

**PROYEKSI NERACA AIR DI WILAYAH
NUSA TENGGARA BARAT (NTB) BERDASARKAN LUARAN MODEL
CONFORMAL CUBIC ATMOSPHERIC MODEL (CCAM)
(THE PROJECTION OF WATER BALANCE
IN NUSA TENGGARA BARAT (NTB) BASED ON
CONFORMAL CUBIC ATMOSPHERIC MODEL (CCAM) OUTPUT)**

**Sinta Berliana Sipayung^{1,*}, Amalia Nurlatifah¹, Edy Maryadi¹, Indah Susanti¹, Bambang Siswanto¹,
Hidayatul Latifah¹, Muhammad Nafayest², Martono¹, dan Irfan Sudono³**

¹Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

²Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

³Balai Hidrologi dan Tata Air, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

*e-mail: s_berlianasipayung@yahoo.com

Diterima 28 April 2018; Direvisi 14 Agustus 2019; Disetujui 6 September 2019;

ABSTRACT

The Nusa Tenggara Barat (NTB) region consist of Lombok island and Sumbawa Island. It is located in the eastern part of Indonesia and has dry climate which effect on water availability. This happens due to low rainfall in every year so that there is a shortage of water sources. The current conditions of watersheds in Lombok and Sumbawa were found to be badly damaged. Climate change itself is projected to aggravate and contribute to the decrease of water resources in NTB. In this research, an analysis of the effect of climate change on water availability in NTB is done based on CCAM model (historical and RCP4.5 scenario) with 14 km resolution. The impacts of current and future climate change are analysed to support the economic growth of the NTB region. These analyses were done with observational data, re-analysis, CCAM model, and hydrological models. In-situ data we used was rainfall and temperature from 1994 to 2017. We also analysed CCAM model output data from 1994 to 2029. The model results were then validated using observation data. By using the composite, downscaling, regriding and water balance calculation methods, it was found that the correlation values in Mataram and Bima are 0.69 and 0.63, respectively. The results showed that the most frequent rainfalls that occurred in Bima and Mataram in 2018-2029 were 150 mm and 120 mm, respectively. Water balance graphic indicated that Bima and Mataram had surpluses in 2018-2029 when compared to 2006-2017. Therefore, it is necessary to optimize the operation of water reservoirs due to climate change impact in the future.

Keywords: *climate change, water resources, CCAM, water balance*

ABSTRAK

Nusa Tenggara Barat (NTB) terdiri atas Pulau Lombok dan Sumbawa. Wilayah NTB terletak di bagian Indonesia Timur mempunyai iklim kering dan berpengaruh terhadap ketersediaan air. Hal ini terjadi akibat curah hujan rendah setiap tahunnya sehingga kekurangan sumber air. Kondisi saat ini ditemukan bahwa jumlah DAS di Pulau Lombok dan Sumbawa mengalami kerusakan sangat tinggi. Perubahan iklim berdampak pada ketersediaan sumber daya air. Dalam penelitian kali ini dilakukan analisis pengaruh perubahan iklim terhadap ketersediaan air di NTB berdasarkan proyeksi model CCAM (histori dan RCP) dengan resolusi 14 km. Dampak perubahan

iklim saat ini dan akan datang dianalisis untuk mendukung pertumbuhan perekonomian wilayah NTB. Analisis ini dilakukan berbasis data observasi, re-analisis, model CCAM, dan model hidrologi. Data yang digunakan adalah data *in-situ* (1994-2017) berupa data curah hujan dan temperatur serta data hasil luaran model CCAM (1994-2029). Dengan menggunakan metode komposit, *downscaling*, *regridding*, serta perhitungan neraca air, maka diperoleh nilai korelasi di masing-masing tempat tersebut adalah 0,69 dan 0,63. Dari hasil analisis diketahui bahwa curah hujan yang paling sering turun di Bima adalah 150 mm pada tahun 2018-2029, sedangkan di Mataram adalah 120 mm. Berdasarkan grafik distribusi frekuensi neraca air, di Mataram dan Bima akan mengalami surplus pada tahun 2018-2029 jika dibandingkan dengan tahun 2006-2017. Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya optimasi pola operasi waduk.

Kata kunci: *perubahan iklim, ketersediaan air, CCAM, neraca air*

1 PENDAHULUAN

Pemanasan global di 100 tahun terakhir ini telah menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata global telah meningkat sebesar $0,7^{\circ}\text{C}$ (1906-2005) (Solomon *et al.*, 2007). Pemanasan global menyebabkan peningkatan presipitasi yang menyebabkan banjir pada musim hujan dan terjadi peningkatan evapotranspirasi pada musim panas sehingga menyebabkan aliran permukaan menurun (Smith dan Tirpark, dalam Sudira, 2007).

Meningkatnya jumlah curah hujan dan suhu udara, khususnya di Indonesia, telah dibuktikan oleh peneliti sebelumnya (Hidayati, 1990; Bapenas, 2010). Hulme and Sheard (1999) menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan iklim di Indonesia yang ditandai dengan meningkatnya suhu sekitar $0,3^{\circ}\text{C}$ dan menurunnya curah hujan tahunan sekitar 2–3%.

Perubahan iklim telah berdampak pada proses hidrologi dan sumber daya air. Hal ini menimbulkan tantangan yang besar untuk pengelolaan sumber daya air berkelanjutan (Mileham *et al.*, 2009). Perubahan iklim selama beberapa dekade terakhir ini menunjukkan bahwa pola dan intensitas curah hujan lebih basah di lintang tengah belahan bumi utara dan lebih kering di bagian tropis dan sub tropis belahan bumi utara (Zhang *et al.*, 2007).

