

VARIABILITAS CURAH HUJAN DI BENUA MARITIM DARI EMPAT SISTEM REANALISIS TERBARU

Suaydhi

Bidang Pemodelan Atmosfer,

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

e-mail: suaydhi@lapan.go.id

ABSTRAK

Sistem reanalisis menggabungkan hasil pengamatan dan model iklim untuk memberikan data sistem iklim empat dimensi secara global yang mencakup banyak proses fisis dan dinamis. Keberadaan sistem reanalisis sangat membantu studi iklim di wilayah-wilayah tertentu yang terkendala oleh keterbatasan data pengamatan, seperti wilayah Benua Maritim. Curah hujan adalah besaran yang sangat penting dalam sistem iklim yang sangat sulit dimodelkan untuk wilayah ini, sehingga kualitas data curah hujan dari sistem reanalisis yang ada perlu dievaluasi. Dalam makalah ini empat sistem reanalisis terbaru (ERA Interim, NCEP CFSR, NASA MERRA, dan JRA-55) digunakan untuk meneliti variabilitas curah hujan di wilayah Benua Maritim. Dua data analisis curah hujan (GPCP dan CMAP) dipakai sebagai rujukan dan juga untuk mengestimasi ketidakpastian dalam data pengamatan. Hasil estimasi ketidakpastian ini menunjukkan bahwa curah hujan pada bulan Mei dan Desember lebih bervariasi dari tahun ke tahun dibandingkan pada bulan Juli, Agustus dan September. Sedangkan, hasil analisis curah hujan dari data reanalisis menunjukkan bahwa perubahan data yang diasimilasikan ke dalam sistem reanalisis memengaruhi kualitas data reanalisis di wilayah Benua Maritim. Dari keempat sistem reanalisis yang dievaluasi, NASA MERRA menunjukkan kinerja paling baik untuk Benua Maritim dan JRA-55 yang paling buruk. Oleh karena itu, JRA-55 sebaiknya tidak digunakan untuk kajian iklim di Benua Maritim.

Kata-kata kunci: variabilitas, curah hujan, Benua Maritim, sistem reanalisis terbaru.

ABSTRACT

Reanalysis system combines observed data with a climate model to provide 4-dimensional climate system data globally involving many physical and dynamical processes. The existence of reanalysis system has helped climate studies significantly in areas hindered by the limited data availability, such as the Maritime Continent. Rainfall is a very important variable in climate system that is very

difficult to be modeled for this area, so the quality of the rainfall data from the available reanalysis system needs to be evaluated. In this paper, four latest reanalysis systems (ERA Interim, NCEP CFSR, NASA MERRA, dan JRA-55) are used to investigate the rainfall variability over the Maritime Continent. Two analysed rainfall datasets (GPCP and CMAP) are used as references and are also used to estimate the uncertainty in the observational data. This estimate shows that rainfall in May and December has more variability from year to year than that in July, August, and September. Meanwhile, the analysis of rainfall from the reanalyses data shows that a change in the data assimilated into the system has significant impacts on the quality of the reanalysis data over the Maritime Continent. From the four evaluated reanalysis system, NASA MERRA has the best performance for the Maritime Continent and JRA-55 is the worst. Therefore, JRA-55 is not recommended for climate studies over the Maritime Continent.

Key words: variability, rainfall, Maritime Continent, latest reanalysis system.

1 PENDAHULUAN

Salah satu kendala utama dalam penelitian iklim dan cuaca, terutama untuk wilayah Benua Maritim, adalah ketersediaan data yang tidak teratur, baik dalam ruang maupun waktu. Sejak pertengahan dekade 1990-an, penelitian iklim banyak terbantu oleh data hasil reanalisis yang disebut dengan *National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis* (Kalnay et al. 1996). *Reanalysis* adalah kependekan dari *retrospective analysis* yang berarti analisis mundur dalam waktu, karena sistem ini menggabungkan data pengamatan yang sudah tersedia menggunakan suatu sistem analisis yang terdiri atas suatu model prediksi iklim dan suatu skema asimilasi data. Model iklim digunakan untuk menghasilkan data dalam sistem grid yang seragam sesuai resolusi yang diinginkan. Sedangkan skema asimilasi data digunakan untuk memandu model iklim tersebut agar menghasilkan data yang tak teramati konsisten dengan data-data yang memang teramati.

Meskipun produk datanya telah dipandu oleh suatu sistem asimilasi data, hasil reanalisis masih mengandung ketidakpastian. Fisika model dan ketidakpastian dalam pengamatan merupakan sumber utama ketidakpastian pada hasil reanalisis. Curah hujan

merupakan salah satu kuantitas yang paling rentan terhadap ketidakpastian ini, karena curah hujan dari model dihasilkan oleh parameterisasi fisis. Curah hujan juga merupakan komponen integral dalam siklus air, energi dan sirkulasi dinamis, maka curah hujan bisa menjadi pengukur kualitas reanalisis dalam studi iklim (Bosilovich et al. 2008).

