

KAJIAN VERIFIKASI PRODUK PRAKIRAAN CURAH HUJAN BULANAN (2003-2012)

VERIFICATION OF MONTHLY RAINFALL FORECAST (2003-2012)

Robi Muharsyah

Sub Bidang Analisa Informasi Iklim Pusat Iklim Agroklimat dan Iklim Maritim

E-mail: robi.muharsyah@gmail.com

Naskah masuk: 3 Januari 2015; Naskah diperbaiki: 22 Desember 2016; Naskah diterima: 17 November 2017

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk mengukur kualitas produk prakiraan curah hujan (PCH) bulanan dengan cara melakukan verifikasi PCH selama 10 tahun pada periode 2003-2012. Berdasarkan bentuk prakiraan yang dipublikasikan maka metode verifikasi yang sesuai adalah verifikasi prakiraan berkategori. Ukuran verifikasi yang digunakan yaitu Ketepatan, Keunggulan dan Keandalan. Ketepatan diukur dengan nilai *Proportion of Correct* (PC), Keunggulan dengan nilai *Heidke Skill Score* (HSS) dan Keandalan dengan nilai *Frequency Bias Index* (FBI). Hasilnya secara temporal dan spasial, PCH pada periode JJA (musim kemarau) lebih baik dari pada PCH pada periode DJF (musim hujan). Nilai rata-rata PC, HSS dan FBI pada musim kemarau berada pada kriteria: ketepatan tinggi, unggul dan handal. Peningkatan kualitas PCH pada musim kemarau umumnya terdapat pada pos hujan di wilayah Monsunal seperti Sumatera bagian tengah hingga selatan, Kalimantan bagian selatan, Sulawesi Selatan bagian barat, Jawa bagian tengah dan timur hingga ke pulau Bali, dan Nusa Tenggara. Namun demikian, selama periode 2003-2012, kualitas PCH pada musim kemarau 2010 adalah yang paling buruk. Hal ini disebabkan karena adanya fenomena La Nina Kuat yang berpengaruh pada peningkatan jumlah curah hujan pada saat musim kemarau di Indonesia.

Kata kunci: Prakiraan Berkategori, Ketepatan, Keunggulan, Keandalan

ABSTRACT

This study aims to measure the quality of monthly rainfall forecast (PCH) product by doing a verification of PCH over 10 years (2003-2012). Based on the availability of the forecast design, multi categorical forecast verification method was applied. The measurements to verify were accuracy, skill and reliability. Accuracy was calculated by using Proportion of Correct (PC), skill using Heidke Skill Score (HSS) and reliability using Frequency Bias Index (FBI). Temporal and spatial results show that PCH on the period of JJA (dry season) is better than PCH DJF (rainy season). Criteria for average value of PC, HSS and FBI in dry season were: accurate, skillful and reliable. The improvement of forecast quality in dry season generally obtained on the stations in Monsoon area such as from central to southern part of Sumatera, southern part of Kalimantan, western part of South Sulawesi, from central and eastern part of Java to Bali and Nusa Tenggara islands. However, in the observed period, the quality of PCH in dry season in 2010 was the worst. This is because of strong La Nina trigerring increasing the amount of rainfall in dry season in Indonesia.

Keywords: Multi Categorical Forecast, Accuracy, Skill, Reliability

1. Pendahuluan

Layanan informasi klimatologi yang tepat dan akurat merupakan salah satu wujud dari visi BMKG [1]. Layanan tersebut diantaranya berupa penyebaran produk informasi prakiraan hujan bulanan. Menurut SOP (*Standart Operating Procedure*) Pembuatan Prakiraan Hujan Bulanan [2], prakiraan hujan bulanan dibuat setiap awal bulan untuk tiga bulan kedepan. Terdapat dua bentuk prakiraan yang dihasilkan setiap bulannya yaitu prakiraan curah hujan bulanan (selanjutnya disebut PCH) dan prakiraan sifat hujan bulanan (PSH).

Pada SOP tersebut dijelaskan bahwa sistem prakiraan yang dipakai dalam membuat PCH terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: pertama, data curah hujan bulanan dikumpulkan dari pos hujan diseluruh Indonesia. Kedua, data tersebut diolah dengan berbagai metode statistik seperti analisis *time series*, *neural network* ataupun metode sederhana menggunakan analogi terhadap kejadian masa lalu. Ketiga, hasil pengolahan dibahas dengan mempertimbangkan kondisi dinamika atmosfer seperti indeks ENSO, Suhu Muka Laut Indonesia, dsb. Pembahasan dilakukan melalui suatu kelompok diskusi antar sesama *forecaster* (pada gambar 1 disebut

sebagai Rapat Unit Terkait BMKG). Tujuan tahap ketiga ini adalah untuk melakukan pengaturan (istilah operasionalnya disebut justifikasi) terhadap hasil-hasil dari metode statistik dengan harapan dihasilkan PCH yang lebih baik. Keempat, diperoleh PCH sesuai dengan keputusan bersama yang kemudian dipublikasikan pada Buku Prakiraan Hujan Bulanan. Alur SOP tersebut dapat dilihat lebih jelas pada gambar 1.

Layanan informasi iklim berupa PCH yang dibuat setiap bulan tersebut akan bermanfaat dan dapat memenuhi kebutuhan penggunanya jika mempunyai kualitas yang bagus. Salah satu cara mengukur kualitas tersebut adalah dengan melakukan verifikasi antara PCH yang dibuat dengan keadaan yang sebenarnya dalam hal ini berupa data observasi curah hujan (selanjutnya disebut OCH) yang disesuaikan dengan periode bulan PCH.

Menurut dokumen teknis WMO/TD No. 1023 [3], verifikasi berguna untuk meyakinkan apakah prakiraan yang dibuat, seperti halnya PCH, mempunyai ketepatan (*accuracy*), keunggulan (*skill*) dan keandalan (*reliability*). Selanjutnya Brier dan Allen [4] menyatakan setidaknya terdapat tiga hal diperlukannya verifikasi: *administrative*, *economic* dan *scientific*. Pertama sisi *administrative*, verifikasi berguna untuk memantau apakah terdapat peningkatan kemampuan prakiraan dari waktu ke waktu. Kedua sisi *economic*, verifikasi berguna untuk mengetahui apakah prakiraan yang dibuat mempunyai nilai ekonomi sehingga dapat dijadikan sebagai alat pembuat keputusan bagi penggunanya seperti petani dalam menentukan awal musim tanam, dsb. Ketiga sisi *scientific*, verifikasi berguna untuk mengevaluasi kemampuan sistem prakiraan yang dipakai dalam memprediksi kejadian-kejadian iklim pada periode yang akan datang.

Kajian ini tidak bertujuan untuk mengevaluasi metode statistik tertentu yang dipakai dalam membuat PCH selama ini. Hal ini disebabkan karena, pertama, terdapat proses justifikasi, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada SOP Pembuatan Prakiraan Hujan Bulanan [2], sehingga hasil keluaran PCH bergantung analisis dan sudut pandang dari masing-masing *forecaster* yang melakukannya saat itu. Kedua, PCH bulanan yang tidak bersifat *replicable* yang berarti bahwa PCH bulanan yang dipublikasikan tidak selalu berasal dari persamaan matematika yang sama setiap bulannya.

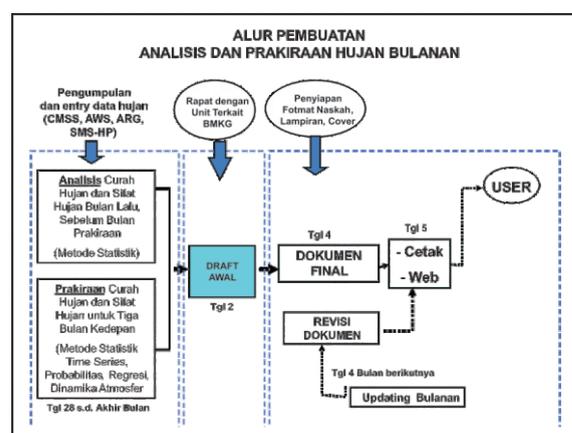
Verifikasi terhadap layanan informasi iklim berupa produk PCH telah dilakukan pada tahun 2012. Hasilnya diuraikan secara lengkap dalam Buku Verifikasi Prakiraan Iklim Indonesia 2002-2011 [5]. Verifikasi yang dilakukan pada saat itu belum dilakukan secara mendalam karena hanya mengukur ketepatan PCH saja. Ukuran ketepatan yang

digunakan pada buku tersebut menggunakan istilah “Sesuai Prakiraan” dan “Menyimpang Prakiraan” yang dinyatakan dalam persentase. Ukuran ketepatan tersebut belum menggunakan kaidah dan metode verifikasi seperti yang terdapat dalam dokumen WMO/TD No. 1023 [3] serta dalam dokumen *Standardised Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF) WMO* [6].

