

MODEL SISTEM PREDIKSI ENSEMBLE TOTAL HUJAN BULANAN DENGAN NILAI PEMBOBOT (KASUS WILAYAH KABUPATEN INDRAMAYU)

ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM MODEL FOR MONTHLY RAINFALL TOTAL USING WEIGHTING VALUES (CASE OF INDRAMAYU DISTRICT)

Yunus Subagyo Swarinoto^{1*}, Yonny Koesmaryono², Edvin Aldrian³, Aji Hamim Wigena²

¹Pusat Database, BMKG, Jl. Angkasa I/ 2, Jakarta, 10720

²FMIPA-IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680

³Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, BMKG, Jl. Angkasa I/ 2, Jakarta, 10720

*Email: yunusbmg@live.com.

Naskah masuk: 24 Juni 2012; Perbaikan terakhir: 13 Desember 2012; Naskah diterima: 21 Desember 2012

ABSTRAK

Manajemen air menjadi sangat penting khususnya di wilayah yang rentan terhadap ketersediaan air. Mengingat hujan di atas normal dapat mengakibatkan banjir, sedangkan hujan di bawah normal mengakibatkan kekeringan. Untuk itu prediksi unsur iklim hujan ini menjadi penting. Model sistem prediksi ensemble berbasis model sistem prediksi tunggal ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet ARIMA, dan ARIMA total hujan bulanan telah disimulasikan di wilayah Kabupaten Indramayu. Model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan ini dibentuk dengan teknik pembobotan. Nilai pembobot didasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson (r) yang diperoleh selama masa pelatihan dengan series data 1991-2000. Hasil pengolahan data 2001-2009 menunjukkan kisaran nilai r didapat 0,45-0,83 untuk ANFIS; 0,20-0,53 untuk Wavelet-ANFIS; 0,50-0,95 untuk Wavelet-ARIMA; 0,14-0,66 untuk ARIMA; dan 0,58-0,94 untuk Ensemble. Secara spasial, luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu menunjukkan hasil yang konsisten lebih baik daripada luaran model sistem prediksi tunggal pembentuknya.

Kata kunci: ensemble, hujan, koefisien korelasi, model, pembobotan

ABSTRACT

Water management is very important especially for region which is vulnerable to the water availability. Above normal rainfall condition causes flood, meanwhile below normal one triggers to the drought occurrences. Coping with this situation, the rainfall prediction output is needed. The ensemble prediction system model (EPSM) based on several single prediction system models (SPSMs) such as ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet ARIMA, and ARIMA on monthly rainfall total, has been simulated within Indramayu district. The EPSM was developed and based on the weighting technique. This weighting is computed based on the value of Pearson correlation coefficient (r) which has been gained during the training period of 1991-2000. Results of 2001-2009 model running show the value of r are 0,45-0,83 for ANFIS; 0,20-0,53 for Wavelet-ANFIS; 0,50-0,95 for Wavelet-ARIMA; 0,14-0,66 for ARIMA; and 0,58-0,94 for the Ensemble. Spatially, the output of EPSM of rainfall total within Indramayu district show consistently better results comparing to the output of origin SPSMs.

Keywords: ensemble, rainfall, correlation coefficient, model, weighting

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Bentuk endapan (*precipitation*) yang paling sering terbentuk di permukaan bumi adalah hujan dan salju [1]. Untuk wilayah tropis, endapan berbentuk hujan lebih umum ditemui. Hujan merupakan contoh endapan yang berbentuk sebagai tetes air yang jatuh dan mencapai permukaan bumi [2,3]. Jenis endapan lain berbentuk tetes air yang langsung menguap ke dalam atmosfer dan tidak sampai di permukaan bumi disebut sebagai virga. Hal ini disebabkan antara lain karena diameter ukuran butiran tetes air dimaksud tidak cukup besar, yakni berukuran kurang dari 200 mikron [4].

Hujan sebagai salah satu unsur iklim yang memiliki peranan yang sangat penting di wilayah tropis seperti wilayah Indonesia [5]. Di mana pada wilayah tropis relatif lebih banyak ditemui pemukiman penduduk yang lebih padat ketimbang wilayah sub tropis ataupun wilayah polar [6]. Penduduk beserta lingkungannya ini sangat memerlukan keberadaan dan ketersediaan air untuk dapat melangsungkan kehidupannya secara berkesinambungan.

Indonesia dipandang sebagai wilayah benua-maritim (*maritime continent*) [7] dengan kondisi wilayah dikelilingi oleh permukaan air yang lebih banyak dibandingkan dengan permukaan daratan. Di mana total permukaan air mencapai sekitar 70% dari total wilayah Indonesia. Bagian daratan wilayah Indonesia memiliki topografi yang kompleks berupa gunung dan lembah [8]. Wilayah Indonesia yang berada di sekitar khatulistiwa juga memiliki variabilitas hujan yang tinggi [9,10,11]. Unsur iklim terutama curah hujan sangat berpengaruh terhadap berbagai sektor [12] seperti pertanian, kehutanan, perkebunan, pengairan, kelautan, infrastruktur dan lain sebagainya.

Banyak lokasi di Indonesia yang sangat rentan terhadap kondisi hujan ini [13,14]. Kondisi hujan di atas normal bisa mengakibatkan banjir maupun tanah longsor. Sebaliknya kondisi hujan di bawah normal bisa mengakibatkan kekeringan. Lebih jauh kekeringan hebat berkepanjangan memiliki kaitan erat dengan kebakaran hutan dan lahan yang berdampak kepada polusi udara. Untuk itu manajemen air menjadi amat penting dilakukan pada lokasi tertentu [15]. Apalagi jika lokasi tersebut tidak memiliki atau minim sarana irigasi teknis, sehingga lokasi tersebut hanya serta-merta bergantung pada turunnya hujan. Adapun parameter yang amat penting dari unsur hujan ini antara lain adalah intensitas hujan, total hujan dan keseringan terjadi hujan [4].

Berkaitan erat dengan masalah manajemen air ini, maka prediksi hujan menjadi amat perlu untuk disiapkan dan dilakukan [14]. Utamanya diperlukan untuk keperluan operasional guna perencanaan ke depan dari berbagai macam sektor. Prediksi hujan dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk dapat mengantisipasi keberadaan air

yang diperlukan ataupun tidak diperlukan oleh banyak sektor. Sebagai contoh, dalam sektor pertanian, prakiraan awal musim hujan berkaitan dengan awal tanam, pola tanam, dan bahkan jenis tanaman. Dalam sektor pengairan, prakiraan hujan berkaitan dengan pengaturan pengeluaran air dari suatu waduk, prediksi banjir, dan lain-lain.

Prakiraan hujan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Baik dengan cara statistik maupun cara dinamik [15]. Bahkan telah dikembangkan pula prediksi hujan dengan cara gabungan. Di mana prediksi hujan secara statistik dan dinamik dilakukan sekaligus. Prediksi hujan dengan cara statistik mengandalkan pengolahan data statistik berdasarkan data *series* cukup panjang yang tersedia [16]. Sementara itu prediksi hujan dengan cara dinamik mengandalkan perkembangan antara lain kondisi dinamika atmosfer, dinamika suhu permukaan laut, dinamika posisi matahari, dan lain-lain yang sudah maupun sedang berlangsung.

Dalam naskah ini disajikan tentang model sistem prediksi total hujan bulanan di wilayah yang relatif sempit dalam skala wilayah kabupaten dengan cara statistik yang lazim disebut sebagai "sistem prediksi *ensemble*" (*ensemble prediction system*). Model sistem prediksi *ensemble* [17] memiliki pengertian sebagai suatu model yang terdiri atas kumpulan dari dua atau lebih model sistem prediksi tunggal yang diverifikasi [18] dalam waktu yang bersamaan.

