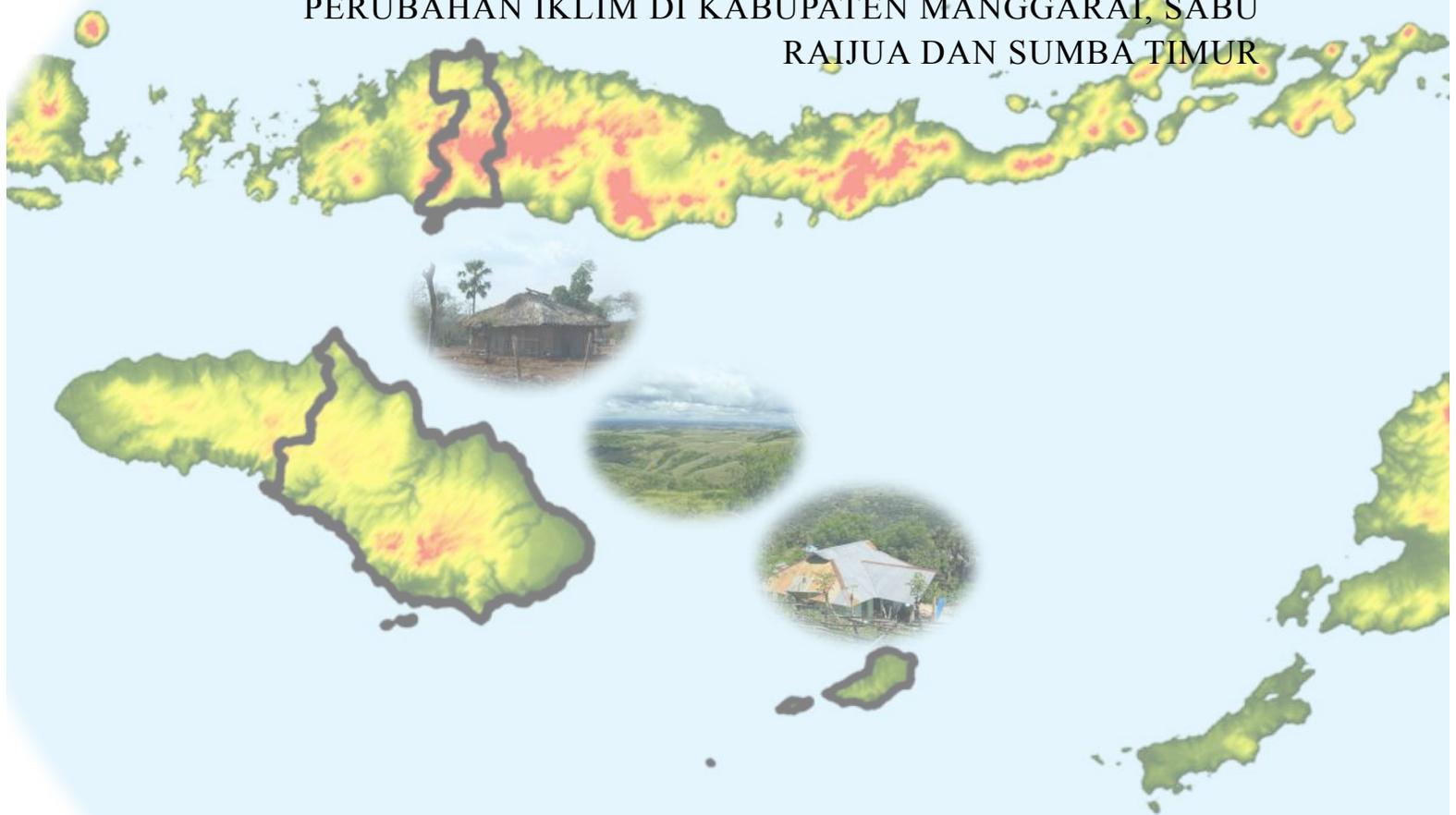




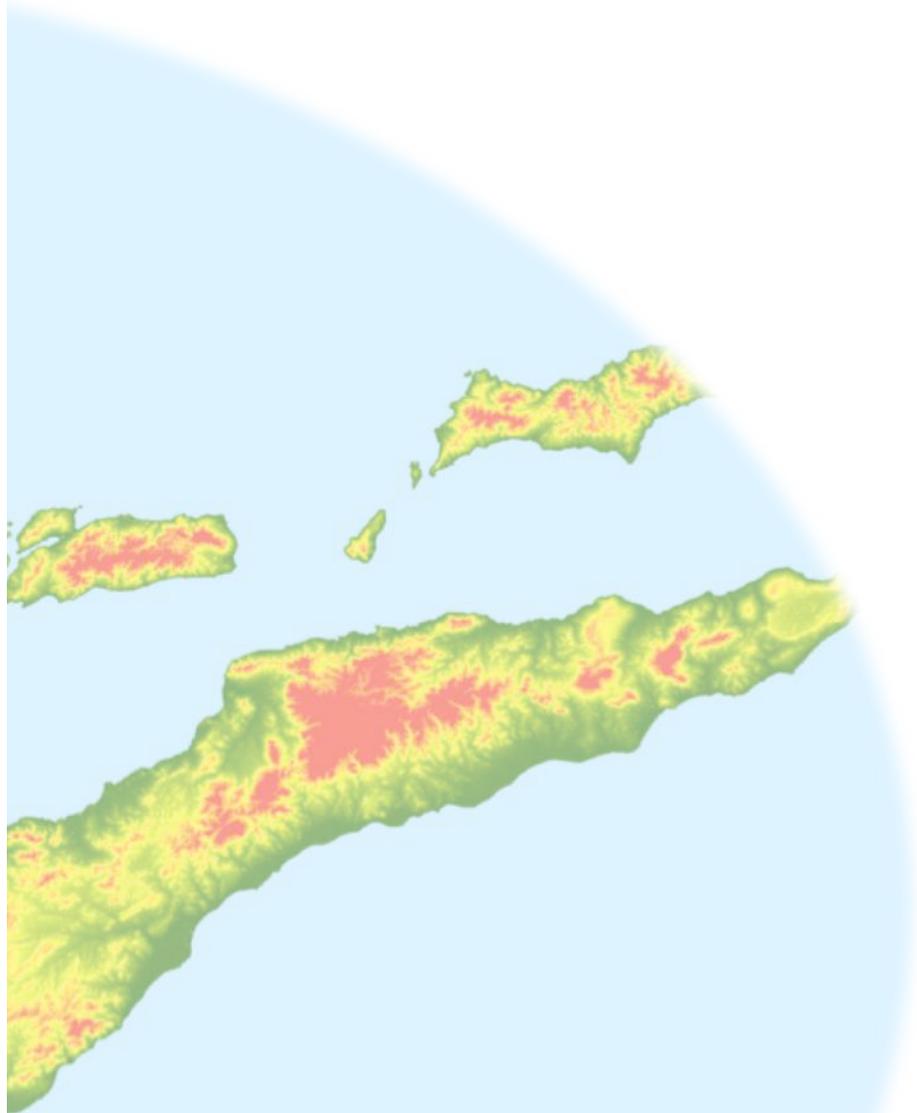
# KERAGAMAN DAN PERUBAHAN IKLIM DI NUSA TENGGARA TIMUR

ANALISIS KONDISI IKLIM HISTORIS DAN PROYEKSI  
PERUBAHAN IKLIM DI KABUPATEN MANGGARAI, SABU  
RAIJUA DAN SUMBA TIMUR



Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan  
Pemerintah Daerah Propinsi Nusa Tenggara Timur  
Climate Risk and Opportunity Management Southeast Pacific, Institut Pertanian Bogor  
United Nation Development Program

2015



Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim  
Gedung Manggala Wanabhakti Blok Wing A, Lantai 4  
Jalan Gatot Subroto  
Senayan, Jakarta Pusat  
Telp/ Fax  
[adaptation.moe.id@gmail.com](mailto:adaptation.moe.id@gmail.com)/ [adaptasi.menlh.go.id](http://adaptasi.menlh.go.id)

CCROM SEAP Institut Pertanian Bogor  
Gedung Fisik dan Botani Lantai 2  
Kampus IPB Baranangsiang  
Jalan Padjajaran no 1 16143  
Telp/ Fax: +62 251 8313709/ +62 251 8310779  
[ccromseap.ipb.ac.id](http://ccromseap.ipb.ac.id)

# **Keragaman dan Perubahan Iklim di Nusa Tenggara Timur**

Analisis Kondisi Iklim Historis dan Proyeksi Perubahan Iklim di Kabupaten Manggarai, Sabu Raijua dan Sumba Timur

**Pengarah:**

Arief Yuwono (*Deputi Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim, KLHK*)

**Penanggung Jawab:**

Sri Tantri Arundhati (*Asisten Deputi Adaptasi Perubahan, KLHK*)  
Wayan Darmawa (*Kepada Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Propinsi NTT*)

**Penulis Utama:**

Akhmad Faqih  
Syamsu Dwi Jadmiko, SSi.  
Apolinaris S. Geru, Sp. MSi.

**Editor:**

Tri Widayati  
Arif Wibowo  
Verania Andria

## EXECUTIVE SUMMARY

A study on the scientific basis of climate variability and change in Nusa Tenggara Timur (NTT) Province has been conducted. This study aimed to provide detailed analysis on historical climatic conditions and future climate change projections in the region with extra analysis focusing on three selected districts, i.e. Manggarai, Sabu Raijua and Sumba Timur Districts. It is emphasized at local level and supported by both dynamical and statistical downscaling approaches of global climate model outputs (GCMs) for climate change projection studies. For historical data, this study combined observation record from climate stations and gridded global datasets.

Generally, historical data analysis showed that the climate variability over NTT is strongly affected by El Nino-Southern Oscillation (ENSO). Dominant rainfall deviations due to ENSO are found in dry season and transition periods, i.e. around May to October. Thus, the ENSO event especially El Nino gives a large influence to the decrease of rainfall, causing drought in the region. The rainfall in the region indicated strong decadal trends as shown by the analysis of long term data during the last 100 years. Decreasing trends almost found over the whole NTT during 1941-1970 periods, while during the last few decades (1971-2000 and 1981-2010 periods) trends were found increasing, especially in most parts of Timor Island and some parts of Sumba Island. In contrast, decreasing trends of rainfall were found in Flores Island during 1971-2000 periods. Considering the fact of increasing temperature in the last few decades at global scale, there were consistencies found at the local region, where the analysis using temperature records from eight stations in NTT showed increasing trends of mean temperatures.

From historical data, NTT often experience extreme climate events related to drought that mostly occur during wet seasons, such as season break and dry spell. For example, a long dry spell occurred during the rainy season in 2013/2014, especially during January to February 2014 over some areas, such as Malaka, Timor Tenah Selatan, Lembata, Flores Timur, Sikka, Ende, Nagekeo, Manggarai Timur, and Sumba Timur. The long dry spells has triggered drought condition causing crop failures in the regions. In contrast, NTT also often experience extreme rainfall causing floods that could affect many socio-economic activities, such as over Manggarai and some areas in Sumba Island.

More detailed analyses have been done in this study, especially for the three selected districts. Historical climate data showed some results related to climate variability, extremes and climate change conditions in those regions. In Waingapu District, there were increasing trends found in the mean, maximum and minimum temperatures as well as in the monthly and seasonal rainfall. Both dry and wet season onsets have shown decreasing trends, indicating the shift of seasons, where earlier dry and wet season onsets tend to occur. It was found that the trends for the length of wet seasons increased while for the length of dry seasons decreased. For the extreme events, the upward trends were

found in the frequency of temperature above 35 °C and the frequency of daily rainfall above 50 mm as well as in the frequency of daily wind speed above 45 km/hour.

In Manggarai District, downward trends were found in the mean and minimum temperatures, while the maximum temperature showed vice versa. Monthly and seasonal rainfall in wet season showed increasing trends. This was in contrast with seasonal rainfall in dry season that showed a downward trend. The rainy season onsets tend to come earlier as shown by the decreasing trend of its data, meanwhile the dry season onsets tend to come later than normal. Consequently, the trends for the length of wet seasons increased and the length of dry seasons decreased. The frequency of extreme rainfall with daily rainfall above 50 mm showed an upward trend. Meanwhile, for both maximum temperatures above 35 °C and maximum wind speed above 45 km/hour, their trends tend to decrease.

In Sabu Raijua District, there were agreement in temperatures (mean, maximum and minimum temperatures) tendency, showing the signs of upward trends. These upward trends were similarly found in monthly and seasonal rainfall (wet and dry seasons). In this region, the inclination of earlier wet season onsets were strongly indicated by downward trends of the data. This is unlikely found in the dry season onsets where their trend showed an upward trend. For the extreme events, the upward trend was found in the frequency of temperature above 35 °C. This was contrarily found for the frequency of daily wind speed above 45 km/hour that showed a decreasing trend. For the frequency of daily rainfall above 50 mm, there seemed to be no change in the trend of its historical data.

Beside the analysis of historical climate, this study also performed analysis for the future climate change projections. Projected climate change in the future showed increased mean air temperature in NTT in general and in the selected three districts in particular. In general, the differences in the increase of mean air temperature across future climate change scenarios (different RCP scenarios) were relatively small for the period 2011-2040. The differences between scenarios can be clearly seen after that period, i.e. during 2041-2070 and 2071-2100 periods. Mean temperature based on RCP8.5 scenarios showed the highest increase reaching up to more than 3°C during 2071-2100 periods. For rainfall projections, changes in the climatological mean of rainfall in the three selected districts were projected to be mostly negative, indicating drier conditions in the future. A significant decline in rainfall is generally projected to occur in August, while the increase in rainfall is projected to occur in the transition periods, particularly in March and April.

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>IV</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>VI</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Ruang Lingkup dan Tujuan .....	2
<b>2 METODOLOGI</b> .....	<b>4</b>
2.1 Data .....	4
2.1.1 Data Observasi Stasiun .....	4
2.1.2 Data Iklim Global.....	5
2.1.3 Data Re-Analysis .....	5
2.1.4 Data Hasil Model Iklim.....	6
2.2 Metode.....	6
2.2.1 Simulasi Model Iklim Regional .....	6
2.2.2 Rekonstruksi Data Curah Hujan Bulanan dari Data Global .....	9
2.2.3 Analisis Keragaman dan Perubahan Iklim .....	13
2.2.4 Iklim Ekstrim dan Penentuan Ambang Batas .....	16
<b>3 KONDISI IKLIM HISTORIS</b> .....	<b>19</b>
3.1 Iklim Historis di NTT.....	19
3.1.1 Kondisi Klimatologi.....	19
3.1.2 Keragaman Iklim dan Pengaruh El Nino-Southern Oscillation (ENSO).....	23
3.1.3 Perubahan Iklim .....	26
3.1.4 Kejadian Iklim Ekstrim .....	28
3.2 Iklim Historis di Kabupaten Manggarai.....	33
3.2.1 Kondisi Klimatologi.....	33
3.2.2 Keragaman Iklim.....	34
3.2.3 Perubahan Iklim .....	35
3.2.4 Kejadian Iklim Ekstrim.....	40
3.3 Iklim Historis di Kabupaten Sabu Raijua.....	42
3.3.1 Kondisi Klimatologi.....	42
3.3.2 Keragaman Iklim.....	43
3.3.3 Perubahan Iklim .....	44
3.3.4 Kejadian Iklim Ekstrim.....	49
3.4 Iklim Historis di Kabupaten Sumba Timur .....	51
3.4.1 Kondisi Klimatologi.....	51

3.4.2 Keragaman Iklim.....	53
3.4.3 Perubahan Iklim .....	54
3.4.4 Kejadian Iklim Ekstrim .....	58
<b>4 PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM.....</b>	<b>61</b>
4.1 Proyeksi Perubahan Iklim di NTT.....	61
4.1.1 Proyeksi Suhu .....	61
4.1.2 Proyeksi Curah Hujan .....	62
4.1.3 Proyeksi Iklim Ekstrim .....	70
4.2 Proyeksi Perubahan Iklim di Kabupaten Manggarai.....	75
4.2.1 Proyeksi Suhu .....	75
4.2.2 Proyeksi Hujan.....	78
4.2.3 Proyeksi Iklim Ekstrim .....	81
4.3 Proyeksi Perubahan Iklim di Kabupaten Sabu Raijua.....	85
4.3.1 Proyeksi Suhu .....	85
4.3.2 Proyeksi Hujan.....	87
4.3.3 Proyeksi Iklim Ekstrim .....	91
4.4 Proyeksi Perubahan Iklim di Kabupaten Sumba Timur.....	92
4.4.1 Proyeksi Suhu .....	92
4.4.2 Proyeksi Hujan.....	95
4.4.3 Proyeksi Iklim Ekstrim .....	100
<b>5 RINGKASAN .....</b>	<b>102</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>104</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>109</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Distribution of rain gauge stations in NTT where their data used in this study.....	5
Gambar 2-2	Domain location of RegCM4 simulation for NTT. Grid represent 10 km x 10 km resolution. ....	7
Gambar 2-3	Contoh model regresi antara data curah hujan bulanan GPCC dengan data curah hujan bulanan stasiun.....	9
Gambar 2-4	Sebaran lokasi stasiun hujan yang data curah hujannya digunakan untuk validasi dan koreksi bias. ....	12
Gambar 2-5	Ilustrasi tahapan proses koreksi data curah hujan untuk estimasi data curah hujan harian maksimum bulanan dari data curah hujan dekad maksimum bulanan dari data CHIRPS (a-d). ....	12
Gambar 2-6	Diagram alir estimasi data curah hujan harian maximum bulanan dari data CHIRPS dan data GCM CMIP5. ....	13
Gambar 2-7	Diagram Taylor hasil perbandingan antara data klimatologi curah hujan masing-masing keluaran model GCM dengan curah hujan observasi.....	15
Gambar 2-8	Nilai radiative forcing (a) dan emisi CO <sub>2</sub> (b) dalam skenario RCP. GCAM 4.5 merupakan acuan dalam skenario RCP-4.5 (Moss et al. 2010). ....	16
Gambar 3-1	Klimatologi curah hujan bulanan selama 30 tahun periode 1981-2010 berdasarkan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. ....	20
Gambar 3-2	Pengelompokan tipe hujan berdasarkan hasil analisis cluster terhadap data curah hujan dari 102 stasiun hujan di NTT; a) Peta sebaran lokasi stasiun hujan berdasarkan kelompok tipe hujan hasil analisis cluster, dan b) pola curah hujan musiman (klimatologi) berdasarkan rata-rata bulanan data hujan untuk masing-masing kelompok cluster. ....	21
Gambar 3-3	Suhu udara rata-rata 30 tahunan di NTT periode baseline 1981-2010. Interpolasi data suhu disusun mengikuti fungsi lapse rate. ....	22
Gambar 3-4	Peta koefisien korelasi (a-b) dan koefisien regresi (c-d) antara anomaly curah hujan bulanan dengan indeks anomaly suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4. Data curah hujan menggunakan data TRMM (kiri) dan data CHIRPS yang telah dikoreksi (kanan). Data indeks Nino-3.4 dihitung dengan menggunakan data SPL ERSST versi 3b. ....	23
Gambar 3-5	Persentase penurunan curah hujan relatif terhadap nilai klimatologi pada bulan bersangkutan sebagai respon terhadap peningkatan per 1 °C indeks anomaly suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4 sebagai indikator terjadinya El Nino. Data curah hujan menggunakan data TRMM. ....	25

