

SKENARIO PERUBAHAN IKLIM INDONESIA BERBASIS MODEL RESOLUSI TINGGI

Bambang Siswanto

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN

Email : siswanto@bdg.lapan.go.id; bambang_siswanto@hotmail.com

Abstract

In this study is focussed at applying of high resolution climate model CCAM (Conformal Cubic Atmospheric Model) by using method of dynamic downscaling. Downscaling the used is CCAM run on condition that initial condition and boundary condition of General Circulation Model CSIRO-MARK3.5, GFDLCM2.0, GFDLCM2.1, MIROC3_2_MEDRES, MPI_ECHAM5, UKMO_HADCM3. Scenario Emission green house gasses the used is SRES A2. Model run by 2 phase, Firstly phase run simulation of year 1971 up to 2000, later then do scenario of year 2041 up to year 2100. Result of analysis of climatological season of DJF, MAM, JJA and SON, indicating that spatial correlation between model with observation for the Indonesian region are for rainfall between 84.15 - 95.36, rmse between 36.13 - 54.09, bias between 0.1 - 14.54. While spatial correlation of surface air temperature, that is equal between 99.36 - 99.43, rmse 1.29 - 1.4 and diffraction 0.01 - 0.11. Surface Air Temperature projection of year 2041 - 2060 natural Indonesian region increase 0.8 - 2.6 OC, Nature of rainfall most Indonesia region [is] normal, some natural area [of] increase 10 - 30 % and degradation 10 - 30%, in the year 2080 - 2099 natural surface air temperature [of] increase range from 1.6 - 4.5 OC, nature of rainfall most Indonesia region range from normally, degradation between 10 - 50 %, increase range from 10 - 40 %.

Keywords: climate change, dynamic downscaling, season, correlation.

Abstrak

Dalam studi ini difokuskan pada penerapan model iklim resolusi tinggi CCAM (Conformal Cubic Atmospheric Model) dengan menggunakan metoda downscaling dinamis. Downscaling yang digunakan adalah CCAM dijalankan dengan syarat batas dan syarat awal dari model sirkulasi global CSIRO-Mark3.5, GFDLCM2.0, GFDLCM2.1, MIROC3_2_MEDRES, MPI_ECHAM5, UKMO_HADCM3. Skenario emisi gas rumah kaca yang digunakan adalah SRES A2.

Model dijalankan 2 tahap, yaitu tahap pertama menjalankan simulasi dari tahun 1971 sampai dengan 2000, kemudian melakukan skenario dari tahun 2041 sampai dengan tahun 2100.

Hasil analisis klimatologi musim DJF, MAM, JJA dan SON, menunjukkan bahwa korelasi spasial antara model dengan observasi untuk wilayah Indonesia untuk curah hujan adalah antara 84.15 - 95.36, rmse antara 36.13 - 54.09, bias antara 0.1 - 14.54. Sedangkan korelasi spasial suhu udara permukaan, yaitu sebesar 99.36 - 99.43, rmse 1.29 - 1.4 dan bias 0.01 - 0.11. Proyeksi suhu udara permukaan tahun 2041 - 2060 wilayah Indonesia mengalami kenaikan 0.8 - 2.6 °C, Sifat curah hujan sebagian besar wilayah Indonesia adalah normal, beberapa daerah mengalami kenaikan 10 - 30 % dan penurunan 10 - 30%, pada tahun 2080 - 2099 suhu udara permukaan mengalami kenaikan berkisar antara 1.6 - 4.5 °C, sifat curah hujan sebagian besar wilayah Indonesia berkisar antara normal, penurunan antara 10 - 50 %, kenaikan berkisar antara 10 - 40 %.

Kata kunci: perubahan iklim, downscaling dinamik, musim, korelasi.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan emisi gas rumah kaca (CO₂, N₂O, CH₄) yang diakibatkan aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, perubahan tata guna lahan, pembakaran

biomassa dan produksi semen dianggap sebagai penyebab perubahan iklim (Prentice et al. 2001). Perubahan konsentrasi CO₂ dan konsekuensi perubahan iklim merupakan implikasi yang signifikan bagi ekosistem dan masyarakat mulai dari skala lokal, regional dan global. Pembangunan skenario perubahan iklim merupakan salah satu langkah kunci dalam menilai potensi dampak pada berbagai kegiatan. Skenario berbasis model sirkulasi global (GCM) merupakan analisis paling umum yang digunakan dalam kajian dampak (Mearns et al. 2001). Kebanyakan studi dampak menggunakan skenario berbasis satu GCM atau beberapa GCM yang berbeda yang disajikan sebagai hasil alternatif. Perbedaan output model yang besar, baik model global (GCM) dan model regional (RCM) itu mencerminkan ketidakpastian yang mendasarinya, hal ini merupakan kendala bagi para ilmuwan dalam menilai akurasi model untuk memprediksi perubahan iklim. Menghadapi dilema ini, adalah sangat bijaksana untuk menerapkan berbagai model untuk menyelidiki dampak yang mungkin. Hasil kajian dengan skenario tunggal (satu GCM) menunjukkan hasil yang tepat akan tetapi hanya berlaku untuk skenario tertentu. Hal seperti itu tidak mungkin (unlikely) untuk mempresentasikan kemungkinan yang terjadi pada masa depan karena tidak didasarkan kepada spektrum yang penuh skenario perubahan iklim masa depan, dengan begitu adalah sangat bersifat untung-untungan (Hulme & Carter 1999).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan model area terbatas untuk simulasi dan skenario iklim merupakan hal yang umum. Model area terbatas (RCM) dijalankan dengan menggunakan syarat awal dan syarat batas (downscale) dari hasil simulasi dan skenario model global (misalnya McGregor 1997, Wang et al. 2004). Metode ini dapat memberikan informasi iklim yang diperlukan untuk mengkaji dampak perubahan iklim.

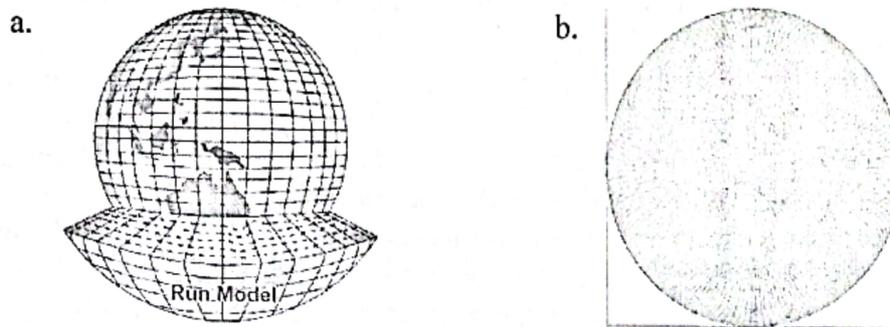
Perkembangan terakhir penggunaan model dalam studi iklim adalah penggunaan variabel-variabel resolusi GCM sebagai RCM. Keuntungan metoda ini adalah menghindari kesalahan refleksi batas lateral (lateral boundary reflection), kesalahan ini menghasilkan kecepatan vertikal palsu dan curah hujan palsu di dekat perbatasan dari downscaling menggunakan model area terbatas, teknik ini juga menghindari masalah yang disebabkan oleh kesalahan dari model global yang menjadi 'hosts' dan model iklim model skala-halus memiliki perbedaan bias suhu dan kelembaban. Teknik ini yang digunakan Conformal-Cubic Atmospheric Model (CCAM). CCAM dapat dijalankan sendiri yaitu model global dengan daerah tertentu sebagai model regional (resolusi spasial yang tinggi).