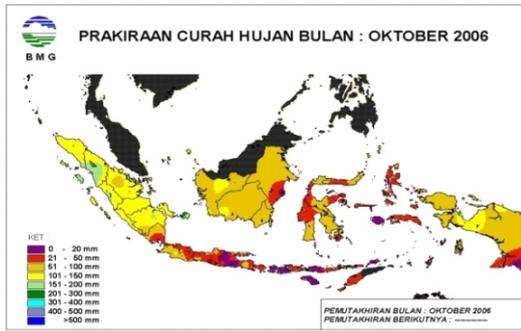
Oleh karena itu kajian ini bertujuan untuk mengukur kualitas produk PCH dengan melakukan verifikasi, tidak hanya untuk mengetahui ketepatan namun juga keunggulan dan keandalan PCH, sesuai dengan kaidah dan metode yang mengacu pada dokumen [3] dan [6].

Disimpulkan dari *SVS for LRF* [6], produk PCH termasuk pada kategori *Deterministics LRF*. *Deterministics LRF* adalah prakiraan yang dibuat setidaknya untuk tiga bulan kedepan dan hanya memrakirakan satu nilai untuk satu lokasi tertentu. Nilai-nilai tersebut dapat terdiri dari beberapa kategori seperti Atas Normal, Bawah Normal, Normal, dsb. Hal ini sama dengan bentuk informasi PCH yang dipublikasikan BMKG setiap bulannya seperti PCH untuk Oktober 2006 pada gambar 2 [7]. Pada Gambar tersebut terdapat sembilan kategori kelas nilai PCH dan setiap wilayah mempunyai prakiraan untuk satu nilai misalnya PCH untuk Banda Aceh: 51-100 mm, Jakarta: 21 – 50 mm, dst.

Tulisan pada kajian ini terdiri dari empat bagian, pertama pendahuluan tentang PCH bulanan sebagai salah satu layanan informasi iklim. Bagian kedua, menguraikan tentang data yang digunakan dan cara pengambilannya serta metode yang dipakai untuk melakukan verifikasi PCH. Bagian ketiga membahas hasil ukuran-ukuran verifikasi secara temporal dan spasial. Serta bagian keempat adalah kesimpulan.



Gambar 1. Tahap pembuatan prakiraan hujan bulanan sesuai SOP bidang informasi iklim BMKG



Gambar 2. Contoh dokumen publikasi PCH bulanan untuk Oktober 2006 dengan kelas nilai PCH terlihat dari legend pada sisi kiri bawah peta

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan terdiri dari dua jenis. Pertama, peta PCH yang diambil dari dokumen Buku Prakiraan Hujan bulanan selama 10 tahun, periode 2003 – 2012, di Perpustakaan BMKG Pusat Jakarta. Kedua, data observasi (OCH) total curah hujan bulanan pada periode yang sama di 407 pos hujan atau stasiun BMKG. Pemilihan 407 pos hujan didasarkan pada dua hal:

- Pos hujan yang dipilih mewakili pos hujan utama yang ada di setiap wilayah tipe hujan Indonesia (342 ZOM dan 65 NONZOM). Pos hujan utama yang termasuk pada tiap-tiap wilayah tipe hujan di Indonesia dijelaskan pada Buku Prakiraan Musim Hujan dan Buku Prakiraan Musim Kemarau [8].
- Pos hujan yang dipilih tersebut diasumsikan selalu digunakan dalam pembuatan PCH selama periode 2003-2012. Hal ini dikarenakan pos tersebut memiliki panjang data lebih dari 10 tahun [9].

Selanjutnya, dari 407 pos hujan, dipilih pos hujan dengan ketersediaan data lebih 75% selama periode 2003-2012 (panjang data ≥ 90 bulan). Hasilnya disebut sebagai pos hujan terpilih. Kemudian koordinat lokasi dari pos hujan terpilih digunakan untuk diambil nilai PCH-nya.

Pengambilan nilai PCH dilakukan dengan teknik pengumpulan data dari dokumen. Menurut Sugiyono [10], teknik pengumpulan data seperti ini merupakan salah satu cara dalam mengumpulkan data untuk penelitian dan biasanya digunakan pada penelitian yang bersifat kualitatif. Pada kajian ini dokumen yang digunakan adalah peta PCH bulanan. Pengambilan nilai PCH dilakukan melalui pengenalan warna *Red Green Blue* (RGB) untuk setiap kelas curah hujan pada peta PCH. Pada setiap peta terdapat keterangan atau legenda untuk menjelaskan kelas-kelas nilai PCH. Kemudian kelas-kelas tersebut dijadikan kategori nilai PCH.

Proses pengambilan nilai PCH diawali dengan melakukan *scanning* terhadap setiap dokumen peta.

Kemudian digunakan metode *georeferencing* pada aplikasi *Geographic Information System* (GIS). Aplikasi GIS yang mendukung metode ini dapat ditemui pada *Arc GIS*, *Arc View* ataupun *Quantum GIS*. Tahapan proses *georeferencing* lokasi pos hujan terpilih terhadap *image* peta PCH hasil *scanning* dijelaskan pada gambar 3.

Menurut Astrini dan Oswald [11] *Georeferencing* merupakan proses penyalarsan geografi dari objek berupa *raster*, foto udara ataupun *image* hasil *scanning* peta yang belum mempunyai acuan sistem koordinat ke dalam sistem koordinat dan proyeksi tertentu sehingga dapat dikenali sistem koordinatnya oleh aplikasi GIS. Ketepatan metode *georeferencing* dalam mengenali sistem koordinat suatu *image* diukur melalui nilai *residual* berupa *RMSE* antara titik-titik pada peta yang sudah mempunyai sistem koordinat dengan *image* peta PCH yang akan di-*georeferencing*. Selanjutnya dengan menampilkan koordinat lokasi pos hujan terpilih maka warna-warna pada *image* peta PCH dapat dikenali. Kemudian dilakukan digitasi satu persatu lokasi pos hujan terpilih untuk diambil nilai-nilai PCH-nya.

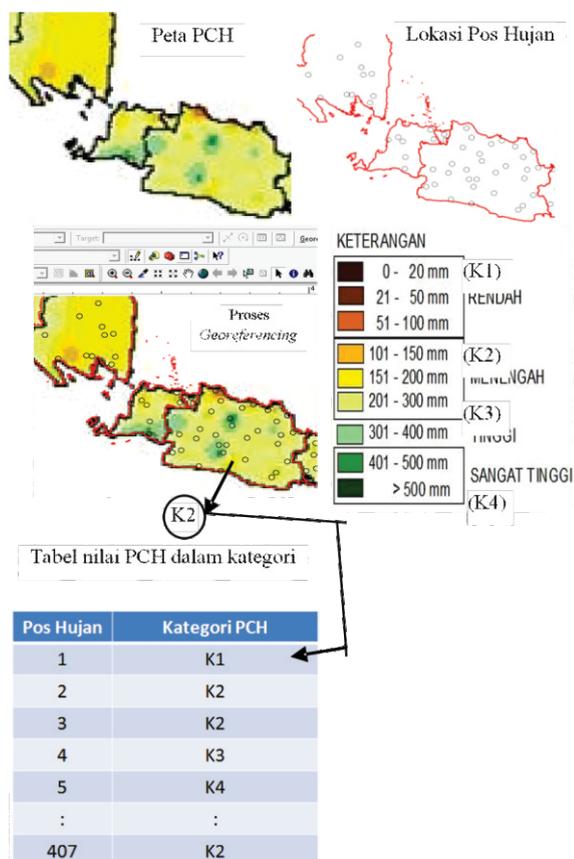
Pada katalog di Perpustakaan BMKG [7], dari periode 2003 hingga 2015 terdapat tiga kali pergantian kelas nilai-nilai PCH seperti diberikan pada tabel 1. Periode Jan 2003 s.d. Agt 2004 digunakan enam kategori kelas nilai PCH yaitu : <50 mm, 51-100 mm, 101-200 mm, 201-300 mm, 301-400 mm dan >400 mm. Periode Sep 2004 s.d. Des 2007 digunakan delapan kategori kelas nilai PCH yaitu : 0-20 mm, 21-50 mm, 51-100 mm, 101 – 150 mm, 151 – 200 mm, 201-300 mm, 301-400 mm dan >400 mm. Sedangkan periode Jan 2008 s.d. Des 2012 digunakan sembilan kategori kelas nilai PCH yaitu : 0-20 mm, 21-50 mm, 51-100 mm, 101 – 150 mm, 151 – 200 mm, 201-300 mm, 301-400 mm, 401 – 500 mm dan >500 mm. Pada produk publikasi PCH bulanan Jan 2008 s.d. Des 2012 kesembilan kelas tersebut dikategorikan lagi menjadi empat kategori utama yaitu Rendah (0-20 mm, 21-50 mm, 51-100 mm), Menengah (101 – 150 mm, 151 – 200 mm, 201-300 mm), Tinggi (301-400 mm) dan Sangat Tinggi (401-500 mm dan >500 mm).

