

Perubahan Karakteristik Curah Hujan Jangka Panjang di Provinsi Jawa Barat Tahun 1921-2010 (Long-Term Changes in Rainfall Characteristics in West Java Province)

Muhammad Fikri Sigid¹, Muhammad Rais Abdillah², Zadrach Leudofij Dupe²

¹Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung

²Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Riwayat naskah

Diterima: 03-03-2021
Direvisi: 18-06-2021
Disetujui: 14-07-2021

Korespondensi:

M. F. Sigid
Sigid.fikri29@gmail.com

ABSTRAK

Fenomena perubahan iklim berdampak besar pada sistem iklim di Bumi yang salah satunya ditunjukkan pada perubahan karakteristik curah hujan. Berbeda dengan respons temperatur yang cenderung homogen, respons curah hujan terhadap perubahan iklim lebih kompleks karena presipitasi sangat dipengaruhi oleh karakter sirkulasi dan topografi regional. Di sisi lain, variabilitas iklim jangka panjang seperti *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO) juga dapat menyebabkan perubahan karakteristik curah hujan global. Namun, dampak perubahan iklim dan IPO terhadap hujan di Indonesia, khususnya Jawa Barat, belum terdokumentasi dengan baik. Penelitian ini menganalisis perubahan karakteristik curah hujan jangka panjang di Provinsi Jawa Barat pada periode 1921-2010 dengan mempertimbangkan faktor perubahan iklim dan variabilitas *interdecadal*. Berdasarkan tren linier, curah hujan di Provinsi Jawa Barat meningkat sebesar 1,61 mm/dekade. Semua periode baik DJF, MAM, JJA, maupun SON, menunjukkan peningkatan curah hujan, namun peningkatan yang signifikan secara statistik hanya terjadi pada musim pra-monsoon (SON) yaitu sebesar 3,70 mm/dekade. Penyebab lemahnya tren tersebut adalah curah hujan di Jawa Barat bervariasi kuat secara *interdecadal* (standar deviasi 10,38 mm). Variabilitas ini berkorelasi positif secara signifikan dengan indeks IPO; menunjukkan bahwa telekoneksi akibat variabilitas internal dari Samudra Pasifik berpengaruh besar terhadap tren hujan di Jawa Barat. Anomali suhu muka laut dan pola sirkulasi angin permukaan terlihat menyebabkan perubahan hujan tersebut sebagai akibat dari sinyal-sinyal IPO yang bervariasi secara spasial. Dalam studi perubahan iklim terhadap curah hujan di Indonesia, diperlukan perhatian khusus pada variabilitas-variabilitas *interdecadal* agar tren dan proyeksi iklim yang muncul dapat dijelaskan dengan baik.

Kata kunci: Perubahan iklim, variabilitas antardekade, IPO, curah hujan

ABSTRACT

The climate change phenomenon has a major impact on the Earth's climate system including the changes in rainfall characteristics. In contrast to the temperature response which tends to be homogeneous, the response of rainfall to climate change is more complex because it is strongly influenced by circulation characteristics and regional topography. On the other hand, long-term climate variability such as the *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO) can also lead to changes in global rainfall characteristics. However, the impacts of climate change and IPO on rain in Indonesia, particularly West Java, have not been documented well. This study analyzed the changes in long-term rainfall characteristics in West Java Province for the period of 1921-2010 by considering the factors of climate change and interdecadal variability. Based on the linear trend, the rainfall in West Java Province increases by 1.61 mm/decade. In general, rainfall has increased in all periods (DJF, MAM, JJA, and SON), but a statistically significant increase only occurred in the pre-monsoon season (SON) which was

3.70 mm/decade. The cause of this weak trend is that the rainfall in West Java varies strongly in interdecadal terms (standard deviation of 10.38 mm). This variability had a significant positive correlation with the IPO index; it showed that the teleconnection due to internal variability of the Pacific Ocean had a major effect on the rain trend in West Java. Sea surface temperature anomalies and surface wind circulation patterns were seen to cause these rainfall changes as a result of spatially varying IPO signals. In the study of climate change on rainfall in Indonesia, further consideration of the interdecadal variabilities is needed so that the emerging climate trends and projections can be well explained.

Keywords: Climate change, interdecadal variability, IPO, rainfall

1. Pendahuluan

Perubahan iklim adalah perubahan pada kondisi iklim di atmosfer yang signifikan secara statistik dan dapat diidentifikasi menggunakan uji statistik dengan adanya perubahan rata-rata dan/atau variabilitas parameter iklim (IPCC, 2014). Perubahan dari variabel iklim tersebut bertahan selama beberapa dekade atau lebih lama (WMO, 2018). Perubahan iklim yang terjadi saat ini merupakan keadaan ketika temperatur Bumi meningkat. Akibatnya, Bumi akan mengalami perubahan dalam berbagai aspek, khususnya pada komposisi di atmosfer yang kemudian dapat berdampak pada kehidupan di Bumi (IPCC, 2014; Bappenas, 2011).

Analisis yang dilakukan oleh Hansen *et al.* (2010) serta *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) menunjukkan rata-rata suhu global di Bumi telah meningkat sekitar 0,8 °C sejak tahun 1880 hingga tahun 2010. Sebagian besar peningkatan suhu global sejak pertengahan abad ke-20 disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca dari aktivitas manusia, seperti deforestasi serta pembakaran bahan bakar fosil (Leggett, 2000; Houghton, 1997; UNFCCC, 2011). Gas rumah kaca yang makin banyak di atmosfer mengakibatkan makin banyaknya panas dari radiasi matahari yang terperangkap di Bumi akibat efek rumah kaca (UNFCCC, 2011). Konsentrasi gas rumah kaca yang terus meningkat sejak puluhan tahun lalu menjadi ancaman di abad 21 dan makin berpotensi merubah sistem iklim global yang salah satunya dapat berdampak pada perubahan pola curah hujan (Gettelman & Rood, 2016).

Dalam rentang klimatologi, perubahan karakteristik curah hujan tidak hanya disebabkan oleh perubahan iklim, tetapi dapat juga dipengaruhi oleh fluktuasi dari variabilitas *interdecadal*, seperti *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO) dan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) (Dong & Dai, 2015). IPO

adalah osilasi jangka panjang di Samudra Pasifik yang memengaruhi variabilitas iklim pada skala *multi-decadal* dengan fase bertahan sekitar 20 hingga 30 tahun (Dong & Dai, 2015). Menurut Deser *et al.* (2004) serta Dong & Dai (2015), IPO merupakan variabilitas *interdecadal* dengan mekanisme yang sama dengan PDO, hanya saja PDO didefinisikan di wilayah Pasifik Utara, sementara IPO didefinisikan di seluruh wilayah Pasifik.

