

Perbandingan Model Kopel Ecmwf System 4 Dan Cfsv2 Untuk Prediksi Musim Di Indonesia

Robi Muharsyah¹, Adi Ripaldi¹, Tiar Maharani¹, Novi Fitrianti¹, Rosi Hanif D.¹, Marlin Denata¹, Alexander Eggry C.P.¹, Damiana F.¹, Arda Y.¹, Niken Wahyuni¹, Jauhari¹

¹Sub Bidang Analisis Informasi Iklim

Abstrak. Kajian ini bertujuan untuk membandingkan curah hujan harian keluaran langsung (*raw*) dari dua model kopel: *European Center Medium Weather Forecast System 4* (S4) dan *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2) sebagai model prediksi musim operasional pada periode Juni, Juli dan Agustus (JJA) dan Desember, Januari dan Februari (DJF). Kemampuan kedua model diukur berdasarkan ketersediaan prediksi *reforecast* yang diverifikasi terhadap data observasi curah hujan *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) dan *Southeast Asian Observation - Southeast Asian Climate Assessment and Dataset* (SA-OBS SACAD) untuk wilayah Bumi Maritim Indonesia (BMI). Ukuran verifikasi yang dipakai berupa bias aktual, bias relatif, *spread* anggota *ensemble* dalam bentuk *boxplot* dan akumulasi curah hujan per musim, serta korelasi spasial. Hasilnya, untuk DJF, kemampuan kedua model cenderung *overestimate* untuk wilayah perairan di sekitar tipe-C. Sebaliknya, untuk prediksi curah hujan di daratan keduanya *underestimate*. Sementara itu, untuk JJA, bias kedua model saling berkebalikan khususnya di pulau Kalimantan. Kajian ini juga menggunakan metode *post-processing* statistik koreksi bias untuk mengetahui pengaruhnya terhadap semua anggota *ensemble* pada kedua model.

(Kata kunci: ECMWF System 4, CFSv2, model operasional prediksi musim, bias aktual, bias koreksi)

Abstract. This study aims to compare the direct daily rainfall output (*raw*) from two couple models: *European Center Medium Weather Forecast System 4* (S4) and *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2) as the seasonal operational forecast model for: June, July and August (JJA) and December, January and February (DJF). The capability of both models is measured based on availability of the reforecast predictions which verified against rainfall observation data from the *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) and *Southeast*

Asian Observation Southeast Asian Climate Assessment and Dataset (SA-OBS SACAD) over the Indonesian Maritime Continent. The verification scores include: actual bias, relative bias, ensemble member spread through boxplots analysis and rainfall accumulation per season, as well as spatial correlation. As a result, for DJF, the ability of both models tends to overestimate over the sea around the C-type region. Conversely, both models show underestimate over the land. Meanwhile, for JJA, the two model biases are reversed, especially over Borneo island. This study also uses the statistical post-processing: bias correction method to determine its effect on all ensemble members in both models.

(Keywords: ECMWF System 4, CFSv2, seasonal operational forecast model, actual bias, bias correction)

Pendahuluan

Prediksi musim merupakan prediksi dari keadaan rata-rata cuaca untuk beberapa waktu ke depan dan dipengaruhi oleh variasi perlahan dari kondisi batas seperti *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) [1]. Saat ini perkembangan prediksi musim sudah menggunakan model kopel atmosfer-laut [2,3]. Pada wilayah tropis model-model kopel ini mempunyai prediktibilitas yang cukup baik seperti pengaruh *El Nino* di beberapa wilayah diantaranya Indonesia dan di bagian utara dan selatan Amerika [2].

Prediksi musim sudah dibuat secara rutin untuk layanan iklim operasional oleh beberapa lembaga prediksi iklim dunia dan dievaluasi secara berkala melalui beberapa proyek kerjasama antar lembaga, diantaranya seperti DEMETER (*Development of a European Multi-model Ensemble system for seasonal to interannual prediction*) tahun 2000-2003, kemudian ENSEMBLE 2004-2009 merupakan proyek-proyek yang berfokus pada pemanfaatan, evaluasi dan verifikasi prediksi

jangka panjang baik untuk prediksi musim atau proyeksi iklim [3]. Hingga saat ini proyek sejenis yang masih terus berlangsung adalah CHFP (*The Climate-System Historical Forecast Project*) [3]. CHFP mengumpulkan beberapa lembaga prediksi iklim di dunia baik yang operasional maupun *non-operasional*. Jumlah pengguna yang memanfaatkan data keluaran model di CHFP ini terus meningkat sejak tahun 2012. CHFP mempunyai penyimpanan data keluaran model yang dibuat oleh tiap lembaga khususnya untuk prediksi masa lalu (*reforecast*). Saat ini, dengan berkembangnya kemampuan komputasi, hampir semua lembaga prediksi iklim tersebut membuat *reforecast* menggunakan model yang sama dengan yang dioperasionalkan. Tujuan dibuatnya *reforecast* adalah agar dapat dipakai untuk mengkalibrasi atau mengoreksi prediksi yang dibuat untuk operasional sebelum dimanfaatkan oleh pengguna. Selain itu manfaat utama dengan adanya *set data reforecast* adalah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk melakukan verifikasi model dengan mengukur kehandalan model prediksi musim pada skala ruang (wilayah, negara atau *regime* tipe iklim) dan waktu (bulan dan musim) [3].

Diantara sekian banyak model prediksi musim yang sudah dioperasionalkan (Tabel 1), dua diantaranya yang populer adalah model prediksi musim dari *European Center Medium Weather Forecast System 4* (S4) dari Eropa dan *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2) NCEP NOAA dari Amerika. Kedua model ini dianggap populer karena mempunyai resolusi horizontal kurang dari $1^\circ \times 1^\circ$ serta jangkauan prediksi hingga 7 – 9 bulan (lihat Tabel 2 untuk perbandingan kedua model). Konfigurasi kedua model ini dijelaskan dalam [4] dan [5]. Banyak kajian yang mengevaluasi kedua model ini baik secara terpisah tiap-tiap model [6,7], ataupun dibandingkan secara bersamaan menggunakan *set data observasi* yang sama [8]. Beberapa kajian lainnya juga mencoba melakukan beberapa teknik *post-processing* statistik dengan koreksi bias untuk meningkatkan kemampuan kedua model tersebut [9–11]. Semua usaha yang dilakukan oleh kajian-kajian tersebut menunjukkan kemampuan kedua model berbeda satu sama lain tergantung ruang dan waktu. Namun, diantara kajian-kajian tersebut belum ditemukan pembahasan yang fokus pada wilayah tropis khususnya Benua Maritim Indonesia (BMI). Meskipun Kim dkk., (2012) telah mengungkapkan kemampuan kedua model tersebut cukup baik di wilayah tropis pada periode *boreal winter* (DJF) namun BMI tidak menjadi fokus kajiannya. Seperti diketahui bahwa pengaruh BMI sangat signifikan terhadap dinamika atmosfer di wilayah tropis

seperti sirkulasi monsun Asia – Australia, *Madden Julian Oscillation* (MJO), dan proses terjadinya *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) [12]. Oleh karena itu kajian ini fokus pada evaluasi kehandalan kedua model tersebut di wilayah BMI berdasarkan data observasi di daratan dan lautan sekitar Indonesia. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengevaluasi lebih lanjut hasil penelitian Kim dkk., (2012) dengan fokus pada wilayah daratan dan perairan disekitar Bumi Maritim Indonesia.