Terkait dengan model sistem prediksi *ensemble* ini dapat diketengahkan hal-hal sebagai berikut:

- Model sistem prediksi *ensemble* untuk pertama kali diperkenalkan pada tahun 1992 [19] oleh *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) di Eropa dan *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) di Amerika Serikat. Kini model sistem prediksi *ensemble* ini telah banyak diadopsi oleh banyak pusat operasional cuaca iklim di seluruh dunia.
- Model sistem prediksi *ensemble* dibentuk dengan mengkombinasikan model sistem prediksi tunggal [17]. Luaran model sistem prediksi *ensemble* bersifat lebih konsisten dan lebih dapat dipercaya keandalannya dalam sistem prediksi [20].
- Model sistem prediksi *ensemble* ini sudah sering digunakan dalam bidang iklim dan sains atmosfer [21], dimana hasil luaran model ini secara operasional memiliki kualitas yang baik. Model sistem prediksi *ensemble* ini dikonstruksi dengan berbagai cara yang unik. Di antaranya disiapkan dengan penggunaan model-model yang berlainan, penggunaan berbagai macam resolusi, penggunaan bermacam-macam syarat awal (*initial condition*) perturbasi, penggunaan berbagai macam model perturbasi, dan bahkan terbentuk atas beberapa *ensemble members*.
- Tujuan utama dari penggunaan model sistem prediksi *ensemble* ini adalah untuk mengatasi kelemahan akurasi dari luaran model sistem prediksi tunggal [22]. Kebanyakan studi tentang akurasi model sistem

prediksi *ensemble* dalam prakiraan cuaca/iklim menunjukkan bahwa model sistem prediksi *ensemble* mampu menghasilkan performa yang lebih baik daripada model sistem prediksi tunggal pembentuknya [21].

Terdapat 3 (tiga) cara yang dapat digunakan untuk melakukan konstruksi dari model sistem prediksi *ensemble* [21] ini, yakni:

- Menggunakan nilai rerata kasar (*raw mean*) atau lebih lazim disebut sebagai *ensemble mean*;
- Mengadopsi nilai median harian dari semua *ensemble members*;
- Menggunakan multi variabel linear regresi dalam periode kalibrasi dan mengaplikasikan selama masa validasi.

Model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan di Kabupaten Indramayu disiapkan dengan cara memanfaatkan beberapa luaran dari model sistem prediksi tunggal yang telah tersedia [23]. Dalam naskah ini akan digunakan 4 (empat) model sistem prediksi tunggal, yakni: *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), *Wavelet-ANFIS*, *Wavelet-ARIMA*, dan *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Sementara itu *Wavelet* digunakan untuk analisis kekuatan variasi lokalisasi dalam data deret waktu. Dengan melakukan dekomposisi deret waktu ke dalam *time-frequency space* maka dapat ditentukan modus dominan variabilitas dan bagaimana modus tersebut bervariasi terhadap waktu [24].

Dikarenakan setiap luaran model sistem prediksi tunggal memiliki tingkat keandalan yang berbeda, maka untuk dapat memperhitungkan tingkat kehandalan masing-masing model sistem prediksi tunggal ke dalam model sistem prediksi *ensemble* digunakan nilai koefisien korelasi Pearson dalam periode atau masa pelatihan (*training*) sebagai nilai pembobot. Nilai koefisien korelasi Pearson ini didapat dari setiap luaran model sistem prediksi tunggal [32,33,34]. Dimana setiap luaran model sistem prediksi tunggal dibandingkan dengan data observasi sebenarnya. Hasil nilai koefisien korelasi Pearson yang diperoleh kemudian digunakan untuk menyiapkan nilai pembobotan. Selanjutnya nilai pembobot tersebut digunakan untuk membentuk persamaan regresi linear ganda dalam menyiapkan model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan untuk wilayah kabupaten.

1.2. Rumusan masalah

Model sistem prediksi *ensemble* lazim diterapkan pada data grid yang berbasis skala global (model global) hingga regional (model regional) dengan resolusi spasial rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa luaran model global sering tidak mampu menunjukkan kompleksitas proses atmosfer dalam skala meso hingga lokal [8]. Akibatnya hasil prediksi menjadi tidak sesuai dengan kondisi lapang. Untuk itu persiapan suatu model sistem prediksi *ensemble* yang berbasis pada data stasiun dalam

skala meso hingga lokal dengan resolusi spasial tinggi menjadi suatu tantangan yang sangat perlu dilakukan.

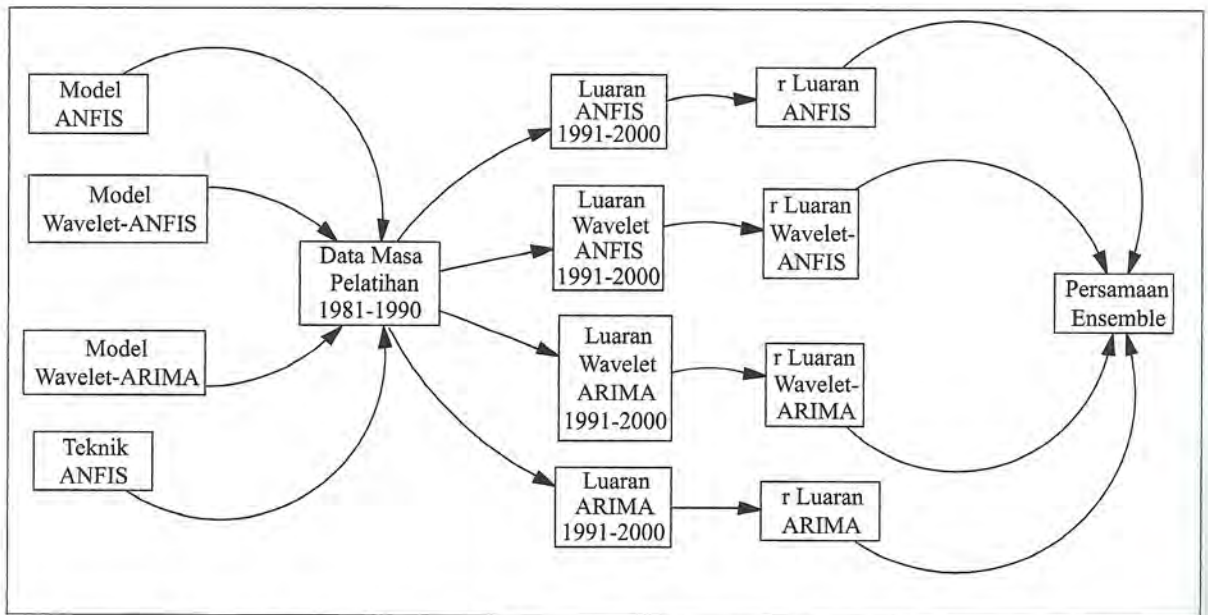
Model sistem prediksi *ensemble* dibangun dan dikonstruksi oleh para pakar untuk mencari solusi atas problem dalam prediksi cuaca/ iklim deterministik terkait dengan adanya ketidakpastian (*uncertainty*) dan *chaos* pada luaran prediksi. Hal ini terkait dengan sifat alami cuaca/iklim merupakan sistem yang bersifat *chaos* [29]. Berbeda dengan teknik model deterministik tradisional yang berbasis pada model sistem prediksi tunggal, model sistem prediksi *ensemble* menghasilkan luaran yang lebih sesuai dengan kondisi di lapangan [28].

Model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan dengan nilai pembobot untuk wilayah kabupaten di Indonesia belum pernah dilakukan untuk keperluan operasional oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) secara nasional [35,36,37,38]. Dikarenakan berbagai model sistem prediksi *ensemble* telah banyak dilakukan di beberapa pusat prediksi cuaca/iklim dunia dengan luaran yang dapat memperbaiki luaran model sistem prediksi tunggal, maka model sistem prediksi *ensemble* perlu disiapkan untuk wilayah tropis Indonesia dengan basis wilayah kabupaten.