1.1.Deskripsi Model dan Downscaling

CCAM dikembangkan oleh CSIRO (McGregor 2005; McGregor and Dix 2001, 2008), dan mencakup parameterisasi fisis yang cukup komprehensif, sebagian besar sama dengan dengan GCM CSIRO-Mk3 dan GFDL. Parameterisasi radiasi gelombang panjang dan pendek (Schwarzkopf dan Fels 1991) yang digunakan interaktif dengan distribusi awan yang ditentukan oleh schema cairan dan es-air Rotstayn (1997). Model mempekerjakan skema stabilitas-bergantung pada lapisan batas berdasarkan Monin-Obukhov (McGregor et al. 1993). Skema kanopi dijelaskan oleh Kowalczyk et al. (1994), memiliki enam lapisan suhu tanah, enam lapisan untuk kelembaban tanah (pemecahan persamaan Richard), dan tiga lapisan untuk salju. Menggunakan skema konveksi kumululus penutupan flusks massa, seperti yang dijelaskan oleh McGregor (2003), dan mencakup baik downdrafts dan detrainment.

CCAM dapat digunakan dalam mode kuasi-seragam (quasi-uniform), atau transformasi grid menggunakan tranformasi Schmidt (1977), misalnya untuk sebuah grid 60 km, CCAM dapat digunakan untuk downscale langsung menggunakan suhu muka laut (SST) dan lautan es dari model global kopel atmosfer-laut (misalnya, Engelbrecht et al. 2008). Kebanyakan GCM saat ini tidak melakukan koreksi fluks antara atmosfer dan laut,

sehingga terjadi bias SST saat sekarang mencapai 2 derajat dekat Australia, dibandingkan dengan pengamatan. Simulasi CCAM tidak hanya menggunakan SST harian dari 'hosts' GCM, tetapi dengan rata-rata bulanan dua dimensi sehingga masalah bias dapat dikurangi.



Gambar 1.1. a). Model global dengan resolusi grid ~ 200 km dan 18 level vertical, b). Model Regional (CCAM) dengan resolusi grid 50 km.

Simulasi di daerah tropis merupakan hal yang sangat penting dan menantang apakah model mampu mensimulasi perilaku monsun asia dan ekuator, karena mereka sangat dipengaruhi oleh konvektif dan orograpi. Disamping itu pulau-pulau di benua maritim merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kesulitan dalam mensimulasi curah hujan atas wilayah Indonesia (Neale dan Slingo 2003). Adanya perbedaan yang nilai curah hujan antara model dan observasi yang cukup besar di sebagian wilayah Indonesia disebabkan karena ukuran grid model 50 km x 50 km, sedangkan proses pembentukan konveksi/proses pembentukan curah hujan di wilayah tropis berlangsung dalam skala 10 - 20 km² (Juaeni, dkk., 2008).

2. DATA DAN METODE

2.1. DATA

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah keluaran model CCAM (Cubic Conformal Atmospheric Model) dengan syarat awal dan syarat batas dari model global GFDLCM20, GFDLCM21, MIROC3_2_MEDRES, MK3.5_B35, MPI_ECHAM5, dan UKMO_HADCM3. Skenario emisi yang digunakan adalah SRES A2. Sebagai referensi (baseline) data dari tahun 1971 – 2000, data proyeksi iklim yang digunakan adalah dari tahun 2041 – 2061 dan 2081 – 2099.

2.2. METODE

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini adalah membandingkan keluaran CCAM dengan observasi untuk parameter iklim curah hujan dan suhu udara permukaan, variable yang dilihat adalah korelasi pola spasial, kesalahan akar kwadrat (rmse) dan bias (penyimpangan model dari observasi). Data observasi yang digunakan sebagai referensi adalah data CRU 0.5x0.5 derajat selama 30 tahun (tahun 1971-2000) musim DJF, MAM, JJA dan SON.

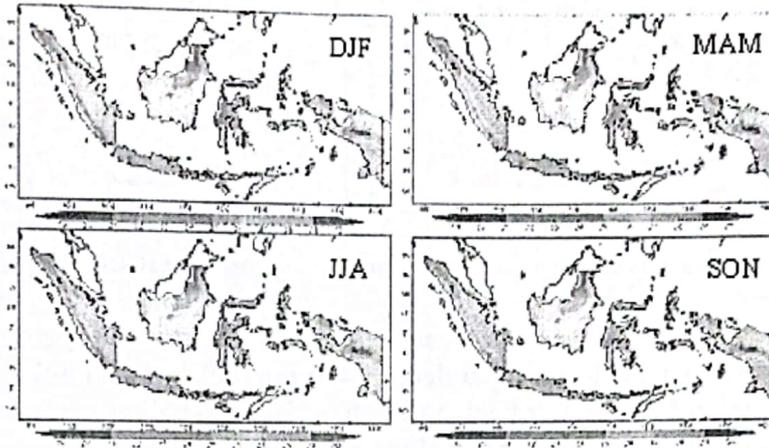
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model dijalankan dengan 2 langkah, pertama simulasi dari tahun 1971 sampai dengan tahun 2000 dan digunakan sebagai referensi (baseline) dan langkah kedua melakukan skenario jangka menengah (50 tahun) dan jangka panjang (100 tahun). Hasil

simulasi sebagai referensi dibandingkan dengan observasi untuk melihat kemampuan model dalam mensimulasi dan memproyeksi sifat iklim. Hasil simulasi dan skenario adalah sebagai berikut :

3.1.KONDISI SUHU UDARA PERMUKAAN DAN CURAH HUJAN

3.3.1. Suhu Udara Permukaan



Gambar 3.1. Suhu Udara Permukaan (C) klimatologi observasi (CRU 1971-2000)