Tulisan ini terdiri dari empat bagian yaitu yang pertama pendahuluan mengulas latar belakang mengenai model kopel prediksi musim yang tersedia dan yang sudah dimanfaatkan. Bagian kedua adalah data dan metode yang dipakai pada kajian ini. Bagian ketiga membahas kemampuan model S4 dan CFSv2 di wilayah Indonesia serta bagian terakhir dirangkum dalam kesimpulan dan saran.

Tabel 1. Prediksi musim yang telah dioperasionalkan dari beberapa lembaga prediksi iklim dunia [3]

Institution (country)	Model	Retrospective period	Forecast months	No. of ensemble members	Daily T/P	Reference(s)
Meteorological Research Institute (MRI)-JMA (Japan)	JMA/MRI-CGCM1	1979–2010	7	10	✓	Takaya et al. (2017a)
	JMA/MRI-CGCM2	1981–2011	7	10		Takaya et al. (2017b)
Met Office (United Kingdom)	L3SGloSea4	1989–2003	5	9		Arrivas et al. (2011)
	L8SGloSea4	1989–2010	5	9		Fereday et al. (2012)
	GloSea5*	1996–2009	3	24		MacLachlan et al. (2015)
CCCma (Canada)	CMAM	1979–2009	4	10	✓	Scinocca et al. (2008)
	CMAMlo	1979–2009	4	10	✓	Sigmond et al. (2008)
	CCCma-CanCM3	1979–2010	12	10	✓	Perryfield et al. (2013)
	CCCma-CanCM4	1979–2010	12	10	✓	von Salzen et al. (2013)
NOAA (United States)	CFS	1981–2007	9	7	✓	Saha et al. (2006)
MétéoFrance (France)	ARPEGE	1979–2008	4	11		Voldoire et al. (2013)
CAWCR (Australia)	POAMA	1980–2009	9	10		Cottrill et al. (2013)
CCSR, University of Tokyo (Japan)	MIROC5	1979–2011	12	8	✓	Watanabe et al. (2010); Imada et al. (2015)
ECMWF (International)	ECMWF-S4	1981–2010	7	15		Molteni et al. (2011)
MPI (Germany)	MPI-ESM-LR	1982–2012	12	9		Baehr et al. (2015)
	MPI-ESM-HR	1981–2012	7	10		Stevens et al. (2013); Jungclaus et al. (2013)

Data dan Metode

Data

Kajian ini menggunakan keluaran langsung (selanjutnya: *raw*) model S4 dan CFSv2 (selanjutnya: CFS) berupa curah hujan harian, dan fokus pada dua periode musim: Desember, Januari dan Februari (DJF) serta Juni, Juli dan Agustus (JJA). Prediksi *reforecast* DJF didapatkan dari inisial prediksi tanggal 1 November (prediksi 1 bulan sebelumnya dari target prediksi) untuk model S4, dan inisial prediksi 23 Oktober hingga 7 November untuk model CFS sehingga diperoleh sebanyak 16 inisial prediksi yang digunakan sebagai 16-anggota *ensemble* model CFS. Sementara itu, *reforecast* model S4 mempunyai prediksi *ensemble* yang tetap sebanyak 15-anggota. Kemudian, prediksi *reforecast* JJA diambil dari inisial prediksi tanggal 1 Mei dari model S4 sedangkan untuk model CFS digunakan inisial prediksi tanggal 16 April hingga 1 Mei.

Tabel 2. Ringkasan perbandingan model kopel S4 dan CFSv2 (Molteni dkk., 2011 dan Saha dkk., 2014)

Item	S4	CFSv2
Model Laut	<i>NEMOVAR</i>	<i>MOM Version 4.0d (MOM4p0d)</i>
Model Atmosfer	<i>IFS Cycle 36r4</i>	<i>Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)</i>
Model Darat	<i>HTESSEL land surface model used in cycle 36r4 is run in offline mode</i>	<i>The Noah land surface model</i>
Coupler	<i>OASIS3 coupler developed at CERFACS</i>	<i>National Environmental Modelling System</i>
Resolusi Horizontal /Vertical /Spectral	<i>~ 80 Km/ 91 Layers/ TL255</i>	<i>~ 100 Km/ 64 Layers/ T126</i>
Top level pressure	<i>0,01 hPa</i>	<i>0,27 hPa</i>
Operasional	<i>1 x month (1st per month)</i>	<i>4 x 1 day (00, 06, 12, 18 UTC)</i>
Reforecast	<i>The re-forecasts 7-month for S4 are made starting on the 1st of every month for the years 1981-2015 (15 members per month with initial perturbation scheme)</i>	<i>The reforecast 9-month initial conditions of the 0000, 0600, 1200, and 1800 UTC cycles for every 5th day, starting from 0000 UTC 1 January of every year, over the 29-yr period 1982–2010</i>

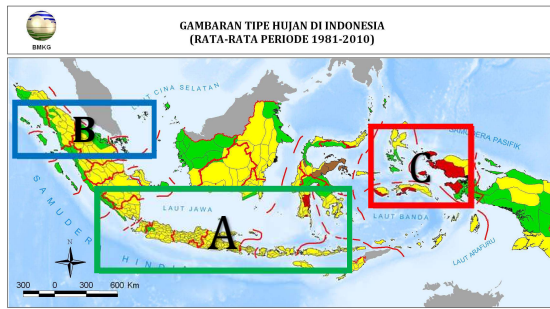
Berdasarkan ketersediaan prediksi curah hujan model CFS (<https://nomads.ncdc.noaa.gov/data/cfsr-rfl-ts9/prate/>) dan S4 (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets>) diperoleh sebanyak 29 periode DJF (DJF1983-DJF2011) dan 29 JJA (JJA1982-JJA2010) untuk CFS serta 34 DJF (DJF1982-DJF2015) dan 35 JJA (JJA1981-JJA2015) untuk S4, namun tidak semuanya digunakan karena bergantung dari ketersediaan data observasi yang dipakai untuk verifikasi.

Selanjutnya untuk verifikasi model digunakan data observasi curah hujan harian *Global Precipitation Climatology Project (GPCP) version 1.2* (<https://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/atmosphere/gpcp.html>) dengan resolusi 1° yang tersedia dari akhir tahun 1996 hingga saat ini. Penggunaan data GPCP bertujuan untuk mengetahui kemampuan model di wilayah lautan dan daratan. Evaluasi model berdasarkan GPCP secara global sudah ditunjukkan oleh Kim dkk., 2012 hanya saja kekurangannya adalah resolusi GPCP yang menggunakannya masih rendah sebesar 2.5°, sehingga tidak memberikan gambaran yang jelas tentang kemampuan model khususnya di daratan BMI. Oleh karena itu data observasi pada kajian ini dilengkapi dengan data SA-OBS SACAD atau *Southeast Asian Observation - Southeast Asian Climate Assessment and Dataset*, selanjutnya disebut SACAD [13]. Data ini berupa curah hujan

harian se - Asia Tenggara dan hanya tersedia untuk curah hujan di daratan. Pada kajian ini digunakan data SACAD versi terbaru dengan resolusi 0.25°x0.25° untuk domain di wilayah Indonesia (11.375S – 6.375N dan 94.625E – 141.375E). Sebanyak 78x188 grid diperoleh berdasarkan domain tersebut. Periode ketersediaan data model dan observasi serta periode yang digunakan untuk proses verifikasi diberikan pada Tabel 3.