Curah hujan yang deras telah meningkat di sebagian besar daerah, sedangkan wilayah yang sangat kering telah meluas lebih dari dua kali lipat sejak tahun 1970an. Tank *et al.* (2009) menyatakan bahwa suhu udara pada tahun 2100 akan mengalami peningkatan sebesar $1,1-6,4^{\circ}\text{C}$ lebih tinggi dari pada tahun 1900, disertai perubahan jumlah intensitas curah hujan.

Berdasarkan proyeksi iklim regional terdapat perubahan curah hujan dan peningkatan suhu di wilayah Nusa Tenggara Barat (McGregor *et al.*, 2016). Parameter iklim (suhu dan presipitasi) diprediksikan akan berubah yang berpengaruh terhadap kualitas maupun kuantitas air di masa mendatang. Hal ini akan mempengaruhi sektor sumber daya air (Duran *et al.*, 2017). Perubahan iklim memberikan dampak yang signifikan terhadap sumber air di Indonesia karena meningkatnya frekuensi banjir dan kekeringan.

Secara umum terlihat bahwa dampak dari perubahan iklim adalah adanya peningkatan suhu. Peningkatan suhu akan berpotensi terhadap meningkatnya permintaan konsumsi air yang selanjutnya dapat mengakibatkan penurunan kadar air tanah sehingga rentan terhadap sumber daya air. Kegagalan sistem sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan dan

permintaan air akan berpengaruh terhadap ketersediaan air (Orville, AMS, 2004).

Sumber daya air merupakan faktor utama yang menghambat pembangunan (Chen *et al.*, 2013). Oleh karena itu, memproyeksikan dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air di masa depan sangat diperlukan untuk memenuhi permintaan konsumen, khususnya di Indonesia. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan keseimbangan air tanah dipengaruhi oleh ketersediaan air, curah hujan, dan evapotranspirasi (UNDP, 2007).

Dampak dari perubahan iklim terhadap sumber daya air telah diselidiki secara luas, yaitu dengan mempelajari hubungan antara suhu rata-rata tahunan, curah hujan, dan evapotranspirasi untuk 38 hutan di daerah aliran sungai (DAS). Hasil penelitian menyimpulkan bahwa perubahan iklim mengurangi limpasan secara signifikan (Hodgkins *et al.*, 2003).

Banyak penelitian tentang dampak perubahan iklim terhadap hidrologi yang pada umumnya mengadopsi luaran dari model sirkulasi umum (GCM) dan model hidrologi untuk menilai dampak perubahan iklim terhadap potensi sumber daya air. Namun, simulasi hidrologi untuk daerah gersang dan semi kering masih merupakan tantangan bagi para ahli hidrologi karena mekanisme hasil limpasannya yang begitu kompleks. Oleh karena itu, sangat penting untuk memilih model hidrologi yang sesuai untuk daerah kering (Zhang *et al.*, 2007). Selain itu, yang perlu diperhatikan dalam menganalisis tren statistik serta model aliran sungai adalah respon infrastruktur vegetasi, variabilitas iklim, dan perubahan dalam penggunaan air serta perilaku manusia.

Sumber air di daerah tangkapan air tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan iklim, tetapi juga oleh aktivitas manusia (Wang *et al.*, 2005).

Interaksi antara iklim, aktivitas manusia, dan sumber air adalah bagian penting dari sistem iklim yang mempengaruhi tata ruang dan variabilitas sumber air secara temporal di daerah aliran sungai (Ren, 2011).

Beberapa kajian memperlihatkan bahwa perubahan iklim rentan terhadap adanya kekeringan panjang yang menimpa masyarakat yang bersumber pada besarnya jumlah penduduk dan kondisi geografis (dataran tinggi) yang menyebabkan ketersediaan air berkurang dengan cepat (Peterson and Haug, 2005). Yang menjadi permasalahan adalah bahwa kualitas dan produksi air dari ketersediaan sumber daya air sudah cukup memprihatinkan akibat perubahan tata guna lahan. Perubahan iklim di daerah tangkapan hujan/air mengakibatkan menurunnya cadangan air dan muka air tanah sehingga terjadi penurunan ketersediaan air (Delpla *et al.*, 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air di masa yang akan datang di Nusa Tenggara Barat/NTB (Mataram dan Bima).

2 METODOLOGI

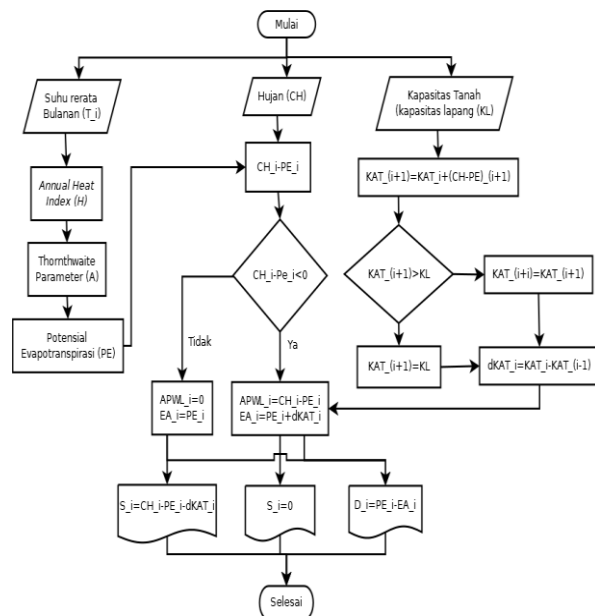
2.1 Lokasi dan Data

Data yang digunakan terdiri dari data curah hujan dan data klimatologi wilayah NTB (Mataram dan Bima) dari tahun 1994 s.d 2017. Selain itu, digunakan pula data estimasi curah hujan berbasis satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), CCAM (*Conformal Cubic Atmospheric Model*) yaitu histori (1994-2005), dan skenario RCP4.5 (*Representative Concentration Pathway 4.5 W.m⁻²*) (2006-2029). Pengolahan data dilakukan dengan *downscaling*, *regridding*, kemudian di divalidasi secara temporal maupun spasial.