Kajian tentang kinerja reanalisis sangat penting untuk studi iklim di suatu wilayah. Secara umum, fitur curah hujan dari reanalisis mirip dengan pengamatan, tetapi perbedaan secara regional sangat mungkin banyak terjadi (Cullather et al. 1998). Perbedaan ini sangat dipengaruhi oleh seberapa efektif masukan dari hasil pengamatan dari wilayah tersebut yang digunakan dalam sistem reanalisis (Bromwich et al. 2000). Hal ini bisa mengurangi keakuratan suatu data reanalisis untuk wilayah-wilayah yang data pengamatan curah hujannya tidak memadai dalam kehandalan (*reliability*) dan kesinambungan (*continuity*), seperti Benua Maritim Indonesia (Hamada et al. 2002).

Sistem reanalisis terus mengalami perbaikan. Sebagai contoh, NCEP/NCAR Reanalysis (dikenal sebagai NR1; Kalnay et al. 1996) diperbarui menjadi NCEP-*Department of Energy* (DOE) atau dikenal sebagai NR2 (Kanamitsu et al. 2002), dan sistem reanalisis yang paling baru adalah NCEP *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR; Saha et al. 2010). Dalam penelitian ini, empat set data curah hujan dari sistem reanalisis terbaru, yaitu NCEP CFSR, *the interim version of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) *Reanalysis* (ERA Interim; Dee et al. 2011), *National Aeronautics and Space Administration Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications* (NASA MERRA; Rienecker et al. 2011), dan *Japanese 55-year Reanalysis* (JRA-55; Ebita et al. 2011), akan digunakan dalam studi perbandingan kinerja data reanalisis di wilayah Benua Maritim. Data dari keempat reanalisis tersebut akan dibandingkan dengan data curah hujan dari *Global Precipitation Climatology Project* versi 2 (GPCP; Adler et al. 2003).

Adler et al. (2001) menyebutkan bahwa data pengamatan curah hujan global sendiri juga mempunyai ketidakpastian yang cukup mendasar, terutama untuk daerah tropis. Salah satu cara yang dipakai oleh Phillips and Gleckler (2006) untuk membuat estimasi ketidakpastian dalam data pengamatan ini adalah dengan membandingkan data GPCP dengan data dari *Climate Prediction*

Center (CPC) *Merged Analysis Precipitation* (CMAP; Xie and Arkin 1996). Hal ini dilakukan karena kedua set data tersebut mempunyai persamaan dalam sumber data pengamatan, tetapi keduanya menggunakan jaringan pengukuran penakar curah hujan yang sedikit berbeda dan juga pemilihan algoritma yang berbeda dalam interpolasi dari stasiun pengamatan ke grid datanya (Phillips and Gleckler 2006).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan data reanalisis yang paling sesuai untuk kawasan Indonesia dari empat data reanalisis terbaru. Penentuan ini sangat berguna untuk dipakai oleh basis kajian iklim wilayah Indonesia selanjutnya.

2 DATA DAN METODOLOGI

2.1 Data

Dalam penelitian ini GPCP versi 2 (Adler et al. 2003) dan CMAP (Xie and Arkin 1996) dipakai sebagai data rujukan karena kedua data ini merupakan data curah hujan gabungan antara penakar hujan dipermukaan bumi dan pengamatan satelit. GPCP akan dipakai sebagai rujukan utama, karena GPCP menggunakan koreksi pada data mentah dari penakar curah hujan untuk memperhitungkan error pengukuran sistematis yang diakibatkan oleh penguapan, hujan yang tertiuap oleh angin, dan sebagainya. (Phillips and Gleckler 2006). Meskipun kedua data tersebut diturunkan dari hasil pengamatan, keduanya tidak terlepas dari ketidakpastian (mempunyai rentang error). Kedua data ini akan dibandingkan satu sama lain untuk memperoleh estimasi ketidakpastian.

Empat data reanalisis yang akan dikaji adalah ERA Interim, NCEP CFSR, NASA MERRA, dan JRA-55. Periode analisis dalam makalah ini adalah antara 1979 dan 2009 yang merupakan irisan umum data yang tersedia dari dua data analisis dan empat data reanalisis. Data GPCP dan CMAP tersedia dari Januari 1979 sampai mendekati sekarang (*near real time*). Semua data reanalisis juga tersedia dalam periode yang sama seperti data analisis, kecuali NCEP CFSR yang baru tersedia sampai Desember 2009 dan JRA-55 yang tersedia dari tahun 1958. Domain analisis dibatasi pada wilayah antara 12°LS – 12°LU dan 90° – 150°BT.