Gambar 3-6	Persentase penurunan curah hujan relatif terhadap nilai klimatologi pada bulan bersangkutan sebagai respon terhadap peningkatan per 1 °C indeks anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4 sebagai indikator terjadinya El Nino. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS yang telah dikoreksi.....	26
Gambar 3-7	Trend dasawarsa dari curah hujan tahunan di NTT, dihitung berdasarkan data 30-tahunan dengan interval setiap 10 tahun dalam rentang periode 1901-2010. Data jangka panjang diperoleh dari hasil rekonstruksi data curah hujan dari 102 stasiun iklim dikombinasikan dengan data curah hujan bulanan global dari WCRP GPCC sebagaimana dijelaskan pada Subbagian 3.2.2.....	27
Gambar 3-8	Peta nilai rata-rata dan simpangan baku curah hujan maksimum tahunan di NTT untuk akumulasi hujan selama 1 hingga 5 hari. ....	30
Gambar 3-9	Curah hujan harian maksimum tahunan pada tahun 1981-2007 (a-aa) berdasarkan data Aphrodite. ....	31
Gambar 3-10	Ambang batas curah hujan ekstrim basah (dalam milimeter, mm) berdasarkan batasan nilai percentile: a) 80 <sup>th</sup> percentile, b) 90 <sup>th</sup> percentile, c) 95 <sup>th</sup> percentile, and d) 99 <sup>th</sup> percentile.....	32
Gambar 3-11	Ambang batas curah hujan ekstrim kering (dalam milimeter, mm) berdasarkan batasan nilai percentile: a) 1 <sup>th</sup> percentile, b) 5 <sup>th</sup> percentile, c) 10 <sup>th</sup> percentile, and d) 20 <sup>th</sup> percentile.....	32
Gambar 3-12	Klimatologi suhu udara rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Ruteng, Manggarai periode 1994-2013 .....	33
Gambar 3-13	Klimatologi curah hujan bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Ruteng, Manggarai periode 1994-2013 .....	33
Gambar 3-14	Korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah di Kabupaten Manggarai dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) di kawasan Samudera Hindia dan Pasifik periode 1981-2010 dengan jeda waktu 0-5 bulan. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. Data ASPL dihitung dari data ERSST v3b. ....	35
Gambar 3-15	Tren suhu udara rata-rata tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	35
Gambar 3-16	Tren suhu udara maksimum tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	36
Gambar 3-17	Tren suhu udara minimum tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	36
Gambar 3-18	Tren total curah hujan tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	37

Gambar 3-19	Tren total curah hujan musim hujan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	37
Gambar 3-20	Tren total curah hujan musim kemarau di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	38
Gambar 3-21	Tren awal musim hujan dan awal musim kemarau di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	39
Gambar 3-22	Tren panjang musim hujan dan panjang musim kemarau di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	39
Gambar 3-23	Tren anomali kecepatan angin bulanan maksimum di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013. Siklus musiman dari data dihilangkan. ....	40
Gambar 3-24	Tren frekuensi curah hujan harian melampaui 50 mm di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	41
Gambar 3-25	Tren frekuensi kecepatan angin melampaui 45 km/jam di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.....	41
Gambar 3-26	Klimatologi suhu udara rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Tardamu, Sabu Raijua periode 1982-2013 .....	42
Gambar 3-27	Klimatologi curah hujan bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Tardamu, Sabu Raijua periode 1982-2013 .....	42
Gambar 3-28	Korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah di Kabupaten Sabu Raijua dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) di kawasan Samudera Hindia dan Pasifik periode 1981-2010 dengan jeda waktu 0-5 bulan. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. Data ASPL dihitung dari data ERSST v3b. ....	44
Gambar 3-29	Tren suhu udara rata-rata tahunan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	45
Gambar 3-30	Tren suhu udara maksimum tahunan di Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	45
Gambar 3-31	Tren suhu udara minimum tahunan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	46
Gambar 3-32	Tren total curah hujan tahunan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	46
Gambar 3-33	Tren total curah hujan musim hujan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	47
Gambar 3-34	Tren total curah hujan musim kemarau di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	47
Gambar 3-35	Tren awal musim hujan dan awal musim kemarau di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	48

Gambar 3-36	Tren panjang musim hujan dan panjang musim kemarau di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013. ....	48
Gambar 3-37	Tren anomali kecepatan angin bulanan maksimum di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013. Siklus musiman dari data dihilangkan. ....	49
Gambar 3-38	Tren frekuensi curah hujan harian melampaui 50 mm di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	50
Gambar 3-39	Tren frekuensi kecepatan angin melampaui 45 km/jam di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013 .....	51
Gambar 3-40	Klimatologi suhu udara rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Waingapu, Sumba Timur periode 1982-2013 .....	52
Gambar 3-41	Klimatologi curah hujan bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Waingapu, Sumba Timur periode 1982-2013.....	52
Gambar 3-42	Korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah di Kabupaten Sumba Timur dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) di kawasan Samudera Hindia dan Pasifik periode 1981-2010 dengan jeda waktu 0-5 bulan. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. Data ASPL dihitung dari data ERSST v3b. ....	53
Gambar 3-43	Tren suhu udara rata-rata tahunan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	54
Gambar 3-44	Tren suhu udara maksimum tahunan di Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.....	54
Gambar 3-45	Tren suhu udara minimum tahunan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013. ....	55
Gambar 3-46	Tren total curah hujan tahunan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1986-2011.....	55
Gambar 3-47	Tren total curah hujan musim hujan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.....	56
Gambar 3-48	Tren total curah hujan musim kemarau di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.....	56
Gambar 3-49	Tren awal musim hujan dan awal musim kemarau di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.....	57
Gambar 3-50	Tren panjang musim hujan dan panjang musim kemarau di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012. ....	57

Gambar 3-51	Tren anomali kecepatan angin bulanan maksimum di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013. Siklus musiman dari data dihilangkan.....	58
Gambar 3-52	Tren frekuensi curah hujan harian melampaui 50 mm di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013 .....	59
Gambar 3-53	Tren frekuensi kecepatan angin melampaui 45 km/jam di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013 .....	60
Gambar 4-1	Suhu udara rata-rata 30 tahunan di NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. ....	61
Gambar 4-2	Persentase perubahan curah hujan rata-rata tahunan di NTT pada periode a) 2011-2040 dan 2021-2050 relatif terhadap periode baseline 1981-2010 berdasarkan simulasi model iklim regional RegCM4.....	62
Gambar 4-3	Persentase perubahan curah hujan rata-rata bulanan di NTT pada periode a) 2011-2040 dan 2021-2050 relatif terhadap periode baseline 1981-2010 berdasarkan simulasi model iklim regional RegCM4.....	63
Gambar 4-4	Proyeksi naik-turunnya curah hujan di NTT berdasarkan rata-rata wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100.....	66
Gambar 4-5	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP2.6. ....	67
Gambar 4-6	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP4.5. ....	68
Gambar 4-7	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP6.0. ....	68
Gambar 4-8	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP8.5. ....	69
Gambar 4-9	Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040 (40), 2041-2070 (70) dan 2071-2100 (100) dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 5 tahunan ( $P > R_t = 20\%$ ).....	71

Gambar 4-10	Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040 (40), 2041-2070 (70) dan 2071-2100 (100) dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 10 tahunan ( $P > R_t = 10\%$ ).....	71
Gambar 4-11	Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040 (40), 2041-2070 (70) dan 2071-2100 (100) dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 20 tahunan ( $P > R_t = 5\%$ ).....	72
Gambar 4-12	Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim kering dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 5 tahunan ( $P < R_t = 20\%$ ).....	73
Gambar 4-13	Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim kering dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 10 tahunan ( $P < R_t = 10\%$ ).....	74
Gambar 4-14	Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim kering dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 20 tahunan ( $P > R_t = 5\%$ ).....	75
Gambar 4-15	Rataan wilayah untuk anomali suhu udara rata-rata tahunan selama 30 tahun di Kabupaten Manggarai relatif terhadap periode baseline tahun 1980-2009. Proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. ....	76
Gambar 4-16	Suhu udara rata-rata 30 tahunan di Kabupaten Manggarai, NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. ....	77
Gambar 4-17	Proyeksi naik-turunnya curah hujan di Kabupaten Manggarai berdasarkan rata-rata wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100. ....	78
Gambar 4-18	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di Kabupaten Manggarai berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.....	80

Gambar 4-19	Proyeksi kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Manggarai berdasarkan hasil keluaran RegCM4 dengan skenario RCP4.5.....	83
Gambar 4-20	Batas administrasi desa di Kabupaten Manggarai dan urutan penomoran masing-masing desa.....	84
Gambar 4-21	Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim basah yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Manggarai, NTT.....	85
Gambar 4-22	Rataan wilayah anomali suhu udara rata-rata tahunan selama 30 tahun di Kabupaten Sabu Raijua relatif terhadap periode baseline tahun 1980-2009. Proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100...86	86
Gambar 4-23	Suhu udara rata-rata 30 tahunan di Kabupaten Sabu Raijua, NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.....	87
Gambar 4-24	Proyeksi naik-turunnya curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan rataaan wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100. ....	88
Gambar 4-25	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.....	89
Gambar 4-26	Proyeksi kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan hasil keluaran RegCM4 dengan skenario RCP4.5.....	90
Gambar 4-27	Batas administrasi desa di Kabupaten Sabu Raijua dan urutan penomoran masing-masing desa.....	92
Gambar 4-28	Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim basah yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sabu Raijua, NTT. ....	92
Gambar 4-29	Rataan wilayah anomali suhu udara rata-rata tahunan selama 30 tahun di Kabupaten Sumba Timur relatif terhadap periode baseline tahun 1980-2009. Proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100...94	94
Gambar 4-30	Suhu udara rata-rata 30 tahunan di Kabupaten Sumba Timur, NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.....	95

Gambar 4-31	Proyeksi naik-turunnya curah hujan di Kabupaten Smba Timur berdasarkan rata-rata wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100. ....	96
Gambar 4-32	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.....	97
Gambar 4-33	Proyeksi kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan hasil keluaran RegCM4 dengan skenario RCP4.5.....	99
Gambar 4-34	Batas administrasi desa di Kabupaten Sumba Timur dan urutan penomoran masing-masing desa.....	100
Gambar 4-35	Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim basah yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sumba Timur, NTT.....	101

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Daftar 20 model GCM CMIP5 yang digunakan dalam studi ini berikut dengan informasi referensi dari masing-masing model .....	5
Tabel 2-2	Informasi pengaturan skema fisik dan skema parameterisasi yang digunakan untuk simulasi RegCM4 di wilayah NTT.....	8
Tabel 2-3	Informasi kombinasi data untuk rekonstruksi curah hujan bulanan dengan menggunakan data curah hujan dari 102 stasiun hujan dan data curah hujan grid WCRP GPCC versi 6 dengan resolusi spasial grid 0,5° x 0,5°. ....	10
Tabel 4-1	Daftar indeks iklim yang dianalisis dalam studi ini.....	81

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2041-2070 di Kabupaten Manggarai berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5. ....	109
Lampiran 2	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2071-2100 di Kabupaten Manggarai berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5. ....	110
Lampiran 3	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2041-2070 di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5. ....	111
Lampiran 4	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2071-2100 di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5. ....	112

Lampiran 5	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2041-2070 di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5. .....	113
Lampiran 6	Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2071-2100 di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5. .....	114
Lampiran 7	Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim kering yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Manggarai, NTT.....	115
Lampiran 8	Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim kering yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sabu Raijua, NTT.....	116
Lampiran 9	Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim kering yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sumba Timur, NTT..	117

# 1 PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG

Pemanasan global adalah kenaikan suhu rata-rata udara di dekat permukaan bumi dan lautan sejak pertengahan abad ke-20 dan diproyeksikan akan terus berlangsung. Menurut Laporan Ke Empat (AR4) *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), suhu permukaan global meningkat sebesar  $0.7 \pm 0.32$  0C ( $1.33 \pm 0.32$  0F) selama abad ke-20. Nilai tersebut tidak terlalu jauh berbeda dengan hasil yang dikeluarkan dalam Laporan Ke Lima (IPCC AR5) mereka yang baru saja dikeluarkan pada tahun 2013. Mayoritas kenaikan suhu yang diamati sejak pertengahan abad ke-20 disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK), yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan pengurangan lahan hutan. Pemanasan global menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang dampaknya dapat berbeda-beda pada setiap wilayah.

Kajian perubahan iklim di Nusa Tenggara Timur sejauh ini belum banyak dilakukan. Beberapa kajian yang telah dilakukan terkait perubahan iklim di Nusa Tenggara Timur masih terbatas pada potensi dampak yang ditimbulkan pada sektor tertentu seperti kesehatan, pertanian dan kehutanan, dan sosial ekonomi masyarakat. Secara psikologis perubahan iklim dapat dirasakan berupa perubahan perilaku iklim yang tidak menentu di Nusa Tenggara Timur. Dampak yang paling dirasakan adalah penyimpangan pola hujan dari normalnya. Awal musim hujan umumnya mundur, sering terjadi periode kering (dry spell) atau jeda hujan (season break), curah hujan bertambah tinggi, namun periode musim hujan semakin pendek, serta sering terjadi hujan yang cukup tinggi pada musim kemarau.

Hasil kajian dari analisis data historis suhu udara dan curah hujan bulanan dari 8 (delapan) Stasiun Meteorologi dan Klimatologi di Nusa Tenggara Timur menunjukkan bahwa pada umumnya temperatur udara dan curah hujan bulanan mengalami tren peningkatan dimana suhu udara semakin meningkat dan akumulasi hujan bulanan semakin tinggi, kecuali di Baa – Rote Ndao dimana suhu udara dan curah hujan bulanan mengalami tren penurunan (Geru, 2013). Sementara itu dalam kajian Tingkat Kerentanan Air di DAS Kambaniru-Sumba Timur, Pujiono (2013) mengemukakan bahwa di sekitar DAS Kambaniru telah terjadi peningkatan suhu udara rata-rata dan penurunan curah hujan selama 40 tahun terakhir (1973–2012). Selain itu berdasarkan pendekatan spasial menunjukkan bahwa bagian tengah dan hilir DAS Kambaniru termasuk kategori tingkat kerentanan tinggi sedangkan di bagian hulu memiliki tingkat kerentanan sedang.

Penggunaan model iklim untuk kajian perubahan iklim di Nusa Tenggara Timur belum banyak dilakukan dan kajian yang telah ada umumnya mencakup wilayah yang lebih luas dimana wilayah NTT termasuk di dalamnya (misal: Barnett et al., 2003; IPCC, 2013;

Katzfey et al., 2010). Secara umum hasil kajian IPCC (2013) mengindikasikan bahwa wilayah Nusa Tenggara Timur akan terjadi peningkatan suhu udara 0,5°C bila menggunakan skenario emisi gas rumah kaca (GRK) terendah dan 4,0°C bila menggunakan skenario emisi GRK tertinggi. Selain itu, curah hujan juga terjadi perubahan dimana curah hujan musim kemarau akan berkurang dan meningkat pada musim penghujan. Katzfey et al. (2010) melakukan kajian perubahan iklim di Indonesia namun mencakup wilayah Nusa Tenggara Timur menggunakan 6 model GCMs berdasarkan skenario SRES A2 melalui proses *dynamical downscaling* (CSIRO-CCAM) dengan resolusi spasial 60 × 60 Km dan untuk periode waktu tahun 1971-2000, 2041-2060, dan 2081-2100. Hasil kajian proyeksi tersebut secara umum menunjukkan proyeksi peningkatan suhu maksimum dan suhu minimum serta kemungkinan terjadinya penurunan curah hujan. Barnett *et al.* (2003) melakukan kajian perubahan iklim di Timor Leste yang hasilnya mencakup sebagian wilayah Nusa Tenggara Timur. Hasil kajian proyeksi tersebut juga menunjukkan konsistensi peningkatan suhu dengan rentang peningkatan 0.3- 1.2°C pada tahun 2030 dan 0.8-3.6°C pada tahun 2070. Demikian pula dengan curah hujan yang menunjukkan kemungkinan perubahan dengan kondisi yang berbeda pada masing-masing musim.

Pemanasan global secara langsung mempengaruhi karakteristik parameter cuaca dan iklim, dimana parameter cuaca/iklim dapat mengalami kenaikan atau penurunan secara signifikan atau berdampak pada perilaku iklim yang cenderung bersifat ekstrim yang mengancam aktivitas manusia dan lingkungan. Pemanasan global juga telah nyata berpengaruh terhadap perubahan iklim yang ditandai dengan perubahan pola hujan (karakteristik musim hujan dan kemarau). Hasil kajian IPCC dalam laporan khusus mereka tentang iklim ekstrim (disebut sebagai SREX; IPCC, 2012) mengkonfirmasi telah terjadinya pengaruh perubahan iklim terhadap meningkatnya kejadian iklim ekstrim di berbagai wilayah. Untuk memahami secara lebih detil tentang perubahan iklim dan perubahan kejadian iklim ekstrim dalam suatu wilayah regional maupun lokal diperlukan kajian yang lebih detil. Kajian basis saintifik perubahan iklim dalam tataran lokal memerlukan data iklim historis yang cukup baik dalam tataran lokal dan juga dibutuhkan upaya pemodelan iklim dalam konteks regional dengan menggunakan pendekatan downscaling baik dengan pendekatan downscaling dinamik maupun statistik.

## 1.2 RUANG LINGKUP DAN TUJUAN

Studi ini ditujukan untuk memberikan analisis detil tentang kajian iklim historis dan proyeksi perubahan iklim di wilayah NTT secara umum dan pada tiga lokasi kabupaten terpilih, yaitu Kabupaten Manggari, Sabu Raijua dan Sumba Timur. Analisis dilakukan dengan menggunakan berbagai sumber data observasi baik dari hasil pencatatan data stasiun yang dilakukan oleh BMKG maupun dari sumber data lain yang bersifat data grid global hasil pengoahan estimasi data satelit, interpolasi data stasiun maupun data re-analysis. Untuk kajian proyeksi perubahan iklim dilakukan pendekatan downscaling dari

data model iklim global (*global climate model*, GCM) dengan menggunakan pendekatan downscaling dinamik dan statistik. Downscaling dinamik dilakukan dengan menggunakan model iklim regional (*regional climate model*, RCM) dengan memanfaatkan data keluaran GCM sebagai data *initial condition/boundary condition* (ICBC) untuk melakukan simulasi RCM. Hasil kajian akan disajikan berdasarkan analisis data historis dan data proyeksi khususnya untuk data curah hujan dan suhu serta aspek lain berkaitan dengan keragaman iklim dan kejadian iklim ekstrim.