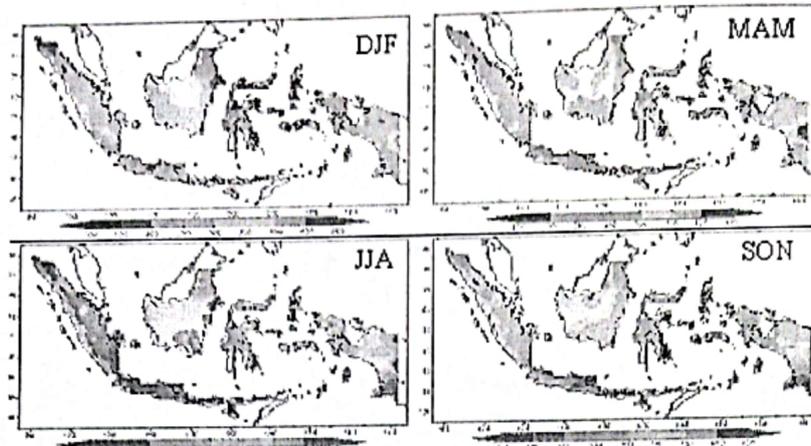
Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa suhu udara permukaan rata-rata (1971-2000) wilayah Indonesia pada musim basah (DJF) berkisar antara 19 sampai dengan 28 °C, suhu minimum terjadi di Papua bagian tengah (pegunungan Jayawijaya), selatan Sumatera, Jawa Barat bagian selatan, bagian tengah Jawa Tengah, bagian utara Kalimantan, bagian utara Papua sebelah barat, Halmahera berkisar antara 24 – 26 °C, sebagian besar Sulawesi, terutama bagian tengah dan utara berkisar antara 21 – 25 °C, sebagian besar Sumatera, Jawa, Kalimantan, dan Papua berkisar antara 26 – 27 °C. Suhu permukaan Bali berkisar antara 26 – 27 °C, Nusa Tenggara suhu udara permukaannya berkisar antara 25 – 26 °C. Suhu udara permukaan Ambon berkisar antara 26 – 27 °C. Suhu udara permukaan yang paling tinggi terjadi di Madura dan Papua timur bagian selatan berkisar antara 28 – 29 °C.

Suhu udara permukaan wilayah Indonesia pada musim peralihan (MAM), berkisar antara 19 sampai dengan 28 °C, suhu minimum terjadi di Papua bagian tengah (pegunungan Jayawijaya), berkisar antara 24 – 28 °C. Suhu udara Jawa berkisar antara 24 – 27 °C. Kalimantan berkisar antara 24 – 28 °C. Sulawesi berkisar antara 22 – 28 °C. Suhu udara permukaan Papua berkisar antara 19 – 28 °C. Maluku berkisar antara 25 – 27 °C. Suhu udara Bali berkisar antara 26 – 27 °C, Nusa Tenggara berkisar antara 24 – 26 °C.

Suhu udara permukaan wilayah Indonesia pada musim kering (JJA) berkisar antara 19 sampai dengan 28 °C, suhu minimum terjadi di Papua bagian tengah (pegunungan Jayawijaya), Sumatera berkisar antara 24 – 28 °C, Suhu udara Jawa berkisar antara 24 – 27 °C. Suhu udara Bali berkisar antara 25 – 26 °C. Nusa Tenggara suhu udaranya berkisar antara 24 – 25 °C. Kalimantan suhu udaranya berkisar antara 24 – 28 °C. Sulawesi berkisar antara 22 – 25 °C. Maluku berkisar antara 25 – 26 °C. Suhu udara Papua antara 19 – 27 °C.

Suhu udara permukaan wilayah Indonesia pada musim peralihan SON berkisar antara 19 – 28 °C. Suhu udara Sumatera berkisar antara 24 – 28 °C. Sebagian besar Jawa berkisar antara 24 – 28 °C. Sebagian besar Sulawesi suhu udaranya berkisar antara 22 – 28 °C. Suhu udara permukaan Papua bervariasi 19 – 28 °C. Maluku berkisar antara 25 – 27 °C. Suhu udara Bali berkisar antara 26 – 27 °C, Nusa Tenggara berkisar antara 26 – 27 °C.

3.3.2. Curah hujan



Gambar 3.2. Curah hujan (mm) klimatologi observasi (CRU 1971-2000)

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa pada bulan basah (DJF) curah hujan wilayah Indonesia berkisar antara 150 sampai dengan 450 mm/bulan, curah hujan tertinggi terjadi di Jawa tengah dan Papua timur bagian tengah, sedangkan paling rendah terjadi di daerah Aceh bagian utara, sebagian kecil Kalimantan timur, Sulawesi utara sebelah selatan, sebagian kecil Sulawesi tenggara, Halmahera, Ambon. Curah hujan Sumatera berkisar antara 250 – 450 mm. Curah hujan Jawa berkisar antara 200 – 400 mm. Sulawesi berkisar antara 200 – 250 mm. Papua berkisar antara 200 – 250 mm. Bali, Nusa Tenggara berkisar antara 350 – 400 mm.

Pada bulan peralihan MAM, Sumatera berkisar antara 150 – 400 mm. Jawa berkisar antara 250 – 450 mm. Bali dan Nusa Tenggara, Maluku berkisar antara 150 – 250 mm. Kalimantan mempunyai curah hujan berkisar antara 150 – 400 mm. Papua berkisar antara 150 – 450 mm.

Curah hujan pada musim kering JJA, Sumatera mempunyai curah hujan berkisar antara 100 – 200 mm. Jawa mempunyai curah hujan berkisar antara 50 – 200 mm, Bali, dan Nusa Tenggara kurang dari 50 mm. Kalimantan berkisar antara 50 – 300 mm. Sulawesi berkisar antara 200 – 400 mm, Curah hujan Maluku berkisar antara 200 – 450 mm. Curah hujan Papua berkisar antara 50 – 450 mm.

Curah hujan pada musim peralihan SON, Sumatera berkisar antara 150 – 450 mm. Jawa barat bagian tengah berkisar antara 100 – 450 mm, Curah hujan Bali, Nusa Tenggara berkisar antara 100 – 200 mm. Sebagian besar Kalimantan berkisar antara 150 – 450 mm, Sebagian besar Sulawesi, Maluku dan sebagian besar Papua berkisar antara 150 -200 mm, sebagian kecil Sulawesi tenggara berkisar antara 50 – 100 mm. Papua utara kepala burung, sebagian kecil Papua bagian tengah berkisar antara 250 – 300 mm, Papua timur bagian tengah berkisar antara 250 – 400 mm, Papua timur bagian selatan berkisar antara 50 – 200 mm.

3.2. PERBANDINGAN MODEL DENGAN OBSERVASI



Gambar 3.3. Suhu udara permukaan klimatologi (1971-2000) :
 (1). GFDLCM2.0, (2).GFDLCM2.1, (3). MIROC_3_2_EDRES,
 (4). CSIRO_MK3.5_B35, (5).MPI_ECHAM5, (6).UKMO_HADCM3.

Dari Gambar 3.1 dan 3.3 dapat dilihat bahwa model mampu simulasi parameter suhu udara dengan baik hal ini dapat dilihat dari pola antara model dengan observasi, akan tetapi nilainya lebih rendah dari pada observasi (under estimate) semua host memperlihatkan pola yang hampir sama, yaitu Sumatera bagian utara lebih dingin dibandingkan bagian selatan dan sebelah utara bukit barisan lebih panas. Kalimantan bagian utara lebih dingin dibandingkan dengan bagian selatan. Sulawesi suhu udara permukaan lebih dingin terjadi di tengah. Suhu udara permukaan di Papua lebih dingin terjadi di tengah dan sebelah utara kepala burung, model memperlihatkan daerah dingin yang lebih luas dibandingkan dengan observasi. Papua timur bagian selatan, bagian utara dan bagian selatan kepala burung lebih hangat. Pulau jawa daerah Banten sebagian Jawa barat, sebagian Jawa tengah dan Jawa timur lebih hangat di bandingkan dengan bagian tengah.