Rata-rata bulanan dari masing-masing data reanalisis digunakan untuk mengkaji klimatologi dan deret waktu curah

hujan di wilayah Benua Maritim. Dua data analisis, GPCP dan CMAP, mempunyai resolusi horizontal $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, sedangkan empat data reanalisis mempunyai resolusi yang berbeda-beda. ERA Interim mempunyai resolusi horizontal maksimum $0,75^\circ \times 0,75^\circ$, NCEP CFSR mempunyai resolusi maksimum $38 \text{ km} \times 38 \text{ km}$, NASA MERRA mempunyai resolusi maksimum $\frac{1}{2}^\circ \times \frac{2}{3}^\circ$, dan JRA mempunyai resolusi maksimum $1,25^\circ \times 1,25^\circ$. Oleh karena itu, semua data dikonversi ke grid GPCP untuk memudahkan dalam komputasi statistik (korelasi spasial dan bias).

2.2 Metodologi

Dalam penelitian ini, diagram Taylor (Taylor 2001) digunakan untuk membandingkan kinerja keempat reanalisis dengan data analisis dari GPCP dan CMAP. Metode ini secara ringkas menggabungkan kesesuaian pola beberapa kuantitas dalam hal korelasi spasialnya dan nisbah simpangan bakunya pada sebuah diagram sederhana. Korelasi spasial menunjukkan tingkat kesesuaian pola suatu kuantitas terhadap kuantitas rujukan, sedangkan simpangan baku membandingkan amplitudo variasinya. Dalam penelitian ini, korelasi spasial dari curah hujan rata-rata bulanan untuk CMAP dan semua data reanalisis terhadap GPCP dihitung dan simpangan bakunya dibandingkan. Penyertaan data CMAP dalam diagram Taylor merupakan salah satu cara memperkirakan ketidakpastian yang terdapat pada data pengamatan. Perbandingan GPCP dan CMAP tidak memberikan ketidakpastian yang menyeluruh seperti dari pengamatan yang berbeda sumber, sebab sumber data untuk kedua data analisis tersebut hampir sama (data satelit dan data penakar curah hujan). Perbandingan ini hanya memberi satu ukuran ketidakpastian minimum yang diharapkan dari data reanalisis (Bosilovich et al. 2008).

Banyak faktor yang berpengaruh pada curah hujan, seperti sirkulasi atmosfer umum, zona konvergensi tropis, topografi, perbedaan darat-laut, sistem konveksi. Sistem-sistem tersebut bisa mempunyai kemiripan pola dari tahun ke tahun, bahkan topografi dan perbedaan darat-laut mungkin tak berubah sama sekali. Hal ini memungkinkan adanya kemiripan yang mendasar pada pola curah hujan bulanan dari tahun ke tahun. Sehingga ada

kemungkinan bahwa curah hujan dari bulan yang sama dan tahun berbeda bisa menghasilkan korelasi positif. Korelasi ini disebut “korelasi tak bersesuaian” (*unmatched correlation*) dan bisa didefinisikan sebagai nilai minimum korelasi spasial antara dua set data (Bosilovich et al. 2008), sementara nilai maksimumnya didefinisikan dari korelasi dua set data dari bulan dan tahun yang sama. Jika suatu set data mempunyai koefisien korelasi lebih rendah dari nilai minimum ini, data tersebut bisa dikatakan tak banyak berguna untuk wilayah yang sedang dikaji.

Formula untuk korelasi tak bersesuaian antara data curah hujan GPCP (P_g) dan CMAP (P_c) adalah:

$$\sum_{m=Jan}^{Des} \sum_{i=1979}^{2009} \sum_{j=1979}^{2009} \text{korelasi}(P_{g_{i,m}}, P_{c_{j,m}}) \delta_{i,j} \quad \dots\dots\dots (1)$$

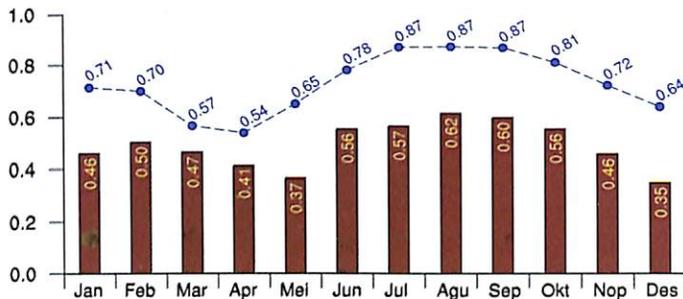
dimana $\delta_{i,j} = 1$ jika $i \neq j$.

