

## Kajian Perubahan Iklim di Pesisir Jakarta Berdasarkan Data Curah Hujan dan Temperatur

Rusmawan Suwarman<sup>1\*</sup>, Edi Riawan<sup>1</sup>, Yogi Sahat Maruli Simanjuntak<sup>2</sup>,  
Dasapta Erwin Irawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup>Program Studi Magister Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup>Kelompok Keahlian Geologi Terapan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa 10, Kota Bandung, Jawa Barat 40132 Indonesia

Email: rusmawan@itb.ac.id

### Abstrak

Sebagai ibu kota negara dan pusat berbagai kegiatan ekonomi, Jakarta terus mengalami pertumbuhan penduduk dan infrastruktur. Pembangunan ekonomi ini pun mengalami pergeseran ke wilayah pesisir utara Jakarta. Di sisi lain, perubahan iklim adalah permasalahan yang harus dihadapi secara global, termasuk Jakarta. Strategi pembangunan perlu mempertimbangkan aspek-aspek perubahan iklim untuk mengurangi potensi dampak-dampak lingkungan yang akan terjadi. Makalah ini bertujuan untuk menampilkan kondisi iklim saat ini di daerah pesisir utara Jakarta dan potensi perubahannya di masa yang akan datang. Informasi iklim didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG), sedangkan informasi proyeksi iklim sampai tahun 2100, didapatkan dari data 21 member dari model iklim global (Global Circulation Models, GCMs). Metode yang digunakan adalah statistical downscaling quantile bias correction untuk mendapatkan informasi proyeksi iklim lokal. Analisa yang disajikan dalam kajian ini adalah analisa ekstrem secara statistik untuk variabel temperatur dan curah hujan. Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi iklim baseline sudah mengalami tren kenaikan temperatur sebesar 1,1°C. Potensi kenaikan temperatur ini akan berlanjut sampai 0,5 – 1°C di tahun 2050 dan 1 - 3°C di tahun 2100. Pada variabel curah hujan, perubahan iklim di masa akan datang berdampak mempercepat awal dan memperlama musim hujan. Model-model iklim menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem akan naik antara 15-26 % pada periode ulang 100 tahun dari kondisi iklim saat ini.

**Kata kunci :** perubahan iklim, curah hujan, temperatur, ekstrem, pesisir

### Abstract

#### *Study of Climate Change in Coastal Jakarta Based on Rainfall and Temperature Data*

*As the capital city and the center of various economic activities, Jakarta continues to experience population growth and infrastructure. On the other hand, climate change is an issues that must be faced globally, including Jakarta. Development strategies need to consider the aspects of climate change to reduce potential environmental impacts that will occur. The purpose of this study is to understand the current climate and its potential for future changes in the northern coastal area of Jakarta. Current climate information is obtained from meteorological data from the Meteorology Climatology Geophysics Agency (BMKG) observation station, while climate information of future climate projections, up to 2100, is obtained from 21 member data from Global Circulation Models (GCMs) . The method used is statistical downscaling quantile bias correction to obtain local climate projection information. The analysis presented in this study is a statistical extreme analysis for the variables of the temperature and the rainfall. Based on observation data, the baseline climatic conditions have experienced an increasing trend of temperature of 1.1 °C. The potential for this temperature increase will continue to 0.5 – 1 °C in 2050 and 1-3 °C in 2100. Meanwhile, on the rainfall variable, future climate change has an impact on early of the start and*

*prolonging the rainy season. The climate models show that extreme rainfall will increase between 15-26 % in the 100-year return period of current climatic conditions.*

**Keywords :** *climate change, rain amount, temperature, extreme, coastal*

## PENDAHULUAN

Pemanasan global diyakini akan berdampak negatif terhadap berbagai bidang, termasuk pada bidang lingkungan dan sosio-ekonomi. Dampak perubahan iklim terhadap bahaya hidrometeorologi, misalnya, akan mengubah frekuensi kejadian-kejadian ekstrim dan tingkat keparahannya dalam jangka waktu yang lama (Rahayu *et al.*, 2020). Oleh karena itu, perencanaan jangka panjang perlu mempertimbangkan tidak hanya risiko saat ini tetapi juga proyeksi risiko masa depan.

Karena posisinya yang strategis, Jakarta menjadi kota pusat aktivitas industri, bisnis, dan pariwisata di Indonesia. Hal ini menyebabkan urbanisasi tidak dapat dihindari (Samadikun, 2007). Peningkatan penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang intensif menyebabkan Jakarta menghadapi berbagai permasalahan dalam lingkungan dan kualitas kesejahteraan masyarakat secara kontinyu (Rahmatullah, 2017).

Jakarta telah mengalami perubahan dari lahan pertanian menjadi kawasan industri dan perumahan. Perubahan lahan tersebut tidak diimbangi dengan perhatian kepada lingkungan, sehingga menghasilkan berbagai masalah lingkungan (Firman, 2009). Izin pembangunan yang terus diterbitkan akan meningkatkan kepadatan penduduk (Rahmatullah, 2017) dan bisa bergeser ke pantai utara Jakarta (Samadikun, 2007).

Ditambah lagi, Jakarta Utara adalah satu kota pesisir yang paling rentan terhadap perubahan iklim dan secara historis pun sering mengalami banjir akibat curah hujan (Riawan *et al.*, 2018; Yusuf dan Francisco, 2009). Tingkat risiko ini berpontesi bertambah, karena perubahan iklim, secara global, memiliki kecenderungan mengintensifikasi ancaman banjir karena frekuensi curah hujan ekstrem yang meningkat (Satterthwaite, 2008). Keuntungan dari kegiatan ekonomi ini harus pula mempertimbangkan kerugian berupa kerusakan lingkungan, seperti berbagai bencana hidrometeorologi (Marwanta, 2003).

Pemanasan global merupakan tantangan yang harus dihadapi secara global, tidak terkecuali

daerah pesisir Jakarta. Kajian-kajian terakhir melaporkan bahwa pemanasan global ini secara dominan disebabkan oleh kegiatan antropogenik (mis. Rosenzweig *et al.*, 2008; Kaufmann *et al.*, 2011; Stern dan Kaufmann, 2014). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* melaporkan bahwa kegiatan manusia pasca revolusi industri berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan global yang terjadi saat ini (IPCC, 2007). Hal ini akan mengakibatkan peningkatan kerentanan dalam permasalahan lingkungan (de Bono dan Mora, 2014).

Kajian mengenai perubahan iklim di Indonesia masih terbatas, apalagi dalam ruang lingkup secara lokal. Permasalahan utamanya adalah teknik menterjemahkan informasi-informasi dari model-model iklim global (*Global Circulation Models*, GCMs) ke resolusi spasial yang lebih tinggi (lokal), yang disebut dengan teknik *downscaling* (Ekstrom *et al.*, 2015). Teknik ini berasumsi akan mendapatkan informasi yang lebih realistis pada skala lokal.