Model menunjukkan nilai yang tinggi dibandingkan dengan observasi di beberapa daerah, seperti di bagian selatan Sumatera, bagian selatan Jawa, selatan Kalimantan, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi bagian barat, Sulawesi bagian utara, Halmahera, hal itu kemungkinan disebabkan karena pengaruh lautan yang dominan.



Gambar 3.4. Curah hujan klimatologi (1971-2000) :

- (1). GFDLCM2.0, (2).GFDLCM2.1, (3). MIROC_3_2_MEDRES,
- (4).CSIRO_MK3.5_B35, (5).MPI_ECHAM5, (6).UKMO_HADCM3.

Dari Gambar 3.2 dan 3.4 dapat dilihat bahwa pola curah hujan antara model dan observasi. Pada semua musim sebagian besar wilayah Indonesia curah hujannya lebih rendah dibandingkan dengan observasi terutama di Kalimantan bagian tengah, kecuali di daerah Papua, model menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Untuk musim kering JJA daerah Papua lebih kecil dibandingkan dengan observasi.

Korelasi spasial untuk wilayah Indonesia antara model dengan observasi (CRU) dapat dilihat pada Tabel 3.1. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk curah hujan CCAM dengan model global MPI_ECHAM5 menunjukkan korelasi spasial yang baik yaitu 85.67 – 95.36 dengan kesalahan akar kwadrat (rmse) antara 35,79 – 52.85 dan nilai bias (selisih antara model dengan observasi sebesar rata-rata antara -0.03 – -12.14, kemudian diikuti oleh model global GFDLCM20, UKMO_HADCM3, GFDLCM21, MIROC3_2_medres dan Mk3.5_B35.

Sedangkan untuk suhu udara permukaan CCAM dengan model global Mk3.5_B35 menunjukkan korelasi spasial yang baik, yaitu 99.38 – 99.43 dengan kesalahan akar kwadrat (rmse) sebesar 1.29 – 1.34 dan bias bias (selisih antara model dengan observasi) sebesar rata-rata antara 0.05 – 0.1, kemudian diikuti oleh model global MPI_ECHAM5, GDDLCM21, UKMO_HDCM3, GFDLCM20 dan MIROC3_2_MEDRES,

Tabel 3.1. Korelasi pola spasial curah hujan dan suhu udara permukaan wilayah Indonesia.

1	Curah hujan												
	Model	DJF			MAM			JJA			SON		
		corr	rms	bias	corr	rms	bias	corr	rms	bias	corr	rms	bias
	mpi echam5	91.03	52.85	-12.14	95.36	35.79	-6.38	85.67	47.2	-0.03	94.25	36.63	-4.08
	gfdlcm20	91.44	51.13	-10.02	94.97	36.53	-3.93	85.09	49.53	2.43	93.92	37.47	-2.84
	ukmo hadcm3	91.54	51.88	-12.79	95.23	36.13	-6.07	84.81	49.52	0.76	93.99	37.56	-4.95
	gfdlcm21	91	53.94	-14.54	95.01	36.79	-5.92	84.15	49.16	-2.76	94.43	37.08	-7
	miroc3 2 medres	90.8	53.22	-11.62	94.44	38.45	-4.66	84.72	51.44	4.33	93.79	38.12	-0.1
	Mk3.5 B35	90.62	54.09	-12.88	94.93	37.33	-6.49	84.63	48.71	-1.14	94.29	36.54	-4.19
2	Suhu udara permukaan												
	Mk3.5 B35	99.38	1.34	0.07	99.38	1.38	0.1	99.43	1.29	0.1	99.39	1.34	0.05
	mpi echam5	99.38	1.35	0.08	99.37	1.39	0.11	99.42	1.3	0.09	99.39	1.34	0.05
	gfdlcm21	99.38	1.34	0.07	99.36	1.39	0.09	99.42	1.29	0.09	99.39	1.34	0.05
	ukmo hadcm3	99.37	1.36	0.08	99.36	1.4	0.1	99.42	1.3	0.09	99.38	1.35	0.05
	gfdlcm20	99.36	1.37	0.08	99.36	1.4	0.1	99.41	1.31	0.08	99.38	1.35	0.05
	miroc3 2 medres	99.37	1.35	0.06	99.36	1.39	0.08	99.39	1.31	0.05	99.37	1.36	0.01

3.3. PROYEKSI IKLIM TAHUN 2041-2060



Gambar 3.5. Anomali Suhu udara permukaan 2041-2060 :
 (1). GFDLCM2.0, (2).GFDLCM2.1, (3). MIROC_3_2_MEDRES,
 (4).CSIRO_MK3.5_B35, (5).MPI_ECHAM5, (6).UKMO_HADCM3.

3.3.1. Suhu Udara Permukaan

Proyeksi iklim dengan parameter iklim suhu udara dan curah hujan 50 tahun kedepan (2041 – 2060) adalah sebagai berikut :

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa pada musim basah DJF, CCAM dengan host GFDLCM20 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia berkisar antara 1.2 – 1.4 °C, kecuali Jawa bagian timur, bagian barat, Sumatera bagian tengah, bagian utara dan Sumatera bagian selatan sebelah selatan, sebagian kecil Kalimantan bagian timur, sebagian kecil Sulawesi bagian tengah dan sebagian kecil Papua bagian timur sebelah selatan berkisar antara 1.4 – 1.6 °C. Perubahan terbesar terjadi di Aceh dengan suhu berkisar antara 1.8 – 2 °C. Untuk GFDLCM21 sama dengan GFDLCM20, kecuali daerah Halmahera dengan anomali suhu berkisar antara 1.4 – 1.6 °C. anomali suhu terendah terjadi daerah Papua berkisar antara 1 – 1.2 °C. CCAM dengan host MIROC3_2_MEDRES lebih tinggi dari gFDLCM21 dan GFDLCM20, yaitu anomali suhu udara berkisar antara 1.4 – 1.5 °C, kecuali Sumatera dan Jawa berkisar antara 1.6 – 1.8 °C, paling tinggi terjadi Sumatera bagian utara berkisar antara 2.4 – 2.6 °C. CCAM dengan host Mk3.5_B35 menunjukkan anomali suhu udara berkisar antara 1.2 – 1.4 °C terjadi sebagian Sumatera bagian tengah, 1.4 – 1.6 °C hampir seluruh wilayah, Jawa timur berkisar antara 1.6 – 1.8 °C. CCAM dengan host MPI_ECHAM5 pada umumnya menunjukkan anomali suhu berkisar antara 1 – 1.2 °C, sebagian kecil Sumatera selatan sebelah utara, Kalimantan selatan, sebagian Sulawesi bagian tengah sebelah timur, Halmahera, dan Papua sebelah selatan sebagian kecil kepala burung sebelah utara berkisar antara 0.8 – 1.0 °C, Anomali suhu tertinggi terjadi di Sumatera bagian utara berkisar antara 1.2 – 1.4 °C. CCAM dengan host UKMO_HADCM3 menunjukkan bahwa anomali suhu udara pada umumnya wilayah Indonesia berkisar antara 1 – 1.2 sebagian °C, kecuali sebagian Sumatera berkisar antara 1.2 – 1.4 °C, Halmahera, Papua bagian selatan berkisar antara 0.8 – 1.0 °C.