Metode

Metode pada kajian ini menggunakan statistik deskriptif untuk membandingkan kemampuan kedua model terhadap observasi melalui beberapa ukuran verifikasi seperti bias aktual, bias relatif dan korelasi spasial (*pattern correlation*). Namun disimpulkan dari hasil kajian Kim dkk., (2012) ukuran-ukuran tersebut hanya melihat kemampuan model dari sudut pandang rata-rata anggota *ensemble* saja. Oleh karena itu statistik deskriptif pada kajian ini dilengkapi dengan menganalisis grafik *spread* prediksi anggota *ensemble* kedua model terhadap observasi dengan tujuan untuk melihat kecenderungan bias pada model. Selain itu analisis menggunakan *boxplot* juga dipakai untuk mengetahui sebaran dari semua anggota *ensemble*.



Gambar 1. Domain yang dipilih sebagai fokus pada kajian ini, kotak hijau untuk Tipe-A (100E – 122E; 12S – 4S), kotak biru untuk Tipe-B (95E – 107E; 1N – 4N), kotak merah untuk Tipe-C (125E – 132E; 6S – 1N). Sumber gambar dimodifikasi dari [14]

Tabel 3. Ketersediaan data model dan observasi untuk periode JJA dan DJF

	Model		Observasi	
	S4	CFSv2	GPCP	SACAD
Ketersediaan	DJF1982-DJF2015	DJF1983-DJF2011	DJF1997-DJF2015	DJF1982-DJF2015
	JJA1981-JJA2015	JJA1982-JJA2010	JJA1997-JJA2015	JJA1981-JJA2015
Periode yang dipilih untuk verifikasi dan koreksi bias				
S4 vs GPCP	JJA1997-JJA2015		DJF1997-DJF2015	
S4 vs SACAD	JJA1982-JJA2010		DJF1982-DJF2015	
CFSv2 vs GPCP	JJA1997-JJA2010		DJF1997-DJF2011	
CFSv2 vs SACAD	JJA1982-JJA2010		DJF1983-DJF2011	

Selanjutnya, pada kajian ini verifikasi tidak hanya dilakukan pada *raw* curah hujan keluaran model S4 dan CFS saja namun juga terhadap *raw* model terkoreksi dengan metode koreksi bias *Linier Scaling* (LS) [15]. Metode LS diterapkan dengan skema validasi silang per tahun untuk mendapatkan *raw* model S4 dan CFS terkoreksi. Contoh validasi silang per tahun, misalnya dikeluarkan curah hujan DJF2015 sebagai *testing*, dan DJF1997 – DJF2014 sebagai *training*, kemudian DJF2014 sebagai *testing* dan DJF1997 – DJF2013, DJF2014 sebagai *training*, dan seterusnya, begitu juga untuk JJA.

Verifikasi kemampuan kedua model di BMI difokuskan pada tiga tipe pengelompokan curah hujan di Indonesia seperti Gambar 1 [14]. Tipe A merupakan wilayah yang paling luas. Wilayah dengan pola hujan seperti huruf “V” ini mempunyai puncak musim hujan di sekitar DJF dan curah hujan wilayah ini terpengaruh cukup kuat oleh ENSO dan sirkulasi monsun Asia – Australia, sedangkan Tipe-B mempunyai dua periode puncak musim hujan, dan Tipe-C mempunyai pola yang berkebalikan dari Tipe-A dengan satu puncak musim hujan disekitar pertengahan tahun (sekitar JJA). Kajian ini dibatasi pada tinjauan statistik perbandingan kedua model berdasarkan observasi yang digunakan untuk verifikasi, sedangkan aspek dinamis seperti sumber keterprediksian dari kedua model (*source predictability*) tidak dibahas

karena keterbatasan keluaran *raw* model yang dimiliki selain curah hujan.

Hasil dan Pembahasan

Bias model terhadap observasi

Bagian pertama membahas kemampuan model S4 dan CFS pada periode DJF dan JJA berdasarkan bias aktual, bias relatif, *boxplot* dan grafik *spread* prediksi anggota *ensemble* terhadap observasi.

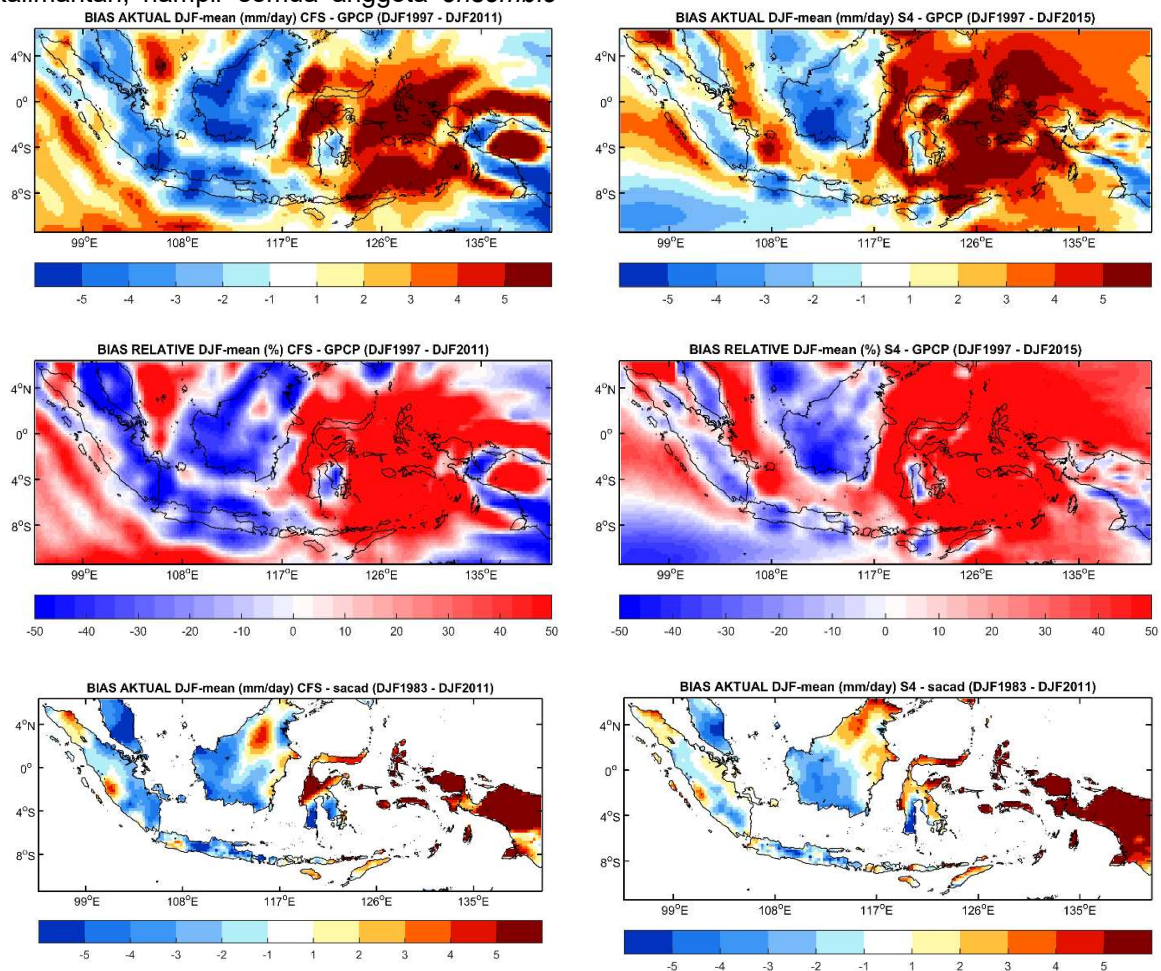
Periode DJF. Hasil yang diperoleh untuk bias aktual dan relatif dari kedua model terhadap GPCP sama dengan temuan pada kajian Kim dkk., (2012). Keduanya menunjukkan perbedaan yang mencolok antara bias di daratan dan di lautan. Pada Gambar 2a dan 2b, untuk di lautan, kedua model sekuat menunjukkan prediksi curah hujan di wilayah Indonesia bagian timur tepatnya di perairan laut Banda sekitar kepulauan Maluku selalu lebih besar dari yang diharapkan (*overestimate*). Sebaliknya, kedua model juga sekuat *underestimate* pada beberapa kepulauan khususnya Kalimantan, Jawa dan selatan Sumatera. Selanjutnya, jika diperhatikan untuk wilayah daratan saja maka bias kedua model berdasarkan SACAD menunjukkan hasil yang mirip dengan bias berdasarkan GPCP, kecuali untuk pulau Papua (Gambar 2e dan 2f). Keduanya menunjukkan kondisi *overestimate* yang hampir sama di seluruh daratan Papua. Hal