Studi ini dimaksudkan untuk memahami iklim saat ini dan potensi perubahannya di masa depan secara saintifik dengan melibatkan data-data observasi iklim dan GCMs di area Pesisir Jakarta. Informasi iklim yang akan dibahas adalah temperatur dan curah hujan. Kajian ini juga akan membahas analisa potensi perubahan ekstrim iklim saat ini dan masa yang akan datang.

## MATERI DAN METODE

Secara garis besar data yang digunakan adalah data observasi dan keluaran model iklim untuk gambaran iklim masa depan. Karena keluaran model iklim beresolusi rendah dan kurang menangkap variasi lokal, maka data ini perlu dikoreksi oleh data observasi sebagai sebagai landasan variasi iklim lokal periode masa kini (*baseline*). Metode yang digunakan adalah metode-metode statistik untuk mengoreksi model iklim dan menganalisa perubahan ekstrem. Analisa perubahan iklim adalah dengan membandingkan keadaan statistik iklim dan cuaca ekstrem pada periode *baseline* dan masa depan.

## Data

Data observasi curah hujan dan temperatur bersumber dari stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang berada pada lokasi penelitian, yaitu stasiun Tanjung Priuk dengan koordinat  $-6.107$  LS,  $106.880$  BT (Gambar 1a). Data yang digunakan adalah data harian dari tahun 1973 sampai 2020. Beberapa data kosong untuk data curah hujan sampai dengan 80% an pada tahun-tahun terakhir, sedangkan untuk temperatur sebanyak 50% an (Gambar 1b).

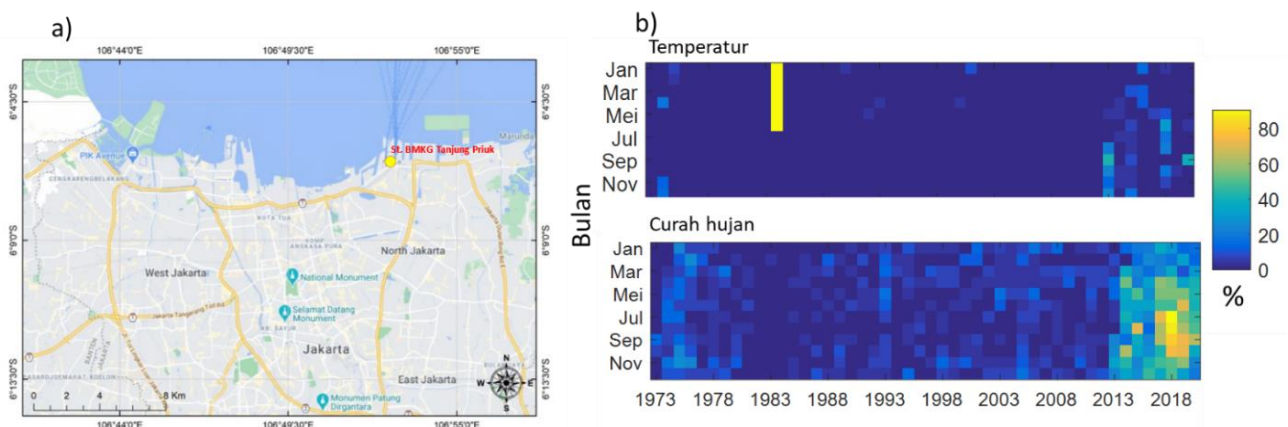
Data proyeksi berasal dari luaran 21 GCM (21 model ini akan disebut member) yang tergabung dalam *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Model-model ini termasuk model terbaik untuk simulasi daerah Asia Tenggara dan Pasifik Barat (Sperber *et al.*, 2013; ENES, 2016). Model-model tersebut dapat diakses di UCAR (2021). Skenario perubahan iklim yang digunakan mengacu pada skenario *Representative Concentration Pathways* (RCPs) (van Vuuren *et al.*, 2011) yang diadopsi oleh *IPCC Assessment Report 5* (AR5) (IPCC, 2013).

Skenario emisi RCP yang digunakan dalam kajian adalah RCP 4.5 dan RCP 8.5. Masing-masing RCP menunjukkan target emisi yang akan terjadi pada tahun 2100. Misalnya untuk skenario RCP 4.5 adalah kondisi iklim yang disebabkan oleh gas rumah kaca pada peningkatan *radiative forcing* di permukaan bumi mencapai  $4,5$  Watts/m<sup>2</sup>. Masing-masing RCP disebut juga sebagai skenario tengah (RCP4.5) dan skenario pesimis (RCP8.5).

Dalam GCM ini tersedia dua periode data iklim yaitu periode historis dan periode proyeksi (masa depan). Periode historis dalam kajian ini adalah 1980-2005 sedangkan periode proyeksi adalah 2005-2100. Walaupun demikian, untuk menyesuaikan dengan waktu penelitian maka hanya digunakan data pada periode 2021-2100. Tiga variabel yang digunakan untuk analisis perubahan iklim adalah temperatur maksimum, temperatur minimum, dan curah hujan. Analisis temperatur diperlukan sebagai indikator utama adanya perubahan iklim, sedangkan curah hujan dianalisis sebagai variabel atmosfer yang paling berfluktuatif dan berdampak pada banyak aspek di daerah ekuatorial benua maritim.

## Metode

Analisa data iklim observasi secara umum merupakan analisa statistik yang meliputi rata-rata bulanan, tren, variabilitas, dan periode ulang untuk nilai-nilai ekstrem. Data iklim yang terobservasi ini akan memberikan gambaran pola iklim lokal di sekitar pesisir Jakarta pada saat ini. Data ini pun diperlukan untuk proses verifikasi data GCMs yang digunakan dalam kajian ini. Analisa perubahan iklim dilakukan dengan cara melihat perubahan statistik yang dialami oleh temperatur dan curah hujan di masa depan (dengan data GCM) dari masa *baseline*. Identifikasi perubahan iklim secara statistik dapat dilihat dari perubahan rata-rata, perubahan variansi, dan atau perubahan keduanya (Meehl *et al.*, 2000). Perubahan statistik ini akan ditampilkan dengan *probability density function* (PDF).



**Gambar 1.** Lokasi stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tanjung Priuk (a) dan Persentase data kosong untuk di setiap bulan untuk data temperatur (b. atas) dan curah hujan (b bawah) di stasiun BMKG Tanjung Priuk.