Setiap luaran dari model sistem prediksi tunggal unsur iklim total hujan bulanan akan memiliki tingkat keandalan yang berbeda-beda [39]. Hal ini tercermin dari besarkecilnya nilai koefisien korelasi Pearson yang didapat dari masing-masing luaran model sistem prediksi tunggal setelah dievaluasi terhadap data observasi lapangnya. Hasilnya sangat bervariasi seperti yang diperoleh dalam kajian di beberapa lokasi di wilayah Indonesia [38]. Semakin tinggi nilai koefisien korelasi Pearson yang didapat, maka semakin dekat pola distribusi hujan yang didapat antara nilai prediksi dengan nilai observasinya.

1.3. Tujuan

- Merancang dan mengaplikasikan model sistem prediksi *ensemble* dengan nilai pembobot berdasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson untuk total hujan bulanan di wilayah kabupaten.
- Menganalisis keandalan luaran model sistem prediksi *ensemble* dimaksud untuk total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu.



Gambar 1. Alur kerangka pemikiran penyiapan model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di kabupaten indramayu

1.4. Manfaat

Memanfaatkan dan mendayagunakan ketersediaan *tools* model sistem prediksi tunggal (ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet-ARIMA, ARIMA) yang dimiliki oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) BMKG. Dengan model sistem prediksi *ensemble* ini dimaksudkan untuk dapat memperbaiki agar kelemahan dari luaran model sistem prediksi tunggal dapat diatasi [22,23]. Kegunaannya adalah agar luaran model menjadi lebih konsisten dan bermanfaat untuk keperluan operasional di lapangan. Mengingat model sistem prediksi tunggal ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet ARIMA, dan ARIMA memiliki akurasi yang tidak konsisten setelah diaplikasikan di beberapa tempat yang berbeda di Indonesia seperti di Balikpapan [40], di Bali [39], dan di beberapa lokasi yang telah dikaji oleh Pusat Penelitian Pengembangan BMKG terkini [38].

Diperoleh model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan untuk keperluan operasional skala meso-lokal di wilayah kabupaten dan memahami kualitas luaran model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan untuk wilayah kabupaten guna memperoleh informasi spasial dari model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan yang telah disiapkan tersebut.

1.5. Kerangka pemikiran

- Tahapan pembentukan persamaan *ensemble* prediksi total hujan bulanan disajikan dalam bentuk diagram seperti nampak pada Gambar 1. Berdasarkan pada 4 (empat) model sistem prediksi tunggal yang telah dimiliki oleh Puslitbang BMKG (ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet-ARIMA, ARIMA) [38], diaplikasikan series data total hujan bulanan 1981-1990 untuk melakukan prediksi total hujan bulanan 1991-2000.

- Selanjutnya dihitung nilai koefisien korelasi Pearson dari setiap luaran model sistem prediksi tunggal berdasarkan pada series hasil prediksi 1991-2000 tersebut.
- Berbasis nilai koefisien korelasi Pearson yang diperoleh dihitung nilai pembobotan untuk memberikan proporsi yang sesuai dengan besaran kecilnya nilai koefisien korelasi Pearson yang diperoleh.
- Berbasis pada nilai pembobotan yang didasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson yang didapat kemudian dibentuk dan disiapkan persamaan matematis berbentuk persamaan regresi linier berganda model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan untuk wilayah kabupaten.

1.6. Hipotesis

Hipotesis yang digunakan dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

- Total hujan bulanan wilayah kabupaten dapat diprediksi dengan menggunakan model sistem prediksi *ensemble*;
- Luaran model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan untuk wilayah kabupaten memiliki kualitas yang lebih baik daripada luaran model sistem prediksi tunggal pembentuknya.

2. Metode Penelitian

2.1. Metode Ensemble Dengan Nilai Pembobot

Melakukan prediksi unsur iklim curah hujan dengan akurasi tinggi di wilayah tropis dapat dikategorikan sebagai prediksi iklim. Apalagi jika prediksi tersebut diarahkan untuk luaran yang bersifat kuantitatif [41]. Selain variasi iklim dan perubahan sinyal iklim sangat beragam disebabkan oleh berbagai macam variasi spasial bagi wilayah

yang kompleks [42], maka kondisi ini berkaitan dengan sifat kejadian unsur iklim curah hujan dimaksudkan bersifat random [43].

demikian, untuk keperluan operasional yang dalam perencanaan, maka kegiatan prediksi dalam waktu yang terbatas perlu tetap disiapkan dan dilakukan. Untuk itu digunakan apa yang disebut sebagai model sistem prediksi. Model sistem prediksi terdiri atas: model sistem prediksi tunggal dan model sistem prediksi *ensemble*.

Model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan di kabupaten dengan pembobot nilai koefisien korelasi dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) sebagai acuan apa yang telah dilakukan sebelumnya [25] dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$F_e = \sum_{i=1}^{i=N} A_i F_i \quad (1)$$

- F_e = total hujan bulanan luaran model sistem prediksi *ensemble* (mm);
- $i = 1, 2, 3, \dots, N$ = banyaknya model sistem prediksi tunggal yang digunakan;
- A_i = nilai koefisien korelasi Pearson dari setiap model sistem prediksi tunggal ke- i ; dan
- F_i = total hujan bulanan luaran model sistem prediksi tunggal masing-masing ke- i (mm).

penjumlahan nilai koefisien korelasi Pearson yang diperoleh dari setiap model sistem prediksi tunggal dapat ditulis sebagai berikut:

$$1 \neq \sum_{i=1}^{i=N} A_i \quad (2)$$

dapat ditulis juga menjadi sebagai berikut:

$$1 \neq A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N \quad (3)$$

Dengan:

- A_1 = nilai koefisien korelasi Pearson dari sistem prediksi tunggal pertama;
- A_2 = nilai koefisien korelasi Pearson dari prediksi tunggal kedua; dan
- A_N = nilai koefisien korelasi Pearson dari prediksi tunggal ke- N .

Agar setiap nilai koefisien korelasi Pearson yang didapat dari setiap luaran model sistem prediksi tunggal pembentuk model sistem prediksi *ensemble* dapat diperhitungkan secara proporsional, maka dalam persamaan (1) dapat dikondisikan bahwa jumlah nilai koefisien korelasi Pearson sebagai pembentuk persamaan regresi multi linear tersebut mempunyai nilai maksimum +1. Jika jumlah nilai koefisien korelasi Pearson yang didapat dari masing-masing model sistem prediksi tunggal dalam persamaan (3) tidak atau belum sama dengan 1, maka digunakan manipulasi matematik untuk menghitung nilai α_i sebagai pembobot berdasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson dalam persamaan (4)

yang akan digunakan untuk membentuk persamaan model sistem prediksi *ensemble* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{A_1}{A_1 + A_2 + \dots + A_N} \\ \alpha_2 &= \frac{A_2}{A_1 + A_2 + \dots + A_N} \\ \alpha_N &= \frac{A_N}{A_1 + A_2 + \dots + A_N} \end{aligned} \quad (4)$$

Akibatnya hasil penjumlahan nilai pembobot α_i dalam persamaan (4) dapat ditulis menjadi seperti berikut:

$$\sum_{i=1}^{i=N} \alpha_i = 1 \quad (5)$$

Dengan:

$i = 1, 2, 3, \dots, N$ = banyaknya model sistem prediksi tunggal; dan

α_i = nilai pembobot berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson dari luaran model sistem prediksi tunggal ke- i selama masa pelatihan.