Untuk memperoleh rata-ratanya, jumlah korelasi N ditentukan dengan menjumlahkan δ_{ij} , dan siklus musiman korelasi tak bersesuaian (*unmatched correlation*) ini (menjumlahkan hanya Januari, Februari, ...) juga dapat ditentukan. Nilai korelasi tak bersesuaian ini mewakili rata-rata korelasi spasial dari tahun-tahun yang berbeda. Nilai korelasi tak bersesuaian yang tinggi berarti bahwa pola curah hujan tersebut terjadi secara teratur, sedangkan nilai yang rendah berarti bahwa pola curah hujan bervariasi dari tahun ke tahun (Bosilovich et al. 2008).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Siklus tahunan nilai minimum dan nilai maksimum korelasi spasial antara data GPCP dan CMAP ditunjukkan pada Gambar 1. Kedua buah korelasi tersebut mempunyai koefisien lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan pada musim hujan. Nilai koefisien korelasi tak bersesuaian (diagram batang merah pada Gambar 1) paling rendah terjadi pada bulan Mei dan Desember (keduanya di bawah 0,4). Bulan Mei merupakan masa transisi dari musim hujan ke musim kemarau dan bulan Desember merupakan awal musim hujan. Koefisien korelasi tak bersesuaian yang rendah ini mencerminkan bahwa pada bulan-bulan ini pola curah hujan di Benua Maritim sangat bervariasi dari tahun ke tahun, seperti dijelaskan di atas.

Korelasi spasial maksimum antara GPCP dan CMAP (garis biru pada Gambar 1) mempunyai koefisien yang paling rendah (kurang dari 0,6) pada masa transisi juga, yaitu bulan Maret dan April. Sedangkan pada musim kemarau, koefisien korelasi maksimum ini bisa mencapai 0,87. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan teknik dalam pemaduan data satelit dan data penakar hujan dalam kedua set data analisis tersebut, perbedaan sumber data curah hujan permukaan di wilayah Benua Maritim, serta variabilitas curah hujan di wilayah ini.



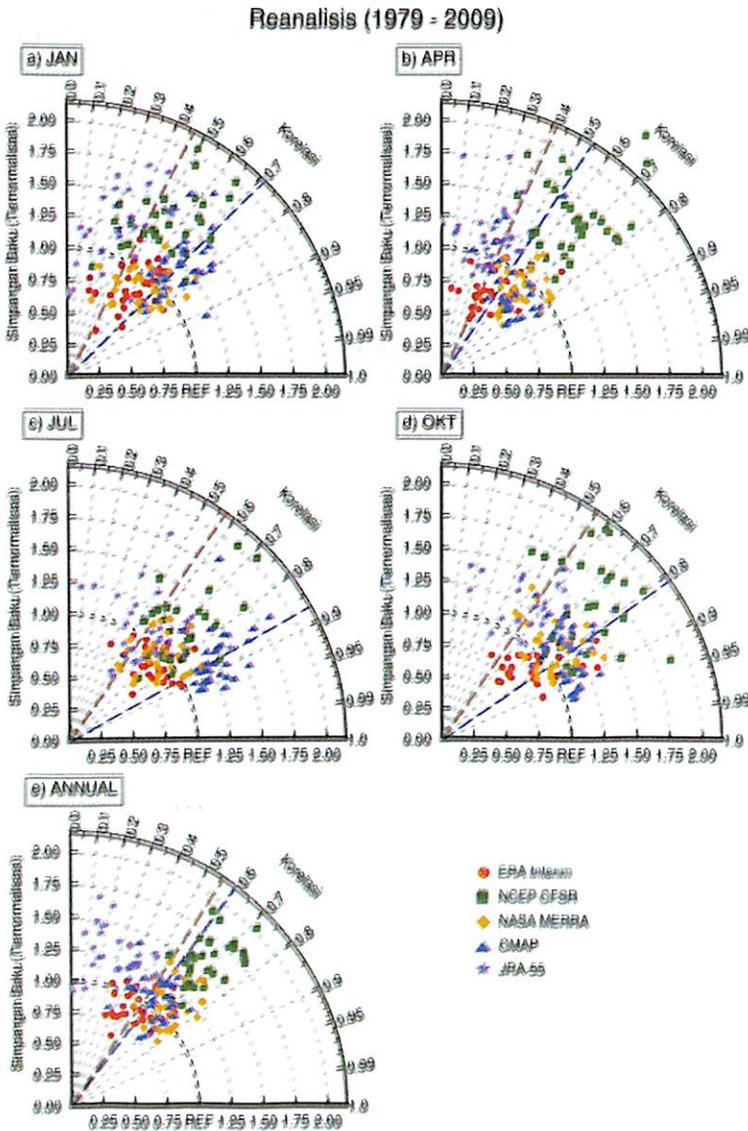
Gambar 1. Perbandingan nilai minimum (diagram batang) dengan nilai maksimum (garis biru) korelasi spasial antara data GPCP dan CMAP untuk Benua Maritim.