## 2 METODOLOGI

### 2.1 DATA

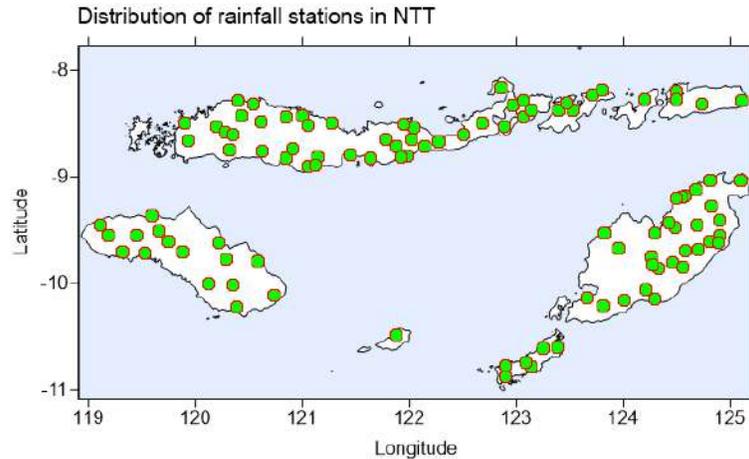
Keragaman dan perubahan iklim di NTT secara umum dan pada tiga kabupaten (Kabupaten Manggarai, Sabu Raijua dan Sumba Timur) secara khusus dilakukan dengan memanfaatkan berbagai data hasil observasi dari berbagai sumber. Data tersebut berasal dari hasil pengamatan langsung yang diperoleh dari stasiun iklim maupun dari hasil olahan dan produk data global dalam bentuk grid. Data global ada yang berasal dari gabungan data hasil pengukuran di daratan dari berbagai stasiun iklim, dari estimasi data satelit, maupun dari kombinasi antara data stasiun dan data satelit. Selain itu, terdapat pula data yang berasal dari hasil re-analysis yang merupakan gabungan antara data-data yang ada dengan data hasil pemodelan.

Selain data observasi dan re-analysis, data hasil pemodelan juga digunakan dalam studi ini untuk kajian proyeksi perubahan iklim. Terdapat dua jenis data model yang digunakan, yaitu data darikeluaran model iklim global (*Global Climate Model*, GCM) dan data hasil simulasi model iklim regional (*Regional Climate Model*, RCM) khusus untuk wilayah NTT.

#### 2.1.1 Data Observasi Stasiun

Dalam studi ini, data observasi iklim diperoleh dari berbagai stasiun iklim yang umumnya dikelola oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang tersebar di Provinsi NTT, tentunya dengan data lebih detil diutamakan pada tiga kabupaten yang menjadi wilayah kajian. Untuk data curah hujan bulanan, digunakan data dari 102 stasiun yang digunakan untuk kajian iklim hitoris dan sebagai referensi untuk proyeksi perubahan iklim. Sebaran lokasi stasiun hujan dari data tersebut disajikan pada Gambar 2-1. Sebagai tambahan, khusus pada tiga wilayah kajian yaitu Kabupaten Manggarai, Sabu Raijua dan Sumba Timur digunakan data iklim yang lebih detil dan melibatkan unsur-unsur iklim lain selain curah hujan. Data yang digunakan untuk analisis iklim historis adalah data series iklim yang lengkap dan realible yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Waingapu – Sumba Timur (1982 – 2013), Stasiun Meteorologi Ruteng – Manggarai (1994 – 2013), dan Stasiun Meteorologi Tardamu – Sabu Raijua (1982 – 2013).

Gambar 2-1 Distribution of rain gauge stations in NTT where their data used in this study



### 2.1.2 Data Iklim Global

Keterbatasan data yang tersedia dan banyaknya data hilang masih menjadi kendala untuk mendapatkan hasil analisis dengan data yang mencukupi. Oleh karena itu, penelitian ini juga menggabungkan dan memanfaatkan data yang berasal dari sumber data iklim global yang umumnya tersedia dalam bentuk data grid. Beberapa data global yang digunakan khususnya untuk data hujan diperoleh dari beberapa sumber dengan resolusi spasial dan temporal yang beragam serta sumber perolehan data yang berbeda, baik dari data observasi di daratan maupun hasil estimasi dari data satelit. Data tersebut diantaranya yaitu data dari data estimasi satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM*; Huffman et al., 2007), data *the Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE's Water Resources*; Yatagai et al., 2012), data *the World Climate Research Program Global Precipitation Climate Change versi 6 (WCRP GCOS GPCC FDP version6 0p5*; Rudolf et al., 2010), dan data Climate Research Unit (CRU) TS3.1 (CRU, 2008; Mitchell and Jones, 2005).

### 2.1.3 Data Re-Analysis

Dalam studi ini, data re-analysis NNRP1 juga digunakan sebagai data ICBC untuk menjalankan simulasi kondisi iklim historis dengan menggunakan model iklim regional.

Tabel 2-1 Daftar 20 model GCM CMIP5 yang digunakan dalam studi ini berikut dengan informasi referensi dari masing-masing model

No.	CMIP5 Model	Run	Institution ID	Main Reference(s)
1	BCC-CSM1-1	r1i1p1	BCC	(NNRP1; Wu, 2012; Xin et al., 2012; Xin et al., 2013)
2	CCSM4	r1i1p1	NCAR	(Gent and Danabasoglu, 2011)
3	CESM1-CAM5	r1i1p1	NSF-DOE-NCAR	(Hurrell, 2013)
4	CSIRO-Mk3-6-0	r10i1p1	CSIRO-QCCCE	(Rotstayn et al., 2012)

No.	CMIP5 Model	Run	Institution ID	Main Reference(s)
5	FIO-ESM	r1i1p1	FIO	(Collins et al., 2006)
6	NOAA GFDL GFDL-CM3	r1i1p1	NOAA GFDL	(Delworth et al., 2006; Donner et al., 2011)
7	NOAA GFDL GFDL-ESM2G	r1i1p1	NOAA GFDL	(Dunne et al., 2012; Dunne et al., 2013)
8	NOAA GFDL GFDL-ESM2M	r1i1p1	NOAA GFDL	(Dunne et al., 2012; Dunne et al., 2013)
9	GISS-E2-R	r1i1p1	NASA GISS	(Schmidt et al., 2006)
10	GISS-E2-R	r1i1p2	NASA GISS	(Schmidt et al., 2006)
11	GISS-E2-R	r1i1p3	NASA GISS	(Schmidt et al., 2006)
12	HadGEM2-AO	r1i1p1	NIMR/KMA	(Collins et al., 2011; Martin et al., 2011)
13	HadGEM2-ES	r1i1p1	MOHC (INPE)	(Collins et al., 2011; Martin et al., 2011)
14	IPSL-CM5A-LR	r1i1p1	IPSL	(Dufresne et al., 2013)
15	MIROC5	r1i1p1	MIROC	(Watanabe et al., 2010)
16	MIROC-ESM	r1i1p1	MIROC	(Watanabe et al., 2010)
17	MIROC-ESM-CHEM	r1i1p1	MIROC	(Watanabe et al., 2010)
18	MRI-CGCM3	r1i1p1	MRI	(Yukimoto et al., 2012; Yukimoto et al., 2011)
19	NorESM1-M	r1i1p1	NCC	(Iversen et al., 2013)
20	NorESM1-ME	r1i1p1	NCC	(Tjiputra et al., 2013)

#### 2.1.4 Data Hasil Model Iklim

Data GCM diperoleh dari data *Climate Model Intercomparison Project version 5* (CMIP5) yang merupakan data keluaran model terbaru yang digunakan dalam laporan kelima *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC AR5). Data CMIP5 diperoleh dari website KNMI Climate Explorer ([http://climexp.knmi.nl/selectfield\\_cmip5.cgi?id=someone@somewhere](http://climexp.knmi.nl/selectfield_cmip5.cgi?id=someone@somewhere)). Data CMIP5 tersebut juga dapat diperoleh melalui link resmi (<http://pcmdi9.llnl.gov/>). Data iklim dari keluaran beberapa model GCM digunakan dalam studi ini. Untuk proyeksi curah hujan, digunakan data dari 20 model GCM CMIP5 sebagaimana tercantum dalam Tabel 3-1. Selain data keluaran GCM, dilakukan juga pendekatan dynamical downscaling dengan menggunakan simulasi RCM. Namun karena keterbatasan waktu dan sumberdaya hanya digunakan satu model GCM dengan satu skenario perubahan iklim untuk simulasi tersebut. Informasi lebih detail mengenai metode dan pengaturan simulasi RCM disajikan pada Sub-bagian 3.2.1.

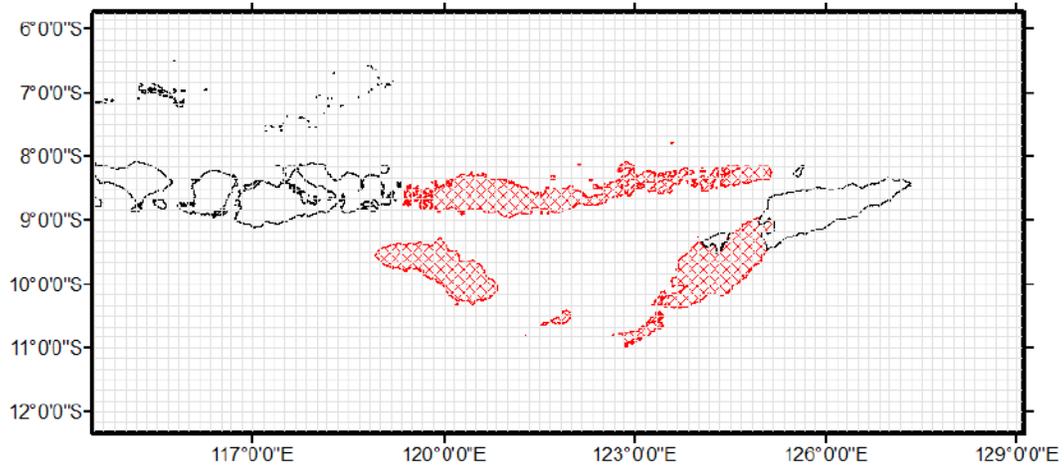
## 2.2 METODE

### 2.2.1 Simulasi Model Iklim Regional

*RegCM4* merupakan model iklim regional yang dikembangkan oleh ICTP (*International Centre for Theoretical Physics*), Trieste, Italy. Model ini dapat digunakan untuk mensimulasikan parameter iklim seperti curah hujan, suhu, tekanan udara, kelembaban, medan angin, radiasi, kelembaban tanah, aliran permukaan (*runoff*), fraksi awan dan lain-lain secara lebih detail berdasarkan informasi iklim global. Data *Global Climate Model* (GCM) sebagai *Initial and Boundary Condition* (ICBC) dalam menjalankan model *RegCM4* yang digunakan adalah CMIP5 CanESM2 yang dikembangkan oleh *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCma). CanESM2 merupakan gabungan

model CanCM4 dan siklus karbon terrestrial berdasarkan *Canadian Terrestrial Ecosystem Model* (CTEM) dengan adanya pertukaran karbon tanah dan atmosfer. Siklus terrestrial dalam model CTEM termasuk adanya perubahan penggunaan lahan berdasarkan kondisi perubahan historis dalam wilayah bervegetasi (Arora and Boer, 2010).

Gambar 2-2 Domain location of RegCM4 simulation for NTT. Grid represent 10 km x 10 km resolution.



Tabel 2-2 Informasi pengaturan skma fisik dan skema parameterisasi yang digunakan untuk simulasi RegCM4 di wilayah NTT

Parameter	Description (Giorgi et al., 2013)	Use in Model <sup>*)</sup>
<b>&amp;dimparam</b>		
<b>iy</b>	Number of grid points in y direction (i)	72
<b>jx</b>	Number of grid points in x direction (j)	160
<b>kz</b>	Number of vertical levels (k)	18
<b>&amp;geoparam</b>		
<b>iproj</b>	Map projection	'NORMER' (Normal Mercator)
<b>ds</b>	Grid point separation in km	10
<b>ptop</b>	Pressure of model top in cbar	5
<b>clat</b>	Central latitude of model domain in degrees	-9.25
<b>clon</b>	Central longitude of model domain in degrees	121.75
<b>&amp;globdatparam</b>		
<b>ibdyfrq</b>	Boundary condition interval (hours)	6
<b>sstyp</b>	Type of Sea Surface Temperature used	'CA_45'
<b>dattyp</b>	Type of global analysis datasets used	'CA_45'
<b>gdate1</b>	Start date for ICBC data generation	1979120100 / 2006020100
<b>gdate2</b>	End data for ICBC data generation	2005120100 / 2100120100
<b>calendar</b>	Calendar to use (gregorian, noleap or 360_day)	'noleap'
<b>&amp;timeparam</b>		
<b>dtrad</b>	Time step in seconds	30
<b>dtabem</b>	Time interval solar radiation calculated (minutes)	18
<b>dtsrf</b>	Time interval absorption-emission calculated (hours)	90
<b>dt</b>	Time interval at which land model is called (seconds)	30
<b>&amp;physicsparam</b>		
<b>iboudy</b>	Lateral Boundary conditions scheme 0 => Fixed 1 => Relaxation, linear technique. 2 => Time-dependent 3 => Time and inflow/outflow dependent. 4 => Sponge (Perkey & Kreitzberg, MWR 1976) 5 => Relaxation, exponential technique.	5
<b>ibltyp</b>	Boundary layer scheme 0 => Frictionless 1 => Holtslag PBL (Holtslag, 1990) 2 => UW PBL (Bretherton and McCaa, 2004) 99 => Holtslag PBL, with UW in diag. mode	1
<b>icup</b>	Cumulus convection scheme 1 => Kuo 2 => Grell 3 => Betts-Miller (1986) DOES NOT WORK !!! 4 => Emanuel (1991) 5 => Tiedtke (1986) UNTESTED !!! 96 => Use Tiedtke over land and Grell over ocean 97 => Use Tiedtke over land and Emanuel over ocean 98 => Use Emanuel over land and Grell over ocean 99 => Use Grell over land and Emanuel over ocean	4
<b>ipptls</b>	Moisture scheme 1 => Explicit moisture (SUBEX; Pal et al 2000) 2 => Explicit moisture Nohgerotto/Tompkins	1
<b>iocnflx</b>	Ocean Flux scheme 1 => Use BATS1e Monin-Obukhov 2 => Zeng et al (1998) 3 => Coare bulk flux algorithm (snowice),	2
<b>scenario</b>	RCP Scenarios in RCP3PD,RCP4.5,RCP6,RCP8.5	'RCP4.5'

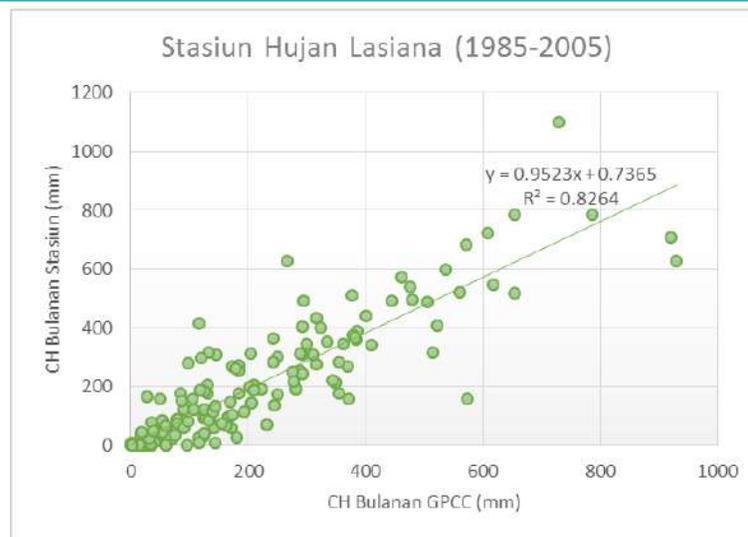
\*) Except explicitly mentioned in the above table, default parameter from RegCM4 is used in the simulation.

Dalam simulasi model *RegCM4* digunakan beberapa skema yang menggambarkan kondisi fisik baik permukaan ataupun atmosfer. Model permukaan yang digunakan adalah *Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (BATS; Dickinson et al., 1993) dengan skema lapisan perbatas (*Planetary Boundary Layer Scheme*) berupa formulasi non-lokal Holtslag (Holtslag et al., 1990). Skema konvektif awan yang digunakan adalah MIT-Emanuel (Emanuel and Zivkovic-Rothman, 1999) dengan transfer fluks lautan oleh Zeng et al. (1998). Skema konvektif MIT-Emanuel merupakan model ideal dari gerakan udara *updraft* dan *downdraft* dengan metode *buoyancy sorting*. Hal tersebut menentukan tingkat penambahan dan pengurangan parcel udara pada level tertentu untuk mendapatkan potensi uap air yang cukup. Periode *running* model *RegCM4* dibagi menjadi periode *baseline* (tahun 1980-2005) dan proyeksi (tahun 2006-2100). Domain wilayahnya adalah 114°30' BT - 129°00' BT dan 6°00' LS - 12°30' LS dengan skala spasial 10 × 10 km (Gambar 2-2). Secara rinci informasi fisik dalam menjalankan model *RegCM4* dapat dilihat pada Tabel 2-2.

### 2.2.2 Rekonstruksi Data Curah Hujan Bulanan dari Data Global

Keterbatasan data harian curah hujan dari hasil pengamatan stasiun menjadi kendala utama dalam penelitian ini, khususnya dalam cakupan spasial yang cukup untuk wilayah NTT. Data harian dibutuhkan untuk analisis kejadian iklim ekstrim atau menganalisis karakteristik dari data iklim harian khususnya curah hujan yang banyak berpengaruh terhadap berbagai aktifitas perekonomian, khususnya pertanian di NTT. Untuk mengatasi keterbatasan data curah hujan harian, diperlukan beberapa pendekatan analisis manipulasi data dengan pendekatan statistika sehingga diperoleh data yang cukup meyakinkan dengan karakteristik statistik yang sesuai dengan data observasi stasiun.

Gambar 2-3 Contoh model regresi antara data curah hujan bulanan GPCC dengan data curah hujan bulanan stasiun



Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan data yaitu dengan melakukan rekonstruksi data spasial dalam bentuk grid yang menggabungkan antara data observasi stasiun dengan data iklim global dari berbagai sumber. Data curah hujan bulanan dari total 102 stasiun hujan yang terdistribusi di Provinsi NTT sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2-1, dilakukan rekonstruksi dengan menggunakan data curah hujan jangka panjang dari data WCRP GCOS GPCP FDP version6 0p5 (Rudolf et al., 2010). Informasi kombinasi data untuk rekonstruksi tersebut disajikan pada Tabel 2-3. Proses rekonstruksi dilakukan dengan menggunakan pendekatan regresi antara data GPCP dengan data stasiun pada masing-masing lokasi stasiun. Contoh persamaan dan plot model regresi disajikan pada Gambar 2-3.

Tabel 2-3 Informasi kombinasi data untuk rekonstruksi curah hujan bulanan dengan menggunakan data curah hujan dari 102 stasiun hujan dan data curah hujan grid WCRP GPCP versi 6 dengan resolusi spasial grid  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ .

Time periods	Source of data
January 1901 – December 1957	WCRP GPCP version 6
January 1960 – December 2010	102 Rain gauge observations + WCRP GPCP used to fill missing data

#### 2.2.2.1 Koreksi Data CHIRPS dan Estimasi Nilai Maxima

Salah satu problem utama dalam analisis iklim khususnya yang berkaitan dengan analisis iklim ekstrim yaitu berkaitan dengan ketersediaan data harian dengan cakupan wilayah yang cukup representatif pada wilayah kajian. Berbagai data global dapat digunakan untuk mendapatkan cakupan spasial-temporal dari data curah hujan harian, namun tentunya dengan keterbatasan masing-masing. Sebagai contoh, data TRMM memiliki resolusi temporal yang cukup tinggi yaitu resolusi per-3 jam and harian, namun secara spasial, dengan resolusi hanya  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  cakupan data TRMM masih relatif kasar. Selain itu periode ketersediaan data TRMM juga cukup terbatas karena hanya tersedia mulai dari 1 Januari 1998, padahal cakupan data yang lebih panjang dibutuhkan untuk analisis perubahan iklim, khususnya untuk analisis kejadian ekstrim.