Pada musim MAM, CCAM dengan host GFDLCM20, GFDLCM21, Mk3.5_B35 dan MIROC3_2_MEDRES menunjukkan perubahan yang hampir sama, yaitu sebagian besar wilayah Indonesia mengalami perubahan berkisar antara 1.4 – 1.6 °C, sebagian sumatera berkisar antara 1.6 – 1.8 ditunjukkan oleh host MIROC3_2_MEDRES, sedangkan MPI_ECHAM5 dan UKMO_HADCM3, menunjukkan perubahan yang lebih kecil yaitu berkisar antara 1 – 1.2 °C, kecuali Halmahera Kalimantan bagian barat sebagian kecil Sumatera bagian tengah berkisar antara 0.8 – 1.0 °C.

Pada musim kering JJA, CCAM dengan host GFDLCM20, GFDLCM21, Mk3.5_B35 menunjukkan pola yang hampir sama dengan anomali suhu udara berkisar antara 1.4 - 2.6 °C. host Mk3.5_B35 menunjukkan anomali suhu lebih tinggi dibandingkan model yang lain. CCAM dengan host MIROC3_2_MEDRES, MPI_ECHAM5, UKMO_HADCM3, menunjukkan anomali berkisar antara 0.8 – 1.8 °C.

Pada musim SON, ccam dengan host GFDLCM20, GFDLCM21, MIROC3_2_MEDRES, Mk3.5_B35 anomali suhu udara berkisar antara 1.2 – 2.4 °C. host Mk3.5_B35 menunjukkan anomali yang tinggi yaitu sebesar berkisar antara 2.2 – 2.4 °C terjadi di Jawa timur.

3.3.2. Curah Hujan

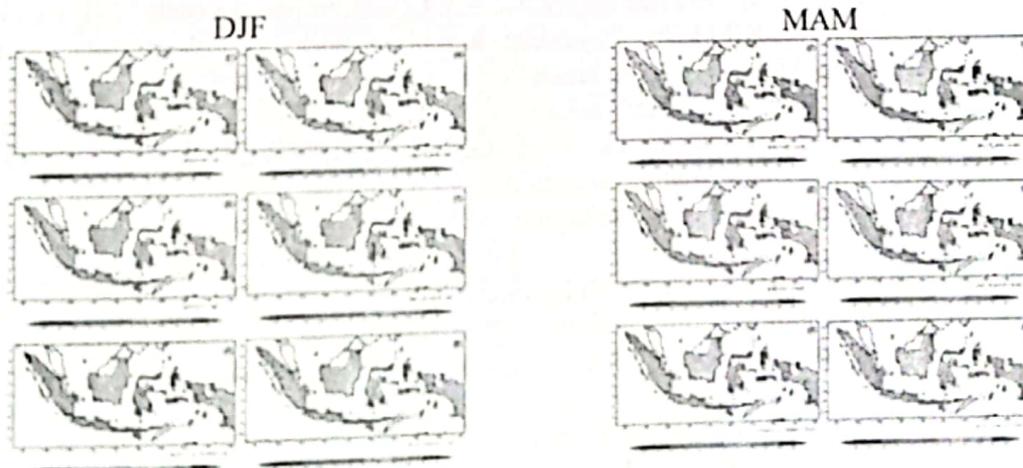
Dari Gambar 3.6. dapat dilihat bahwa semua host menunjukkan pola yang hampir sama pada musim basah DJF sebagian Sumatera sebelah utara mengalami penurunan curah hujan berkisar antara 10 – 30 %, Kalimantan mengalami kenaikan curah hujan berkisar antara 10 – 20 % , Jawa barat dan Jawa tengah normal (-10 sampai dengan 10 %), Jawa timur mengalami kenaikan berkisar antara 10 - 20%, Papua mengalami peningkatan

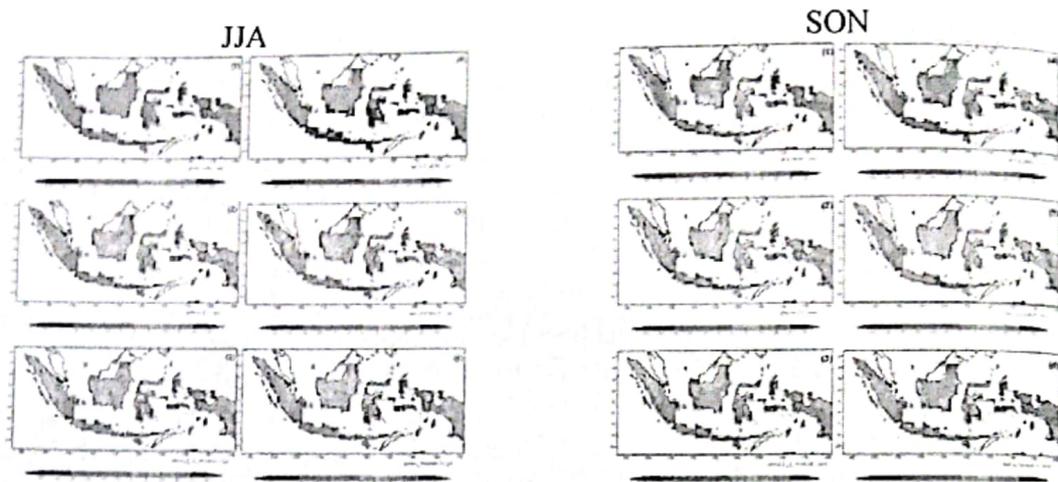
berkisar antara 10 - 30 % , kecuali bagian utara normal. Sulawesi tenggara, tengah, mengalami peningkatan curah hujan berkisar antara 20 - 30%, Sulawesi bagian barat (daerah pantai) sifatnya normal. Bali, Nusa Tenggara semua menunjukkan normal, kecuali MPI_ECHAM5 menunjukan kenaikan berkisar antara 10 - 20 %.

Pada MAM, semua host menunjukan bahwa sebagian besar Indonesia sifat curah hujannya adalah normal (-10 sampai dengan 10 %), kecuali GDFLCM20 dan Mk3.5_B35 untuk Jawa, sebagian Sulawesi bagian selatan, Papua mengalami penurunan berkisar antara 10 -30 %.