Informasi yang dikeluarkan oleh GCMs biasanya hanya valid dalam perspektif global atau kontinental karena resolusinya yang rendah (Trzaska dan Schnarr, 2014). Oleh karena itu, berbagai fitur geografi dan komponen iklim yang memiliki skala yang jauh lebih kecil dari ukuran grid GCMs (50-200 km), seperti topografi, tutupan lahan, dan awan konvektif tidak tertangkap secara utuh. Berbagai variasi lokal tersebut sangat penting bagi untuk memahami dampak perubahan iklim secara lokal.

Salah satu metode untuk meningkatkan kemampuan GCMs untuk menangkap fenomena lokal adalah metode *downscaling*. Teknik ini berasumsi bahwa iklim lokal dikendalikan oleh interaksi antara atmosfer skala besar dan fitur-fitur lokal, sehingga informasi iklim dari GCMs menjadi lebih realistis pada skala lokal. Pada kajian ini, teknik *downscaling* yang dipilih adalah *statistical downscaling* dengan koreksi bias (*bias correction*). Metode ini tidak membutuhkan komputasi dengan spesifikasi tinggi. Koreksi bias adalah metode perbaikan sederhana berdasarkan pencocokan fungsi *equidistant quantile-based matching of cumulative distribution function* (CDF) dari model dan pengamatan (Inomata *et al.*, 2011). Koreksi bias dilakukan dengan mengambil sampel probabilitas CDF dari data observasi, data GCMs pada periode *baseline*, dan data GCMs untuk proyeksi masa depan. Kemudian ditaksir rasio untuk masing-masing kuantil ( $q$ ) antara data observasi ( $D_{Obsq}$ ) dan data GCM saat ini ( $Mod_{Preq}$ ) (Pers. 1).  $\alpha_q$  dianggap sebagai koefisien penyesuaian untuk setiap kuantil dan dikalikan dengan nilai model masa datang dari kuantil yang sama ( $Mod_{Futq}$ ), untuk mendapatkan nilai yang diperbaiki ( $D_{Futq}$ ) (Pers. 2).

$$\alpha_q = \frac{D_{Obsq}}{Mod_{Preq}} \quad \text{Pers. 1}$$

$$D_{Futq} = \alpha_q \times Mod_{Futq} \quad \text{Pers. 2}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Iklim dan Cuaca Ekstrem pada Saat Ini Berdasarkan Data Observasi*

Profil data temperatur dan curah bulanan di stasiun BMKG Tanjung Priuk dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan data tersebut, pesisir Jakarta bertipikal iklim tropis, dengan temperatur udara yang hangat ( $> 18^\circ\text{C}$ ), dan hujan terjadi hampir di sepanjang tahun sehingga sering dinamai

iklim hujan hutan tropis (Koppen, 1936). Temperatur menunjukkan ada dua puncak yaitu di bulan Mei dan Oktober (Gambar 2, atas). Karakteristik lain yang ditangkap dari data temperatur adalah terdapatnya tren kenaikan antar tahunnya, sebesar ( $1,1^\circ\text{C} / 47$  tahun). Data ini menunjukkan bahwa temperatur observasi saat ini sudah menunjukkan adanya potensi perubahan iklim. Kenaikan temperatur pada periode observasi sudah terindikasi baik secara global (Alexander *et al.* 2006) maupun regional (Klein-Tank dan Konnen, 2003), baik untuk suhu ekstrem minimum dan maksimum.

Sebagaimana karakteristik umum curah hujan di wilayah Pulau Jawa, wilayah kajian memiliki puncak curah hujan pada periode Desember-Februari (DJF) yang juga sebagai bulan basah ( $>200$  mm/bulan) (Gambar 2bawah) Bulan terkering terjadi pada bulan Juni-September (JJAS). Pola ini disebut pola monsun dan sesuai dengan kajian sebelumnya (Aldrian dan Susanto, 2003). *Timeseries* tahunan curah hujan bulanan menunjukkan bahwa fluktuasi curah hujan antar tahun tidak signifikan. Secara rata-rata curah hujan maksimum tertinggi muncul di musim DJF. Berdasarkan historis, curah hujan maksimum yang terbesar muncul pada bulan Februari tahun 2014 ( $>250$  mm/hari) (Gambar 3). Pada periode observasi ini, trend curah hujan tidak terlihat dengan jelas. Hal ini juga serupa dengan kondisi global, walaupun sebegini besar curah hujan menunjukkan kecenderungan menuju kondisi basah, tetapi secara statistik tidak signifikan (Alexander *et al.*, 2006).

### *Hasil Downscaling*

Gambar 4 menunjukkan kurva CDF untuk temperatur dari data observasi, model global (histori), dan hasil koreksinya. Gambar tersebut memperlihatkan masih adanya perbedaan nilai yang signifikan antara data *historical* model dari semua member dengan data observasi, baik untuk temperatur minimum Gambar 4a) maupun maksimum Gambar 4b), sehingga koreksi data model perlu dilakukan. Hasil koreksi *downcalling* pada temperatur memperlihatkan nilai-nilai di sekitar median dapat mendekati nilai observasinya, namun untuk nilai-nilai yang tinggi masih terdapat bias.

Begitu pula untuk variabel curah hujan (Gambar 4c). Hasil koreksi menunjukkan untuk nilai-nilai yang tinggi masih terdapat bias yang signifikan. Hal ini harus menjadi perhatian dalam

penggunaan hasil data ini untuk analisis selanjutnya. Walaupun demikian hasil simulasi *downscaling* masih dapat digunakan untuk menghitung rasio data proyeksi terhadap data *baseline* untuk nilai-nilai yang ekstrem. Rasio ini bisa digunakan untuk menganalisis seberapa besar perubahan yang akan terjadi dari periode *baseline*.

