Hit diperoleh dari metode ANFIS yaitu sebanyak 72%, kemudian metode Wavelet ANFIS yaitu sebanyak 66%, Ensemble mean 47%, ARIMA 43% dan yang terakhir Wavelet ARIMA 28% (Tabel 5).

4. Kesimpulan

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa selama uji coba dari tahun 2003 – 2012 ensemble mean dapat meningkatkan reliabilitas hasil prediksi curah hujan dasarian dari hasil prediksi secara *single method* baik ANFIS, ARIMA, Wavelet ANFIS, dan Wavelet ARIMA. Namun hasil dari ensemble mean tergantung pada metode-metode yang digabungkan didalamnya.

Uji kehandalan metode ensemble mean belum dapat dilakukan pada hasil prakiraan sifat musim karena

pengujian hanya dilakukan satu tahun. Pada tahun 2012 metode ensemble mean belum dapat memberikan peningkatan akurasi pada hasil prakiraan sifat musim.

Saran. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik disarankan untuk melakukan ensemble mean dengan memberikan bobot pada tiap metode berdasarkan kontribusi dari metode itu sendiri.

Daftar Pustaka

- [1] Wirjohamidjojo, S. & Ratag, M.A. (2008). Kamus Istilah Meteorologi Aeronautika (II). Jakarta: Badan Meteorologi & Geofisika.
- [2] Muharsyah, Rubi. (2009). Prakiraan Curah Hujan Tahun 2008 Menggunakan Teknik Neural Network Dengan Prediktor Sea Surface Temperature (SST) Di Stasiun Mopah Merauke. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. 10(1). 10-21.
- [3] Tjasyono, B.H.K. (2008). Mikrofisika Awan dan Hujan. Jakarta: Badan Meteorologi & Geofisika
- [4] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2016. Peraturan Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika no 4 Tahun 2016 (Pengamatan dan Pengelolaan Data Iklim di Lingkungan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). Jakarta: BMKG
- [5] Aldrian, E. (2008). Meteorologi Laut Indonesia. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [6] Gunawan, D. (2006). Atmospheric Variability in Sulawesi, Indonesia - Regional Atmospheric Model Results and Observations. Disertasi. Universitas Gottingen
- [7] Prabowo, M. dan Nicholls, N. (2002) Kapan Hujan Turun ? Dampak Osilasi Selatan di Indonesia. Brisbane : Publishing Services
- [8] Kadarsah. (2010). Aplikasi ROC Untuk Uji Keandalan HYBMG. Jurnal Meteorologi dan Geofisika BMKG. 11(1). 32-42
- [9] Molteni, F., Buizza, R., Palmer, T. N. and Petroliagis, T. (1996). The ECMWF Ensemble Prediction System: Methodology and validation. Q.J.R. Meteorol. Soc., 122: 73–119. DOI: 10.1002/qj.49712252905
- [10] http://weather.gc.ca/ensemble/naefs/imdex_e.html (Diakses tanggal 16 Mei 2014)
- [11] Palmer, TN., & Leutbecher, M. (2007). The Ensemble Prediction System – Recent and Ongoing Developments, Paper presented to the 36th Session of the SAC. https://www.wmolc.org/contents.php?sm_id=1&tm_id=1&cdepth=3&upnum=1&ca_id=95&s1=2&s2=1&t1=1
- [12] Kirk, R.E. (2008). Statistics: An Introduction (5th Edition). USA: Madsworth. Hal 123-151. ISBN-13:978-0-534-56478-0
- [13] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2012). Prakiraan Musim Kemarau 2012 Di Indonesia. Jakarta : BMKG
- [14] Daubechies, I. (1990). *The wavelet transform, time frequency localization and signal analysis*. IEEE Trans. Information Theory, 36.
- [15] Jang, J.S.R. (1993). *ANFIS: Adaptive-Neural-Network-Based-Fuzzy Inference System*. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, Vol. 23 No 3, May/June 1993
- [16] Whitaker, J.S. (1997). The Relationship between Ensemble Spread and Ensemble Mean Skill. NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center: Monthly Weather Review, Vol.126
- [17] Nugroho, B.A. (2005). Strategi Jitu Memilih Metode Statistik Penelitian dengan SPSS. Yogyakarta: Andi. Hal 36
- [18] Rumsey, D.J. (2011). Statistics for Dummies (2nd Edition). ISBN 978-0-470-91108-2
- [19] Colton T. (1974) Statistics in medicine. Boston, Little: Brown & Company
- [20] Walpole, R.E. dan R.H. Myers. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Edisi keempat. Penerbit ITB. Bandung.