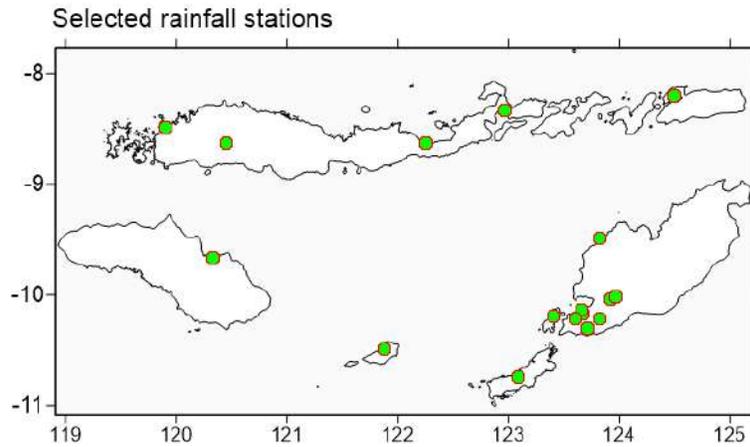
Pada penelitian ini, analisis kejadian curah hujan ekstrim dan penentuan ambang batas ekstrim dilakukan dengan menggunakan data dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS; Funk et al., 2014). Data CHIRPS yang digunakan yaitu data CHIRPS version 1.7 dengan resolusi temporal sekitar 10 harian (dekad). Bila dibandingkan dengan data TRMM, data CHIRPS memiliki resolusi spasial yang jauh lebih tinggi yaitu dengan resolusi grid sekitar  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ .

Proses koreksi dan estimasi data curah hujan dari data CHIRPS dilakukan dengan menggunakan referensi data curah hujan harian dari 17 stasiun hujan yang tersebar di

NTT. Peta sebaran lokasi dari 17 stasiun tersebut disajikan pada Gambar 2-4. Data CHIRPS dikoreksi dengan menggunakan data observasi stasiun dari dua aspek secara terpisah, yaitu i) berdasarkan koreksi bias antar total curah hujan bulanan, dan ii) berdasarkan hubungan antara curah hujan maksimum bulanan. Tahapan koreksi bias mengikuti metode yang dilakukan oleh Piani et al. (2010) diilustrasikan pada Gambar 2-5.

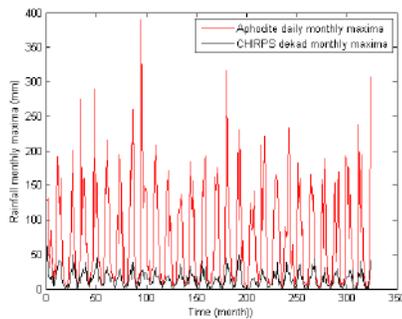
Data CHIRPS hasil koreksi kemudian digunakan untuk menghitung nilai curah hujan harian maksimum bulanan dan tahunan sebagai indikator dari curah hujan ekstrim. Pendugaan nilai curah hujan harian maksimum bulanan dengan menggunakan data curah hujan dekad maksimum bulanan dari data CHIRPS dilakukan dengan landasan bahwa terdapat keterkaitan yang cukup tinggi antara kedua jenis data tersebut. Hal ini sebagaimana contoh plot regresi yang disajikan pada Gambar 2-5. Model untuk pendugaan data curah hujan harian maksimum bulanan dengan menggunakan nilai curah hujan total bulanan juga disusun terpisah untuk masing-masing grid. Persamaan tersebut selanjutnya digunakan untuk perhitungan proyeksi curah hujan harian maksimum tahunan dengan menggunakan input dari luaran curah hujan bulanan 20 model GCM CMIP5. Tahapan atau alur dari penyusunan data dugaan observasi dan proyeksi tersebut disajikan pada Gambar 2-6.

Gambar 2-4 Sebaran lokasi stasiun hujan yang data curah hujannya digunakan untuk validasi dan koreksi bias.

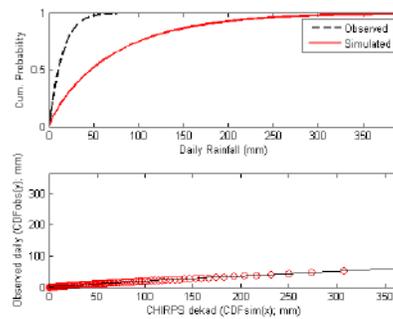


Gambar 2-5 . Ilustrasi tahapan proses koreksi data curah hujan untuk estimasi data curah hujan harian maksimum bulanan dari data curah hujan dekad maksimum bulanan dari data CHIRPS (a-d).

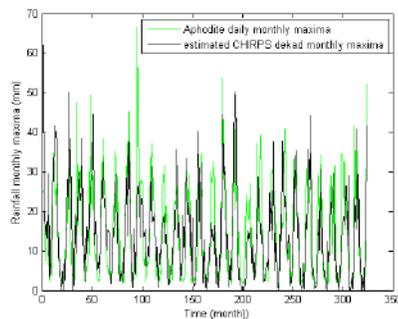
a) Data CHIRPS sebelum dikoreksi



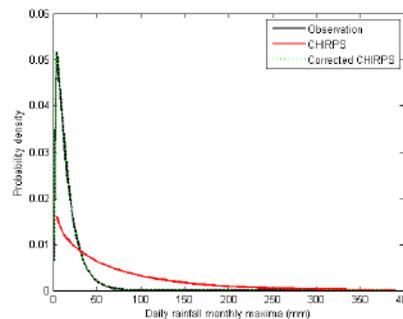
b) Proses koreksi dan penentuan faktor koreksi



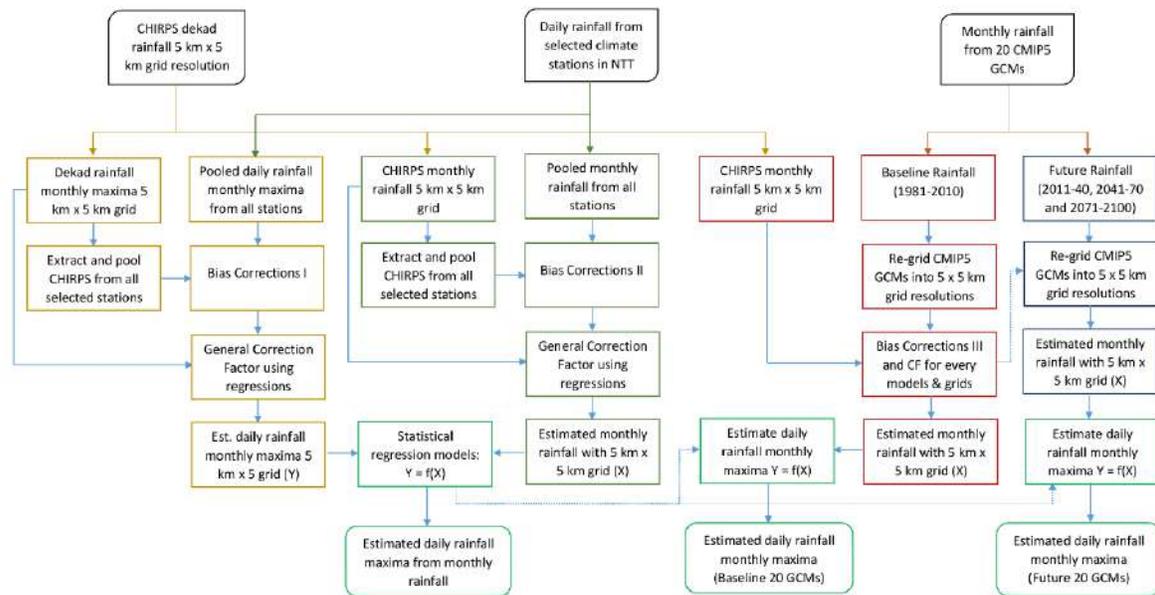
c) Data CHIRPS yang sudah dikoreksi



d) Kurva PDF data CHIRPS setelah dikoreksi



Gambar 2-6 Diagram alir estimasi data curah hujan harian maximum bulanan dari data CHIRPS dan data GCM CMIP5.



### 2.2.2.2 Koreksi Data GCM CMIP5 dan Estimasi Nilai Total Bulanan dan nilai Maxima Bulanan

Masih terkait dengan penjelasan pada Subbagian 3.2.2.1, pendugaan data curah hujan harian maksimum bulanan untuk analisis kejadian ekstrim juga dilakukan dengan menggunakan data curah hujan bulanan dari keluaran 20 model GCM CMIP5. Sebelumnya, data curah hujan bulanan dari masing-masing model di regridding menjadi resolusi 5 km x 5 km sesuai dengan resolusi data CH observasi. Data hasil regridding tersebut dikoreksi untuk setiap grid pada masing-masing model. Proses tahapan tersebut dapat dilihat melalui diagram yang disajikan pada Gambar 2-6.

### 2.2.3 Analisis Keragaman dan Perubahan Iklim

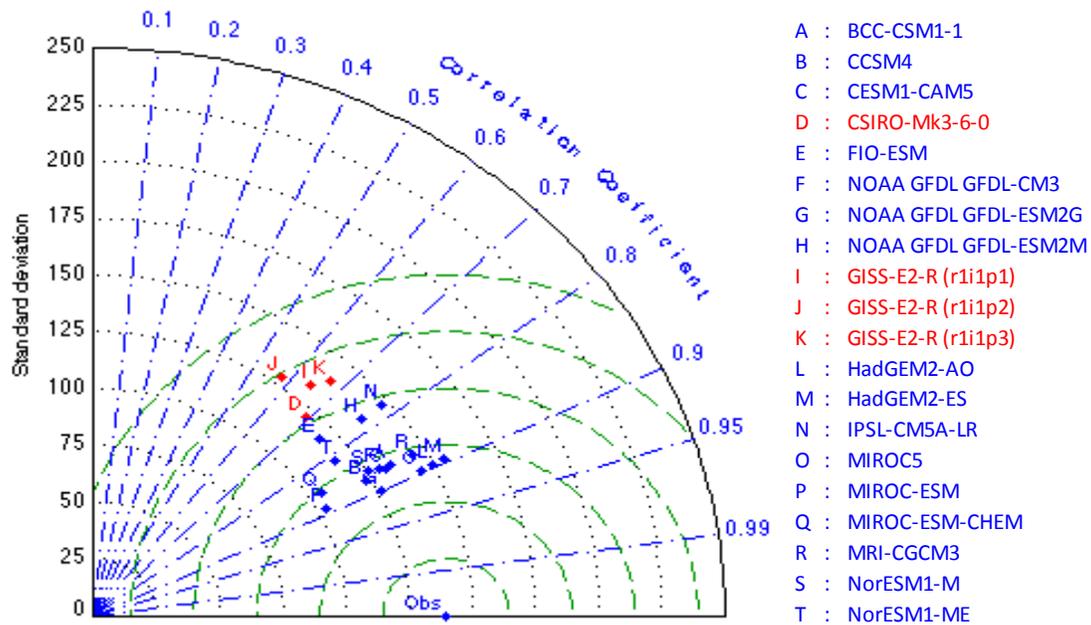
Dua aspek penting yang dikaji dalam studi ini yaitu berkaitan dengan analisis ataupun deteksi terkait keragaman iklim dan perubahan iklim di NTT. Kajian keragaman iklim atau *climate variability* dilakukan dengan mengidentifikasi keterkaitan antara keragaman data iklim khususnya curah hujan dengan berbagai faktor utama pengendali keragaman iklim di Indonesia, khususnya di NTT. Salah satu faktor yang dominan dan perlu dikaji yaitu berkaitan dengan pengaruh kejadian El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Keterkaitan antara hal tersebut dapat diidentifikasi dengan menggunakan analisis korelasi dan regresi spasial hubungan antara curah hujan dengan indeks ENSO, seperti data indeks anomali suhu permukaan laut (ASPL) di wilayah Nino-3.4. Analisis korelasi

diperlukan untuk melihat hubungan linear antar kedua data sementara koefisien regresi digunakan untuk mengukur pengaruh peningkatan indeks ASPL terhadap penurunan curah hujan di NTT dari kondisi normalnya.

Untuk analisis dan deteksi perubahan iklim, juga digunakan pendekatan metode analisis statistik. Analisis tren umumnya digunakan dalam kajian ini untuk mengidentifikasi perubahan iklim di NTT. Secara umum analisis tren dilakukan terhadap data curah hujan dan suhu udara rata-rata. Analisis tren dilakukan dengan menggunakan pendekatan teknik regresi. Disamping analisis tren, analisis perbandingan dan perubahan kondisi iklim juga dilakukan dengan perbandingan nilai distribusi peluang dari suatu unsur iklim, khususnya berkaitan dengan kejadian iklim ekstrim.

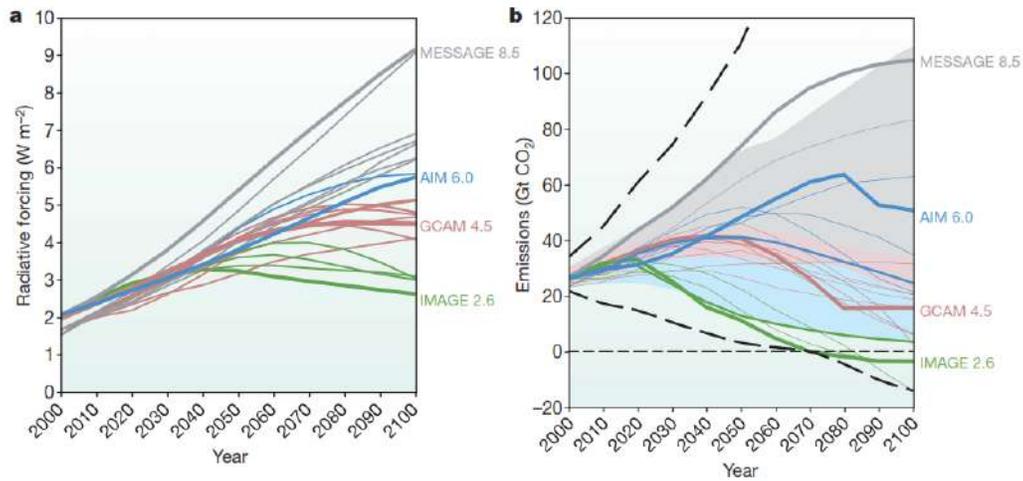
Khusus untuk proyeksi curah hujan, dari 20 model GCM yang tersedia, dilakukan seleksi model terlebih dahulu dengan membandingkan data curah hujan bulanan rata-rata (klimatologi) pada periode baseline untuk masing-masing model dengan data observasi. Data curah hujan klimatologi yang dibandingkan merupakan hasil rata-rata wilayah untuk seluruh NTT. Seleksi model dilakukan dengan menggunakan Diagram Taylor yang membandingkan tiga metrik statistik untuk melihat kesesuaian data model dengan data observasi. Ketiga metrik tersebut yaitu berdasarkan nilai koefisien korelasi, serta perbandingan nilai simpangan baku dan *root mean squared error* (RMSE). Hasil diagram Taylor untuk perbandingan seluruh model dengan data observasi dapat dilihat pada Gambar 2-7. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat empat keluaran model (warna merah) yang memiliki nilai koefisien korelasi  $< 0.7$ , yaitu CSIRO-Mk3-6-0 (run: r10i1p1) dan GISS-E2-R (run: r1i1p1, r1i1p2 dan r1i1p3). Oleh karena itu, untuk analisis proyeksi curah hujan, hanya akan digunakan 16 model dari 20 keluaran model GCM yang digunakan dalam studi ini.

Gambar 2-7 Diagram Taylor hasil perbandingan antara data klimatologi curah hujan masing-masing keluaran model GCM dengan curah hujan observasi.



Pada studi ini, proyeksi iklim menggunakan skenario emisi gas rumah kaca (GRK) *Representative Concentration Pathways 4.5 (RCP-4.5)*. Skenario ini didasarkan pada asumsi bahwa besarnya nilai *radiative forcing* pada tahun 2100 adalah  $4.5 \text{ W/m}^2$  atau setara dengan konsentrasi  $\text{CO}_2$  sebesar 650 ppm (Gambar 2-8) (Moss et al., 2010). Skenario RCP-4.5 telah memasukkan nilai emisi historis dan informasi tutupan lahan untuk mencapai target nilai *radiative forcing* yang diinginkan. Target tersebut juga diupayakan dengan cara merubah penggunaan energi dan penyimpanan karbon oleh permukaan. RCP-4.5 bertujuan untuk menjaga kestabilan *radiative forcing* pada tahun 2100. Namun demikian bukan berarti emisi GRK, konsentrasi GRK dan sistem iklim akan stabil. Pada RCP-4.5 besarnya *radiative forcing* akan stabil mulai tahun 2080-2100, tetapi emisi dan konsentrasi GRK akan bervariasi. Penggunaan RCP-4.5 dalam model iklim dimaksudkan untuk melihat respon sistem iklim dalam menstabilkan besarnya *radiative forcing* dari faktor antropogenik (Thomson et al., 2011) (Thomson et al. 2011).

Gambar 2-8 Nilai radiative forcing (a) dan emisi CO<sub>2</sub> (b) dalam skenario RCP. GCAM 4.5 merupakan acuan dalam skenario RCP-4.5 (Moss et al. 2010).



#### 2.2.4 Iklim Ekstrim dan Penentuan Ambang Batas

Faktor iklim terutama curah hujan merupakan salah satu faktor yang memiliki peran penting dalam meningkatkan resiko bencana hidrometeorology. Kemungkinan semakin meningkatnya peluang kejadian curah hujan ekstrim melebihi ambang batas daya tahan wilayah terhadap kedua bencana tersebut, akan membuat wilayah tersebut semakin rentan. Di dalam studi ini akan dianalisis kejadian hujan ekstrim dari data historis untuk memahami sejauh mana pengaruh kejadian tersebut terhadap wilayah yang dikaji. Penentuan ambang batas kritis untuk kejadian ekstrim pada penelitian ini dilakukan melalui kriteria ambang batas berdasarkan batasan peluang distribusi data curah hujan harian tanpa melibatkan data bencana. Analisis peluang distribusi untuk kategori ekstrim dilakukan dengan menggunakan batasan jika melampaui ambang batas 80<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup> dan 99<sup>th</sup> percentile.