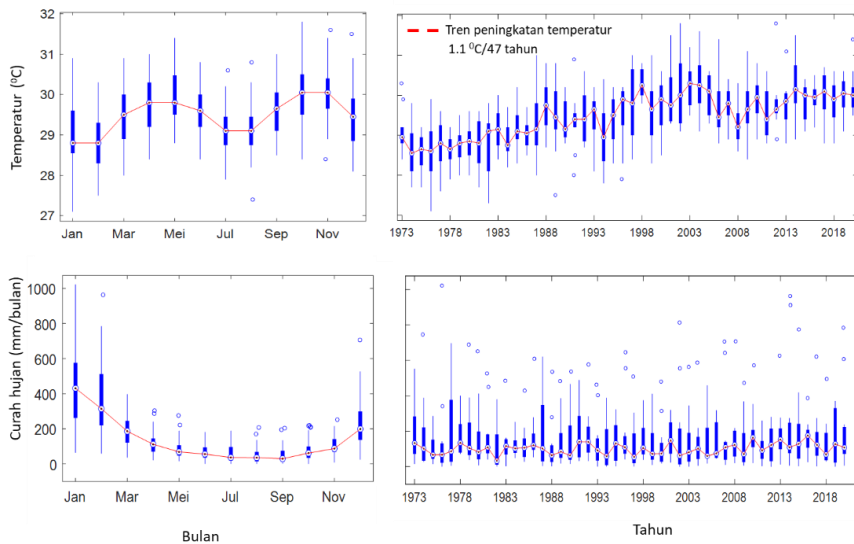
**Proyeksi dan Perubahan Iklim**

Hasil proyeksi *downscaling* temperatur di atas kawasan pesisir Jakarta menunjukkan tren yang bervariasi di setiap dekadanya (Gambar 5). Rata-rata model skenario RCP 8.5 menunjukkan kenaikan temperatur sekitar 0,04 °C/tahun, atau tahun 2050 akan naik sebesar 1° C dan pada 2100 akan naik sebesar 3 °C relatif terhadap tahun 2020. Sementara itu RCP 4.5 menunjukkan kenaikan temperatur sekitar 0,02 °C/tahun, atau pada tahun 2100 akan terjadi peningkatan temperatur sebesar 1°C relatif terhadap tahun 2020.

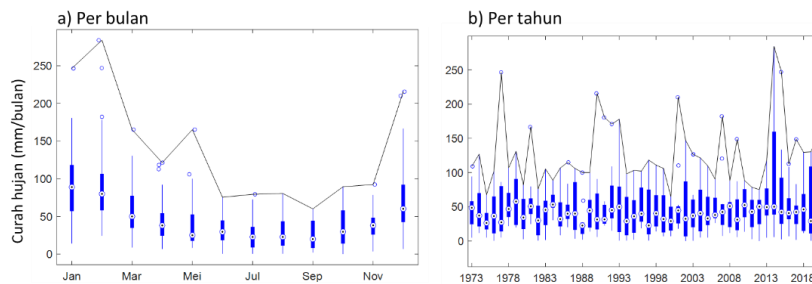
Kenaikan temperatur di pesisir Jakarta yang didapatkan pada kajian ini menunjukkan hal yang serupa dengan hasil simulasi Nazarenko *et al.* (2015). Laporan yang serupa juga dapat dijumpai dari hasil simulasi yang dilakukan di region Asia Tenggara (mis. Ngai *et al.*, 2017; Tangang *et al.*, 2018).

Rata-rata distribusi peluang kejadian temperatur pada iklim sekarang dan masa depan dapat dilihat pada Gambar 6. Temperatur pada tahun 2021-2050, di kedua skenario, menunjukkan adanya perubahan nilai rata-rata sekitar sebesar 1 °C.

Nilai-nilai temperatur ekstrem yang terjadi pada kondisi sekarang berpeluang hadir lebih sering di masa depan (Gambar 6 a dan c). Pada tahun 2050-2100, RCP 4.5 dan RCP 8.5 menunjukkan hal yang berbeda. Iklim di periode ini akan menambah kenaikan rata-rata sekitar 2 °C pada RCP 4.5 (Gambar 6b) dan 3° C pada RCP 8.5 (Gambar 6d). Dengan kata lain, kejadian ekstrem



**Gambar 2.** *Boxplot* rata-rata temperatur (atas) dan curah hujan (bawah) terhadap bulan (kiri) dan tahun (bawah). Garis menunjukkan rata-rata bulanan dan lingkaran adalah pencilon data observasi.



**Gambar 3.** Sama seperti Gambar 2, namun untuk curah hujan harian maksimum terhadap bulanan (a) dan tahunan (b).

menjadi biasa pada skenario emisi medium (RCP 4.5), bahkan bisa lebih parah jika terjadi pada emisi yang besar (RCP 8.5).

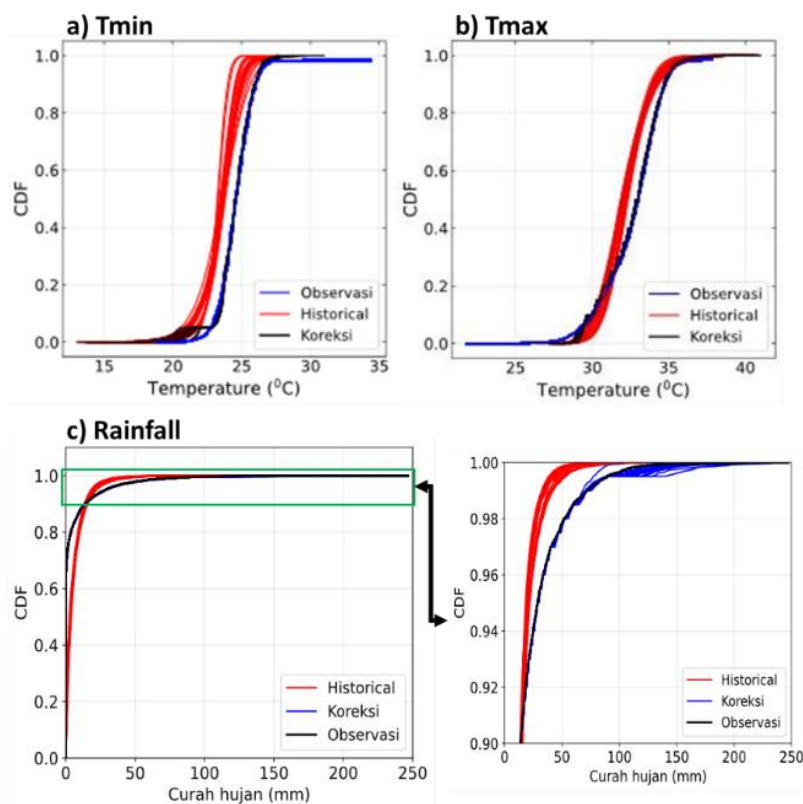
Gambar 7 juga menunjukkan bahwa kedua skenario tidak ada perbedaan temperatur ekstrem yang signifikan di setiap periode ulang pada periode 2021-2050. Lain halnya pada periode 2050-2100, nilai temperatur di setiap periode ulang di kedua skenario menunjukkan perbedaan yang signifikan. Sebagai contoh, pada periode ulang 5 tahunan, perbedaan temperatur hampir mencapai 1° C, sementara pada periode ulang 100 tahunan, bisa mencapai 3° C.

Namun demikian, terlihat pada gambar tersebut bahwa nilai ekstrem observasi berada di bawah nilai-nilai model iklim yang dikoreksi. Hal disebabkan oleh keterbatasan metode koreksi dalam menghitung di kelompok nilai yang tinggi. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, perhitungan rasio nilai ekstrem antara periode proyeksi dan observasi perlu untuk dibahas.