Siklus IPO ditandai oleh adanya anomali suhu permukaan laut di wilayah Samudra Pasifik dalam skala waktu beberapa dekade. Sejak tahun 1920, terdapat masing-masing dua fase IPO positif (1924–1944 dan 1977–1998) dan dua fase IPO negatif (1945–1976 dan 1999–sekarang) (Dai, 2012; Henley *et al.*, 2015). Fase positif IPO ditandai oleh anomali suhu permukaan laut di Pasifik Tropis yang lebih hangat dengan anomali angin baratan yang menguat dan anomali suhu permukaan laut di Pasifik Utara yang lebih dingin. Sebaliknya fase negatif ditandai oleh anomali suhu permukaan laut di Pasifik Tropis yang lebih dingin dengan angin timuran yang menguat dan anomali suhu permukaan laut di Pasifik Utara yang lebih hangat. Fase negatif dari IPO juga ditandai dengan anomali tekanan negatif dan peningkatan konvergensi angin di wilayah Indonesia dan Pasifik Barat (Dong & Dai, 2015).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ditemukan adanya tren perubahan curah hujan di wilayah Indonesia. Analisis curah hujan tahunan pada periode 1931–1960 dan 1961–1990 yang dilakukan oleh Boer & Faqih (2004) menunjukkan adanya tren penurunan curah hujan untuk beberapa daerah seperti Jawa, Lampung, Sumatra Selatan, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara. Selain itu, sebuah studi mengenai osilasi variabilitas *interdecadal* di Pasifik yang diteliti oleh Faqih *et al.* (2008) menunjukkan bahwa IPO memiliki keterkaitan dengan

variabilitas curah hujan di wilayah Indonesia-Australia yang ditunjukkan dengan adanya hubungan yang signifikan antara anomali suhu permukaan laut *interdecadal* dan variabilitas curah hujan.

Jawa Barat merupakan salah satu wilayah dengan produsen padi terbesar di Indonesia. Penurunan jumlah curah hujan atau meningkatnya kejadian bencana banjir dapat mengakibatkan pengurangan produktivitas padi yang dihasilkan (Anwar *et al.*, 2015; Ruminta, 2016). Selain itu, penurunan curah hujan juga dapat mengurangi ketersediaan air, bahkan dapat mengakibatkan kekeringan di Jawa Barat (Bappenas, 2010). Sementara air merupakan komponen yang sangat penting untuk kehidupan manusia. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari fenomena perubahan iklim serta variabilitas *interdecadal* terhadap perubahan karakteristik curah hujan di Provinsi Jawa Barat. Dengan demikian, pemerintah serta masyarakat di Provinsi Jawa Barat dapat lebih siap menghadapi perubahan tersebut di masa yang akan datang, mengingat penelitian yang telah dilakukan tidak terfokus pada wilayah yang lebih kecil, seperti Jawa Barat. Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik perubahan curah hujan di Provinsi Jawa Barat selama periode 1921-2010 dan kaitannya dengan perubahan iklim dan variabilitas *interdecadal*.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan data meteorologi berupa curah hujan dari *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCP) dan data reanalisis ERA-20C berupa suhu permukaan laut dan angin zonal serta meridional di level tekanan 925 hPa dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Selain itu, digunakan indeks IPO dari *Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature* (HadISST) berdasarkan penelitian Henley *et al.* (2015), yaitu data *IPO Tripole Index* (TPI) yang didasarkan pada anomali suhu permukaan laut di wilayah Pasifik Tropis, Pasifik Barat Laut, dan Pasifik Barat Daya.

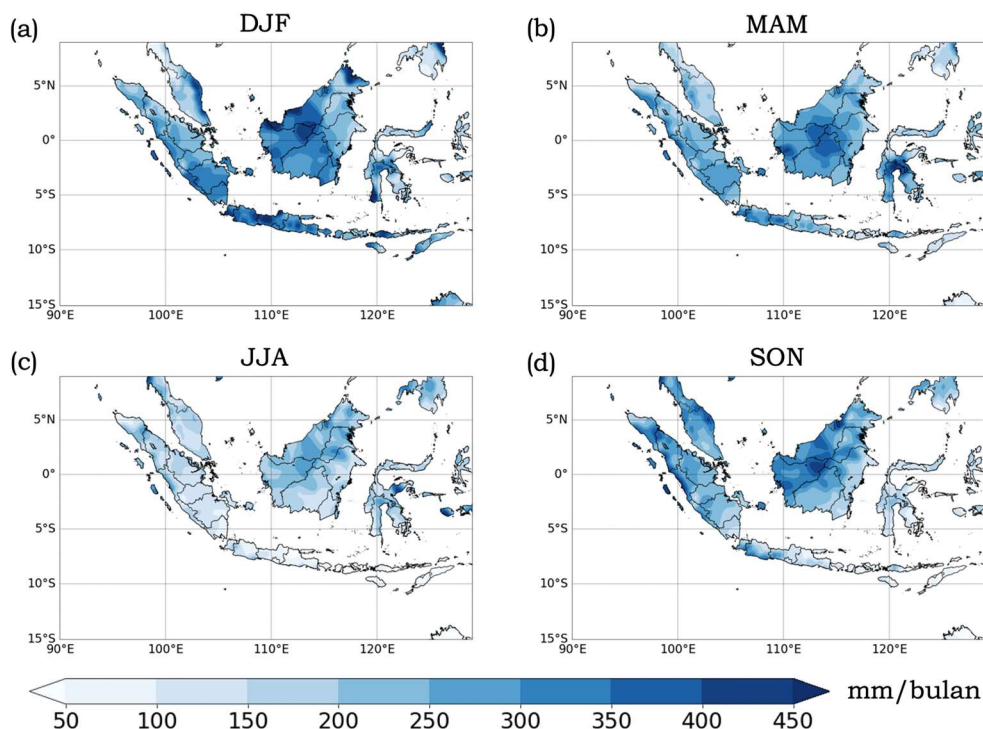
Pembahasan dari penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu analisis perubahan iklim dan analisis variabilitas *interdecadal*. Analisis perubahan iklim diterapkan dengan membagi terlebih dahulu data rentang tahun 1921 hingga tahun 2010 ke dalam tujuh periode. Setiap

periode terdiri dari 30 tahun, sesuai dengan definisi iklim menurut WMO (2015), dengan interval 10 tahun untuk mengetahui nilai tren per dekade dari parameter meteorologi akibat perubahan iklim. Berikut adalah pembagian data untuk analisis perubahan iklim:

- Periode 1: data tahun 1921-1950,
- Periode 2: data tahun 1931-1960,
- Periode 3: data tahun 1941-1970,
- Periode 4: data tahun 1951-1980,
- Periode 5: data tahun 1961-1990,
- Periode 6: data tahun 1971-2000,
- Periode 7: data tahun 1981-2010.