ini kemungkinan disebabkan oleh kualitas data SACAD yang kurang baik di wilayah ini [13], sehingga tidak merepresentasikan hasil yang sebenarnya. Oleh karena itu, hasil tersebut tidak dapat diambil sebagai kesimpulan terhadap kemampuan kedua model di pulau Papua.

Meskipun hasil verifikasi menunjukkan bahwa kedua model sama-sama *underestimate* di sebagian besar daratan Indonesia, tetapi prediksi S4 terlihat lebih baik khususnya pulau Jawa, Sumatera dan Kalimantan karena bias yang relatif lebih kecil sekitar -10% dibandingkan CFS sekitar -30% (Gambar 2c dan 2d). Kemudian, di daratan pulau Papua khususnya di pegunungan Jaya wijaya, CFS *overestimate* dengan bias relatif lebih dari +50% dibandingkan dengan S4 yang berkisar +10%.

Variasi bias pada model juga terlihat dari sebaran prediksi anggota *ensemble* keduanya. Pada wilayah tipe-A yang sebagian besar meliputi pulau Jawa, Bali, Nusa tenggara dan selatan Sumatera, selatan Sulawesi dan selatan Kalimantan, hampir semua anggota *ensemble*

CFS berada jauh dibawah S4, seperti ditunjukkan oleh pola *boxplot* pada Gambar 3a. Pola serupa juga ditemukan untuk prediksi wilayah tipe-B yang meliputi pesisir timur Sumatera bagian utara, selat Malaka dan sebagian Kalimantan bagian barat (Gambar 3a, 3c, dan 3e). Selain CFS yang cenderung *underestimate* dibanding S4, CFS juga mempunyai jangkauan prediksi anggota *ensemble* yang lebih lebar. Hal ini menunjukkan bahwa *spread* CFS kurang tajam dibanding S4 dalam memprediksi observasi. Namun demikian, baik CFS atau S4 prediksi anggota *ensemble* dari keduanya masih mampu menangkap observasi pada beberapa kali prediksi DJF diantara 1983-2011 walaupun secara umum keduanya menunjukkan kondisi *underestimate* disepanjang periode evaluasi 1983-2011.

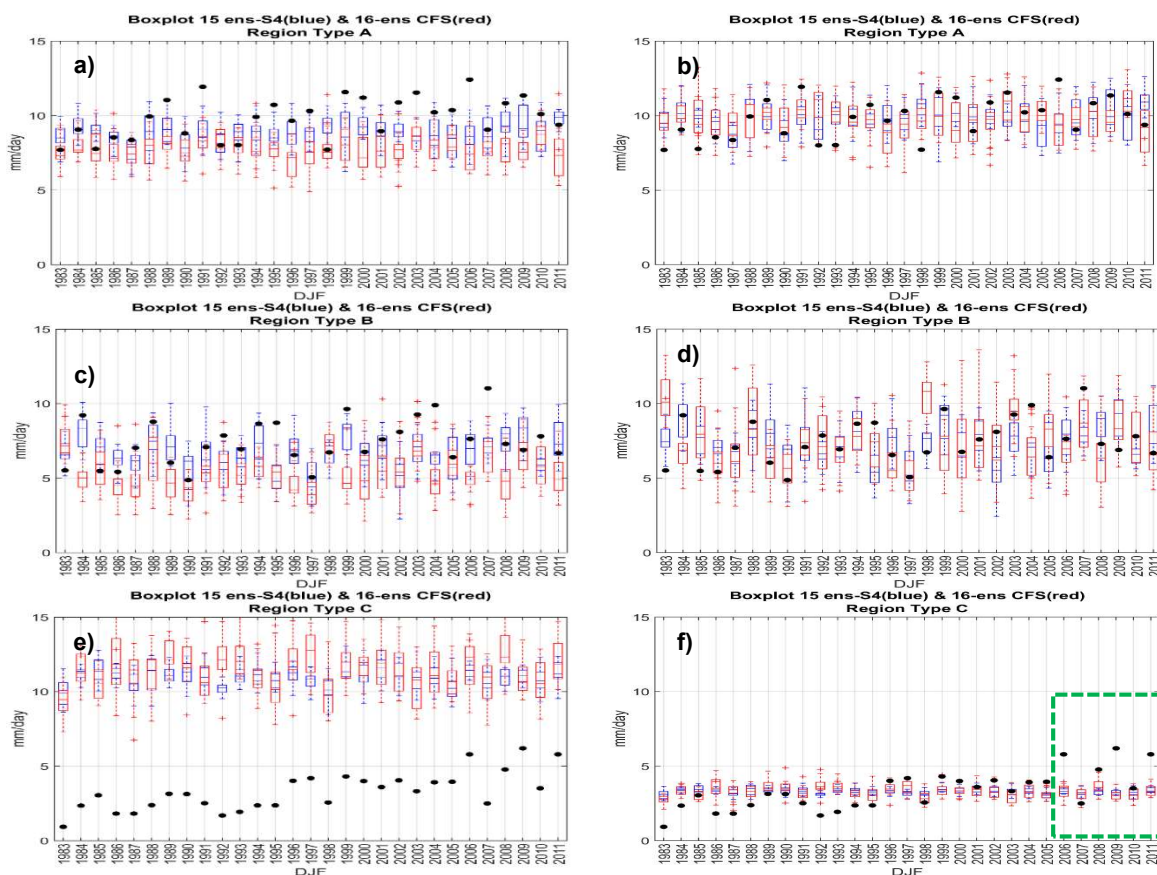


Gambar 2. Bias model CFS (a,c,e) dan S4 (b,d,f) pada periode DJF. Bias aktual (a,b) serta bias relatif (c, d) kedua model berdasarkan data GPCP. Bias aktual (e, f) berdasarkan data SACAD. Panel a, b, e dan f adalah curah hujan rata-rata DJF dalam mm/day, c dan d merupakan bias relatif dalam persen