Rasio nilai ekstrem antara periode proyeksi dan periode *baseline* dapat dilihat pada Gambar 8. Dari gambar tersebut dua skenario menunjukkan

penurunan grafik, yaitu proyeksi 2021-2050 pada skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 (Gambar 8a dan c). Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama periode ulang, nilai temperatur ekstrem tidak akan jauh berbeda dengan nilai sekarang.

Rasio di proyeksi 2050-2100 pada skenario RCP 4.5 terdapat peningkatan temperatur yang berada di sekitar 1° C (Gambar 8b). Sementara pada skenario 8.5 menunjukkan rasio temperatur yang meningkat (Gambar 8d). Hal ini menunjukkan bahwa dengan skenario pelepasan emisi yang tinggi maka tingkat ekstrem akan semakin parah seiring dengan penambahan durasi periode ulang. Kajian-kajian perubahan iklim berkaitan dengan respon curah hujan sudah dilakukan. Nazarenko *et al.* (2015) dan Tangang *et al.* (2018), melaporkan bahwa sebagian besar wilayah di benua maritim mengalami pengurangan curah hujan, kecuali di beberapa daerah seperti di Kalimantan. Sa'adi *et al.* (2017) melaporkan potensi kenaikan curah hujan di sekitar Serawak-Pulau Kalimantan di semua skenario RCP. Dengan demikian, respon lokal presipitasi terhadap perubahan iklim akan berbeda-beda di setiap daerah.

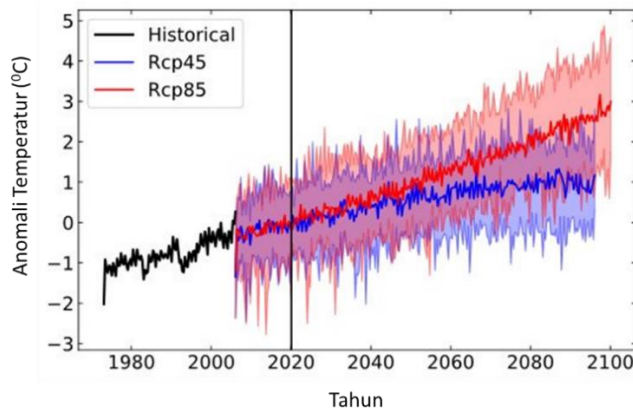


**Gambar 4.** CDF untuk basis data observasi, model histori, dan hasil koreksi *downscaling* untuk data temperatur minimum (a), temperatur maksimum (b), curah hujan (c). Panel (c) kanan adalah CDF curah hujan pada probabilitas di atas 0.9

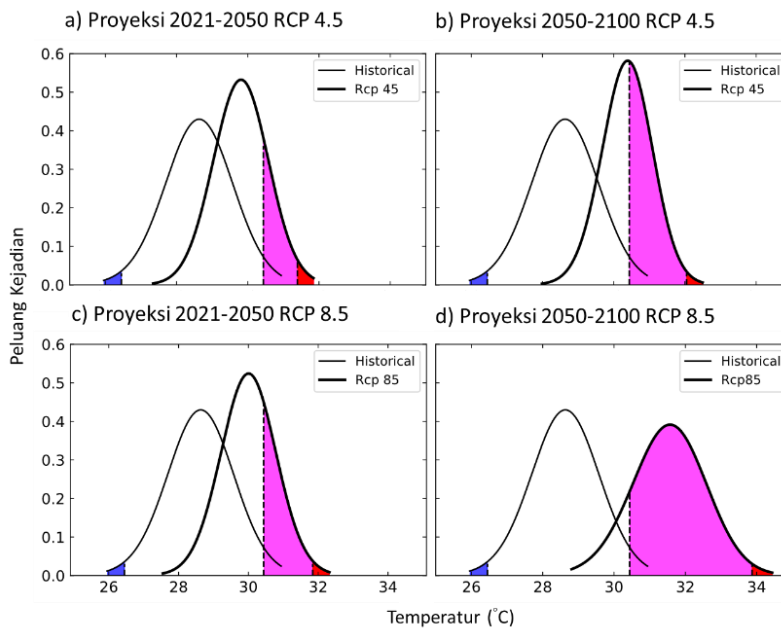
Curah hujan bulanan hasil dari *downscaling* model di pesisir utara Jakarta dapat dilihat pada Gambar 9. Perubahan iklim tidak mengakibatkan perubahan pola iklim tahunan (masih monsunal). Namun demikian, pemanasan global berpeluang untuk merubah tingkat curah hujan di masa yang akan datang dan mempercepat awal musim hujan. Di semua skenario terlihat bahwa peningkatan curah hujan cenderung terjadi pada musim basah, khususnya Januari-Maret. Pada periode 2021-2050, perbedaan skenario tidak berperan terhadap perubahan pola curah hujan. Namun demikian, Periode 2050-2100 terdapat perbedaan signifikan dari kedua skenario, khususnya pada bulan Desember. Seperti yang terlihat pada Gambar 9d,

skenario RCP 8.5 akan berdampak pada durasi bulan basah yang lebih lama dan juga peningkatan curah hujan. Model menunjukkan rata-rata bulan basah sudah dimulai dari Desember, berbeda dengan periode *baseline* pada bulan Januari.

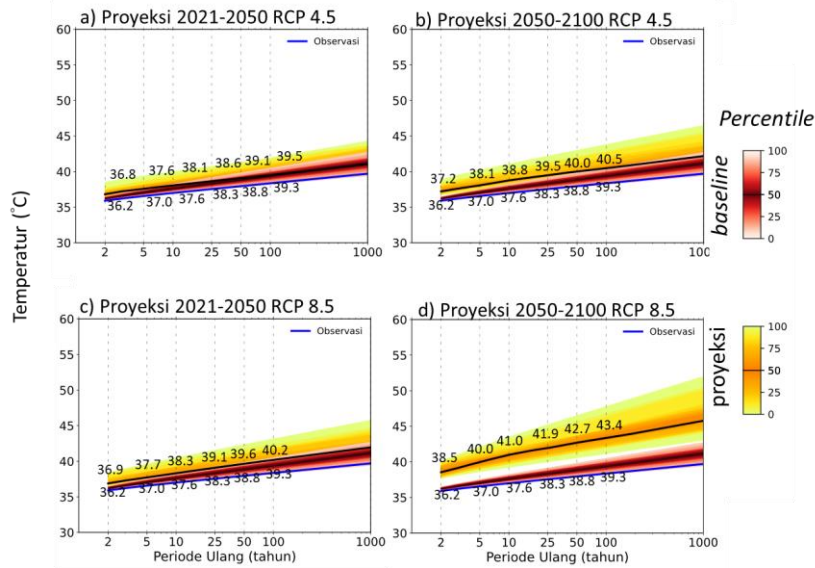
Dilihat dari distribusi peluang, curah hujan akan terus cenderung mengalami peningkatan (Gambar 10). Selisih antara data histori dan skenario semakin besar di RCP 8.5 pada periode 2050-2100. Dengan kata lain, respon presipitasi terhadap perubahan iklim antropogenik di pesisir utara Jakarta adalah dengan peningkatan curah hujan. Pada umumnya semua skenario menunjukkan akan adanya peningkatan tingkat curah hujan di semua periode ulang (Gambar 11).