Dalam menganalisis perubahan iklim, prosedur yang dilakukan adalah menghitung nilai rata-rata dari variabel meteorologi di setiap periode. Nilai rata-rata di setiap periode tersebut kemudian dikalkulasikan untuk menghitung nilai tren dari parameter meteorologi. Prosedur yang sama diterapkan untuk musim Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON). Perhitungan tren juga dihasilkan secara spasial, dengan klimatologi curah hujan dan angin dari tahun 1921-2010 digunakan sebagai acuan untuk analisis tren spasial ini (Gambar 1). Selain itu, dilakukan uji signifikansi dari tren yang diperoleh untuk mengetahui apakah nilai tren tersebut signifikan secara statistik atau tidak. Nilai signifikansi dicari melalui perhitungan *p-value* menggunakan student *t-test* dengan tingkat kepercayaan 95%. Nilai tren dikatakan signifikan secara statistik jika *p-value* lebih kecil dari tingkat signifikansi 5%, sementara tren dikatakan tidak signifikan secara statistik jika *p-value* tidak lebih kecil dari tingkat signifikansi 5%.

Analisis variabilitas *interdecadal* dilakukan untuk mengetahui mekanisme dari IPO yang dapat memengaruhi curah hujan di Provinsi Jawa Barat. Pada bagian ini, data dilakukan running mean terlebih dahulu selama 10 tahun menggunakan Moving Average berdasarkan Chang *et al.* (2016) agar osilasi *interdecadal*, yaitu IPO dapat lebih terepresentasikan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan korelasi antara curah hujan dengan indeks IPO untuk melihat pola dari variabilitas *interdecadal* curah hujan pada periode IPO di Jawa Barat. Sama seperti perhitungan tren pada analisis perubahan iklim, perhitungan signifikansi juga diterapkan terhadap nilai korelasi antara curah hujan



Gambar 1. Klimatologi jangka panjang curah hujan (mm/bulan) dan angin di 925 hPa (vektor) di wilayah Indonesia periode tahun 1921-2010 pada musim (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, dan (d) SON.

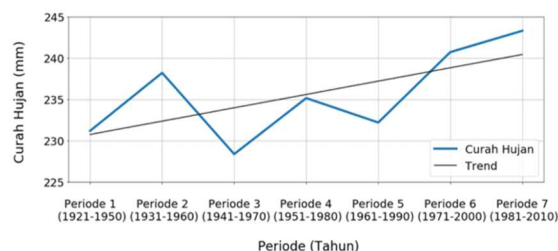
dengan indeks IPO. Di samping itu, analisis juga dilakukan melalui komposit anomali curah hujan pada fase positif dan fase negatif dari IPO. Menurut Hoerling *et al.* (1997), metode komposit dapat didefinisikan sebagai penjumlahan dari anomali fase positif dan negatif dari suatu fenomena untuk mengidentifikasi karakter non-linear melalui asimetri antara dua fase tersebut.

Analisis variabilitas *interdecadal* dilanjutkan dengan menghasilkan peta regresi dari anomali suhu permukaan laut, curah hujan, vektor angin, dan *velocity potential* terhadap indeks IPO untuk menjelaskan struktur anomali dari parameter meteorologi, khususnya curah hujan di Provinsi Jawa Barat terkait dengan variabilitas IPO. Analisis regresi merupakan metode untuk melihat respons *dependent variable* berdasarkan fluktuasi *independent variable*. Dalam kasus ini, digunakan regresi linier berdasarkan satu prediktor dengan asumsi hubungan yang linier. Pendekatan yang digunakan adalah anomali parameter meteorologi diregresikan terhadap indeks IPO yang sudah dibakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Perubahan Iklim

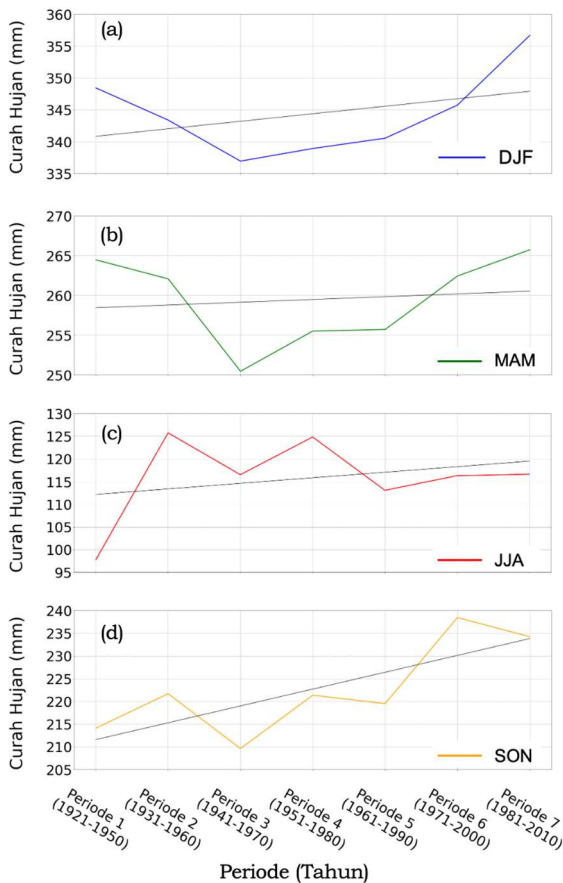
Analisis perubahan iklim dapat ditunjukkan melalui nilai tren dari parameter



Gambar 2. Rata-rata curah hujan bulanan selama 7 periode iklim di Provinsi Jawa Barat (garis biru) tren liniernya (garis hitam).

meteorologi, salah satunya adalah curah hujan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Curah hujan bulanan di Provinsi Jawa Barat memiliki tren positif sebesar 1,61 mm/dekade. Secara statistik, nilai tren tersebut menunjukkan peningkatan yang tidak signifikan berdasarkan uji signifikansi. Berdasarkan grafik di atas, curah hujan di Jawa Barat sebenarnya cenderung berfluktuasi. Terdapat penurunan yang cukup tinggi dari periode 2 (1931-1960) menuju periode 3 (1941-1970). Hal ini dapat disebabkan oleh adanya pengaruh dari variabilitas *interdecadal* terhadap curah hujan di Jawa Barat.