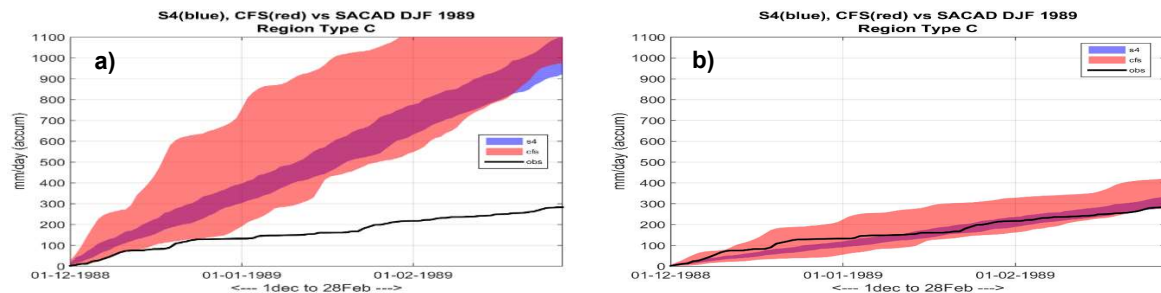
Sebaliknya, hasil yang cukup kontras ditemukan untuk prediksi di wilayah tipe-C, prediksi anggota *ensemble* kedua model jauh lebih besar dari observasi di wilayah ini (Gambar 3e). Sepanjang periode verifikasi 1983-2011, tidak satupun anggota *ensemble* pada kedua model yang mampu menangkap nilai curah hujan observasi. Selain itu, juga disimpulkan bahwa *spread* prediksi *ensemble* model CFS lebih lebar (tidak lebih tajam) dari model S4. Hal ini juga terlihat dari grafik akumulasi curah hujan harian selama periode 1 Desember hingga 28 Februari pada tiap tahun selama DJF 1983 hingga DJF2011, sebagai contoh pada Gambar 4a *spread* curah hujan harian *raw* model CFS (merah) dan S4 (biru) periode DJF1989.

Periode JJA. Berbeda dengan DJF, pada JJA kedua model tidak menunjukkan hasil yang sama (Gambar 5a, 5b, 5c, dan 5d). Berdasarkan data GPCP, model CFS menunjukkan hampir sebagian besar wilayah Indonesia mempunyai bias aktual dan bernilai negatif khususnya di pulau-pulau besar seperti Kalimantan, Sulawesi, Papua dan pesisir timur

Sumatera. Sebaliknya, bias positif ditemukan di daratan pesisir barat Sumatera dan di beberapa wilayah lautan diantaranya perairan barat pulau Sumatera, di sekitar perairan laut Banda, Maluku dan bagian utara Kalimantan dan Sulawesi. Selanjutnya, jika dibandingkan dengan model S4, hampir semua wilayah Indonesia baik lautan maupun daratan mempunyai bias positif. Selanjutnya berdasarkan SACAD, kedua model hanya sepakat pada wilayah pulau Sumatera bagian pesisir barat dan perbedaan kontras antara kedua model terlihat di pulau Kalimantan dan Sulawesi. Sedangkan di pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara bias kedua model dianggap cukup baik karena hanya berkisar ± 1 mm (Gambar 5e dan 5f).



Gambar 3. Boxplot sebaran prediksi anggota ensemble model CFS (box merah) dan S4 (box biru) serta observasi (titik hitam) periode DJF. Raw model (a,c,e) dan raw model terkoreksi (b,d,f), untuk tiap tipe hujan, tipe A (a,b), tipe B (c,d) dan tipe C (e,f)



Gambar 4. Perbandingan akumulasi curah hujan harian model CFS dan S4 terhadap observasi pada DJF 1989 untuk (a) raw model dan (b) raw model terkoreksi

Selanjutnya pada Gambar 6a, umumnya sebaran prediksi anggota *ensemble* kedua model pada wilayah tipe-A sedikit *overestimate* dari observasi meskipun pada beberapa periode JJA kedua model dapat menangkap nilai observasi. Terlihat model S4 mempunyai bias lebih besar dibandingkan CFS. Hal ini selaras dengan *spread* prediksi akumulasi curah hujan harian pada Gambar 7a. Pada gambar tersebut, periode JJA 1989 menunjukkan bahwa *spread* prediksi dapat menangkap nilai observasi untuk wilayah tipe-A dengan model S4 terlihat sedikit lebih lebar dibandingkan CFS. Sementara itu pada Gambar 6c, untuk tipe-B kedua model mempunyai bias positif dan sama-sama *overestimate* dari observasi, lalu pada tipe-C, mirip dengan tipe-A, bias model S4 cenderung lebih besar dari model CFS.