Pada musim kering JJA, semua host menunjukan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia sifat curah hujannya normal (-10 sampai dengan 10 %), sedangkan sebagian Sumatera terutama bagian utara mengalami kenaikan berkisar antara 10 - 30 % , kecuali GDFLCM20 dan Mk3.5_B35 menunjukan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia mengalami penurunan berkisar antara 10 - 30 % , kecuali MK3.5_B35 berkisar antara 10 - 50 % , Sumatera bagian utara kondisinya normal, Papua bagian utara mengalami kenaikan berkisar antara 10 - 20 % . GDFLCM20 Papua bagian utara sebelah timur, Bali, Nusa Tenggara kondisinya normal.

Pada SON semua host menunjukan kondisi normal (-10 sampai dengan 10 %) kecuali Sumatera bagian utara mengalami kenaikan antara 10 - 30 % ditunjukkan oleh GDFLCM21, dan MK3.5_B35. Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan Sumatera bagian selatan mengalami penurunan berkisar antara 20 - 30% ditunjukkan oleh host Mk3.5_B35, Sumatera bagian selatan, Jawa bagian barat, sebagian Kalimantan bagian selatan Sulawesi bagian selatan, Papua bagian selatan mengalami penurunan berkisar antara 10 - 30 % sebagaimana ditunjukkan oleh MIROC_3_2_MEDRES dan UKMO_HADCM3.





Gambar 3.6. Anomali Curah Hujan 2041-2060 :
 (1). GFDLCM2.0, (2).GFDLCM2.1, (3). MIROC_3_2_MEDRES,
 (4). MK3.5_B35, (5). MPI_ECHAM5, (6). UKMO_HADCM3.

3.4. PROYEKSI IKLIM TAHUN 2081-2099

3.3.1. Suhu Udara

Dari Gambar 3.7, anomali suhu udara DJF sebagian wilayah Indonesia mengalami kenaikan berkisar antara $2.8 - 3.2^{\circ}\text{C}$, sebagaimana ditunjukkan oleh GFDLCM20, GFDLCM21, MK3.5_B35, berkisar antara $3.2 - 3.4^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan oleh MPI_ECHAM5, sedangkan UKMO_HADCM3 menunjukkan kenaikan berkisar antara $2.4 - 2.6^{\circ}\text{C}$. Anomali suhu tertinggi terjadi di daerah Aceh berkisar antara $3.2 - 4^{\circ}\text{C}$.

Anomali suhu udara MAM sebagian wilayah Indonesia mengalami kenaikan berkisar antara $3.2 - 3.8^{\circ}\text{C}$ untuk host GFDLCM20, GFDLCM21, MK3.5_B35, MPI_ECHAM, MPI_ECHAM5 menunjukkan nilai yang lebih besar, sedangkan UKMO_HADCM3 menunjukkan sebagian wilayah Indonesia mengalami kenaikan berkisar antara $2.6 - 3.4^{\circ}\text{C}$.

Anomali suhu udara JJA wilayah Indonesia mengalami kenaikan berkisar antara $2.8 - 3.8^{\circ}\text{C}$, sebagaimana ditunjukkan oleh GFDLCM21, MPI_ECHAM5, dan UKMO_HADCM3, sedangkan GFDLCM20, dan Mk3.5_B35 menunjukkan hasil yang lebih tinggi yaitu berkisar antara $3.4 - 4.5^{\circ}\text{C}$

Anomali suhu udara SON wilayah Indonesia mengalami kenaikan berkisar antara $2.6 - 3.2^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan GFDLCM21, $2.6 - 3.6^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan UKMO_HADCM3, berkisar antara $3 - 3.8^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan oleh MPI_ECHAM5 dan GFDLCM20, berkisar antara $3 - 4.5^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan oleh Mk3.5_B35.

3.4.2. Curah hujan

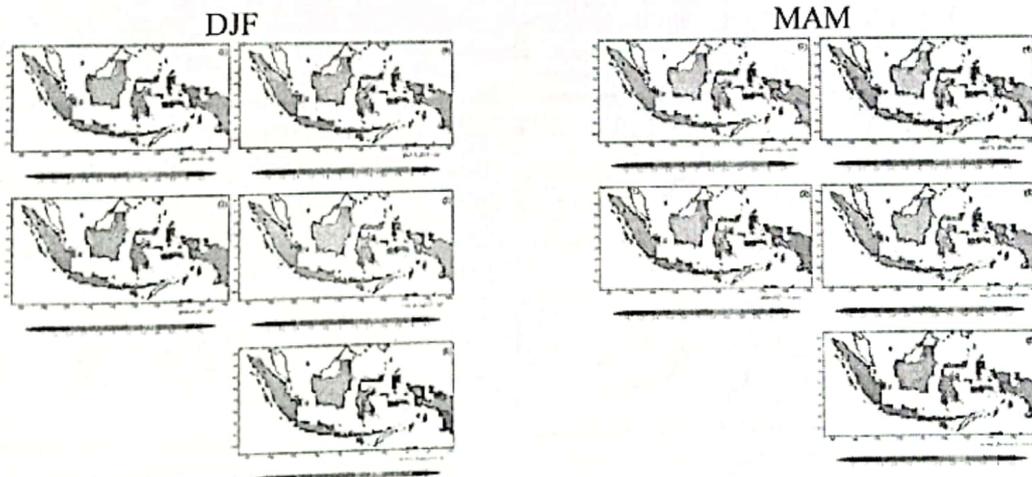
Dari Gambar 3.8, anomali curah hujan DJF, sebagian besar wilayah Indonesia normal (-10 sampai dengan 10%), kecuali sebagian besar Kalimantan, Papua bagian selatan, Sulawesi tenggara mengalami kenaikan berkisar antara $10 - 30\%$. Sumatera bagian utara mengalami penurunan $10 - 40\%$.

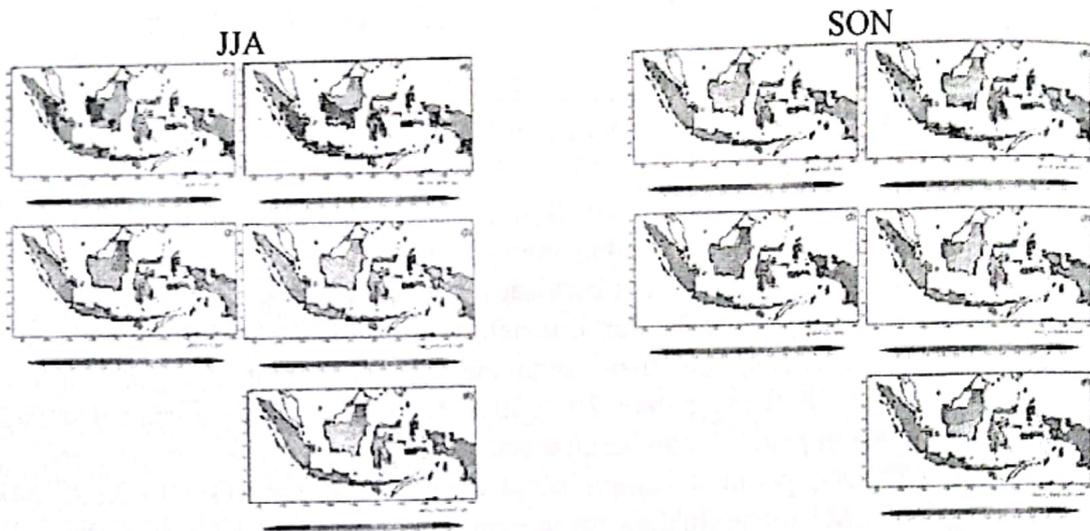
Anomali curah hujan MAM. Sebagian besar wilayah Indonesia normal (-10 sampai dengan 10%), kecuali Halmahera mengalami kenaikan berkisar antara $20 - 30\%$ ditunjukkan oleh semua host kecuali UKMO_HADCM3 Halmahera mengalami penurunan berkisar antara $20 - 30\%$. Jawa, Sulawesi bagian selatan dan Papua mengalami penurunan