Selanjutnya berdasarkan pada persamaan (1), maka persamaan model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan dengan pembobot nilai koefisien korelasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_e(i) = \alpha_1 F_1(i) + \alpha_2 F_2(i) + \dots + \alpha_N F_N(i) \quad (6)$$

Dengan:

$F_e(i)$ = total hujan bulanan tahun ke- i luaran model sistem prediksi *ensemble* dengan nilai pembobot berdasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson model sistem prediksi tunggal (mm);

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ = nilai pembobot berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson dari masing-masing model sistem prediksi tunggal;

$F_1(i), F_2(i), \dots, F_N(i)$ = total hujan bulanan tahun ke- i dari luaran dari masing-masing sistem prediksi tunggal (mm); dan

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$ = tahun ke- i dari prediksi yang bersangkutan.

Karena model sistem prediksi tunggal yang digunakan dalam membentuk persamaan model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan dengan pembobot nilai koefisien korelasi ini adalah sebanyak 4 (tempat), yakni: ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet-ARIMA, dan ARIMA, maka persamaan (6) dapat ditulis menjadi seperti berikut:

$$F_e(i+1) = \alpha_1 F_1(i) + \alpha_2 F_2(i) + \alpha_3 F_3(i) + \alpha_4 F_4(i) \quad (7)$$

dengan:

$F_e(i+1)$ = nilai sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan dengan pembobot nilai koefisien korelasi Pearson pada tahun ke- $i+1$ (mm);

α_1 = nilai pembobot berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson dari sistem prediksi tunggal pertama;

α_2 = nilai pembobot berdasarkan nilai koefisien

korelasi Pearson dari sistem prediksi tunggal kedua;

α_3 = nilai pembobot berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson dari sistem prediksi tunggal ketiga;

α_4 = nilai pembobot berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson dari sistem prediksi tunggal keempat;

$F_1(i)$ = total hujan bulanan luaran sistem prediksi tunggal pertama pada tahun ke- i (mm);

$F_2(i)$ = total hujan bulanan luaran sistem prediksi tunggal kedua pada tahun ke- i (mm);

$F_3(i)$ = total hujan bulanan luaran sistem prediksi tunggal ketiga pada tahun ke- i (mm); dan

$F_4(i)$ = total hujan bulanan luaran sistem prediksi tunggal keempat pada tahun ke- i (mm).

Deskripsi lengkap mengenai teknik prediksi ANFIS, Wavelet, dan ARIMA dapat dilihat pada [38], [39], [40].

2.2. Koefisien korelasi

Nilai prediksi total hujan bulanan untuk keperluan operasional yang dihasilkan oleh model sistem prediksi *ensemble* harus diverifikasi menggunakan data hasil observasi dengan menggunakan beberapa cara [18]. Guna dapat mengetahui keandalan luaran prediksi dari sisi kesesuaian (*agreement*) pola total hujan bulanan, maka digunakan nilai koefisien korelasi Pearson yang diperoleh dari series luaran prediksi dengan series data observasi dengan periode yang sama [33,34]. Untuk itu digunakan persamaan seperti berikut:

$$r(F_e, O) = \frac{\sum F_e \cdot O}{[\sum F_e^2 \cdot \sum O^2]^{1/2}} \quad (13)$$

dengan:

$r(F_e, O)$ = nilai koefisien korelasi Pearson antara luaran prediksi terhadap data observasi lapang;

F_e = nilai luaran prediksi (mm); dan

O = nilai data observasi lapang (mm).

2.3. Domain kajian



Gambar 2. Wilayah Administrasi Kabupaten Indramayu, topografi, dan lokasi penakar hujan yang digunakan dalam kajian.

Penelitian dilakukan di wilayah Kabupaten Indramayu sebagai domain kajian. Kabupaten Indramayu memiliki orografis menghadap ke Laut Jawa disajikan pada Gambar 2. Topografi wilayah dari domain kajian pada umumnya relatif rendah di bagian utara yang menghadap ke Laut Jawa dan relatif tinggi di bagian selatan yang berdekatan dengan pegunungan kapur tengah di Pulau Jawa [44].

2.4. Data

Data [45] yang digunakan dalam penelitian ini adalah data total hujan harian hasil observasi dari 16 pos penakar hujan di wilayah Kabupaten Indramayu (Gambar 2). Series data yang digunakan memiliki kondisi yang baik. Nama lokasi pos penakar hujan tertera pada Tabel 2. Data curah hujan diperoleh dari Kantor Pusat BMKG, Stasiun Klimatologi Klas I Darmaga Bogor, Dinas Pengairan Kabupaten Indramayu, Dinas Pertanian dan Peternakan Kabupaten Indramayu, dan Perusahaan Umum Jasa Tirta II di Patrol.

Tabel 1. Daftar pos penakar hujan yang tersedia di wilayah Kabupaten Indramayu

No.	Nama	Lintang (°S)	Bujur (°E)
1	Anjatan	6,36	107,92
2	Bangkir	6,39	108,29
3	Bantarhuni	6,59	107,95
4	Bondan	6,61	108,30
5	Bugis	6,39	107,99
6	Bulak	6,36	107,33
7	Cidempet	6,35	108,25
8	Cikedung	6,47	108,7
9	Jatibarang	6,46	108,3
10	Juntinyuat	6,43	108,4
11	Kedokanbunder	6,55	108,23
12	Sudimampir	6,40	108,7
13	Sumurwatu	6,52	108,3
14	Tugu	6,51	108,3
15	Ujungaris	6,46	108,3
16	Wanguk	6,42	108,3

2.5. Metode

- Memilih model sistem prediksi tunggal yang telah tersedia di Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, yakni: ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet-ARIMA, dan ARIMA untuk prediksi total hujan bulanan wilayah kabupaten.
- Setiap model sistem prediksi tunggal diaplikasikan terhadap *series* data yang telah disediakan (1981-1990) untuk diperoleh nilai prediksi tunggal total hujan bulanan dari masing-masing lokasi stasiun (1991-2000).
- Menghitung nilai koefisien korelasi Pearson [33]; [34] berbasis pada luaran masing-masing model sistem prediksi tunggal terhadap data observasi lapangnya, sehingga terhadap *series* data diperoleh masing-masing nilai koefisien korelasi Pearson.
- Ketiga model sistem prediksi tunggal tersebut selanjutnya di-*ensemble*-kan dengan cara membentuk persamaan regresi linier berganda untuk dapat diperoleh nilai prediksi *ensemble* dengan nilai pembobot berdasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson yang telah didapatkan sebelumnya.
- Menyiapkan medan koefisien korelasi Pearson spasial bulanan hasil output dari model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan untuk wilayah Kabupaten Indramayu yang digunakan sebagai domain kajian.

2.6. Pengolahan data

Tahapan kajian dimulai dan dilakukan dengan cara mengumpulkan data total hujan harian. Data total hujan bulanan biasanya dihitung berdasarkan pada data yang dicatat secara harian ini. Berdasarkan pada data total hujan harian ini selanjutnya dibentuk menjadi data total hujan bulanan. *Series* data yang digunakan diseragamkan 1981-1990. Mengingat bahwa permulaan adanya data di lapangan tidak sama berkaitan dengan operasional berdirinya stasiun. *Series* data 1991-2000 digunakan dalam masa pelatihan hasil prediksi model sistem prediksi tunggal untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi Pearson. Artinya tidak dilakukan simulasi prediksi *ensemble* sebelum tahun 2001. *Series* data 2001 – 2010 digunakan untuk evaluasi hasil luaran model sistem prediksi *ensemble*.

Data total bulanan diolah dengan mengaplikasikan teknik prediksi ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet-ARIMA, dan ARIMA terhadap sekelompok data masa pelatihan (1981-1990). Simulasi model sistem prediksi tunggal dilakukan terhadap *series* data 1991-2000 untuk memperoleh nilai koefisien korelasi Pearson. Masa evaluasi prediksi dipilih selama 10 (sepuluh) yakni tahun 2001-2010. Selama masa prediksi untuk setiap model sistem prediksi tunggal tersebut dihitung nilai koefisien korelasi Pearson, sehingga didapat masing-masing nilai $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$.