Gambar 2 menunjukkan diagram Taylor untuk korelasi bulanan dan simpangan baku untuk bulan Januari, April, Juli, Oktober, dan rata-rata tahunannya dari tahun 1979 sampai dengan 2009 untuk data CMAP, ERA Interim, NCEP CFSR, NASA MERRA, dan JRA-55. Bulan-bulan ini dipilih untuk mewakili musim hujan, transisi ke musim kemarau, musim kemarau, dan transisi ke musim hujan. Simpangan baku dari tiap data tersebut telah dinormalisasi terhadap data GPCP, sehingga nilai 1,0 mencerminkan simpangan baku yang sama dengan simpangan baku dari GPCP. Korelasi spasial ditunjukkan oleh garis radial dari 0,0 sampai 1,0, nilai minimum korelasi spasial antara data GPCP dan CMAP ditunjukkan oleh garis radial warna coklat dan nilai maksimum oleh garis radial warna biru.

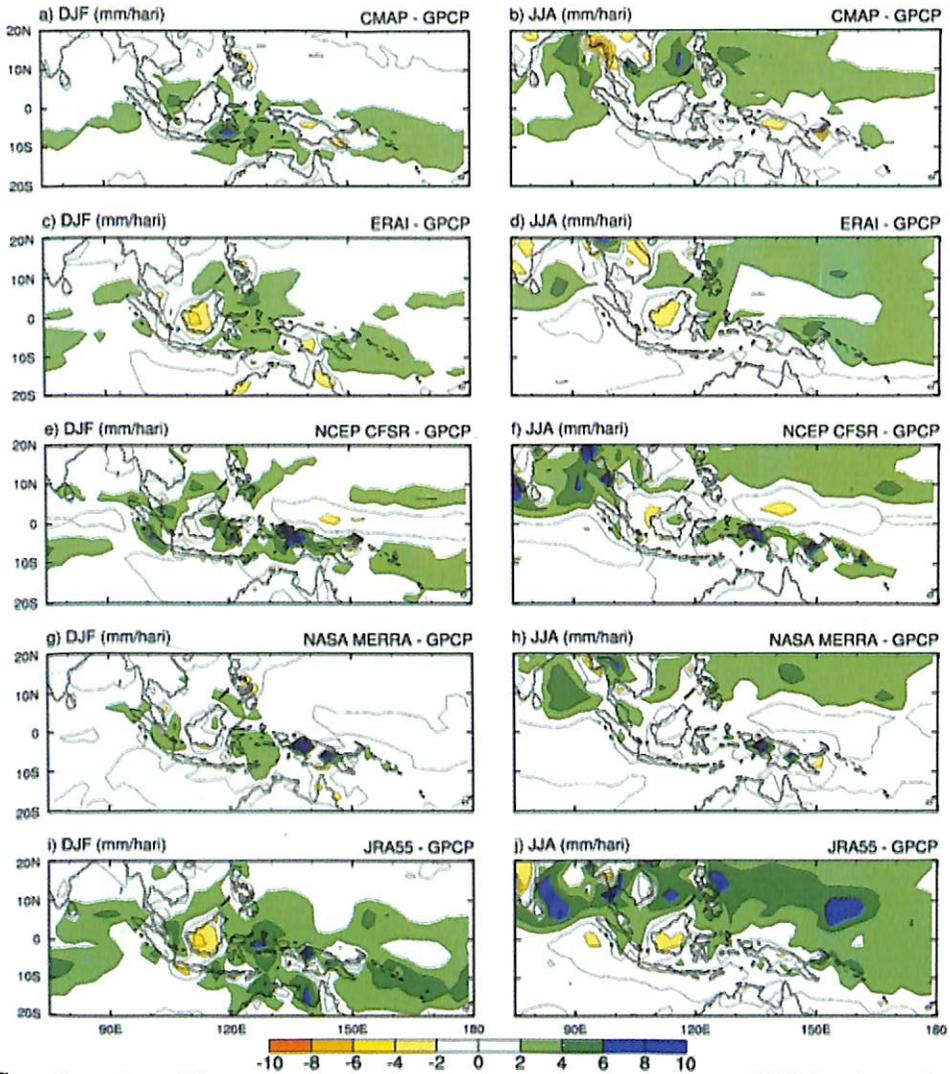
Dengan rentang ketidakpastian data pengamatan yang cukup lebar, semua data, kecuali JRA-55 berada di dalamnya untuk bulan Januari (Gambar 2.a). NCEP CFSR mempunyai koefisien korelasi spasial yang lebih kecil dan simpangan baku yang lebih besar daripada ERA Interim dan NASA MERRA. Diagram Taylor