2.3 Metode Penelitian

Untuk menghitung ketersediaan air digunakan metode Thornthwaite dan

Mather (1955) sebagai input jumlah curah hujan bulanan. Jika curah hujan > 100 mm berarti basah (surplus) dan jika besar curah hujan <100 mm berarti kering (defisit). Berikut adalah perhitungan model neraca air (Gambar 2-1).



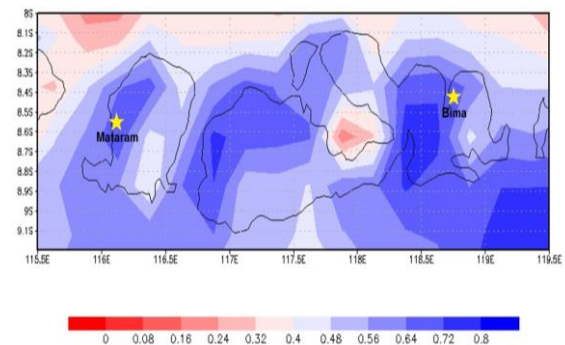
Gambar 2-1. Bagan alir model neraca air

Keterangan:

- T suhu bulanan
- CH akumulasi hujan bulanan
- KL kapasitas lapang
- KAT kandungan air tanah dengan i-1
- dKAT selisih KAT bulan i dengan i-1
- I bulan
- APWL akumulasi potensial kehilangan air untuk penguapan
- EA Evapotraspirasi Aktual
- D defisit
- S surplus

3 HASIL PEMBAHASAN

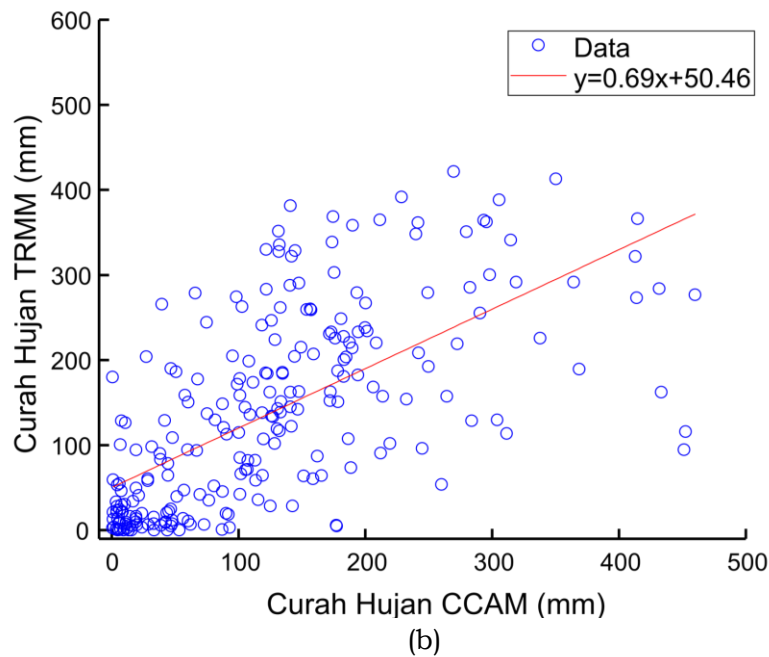
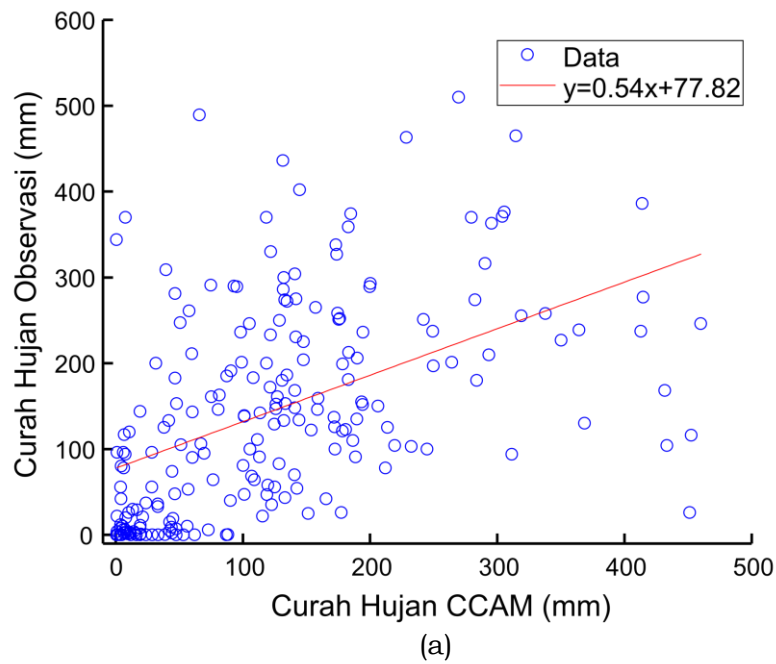
Untuk mengetahui variabilitas iklim secara temporal dan spasial perlu menggunakan data *in-situ* (pengamatan) untuk jangka waktu yang panjang. Namun, terbatasnya data *in-situ* terkait parameter meteorologi, maka dilakukan ekstraksi data satelit dan data luaran model CCAM untuk memperoleh data klimatologi.