Gambar 3. Rata-rata curah hujan bulanan pada musim (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, dan (d) SON di Provinsi Jawa Barat.

Tabel 1. Tren curah hujan bulanan di Provinsi Jawa Barat.

Musim	Tren (mm/dekade)
DJF	1,18
MAM	0,35
JJA	1,22
SON	3,70*

*signifikan secara statistik

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, terlihat bahwa curah hujan rata-rata pada musim DJF dan MAM cenderung menurun pada periode 1 (1921-1950) sampai periode 3 (1941-1970) yang kemudian meningkat hingga periode 7 (1981-2010). Sementara pada musim JJA dan SON, curah hujan cenderung berfluktuasi. Nilai tren curah hujan bulanan di Provinsi Jawa Barat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan curah hujan di setiap musim. Peningkatan curah hujan pada musim SON secara statistik signifikan, berdasarkan uji signifikansi, yaitu sebesar 3,70 mm/dekade. Di sisi lain,

peningkatan curah hujan pada musim DJF, MAM, dan JJA tidak signifikan secara statistik.

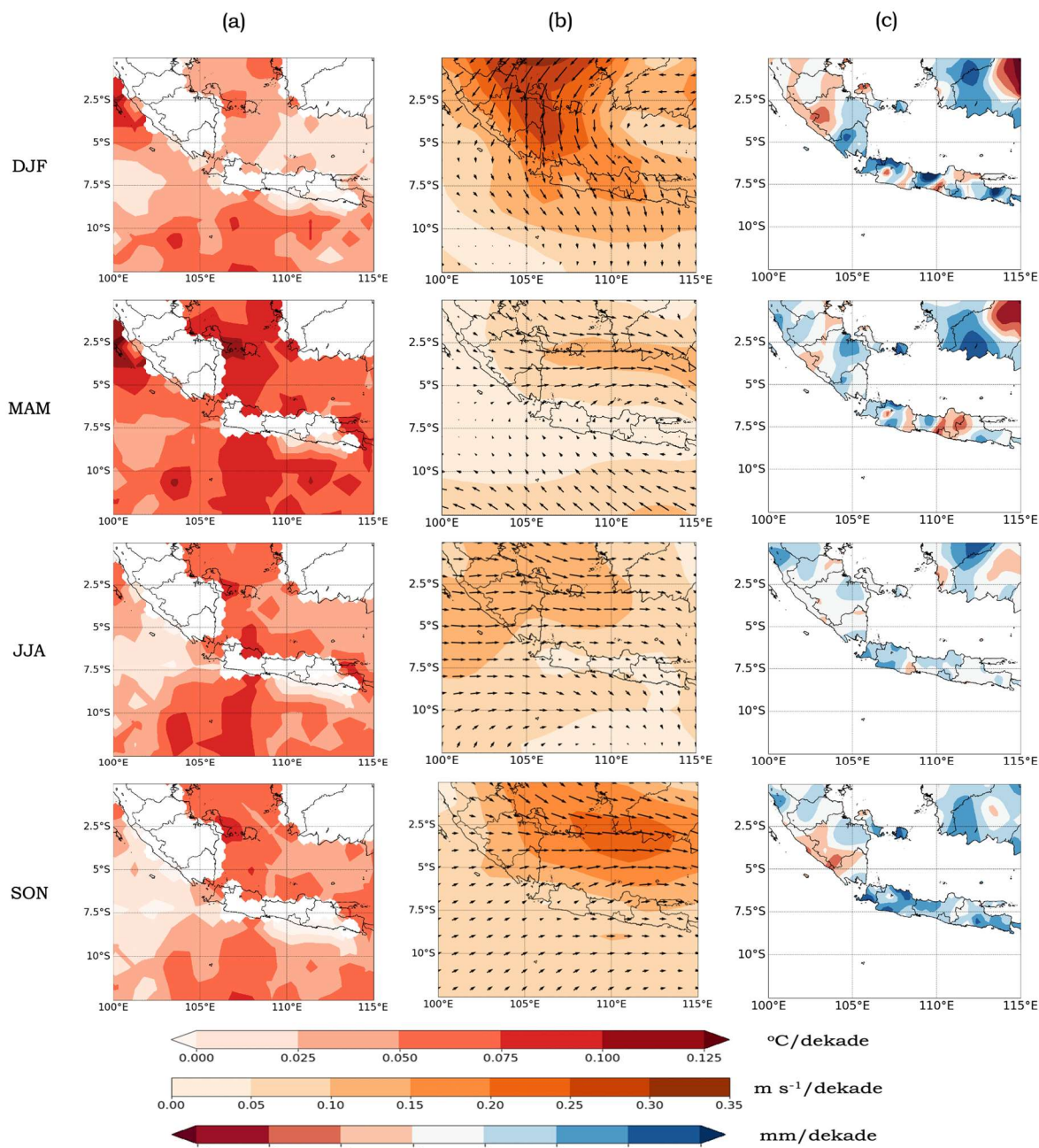
Untuk mengetahui bagaimana tren curah hujan di Provinsi Jawa Barat dapat meningkat, maka dilakukan analisis tren spasial dari suhu permukaan laut, arah angin, dan curah hujan seperti terlihat pada Gambar 4. Secara keseluruhan tren suhu permukaan laut di wilayah Indonesia meningkat setiap musimnya. Suhu permukaan laut yang meningkat ini dapat mengindikasikan semakin banyak uap air yang dihasilkan untuk terjadinya hujan.

Curah hujan yang meningkat pada DJF dapat disebabkan oleh menguatnya angin monsun yang berasal dari arah utara Pulau Jawa ke wilayah Jawa Barat. Angin yang datang dari arah utara ini memungkinkan makin banyaknya uap air yang terbawa dari monsun sehingga terjadi peningkatan curah hujan di bagian utara Jawa Barat yang berhadapan langsung dengan angin monsun (Gambar 4, baris pertama). Secara rata-rata tren hujan di Jawa Barat saat DJF memang tidak signifikan (Gambar 3a) karena terdapat pola tren positif dan negatif yang bercampur di Jawa Barat. Pada SON, anomali angin dari arah utara wilayah Indonesia juga muncul tetapi peningkatan curah hujan di Jawa Barat pada musim tampaknya lebih berkaitan dengan anomali angin yang berasal dari Samudra Hindia dan efek lokal.