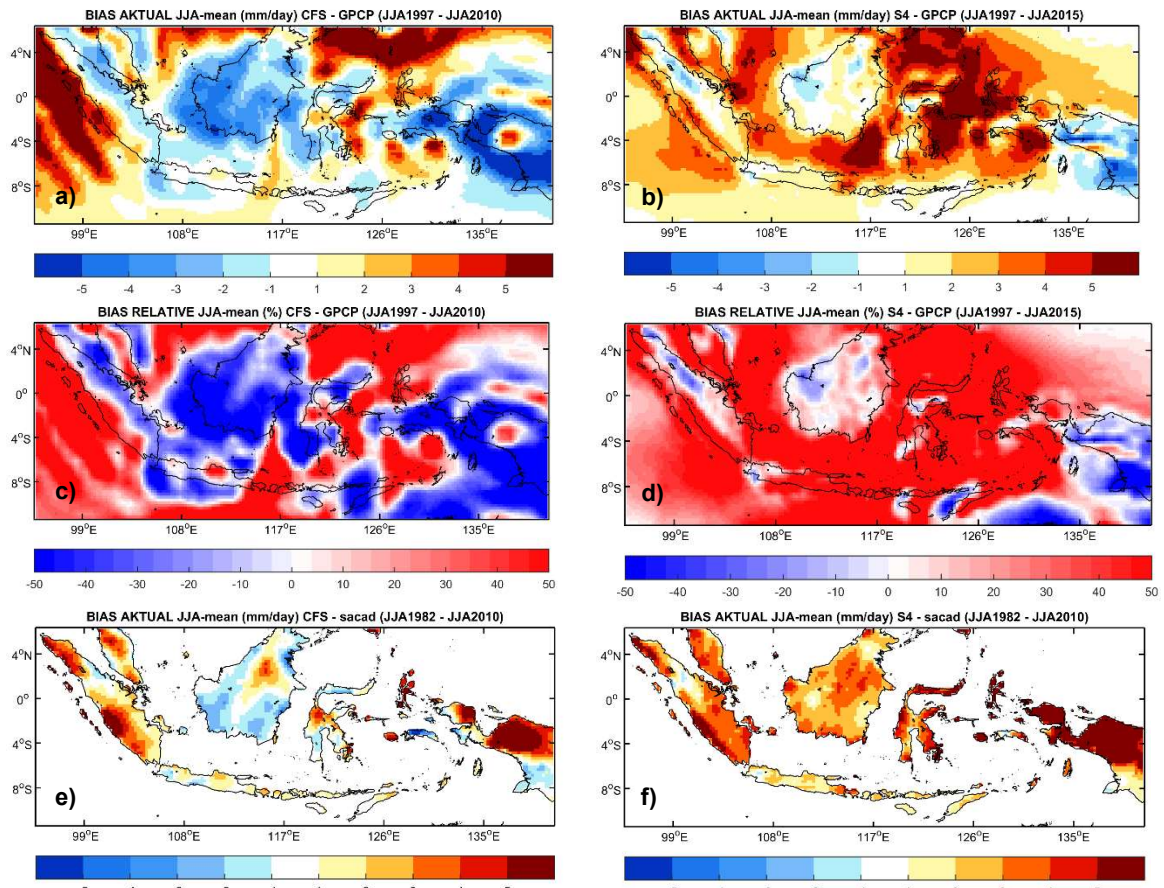
Pengaruh koreksi bias

Bagian kedua ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh koreksi bias pada *raw* model S4 dan CFS. Hasil koreksi bias *Linier Scaling* (LS) dengan menerapkan validasi silang per tahun sepanjang periode kajian baik DJF maupun JJA menunjukkan perubahan yang cukup signifikan terhadap pergeseran nilai rata-rata *raw* model sehingga mendekati nilai observasi seperti ditunjukkan oleh Gambar 3b, 3d, dan 3f; Gambar 4b untuk DJF, serta Gambar 6b, 6d, dan 6f; Gambar 7b untuk JJA. Pada periode DJF, anggota *ensemble* pada ketiga tipe pola hujan terlihat bergeser mendekati observasi khususnya pada tipe-C yang terlihat cukup jelas (Gambar 3b, 3d, dan 3f). Pada tipe-C, sebelum dikoreksi bias relatif kedua model sangat besar mencapai > 50% namun setelah dikoreksi bias model mendekati 0% (gambar tidak ditampilkan). Meskipun rata-rata model bergeser mendekati observasi namun sebaran prediksi anggota *ensemble* tidak semuanya mampu menangkap nilai observasi di tipe-C seperti terlihat pada DJF2006-DJF2011 (kotak hijau

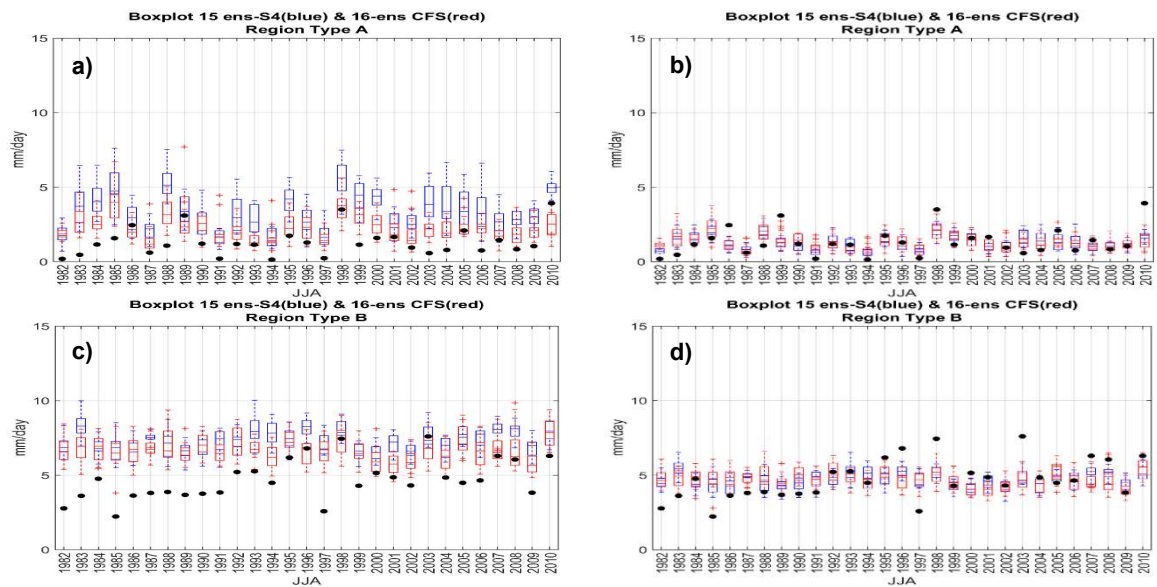
Gambar 3f). *Spread* akumulasi curah hujan harian juga terlihat berubah cukup signifikan sebagai pengaruh penerapan koreksi bias LS terutama pada model CFS (Gambar 4b). Selanjutnya pada periode JJA, koreksi bias LS terlihat efektif pada wilayah tipe-A sedangkan pada tipe-B dan tipe-C perubahan yang terjadi tidak begitu besar (Gambar 6b, 6d, dan 6f). Hanya saja pengaruh koreksi bias LS ini tidak sama pada tiap tahun periode JJA. Sebagai contoh Gambar 7b, meskipun curah hujan JJA1989 terkoreksi dengan baik sehingga *spread* kedua model mengecil dan mendekati observasi, namun secara akumulasi hasil koreksi ini menyebabkan nilai yang terlalu rendah dari observasi dan cukup jauh atau *underestimate* dari observasi. Beberapa kasus seperti ini lebih banyak ditemukan pada periode JJA dibandingkan DJF.

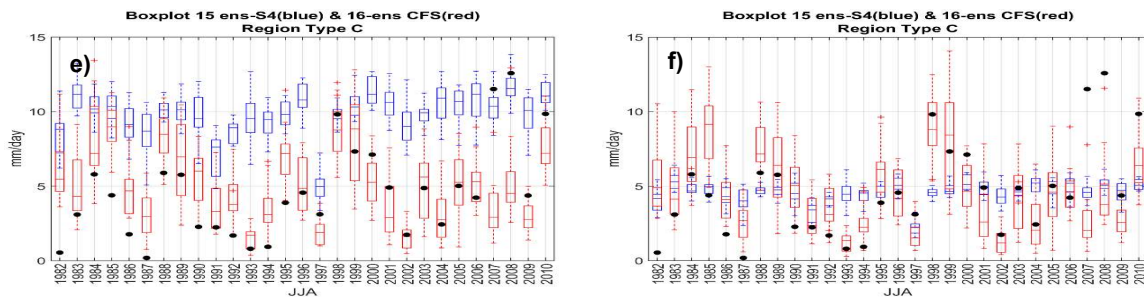
Korelasi spasial atau *Pattern Correlation*