Chu et al 2009 menggunakan tiga pendekatan untuk analisis ekstrim curah hujan tanpa mengaitkannya dengan kejadian bencana, yaitu melalui 1) jumlah rata-rata tahunan dari hari di mana akumulasi 24-h melebihi nilai curah hujan tertentu, 2) nilai yang terkait dengan spesifik terhadap persentil curah hujan harian, dan 3) nilai-nilai curah hujan harian maksimum tahunan yang terkait dengan periode ulang tertentu. Penentuan ambang batas ekstrim pada kajian ini dilakukan dengan mengandalkan pendekatan yang ketiga, yaitu dengan menganalisis nilai curah hujan maksimum tahunan yang terkait dengan periode ulang tertentu, yaitu pensentil 0.95 (periode ulang 20 tahun) dan 0.99 (periode ulang 100 tahun). Identifikasi curah hujan ekstrim dilakukan dengan menggunakan analisis fungsi distribusi peluang berdasarkan metode distribusi *Generalized Extreme*

Value (GEV) untuk menganalisis data curah hujan harian maximum tahunan. Metode GEV telah banyak digunakan dalam melakukan kajian iklim ekstrim, khususnya curah hujan. Metode analisis distribusi GEV memiliki tiga jenis parameter, yaitu parameter lokasi  $\mu$ , parameter skala  $\sigma$ , dan parameter bentuk  $k$ . Nilai  $k$  memiliki tiga kemungkinan yaitu jika  $k \neq 0$  ( $k < 1$  atau  $k > 1$ ) dan  $k = 0$ . Fungsi kepadatan peluang (*probability density function*, PDF) dari distribusi GEV dengan nilai  $k \neq 0$  ditunjukkan melalui persamaan berikut:

$$y = f(x|k, \mu, \sigma) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left(-\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}}\right) \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1 - \frac{1}{k}}$$

untuk  $1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0$ . Sedangkan untuk  $k = 0$ , persamaan PDF-nya sebagai berikut:

$$y = f(x|k, \mu, \sigma) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) - \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)$$

Metode distribusi GEV membangkitkan fungsi PDF berdasarkan pola distribusi data mengikuti tiga kemungkinan parameter bentuk ( $k$ ), dan membantu dalam menentukan pola distribusi yang sesuai dengan data yang dianalisis. Ketiga kemungkinan nilai parameter bentuk tersebut mengikuti tiga tipe kasus berdasarkan tiga kemungkinan fungsi distribusi, yaitu:

- 1) Tipe I, jika nilai parameter bentuk  $k = 0$ , dimana terdapat ekor (*tails*) dari distribusi menurun secara eksponensial.
- 2) Tipe II, jika nilai parameter bentuk  $k > 0$ , dimana *tails* menurun secara polinomial, dan
- 3) Tipe III, jika nilai parameter bentuk  $k < 0$ , dimana *tails* bersifat terbatas (*finite*).

Dalam praktiknya, ketiga tipe tersebut, yaitu tipe I, II dan III seringkali dikaitkan dengan tiga tipe distribusi, yaitu distribusi Gumbel, Frechet, dan Weibull, masing-masing secara berurutan.

Di dalam kajian ini juga dihitung pendugaan nilai periode ulang yang berkaitan dengan data curah hujan harian maksimum tahunan menggunakan metode GEV. Nilai periode ulang (return period,  $T$ ) merupakan fungsi dari nilai quantile ( $Q_T$ ) yang diasosiasikan dengan nilai peluang terlampaui dari suatu batas nilai tertentu. Sehingga, periode ulang ( $T$ ) dinyatakan sebagai:

$$T = \frac{1}{(1 - F(Q_T))}$$

dimana  $F(Q_T)$  menyatakan nilai peluang kumulatif (CDF) pada quantile  $Q_T$ .

Metode penentuan ambang batas ini merupakan salah satu dari beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian iklim ekstrim dengan hanya mengandalkan data iklim tanpa melihat keterkaitannya dengan data bencana.

## 3 KONDISI IKLIM HISTORIS

### 3.1 IKLIM HISTORIS DI NTT

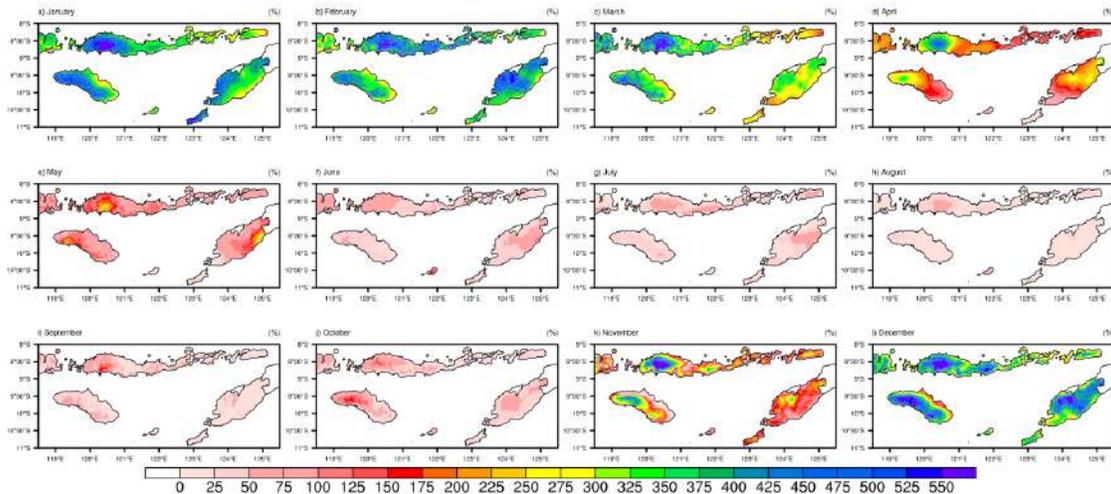
#### 3.1.1 Kondisi Klimatologi

##### 3.1.1.1 Pola Curah Hujan

Wilayah Nusa Tenggara Timur secara umum merupakan wilayah yang dominan beriklim kering, dimana dalam setahun musim hujan berlangsung selama 4 bulan (November – Maret), dan musim kemarau berlangsung selama 8 bulan (April – Oktober). Berdasarkan pola hujan, wilayah Nusa Tenggara Timur termasuk dalam pola monsunial, yang dicirikan oleh bentuk pola hujan yang bersifat unimodal (satu puncak musim hujan, yaitu pada Januari atau Februari). Musim hujan dan musim kemarau di Nusa Tenggara Timur terjadi seiring dengan bertiupnya monsun secara periodik, yaitu monsun Asia (Desember-Januari-Februari) dan monsun Australia (Juni-Juli-Agustus). Awal musim hujan tercepat terjadi di Ruteng – Manggarai, yaitu pada September III, sedangkan awal musim hujan terlambat terjadi di Waingapu – Sumba Timur dan Larantuka – Flores Timur, yaitu pada Desember II. Curah hujan tahunan tertinggi terjadi di Ruteng-Manggarai (3500 – 4000 mm), sedangkan curah hujan tahunan terendah terjadi di Lewoleba-Lembata (500 – 1000 mm).

Gambar 3-1 menunjukkan peta klimatologi curah hujan bulanan selama 30 puluh tahun yang dihitung dari data curah hujan CHIRPS yang sudah dikoreksi dengan data curah hujan hasil pengamatan di beberapa stasiun iklim di NTT. Dari gambar tersebut, tampak jelas bahwa curah hujan di NTT secara umum memiliki pola curah hujan musiman dengan periode musim hujan mulai dari November hingga Maret atau April. Beberapa wilayah di NTT memiliki curah hujan musiman yang relative lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya.

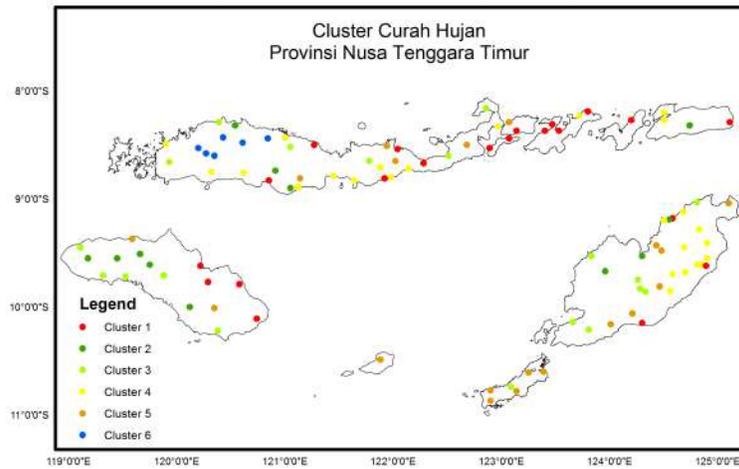
Gambar 3-1 Klimatologi curah hujan bulanan selama 30 tahun periode 1981-2010 berdasarkan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun.



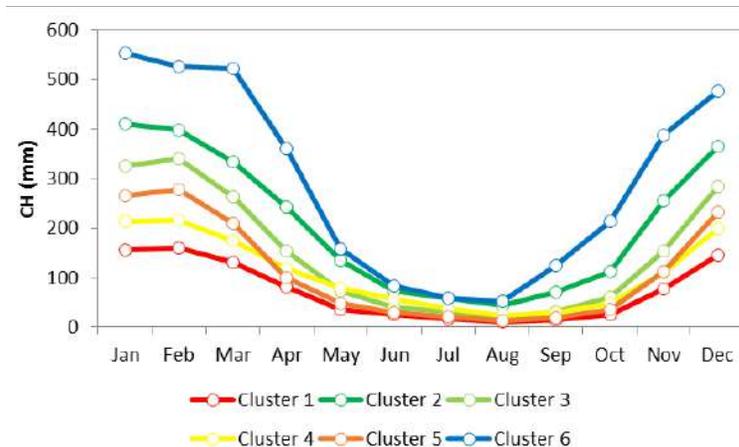
Berdasar hasil analisis BMKG, wilayah Nusa Tenggara Timur terklasifikasi menjadi 23 zona musim (ZOM 241 – 263). Sementara itu berdasarkan analisis tipe iklim Schmidt-Ferguson, diketahui bahwa 70% wilayah di Nusa Tenggara Timur adalah beriklim agak kering dan kering (Tipe E dan F). Zona Musim (ZOM) adalah daerah yang pola hujan rata-ratanya memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim kemarau dan musim hujan. Luas suatu wilayah ZOM tidak selalu sama dengan luas suatu wilayah administrasi pemerintahan. Dengan demikian, satu wilayah ZOM bisa terdiri dari beberapa kabupaten, dan sebaliknya satu wilayah kabupaten bisa terdiri dari beberapa ZOM.

Gambar 3-2 Pengelompokan tipe hujan berdasarkan hasil analisis cluster terhadap data curah hujan dari 102 stasiun hujan di NTT; a) Peta sebaran lokasi stasiun hujan berdasarkan kelompok tipe hujan hasil analisis cluster, dan b) pola curah hujan musiman (klimatologi) berdasarkan rata-rata bulanan data hujan untuk masing-masing kelompok cluster.

a) Sebaran stasiun hujan ditandai dengan pola hujan hasil analisis cluster



b) Pola curah hujan rata-rata dari rata-rata hujan di stasiun pada masing-masing cluster



Hasil analisis cluster yang dilakukan dalam kajian ini dengan menggunakan data hujan rata-rata bulanan dari 102 stasiun di NTT menunjukkan enam kelompok pola hujan musiman (Gambar 3-2). Hasil ini merupakan update dari analisis yang pernah dilakukan Boer dan Faqih (2011) yang menggunakan pendekatan analisis yang sama dengan menggunakan curah hujan rata-rata bulanan dari 95 stasiun. Hasil analisis Boer dan Faqih (2011) tersebut membagi menjadi empat kelompok pola hujan, dimana data curah hujan

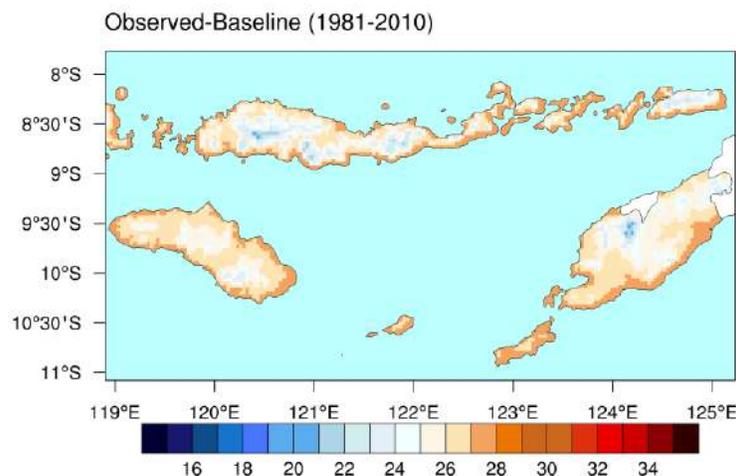
dari Sabu Raijua dan beberapa wilayah lainnya belum dimasukkan dalam analisis. Pembaharuan yang dilakukan dalam kajian ini dilakukan dengan penambahan jumlah stasiun termasuk di Sabu Raijua dan juga dengan penambahan jumlah rekam data pada sebagian stasiun hujan untuk meningkatkan kualitas analisis.

Hasil analisis cluster menunjukkan bahwa stasiun hujan di wilayah Kabupaten Manggarai memiliki pola curah hujan dengan karakteristik hujan rata-rata yang paling tinggi dibandingkan dengan wilayah lain (Cluster 6). Panjang musim kemarau di kelompok tersebut juga relative lebih pendek dan lebih basah dibandingkan dengan di kelompok pola hujan yang lain). Cluster 1 merupakan kelompok stasiun yang memiliki pola hujan yang paling kering dibandingkan dengan pola hujan lainnya. Kelompok ini mencakup curah hujan di bagian utara Sumba Timur dan juga di beberapa bagian di Pulau Flores, Pulau Lembata dan bagian timur Pulau Alor. Wilayah Sabu Raijua masuk ke kelompok pola curah hujan Cluster 5 yang memiliki pola curah hujan rata-rata pada musim hujan tidak lebih dari 300 mm dan dengan lama musim kemarau sekitar 8 bulan.

### 3.1.1.2 Pola Suhu Udara

Berdasarkan peta suhu pada Gambar 3-3 yang dibuat dari data bangkitan suhu sebagai fungsi dari ketinggian, suhu udara rata-rata di NTT cenderung bervariasi antara wilayah dataran rendah hingga dataran tinggi. Secara umum rentang suhu udara rata-rata tahunan di NTT berkisar antara 19 hingga 28 °C. Berdasarkan perbandingan antara data pengamatan suhu di tiga wilayah kajian, temperatur udara rata-rata tahunan tertinggi terjadi di Tardamu-Sabu Raijua (27,8 °C), sedangkan temperatur udara rata-rata tahunan terendah terjadi di Ruteng-Manggarai (19,9 °C).

Gambar 3-3 Suhu udara rata-rata 30 tahunan di NTT periode baseline 1981-2010. Interpolasi data suhu disusun mengikuti fungsi lapse rate.

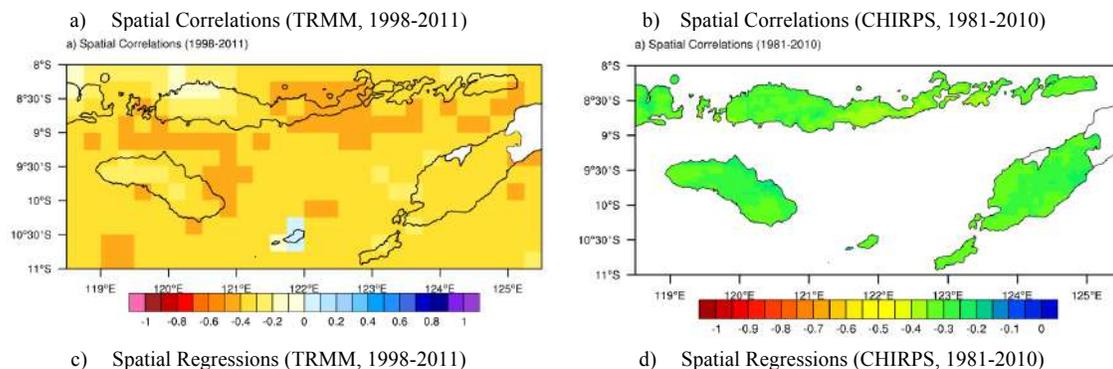


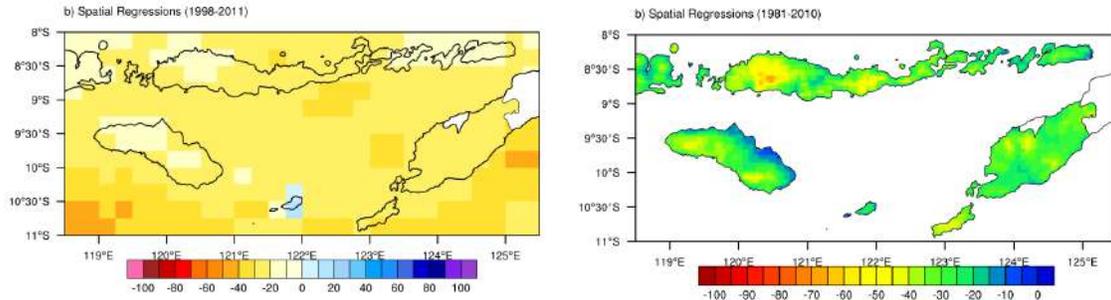
### 3.1.2 Keragaman Iklim dan Pengaruh El Nino-Southern Oscillation (ENSO)

Fenomena global El Nino dan La Nina atau yang dikenal sebagai kejadian *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) merupakan salah satu faktor dominan yang mempengaruhi keragaman iklim di Indonesia, termasuk di wilayah Nusa Tenggara Timur. Fenomena El Nino biasanya berasosiasi dengan kejadian kemarau panjang atau kekeringan karena terjadi penurunan curah hujan jauh di bawah normal selama musim hujan. Sementara La Nina biasanya berasosiasi dengan kejadian musim hujan yang panjang dan berdampak banjir karena kenaikan curah hujan jauh di atas normal. Hasil analisis Geru (2013) terhadap beberapa daerah di Nusa Tenggara Timur, menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah rentan terhadap pengaruh El Nino dan La Nina, dimana pada saat musim hujan yang bersamaan dengan tahun kejadian El Nino, dampak yang diakibatkan antara lain; awal musim hujan umumnya terlambat/mundur 1-6 dasarian dari normalnya, periode musim hujan menjadi lebih pendek, dan curah hujan umumnya di bawah normal (BN).

Sedangkan pada saat musim hujan yang bersamaan dengan dengan tahun kejadian La Nina, dampak yang diakibatkan antara lain, awal musim hujan umumnya lebih cepat/maju 1-4 dasarian dari normalnya, periode musim hujan menjadi lebih panjang, dan curah hujan umumnya di atas normal (AN). Hasil penelitian tersebut sesuai dengan Tjasyono (2004), yang menyimpulkan bahwa pengaruh ENSO kuat pada daerah yang dipengaruhi oleh sistem monsun (Sumatera bagian selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan sebagian besar kawasan Indonesia bagian timur; lemah pada daerah dengan system ekuatorial (Sumatera bagian tengah, Kalimantan bagian tengah dan daerah-daerah yang dilalui khatulistiwa); dan tidak jelas pada daerah dengan sistem lokal (Maluku).

Gambar 3-4 Peta koefisien korelasi (a-b) dan koefisien regresi (c-d) antara anomaly curah hujan bulanan dengan indeks anomaly suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4. Data curah hujan menggunakan data TRMM (kiri) dan data CHIRPS yang telah dikoreksi (kanan). Data indeks Nino-3.4 dihitung dengan menggunakan data SPL ERSST versi 3b.