Pada MAM dan JJA, tren curah hujan di Jawa Barat tidak sebesar musim lainnya karena vektor angin menuju Jawa Barat tidak begitu menguat sehingga tidak banyak uap air yang terbawa menuju wilayah ini meskipun kenaikan suhu permukaan laut di sekitar Pulau Jawa pada musim MAM lebih tinggi dibandingkan musim DJF. Sementara pada musim JJA, kenaikan suhu permukaan laut juga lebih berperan dalam meningkatnya curah hujan di Jawa Barat. Hal ini memungkinkan makin banyaknya uap air yang terbawa melalui monsun dari Australia ke Jawa Barat pada musim JJA walaupun terdapat anomali angin dari Samudra Hindia menuju wilayah Indonesia.

3.2. Hubungan Antara Curah Hujan dengan IPO

Dalam rentang klimatologi, perubahan variabel iklim termasuk curah hujan tidak hanya disebabkan oleh perubahan iklim, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh variabilitas *interdecadal*, salah satunya adalah IPO. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan,

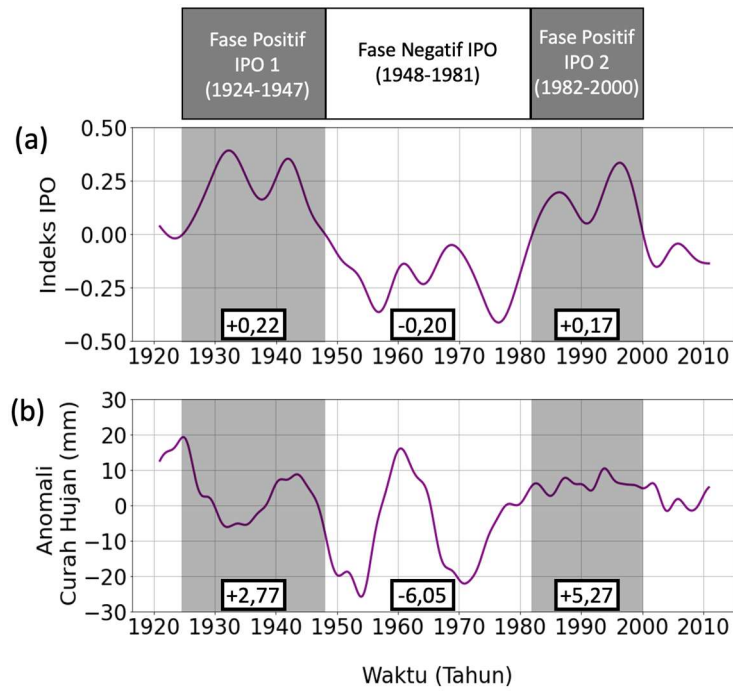


Gambar 4. Tren spasial variabel (a) suhu permukaan laut ($^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$), (b) angin ($\text{m/s}/\text{dekade}$), dan (c) curah hujan bulanan (mm/dekade).

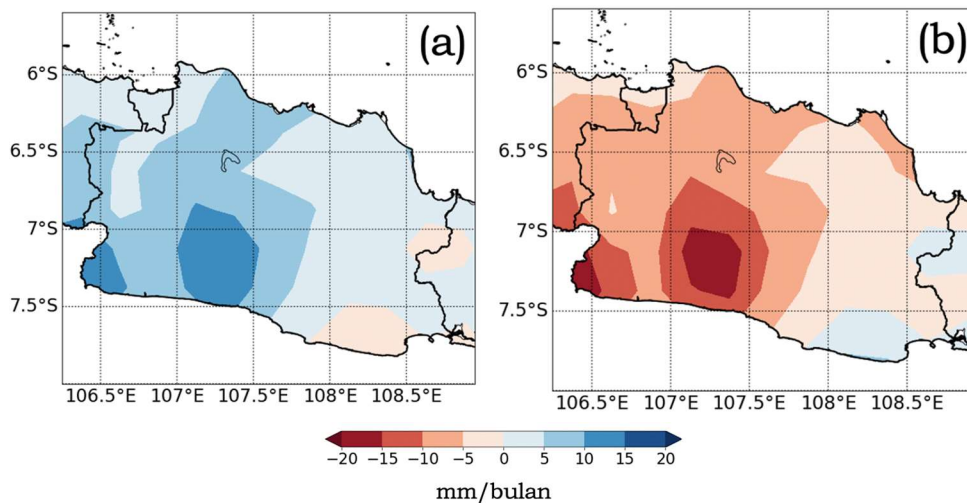
variabilitas IPO ini memiliki keterkaitan dengan fenomena perubahan iklim, yaitu fase IPO positif berkontribusi terhadap peningkatan temperatur Bumi. Sementara itu, peralihan fase IPO menjadi fase negatif sekitar tahun 1999 juga ditemukan menjadi penyebab penurunan tingkat pemanasan global (Dai *et al.*, 2015; England *et al.*, 2014; Kosaka & Xie, 2013; Trenberth & Fasullo, 2013).

Berdasarkan grafik indeks IPO pada Gambar 5, terlihat fase positif IPO terjadi pada rentang tahun 1924-1947 dan 1982-2000, dan fase negatif IPO terjadi pada tahun 1948-

1981. Periode IPO seperti yang terlihat pada Gambar 5 secara garis besar masih konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Dai (2012), bahwa fase IPO positif terjadi pada tahun 1924–1944 dan 1977–1998, sementara fase IPO negatif terjadi pada rentang tahun 1945-1976. Sedikit perbedaan ini disebabkan karena data indeks IPO yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan data indeks IPO yang digunakan Dai (2012). Dalam penelitian ini digunakan data *IPO Tripole Index* (TPI), sedangkan Dai (2012) menggunakan data indeks IPO berbasis *Principal Component* (PC). Evaluasi data TPI dengan



Gambar 5. Grafik *running mean* selama 10 tahun untuk data (a) indeks IPO dan (b) anomali curah hujan bulanan di Provinsi Jawa Barat. Angka dalam grafik menunjukkan nilai rata-rata dari indeks IPO dan anomali curah hujan pada setiap periode fase IPO.