berkisar antara 20 – 40 % ditunjukkan oleh host GFDLCM20, MK3.5_B35, dan UKMO_HADCM3.

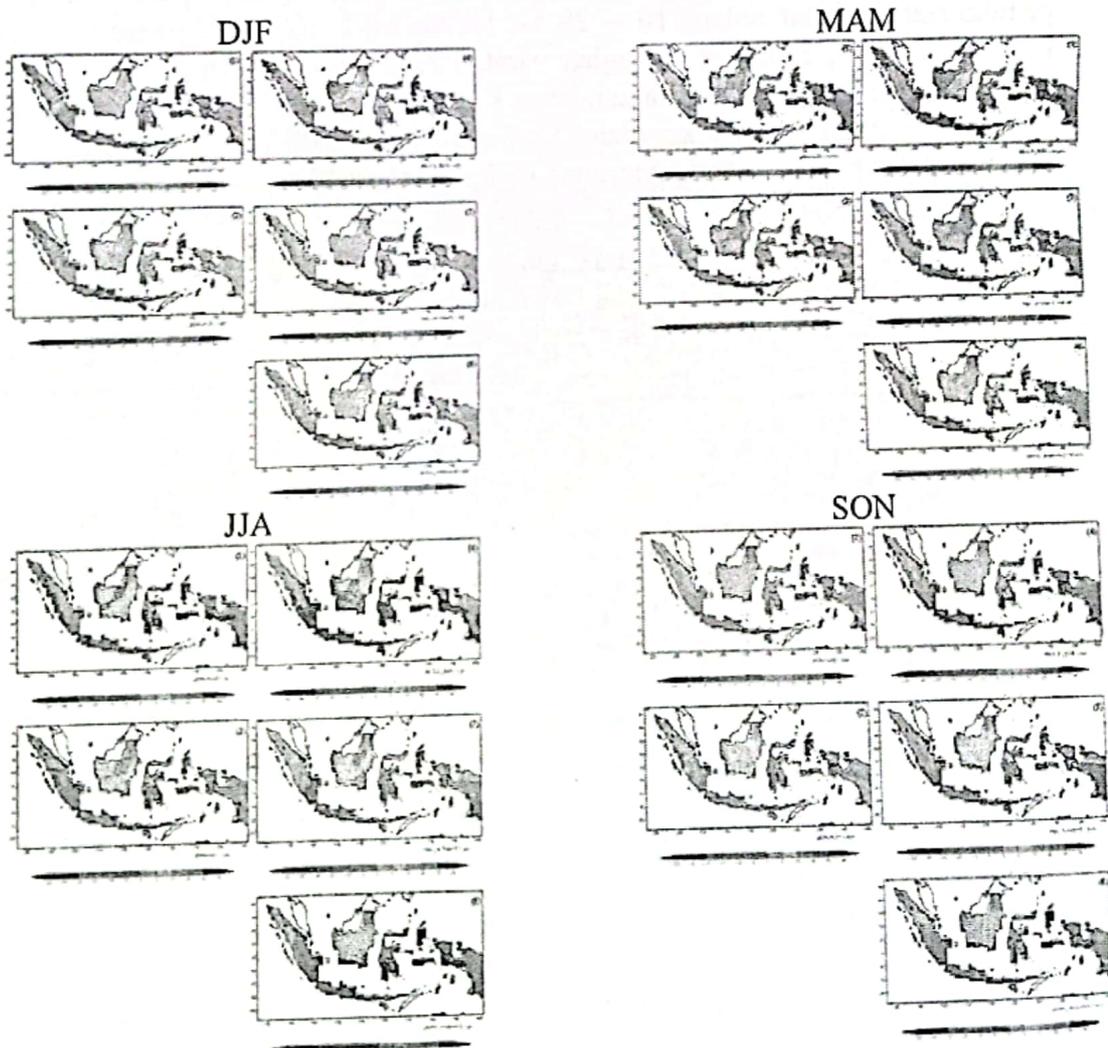
Pada JJA semua host menunjukkan hasil bervariasi, gdlcm20, Mk3.5_B35, ukmo_hadcm3 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia mengalami penurunan berkisar antara 10 -50 %, Mk3.5 menunjukkan nilai yang ekstrim. Sedangkan GFDLCM21 sebagian besar wilayah Indonesia menunjukkan kondisi normal, kecuali Papua bagian timur sebelah selatan mengalami peningkatan berkisar antara 20 – 40 % Sumatera bagian utara meningkat berkisar antara 10 – 30%, Ambon dan Sumatera bagian selatan mengalami penurunan berkisar antara 10 – 20 %. MPI_ECHAM3 menunjukkan bagian utara Sumatera mengalami kenaikan berkisar antara 10 - 20%, Halmahera dan Kalimantan barat berkisar antara 20 – 30%. Sulawesi bagian selatan dan Papua bagian selatan mengalami peningkatan berkisar antara 10 – 30 %.

Pada SON, polanya hampir sama dengan JJA, host GFDLCM20, MK3.5_B35, UKMO_HADCM3 menunjukkan penurunan berkisar antara 10 – 50%, kecuali Sumatera bagian utara normal untuk GFDLCM20 dan UKMO, sedangkan Mk3.5_B5 menunjukkan peningkatan berkisar antara 10 - 30%. Sumatera bagian utara Jawa dan Papua kondisinya normal sebagaimana ditunjukkan oleh GFDLCM21, Sulawesi sebagian besar kalimanta, Halmahera, Ambon, Bali, Nusa Tenggara dan Papua bagian kepala burung mengalami peningkatan berkisar antara 10 – 20 %. Untuk MPI_ECHAM5 menunjukkan sebagian besar Sumatera , Kalimantan bagian barat, Papua bagian utara mengalami peningkatan berkisar antara 10 – 30 %, sebagian besar Kalimantan, Papua bagian selatan, sebagian kecil Sulawesi tengah dan utara kondisinya normal. Jawa, Bali, Nusa Tenggara, dan Sulawesi bagian selatan menunjukkan penurunan berkisar antara 10 – 20%.