Tabel 1. Kelas nilai-nilai PCH periode 2003-2012

	Jan 2003- Agt 2004	Sep 2004- Des 2007	Jan 2008- Des 2012	Kategori Utama
kelas PCH	<50	0-20	0-20	0 - 100 (Rendah)
		21-50	21-50	
	51-100	51-100	51-100	101-200 (Menengah)
		101-150	101-150	
	101-200	151-200	151-200	201-300 (Tinggi)
		201-300	201-300	
201-300	301-400	301-400	>400 (Sangat Tinggi)	
	>400	>400		
Σ	6	8	9	4

Kategori kelas nilai-nilai PCH tidak selalu sama dari 2003-2012, namun demikian diantara nilai-nilai tersebut terdapat kelas yang saling beririsan seperti yang diberikan pada table 1. Oleh karena itu kelas nilai-nilai PCH tersebut dikelompokkan lagi menjadi empat kategori utama : Rendah (0-100 mm) disebut K1, Menengah (101-300 mm) disebut K2, Tinggi (301-400 mm) disebut K3 dan Sangat Tinggi (> 400 mm) disebut K4. Selain itu pengelompokan kelas nilai-nilai PCH menjadi kategori Rendah, Menengah, Tinggi dan Sangat Tinggi tersebut juga telah digunakan sejak publikasi PCH pada bulan Januari 2008 hingga saat ini.

Begitu juga untuk data observasi curah hujan bulanan, nilai OCH yang bersesuaian dengan empat kategori tersebut diubah menjadi K1, K2, K3 dan K4. Selanjutnya akan diperoleh pasangan nilai PCH dan OCH dalam bentuk kategori K1, K2, K3 dan K4. Berdasarkan kategori-kategori tersebut ditentukan metode verifikasi yang sesuai dan dihitung ukuran-ukuran verifikasinya.



Gambar 3. Tahapan proses *Georeferencing* antara lokasi pos hujan (lingkaran hitam) dengan *image* peta PCH hasil *scanning* untuk pengambilan nilai PCH

Metode yang dipakai untuk menghitung ukuran verifikasi harus disesuaikan dengan bentuk prakiraan yang dibuat [4]. Menurut *WWRP-WGNE* [12] terdapat berbagai bentuk prakiraan yang dapat dibuat dan metode verifikasi yang dipakai untuk tiap-tiap prakiraan juga berbeda satu sama lain. Pada tabel 2 dijelaskan jenis prakiraan, contoh serta metode verifikasi yang dipakai.

Berdasarkan tabel 2, maka produk PCH dapat diverifikasi dengan metode *Multi-Category*. Menurut Jolliffe [13] metode verifikasi untuk prakiraan dengan banyak kategori (*Multi-Categorical Forecast*) dikembangkan dari metode verifikasi untuk prakiraan dengan dua kategori (*Binary Forecast*). Pada *Multi-Categorical Forecast* tabel kontingensi yang digunakan tidak lagi 2x2 tapi $K \times K$ dengan K lebih dari dua. Metode penghitungannya banyak dijelaskan dalam berbagai literature seperti *WMO/TD No. 1023* [3], *SVS for LRF* [6], *WWRP-WGNE* [12], Jolliffe [13] serta buku *Statistical Methods In The Atmospheric Sciences* bab *Forecast Verification* [14]. Berikut ini dijelaskan secara singkat metode verifikasi prakiraan berkategori yang dirangkum dari semua literatur tersebut.

Tabel 2. Berbagai bentuk jenis prakiraan dan metode verifikasinya menurut *WWRP-WGNE*[12]

Type of Forecast	Example	Verification Method
<i>Nature of Forecast</i>		
-Deterministic	quantitative precipitation forecast	Vis, Dic, M-C, Con,
-Probabilistic	probability of precipitation, ensemble forecast	Vis, Pro, Ens
-Qualitative	5-day outlook	Vis, Dic, M-C
<i>Space-Time Domain</i>		
-Time Series	daily maximum temperature forecasts for a city	Vis, Dic, M-C, Con, Pro
-Spatial Distribution	map of geopotential height, rainfall chart	Vis, Dic, M-C, Con, Pro, Spa, Ens
-Pooled Space and Time	monthly average global temperature anomaly	Dic, M-C, Con, Pro, Ens
<i>Specificity of Forecast</i>		
-Dichotomous (Yes/No)	occurrence of fog	Vis, Dic, Pro, Spa, Ens
-Multi-Category (Categorical)	cold, normal, or warm conditions	Vis, M-C, Pro, Spa, Ens
-Continuous	maximum temperature	Vis, Con, Pro, Spa, Ens
-Object or Event oriented	tropical cyclone motion and intensity	Vis, Dic, M-C, Con, Pro, Spa

Keterangan :
 Vis : Visual, Dic : Dichotomous, M-C : Multi-Category, Con : Continuous, Pro : Probabilistic, Ens : Ensemble, Spa : Spatial

Verifikasi Prakiraan Berkategori. Misal \hat{x}_i dan x_j adalah pasangan kategori PCH dan OCH yang saling bersesuaian untuk $i = 1, 2, \dots, K$ dengan K adalah banyak kategori, maka frekuensi relatif (p_{ij}) dari PCH kategori- i dan OCH kategori- j adalah jumlah pasangan PCH kategori- i dan OCH kategori- j (n_{ij}) dibagi total dari PCH atau OCH (n), ditulis sebagai :

$$\hat{p}(\hat{x}_i, x_j) = p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n}; \quad i, j = 1, \dots, K \quad (1)$$

Selanjutnya, setelah diperoleh frekuensi relatif tiap-tiap pasangan kategori ij maka dapat dihitung jumlah frekuensi relative pada tiap-tiap kategori PCH dan OCH. Hal ini dapat dinyatakan sebagai

$$\hat{P}_i = \sum_{k=1}^K p_{ik} \quad \text{untuk } i = 1, \dots, K \text{ dan}$$

$$P_j = \sum_{k=1}^K p_{kj} \quad \text{untuk } i = 1, \dots, K \quad (2)$$

Tabel kontingensi untuk frekuensi relatif tersebut ditunjukkan oleh tabel 3.

Pers. (1) dan (2) digunakan untuk menghitung nilai-nilai yang ada pada tabel 3. Berdasarkan nilai tersebut dapat dihitung ukuran-ukuran verifikasi. Ukuran verifikasi untuk ketepatan antara lain *Proportion of Correct* (PC), *Probability of Detection* (POD) atau disebut juga *Hit Rate* (H), *False Alarm Rate* (F) dan *False Alarm Ratio* (FAR). Jika $K > 2$ maka ukuran verifikasi untuk ketepatan yang lebih sesuai dan sering digunakan adalah PC [13]. Sedangkan ukuran keunggulan yang banyak digunakan adalah *Heidke Skill Score* (HSS) dan untuk keandalan (*reliable*) adalah *Frequency Bias Index* (FBI) [13].

Ketepatan adalah suatu ukuran yang menggambarkan seberapa dekat nilai PCH terhadap OCH. Ketepatan diukur dengan PC. Nilai PC berkisar dari 0 s.d 1, jika semakin mendekati satu maka diartikan ketepatan PCH semakin bagus dalam memprakirakan OCH. PC dirumuskan sebagai berikut :

$$PC = \sum_{i=1}^K p_{ii} \quad \text{dan } (0 \leq PC \leq 1) \quad (3)$$

Nilai PC dapat dianalogikan seperti nilai korelasi *pearson*® [15]. Sama halnya dengan r , nilai PC yang mendekati 1 menandakan nilai yang semakin sempurna. Pada kajian ini nilai PC dibagi menjadi empat kriteria yang menandakan tingkat ketepatan suatu PCH, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.