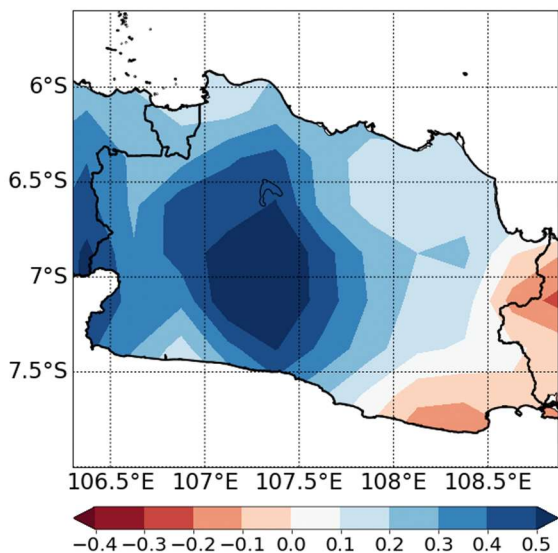
Gambar 6. Komposit anomali curah hujan bulanan di Provinsi Jawa Barat pada (a) fase positif IPO (1924-1947 dan 1982-2000) dan (b) fase negatif IPO (1948-1981).

membandingkan data TPI terhadap indeks IPO berbasis PC seperti yang dihasilkan Dai (2012) telah dilakukan oleh Henley *et al.* (2015). Meskipun rentang tahun periode IPO antara TPI dengan indeks IPO berbasis PC sedikit berbeda, tetapi TPI merupakan alternatif yang bagus untuk indeks IPO (Henley *et al.*, 2015).

Dari dua grafik pada Gambar 5, nilai rata-rata anomali curah hujan pada setiap periode fase IPO cenderung menunjukkan tanda anomali yang sama dengan fase IPO tersebut. Ketika IPO fase positif (negatif), nilai

rata-rata anomali curah hujan pada periode fase tersebut juga bernilai positif (negatif). Meskipun demikian, terlihat adanya anomali curah hujan bernilai positif yang cukup tinggi saat fase negatif IPO. Hal tersebut dapat menunjukkan adanya fenomena variabilitas *interdecadal* lainnya yang memengaruhi curah hujan di Provinsi Jawa Barat.

Berdasarkan perhitungan korelasi antara indeks IPO dan anomali curah hujan di Provinsi Jawa Barat, diperoleh nilai korelasi sebesar 0,3. Walaupun terlihat lemah, korelasi ini masih signifikan secara statistik



Gambar 7. Korelasi antara curah hujan di Provinsi Jawa Barat dan indeks IPO.

dengan tingkat kepercayaan 95%. Korelasi positif ini mengandung arti bahwa Provinsi Jawa Barat cenderung mengalami anomali basah saat fase IPO positif dan mengalami anomali kering saat fase IPO negatif.

Gambar 6 menunjukkan komposit anomali curah hujan dari semua periode IPO positif (1924-1947 dan 1982-2000) dan periode IPO negatif (1948-1981). Berdasarkan komposit tersebut, anomali curah hujan di Provinsi Jawa Barat pada fase IPO positif dan negatif menunjukkan pola yang cukup simetris. Hal ini ditunjukkan pada anomali curah hujan di Jawa Barat yang meningkat (menurun) ketika fase IPO positif (negatif) dengan puncak-puncak anomali yang sama. Begitu juga dengan anomali yang sebaliknya terjadi di Jawa Barat bagian tenggara. Meskipun begitu, karakter non-linear tetap terlihat dari dua fase tersebut yang tidak persis simetris. Nilai anomali hujan pada periode IPO negatif lebih tinggi dibandingkan periode IPO positif, khususnya di Jawa Barat bagian selatan.

Korelasi antara indeks IPO dengan anomali curah hujan di Provinsi Jawa Barat secara spasial ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan nilai korelasi pada gambar tersebut, tidak seluruh wilayah di Provinsi Jawa Barat memiliki pola yang seragam. Korelasi antara indeks IPO dengan anomali curah hujan di Provinsi Jawa Barat secara keseluruhan didominasi oleh korelasi positif. Korelasi positif yang cukup tinggi terdapat di bagian tengah Provinsi Jawa Barat, yaitu di wilayah cekungan Bandung dengan nilai koefisien korelasi melebihi 0,5.

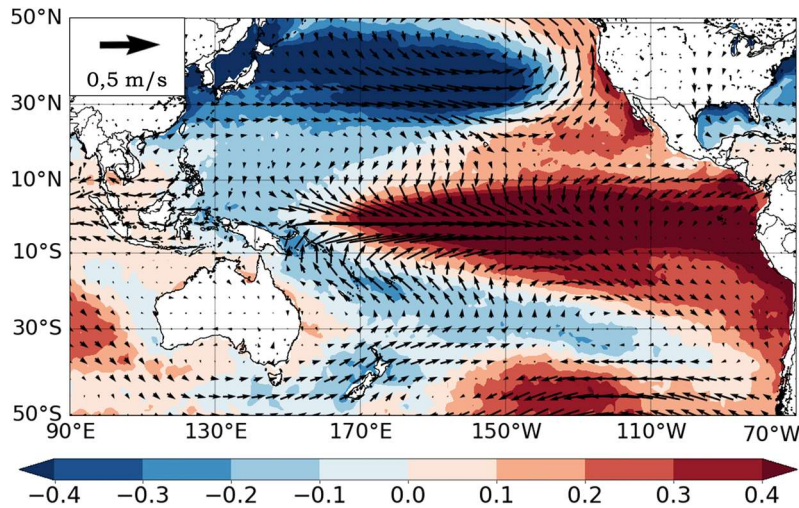
Sementara itu, kondisi sebaliknya terjadi di Jawa Barat bagian tenggara, yaitu bahwa korelasi antara anomali curah hujan dengan indeks IPO bernilai negatif. Hal tersebut juga ditunjukkan pada Gambar 6 bahwa curah hujan di Provinsi Jawa Barat bagian tenggara ini terlihat menurun (meningkat) pada fase IPO positif (negatif). Koefisien korelasi antara indeks IPO dan anomali curah hujan di Jawa Barat bagian tenggara ini memiliki nilai tidak kurang dari -0,3.