Gambar 3-1: Peta Korelasi TRMM dan CCAM di NTB (2010-2017)

Data CCAM dengan resolusi spasial 14 km, terutama di daerah dengan kondisi geografi berupa pegunungan, bervariasi secara signifikan (McGregor *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perlu dilakukan korelasi antara data *in-situ* dan data satelit TRMM dengan luaran model CCAM pada tahun 2010-2017. Adapun, nilai korelasi yang diperoleh adalah 0,69 untuk Mataram dan 0,63 untuk Bima seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3-1.

Hasil ekstraksi data satelit dibandingkan dengan CCAM dan data *in-situ*. Diagram pencar curah hujan berbasis CCAM dan *in-situ* menunjukkan penyebaran yang cukup linier, tetapi acak (Gambar 3-2. a). Hal yang sama juga terjadi pada diagram pencar hujan CCAM dan TRMM (Gambar 3-2. b).



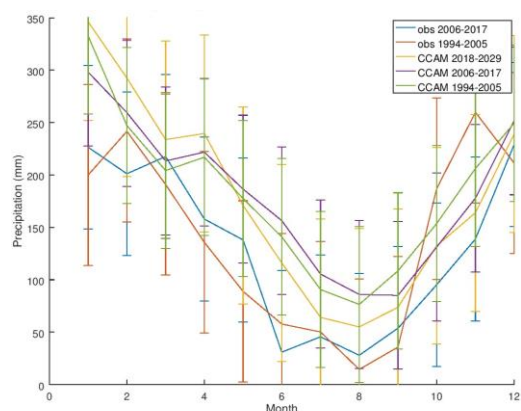
Gambar 3-2: Diagram pencar curah hujan berbasis CCAM dan *in-situ* (a), CCAM dan TRMM (b).

Wilayah NTB secara garis besar dipengaruhi oleh pola hujan musonal. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan komposit curah hujan pada periode 10 tahun (Gambar 3-3). Dengan menggunakan data histori dan skenario yang dibagi menjadi empat periode serta perbandingan data observasi, diperoleh hasil bahwa data curah hujan CCAM menunjukkan *overestimate* di Mataram, sedangkan di

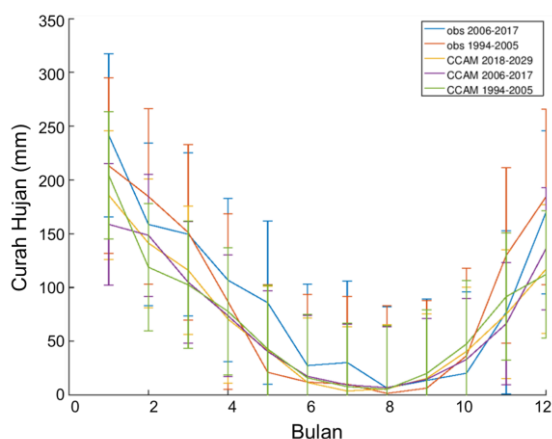
Bima hasilnya *underestimate* terhadap nilai observasi.

Untuk mengetahui perubahan pola curah hujan berdasarkan luaran CCAM, dilakukan analisis perubahan curah hujan berdasarkan periode per-10 tahun diantaranya untuk tahun 1994-2005, 2006-2017, dan 2018-2029. Gambar 3-3 memperlihatkan adanya perubahan pola curah hujan untuk masing-masing periode.

Pada hasil *running* CCAM di Mataram, tampak terlihat bahwa pada musim DJF, curah hujan menurun sebesar 37,21 mm, sedangkan pada musim JJA curah hujan naik perperiode dengan kenaikan sekitar 4,53 mm (Gambar 3-3a). Sementara di Bima, curah hujan terus menurun pada setiap periodenya. Meski demikian, penurunannya tidak terlalu signifikan dan hanya mencapai sekitar 0,45 mm di JJA dan 16,96 mm di DJF (Gambar 3-3b).



(a)



(b)

Gambar 3-3: Pola curah hujan rata-rata CCAM dan observasi di (a) Mataram dan Bima (b) (NTB).

Hal yang serupa dilakukan untuk data temperatur hasil luaran CCAM dan observasi. Hasil luaran model menunjukkan bahwa dalam periode 10 tahunan temperatur di Mataram dan Bima pada tahun 1994 hingga 2029

semakin meningkat. Peningkatan temperatur secara periodik sekitar 0,5-1°C. Hal ini diindikasikan bahwa perubahan iklim sudah terjadi yang ditandai dengan semakin meningkatnya temperatur permukaan secara global (IPCC 2007) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4.