Keunggulan adalah ketepatan relatif dari suatu PCH terhadap model prakiraan referensi. Prakiraan referensi adalah prakiraan yang tidak memiliki skill (*unskill forecast*) misalnya peluang acak atau nilai klimatologi. Murphy dalam Boer [16] menyatakan bahwa keunggulan dapat diartikan sebagai

peningkatan ketepatan prakiraan karena membaiknya sistem prakiraan tersebut.

HSS merupakan salah satu ukuran yang sering digunakan untuk mengetahui keunggulan dari prakiraan berkategori [13]. Nilai HSS berkisar antara $-\infty$ s.d 1. PCH yang mempunyai keunggulan terlihat dari nilai HSS yang positif namun keunggulan yang semakin bagus ditunjukkan oleh nilai HSS yang mendekati 1. Jika nilai HSS negatif maka PCH tersebut tidak lebih baik dari prakiraan yang dibuat berdasarkan kondisi klimatologisnya saja atau dengan kata lain PCH tersebut tidak lebih baik dari PCH referensi. Sedangkan HSS yang mendekati nol atau HSS = 0 berarti PCH tidak mempunyai keunggulan (*noskill*). Berdasarkan uraian tersebut, pada kajian ini nilai HSS dibagi menjadi tiga kriteria yang menandakan tingkat keunggulan PCH seperti yang ditunjukkan oleh tabel 5. HSS dirumuskan sebagai berikut:

$$HSS = \frac{\left(\sum_{i=1}^K p_{ii} - \sum_{i=1}^K P_i \hat{P}_i \right)}{\left(1 - \sum_{i=1}^K P_i \hat{P}_i \right)} \quad (4)$$

dengan $\text{dan } (-\infty \leq HSS \leq 1)$

Keandalan merupakan tingkat kesesuaian rata-rata antara PCH dengan OCH, sedangkan penyimpangannya disebut *bias*. Semakin kecil *bias* maka semakin dapat diandalkan PCH tersebut. Pada prakiraan berkategori, keandalan diukur dengan FBI untuk tiap kategori [13]. Nilai FBI berkisar antara 0 s.d. ∞ PCH dikatakan mempunyai keandalan pada kategori K , jika nilai FBI untuk kategori K mendekati 1. Pada penelitian ini nilai FBI dikelompokkan menjadi tiga kriteria seperti pada tabel 6. FBI untuk setiap kategori dirumuskan sebagai berikut:

$$FBI_i = \frac{\hat{P}_i}{P_i} \quad \text{dengan } i = 1, \dots, K \text{ dan } (0 \leq FBI \leq \infty) \quad (5)$$

Tabel 3. Tabel kontingensi dari frekuensi relatif untuk kategori sebanyak K

		OCH				
		1	2	...j..	K	Jml
PCH	1	11	12	..j	K	1
	2	21	22	..j	K	2
	i	..1	..2	..ij	..iK	i
	K	..1	..2	..Kj	..KK	K
	Jml	1	2	j	K	1

Tabel 4. Kriteria tingkat ketepatan berdasarkan nilai PC

Nilai PC	Ketepatan
$0 \leq PC \leq 0.25$	Sangat Rendah
$0.25 < PC \leq 5$	Rendah
$5 < PC \leq 7.5$	Tinggi
$7.5 < PC \leq 1$	Sangat Tinggi

Tabel 5. Kriteria tingkat keunggulan berdasarkan nilai HSS

Nilai HSS	Keunggulan
$- \leq HSS < -0.05$	Buruk
$-0.05 \leq HSS \leq 0.05$	Tidak Ada
$0.05 < HSS \leq 1$	Ada

Tabel 6. Kriteria tingkat keandalan berdasarkan nilai HSS

Nilai FBI	Keandalan
$0 \leq FBI < 0.9$	Tidak Ada (<i>Under forecasting</i>)
$0.9 \leq FBI \leq 1.1$	Ada (<i>No Bias</i>)
$1.1 < FBI \leq$	Tidak Ada (<i>Over forecasting</i>)

Selanjutnya ukuran ketepatan, keunggulan dan keandalan produk PCH dikaji secara temporal dan spasial selama 10 tahun disetiap pos hujan terpilih.

3. Hasil dan Pembahasan

Selama periode 2003-2012 terdapat dua edisi dokumen Buku Prakiraan Hujan Bulanan yang tidak ditemukan pada katalog perpustakaan BMKG yaitu Feb 2004 dan Jan 2005 sehingga verifikasi dilakukan untuk 118 bulan PCH. Selanjutnya seperti telah dijelaskan pada Bagian Data dan Metode, bahwa sebanyak 407 pos hujan yang digunakan pada kajian ini mewakili wilayah tipe hujan di Indonesia (342 ZOM dan 65 NONZOM). Namun sebaran ZOM dan NONZOM tersebut tidak sama untuk setiap pulau. Sebagai contoh, sebaran terbanyak ada di pulau Jawa yaitu 150 ZOM dan 2 NONZOM. Sehingga untuk pulau Jawa saja terdapat 152 pos hujan yang digunakan untuk verifikasi. Hal ini berarti hampir 50% PCH yang diverifikasi adalah PCH di pulau Jawa.

Sebelum 407 pos hujan tersebut digunakan, terlebih dahulu dilakukan pengecekan kelengkapan data OCH selama periode 2003-2012. Terdapat 319 dari 407 pos hujan mempunyai data OCH dengan panjang data lebih dari 75%. Oleh karena itu verifikasi PCH dilakukan menggunakan 319 pos hujan terpilih. Sebaran 319 pos hujan diberikan oleh gambar 4. Rinciannya adalah 45 di Sumatera, 138 di Jawa, 47 di Bali dan Nusa Tenggara, 31 di Kalimantan, 37 di Sulawesi serta 21 di Maluku dan Papua.

Setelah diperoleh 319 pos hujan terpilih, informasi lokasi koordinat (bujur dan lintang) pos terpilih di petakan pada aplikasi GIS. Ketelitian pengambilan nilai PCH pada dokumen peta PCH merupakan bagian yang sangat penting pada kajian ini karena berpengaruh pada nilai-nilai PCH yang akan

diverifikasi. Oleh karena itu dilakukan *georeferencing* atau penyesuaian antara peta PCH terhadap lokasi koordinat pos hujan terpilih.

Diperoleh rata-rata nilai RMSE dari proses *georeferencing* untuk setiap dokumen peta PCH selalu mendekati nol. Hal ini menjamin bahwa kesalahan yang terjadi dalam proses pengambilan nilai PCH pada dokumen peta PCH sangat kecil [17]. Salah satu contoh hasil perhitungan nilai RMSE pada proses *georeferencing* diberikan pada gambar 5. Pada gambar tersebut digunakan tiga titik koordinat untuk menyesuaikan antara peta PCH dengan lokasi pos hujan terpilih. Kotak berwarna merah menunjukkan RMSE antara titik-titik koordinat pada kotak hijau (*X,Y source* dan *XY map*).

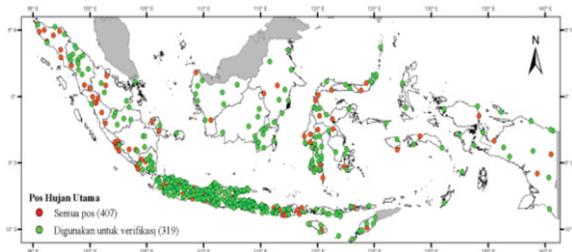
Setelah diperoleh nilai PCH dari semua dokumen peta PCH dan nilai OCH di 319 pos hujan terpilih kemudian pasangan nilai PCH dan OCH tersebut disesuaikan nilainya dengan kategori K1, K2, K3 dan K4. Selanjutnya nilai PC, HSS dan FBI dihitung menggunakan pers (1), (2) dan (3).

Sebelum membahas lebih lanjut mengenai ketepatan, keunggulan dan keandalan PCH berdasarkan nilai PC, HSS dan FBI, perlu ditekankan bahwa pada kajian ini *sample* yang dipakai untuk verifikasi berupa 319 pos hujan terpilih yang sebarannya tidak sama untuk tiap pulau, sebagaimana telah dijelaskan diawal pembahasan. Pada gambar 4, pos hujan yang digunakan umumnya berada pada daerah Monsunal seperti tipe hujan yang telah dikelompokkan oleh Aldrian dan Susanto [18]. Lebih tepatnya sebanyak 269 dari 319 pos hujan terpilih (84%) merupakan pos hujan dengan pola hujan bertipe Monsunal. Pada wilayah dengan tipe Monsunal, musim hujan dan kemarau dapat dibedakan dengan jelas. Oleh karena itu hasil kajian verifikasi yang dilakukan fokus kepada PCH – PCH yang dibuat pada periode musim kemarau dan hujan. Periode JJA dipilih untuk mewakili periode musim kemarau dan periode DJF dipilih untuk mewakili musim hujan.