3.3. Analisis Variabilitas Interdecadal

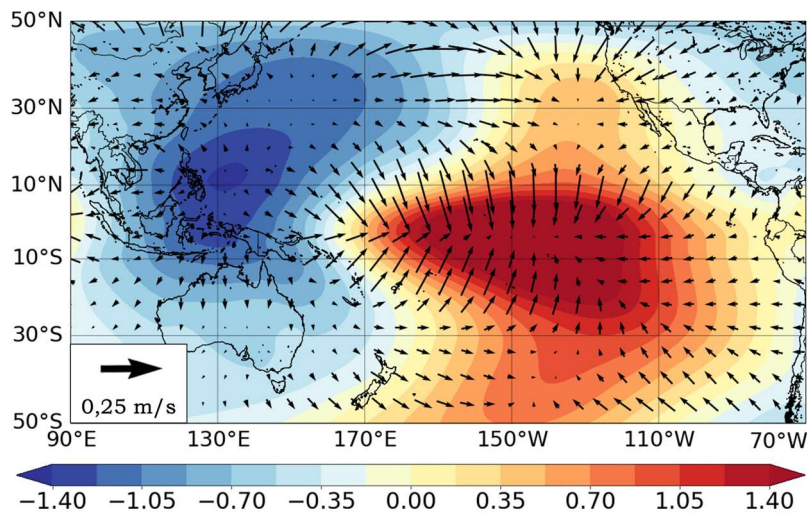
Analisis selanjutnya dijelaskan melalui peta regresi dari anomali suhu permukaan laut, curah hujan, vektor angin, dan *velocity potential* terhadap indeks IPO. Peta regresi anomali suhu permukaan laut dan arah angin terhadap indeks IPO (Gambar 8) menampilkan fase positif dari IPO yang ditandai dengan anomali suhu permukaan laut yang lebih hangat di Pasifik Tropis dan anomali negatif suhu permukaan laut di Pasifik Utara. Sementara untuk variabel angin, terdapat anomali angin dari arah barat menuju timur di sekitar Pasifik Tropis yang mengindikasikan melemahnya angin timuran ketika fase positif IPO.

Sementara fase negatif dari IPO dapat divisualisasikan dengan membalik tanda anomali pada peta regresi. Fase negatif IPO dikaitkan dengan anomali negatif suhu permukaan laut di Pasifik Tropis dan anomali positif suhu permukaan laut di Pasifik Utara. Jika dibandingkan dengan *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), fase positif (negatif) IPO memiliki kemiripan dengan *El Niño (La Niña)*, hanya saja IPO memiliki periode multi-decadal.

Penelitian oleh Dong dan Dai (2015) menunjukkan bahwa anomali *Sea Level Pressure* (SLP) di wilayah Indonesia cenderung positif (negatif) selama fase IPO positif (negatif), sedangkan di Pasifik Tropis sebaliknya, khususnya di bagian timur. Anomali SLP yang lebih rendah (tinggi) di Pasifik Tropis selama fase IPO positif (negatif) tersebut merupakan respons terhadap kenaikan (penurunan) suhu permukaan laut tropis yang kemudian melemahkan (meningkatkan) Sirkulasi Walker, mirip dengan fenomena *El Niño (La Niña)*. Penjelasan anomali SLP tersebut umumnya serupa dengan peta regresi dari *velocity potential* dan *divergent wind* di level tekanan



Gambar 8. Regresi anomali suhu permukaan laut (diarsir) ($^{\circ}\text{C}$ per perubahan nilai standar deviasi dari indeks IPO) dan arah angin di 925 hPa (vektor) terhadap indeks IPO.



Gambar 9. Regresi anomali *velocity potential* (diarsir) ($10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ per standar deviasi) dan *divergent wind* (vektor) pada 925 hPa terhadap indeks IPO.

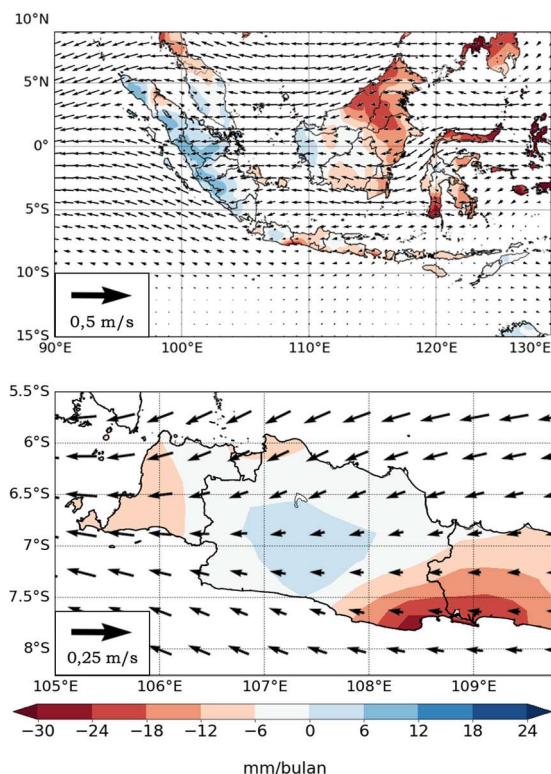
925 hPa (Gambar 9), yaitu adanya daerah konvergensi dan divergensi yang mengindikasikan anomali tekanan di Pasifik Tropis dan wilayah Indonesia. Pada IPO fase positif (negatif), anomali tekanan yang lebih rendah (tinggi) di Pasifik Tropis ini melemahkan (meningkatkan) Sirkulasi Walker di Pasifik dan konveksi atmosfer di sekitar Indonesia sehingga menyebabkan anomali curah hujan di benua maritim.

Pada peta regresi tersebut, dapat dilihat terdapat daerah konvergensi di Samudra Pasifik Tropis bagian tengah yang menandakan adanya tekanan rendah di Pasifik Tropis Tengah ketika fase IPO positif. Sementara itu, daerah divergensi terdapat di sekitar Laut Filipina yang menandakan adanya tekanan tinggi di wilayah tersebut. Pada saat yang sama, divergensi tersebut

juga menyebabkan konveksi di sekitar Laut Filipina melemah karena *subsidence*. *Subsidence* serta efek divergensi ini yang menyebabkan wilayah timur Indonesia cenderung lebih kering ketika fase IPO positif. Selain itu, angin yang menguat dari arah timur laut di wilayah Indonesia juga dikarenakan adanya tekanan tinggi di Laut Filipina.

Gambar 10 menampilkan peta regresi anomali curah hujan dan arah angin terhadap indeks IPO saat fase positif IPO. Berdasarkan peta regresi tersebut, arah angin yang melalui wilayah Indonesia menguat dari arah timur. Lebih tepatnya, angin menguat dari arah timur laut dan bergerak menuju barat karena suhu permukaan laut di Indonesia bagian barat yang lebih hangat. Pola angin ini sesuai dengan angin divergen akibat tekanan tinggi di Laut Filipina. Di bagian timur Indonesia

anomali kering terlihat dan ini konsisten dengan pusat divergensi yang berada di timur



Gambar 10. Regresi anomali curah hujan (shaded) (mm/bulan per standar deviasi) dan arah angin pada 925 hPa (vektor) terhadap indeks IPO di wilayah Indonesia (atas) dan Jawa Barat (bawah).