untuk bulan April (Gambar 2.b) mempunyai ketidakpastian yang lebih sempit daripada Januari. Pada bulan April ini, NASA MERRA dan NCEP CFSR mempunyai koefisien korelasi spasial yang lebih tinggi daripada nilai maksimum rentang tersebut, sedangkan koefisien korelasi JRA-55 umumnya lebih rendah daripada nilai minimum. Pada bulan Juli dan Oktober (Gambar 2.c dan 2.d), semua reanalisis berada di dalam rentang ketidakpastian yang besar. Rentang ketidakpastian rata-rata tahunan yang sangat sempit (Gambar 2.e), tetapi kondisi ini justru menunjukkan kinerja data reanalisis secara umum. JRA-55 mempunyai koefisien korelasi spasial yang rendah terhadap GPCP, sedangkan ERA Interim mempunyai koefisien sedang. Dua data reanalisis yang lain mempunyai koefisien korelasi spasial yang agak tinggi, tetapi NCEP CFSR mempunyai simpangan baku lebih tinggi dari NASA MERRA.

Dari Gambar 2, NASA MERRA bisa dikatakan mempunyai kinerja paling baik dan JRA-55 yang paling buruk untuk wilayah Benua Maritim. Hal ini bisa dilihat dari bias curah hujan antara masing-masing data reanalisis dengan data GPCP pada Gambar 3, lajur kiri untuk musim DJF (Desember, Januari, Februari) dan lajur kanan untuk musim JJA (Juni, Juli, Agustus). Di sini bias dari data CMAP hanya dipakai sebagai pembanding dan tidak akan dibahas secara khusus. NASA MERRA mempunyai bias paling kecil di antara semua data reanalisis, baik untuk DJF maupun JJA. Bias positif yang cukup menonjol untuk NASA MERRA hanya terlihat di atas Papua. NCEP CFSR mempunyai bias positif cukup tinggi di beberapa tempat (Sulawesi, Maluku dan Papua). Sementara itu, ERA Interim selain mempunyai bias positif, juga mempunyai bias negatif yang terlihat jelas di atas Kalimantan. JRA-55 juga mempunyai bias negatif di atas Kalimantan, tetapi bias positif pada JRA-55 di tempat lainnya lebih tinggi dan lebih meluas daripada bias positif pada ERA Interim.



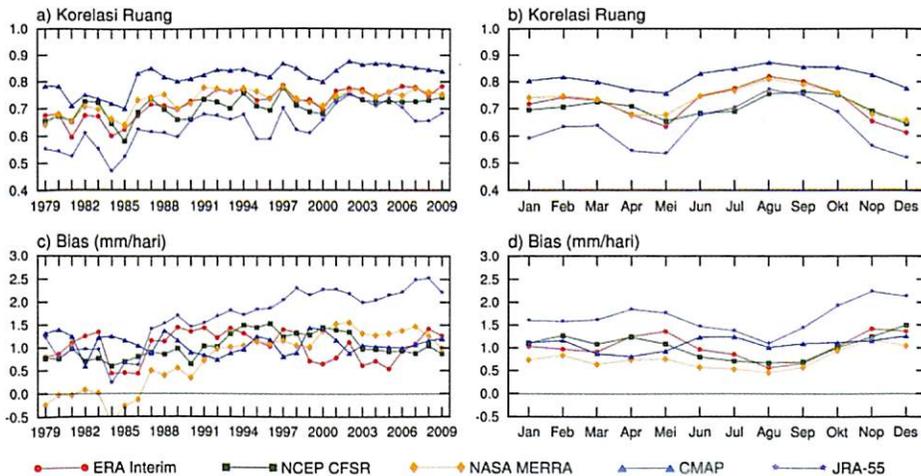
Gambar 2. Diagram Taylor untuk bulan Januari (a), April (b), Juli (c), Oktober (d), dan rata-rata tahunan (e) dari data CMAP, ERA Interim, NCEP CFSR, NASA MERRA, dan JRA-55. Garis radial warna coklat adalah nilai minimum korelasi spasial antara GPCP dan CMAP dan garis radial warna biru adalah nilai maksimumnya.



Gambar 3. Bias curah hujan rata-rata dari data CMAP dan data reanalisis untuk musim DJF (lajur kiri) dan JJA (lajur kanan).

Deret waktu antar tahunan dan siklus tahunan dari korelasi spasial dan bias curah hujan rata-rata bulanan seluruh wilayah Benua Maritim ditunjukkan pada Gambar 4. Semua data reanalisis menunjukkan kecenderungan (*trend*) membaiknya koefisien korelasi spasial dari tahun 1979 ke tahun 2009 (Gambar 4.a). Tiga sistem reanalisis (ERA Interim, NCEP CFSR, dan NASA MERRA) mempunyai koefisien korelasi spasial yang hampir sama dari tahun ke tahun, sedangkan JRA-55 mempunyai koefisien korelasi lebih rendah dari yang lainnya. *Trend* antar tahunan ini menunjukkan adanya peningkatan koefisien korelasi spasial antara JRA-55 dan

NASA MERRA dengan GPCP pada sekitar tahun 1987. Hal ini disebabkan oleh awal penggunaan data SSM/I (*Special Sensor Microwave Imager*) dalam sistem asimilasi kedua reanalisis tersebut pada Juli 1987 (Ebita et al. 2011; Rienecker et al. 2011). Siklus tahunan korelasi spasial juga menunjukkan koefisien korelasi spasial dari JRA-55 lebih rendah dari tiga reanalisis lainnya (Gambar 4.b). Namun, semua koefisien korelasi spasial dari data reanalisis masih lebih rendah dari pada CMAP.