Pola korelasi spasial dibuat bertujuan untuk melihat kemiripan antara model dan observasi. Gambar 8 dan Gambar 9 panel a, c dan e adalah korelasi spasial periode DJF dan JJA. Pada periode DJF, korelasi spasial dari model S4 lebih baik pada tipe-A dan tipe-B, sedangkan model CFS lebih baik pada tipe-C. Kedua model menunjukkan hasil yang bervariasi tiap tahunnya. Nilai tertinggi korelasi spasial pada tipe-A dan tipe-B berkisar pada 0,6. Hasil koreksi LS tidak menunjukkan perubahan pola korelasi spasial yang signifikan untuk periode DJF ini (Gambar 8b, 8d, dan 8f). Hampir sama dengan DJF, pada periode JJA model S4 lebih baik dari CFS di tipe-A sedangkan tipe-B dan tipe-C model CFS cenderung lebih baik. Pengaruh koreksi bias pada periode JJA terlihat lebih jelas dengan meningkatnya korelasi spasial di tipe-A untuk beberapa kali periode JJA1991, JJA1994 dan JJA1997 hingga mencapai > 0.8 (lingkaran hijau Gambar 9b)

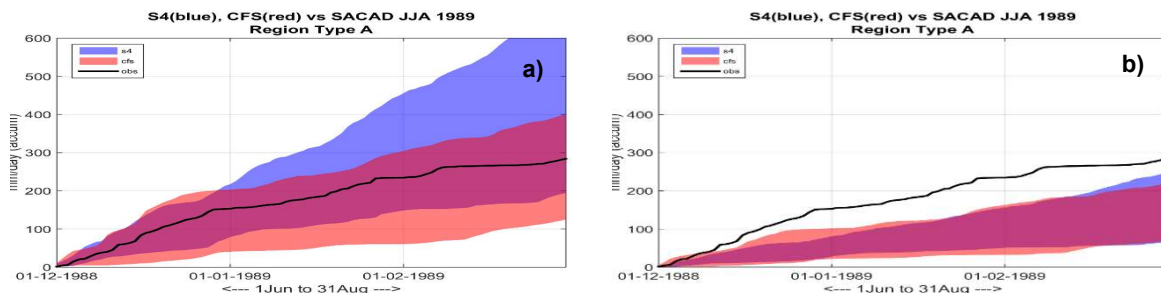


Gambar 5. Sama dengan Gambar 2 tetapi untuk periode JJA 1982 – JJA 2010

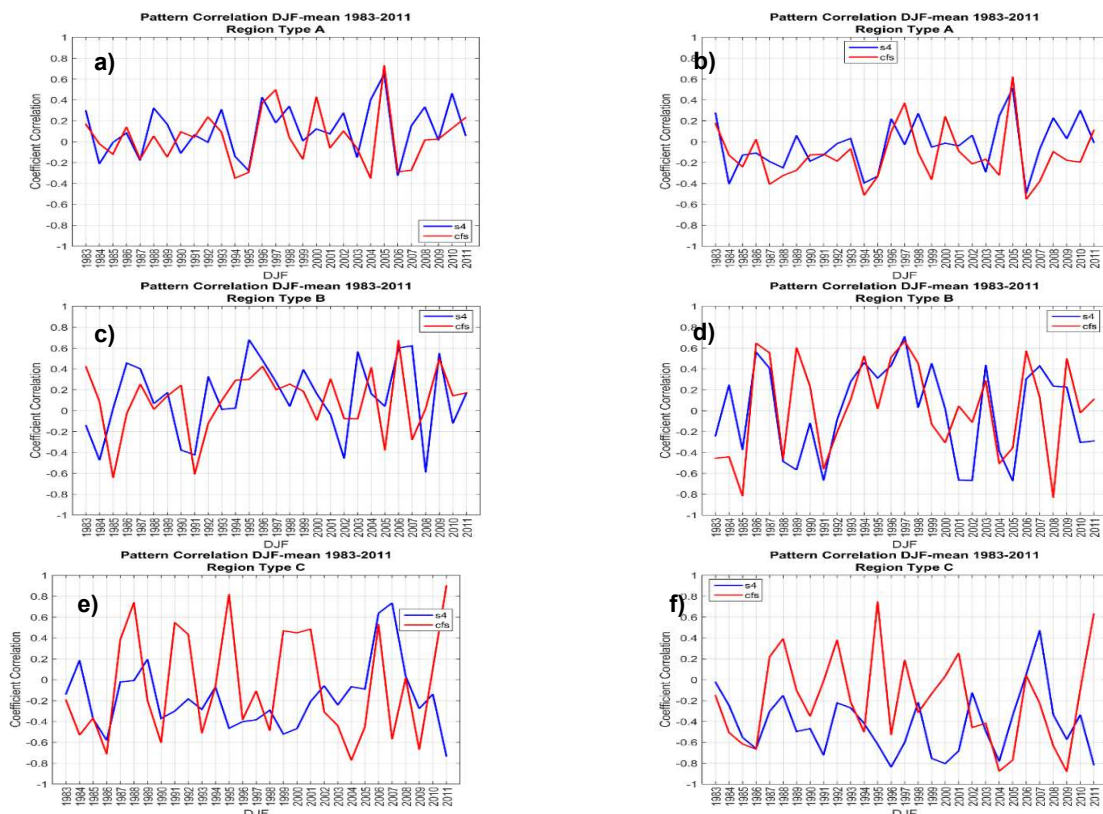




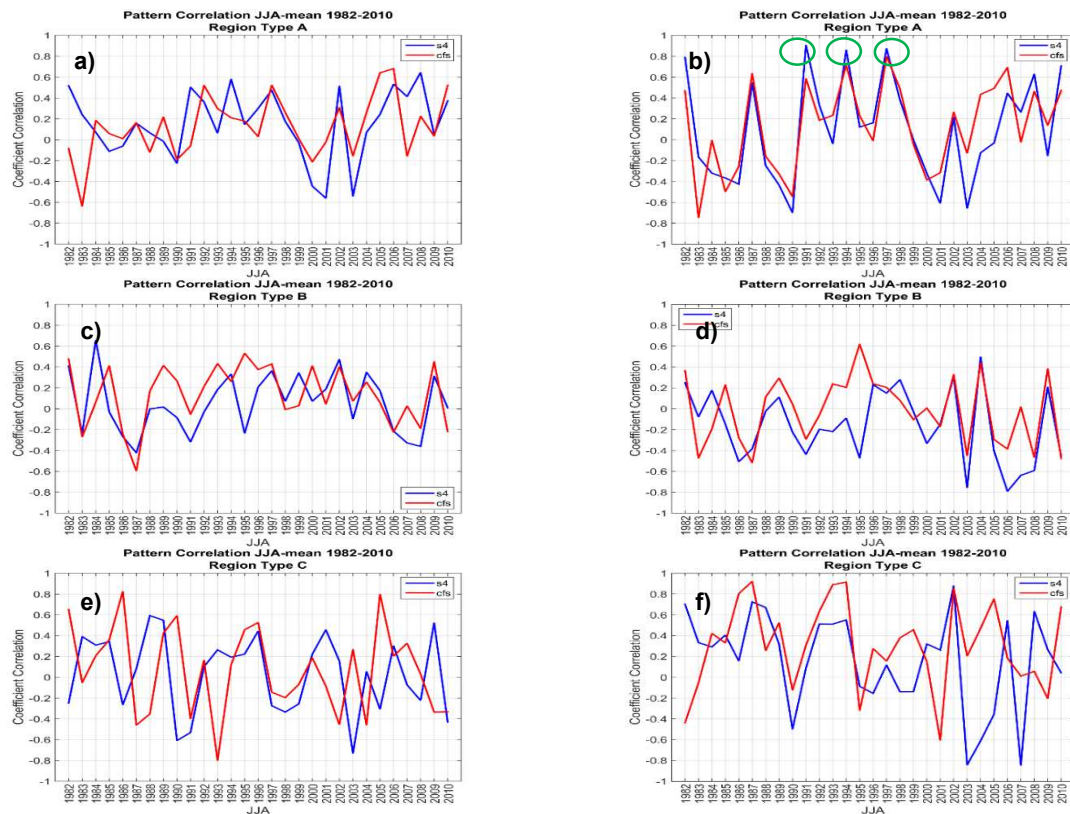
Gambar 6. Boxplot sebaran prediksi anggota ensemble model CFS (box merah) dan S4 (box biru) serta observasi (titik hitam) periode JJA 1982 – JJA 2010. Panel kiri untuk raw model dan panel kanan untuk raw model terkoreksi dengan metode koreksi bias Linier Scaling