Verifikasi PCH dilakukan secara temporal dan spasial. Secara temporal artinya nilai PC, HSS dan FBI dihitung berdasarkan bulan pembuatan PCH sehingga diperoleh 118 hasil untuk masing nilai PC, HSS dan FBI. Secara spasial artinya nilai PCH dihitung untuk setiap pos hujan sehingga diperoleh 319 nilai PC, HSS dan FBI.

Verifikasi secara temporal

Ukuran ketepatan dan keunggulan PCH secara temporal dari Jan 2003 s.d Des 2012 bervariasi setiap bulannya. Hal ini terlihat dari grafik nilai PC dan HSS pada gambar 6. Ketepatan tertinggi diperoleh untuk bulan Agt 2006 dengan PC 0.80 yang berarti 80% OCH pada saat itu dapat diprediksi dengan tepat. Sedangkan ketepatan terendah diperoleh untuk Jan 2008 dengan PC 0.17 yang berarti hanya 17% OCH yang dapat diprediksi dengan tepat. Keunggulan tertinggi diperoleh untuk PCH bulan Jul 2003 dengan HSS 0.4 yang berarti adanya keunggulan sebagai tanda bahwa terdapat peningkatan ketepatan dalam memprakirakan OCH sebesar 40% pada saat itu. Sedangkan keunggulan terburuk ditemukan pada PCH bulan Nov 2010 dengan HSS bernilai negatif (-0.09).



Gambar 4. Sebaran 407 lokasi pos hujan dan 319 pos hujan terpilih (titik hijau)

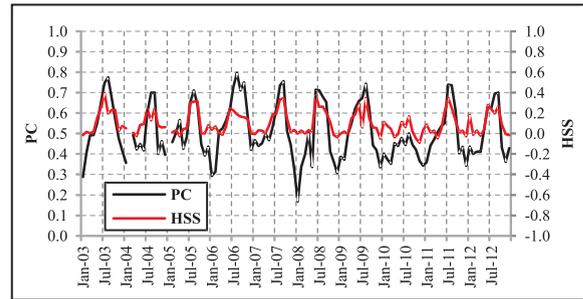
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	1261.568200	-448.382529	141.065062	-2.744660	0.00000
2	410.246594	-461.775204	106.129618	-3.257780	0.00000
3	645.444258	-588.958421	115.730330	-8.405190	0.00000

Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (AI) Total RMS Error: 0.00000
 Load... Save... Restore From Dataset OK

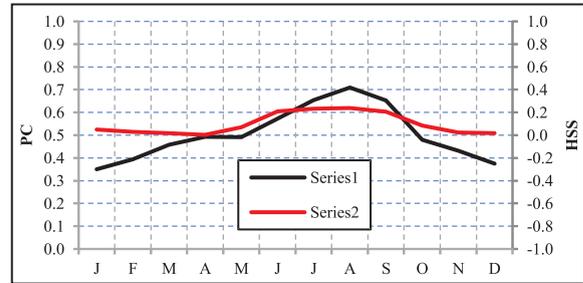
Gambar 5. Proses georeferencing yang menunjukkan titik koordinat yang dipakai (kotak hijau) dan tingkat ketelitian berdasarkan nilai RMSE (kotak merah)

Hal menarik yang didapatkan pada gambar 6 bahwa selama 10 tahun, disetiap bulan Juni, Juli dan Agustus (JJA), ketepatan dan keunggulan PCH lebih baik dibandingkan bulan lainnya. Umumnya nilai PC untuk ketiga bulan tersebut lebih dari 0.5. Artinya lebih dari 50% OCH JJA dapat diprediksi dengan tepat atau dengan kata lain tingkat ketepatan PCH JJA tinggi dan sangat tinggi. Hal yang sama juga diperoleh untuk keunggulan. Umumnya PCH JJA selalu mempunyai keunggulan (HSS > 0.05) dibandingkan bulan lainnya. Adanya keunggulan pada PCH JJA menandakan terdapat peningkatan ketepatan. Hal ini juga berarti bahwa sistem pembuatan prakiraan yang dipakai untuk periode JJA cukup baik dalam memprediksi OCH. Hanya saja peningkatan yang terjadi tidak lebih dari 50%.

Sebaliknya disetiap bulan Desember, Januari dan Februari (DJF) rendahnya nilai ketepatan PCH juga diikuti dengan tidak adanya keunggulan PCH pada tiga bulan tersebut. Nilai PC untuk DJF tidak lebih dari 0.5. Hal ini berarti kurang dari 50% OCH DJF yang dapat diprediksi dengan tepat atau dengan kata lain, tingkat ketepatannya rendah dan sangat rendah. Hal yang sama juga diperoleh untuk keunggulan. Umumnya PCH DJF tidak mempunyai keunggulan dibandingkan bulan lainnya. Tidak adanya keunggulan pada PCH DJF menandakan tidak terdapat peningkatan ketepatan serta sistem pembuatan prakiraan yang dipakai pada saat itu cenderung menggunakan nilai rata-rata atau klimatologi OCH DJF saja.



Gambar 6. Rata-rata nilai PC (hitam) dan HSS (merah) disemua pos hujan terpilih setiap bulan selama periode 2003-2012 dan lingkaran hijau untuk periode disekitar tahun 2010



Gambar 7. Sama dengan gambar 6 tapi untuk rata-rata bulanan

Selanjutnya gambar 7 adalah nilai rata-rata bulanan selama 10 tahun untuk nilai PC dan HSS. Terdapat perbedaan yang cukup besar untuk ketepatan dan keunggulan PCH antara periode JJA dan DJF. Perbandingan rata-rata ketepatan PCH JJA dan DJF adalah 0.65 berbanding 0.37 dan rata-rata keunggulan PCH JJA dan DJF adalah 0.23 berbanding 0.03.

Tingginya ketepatan dan adanya keunggulan PCH pada periode JJA dibandingkan DJF menandakan OCH pada musim kemarau lebih mudah diprediksi dibandingkan musim hujan. Hal ini disebabkan karena jumlah curah hujan yang terjadi pada musim kemarau lebih sedikit dibandingkan pada musim hujan, khususnya untuk wilayah Monsunal. Rata-rata selama 30 tahun periode 1981-2010 untuk OCH bulan Juni, Juli dan Agustus dan Desember, Januari, Februari diberikan pada gambar 8 [19]. Pada gambar tersebut wilayah Monsunal seperti Jawa, Lampung, Kalimantan bagian selatan, Sulawesi bagian selatan, Bali dan Nusa Tenggara nilai rata-rata OCH JJA umumnya berkisar 0-100 mm atau berada pada kategori K1. Oleh karena itu, selanjutnya perlu dikaji apakah PCH JJA juga dapat diandalkan dalam memprediksi OCH khusus untuk kategori K1 dengan cara menghitung nilai FBI K1.

Hasilnya diperoleh bahwa rata-rata FBI untuk kategori K1 pada PCH JJA mempunyai nilai paling mendekati satu yaitu sebesar 1.08 seperti ditunjukkan oleh gambar 9. Nilai tersebut termasuk pada kriteria tidak bias yang berarti tidak ada penyimpangan antara PCH JJA dan OCH JJA.

Berdasarkan uraian diatas disimpulkan bahwa hasil verifikasi PCH selama 10 tahun (2003-2012) menunjukkan PCH yang dibuat pada musim kemarau mempunyai ketepatan yang tinggi, unggul dan handal atau dengan kata lain mempunyai kualitas lebih bagus dari pada PCH yang dibuat pada musim hujan.