Langkah berikutnya adalah melakukan penghitungan nilai pembobot berdasarkan pada nilai koefisien korelasi

Pearson yang didapat dari luaran model sistem prediksi tunggal (1991-2000) sehingga penjumlahan nilai koefisien korelasi Pearson dari keempat model sistem prediksi tunggal berjumlah sama dengan 1 (satu). Persamaan regresi linier berganda model sistem prediksi *ensemble* yang terbentuk tampak seperti yang tercantum dalam persamaan (7).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Menyiapkan persamaan *ensemble*

Berdasarkan pada hasil pengolahan data berupa prediksi total hujan bulanan (1991-2000) berbasis pada model sistem prediksi tunggal ANFIS, Wavelet-ANFIS, Wavelet-ARIMA, dan ARIMA, maka diperoleh tabulasi nilai pembobot berdasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson yang didapat dari model sistem prediksi tunggal seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Untuk setiap lokasi pos penakar hujan di wilayah Kabupaten Indramayu terdapat masing-masing 4 (empat) nilai pembobot. Keempat nilai pembobot dimaksud digunakan untuk membentuk persamaan *ensemble* seperti yang tertera pada persamaan (7). Sebagai contoh untuk lokasi Anjatan (6,36 °S, 107,92 °E) memiliki persamaan model sistem prediksi *ensemble* sebagai berikut:

$$F_i(i+1) = 0,34 * F_1(i) + 0,21 * F_2(i) + 0,36 * F_3(i) + 0,09 * F_4(i) \quad (16)$$

Tabel 2. Nilai pembobot untuk membentuk persamaan *ensemble* total hujan bulanan di domain Kabupaten Indramayu

No.	LOKASI	ANFIS	WANFIS	WARIMA	ARIMA
1	Anjatan	0,34	0,21	0,36	0,09
2	Bangkir	0,29	0,20	0,43	0,08
3	Bantarhuni	0,31	0,24	0,32	0,13
4	Bondan	0,33	0,19	0,33	0,15
5	Bugis	0,35	0,2	0,35	0,1
6	Bulak	0,3	0,13	0,39	0,18
7	Cidempet	0,32	0,24	0,34	0,09
8	Cikedung	0,32	0,15	0,36	0,17
9	Jatibarang	0,33	0,2	0,39	0,08
10	Juntinyuat	0,31	0,1	0,47	0,12
11	Kedokanbunder	0,42	0,16	0,41	0,02
12	Sudimampir	0,4	-0,04	0,6	0,04
13	Sumurwatu	0,37	0,19	0,4	0,04
14	Tugu	0,34	0,22	0,32	0,05
15	Ujungaris	0,34	0,28	0,32	0,05
16	Wanguk	0,31	0,18	0,35	0,16

Demikian seterusnya sehingga setiap lokasi pos penakar hujan yang ada di wilayah Kabupaten Indramayu masing-masing memiliki persamaan model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan. Total persamaan model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan dimaksud adalah 16 persamaan.

Berdasarkan persamaan (16), maka kontribusi model sistem prediksi tunggal ANFIS ke dalam hasil prediksi total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu adalah sebesar 0,34 ke dalam luaran model sistem prediksi *ensemble*. Sementara itu kontribusi model sistem prediksi tunggal Wavelet-ANFIS sebesar 0,21. Selanjutnya model sistem prediksi tunggal Wavelet-ARIMA berkontribusi sebesar 0,36. Terakhir model sistem prediksi tunggal ARIMA berkontribusi sebesar 0,09.

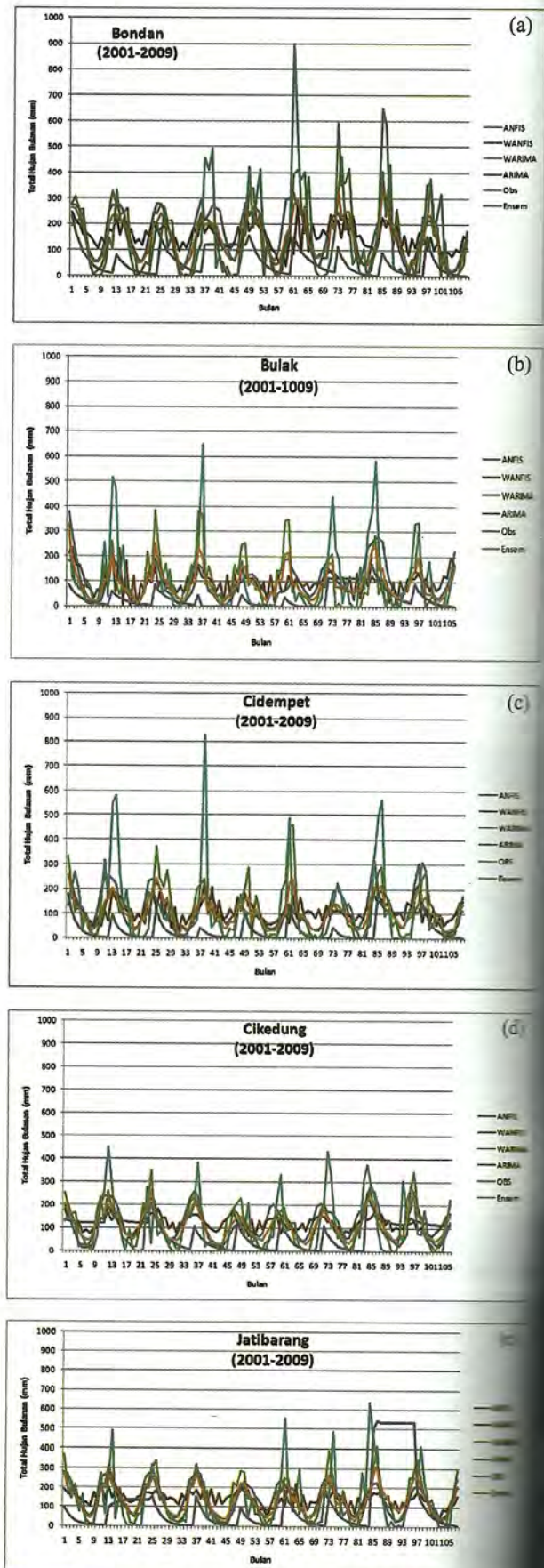
Berdasarkan persamaan model sistem prediksi *ensemble* dapat diketahui bahwa model sistem prediksi tunggal yang menghasilkan nilai koefisien korelasi Pearson yang besar akan berkontribusi lebih banyak ke dalam nilai prediksi daripada model sistem prediksi tunggal yang menghasilkan nilai koefisien korelasi yang lebih kecil. Selanjutnya persamaan model sistem prediksi *ensemble* untuk lokasi yang lain dapat ditulis sesuai dengan apa yang dilakukan pada lokasi Anjatan di atas dengan memperhatikan Tabel 2 tersebut di atas. Secara lengkap disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persamaan untuk membentuk model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu

No.	LOKASI	Persamaan Ensemble
1	Anjatan	$0,34 * F1 + 0,21 * F2 + 0,36 * F3 + 0,09 * F4$
2	Bangkir	$0,29 * F1 + 0,20 * F2 + 0,43 * F3 + 0,08 * F4$
3	Bantarhuni	$0,31 * F1 + 0,24 * F2 + 0,32 * F3 + 0,13 * F4$
4	Bondan	$0,33 * F1 + 0,19 * F2 + 0,33 * F3 + 0,15 * F4$
5	Bugis	$0,35 * F1 + 0,20 * F2 + 0,35 * F3 + 0,10 * F4$
6	Bulak	$0,30 * F1 + 0,13 * F2 + 0,39 * F3 + 0,18 * F4$
7	Cidempet	$0,32 * F1 + 0,24 * F2 + 0,34 * F3 + 0,09 * F4$
8	Cikedung	$0,32 * F1 + 0,15 * F2 + 0,36 * F3 + 0,17 * F4$
9	Jatibarang	$0,33 * F1 + 0,20 * F2 + 0,39 * F3 + 0,08 * F4$
10	Juntinyuat	$0,31 * F1 + 0,10 * F2 + 0,47 * F3 + 0,12 * F4$
11	Kedokanbunder	$0,42 * F1 + 0,16 * F2 + 0,41 * F3 + 0,02 * F4$
12	Sudimampir	$0,40 * F1 - 0,04 * F2 + 0,60 * F3 + 0,04 * F4$
13	Sumurwatu	$0,37 * F1 + 0,19 * F2 + 0,40 * F3 + 0,04 * F4$
14	Tugu	$0,34 * F1 + 0,22 * F2 + 0,32 * F3 + 0,05 * F4$
15	Ujungaris	$0,34 * F1 + 0,28 * F2 + 0,32 * F3 + 0,05 * F4$
16	Wanguk	$0,31 * F1 + 0,18 * F2 + 0,35 * F3 + 0,16 * F4$

3.2. Hasil prediksi

Hasil prediksi model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu disajikan dalam Gambar 3 seperti berikut.



Gambar 3. Validasi hasil prediksi total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu menggunakan persamaan model sistem prediksi *ensemble* untuk lokasi Bondan (a), Bulak (b), Cidempet (c), Cikedung (d), dan Jatibarang (e)

Tabel 4. Nilai r untuk luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di Kabupaten Indramayu beserta luaran model sistem prediksi tunggal pembentuknya

No.	LOKASI	ANFIS	WANFIS	WARIMA	ARIMA	ENSEM
1	Anjatan	0,72	0,52	0,73	0,5	0,77
2	Bangkir	0,62	0,47	0,74	0,61	0,79
3	Bantarhuni	0,74	0,53	0,73	0,54	0,80
4	Bondan	0,64	0,31	0,67	0,51	0,71
5	Bugis	0,59	0,41	0,71	0,63	0,74
6	Bulak	0,54	0,31	0,58	0,42	0,66
7	Cidempet	0,57	0,46	0,59	0,41	0,67
8	Cikedung	0,66	0,38	0,65	0,32	0,69
9	Jatibarang	0,70	0,36	0,70	0,14	0,71
10	Juntinyuat	0,53	0,20	0,64	0,63	0,68
11	Kedokanbunder	0,45	0,30	0,65	0,26	0,62
12	Sudimampir	0,58	0,21	0,65	0,43	0,68
13	Sumurwatu	0,51	0,29	0,50	0,14	0,58
14	Tugu	0,63	0,38	0,62	0,50	0,69
15	Ujungaris	0,72	0,39	0,74	0,24	0,76
16	Wanguk	0,83	0,43	0,95	0,66	0,94

Berdasarkan pada hasil prediksi total hujan bulanan menggunakan model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu untuk 5 (lima) lokasi (Gambar 3a, 3b, 3c, 3d, dan 3e) diketahui bahwa luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan dapat menunjukkan pola yang sangat sesuai dengan data observasi lapangnya. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai koefisien korelasi Pearson yang diperoleh berkisar antara 0,58-0,94 (Gambar 3e, dengan isoline berwarna orange). Namun demikian, kejadian yang ekstrim tidak mampu ditunjukkan oleh luaran model sistem prediksi ensemble ini, mengingat model sistem prediksi ensemble ini tidak dibangun dengan basis analisis ekstrim.

Luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan menunjukkan adanya peningkatan nilai koefisien korelasi Pearson r bila dibandingkan dengan luaran model sistem prediksi tunggal pembentuknya. Berdasarkan pada hasil perhitungan nilai r tersebut (Tabel 4) dapat diketahui bahwa luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu dapat memberikan hasil yang lebih konsisten daripada masing-masing luaran model sistem prediksi tunggal pembentuknya. Mengingat semakin rendah nilai kisaran r dengan nilai minimum r yang lebih besar dengan nilai r maksimum yang relatif sama, akan menunjukkan perbaikan performa luaran model sistem prediksi ensemble tersebut.

3.3. Medan Nilai Koefisien Korelasi Pearson

Medan nilai koefisien korelasi Pearson (r) digunakan untuk menunjukkan performa luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di Kabupaten Indramayu secara spasial. Berdasarkan pada medan nilai r ini dapat diketahui secara cepat pada lokasi mana luaran model sistem prediksi ensemble memiliki hasil yang baik maupun sebaliknya. Medan nilai r untuk luaran model

sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu disajikan pada Gambar 4.

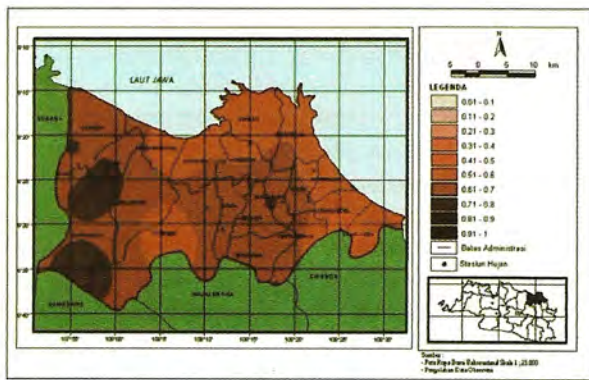
Gambar 4a menunjukkan medan nilai r secara spasial luaran model sistem prediksi tunggal ANFIS. Warna merah semakin gelap berarti nilai r semakin tinggi, sebaliknya warna semakin putih berarti nilai r semakin rendah. Verifikasi luaran model sistem prediksi tunggal ini selama periode 2001-2009 menunjukkan kisaran nilai $r = 0,45-0,83$. Sementara itu didapat rerata nilai $r = 0,63$. Lokasi sekitar Wanguk memiliki hasil tertinggi dengan $r = 0,83$ dan lokasi sekitar Kedokanbunder memiliki hasil terendah dengan $r = 0,45$.

Gambar 4b menunjukkan medan nilai r secara spasial luaran model sistem prediksi tunggal Wavelet-ANFIS. Verifikasi luaran model sistem prediksi tunggal ini selama periode 2001-2009 menunjukkan kisaran nilai $r = 0,20-0,53$. Sementara itu didapat rerata nilai $r = 0,37$. Lokasi sekitar Bantarhuni memiliki hasil tertinggi dengan $r = 0,53$ dan lokasi sekitar Juntinyuat memiliki hasil terendah dengan $r = 0,20$.

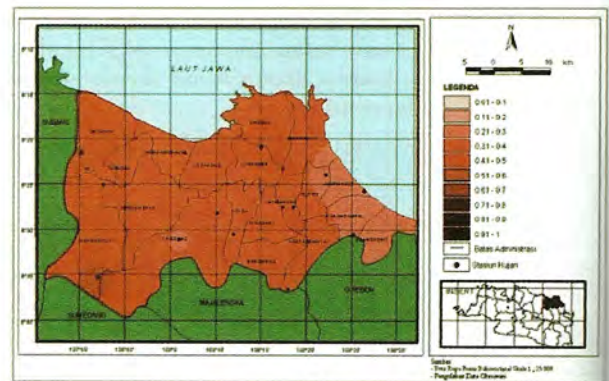
Gambar 4c menunjukkan medan nilai r secara spasial luaran model sistem prediksi tunggal Wavelet-ARIMA. Verifikasi luaran model sistem prediksi tunggal ini selama periode 2001-2009 menunjukkan kisaran nilai $r = 0,50-0,95$. Sementara itu didapat rerata nilai $r = 0,68$. Lokasi sekitar Wanguk memiliki hasil tertinggi dengan $r = 0,95$ dan lokasi sekitar Sumurwatu memiliki hasil terendah dengan $r = 0,50$.