Indonesia. Namun di sisi barat Indonesia, termasuk wilayah Jawa bagian barat, anomali hujan cenderung positif. Pola *dipole* curah hujan di Indonesia ini kemungkinan besar diakibatkan oleh pola suhu permukaan laut yang memanas di barat Indonesia (Gambar 8). Selain itu pola angin horizontal menunjukkan adanya konvergensi antara anomali angin timuran dan angin tenggara yang mendukung anomali basah di sebelah barat Indonesia.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis perubahan iklim, curah hujan di Provinsi Jawa Barat meningkat dari tahun 1921 hingga tahun 2010 dengan nilai tren curah hujan bulanan meningkat sebesar 1,61 mm/dekade. Secara statistik, tren peningkatan curah hujan pada musim SON merupakan nilai yang signifikan, yaitu sebesar 3,70 mm/dekade. Pada musim DJF dari pola spasial menunjukkan tren yang bercampur, namun terdapat tren yang signifikan di bagian utara Jawa Barat.

Kenaikan curah hujan bulanan sebesar 1,61 mm/dekade ini tidak begitu kuat karena tingginya variabilitas internal yang dikendalikan oleh IPO. Dalam periode multi-dekadal, terdapat korelasi positif yang signifikan secara statistik antara variabilitas IPO dan curah hujan di Provinsi Jawa Barat. Peningkatan konveksi di Provinsi Jawa Barat terjadi ketika fase IPO positif akibat pola anomali angin yang ditimbulkan oleh IPO. Dibandingkan dengan ENSO, pola anomali hujan Indonesia akibat IPO lebih kompleks, yaitu bahwa anomali hujan akibat ENSO cenderung seragam (kecuali DJF).

Fenomena perubahan iklim yang terus terjadi serta diikuti dengan IPO pada fase positif berpotensi mengakibatkan curah hujan yang lebih ekstrem di Provinsi Jawa Barat di masa yang akan datang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada reviewer dan editor atas saran serta kritik terhadap tulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para dosen Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia atas masukan serta diskusi pada penelitian ini.

Makalah ini telah melewati proses *blind review* yang dimoderasi oleh Tiin Sinatra sebagai editor.

Rujukan

Anwar, M. R., Liu, D. L., Farquharson, R., Macadam, I., Abadi, A., Finlayson, J., Wang, B., Ramilan, T. (2015). Climate Change Impacts on Phenology and Yields of Five Broadacre Crops at Four Climatologically Distinct Locations in Australia. *Agricultural Systems*, 132, 133-144.

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2010). *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap, ICCSR*. Scientific Basis: Analysis and Projection of Temperature and Rainfall. Bappenas: Indonesia.

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). 2011. *Indonesia Adaptation Strategy: Improving Capacity to Adapt*. Bappenas: Indonesia.

Boer, R., Faqih, A.. (2004). Current and Future Rainfall Variability in Indonesia. Dalam *An Integrated Assessment of Climate Change Impacts, Adaptation*

- and Vulnerability in Watershed Areas and Communities in Southeast Asia. *Report from AIACC Project No. AS21*. International START Secretariat.
- Chang, C.-P., Michael, G. M. L., Wallace, J. M. (2016). *Climate Change Multidecadal and Beyond*. World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate.
- Dai, A. (2012). *The Influence of The Interdecadal Pacific Oscillation on US Precipitation during 1923-2010*. National Center for Atmospheric Research.
- Dai, A., Fyfe, J. C., Xie, S. P., Dai., X. (2015). Decadal Modulation of Global Surface Temperature by Internal Climate Variability. *Nature Climate Change*, 5, 555-559.
- Deser, C., Phillips, A. S., Hurrell, J. W. (2004). Pacific Interdecadal Climate Variability: Linkages between the Tropics and the North Pacific during Boreal Winter since 1900. *The American Meteorological Society*, 17, 3109-3124
- Dong, B., Dai, A. (2015). *The Influence of The Interdecadal Pacific Oscillation on Temperature and Precipitation over The Globe*. New York.
- England, M. H., Mcgregor, S., Spence, P., Meehl, G., Timmermann, A., Cai, W., Gupta, A., McPhaden, M., Purich, A., Santoso, A. (2014). Recent Intensification of Wind-Driven Circulation in The Pacific and The Ongoing Warming Hiatus. *Nature Climate Change*, 4, 222-227.
- Faqih, A., Ribbe, J., Meinke, H. (2008). *Interdecadal Variability of Regional Sea Surface Temperature and Rainfall in the Austral-Indonesian Region*. Australia: University of Southern Queensland.
- Gottelman, A., Rood, R. B. (2016). *Demystifying Climate Models, Earth Systems Data and Models*. University of Michigan.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K. (2010). Global surface temperature change. *Review in Geophysics*, 48, RG4004.
- Henley, B.J., Gergis, J., Karoly, D. J., Power, S. B., Kennedy, J., Folland, C. K. (2015). A Tripole Index for the Interdecadal Pacific Oscillation. *Climate Dynamics*, 45(11-12), 3077-3090.
- Hoerling, M. P., Kumar, A., Zhong, M. (1997). El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections. *Journal of Climate*, 10, 1769– 1786.
- Houghton, J. (1997). *Global Warming: The Complete Briefing*. New York: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kosaka, Y., Xie, S.-P. (2013). Recent Global-Warming Hiatus Tied to Equatorial Pacific Surface Cooling. *Nature*, 501, 403-407.
- Leggett, J. K. (2000). *The Carbon War: Global Warming and the End of the Oil Era*. London.
- Ruminta. (2016). Analisis Penurunan Produksi Tanaman Padi Akibat Perubahan Iklim di Kabupaten Bandung Jawa Barat. *Jurnal Kultivasi*, 15, 37-45.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. (2013). An Apparent Hiatus in Global Warming? *Earth's Future*, 1, 19-32.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2011). *Fact Sheet: Climate change Science - the Status of Climate Change Science Today*.
- World Meteorological Organization (WMO). (2015). *Technical Regulations*. Switzerland.
- World Meteorological Organization (WMO). (2018). *Guide to Climatological Practices*. Switzerland.