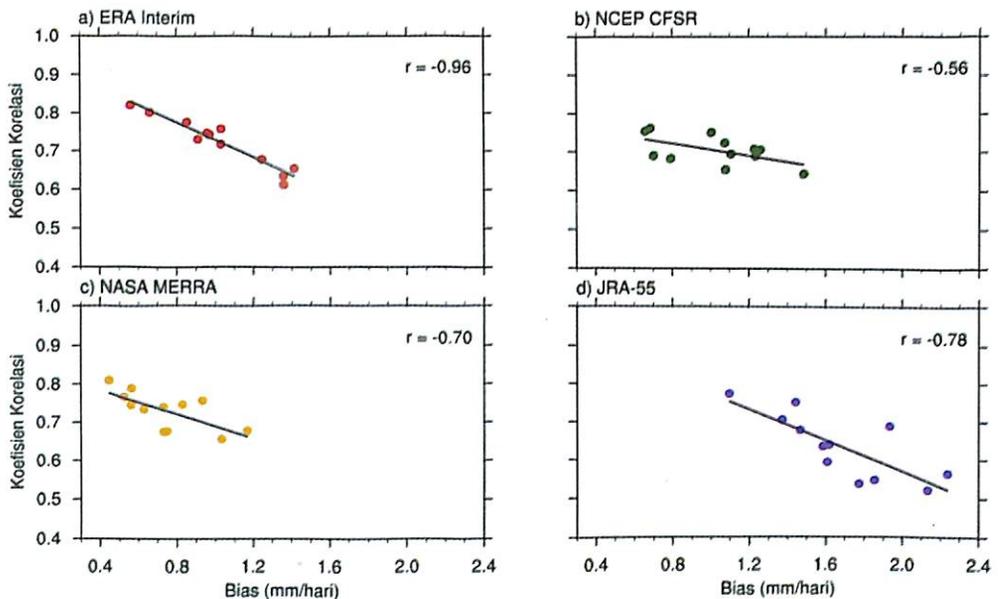


Gambar 4. Deret waktu antar tahunan (lajur kiri) dan siklus tahunan (lajur kanan) korelasi ruang (baris atas) dan bias (baris bawah) dari data CMAP dan data reanalisis terhadap GPCP dari tahun 1979 sampai tahun 2009.

Koreksi bias curah hujan yang sangat mencolok dari JRA-55 dan NASA MERRA terhadap GPCP juga terlihat pada tahun 1987 (Gambar 4.c). Koreksi bias yang lebih kecil pada NASA MERRA terlihat pada tahun 1990 dan 1991 akibat adanya penambahan data dari kanal lain SSM/I pada sistem asimilasinya dan pada tahun 2008 dan 2009 akibat tidak tersedianya data dari kanal-kanal tertentu (Rienecker et al. 2011). Hal ini membuktikan dampak yang signifikan perubahan sumber data pengamatan terhadap kualitas data reanalisis. ERA Interim dan NCEP CFSR mempunyai bias yang berfluktuasi dari tahun ke tahun, tetapi tak ada *trend* yang jelas. Namun secara umum, bias dari tiga sistem reanalisis (ERA Interim, NCEP CFSR, dan NASA MERRA) masih lebih baik dari JRA-55. Siklus tahunan bias curah hujan ini (Gambar 4.d) menunjukkan NASA MERRA (JRA-55) mempunyai bias paling

rendah (tinggi) untuk setiap bulan dibandingkan data reanalisis lainnya. Bias klimatologi bulanan NASA MERRA bahkan lebih baik dari pada CMAP.

Korelasi spasial curah hujan dari semua sistem reanalisis menunjukkan koefisien paling rendah terjadi pada bulan Mei dan Desember dan paling tinggi pada bulan Juli, Agustus dan September, seperti halnya dengan data CMAP (Gambar 4.b). Sedangkan, bias paling rendah pada bulan Agustus dan paling tinggi pada bulan Desember. Bias yang rendah membuat korelasi spasialnya tinggi dan sebaliknya. Hubungan berbanding terbalik antara bias dan koefisien korelasi ini ditunjukkan oleh Gambar 5, meskipun untuk kasus NCEP CFSR (Gambar 5.b) pengaruh bias terhadap koefisien korelasi tidak begitu jelas.