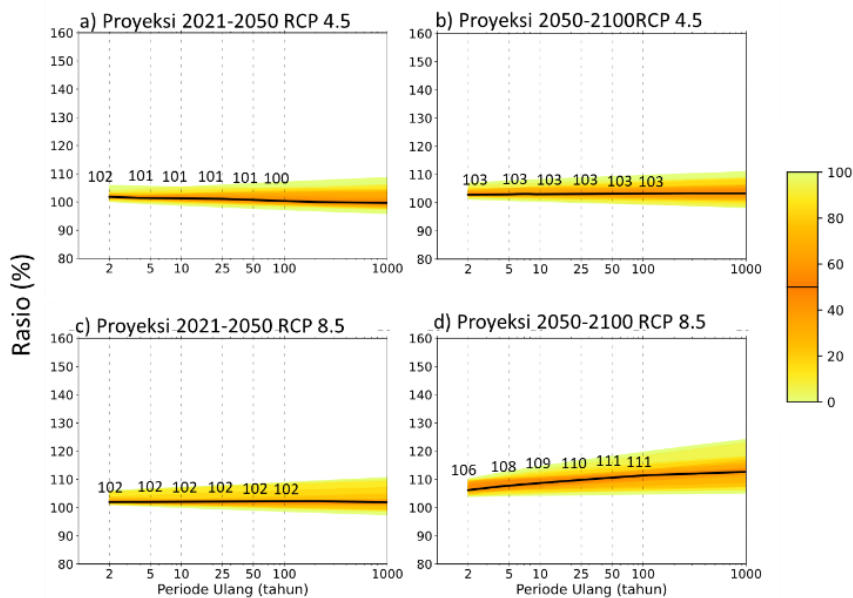
**Gambar 5.** Anomali temperatur bulanan terhadap tahun 2020 untuk periode baseline dan periode proyeksi berdasarkan 21-member model iklim skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5



**Gambar 6.** Distribusi peluang kejadian untuk temperatur di periode baseline pada periode proyeksi 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d). Skenario RCP 4.5 (a dan b) dan skenario RCP 8.5 (c dan d)



**Gambar 7.** Periode ulang untuk temperatur di periode baseline, periode proyeksi 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d). Skenario RCP 4.5 (a dan b) dan skenario RCP 8.5 (c dan d)

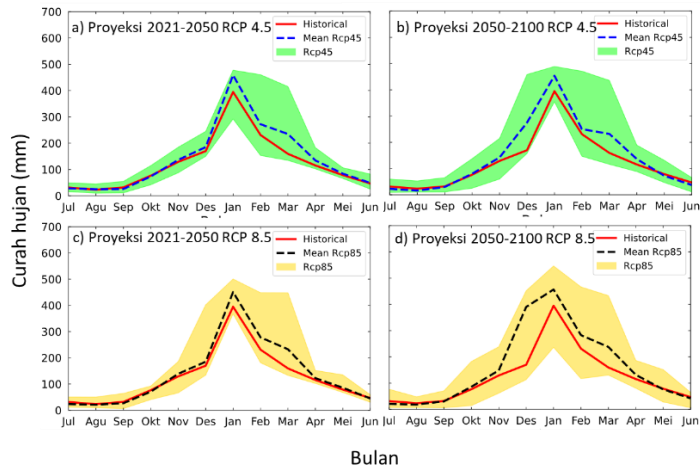


**Gambar 8.** Rasio temperatur periode proyeksi/temperatur periode baseline untuk 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d). Skenario 4.5 (a dan b) dan skenario 8.5 (c dan d).

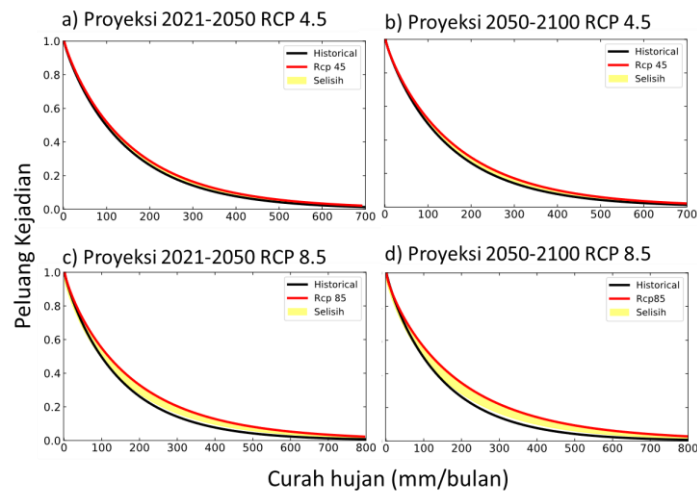
Namun demikian, beberapa model skenario RCP 4.5 menunjukkan adanya peluang terjadi penurunan. Lain halnya pada skenario RCP 8.5, dimana semua member berada di atas nilai hujan historis dan diperkirakan kondisi ekstrem pada periode sekarang bisa menjadi hal yang biasa terjadi di periode masa depan. Beberapa kajian dengan *ensemble* (Supari *et al.*, 2020, Tangang *et al.*, 2018 dan Ansari *et al.*, 2021), menunjukkan penurunan curah hujan di sebagian besar wilayah benua maritim. Namun demikian, keduanya mengkonfirmasi bahwa hujan ekstrem akan

berpotensi meningkat di masa akan datang. Rasio peningkatan curah hujan proyeksi terhadap curah hujan *baseline* dapat dilihat pada Gambar 12. Secara umum semua skenario menunjukkan adanya peningkatan curah hujan di setiap periode ulang. Namun demikian, beberapa member di skenario RCP 4.5 menghasilkan penurunan tingkat curah hujan. Berbeda dengan skenario RCP 8.5, member dengan nilai terendah secara umum berada di sekitar 100 %, yang artinya tingkat curah hujan ekstrem minimal sama dengan periode saat ini.