Gambar 7. Sama dengan Gambar 4 tetapi untuk periode JJA 1989



Gambar 8. Pattern correlation model CFS (merah) dan S4 (biru) terhadap observasi untuk periode DJF 1983 – DJF2011 untuk (a,c,e) raw model dan (b,d,f) raw model terkoreksi



Gambar 9. Sama dengan Gambar 8 tetapi untuk periode JJA 1982 – JJA 2010

Kesimpulan dan Saran

Model S4 dan CFS merupakan model kopel atmosfer-laut yang telah digunakan untuk operasional prediksi musim dengan jangkauan prediksi mencapai hingga 7-9 bulan. Berdasarkan data *reforecast* yang tersedia untuk periode DJF, kemampuan kedua model ini hampir sama yaitu cenderung *overestimate* di sekitar Indonesia bagian timur tepatnya di perairan laut Banda Maluku atau wilayah tipe-C. Sedangkan untuk prediksi curah hujan di daratan keduanya sama-sama menunjukkan kondisi *underestimate*. Sementara itu untuk prediksi JJA, bias kedua model terlihat saling berkebalikan khususnya di pulau Kalimantan.

Pengaruh koreksi bias LS pada periode DJF dan JJA dapat menggeser nilai rata-rata anggota *ensemble* model CFS dan S4 mendekati nilai observasi dan mampu memperbaiki pola korelasi spasial selama periode verifikasi DJF 1983-2011 dan JJA 1982-2010, khususnya untuk prediksi di wilayah tipe-A. Sedangkan pada tipe-B dan tipe-C koreksi bias tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap *raw* model. Namun demikian pada beberapa kasus, seperti JJA 1989, koreksi bias tidak memperbaiki kesalahan dispersi pada *raw* model S4 ataupun CFS, sehingga koreksi bias dianggap belum optimal dan diperlukan metode *post-processing* statistik lain seperti penggunaan metode kalibrasi *ensemble* yang

populer digunakan untuk prediksi jangka pendek dan menengah

Daftar Pustaka

- [1] Jan van Oldenborgh G, Balmaseda M A, Ferranti L, Stockdale T N and Anderson D L T 2005 Evaluation of Atmospheric Fields from the ECMWF Seasonal Forecasts over a 15-Year Period *J. Clim.* **18** 3250–69
- [2] Slingo J and Palmer T 2011 Uncertainty in weather and climate prediction *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* **369** 4751–67
- [3] Tompkins A M, Ortiz De Zárate M I, Saurral R I, Vera C, Saulo C, Merryfield W J, Sigmund M, Lee W-S, Baehr J, Braun A, Butler A, Déqué M, Doblas-Reyes F J, Gordon M, Scaife A A, Imada Y, Ishii M, Ose T, Kirtman B, Kumar A, Müller W A, Pirani A, Stockdale T, Rixen M and Yasuda T 2017 The Climate-System Historical Forecast Project: Providing Open Access to Seasonal Forecast Ensembles from Centers around the Globe *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **98** 2293–301
- [4] Molteni F, Stockdale T, Balmaseda M, Balsamo G, Buizza R, Ferranti L, Magnusson L, Mogensen K, Palmer T and

- Vitart F 2011 The new ECMWF seasonal forecast system (System 4)
- [5] Saha S, Moorthi S, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Behringer D, Hou Y-T, Chuang H, Iredell M, Ek M, Meng J, Yang R, Mendez M P, van den Dool H, Zhang Q, Wang W, Chen M and Becker E 2014 The NCEP Climate Forecast System Version 2 *J. Clim.* **27** 2185–208
- [6] Ogutu G E O, Franssen W H P, Supit I, Omondi P and Hutjes R W A 2017 Skill of ECMWF system-4 ensemble seasonal climate forecasts for East Africa: EAST AFRICA'S ECMWF SYSTEM-4 ENSEMBLE CLIMATE FORECASTS SKILL *Int. J. Climatol.* **37** 2734–56
- [7] George G, Rao D N, Sabeerali C T, Srivastava A and Rao S A 2016 Indian summer monsoon prediction and simulation in CFSv2 coupled model: Indian summer monsoon prediction and simulation in CFSv2 coupled model *Atmospheric Sci. Lett.* **17** 57–64
- [8] Kim H-M, Webster P J and Curry J A 2012 Seasonal prediction skill of ECMWF System 4 and NCEP CFSv2 retrospective forecast for the Northern Hemisphere Winter *Clim. Dyn.* **39** 2957–73
- [9] Lang Y, Ye A, Gong W, Miao C, Di Z, Xu J, Liu Y, Luo L and Duan Q 2014 Evaluating Skill of Seasonal Precipitation and Temperature Predictions of NCEP CFSv2 Forecasts over 17 Hydroclimatic Regions in China *J. Hydrometeorol.* **15** 1546–59
- [10] Bazile R, Boucher M-A, Perreault L and Leconte R 2017 Verification of ECMWF System 4 for seasonal hydrological forecasting in a northern climate *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **21** 5747–62
- [11] Manzananas R, Lucero A, Weisheimer A and Gutiérrez J M 2018 Can bias correction and statistical downscaling methods improve the skill of seasonal precipitation forecasts? *Clim. Dyn.* **50** 1161–76
- [12] Lau W K M and Waliser D E 2005 *Intraseasonal variability in the atmosphere-ocean climate system* (Berlin; New York: Springer-Verlag)
- [13] van den Besselaar E J M, van der Schrier G, Cornes R C, Iqbal A S and Klein Tank A M G 2017 SA-OBS: A Daily Gridded Surface Temperature and Precipitation Dataset for Southeast Asia *J. Clim.* **30** 5151–65
- [14] Buku Verifikasi Prakiraan Iklim Indonesia 2012. Kedeputan Bidang Klimatologi, BMKG
- [15] Lafon T, Dadson S, Buys G and Prudhomme C 2013 Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods *Int. J. Climatol.* **33** 1367–81