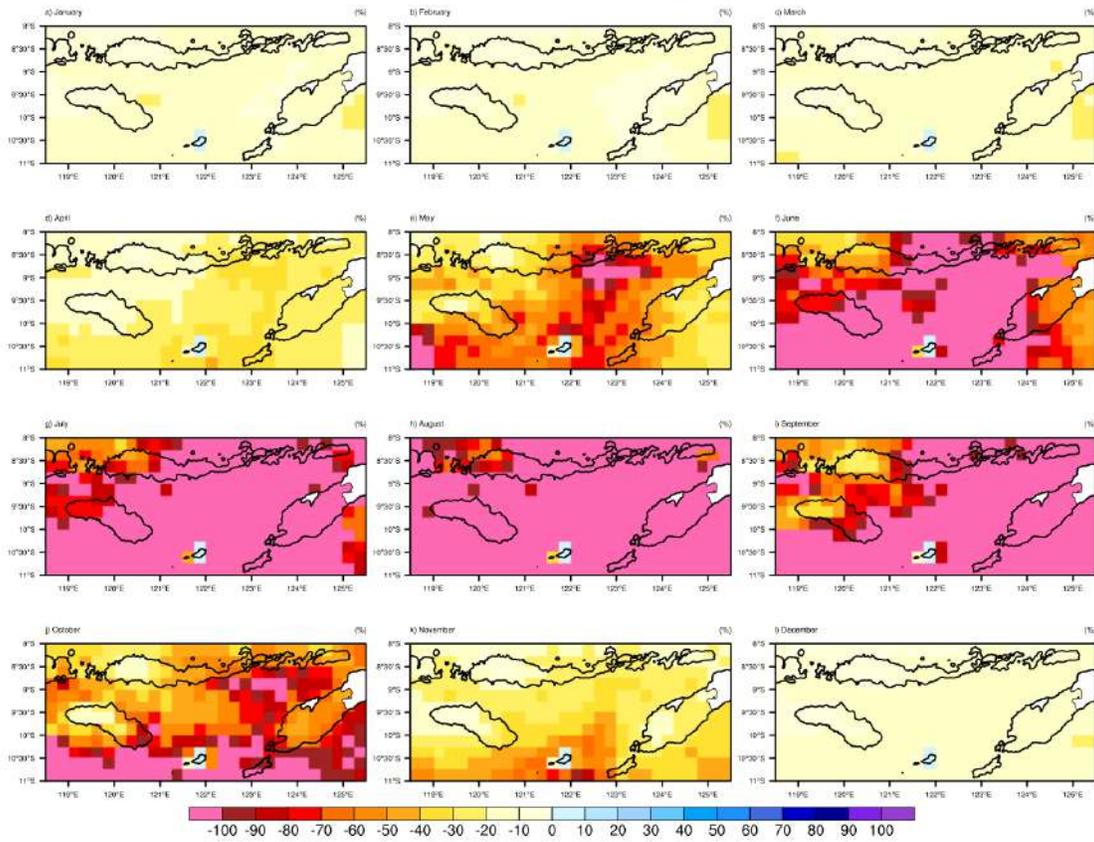




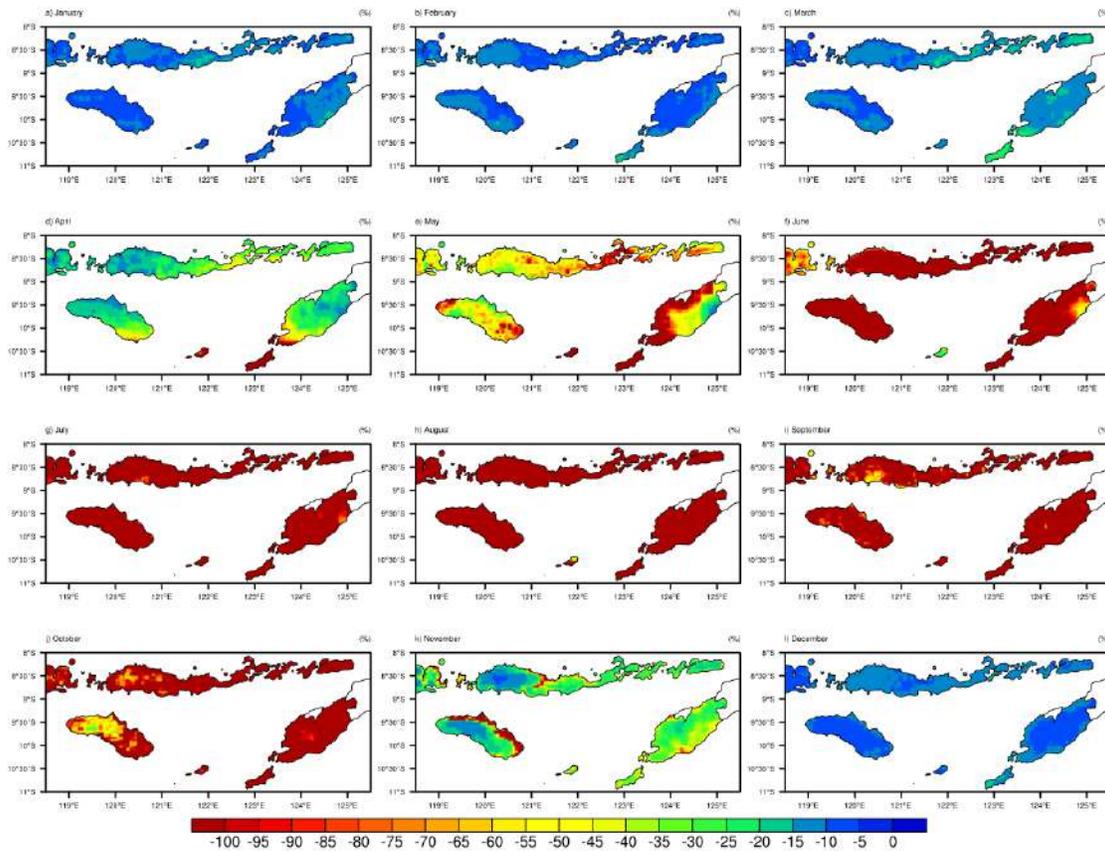
Gambar 3-3 menunjukkan peta korelasi spasial dan nilai koefisien regresi (*slope*) antara data indeks ENSO di wilayah Nino-3.4 dengan data anomali curah hujan masing-masing berasal dari data TRMM (Gambar 3-4 a dan c) dan CHIRPS (Gambar 3-4 b dan d). Peta korelasi tersebut menunjukkan bahwa hampir seluruh wilayah memiliki keragaman curah hujan yang berkaitan dengan ENSO ditandai dengan nilai korelasi negatif. Nilai korelasi negatif menunjukkan bahwa saat terjadi peningkatan (penurunan) indeks ENSO di wilayah Nino-3.4 yang menunjukkan kejadian El Nino (La Nina), terjadi pula penurunan (peningkatan) curah hujan di NTT.

Sensitifitas tiap wilayah dalam merespon kejadian ENSO relatif beragam. Berdasarkan peta korelasi pada Gambar 3-4a dapat dilihat bahwa curah hujan di wilayah daratan dan lautan memiliki korelasi negatif sekitar 0,4-0,5 dengan nilai korelasi terlihat lebih tinggi di wilayah lautan. Pengaruh ENSO yang juga ditemukan terhadap keragaman curah hujan di lautan –selain di daratan- menunjukkan bahwa kejadian ENSO memiliki pengaruh terhadap anomali iklim di wilayah lautan di sekitar NTT. Anomali iklim di wilayah lautan lokal akibat ENSO dapat mempengaruhi kegiatan masyarakat terutama yang menggantungkan pencaharian hidup mereka dari lautan. Dengan adanya perubahan iklim, kejadian anomali iklim yang seringkali berasosiasi dengan kejadian ektrim kemungkinan akan mengalami peningkatan.

Gambar 3-5 Persentase penurunan curah hujan relatif terhadap nilai klimatologi pada bulan bersangkutan sebagai respon terhadap peningkatan per 1 °C indeks anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4 sebagai indikator terjadinya El Nino. Data curah hujan menggunakan data TRMM.



Gambar 3-6 Persentase penurunan curah hujan relatif terhadap nilai klimatologi pada bulan bersangkutan sebagai respon terhadap peningkatan per 1 °C indeks anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4 sebagai indikator terjadinya El Nino. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS yang telah dikoreksi.



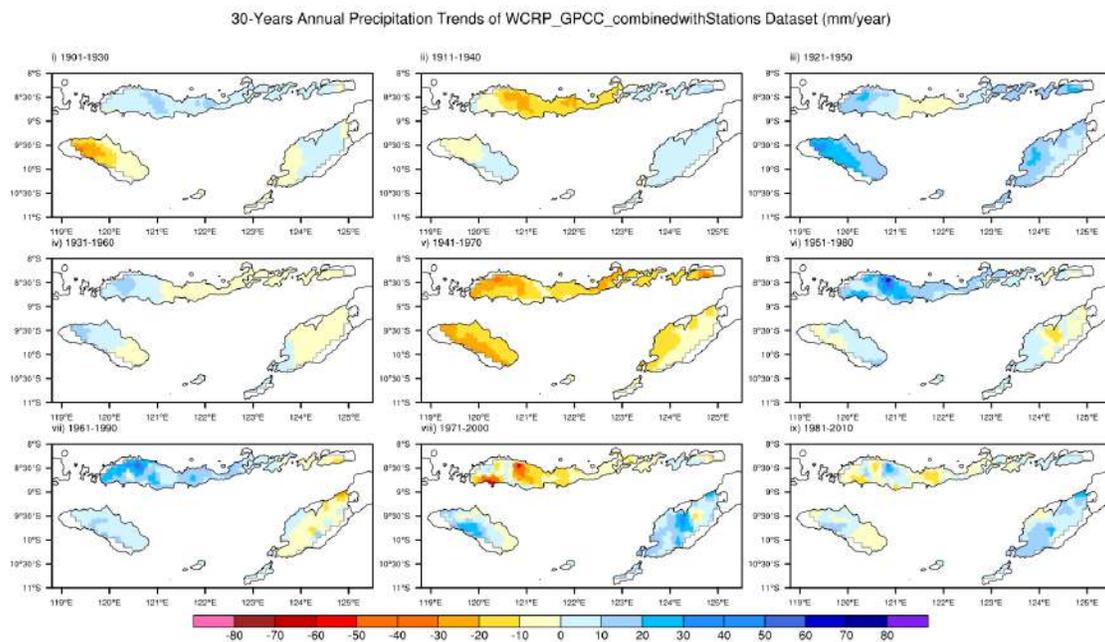
Gambar 3-5 dan 3-6 menunjukkan besaran persentase penyimpangan curah hujan sebagai respon dari penyimpangan indeks ENSO yang dibandingkan secara relatif terhadap nilai rata-rata setiap bulannya. Peningkatan persentase penyimpangan terlihat dominan di musim kemarau dan transisi, yaitu sekitar Mei hingga Oktober. Pada bulan-bulan tersebut persentase penyimpangan curah hujan akibat ENSO dapat mencapai lebih dari 100% dari nilai rata-rata curah hujan pada masing-masing bulan tersebut. Oleh karena itu, kejadian ENSO seperti El Nino akan berpengaruh cukup besar terhadap berkurangnya curah hujan, sehingga dapat menyebabkan kekeringan. Pada Gambar 3-5 terlihat bahwa persentase penyimpangan curah hujan lebih dominan terjadi di lautan dibandingkan di daratan.

### 3.1.3 Perubahan Iklim

Pada beberapa tahun belakangan ini, secara pintas dapat dirasakan perubahan perilaku iklim yang tidak menentu di sebagian besar Nusa Tenggara Timur. Dampak yang paling

dirasakan adalah penyimpangan pola hujan dari normalnya. Awal musim hujan umumnya mundur, sering terjadi periode kering (dry spell) atau jeda hujan (season break), curah hujan bertambah tinggi, namun periode musim hujan semakin pendek, serta sering terjadi hujan yang cukup tinggi pada musim kemarau. Hasil analisis data series temperatur udara dan curah hujan bulanan pada 8 (delapan) Stasiun Meteorologi dan Klimatologi di Nusa Tenggara Timur menunjukkan bahwa pada umumnya temperatur udara dan curah hujan bulanan mengalami tren kenaikan; suhu udara bertambah panas dan akumulasi hujan bulanan bertambah banyak, kecuali di Baa – Rote Ndao, temperatur udara dan curah hujan bulanan mengalami tren penurunan (Geru, 2013). Sementara itu Pujiono (2013) dalam kajian Tingkat Kerentanan Air di DAS Kambaniru-Sumba Timur, mengemukakan bahwa di sekitar DAS Kambaniru telah terjadi kenaikan temperatur udara rata-rata dan penurunan curah hujan selama 40 tahun terakhir (1973 – 2012), dan berdasarkan pendekatan spasial, bagian tengah dan hilir DAS Kambaniru termasuk kategori tingkat kerentanan tinggi, sedangkan di bagian hulu memiliki tingkat kerentanan sedang.

Gambar 3-7 Trend dasawarsa dari curah hujan tahunan di NTT, dihitung berdasarkan data 30-tahunan dengan interval setiap 10 tahun dalam rentang periode 1901-2010. Data jangka panjang diperoleh dari hasil rekonstruksi data curah hujan dari 102 stasiun iklim dikombinasikan dengan data curah hujan bulanan global dari WCRP GPCP sebagaimana dijelaskan pada Subbagian 3.2.2.



### 3.1.3.1 Perubahan Curah Hujan

Analisis data historis menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan pada berbagai unsur iklim, salah satunya yaitu curah hujan. Selain adanya perubahan jangka panjang yang ditunjukkan oleh tren, data curah hujan juga memiliki karakteristik pola siklus decadal yang kuat. Gambar 3-7 menunjukkan perubahan curah hujan dalam rentang waktu decadal dimana nilai tren curah hujan setiap 30 tahun dengan rentang interval 10 tahunan menunjukkan trend yang berubah-ubah. Selama lebih dari 100 tahun terkakhir, tren penurunan curah hujan paling besar dan merata hampir di seluruh wilayah NTT terjadi pada periode tahun 1941-1970. Sementara untuk periode lainnya arah tren curah hujan cenderung menunjukkan perbedaan antar wilayah di NTT. Dalam periode beberapa dasawarsa terakhir (periode 1971-2000 dan periode 1981-2010), tren curah hujan cenderung positif di sebagian besar wilayah di Pulau Timor dan beberapa bagian di pulau Sumba. Sementara itu, di Pulau Flores cenderung menunjukkan tren penurunan curah hujan, khususnya pada periode 1971-2000. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena pada periode yang sama telah terjadi beberapa kali kejadian El Nino yang cukup kuat yang menyebabkan penurunan penerimaan curah hujan di NTT, khususnya di Pulau Flores.

### 3.1.4 Kejadian Iklim Ekstrim

Gangguan iklim di wilayah Nusa Tenggara Timur yang sering terjadi pada saat musim hujan adalah jeda hujan atau dry spell. Sebagai contoh pada musim hujan 2013/2014 terjadi long dry spell pada bulan Januari - Februari 2014 di beberapa wilayah di Nusa Tenggara Timur, antara lain Malaka, Timor Tengah Selatan, Lembata, Flores Timur, Sikka, Ende, Nagekeo, Manggarai Timur, dan Sumba Timur. Pada rentang waktu musim hujan tersebut tersebut hujan tidak turun sama sekali pada Januari hingga Februari 2014 sehingga berdampak pada kekeringan tanaman semusim dan gagal panen. Disamping itu, pengaruh curah hujan ekstrim juga dapat mempengaruhi kegiatan masyarakat dan berpotensi menyebabkan banjir.

#### 3.1.4.1 Maksimum curah hujan tahunan

Gambar 3-8 menunjukkan peta nilai rata-rata dan simpangan baku dari curah hujan harian maksimum tahunan di setiap wilayah grid data TRMM di wilayah NTT. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai rata-rata curah hujan harian maksimum tahunan berbeda untuk tiap wilayah, dengan nilai rata-rata terendah berada di wilayah bagian barat berbatasan dengan Timor Leste, sementara nilai rata-rata tertinggi terdapat di sekitar wilayah Manggarai di Pulau Flores. Uniknya, nilai akumulasi curah hujan harian dari 1 hingga 4 harian menunjukkan peningkatan nilai rata-rata maksimum yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan nilai kumulatif curah hujan selama 5-harian. Berdasarkan peta tersebut juga dapat diketahui bahwa wilayah Manggarai di Pulau Flores merupakan wilayah yang menerima nilai curah hujan maksimum tahunan yang paling tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya di NTT.

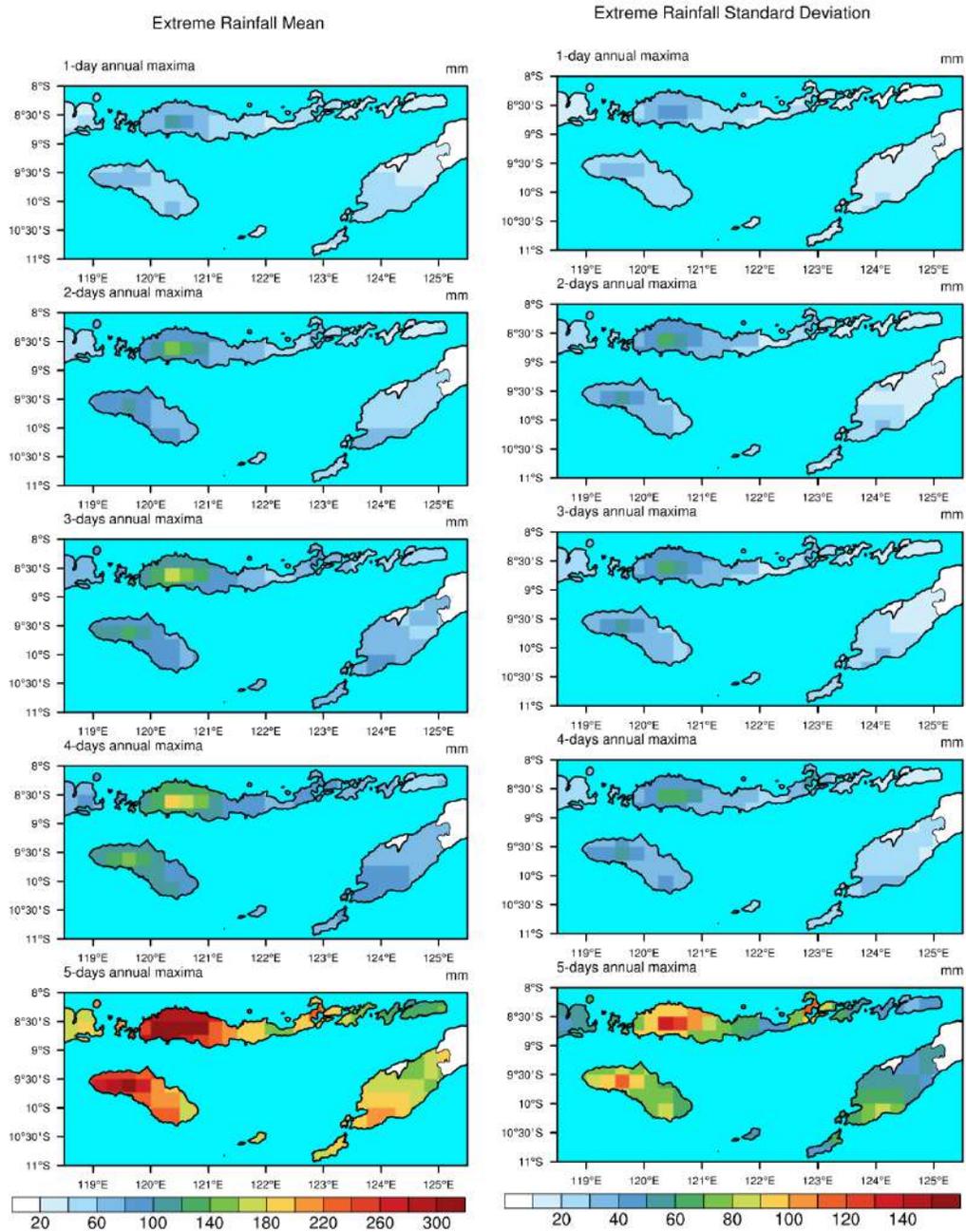
Gambar 3-9 secara khusus menunjukkan sebaran nilai curah hujan harian maksimum tahunan setiap tahunnya di wilayah NTT, mulai dari tahun 1981 hingga tahun 2007. Dari Gambar tersebut, wilayah Manggarai termasuk wilayah yang paling sering mengalami curah hujan ekstrim, hal ini juga ditemukan pada wilayah lainnya khususnya di sebagian wilayah di Pulau Sumba.