Gambar 3.7. Anomali Suhu udara permukaan 2081-2099 :
(1). GFDLCM2.0, (2). GFDLCM2.0,
(4). CSIRO_MK3.5_B35, (5). MPI_ECHAM5, (6). UKMO_HADCM3.



Gambar 3.8. Anomali Curah hujan 2081-2099:
(1). gfdlcm2.0, (2). gfdlcm2.0,
(4). csiro_mk3.5_B35, (5). mpi_echam5, (6). ukmo_hadcm3.

4. KESIMPULAN

Semua host menunjukkan pola yang hampir sama dalam mensimulasi dan membuat proyeksi iklim mendatang. Kinerja model CCAM dengan cakupan wilayah Indonesia menunjukkan hasil yang cukup baik hal ini ditunjukkan dengan korelasi spasial antara model dengan observasi diatas 84 dengan rmse kurang dari 54, dan biasanya lebih kecil dari 15 untuk curah hujan. Untuk curah hujan ccam dengan host mpi_echam5 menunjukkan kinerja yang lebih baik dan host Mk3.5_B35 peringkat paling bawah, sedangkan untuk suhu udara permukaan Mk3.5_B35 menunjukkan kinerja yang paling baik dan miroc3.2_medres peringkat yang paling bawah. Korelasi spasial wilayah Indonesia untuk curah hujan adalah antara 84.15 – 95.36, rmse antara 36.13 – 54.09, bias antara 0.1 – 14.54. korelasi spasial suhu udara permukaan, yaitu sebesar 99.36 – 99.43, rmse 1.29 – 1.4 dan bias 0.01 – 0.11.

Korelasi spasial wilayah Indonesia downscaling dinamis CCAM dari model model global, untuk semua model global menunjukkan bahwa pada musim basah DJF dan musim kering JJA lebih kecil dibandingkan dengan musim MAM dan SON, korelasi terkecil terjadi pada musim kering (JJA) untuk variabel curah hujan, sebaliknya untuk suhu udara permukaan bulan kering JJA menunjukkan korelasi yang besar. Proyeksi suhu udara permukaan tahun 2041 – 2060 wilayah Indonesia mengalami kenaikan musim DJF 1.2 – 2 °C, MAM berkisar antara 0.8 – 1.6 °C, JJA 0.8 – 2.6 °C, SON 1.2 – 2.4 °C, Curah hujan wilayah Indonesia pada musim DJF, MAM, JJA, SON sebagian besar normal, beberapa daerah mengalami kenaikan 10 – 30 % dan penurunan 10 – 30%, pada tahun 2080 – 2099 suhu udara permukaan mengalami kenaikan berkisar antara 1.6 – 4.5 °C, sifat curah hujan sebagian besar wilayah Indonesia berkisar antara normal, penurunan antara 10 – 50 %, kenaikan berkisar antara 10 – 40 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya sampaikan kepada CMAR (CSIRO Marine and Atmospheric Research) yang member ijin untuk menggunakan keluaran model CCAM, CRU (Climatic Research Unit) University of East Anglia yang telah memberikan ijin untuk menggunakan data observasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Engelbrecht, F.A., McGregor J.L. and Engelbrecht, C.J., 2008, Dynamics of the Conformal-Cubic Atmospheric Model projected climate change signal over southern Africa. To appear in *Int. J. Climatol.*
- Hulme M, Carter T.R., 1999, Representing uncertainty in climate change scenarios and impacts studies. In: Carter TR, Hulme M, Viner D (eds) *Representing uncertainty in climate change scenarios and impacts studies. Proc ECLAT-2 Helsinki Workshop, 14–16 April, 1999.* Climatic Research Unit, Norwich, p 11–37
- Juani Ina, 2008, Studi Sensitivitas Darlam terhadap skema konveksi berdasarkan jumlah bulan hujan. *Jurnal Sains Dirgantara Vol. 5 No.2*, p 96-108.
- Kowalczyk E.A., Garratt, J.R. and Krummel, P.B., 1994, Implementation of a soil-canopy scheme into the CSIRO GCM - regional aspects of the model response. CSIRO Div. Atmospheric Research Tech Paper No. 32, 59 pp.
- Mearns LO, Hulme M, Carter TR, Leemans R, Lal M, Whetton P., 2001, Climate scenario development. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (eds) *Climate change 2001: the scientific basis.*

- Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p 739–768
- McGregor, J.L., Gordon, H.B. Watterson, I.G. Dix, M.R. and Rotstayn, L.D., 1993, The CSIRO 9-level atmospheric general circulation model. CSIRO Div. Atmospheric Research Tech. Paper No. 26, 89 pp.
- McGregor, J.L., 1997, Regional climate Modelling. Meteor. Atmos. Phys., 63,105-117
- McGregor, J.L., 2003, A new convection scheme using a simple closure. In "Current issues in the parameterization of convection", BMRC Research Report 93, 33-36.
- McGregor, J.L., 2005, C-CAM: Geometric aspects and dynamical formulation [electronic publication].CSIRO Atmospheric Research Tech. Paper No70, 43 pp.
- McGregor, J.L. and Dix, M.R., 2001, The CSIRO conformal-cubic atmospheric GCM. In IUTAM Symposium on Advances in Mathematical Modelling of Atmosphere and Ocean Dynamics, P. F. Hodnett (Ed.), Kluwer, Dordrecht, 1202.
- McGregor, J.L. and Dix, M.R., 2008, An updated description of the Conformal-Cubic Atmospheric Model. In High Resolution Simulation of the Atmosphere and Ocean, eds. K. Hamilton and W. Ohfuchi, Springer, 51-76.
- Neale, R.B. and Slingo, J.M., 2003, The Maritime Continent and its role in the global climate: A GCM study. J. Climate, 16, 834-848.
- Prentice IC, Farquhar G.D., Fasham M.J.R., Goulden M.L., 2001, The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (eds) Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p 183–237
- Schneider SH (2001) What is 'dangerous' climate change?
- Rotstayn, L.D., 1997, A physically based scheme for the treatment of stratiform clouds and precipitation in large-scale models. I: Description and evaluation of the microphysical processes. Q. J. R. Meteorol. Soc., 123, 1227-1282.
- Schmidt, F., 1977, Variable fine mesh in spectral global model. Beitr. Phys. Atmos., 50, 211-217.
- Schwarzkopf, M.D. and Fels, S.B., 1991, The simplified exchange method revisited: An accurate, rapid method for computation of infrared cooling rates and fluxes. J. Geophys. Res., 96, 9075-9096.
- Wang, Y., Leung, L.R., McGregor, J.L., Lee, D.-K., Wang, W.-C., Ding, Y. and Kimura, F., 2004, Regional climate modeling: progress, challenges, and prospects. J. Meteor. Soc. Japan, 82, 1599-2004.