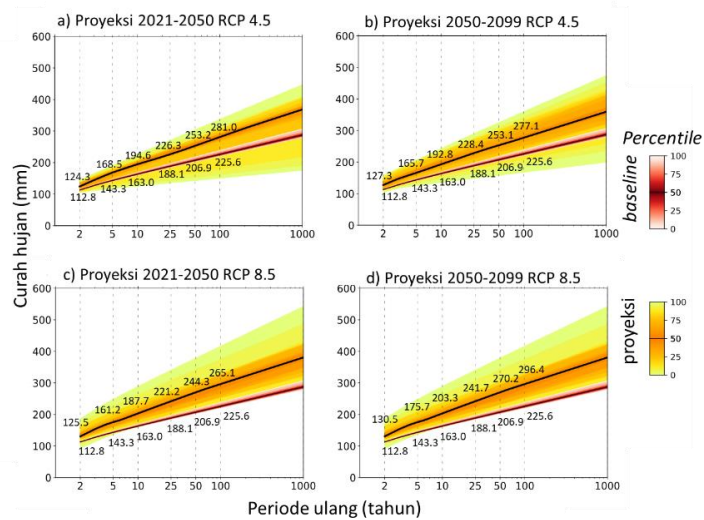




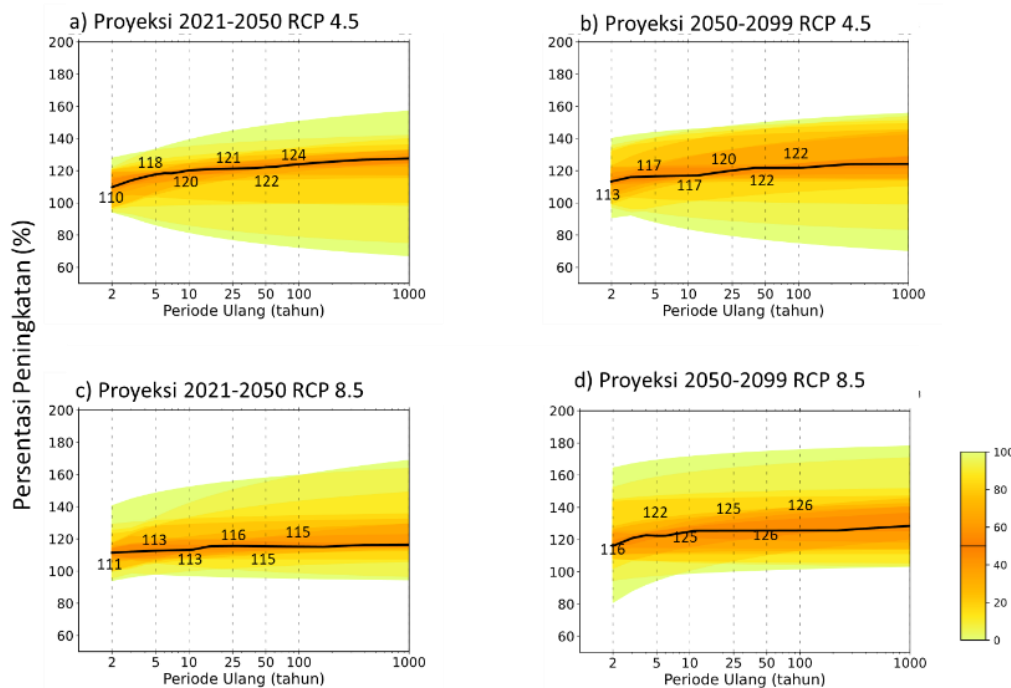
**Gambar 9.** Curah hujan bulanan periode baseline dan proyeksi untuk skenario RCP 4.5 (a dan b) dan RCP 8.5 (c dan d). Periode proyeksi 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d)



**Gambar 10.** Distribusi peluang kejadian untuk curah hujan di periode baseline dan proyeksi 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d). Skenario 4.5 (a dan b) dan skenario 8.5 (b dan d)



**Gambar 11.** Periode ulang untuk temperatur di periode baseline, periode proyeksi 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d). Skenario RCP 4.5 (a dan b) dan skenario RCP 8.5 (c dan d), namun untuk curah hujan



**Gambar 12.** Rasio temperatur periode proyeksi/temperatur periode baseline untuk 2021-2050 (a dan c) dan 2050-2100 (b dan d). Skenario 4.5 (a dan b) dan skenario 8.5 (c dan d), namun untuk curah hujan

## KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari kajian perubahan iklim di pesisir Jakarta baik dari kondisi temperatur maupun curah hujan pada periode ini dan masa yang akan datang. Kondisi iklim saat ini menggambarkan pola temperatur tahunan yang memiliki dua puncak di bulan Mei dan November. Kondisi temperatur sudah mengindikasikan adanya tren kenaikan temperatur, yaitu  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 47 tahun ( $0,23\text{ }^{\circ}\text{C}$  per dekade). Karakteristik iklim curah hujan menunjukkan bahwa daerah ini memiliki pola musonal dengan puncak hujan terjadi antara Desember-Februari. Berdasarkan model perubahan iklim, baik skenario emisi RCP 4.5 (skenario emisi menengah) dan RCP 8.5 (skenario emisi tinggi) perubahan iklim berdampak pada perubahan temperatur dan curah hujan di masa yang akan datang, yaitu temperatur berpotensi naik antara  $0,5 - 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  di tahun 2050 dan  $1-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  di tahun 2100. Kenaikan curah hujan terutama di musim-musim basah, bahkan dapat mempercepat awal dan memperlama durasi musim hujan. Rata-rata dari 21 model iklim menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem berpotensi naik antara 15-26 % pada periode ulang 100 tahunan dari kondisi saat ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim editor dan penelaah yang telah memberikan kritik dan saran secara konstruktif untuk nilai tambah makalah ini. Sebagian dari penelitian ini juga didanai oleh program PPMI ITB 2021.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. & Susanto, R.D., 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23:1435–1452. doi: 10.1002/joc.950
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. & Vazquez-Aguirre, J.L., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111:1-22. doi: 10.1029/2005JD006290