Verifikasi secara spasial

Ketepatan PCH dalam memprediksi OCH yang terjadi pada 319 pos hujan bervariasi di setiap wilayah. Sebagian besar ketepatan PCH dimasing-masing pos hujan memiliki kriteria rendah (40.44%) dan tinggi (57.05%). Sebarannya diberikan oleh gambar 10. Pada gambar tersebut, PCH dengan ketepatan rendah adalah PCH yang dibuat pada pos-pos hujan di wilayah Sumatera bagian utara, Jawa bagian barat, sebagian besar Kalimantan dan Sulawesi serta Maluku dan Papua. Sedangkan PCH dengan ketepatan tinggi umumnya ditemukan pada pos hujan di wilayah Sumatera bagian tengah hingga selatan, Kalimantan bagian selatan, Sulawesi Selatan bagian barat, Jawa bagian tengah dan timur hingga ke pulau Bali, dan Nusa Tenggara. Berdasarkan hal tersebut, secara rata-rata pos hujan di wilayah Monsunal mempunyai ketepatan lebih baik untuk diprediksi OCH-nya dibandingkan pos hujan di wilayah Ekuatorial dan Anti-Monsunal. Rata-rata nilai PC untuk pos hujan di wilayah Monsunal, Ekuatorial dan Anti-Monsun berturut-turut yaitu 0.52, 0.47 dan 0.42.

Selain ketepatan, kajian ini menghasilkan bahwa selama 10 tahun, umumnya PCH yang dibuat pada masing-masing pos hujan juga mempunyai keunggulan. Secara proporsi, dari 319 pos hujan yang diverifikasi, 76.8% diantaranya ada keunggulan, 21% tidak ada keunggulan dan 2.2% dengan keunggulan buruk. Sebarannya diberikan oleh gambar 11. Pada gambar tersebut, PCH yang mempunyai keunggulan, sebagian besar ditemukan pada pos hujan di bagian selatan Indonesia atau lebih tepatnya pos hujan pada wilayah Monsunal. Rata-rata nilai HSS untuk wilayah Monsunal, Ekuatorial dan Anti-Monsunal berturut-turut yakni 0.25, 0.03 dan 0.05.

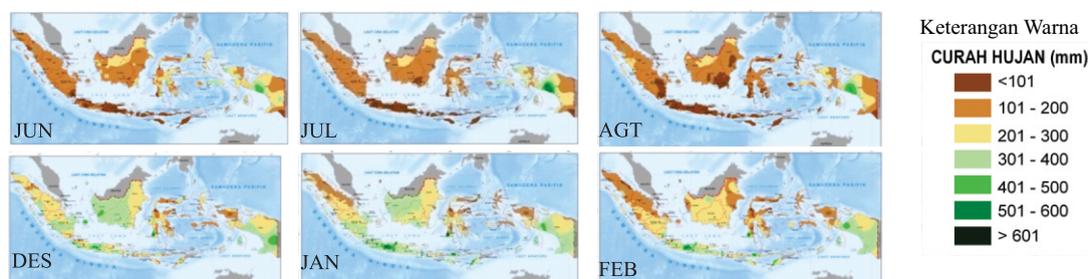
Berdasarkan nilai tersebut jelas bahwa PCH yang dibuat pada pos hujan di wilayah Monsunal mempunyai keunggulan atau dengan kata lain ada peningkatan ketepatan dalam memprediksi OCH. Sedangkan untuk wilayah Ekuatorial dan Anti-

Monsunal, PCH di wilayah tersebut tidak mengalami peningkatan dalam memprediksi OCH atau dengan kata lain tidak mempunyai keunggulan.

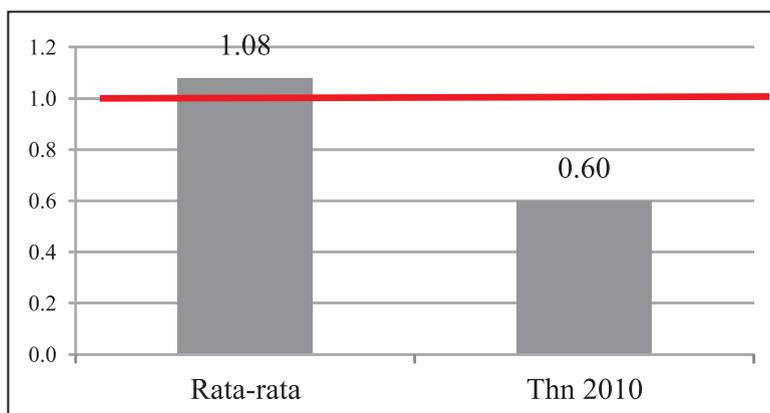
Berdasarkan uraian diatas, pos hujan di wilayah Monsunal mempunyai ketepatan dan keunggulan yang lebih baik dibandingkan wilayah lainnya. Hal ini disebabkan karena pola hujan di wilayah ini dapat dibedakan dengan jelas antara musim hujan dan musim kemarau. Sehingga diasumsikan bahwa tingginya ketepatan dan adanya keunggulan PCH disebabkan karena tingginya kemampuan sistem pembuatan prakiraan dalam memprediksi OCH yang terjadi pada musim kemarau. Untuk membuktikan asumsi ini maka perlu dilakukan verifikasi pada musim kemarau (JJA) dan musim hujan (DJF) saja.

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya, hasil verifikasi secara temporal menunjukkan periode musim kemarau (JJA) mempunyai ketepatan dan keunggulan lebih baik dibandingkan periode musim hujan (DJF). Hal ini juga terlihat jika verifikasi dilakukan secara spasial untuk periode JJA dan DJF saja (tanpa melibatkan bulan MAM dan SON), hasilnya seperti terlihat pada gambar 12. Gambar tersebut menunjukkan bahwa 221 dari 319 pos hujan mempunyai nilai PC lebih dari 0.5 dan 169 dari 319 mempunyai nilai HSS lebih dari 0.05. Hal ini berarti, sebanyak 69.3% pos hujan mempunyai ketepatan tinggi dan sangat tinggi serta 53% pos hujan juga mempunyai keunggulan untuk memprediksi OCH yang terjadi pada JJA. Sedangkan pada PCH DJF, banyaknya pos hujan dengan ketepatan tinggi hanya 15.4% serta pos hujan yang punya keunggulan hanya 31%.

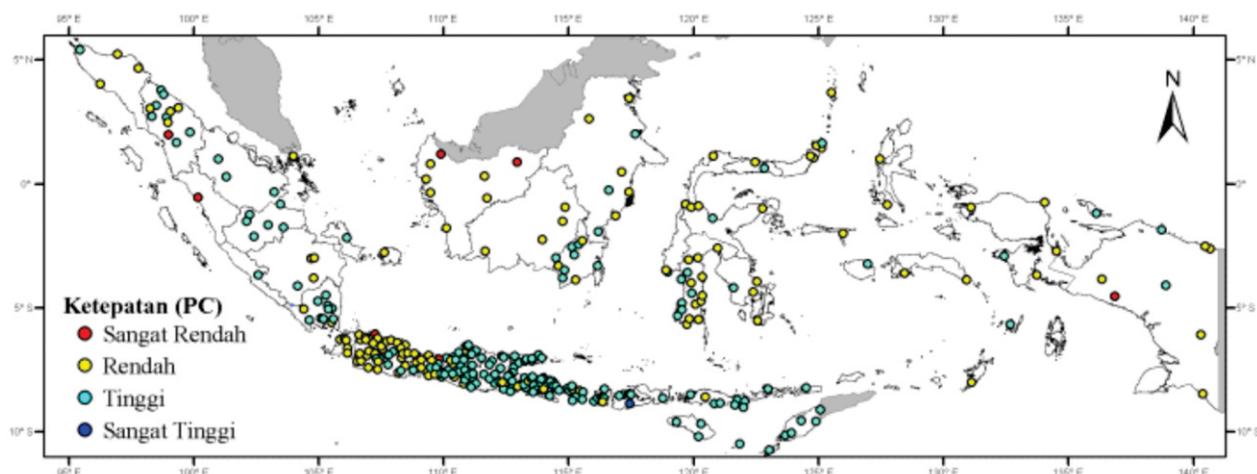
Membbaiknya kualitas PCH di tiap-tiap pos hujan pada periode JJA disebabkan karena keandalan PCH JJA dalam memprediksi OCH untuk kategori K1. Hal ini diketahui dari jumlah pos hujan dengan nilai FBI untuk K1 dengan kriteria tidak bias pada PCH JJA yaitu 29.87% dari 319 pos hujan. Pada umumnya, wilayah yang mempunyai keandalan pada K1 untuk PCH JJA yaitu pos hujan di Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTB dan NTT serta beberapa pos hujan di Sulawesi Selatan. Sedangkan pada PCH DJF nilai FBI untuk K1 dengan kriteria tidak bias hanya 7.48% dari 319 pos hujan.