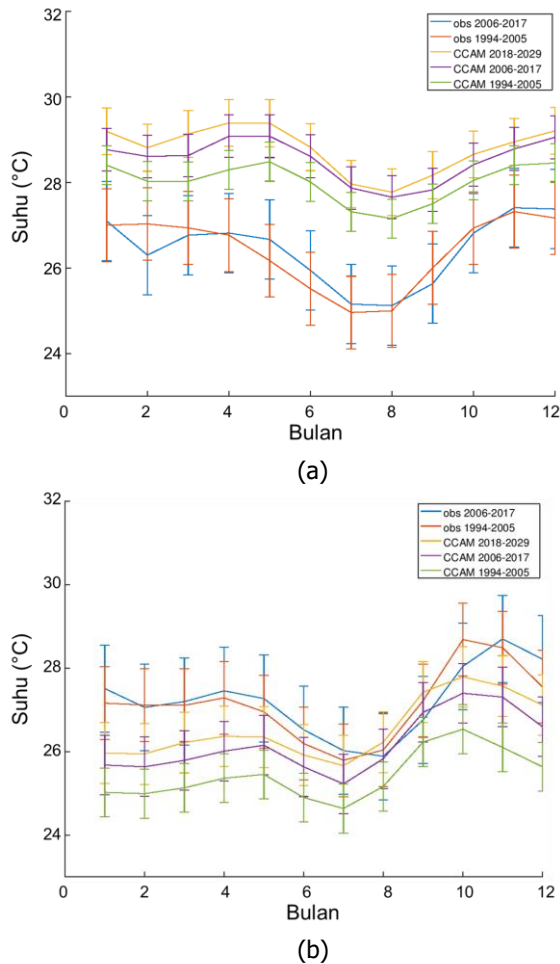
Pada grafik komposit temperatur di Mataram terlihat bahwa data CCAM cenderung *overestimate* jika dibandingkan dengan data observasi. Pada tahun 1994-2005, temperatur permukaan hasil model sebesar 27°C-28°C, sedangkan pada tahun 2006-2017 nilainya meningkat sekitar 0,5 °C menjadi sekitar 27,5-28,5°C. Temperatur terus meningkat sebesar 0,5°C hingga periode 2029 dengan nilai temperatur maksimal mencapai 31°C (Gambar 3-4a).

Berdasarkan Gambar 3-4b yang menunjukkan grafik komposit temperatur di Bima terlihat bahwa data CCAM cenderung *underestimate* jika dibandingkan dengan data observasi. Pada tahun 1994-2005 temperatur permukaan hasil luaran CCAM sekitar 25°C-26°C, sedangkan pada tahun 2006-2017 nilainya meningkat sebesar 1°C menjadi sekitar 26-27,5°C. Peningkatan temperatur sebesar 0,5°C terus terjadi hingga periode 2029 dengan nilai temperatur maksimum mencapai 29°C.

Terdapat perbedaan kondisi curah hujan dan temperatur antara Mataram dan Bima. Perbedaan kondisi tersebut kemungkinan disebabkan adanya perbedaan kondisi topografi diantara keduanya dimana Mataram merupakan daerah perkotaan dengan topografi cukup tinggi, sedangkan Bima mempunyai topografi rendah.

Umumnya perubahan iklim akan berdampak pada peningkatan suhu secara global dan cenderung menyebabkan peningkatan potensi kejadian banjir ekstrem di Amerika Serikat. Hal ini disebabkan adanya peningkatan frekuensi badai ekstrem dan curah hujan lebat (Raj Singh dan

Singh, 2012). Pada kasus Bima dan Mataram, terlihat bahwa di masa mendatang (2018-2029) ada indikasi peningkatan temperatur hingga di atas 30°C pada bulan Januari hingga Mei (Gambar 3-4). Hal ini mengindikasikan terjadinya perubahan iklim di masa mendatang di Bima dan Mataram.



Gambar 3-4: Temperatur rata-rata bulanan CCAM dan observasi di (a) Mataram dan (b) Bima (NTB)

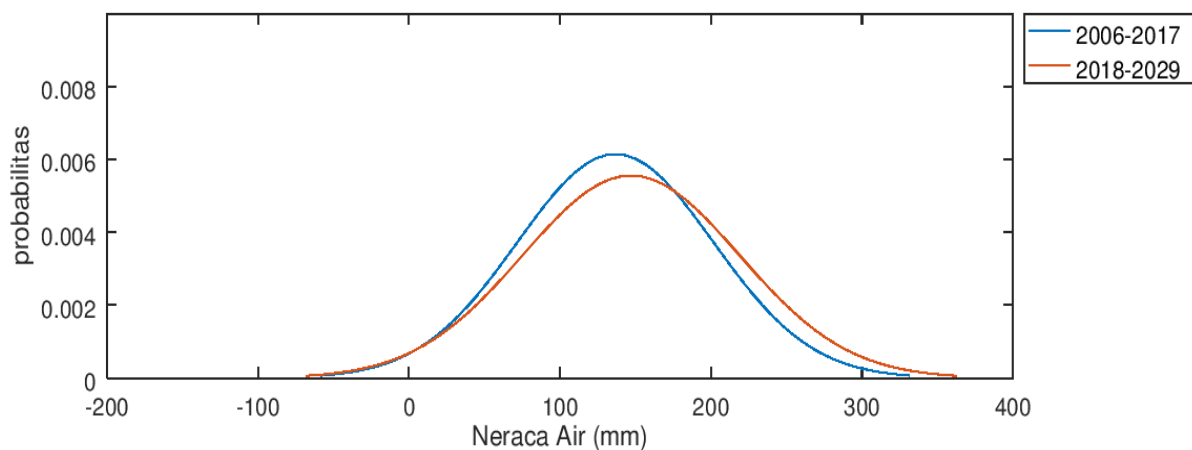
Berdasarkan plot distribusi frekuensi neraca air pada musim basah (Januari-Februari-Maret/JFM), dapat dilihat bahwa pada periode 2018-2029 diperkirakan bahwa *bell shape* bergeser ke arah kanan jika dibandingkan tahun 2006-2017 (Gambar 3-5a). Hal ini berarti nilai neraca air di periode 2018-2029 diperkirakan akan bertambah jika dibandingkan dengan periode 2006-2017 (Gambar 3-5a). Hal ini berarti pada periode 2018-2029 di musim

basah (JFM), neraca air di Mataram akan cenderung bertambah (surplus).