- Ansari, A., Lin, Y.P. & Lur, H.S., 2021. Evaluating and adapting climate change impacts on rice production in Indonesia: A case study of the Keduang Subwatershed, Central Java. *Environments* 8(11):p117. doi: 10.3390/environments8110117
- de Bono, A. & Mora, M.G., 2014. A global exposure model for disaster risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 10: 442–451. doi : 10.1016/j.ijdr.2014.05.008
- Ekstrom, M., Grose, M.R. & Whetton, P.H. 2015. An appraisal of downscaling methods used in climate change research. *Climatic Change*, 6: 301–319. doi: 10.1002/wcc.339
- ENES, 2016. European Network for Earth System Modelling [WWW Document]. CMIP5 Models and Grid Resolution. URL <https://portal.enes.org/data/enes-model-data/cmip5/resolution> (accessed 6.10.21).
- Firman, T. 2009. The continuity and change in mega-urbanization in Indonesia: A survey of Jakarta–Bandung Region (JBR) development. *Habitat Internasional*, 33:327–339. doi: 10.1016/j.habitatint.2008.08.005
- Inomata, H., Takeuchi, K. & Fukami, K., 2011. Development of statistical bias correction method for daily precipitation data GCM20. *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser. B1 (Hydraulic Engineering)* 67:I\_247-I\_252. doi: 10.2208/jscejhe.67.I\_247
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex dan P.M. Midgley (eds.). ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson. ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kaufmann, R.K., Kauppi, H., Mann, M.L. & Stock, J.H., 2011. Reconciling anthropogenic climate change with observed temperature 1998–2008, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. doi: 10.1073/pnas.1102467108
- Klein-Tank, A.M.G. & Konnen, G.P., 2003. Trends indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe. *Journal of Climate*, 16:3665–3680. doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2
- Koppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate, in: Koppen, W., Geiger, G. (Eds.), *Handbuch Der Klimatologie*. Borntraeger, Berlin, pp. 1–44.
- Marwanta, B., 2003. Dampak bencana pada reklamasi Pantai Utara Jakarta. *Jurnal Alami*, 8:47–53.
- Meehl, G.A., Zwiers, F., Evans, J. & Knutson, T., 2000. Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *The Bulletin of the American Meteorological Society*, 81:427–436. doi: 10.1175/1520-0477(2000)081<0427:TIEWAC>2.3.CO;2
- Nazarenko, L., Schmidt, G.A., Miller, R.L., Tausney, N., Kelley, M., Ruedy, R., Russel, G.L., Aleinov, I., Bauer, M., Bauer, S., Bleck, R., Canuto, V., Cheng, Y., Clune, T.L., Del Genio, A.D., Faluvegi, G., Hansen, J.E., Healy, R.J., Kiang, N.Y., Koch, D., Lacis, A.A., LeGrande, A.N., Lerner, J., Lo, K.K., Menon, S., Oinas, V., Perlwitz, J., Puma, M.J., Rind, D., Romanou, A., Sato, M., Shindell, D.T., Sun, S., Tsigaridis, K., Unger, N., Voulgarakis, A., Yao, M.S. & Zhang, J., 2015. Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2. *Journal of Advances in Modeling Earth System*, 7:244–267. doi: 10.1002/2014MS000403
- Ngai, T.N., Tangang, F. & Juneng, L. 2017. Bias correction of global and regional simulated daily precipitation and surface mean temperature over Southeast Asia using quantile mapping method. *Global and Planetary Change*, 149:79–90. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.12.009
- Rahayu, H.P., Haigh, R., Amaratunga, D., Kombaitan, B., Khoirunnisa, D. & Pradana, V. 2020. A micro scale study of climate change adaptation and disaster risk reduction in coastal urban strategic planning for the Jakarta. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 11:119–133. doi: 10.1108/IJDRBE-10-2019-0073
- Rahmatullah, 2017. Dinamika kependudukan di Ibukota Jakarta (deskripsi perkembangan

- kuantitas, kualitas dan kesejahteraan penduduk di DKI Jakarta). *Genta Mulia*, 8:54–67.
- Riawan, E., Hadi, T.W., Kardhana, H., Mihadja, D. & Sapiee, B., 2018. The diurnal and semidiurnal patterns of rainfall and its correlation to the stream flow characteristic in the Ciliwung Watershed, West Java, Indonesia. *Presented at the MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, Bandung*. doi: 10.1051/mateconf/201814703013
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C., Rawlins, S. & Imeson, A., 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *nature* 453:353–357. doi: 10.1038/nature06937
- Sa'adi, Z., Shahid, S., Chung, E.S. & bin Ismail, T., 2017. Projection of spatial and temporal changes of rainfall in Sarawak of Borneo Island using statistical downscaling of CMIP5 models. *Atmospheric Research*, 197:446–460. doi: 10.1016/j.atmosres.2017.08.002
- Samadikun, B.P. 2007. Dampak pertimbangan ekonomis terhadap tata ruang Kota Jakarta dan Bopunjur. *Jurnal Presipitasi*, 2:34–38.
- Satterthwaite, D. 2008. Climate change and urbanization: Effects and implications for urban governance. *In United Nations Expert Group meeting on population distribution, urbanization, internal migration and development (Vol. 24)*. DESA New York.
- Sperber, K.R., Annamalai, H., Kang, I.S., Kitoh, A., Moise, A., Turner, A., Wang, B. & Zhou, T., 2013. The Asian summer monsoon: an intercomparison of CMIP5 vs. CMIP3 simulations of the late 20th century. *Clim Dyn* 41:2711–2744. doi: 10.1007/s00382-012-1607-6
- Stern, D.I. & Kaufmann, R.K., 2014. Anthropogenic and natural causes of climate change. *Climatic Change*, 122:257–269. doi:10.1007/s10584-013-1007-x
- Supari, Tangang, F., Juneng, L., Cruz, F., Chung, J.X., Ngai, S.T., Salimun, E., Mohd, M.S.F., Santisirisomboon, J., Singhruck, P., Van, T.P., Ngo-Duc, T., Narisma, G., Aldrian, E., Gunawan, D. & Sopaheluwakan, A., 2020. Multi-model projections of precipitation extremes in Southeast Asia based on CORDEX-Southeast Asia simulations. *Environmental Research* 184: p.109350. doi: 10.1016/j.envres.2020.109350
- Tangang, F., Supari, S., Chung, J.X., Cruz, F., Salimun, E., Ngai, S.T., Juneng, L., Santisirisomboon, J., Santisirisomboon, J., Ngo-Duc, T., Phan-Van, T., Narisma, G., Singhruck, P., Gunawan, D., Aldrian, E., Sopaheluwakan, A., Nikulin, G., Yang, H., Remedio, A.R.C., Sein, D. & Hein-Griggs, D., 2018. Future changes in annual precipitation extremes over Southeast Asia under global warming of 2°C. *APN Science Bulletin* 8:3–8. doi: 10.30852/sb.2018.436
- Trzaska, S. & Schnarr, 2014. A Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections. African and Latin American Resilience to Climate Change (ARCC). United States: United States Agency for International Development by Tetra Tech ARD.
- UCAR, 2021. THREDDS Data Server 4.6. URL <https://ds.nccs.nasa.gov/thredds/catalog/bypass/NEX-GDDP/bcsd/catalog.html> (accessed 4.25.21).
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K. & Hurtt, G.C., 2011. The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 103, 5–31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z
- Yusuf, A.A. & Francisco, H., 2009. Climate change vulnerability mapping for southeast asia. Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA), Singapore.