#### 3.1.4.2 Ambang batas curah hujan ekstrim

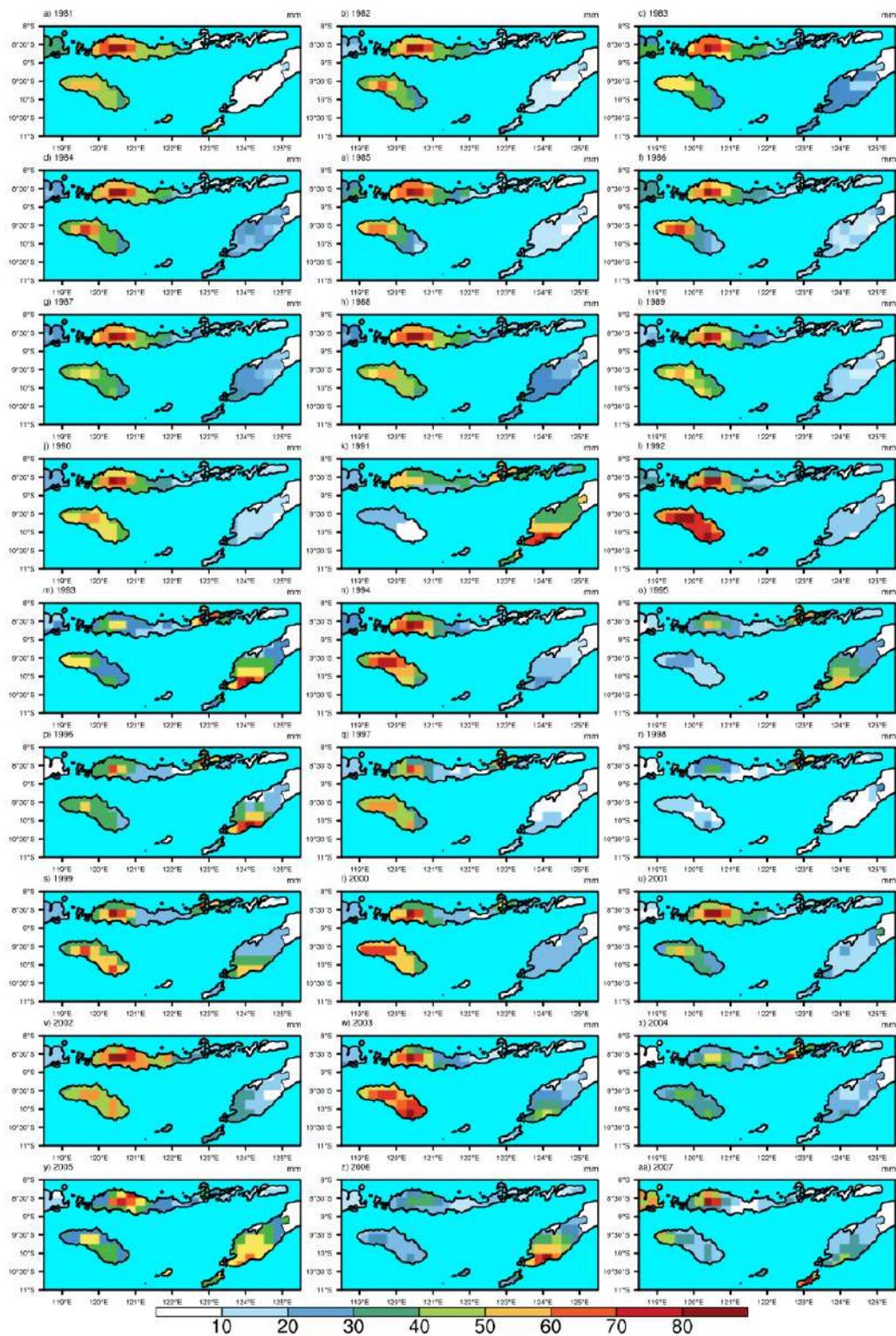
Kejadian curah hujan ekstrim dapat diidentifikasi dari penentuan nilai curah hujan harian maksimum tahunan. Berdasarkan batasan nilai percentile untuk empat kategori ekstrim, yaitu dengan threshold pada 80<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup> dan 99<sup>th</sup> percentile diperoleh peta spasial pada masing-masing ambang batas CH ekstrim. Masing masing threshold secara berturut-turut merepresentasikan kejadian ekstrim dengan periode ulang 5, 10, 20 dan 100 tahunan. Peta distribusi nilai threshold CH ekstrim tersebut disajikan pada Gambar 3-10. Dari gambar tersebut, nampak bahwa wilayah Kabupaten Manggarai memiliki nilai threshold yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah lain. Nilai ambang batas di wilayah tersebut dapat mencapai >200 mm bahkan pada ambang batas yang paling rendah dengan periode ulang 5 tahunan (80<sup>th</sup> percentile).

Sebagai tambahan informasi, dari distribusi data curah hujan maksimum tersebut juga dihitung nilai threshold curah hujan pada 1<sup>st</sup> percentile, 5<sup>th</sup> percentile, 10<sup>th</sup> percentile dan 20<sup>th</sup> percentile. Nilai ambang batas ini merepresentasikan nilai curah hujan maksimum pada ambang batas yang relatif rendah untuk menunjukkan peluang curah hujan yang dibawah nilai ambang batas tersebut. Diasumsikan bahwa tahun-tahun yang memiliki curah hujan maksimum yang relatif rendah dapat menjadi indikasi bahwa tahun tersebut relative memiliki intensitas curah hujan yang rendah. Nilai ambang batas untuk bagian ini disajikan pada Gambar 3-11.

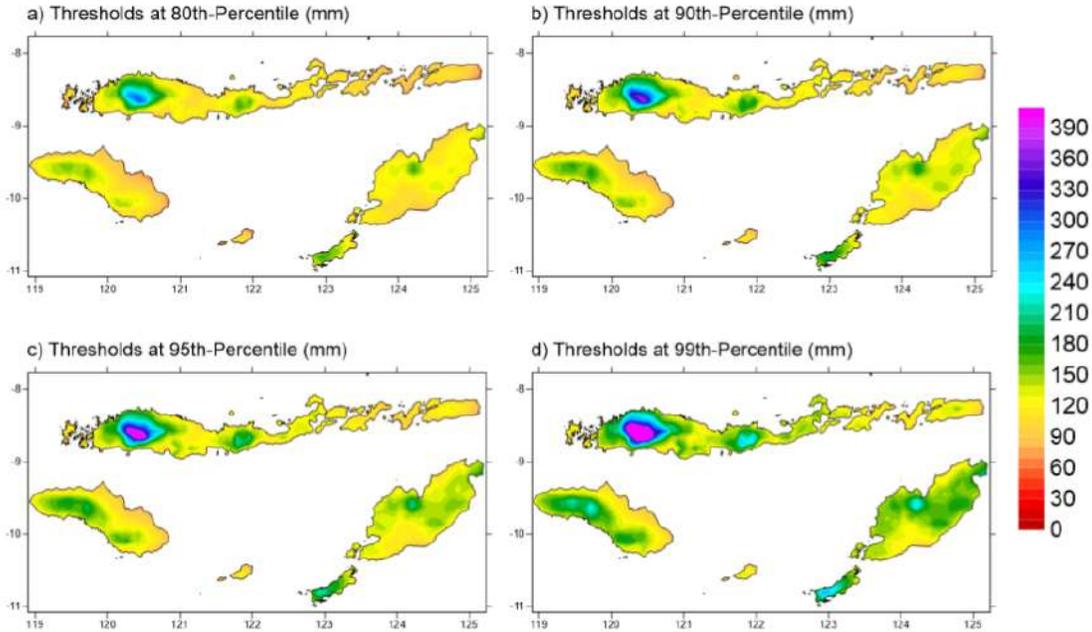
Gambar 3-8 Peta nilai rata-rata dan simpangan baku curah hujan maksimum tahunan di NTT untuk akumulasi hujan selama 1 hingga 5 hari.



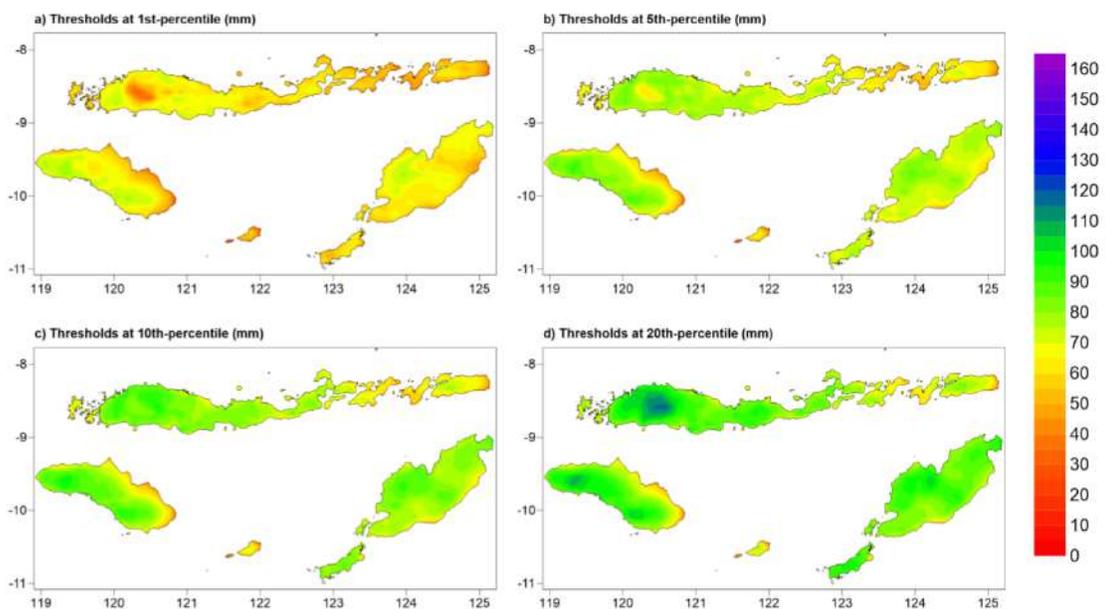
Gambar 3-9 Curah hujan harian maksimum tahunan pada tahun 1981-2007 (a-aa) berdasarkan data Aphrodite.



Gambar 3-10 Ambang batas curah hujan ekstrim basah (dalam milimeter, mm) berdasarkan batasan nilai percentile: a) 80<sup>th</sup> percentile, b) 90<sup>th</sup> percentile, c) 95<sup>th</sup> percentile, and d) 99<sup>th</sup> percentile.



Gambar 3-11 Ambang batas curah hujan ekstrim kering (dalam milimeter, mm) berdasarkan batasan nilai percentile: a) 1<sup>th</sup> percentile, b) 5<sup>th</sup> percentile, c) 10<sup>th</sup> percentile, and d) 20<sup>th</sup> percentile.



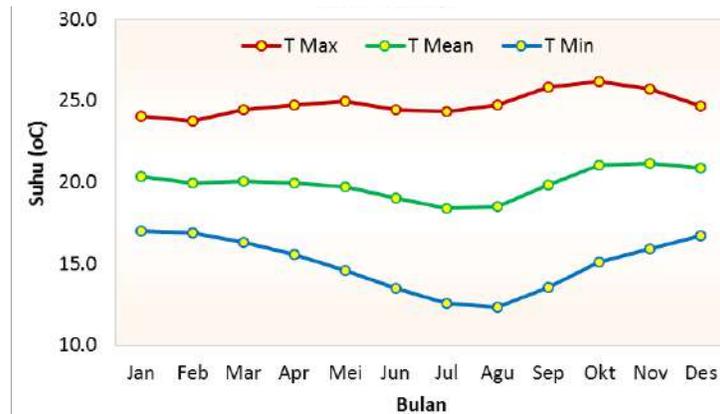
## 3.2 IKLIM HISTORIS DI KABUPATEN MANGGARAI

### 3.2.1 Kondisi Klimatologi

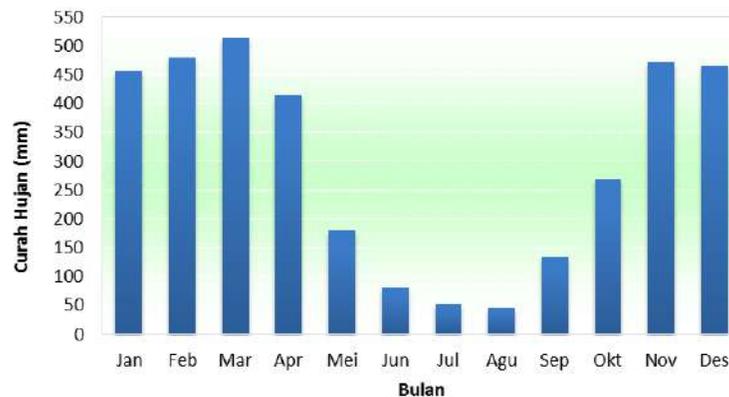
#### 3.2.1.1 Profil Temperatur Udara

Hasil analisis suhu udara rata-rata bulanan selama 20 tahun (1994-2013) menunjukkan pola suhu musiman dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan November (21,2 oC), sedangkan suhu udara rata-rata terendah terjadi pada bulan Juli (18,4 oC). Suhu udara maximum bulanan tertinggi terjadi pada bulan Oktober (26,2 oC), sedangkan temperatur udara maximum terendah terjadi pada bulan Februari (23,8 oC). Temperatur udara minimum bulanan tertinggi terjadi pada bulan Januari (17,0 oC), sedangkan temperatur udara minimum terendah terjadi pada bulan Agustus (12,4 oC; Gambar 3-12).

Gambar 3-12 Klimatologi suhu udara rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Ruteng, Maggarai periode 1994-2013



Gambar 3-13 Klimatologi curah hujan bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Ruteng, Maggarai periode 1994-2013



### 3.2.1.2 Profil Curah Hujan

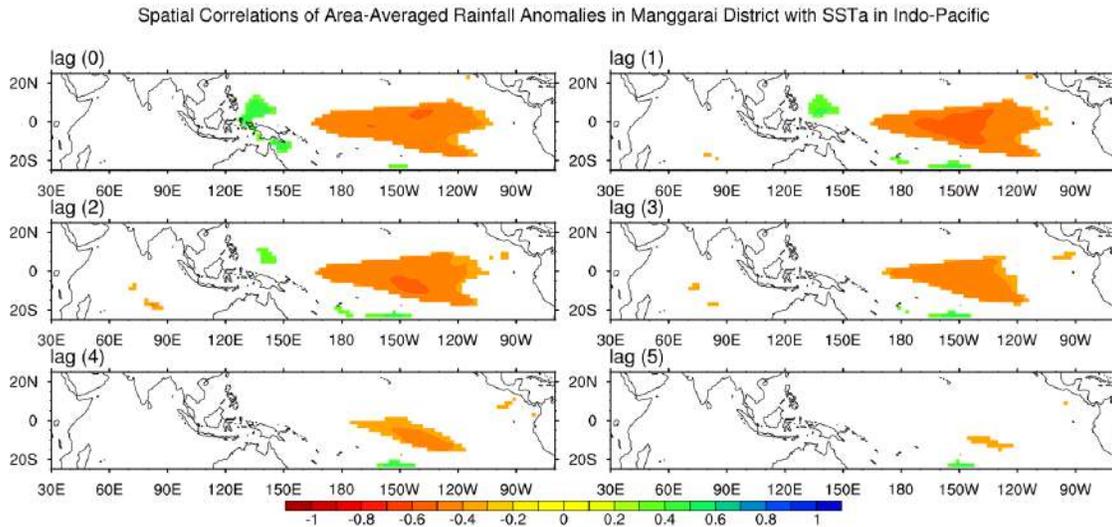
Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, pola curah hujan di NTT mengikuti pola monsunial, termasuk juga pola curah hujan di Kabupaten Manggarai (Gambar 3-13). Rata-rata curah hujan bulanan tertinggi selama 20 tahun (1994-2013) di Stasiun Ruteng-Manggarai terjadi pada bulan Maret (514 mm), sementara rata-rata curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan Agustus (45 mm). Musim hujan berlangsung dari September III – Mei III (25 dasarian), sedangkan musim kemarau berlangsung dari Juni I – September II (11 dasarian).

### 3.2.2 Keragaman Iklim

Kabupaten Manggarai memiliki keragaman curah hujan yang dipengaruhi oleh faktor pengendali keragaman iklim global seperti ENSO. Anomali curah hujan di Kabupaten Manggarai berkaitan erat dengan kondisi penyimpangan anomali SPL di kawasan Pasifik Timur dan Tengah. Gambar 3-14 menunjukkan peta korelasi spasial antara data anomaly curah hujan wilayah di Kabupaten Manggarai dengan data anomali suhu permukaan laut di Indo-Pasifik mencakup Samudera Hindia, Perairan Indonesia dan Samudera Pasifik dengan jeda waktu hingga 5 bulan sebelumnya. Peta tersebut secara jelas menunjukkan adanya nilai korelasi negatif yang signifikan (ditunjukkan oleh warna orange) di kawasan tengah Samudera Pasifik tropis yang menunjukkan adanya keterkaitan pengaruh ENSO dengan anomali curah hujan di Kabupaten Manggarai.

Korelasi yang kuat nampak hingga jeda waktu 3-4 bulan yang berarti bahwa informasi data anomali SPL di wilayah Pasifik tengah dapat digunakan untuk memprediksi curah hujan di Kabupaten Manggarai hingga 3-4 bulan ke depan. Jeda waktu yang cukup lama ini cukup potensial untuk pengembangan model prediksi iklim musiman yang dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari informasi iklim yang digunakan untuk perencanaan jangka pendek/musiman seperti untuk penentuan kalender dan pola tanam khususnya untuk menghindari kondisi iklim ekstrim.