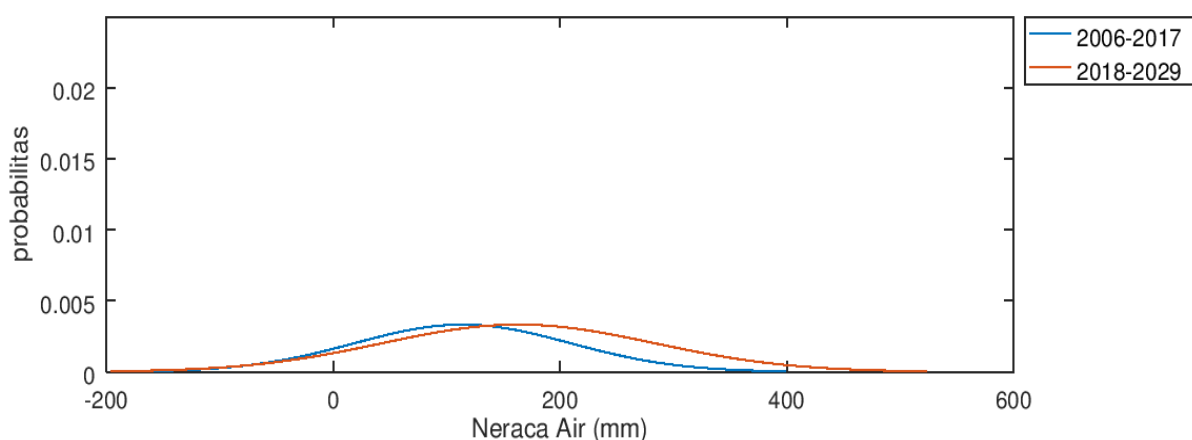
Namun demikian, nilai rata-rata neraca air atau puncak *bell shape* dari kurva frekuensi neraca air pada musim JFM diperkirakan akan berkurang. Hal ini berarti kejadian rata-rata cenderung akan berkurang frekuensinya dan kejadian ekstrem basah diperkirakan akan bertambah di Mataram pada 2018-2029 jika dibandingkan dengan tahun 2006-2017.

Untuk Bima, hal yang sama diperkirakan akan terjadi. Berdasarkan plot distribusi frekuensi neraca air pada musim basah (Januari-Februari-Maret/JFM) dapat dilihat bahwa pada periode 2018-2029 diperkirakan bahwa *bell shape* bergeser ke arah kanan jika dibandingkan tahun 2006-2017 (Gambar 3-5b). Hal ini berarti nilai neraca air di periode 2018-2029 diperkirakan akan meningkat jika dibandingkan dengan periode 2006-2017 (Gambar 3-5a). Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada periode 2018-2029 di musim basah (JFM) neraca air di Bima akan cenderung bertambah (surplus). Namun demikian, nilai rata-rata neraca air atau puncak *bell shape* dari kurva frekuensi neraca air pada musim JFM diperkirakan akan bertambah, namun tidak terlalu signifikan (Gambar 3-5b). Hal ini menandakan kejadian rata-rata cenderung akan bertambah tidak terlalu signifikan frekuensinya dan kejadian ekstrem basah diperkirakan akan bertambah di Bima pada 2018-2029 jika dibandingkan dengan tahun 2006-2017.

Pada umumnya neraca air di Bima jika dibandingkan dengan Mataram mempunyai *range* atau jarak nilai neraca air yang besar dengan nilai maksimum mencapai 400 mm dan nilai minimum mencapai -200 mm (Gambar 3-5b). Variabilitas curah hujan dapat berpengaruh besar pada kondisi ketersediaan air yang mampu mengubah kondisi ketersediaan air di suatu daerah (Danodia, 2015).



(a)