Gambar 4d menunjukkan medan nilai r secara spasial luaran model sistem prediksi tunggal ARIMA. Verifikasi luaran model sistem prediksi tunggal ini selama periode 2001-2009 menunjukkan kisaran nilai $r = 0,14-0,66$. Sementara itu didapat rerata nilai $r = 0,43$. Lokasi sekitar Wanguk memiliki hasil tertinggi dengan $r = 0,66$ dan lokasi sekitar Kedo kanbunder memiliki hasil terendah dengan $r = 0,14$.

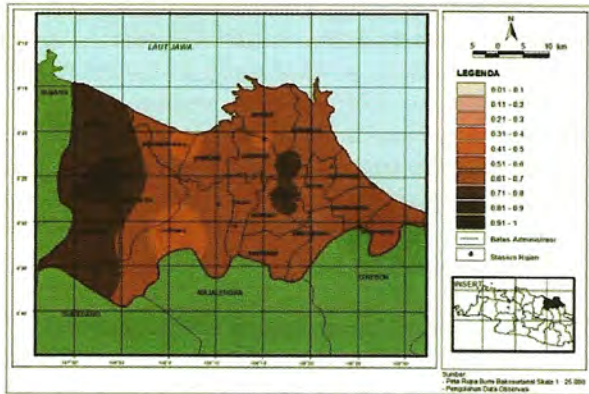
Gambar 4e menunjukkan medan nilai r secara spasial luaran model sistem prediksi ensemble dengan nilai pembobot yang diperoleh berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson. Verifikasi luaran model sistem prediksi tunggal ini selama periode 2001-2009 menunjukkan kisaran nilai $r = 0,58-0,94$. Sementara itu didapat rerata nilai $r = 0,72$. Lokasi sekitar Wanguk memiliki hasil tertinggi dengan $r = 0,94$ dan lokasi sekitar Sumurwatu memiliki hasil terendah dengan $r = 0,58$.



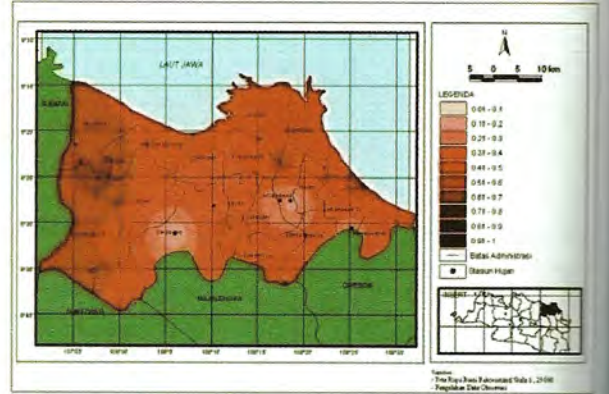
(a)



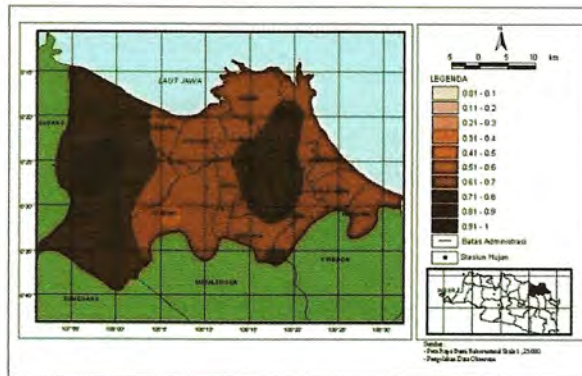
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4. Medan nilai r luaran model sistem prediksi tunggal dan *ensemble* total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu (a) ANFIS, (b) Wavelet-ANFIS, (c) Wavelet-ARIMA, (d) ARIMA, dan (e) Ensemble

Luaran model sistem prediksi tunggal ANFIS, Wavelet-ARIMA, ARIMA dan luaran model sistem prediksi *ensemble* total hujan bulanan di Kabupaten Indramayu menghasilkan nilai r maksimum untuk lokasi Wanguk. Lokasi ini memiliki elevasi berkisar 11-20 meter di atas permukaan laut dan berada di bagian barat wilayah Kabupaten Indramayu yang memiliki kondisi iklim relatif basah. Sementara itu luaran model sistem prediksi tunggal Wavelet-ANFIS menghasilkan nilai r maksimum di lokasi Bantarhuni. Lokasi ini memiliki elevasi berkisar 51-60 meter di atas permukaan laut. Bantarhuni juga terletak di wilayah bagian barat Kabupaten Indramayu yang mempunyai kondisi iklim yang relatif basah.

Hasil nilai r terendah dialami oleh lokasi Kedokanbunder atas luaran model sistem prediksi tunggal ANFIS. Lokasi ini berada di bagian timur wilayah Kabupaten Indramayu

yang memiliki kondisi iklim relatif kering. Demikian juga halnya luaran model sistem prediksi tunggal Wavelet-ANFIS menghasilkan nilai r terendah untuk lokasi Juntinyuat yang berada di bagian timur wilayah Kabupaten Indramayu dengan kondisi iklim relatif kering. Hal yang senada juga diperoleh untuk lokasi Jatibaru dari luaran model sistem prediksi tunggal ARIMA. Lokasi ini juga berada di bagian timur wilayah Kabupaten Indramayu dengan kondisi iklim relatif kering. Kondisi iklim relatif kering dalam hal ini mengacu kepada kondisi klimatologis wilayah Kabupaten Indramayu, di mana pada umumnya wilayah bagian timur mengalami curah hujan yang relatif lebih sedikit daripada wilayah Kabupaten Indramayu bagian barat. Sementara itu luaran model sistem prediksi tunggal Wavelet-ARIMA menghasilkan nilai r terendah di lokasi Sumurwatu demikian juga halnya luaran model sistem prediksi *ensemble*. Lokasi

...watu memiliki elevasi berkisar 21-30 meter di atas
...kaan laut. Lokasi ini berada di sebelah selatan
...ayah Kabupaten Indramayu. Semakin besar nilai r yang
...apat dari beberapa lokasi prediksi menunjukkan bahwa
...pon model sistem prediksi ensemble terhadap pola
...hujan observasi semakin baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada uraian pada bab-bab tersebut di atas,
...apat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Luaran model sistem prediksi ensemble total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu menunjukkan hasil yang lebih baik dan lebih konsisten daripada luaran model sistem prediksi tunggal pembentuknya selama periode 2001-2009. Kisaran nilai r diperoleh lebih kecil dengan nilai minimum r lebih besar dan nilai maksimum r yang relatif sama.
- Umumnya bagian barat wilayah Kabupaten Indramayu menghasilkan nilai r yang relatif besar daripada bagian timur dan selatan. Dimana bagian barat wilayah Kabupaten Indramayu mempunyai kondisi iklim secara klimatologis relatif lebih basah daripada wilayah lainnya.

Daftar Pustaka

[1] Spiridonov V. & Curic, M. 2010. *An introduction to meteorology*. ISBN 978-608-65175-0-2. Cobiss, Macedonia, MK.

[2] Barry R.G. & Chorley R.J. 1998. *Atmosphere, weather and climate*. Seventh Edition, Routledge Publisher, London.

[3] Tjasyono B. & Harijono S.W.B. (2006). *Meteorologi Indonesia 2*. Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.

[4] Wirjohamidjojo S. & Swarinoto Y.S. (2007). *Praktek meteorologi pertanian*. Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.

[5] Nieuwolt S. (1978). *An introduction to the climate of the low latitudes*. John Wiley & Sons, Toronto.

[6] McGregor G.R. & Nieuwolt S. (1998). *Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes*. Second Edition, John Wiley & Sons Ltd., Toronto.

[7] Ramage C.S. (1971). *Monsoon meteorology*. International Geophysics Series, Academic Press Inc., New York.