Gambar 5. Korelasi antara bias data dan korelasi spasial klimatologi bulanan (Januari sampai dengan Desember) dari data reanalisis dan GPCP, a) ERA Interim, b) NCEP CFSR, c) NASA MERRA, dan d) JRA-55.

Kemiripan dalam deret waktu koefisien korelasi dan bias, baik antar tahunan maupun siklus tahunan, diantara tiga sistem reanalisis (ERA Interim, NCEP CFSR dan NASA MERRA) mungkin disebabkan oleh sumber data yang digunakan dalam ketiganya mirip (Rienecker et al. 2011). Perbedaan-perbedaan yang terjadi

bisa disebabkan oleh sedikit perbedaan dalam data pengamatan, cara memproses datanya, model yang digunakan, dan metode analisis yang digunakan.

4 KESIMPULAN

Ketersediaan data yang teratur dalam ruang dan waktu sangat diperlukan dalam studi iklim. Keberadaan data reanalisis telah banyak membantu studi iklim di wilayah-wilayah yang terkendala oleh keterbatasan data pengamatan, seperti wilayah Benua Maritim. Penelitian ini telah mengkaji variabilitas curah hujan di wilayah ini menggunakan empat sistem reanalisis terbaru (ERA Interim, NCEP CFSR, NASA MERRA, dan JRA-55). Kinerja keempat data reanalisis dibandingkan dengan data pengamatan. Dalam hal ini, data GPCP dipakai sebagai data rujukan utama. Satu data pengamatan lainnya, yaitu data CMAP, digunakan untuk membuat estimasi ketidakpastian yang ada pada data pengamatan.

Korelasi spasial yang bersesuaian (dari bulan dan tahun yang sama) dan korelasi spasial tak bersesuaian atau *unmatched correlation* (dari bulan yang sama tapi dengan tahun-tahun yang berbeda) antara GPCP dan CMAP telah memberikan informasi yang sangat berguna. Rendahnya nilai korelasi tak bersesuaian mengindikasikan bahwa curah hujan di wilayah Benua Maritim sangat bervariasi dari tahun ke tahun untuk bulan Mei dan Desember. Curah hujan pada musim kemarau tidak banyak bervariasi, sehingga musim ini relatif lebih mudah diprediksi.

Kualitas data reanalisis untuk wilayah Benua Maritim menunjukkan adanya peningkatan. Hal ini mungkin disebabkan makin meningkatnya kualitas dan kuantitas data pengamatan (terutama data pengamatan dari satelit) yang diasimilasikan ke dalam sistem reanalisis tersebut. Diantara keempat reanalisis terbaru ini, data curah hujan dari NASA MERRA menunjukkan kinerja yang paling realistis. Sementara itu, data dari sistem JRA-55 sebaiknya tidak digunakan untuk kajian curah hujan untuk wilayah Benua Maritim.

Ucapan terima kasih

Data ERA Interim yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari ECMWF data server.

DAFTAR RUJUKAN

- Adler, R. F., C. Kidd, G. Petty, M. Morissey, and H. M. Goodman, 2001: Intercomparison of Global Precipitation Products: The Third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 1377-1396
- Adler, R. F., and Coauthors, 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.*, **4**, 1147-1167
- Bosilovich, M. G., J. Chen, F. R. Robertson, and R. F. Adler, 2008: Evaluation of Global Precipitation in Reanalyses. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **47**, 2279-2299
- Bromwich, D. H., A. N. Rogers, P. Kalberg, R. I. Cullather, J. W. C. White, and K. J. Kreutz, 2000: ECMWF analyses and reanalyses depiction of ENSO signal in Antarctic precipitation. *J. Climate*, **13**, 1406-1420
- Cullather, R. I., D. H. Bromwich, and M. L. Van Woert, 1998: Spatial and temporal variability of Antarctic precipitation from atmospheric methods. *J. Climate*, **11**, 334-367
- Dee, D. P., and Coauthors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 553-597, 10.1002/qj.828
- Ebita, A., and Coauthors, 2011: The Japanese 55-year Reanalysis "JRA-55": an interim report. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **7**, 149-152
- Hamada, J.-I., M. D. Yamanaka, J. Matsumoto, S. Fukao, P. A. Winarso, and T. Sribimawati, 2002: Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 285-310
- Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643
- Phillips, T. J., and P. J. Gleckler, 2006: Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: The utility of multimodel statistics. *Water Resources Research*, **42**, doi:10.1029/2005WR004313

- Rienecker, M. M., and Coauthors, 2011: MERRA: NASA's Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *J. Climate*, **24**, 3624-3648, 10.1175/JCLI-D-11-00015.1
- Saha, S., and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015-1057, 10.1175/2010BAMS3001.1
- Taylor, K. E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, **106**, 7183-7192
- Xie, P., and P. Arkin, 1996: Analysis of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. *J. Climate*, **9**, 840-858