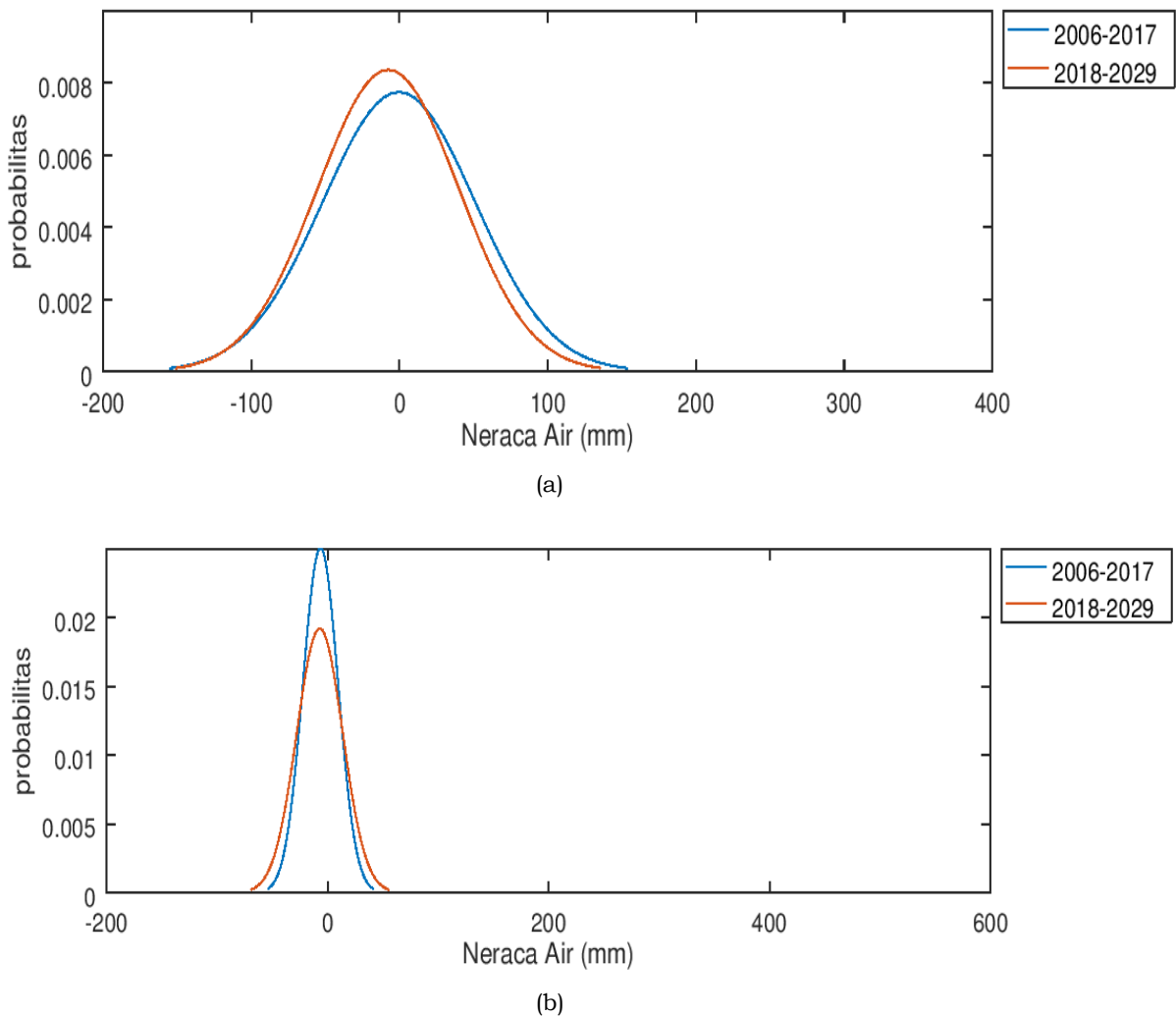


(b)

Gambar 3-5: Distribusi probabilitas neraca air pada musim JFM (a) di Mataram (b) di Bima.

Berdasarkan plot distribusi frekuensi neraca air pada musim kering (Juni-Juli-Agustus/ JJA) dapat dilihat bahwa pada periode 2018-2029 diperkirakan puncak *bell shape* meruncing dan bergeser ke arah kiri jika dibandingkan tahun 2006-2017 (Gambar 3-6a). Hal ini berarti nilai rata-rata neraca air di periode 2018-2029 diperkirakan akan berkurang jika dibandingkan dengan periode 2006-2017 dengan frekuensi yang lebih meningkat (Gambar 3-6a). Kondisi ini menandakan bahwa pada periode 2018-2029 di musim kering (JJA) neraca air di Mataram akan cenderung berkurang (defisit).

Untuk Bima, berdasarkan plot distribusi frekuensi neraca air pada musim kering (Juni-Juli-Agustus/ JJA) dapat dilihat bahwa pada periode 2018-2029 diperkirakan *bell shape* akan melandai jika dibandingkan tahun 2006-2017 (Gambar 3-6b). Hal ini berarti probabilitas frekuensi rata-rata nilai neraca air di periode 2018-2029 diperkirakan akan menurun (defisit) jika dibandingkan dengan periode 2006-2017 (Gambar 3-6a). Hal ini mengindikasikan pada periode 2018-2029 pada musim kering (JJA) neraca air di Bima akan sedikit mengalami basah (surplus) dan kering (defisit).



Gambar 3-6: Distribusi probabilitas neraca air pada musim JJA (a) di Mataram (b) di Bima

4 KESIMPULAN

Dengan menggunakan skenario perubahan iklim RCP4.5 menunjukkan terjadi perubahan curah hujan periode DJF di Mataram dengan penurunan curah hujan sekitar 37,21 mm. Pada musim JJA berdasarkan proyeksi curah hujan akan naik sekitar 4,53 mm. Sementara di Bima, curah hujan diproyeksikan akan terus menurun pada setiap periodenya. Meski demikian, penurunannya tidak terlalu signifikan dan hanya mencapai sekitar 0,45 mm di JJA dan 16,96 mm di DJF. Baik di Bima maupun di Mataram diproyeksikan akan terjadi peningkatan suhu secara periodik per-sepuluh tahun hingga tahun 2029, yaitu sekitar 0,5-1 °C. Pada musim basah (JFM) diperkirakan neraca