[8] Qian J.H. 2008. Why precipitation is mostly concentrated over island in the Maritime Continent. *J. Atmos. Sci.*, 65, 1428-1441.

[9] Swarinoto Y.S., Widiatmoko H. & Hariadi M.H. 2008. Analisis dinamis terkait hujan ekstrim penyebab banjir di Jakarta dan sekitar tanggal 1 Februari 2008. *Bul. Met. Geo.* 4(1), 76-96.

[10] Gunawan D. & Gravenhorst G. (2005). Correlation between ENSO indices and Indonesian precipitation. *J. Met. Geo.*, 6(4), 1411-3082,

54-62.

[11] Gunawan D. (2006). *Atmospheric variability in Sulawesi Indonesia: regional atmospheric model results and observations*. Disertasi. Universitas Goettingen, Jerman.

[12] Swarinoto Y.S. & Basuki. (2004). Kaitan curah hujan musiman dan produksi tanaman pangan di Propinsi Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumber Daya Tanah dan Iklim*, 345-355. Departemen Pertanian Republik Indonesia,

[13] BMG. (2003). *Prakiraan Musim Untuk Pertanian Di Kabupaten Indramayu*. Laporan Penelitian TA 2003, PUSAT SISDATIN Klimatologi dan Kualitas Udara, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.

[14] Swarinoto Y.S. (2006). *Analisis pola spasial curah hujan Jawa Barat bagian Utara dan prediksinya*. Tesis Magister. Jurusan Geografi, FMIPA-UI, Depok.

[15] Swarinoto Y.S. (2001). *Downscaling of wind and precipitation over Indonesia*. Report of Intensive Course on Dynamical Downscaling of Seasonal to Interannual Climate Prediction, Ward, M.N. & L., Sun (Ed.), The International Research Institute for Climate Prediction, Palisades, NY, 85-101.

[16] Robertson A.W., Moron V. & Swarinoto Y.S. (2009). Seasonal prediction of daily rainfall statistics over Indramayu district, Indonesia. *Int. J. Climatol.*, 29, 1449-1462.

[17] Park Y.Y. (2006). *Recent development of ensemble forecast system*. ASEAN-ROK Cooperation Training Workshop for the Use of Numerical Weather Prediction Products, KMA, Seoul, South Korea, 93-177.

[18] Jolliffe I.T. & Stephenson D.B. (2003). *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. John Wiley & Sons Ltd., The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

[19] Froude L.S. (2011). Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE): Comparison of the prediction of Southern Hemisphere Extratropical Cyclones by different ensemble prediction system. *Weather & Forecasting*, 26, 388-398, DOI: 10.1175/2010WAF2222457.1.

[20] Hagedorn R., Doblas-Reyes F.J. & Palmer T.N. 2005. *The rationale behind the success of multi model ensemble in seasonal forecasting*. *Basic Concept*. *Tellus*, 57A, 219-233.

[21] Viney N.R., Croke B.E.W., Breuer L., Bormann H, Bronstert A., Freed H., et al. (2005). *Ensemble modeling of the hydrological impacts of land use change*. German Science Foundtion & Collaborative Research Center, 2967- 2973.

[22] Wilks D.S. (1995). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press Inc., San Diego, CA.

[23] Yun W.T., Stefanova L. & Krishnamurti T.N. (2003).

- Improvement of the multimodel superensemble technique for seasonal forecast. *J. Climate*, 16, 3834-3840.
- [24] Torrence C. & Compo G.P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Meteor. Soc.*, 79(1), 61-78.
- [25] Yun W.T., Stefanova L., Mitra A.K., Vijaya Kumar T.S.V., Dewar W. & Krishnamurti T.N. (2005). A multi-model superensemble algorithm for seasonal climate prediction using DEMETER forecast. *Tellus*, 57A, 280-289.
- [26] Qian J.H., Robertson A.W., & Moron V. (2010). Interaction among ENSO, the monsoon, and diurnal cycle in rainfall variability over Java, Indonesia. *J. Atmos. Sci.*, 67, 3509-3524.
- [27] Berner J., Ha S.Y., Hacker J.P., Fournier A. & Snyder C. (2011). Model uncertainty in a mesoscale ensemble prediction system: Stochastic versus multiphysics representations. *Mon. Wea. Rev.* 139, 1972-1995.
- [28] Demeritt D., Cloke H., Pappenberger F., Thielen J., Bartholmes J. & Ramos, M.H. (2007). Ensemble predictions and perception of risk, uncertainty, and error in flood forecasting. *Environmental Hazards*, 7, 115-127.
- [29] Taylor J.W. & Buizza R. (2002). Neural network load forecasting with weather ensemble predictions. *IEEE Trans. On Power System*, 17, 626-632.
- [30] Mallet V. (2010). Ensemble forecast of analysis: Coupling data assimilation and sequential aggregation. *Jour. Geophys. Res.*, XXXX, DOI:10.1029, 1-10.
- [31] Frederiksen J.S., Collier M.A. & Watkins A.B. (2004). *Ensemble prediction of blocking regime transitions*. *Tellus*, 56A, 485-500.
- [32] Conrad V. & Pollak L.W. (1950). *Methods in climatology*. Harvard University Press, Cambridge.
- [33] Usman H. & Akbar R.P.S. (2000). *Pengantar statistik*. Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.
- [34] Nazir M. (2003). *Metode penelitian*. Penerbit PT Ghalia Indonesia, Jakarta.
- [35] BMG. (2004). *Prakiraan musim untuk pertanian di 10 kabupaten model statistik hybrid*. Laporan Penelitian TA 2004. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMG.
- [36] BMG. (2005). *Pengembangan dan evaluasi model iklim statistik hibrid skala global, regional, dan lokal untuk prakiraan, simulasi, dan aplikasi sektoral*. Laporan Penelitian TA 2005. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMG.
- [37] BMG. (2006). *Prakiraan musim kemarau tahun 2006 di Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [38] BMKG. (2011). *Kajian multimodel ensemble prediksi iklim dan validasi teknik multivariat*. Laporan Penelitian TA 2011. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG.
- [39] Wiryajaya I.N.G., Purbawa I.G.A. & Putra M.D.J. (2009). Validasi spasial model ARIMA, ANFIS, Wavelet, dan TISEAN untuk prakiraan curah hujan di Bali. *Bul. Met. Klim. Geo.*, 5(4), 353-368.
- [40] Sonjaya I., Kurniawan T., Munir M., Wiratri M. & Khairullah. 2009. Uji aplikasi HyBMG versi 2.0 untuk prakiraan curah hujan pola musonal, ekuatorial, dan lokal. *Bul. Met. Klim. Geo.*, 5(3), 323-339.
- [41] Hadi W. 1987. Aktifitas Konveksi Cumulus. Jakarta. *Bul. Met. Geo.*, V(3), 5-7.
- [42] Qian J.H. & Zubair L. (2010). The effect of grid spacing and domain size on the quality of ensemble regional climate downscaling over South Asia during the Northerly Monsoon. *Mon. Wea. Rev.* 138, 2780-2802.
- [43] Swarinoto Y.S. & Suyono H. 2001. Peluang Kejadian Curah Hujan Harian di Daerah Khusus Ibukota Jakarta dan Sekitarnya Untuk Bulan Januari Selama 10 Tahun Terakhir. *J. Met. Geo.*, 2, 9-16.
- [44] Sandy I.M. 1995. *Atlas Republik Indonesia*. Penerbit PT Indograf Bakti dan Jurusan Geografi FMIPA-UI, Depok.
- [45] Garcia B.I.L., Sentelhas P.C., Tapia L. & Sparovek G. (2008). Filling in missing rainfall data in the Andes region of Venezuela, based on a cluster analysis approach. *Rev. Bras. Agrometeorologis*, 14 (2), 225-233