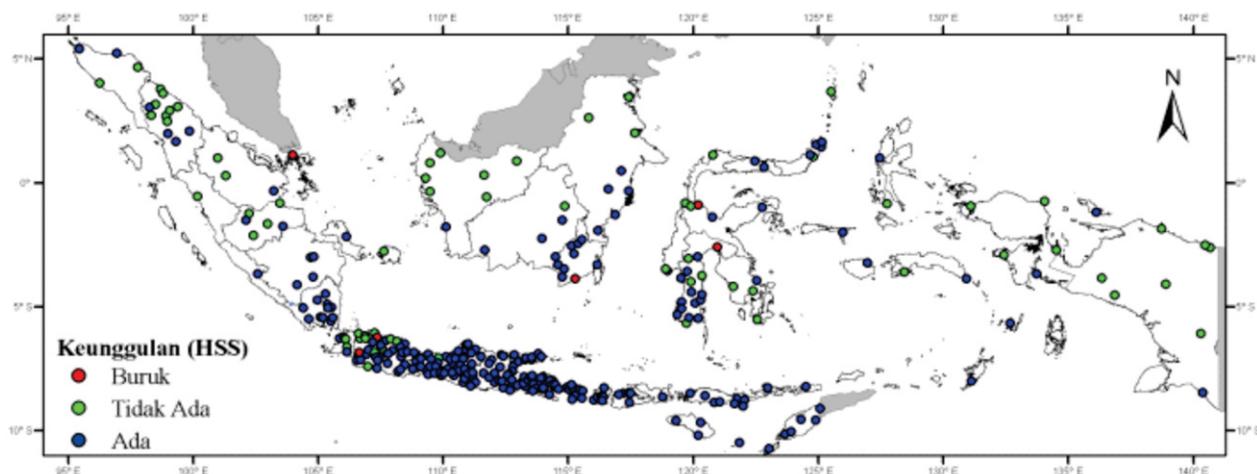
Gambar 8. Rata-rata OCH JJA dan DJF periode 30 tahun 1981-2010 [19]



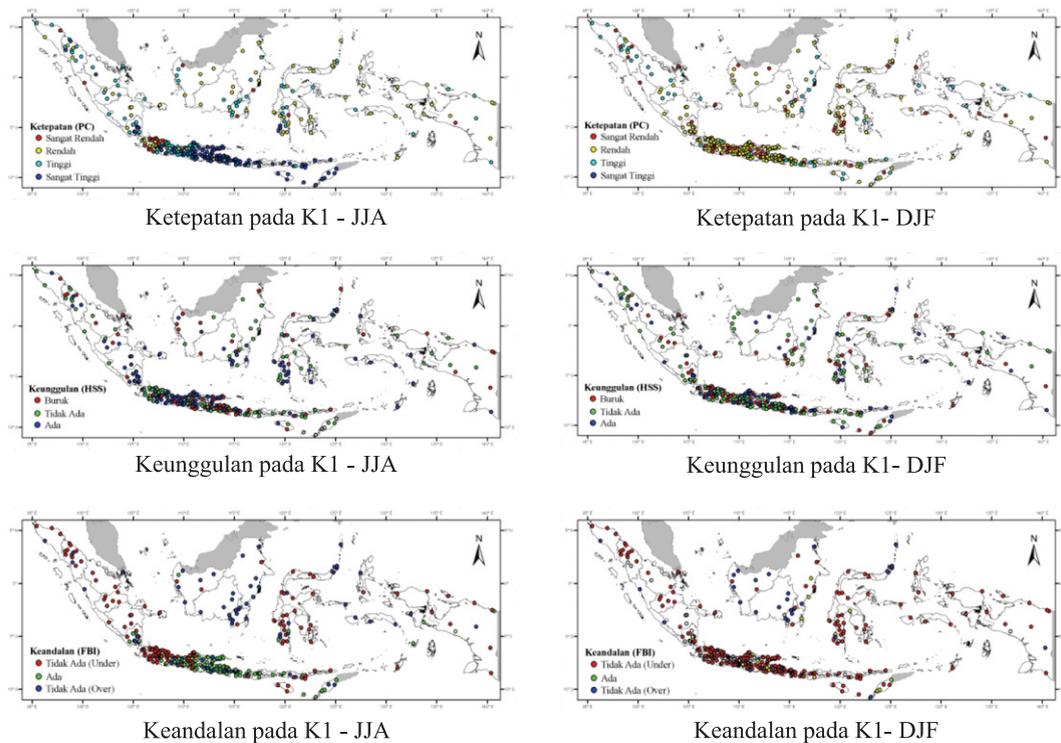
Gambar 9. Perbandingan Nilai FBI K1 untuk PCH : Rata-rata JJA vs JJA 2010



Gambar 10. Sebaran nilai PC di setiap pos hujan terpilih selama periode 2003-2012



Gambar 11. Sebaran nilai HSS di setiap pos hujan terpilih selama periode 2003-2012



Gambar 12. Sebaran nilai FBI untuk K1 di setiap pos hujan terpilih pada periode JJA dan DJF

Verifikasi tahun 2010

Selama periode verifikasi PCH yang dikaji, kualitas PCH pada musim kemarau 2010 paling buruk diantara tahun-tahun lainnya. Pada tahun tersebut, nilai PC pada JJA tidak lebih dari 0.5. Sedangkan HSS, nilainya selalu kecil dari 0.2 seperti terlihat pada gambar 6 (lingkaran hijau). Hal ini menandakan bahwa PCH JJA 2010 mempunyai tingkat ketepatan yang kurang dari 50% dalam memprediksi OCH atau tingkat ketepatannya rendah. Meskipun demikian, PCH JJA 2010 masih mempunyai keunggulan tersebut kurang dari 20%. Nilai FBI untuk kategori K1 pada PCH JJA 2010 sebesar 0.6 (seperti terlihat pada gambar 9), menandakan nilai tersebut termasuk pada kriteria *under forecasting*. Hal ini berarti PCH yang diprediksikan untuk JJA 2010 lebih rendah dari OCH JJA 2010 dan memang pada kenyataannya OCH pada JJA 2010 umumnya berada pada kategori K2, K3 dan K4.

Berdasarkan hasil verifikasi tahun 2010, PCH JJA tidak mampu merespon terjadinya fenomena La Nina pada saat itu. Seperti diketahui bahwa tahun 2010 merupakan salah satu tahun terjadinya La Nina Kuat berdasarkan nilai *Ocean Nino Index* (ONI) CPC NOAA [20]. La Nina merupakan salah satu fenomena ENSO yang menyebabkan curah hujan di Indonesia meningkat pada musim kemarau dan berdampak pada daerah selatan Indonesia dan timur Indonesia [21], [22]. Selanjutnya, As-syakur dan Prasetya [23] menyatakan bahwa awal kejadian La Nina 2010 dimulai pada bulan April dan peningkatan curah hujan mulai dirasakan pada wilayah Indonesia bagian selatan dengan besarnya peningkatan curah hujan saat itu mencapai diatas 300% dari curah hujan normal.

Prediksi *under forecasting* pada PCH JJA 2010 tidak hanya ditemukan pada produk PCH yang