air di Mataram dan Bima pada kurun 2018-2029 akan cenderung bertambah basah jika dibandingkan pada kurun waktu 2006-2017, sedangkan probabilitas frekuensi rata-rata atau kejadian rata-ratanya cenderung akan berkurang. Pada musim basah (JFM) nilai neraca air di Bima cenderung memiliki *range* lebih besar jika dibandingkan dengan Mataram. Pada musim kering (JJA) di Mataram nilai rata-rata neraca air pada periode 2018-2029 diperkirakan akan berkurang jika dibandingkan dengan periode 2006-2017 dengan frekuensi yang lebih meningkat. Sementara itu, nilai neraca air di Bima cenderung menurun pada tahun 2018-2029 jika dibandingkan dengan 2006-2017.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains dan Teknologi atmosfer atas bantuan baik secara moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bappenas, 2010. *Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap- ICCSR: Basis Sintifik: Analisis dan Proyeksi Kenaikan Muka Laut dan Cuaca Ekstrim*, edited by Bappenas, Republik Indonesia.
- Chen, J., F.P. Brissette, D. Chaumont, dan M. Braun, 2013. *Finding Appropriate Bias Correction Methods in Downscaling Precipitation for Hydrologic Impact Studies over North America*, Water Resour. Res., 49, 4187–4205, doi:10.1002/wrcr.20331.
- Danodia, A., 2013. *Global Warming & Regional Climate Change: Impact on Water Resources and Agriculture in Chhattisgarh State*, Thesis Of Department of Agrometeorology College of Agriculture, Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya
- Delpla, I., A.V. Jung, E. Baures, M. Clement, dan O. Thomas, 2009. *Impacts of Climate Change on Surface Water Quality in Relation to Drinking Water Production*, Environment International, 35, 1225–1233.
- Duran E.J.A., A. Paucar-Caceres, E.R. Bandalaa, dan G.H. Wright, 2017. *The Impact of Global Climate Change on Water Quantity and Quality: A System Dynamics Approach to the US–Mexican Transborder Region*, European Journal of Operational Research, 256, 567–581.
- Hidayati, R., 1990. *Kajian Iklim Kota Jakarta, Perubahan dan Perbedaan dengan Daerah Sekitarnya*, Thesis Program Studi Agroklimatologi, Institut Pertanian Bogor.
- Hulme, M. dan N. Sheard, 1999. *Climate Change Scenarios for Indonesia*, Climatic Research Unit, Norwich, UK, 6 pp.
- Hodgkins, G.A., R.W. Dudley, dan T.G. Huntington, 2003. *Changes in the Timing of High River Flows in New England over the 20th Century*, Journal of Hydrology, 278, 244–252.
- McGregor, J.L., K.C. Nguyen, D.G. Kirono, dan J.J. Katzfey, 2016. *High-Resolution Climate Projections for the Islands of Lombok*, Climate Risk Management, 12 (2016), 32–44.
- Mileham, L, R.G. Taylor, M. Todd, J. Thompson, dan C. Tindimugaya, 2009. *Climate Change Impacts on the Terrestrial Hydrology of a Humid, Equatorial Catchment: Sensitivity of Projections to Rainfall Intensity*, Hydrological Sciences Journal, 54 (4) pp. 727–738, 10.1623/hysj.54.4.727.
- Orville, H.D., 1990. *American Meteorological Society (AMS) Statement on Meteorological Drought*, Bull. Am. Meteorol. Soc., 85 (2004), pp. 771–773.
- Peterson, L. dan G. Haug, 2005. *Climate and the Collapse of Maya Civilization: A Series of Multi-year Droughts Helped to Doom an Ancient Culture*, Sigma Xi, The Scientific Research Society, diakses tanggal 25 Februari 2009 dari situs 36 <http://www.americanscientist.org/issues/num2/2005/4/climate-and-the-collapse-of-maya-civilization/1>.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, 2012. *Potensi Ketersediaan Air pada Wilayah Sungai di Indonesia*, Badan Litbang Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Singh, B.R. dan O. Singh, 2012. *Study of Impacts of Global Warming on Climate Change: Rise in Sea Level and Disaster Frequency*, Global Warming – Impacts and Future Perspective, InTech Publishing, DOI: 10.5772/ 50464.
- Ren, Y.Z., 2011, *The Influence of Climate Change and Human Activities on Basin Water Resources and Cases Study*, Dalian University of Technology doctoral dissertation, pp 5–21.
- Smith, J.B. dan D.A. Tirpark, 1988. *Potential Effects of Global Climate Change on the United States*, Vol. 2, National studies.
- Solomon, S., D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, dan H.L. Miller (editors), 2007. *Climate*

- Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Tank, A.M.G., F.W. Zwiers, dan X. Zhang, 2009. *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation*, Climate Data and Monitoring, WCDMP-No. 72, World Meteorological Organization, WMO-TD No. 1500.
- Thornthwaite, C.W. dan J.R. Mather, 1995. *The Water Balance*, Climatology, VIII (1), New Jersey, NJ, pp. 1–37.
- UNDP (United Nation Development Programme), 2007. *Human Development Report, Fighting Climate Change – Human Solidarity in a Divided World*, UNDP, New York.
- Wang, H., Y.W. Jia, J.H. Wang, dan D.Y. Qin, 2005. *Evolutionary Laws of the Yellow River Basin's 20 Water Resources under the Impact of Human Activity*, J. Nat. Resour., 20, 157–162.
- Wang, X., Y. Luo, L. Sun, dan Y. Zhang, 2015. *Assessing the Effects of Precipitation and Temperature Changes on Hydrological Processes in a Glacier - Dominated Catchment*, Hydrological Processes, First published: 8 May 2015, <https://doi.org/10.1002/hyp.10538>.
- Zhang, X., F.W. Zwiers, G.C. Hegerl, F.H. Lambert, N.P. Gillett, S. Solomon, P.A. Stott, dan T. Nozawa, 2007. *Detection of Human Influence on Twentieth-Century Precipitation Trends*, Nature 448, 461–465, doi: 10.1038/nature06025.