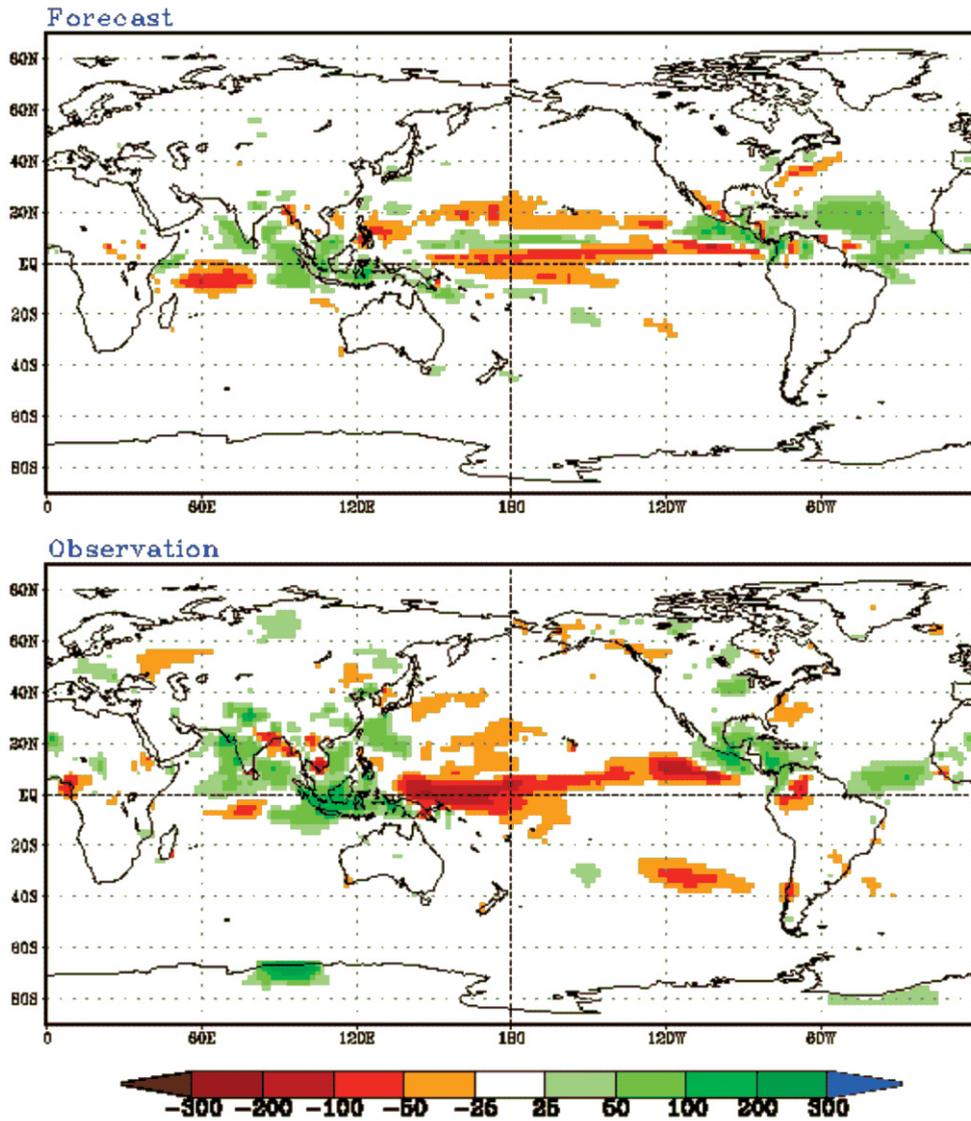
dipublikasikan BMKG. Lembaga meterologi USA: NWS/NCEP NOAA juga memprediksi curah hujan JJA 2010 di sekitar Indonesia lebih rendah dari observasinya. Hal ini terlihat seperti pada gambar 14. Pada gambar tersebut diprediksikan anomali curah hujan JJA 2010 di bagian selatan Indonesia sekitar -25 s.d 25 mm/bulan sedangkan observasinya sekitar 100-200 mm/bulan [24].

4. Kesimpulan

Selama 10 tahun (2003-2012) hasil verifikasi menunjukkan PCH yang dibuat pada musim kemarau (JJA) mempunyai ketepatan yang tinggi, unggul dan handal. Dengan kata lain, PCH JJA mempunyai kualitas lebih bagus dibandingkan pada PCH yang dibuat pada musim hujan (DJF). Wilayah-wilayah dengan kualitas PCH lebih bagus tersebut umumnya ditemukan pada pos-pos hujan di Sumatera bagian tengah hingga selatan, Kalimantan bagian selatan, Sulawesi Selatan bagian barat, Jawa bagian tengah dan timur hingga ke pulau Bali, dan Nusa Tenggara atau pos hujan dengan pola hujan Monsunal. Namun demikian, pada musim kemarau 2010 hasil PCH menunjukkan kualitas yang paling buruk dibandingkan tahun-tahun lainnya. Hal ini disebabkan karena adanya fenomena La Nina Kuat yang memengaruhi curah hujan di Indonesia pada musim kemarau 2010. Oleh karena itu pada saat prediksi iklim global menunjukkan kondisi La Nina Kuat atau sebaliknya El Nino Kuat, maka pada saat proses justifikasi, *forecaster* harus lebih teliti dalam mempertimbangkan prakiraan curah hujan yang akan dipublikasikan. Salah satunya dengan melakukan analisis komposit dan mempelajari data-data OCH masalah pada saat terjadi La Nina Kuat dan El Nino Kuat.



Jun-Jul-Aug 2010 Prec anomalies (mm/month)



Ensemble average of 40 members from initial conditions of 22Apr2010 to 01May2010.

Gambar 13. Perbandingan *forecast* curah hujan keluaran model NWS/NCEP untuk JJA 2010 terhadap *observation* JJA 2010 dan gambar di kanan bawah di perbesar untuk wilayah Indonesia (kotak biru) [24]

Daftar Pustaka

[1] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Visi dan Misi BMKG. Internet: http://bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Profil/Visi_dan_Misi.bmkg, diakses 10 Jan 2015.

[2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. SOP (Standart Operating Procedure) Sub Bidang Analisa dan Informasi Iklim BMKG. BMKG, 2011.

[3] World Meteorological Organization. Guidelines On Performance Assessment of Public Weather Services WMO/TD No. 1023. Geneva, Switzerland. WMO, 2000.

[4] Brier, G.W., and R.A. Allen,. Verification of

Weather Forecasts. Compendium of Meteorology, Amer. Meteor. Soc., 841-848, 1951.

[5] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Buku Verifikasi Prakiraan Iklim Indonesia. BMKG, 2012.

[6] World Meteorological Organization. Standardized Verification System (SVS) for Long-Range Forecast. WMO 458 Vol I, Attachment II.8. WMO, 2007.

[7] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Katalog Buku Analisis Hujan dan Prakiraan Hujan Bulanan periode 2003 – 2012. Perpustakaan BMKG Jakarta. BMKG, 2014.

- [8] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Buku Prakiraan Musim Kemarau 2014 - Februari 2014. BMKG, 2014.
- [9] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Laporan Akhir Penyusunan Peta Curah Hujan di Indonesia Rata-rata 1971-2000. Deputi Bidang Sistem Data dan Informasi Pusat Sisdatin Klimatologi dan Kualitas Udara BMG. Perpustakaan BMKG Jakarta. BMKG, 2007.
- [10] Sugiyono. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Penerbit ALFABETA. Bandung, 2008.
- [11] Oswald, P., dan Astrini, R. Modul Pelatihan Quantum GIS Tingkat Dasar. GIZ Decentralization as Contribution to Good Governance (DeCGG) Provinsi NTB, Agustus 2012.
- [12] WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research "Forecast Verification: Issues, Methods and FAQ". Internet : <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification> , diakses 17 Jan 2015.
- [13] Jolliffe, I. T. and Stephenson, David B. Forecast Verification : A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003.
- [14] Wilks, D.S.,. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. San Diego, CA, Academic Press, 464 pp. Chapter 7, pp. 233-283, 1995.
- [15] Sarwono, J. Statistik Itu Mudah: Panduan Lengkap untuk Belajar Komputasi Statistik Menggunakan SPSS 16. Penerbit Universitas Atma Jaya. Yogyakarta. 2009.
- [16] Boer, R. Metode Mengevaluasi Keandalan Model Prakiraan Musim. Pelatihan Downscaling Model, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta, 16-18 September 2006, 9 hal, 2006.
- [17] ArcGIS Desktop 9.3 Help. "Georeferencing a raster dataset". Internet : http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Georeferencing_a_raster_dataset , diakses 22 Agustus 2015.
- [18] Aldrian, E., and Susanto, R. D. Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *Int. Journal of Climatology* 23: 1435–1452, 2003.
- [19] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Atlas Curah Hujan di Indonesia Rata-rata 1981-2010. BMKG, 2011.
- [20] CPC NOAA. Oceanic Nino Index (ONI). Internet: www.cpc.noaa.gov, diakses 2 Juli 2015.
- [21] Bell, G.D., M.S. Halpert, C.F. Ropelewski, V.E. Kousky, A.V. Douglas, R.C. Schnell, and M.E. Gelman. Climate Assessment for 1998. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(5). S1-S48, 1999.
- [22] Bell, G.D., M.S. Halpert, R.C. Schnell, R.W. Higgins, J. Lawrimore, V.E. Kousky, R. Tinker, W. Thiaw, M. Chelliah, and A. Artusa. Climate Assessment for 1999. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(6). S1-S50, 2000.
- [23] As-syakur, A.R., dan Prasetya R. Pola Spasial Anomali Curah Hujan Selama Maret Sampai Juni 2010 di Indonesia; Komparasi data TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) 3B43 dengan Stasiun Pengamat Hujan. *Penelitian Masalah Lingkungan Indonesia*, 6 Agustus 2010: 505-515, 2010.
- [24] CPC NOAA. CFSv2 Forecast Seasonal Precipitation Anomalies Three-Monthly. Internet : <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/wwang/cfsv2fcst>.diakses 2 Januari 2015