Gambar 3-14 Korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah di Kabupaten Manggarai dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) di kawasan Samudera Hindia dan Pasifik periode 1981-2010 dengan jeda waktu 0-5 bulan. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. Data ASPL dihitung dari data ERSST v3b.

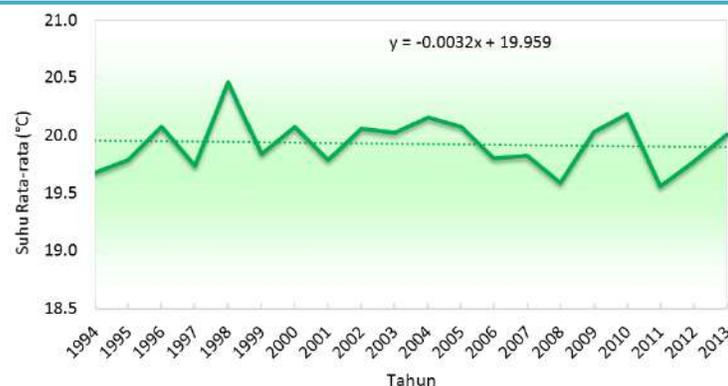


### 3.2.3 Perubahan Iklim

#### 3.2.3.1 Tren Temperatur Udara Rata-Rata

Analisis temperatur udara rata-rata selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren turun, dengan laju penurunan sebesar 0,0032 °C per-tahun (Gambar 3-15). Temperatur udara rata-rata tertinggi terjadi pada Maret 1996 (22,4 °C), sedangkan temperatur udara rata-rata terendah terjadi pada Juni 2011 (17,3 °C).

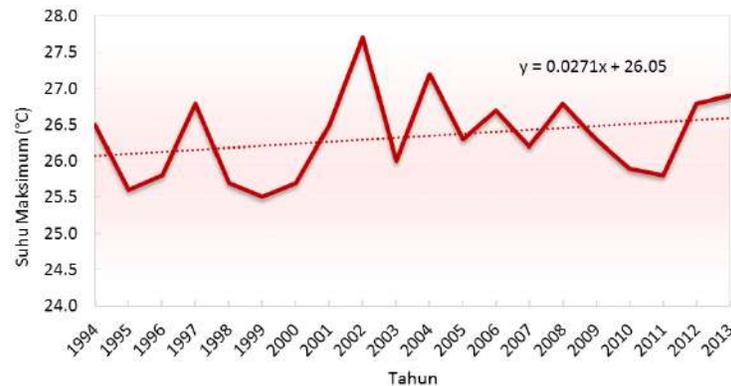
Gambar 3-15 Tren suhu udara rata-rata tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



### 3.2.3.2 Tren Temperatur Udara Maximum

Analisis temperatur udara maximum selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 0,027 °C per-tahun (Gambar 3-16). Temperatur udara maximum bulanan tertinggi terjadi pada Oktober 2002 (27,7 °C), sedangkan temperatur udara maximum terendah terjadi pada Januari 2010 (22,3 °C).

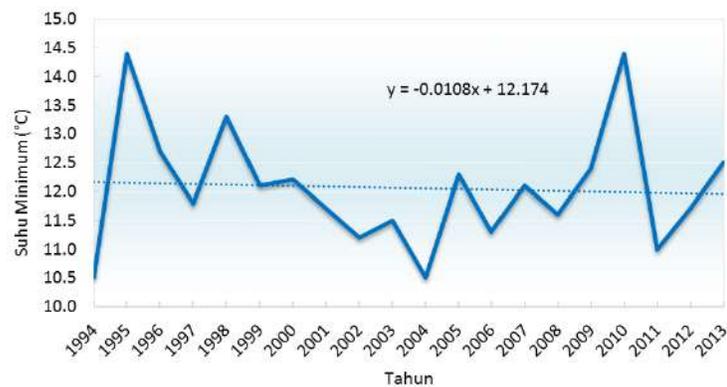
Gambar 3-16 Tren suhu udara maksimum tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



### 3.2.3.3 Tren Temperatur Udara Minimum

Analisis temperatur udara minimum selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren menurundengan laju 0,011 °C/tahun (Gambar 3-17). Temperatur udara minimum tertinggi terjadi pada Januari 2013 (18,5 °C), sedangkan temperatur udara minimum terendah terjadi pada Juli 1994 dan Agustus 2004 (10,5 °C).

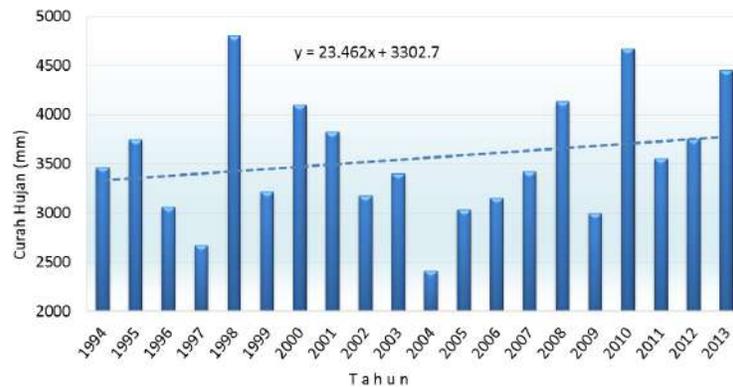
Gambar 3-17 Tren suhu udara minimum tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



### 3.2.3.4 Tren Curah Hujan Tahunan

Analisis curah hujan tahunan selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 23,5 mm per tahun (Gambar 3-18). Curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada Maret 1994 (1.029 mm), sedangkan curah hujan bulanan terendah terjadi pada September 1997, Agustus 2001, Juli 2004, Juli 2007 dan Agustus 2012 (0 mm).

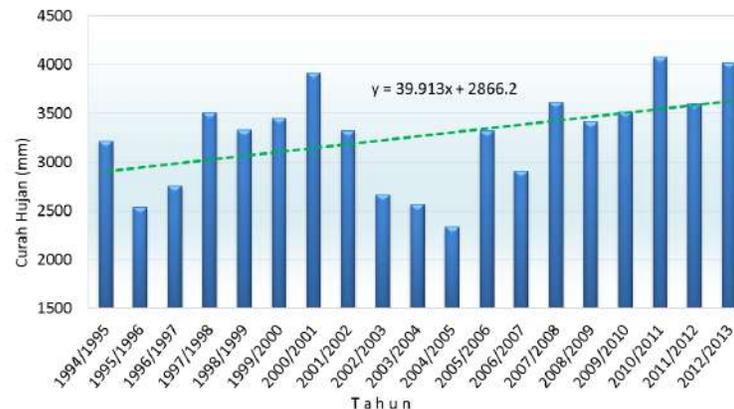
Gambar 3-18 Tren total curah hujan tahunan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



### 3.2.3.5 Tren Curah Hujan Musim Hujan

Analisis curah hujan musim hujan selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 39,9 mm per tahun (Gambar 3-19). Curah hujan tertinggi terjadi pada musim hujan 2010/2011 (4.078 mm), sedangkan curah hujan terendah terjadi pada musim hujan 2004/2005 (2.335 mm).

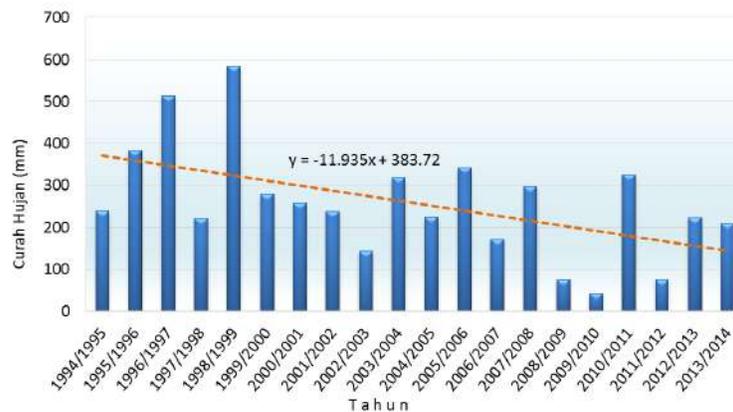
Gambar 3-19 Tren total curah hujan musim hujan di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



### 3.2.3.6 Tren Curah Hujan Musim Kemarau

Analisis curah hujan musim kemarau selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren turun, dengan laju penurunan sebesar 11,9 mm per tahun (Gambar 3-20). Curah hujan tertinggi terjadi pada musim kemarau 1998 (584 mm), sedangkan curah hujan terendah terjadi pada musim kemarau 2009 (43 mm). Tren menurun ini kemungkinan akan berubah dalam beberapa periode mendatang. Hal ini disebabkan karena curah hujan memiliki karakteristik pola siklus dasawarsa yang dipengaruhi oleh faktor pengendali keragaman iklim frekuensi rendah.

Gambar 3-20 Tren total curah hujan musim kemarau di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.

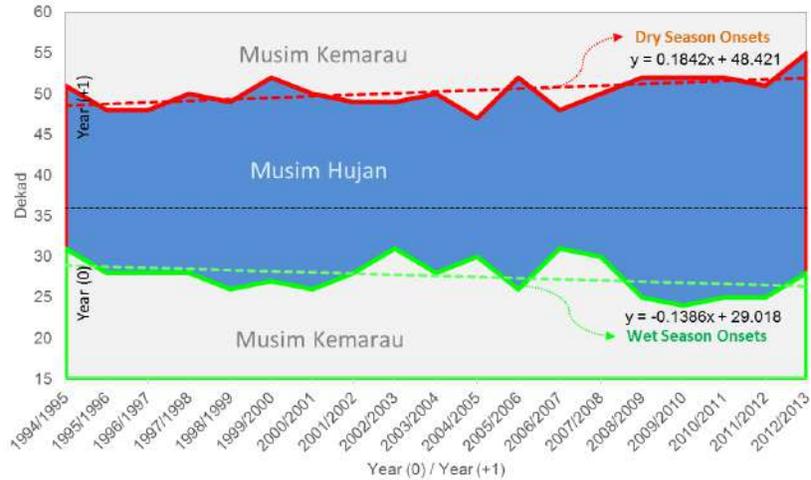


### 3.2.3.7 Tren Awal Musim Hujan dan Awal Musim Kemarau

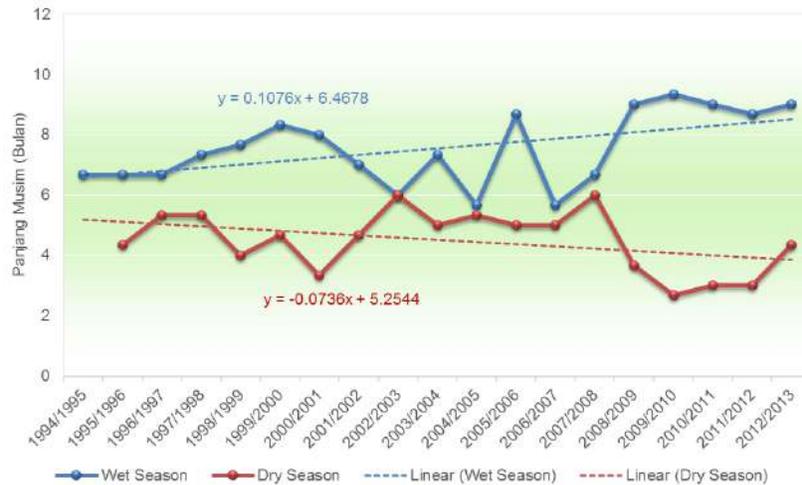
Analisis awal musim hujan selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren turun (maju/lebih cepat), dengan laju penurunan sebesar 0,138 dasarian per tahun (Gambar 3-21). Awal musim hujan tercepat terjadi pada musim hujan 2009/2010 (Agustus III), sedangkan awal musim hujan terlambat terjadi pada musim hujan 1994/1995, 2002/2003 dan 2006/2007 (November I).

Analisis awal musim kemarau selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren naik (mundur/lebih lambat), dengan laju kenaikan sebesar 0,184 dasarian per tahun. Awal musim kemarau tercepat terjadi pada musim kemarau 2005 (April II), sedangkan awal musim kemarau terlambat terjadi pada musim kemarau 2013 (Juli I).

Gambar 3-21 Tren awal musim hujan dan awal musim kemarau di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



Gambar 3-22 Tren panjang musim hujan dan panjang musim kemarau di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013.



### 3.2.3.8 Tren Panjang Musim Hujan dan Musim Kemarau

Analisis panjang musim hujan selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren naik (bertambah panjang), dengan laju kenaikan sebesar 0,331 dasarian per tahun (Gambar 3-22). Panjang musim hujan tertinggi terjadi pada musim hujan 2010/2011 (28 dasarian), sedangkan panjang musim hujan terpendek terjadi pada musim hujan 2004/2005 dan 2006/2007 (17 dasarian).

Analisis panjang musim kemarau selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren turun (bertambah pendek), dengan laju penurunan sebesar

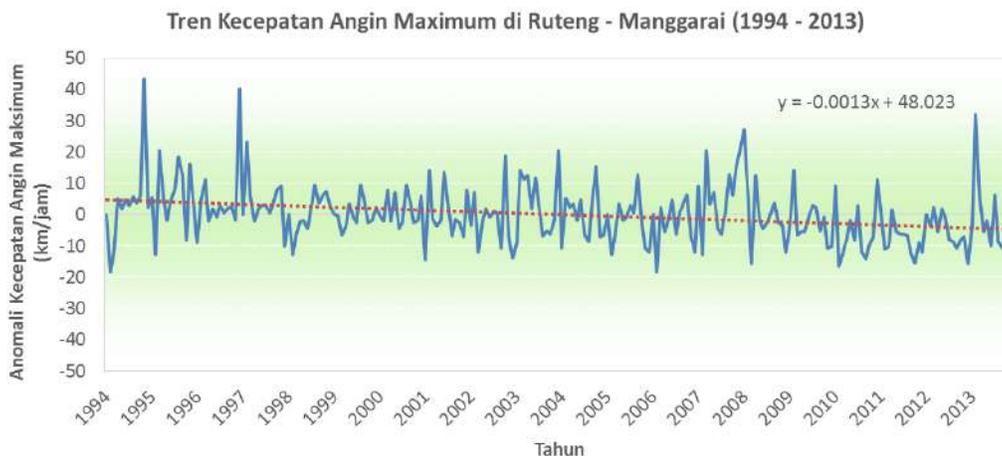
0,233 dasarian per tahun. Panjang musim kemarau tertinggi terjadi pada musim kemarau 2002 (18 dasarian), sedangkan panjang musim kemarau terpendek terjadi pada musim kemarau 2010 (8 dasarian).

### 3.2.4 Kejadian Iklim Ekstrim

#### 3.2.4.1 Tren Kecepatan Angin Maximum

Analisis kecepatan angin maximum selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren penurunan (berkurang kecepatannya; Gambar 3-23). Kecepatan angin maximum tertinggi terjadi pada Desember 1996 (74 km/jam), sedangkan kecepatan angin maximum terendah terjadi pada Juni 2013 (13 km/jam). Berdasarkan hasil perhitungan anomali, terdapat beberapa kali nilai anomali angin maksimum yang cukup tinggi, yaitu pada tahun 1994, 1996, 2007 dan 2013. Pada tahun tersebut, nilai anomali mencapai lebih dari 30 km/jam.

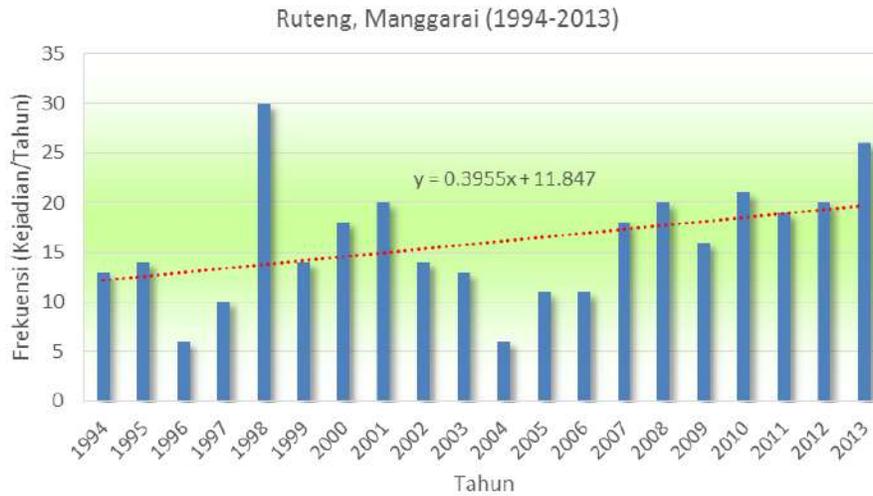
Gambar 3-23 Tren anomali kecepatan angin bulanan maksimum di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013. Siklus musiman dari data dihilangkan.



#### 3.2.4.2 Tren Frekuensi Kejadian Curah Hujan Harian $\geq 50$ mm

Analisis frekuensi kejadian curah hujan harian  $\geq 50$  mm selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren naik (bertambah frekuensinya), dengan laju kenaikan 0,395 per tahun (Gambar 3-24). Frekuensi kejadian curah hujan  $\geq 50$  mm per hari tertinggi terjadi pada tahun 1998 (30 kejadian), sedangkan frekuensi kejadian terendah terjadi pada tahun 1996 dan 2004 (6 kejadian).

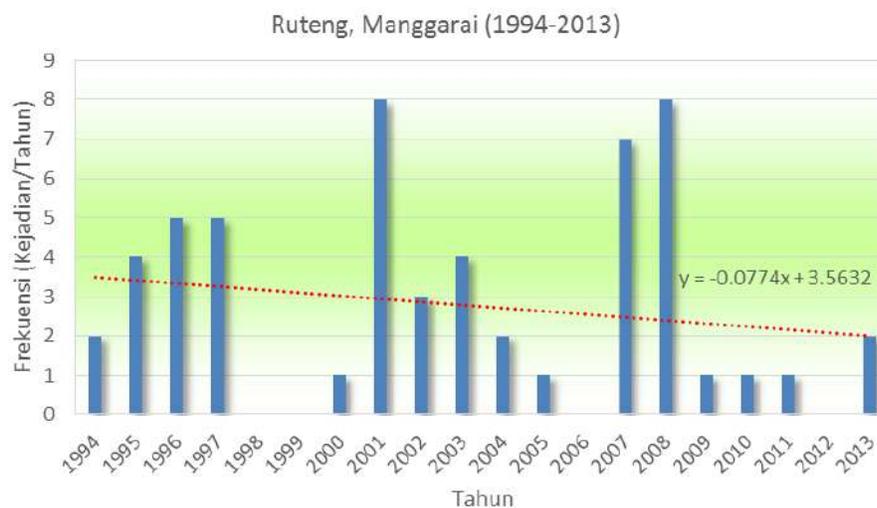
Gambar 3-24 Tren frekuensi curah hujan harian melampaui 50 mm di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013



### 3.2.4.3 Tren Frekuensi Kejadian Kecepatan Angin Maximum $\geq 45$ km/jam

Analisis frekuensi kejadian kecepatan angin maximum  $\geq 45$  km/jam selama 20 tahun (1994-2013) di Ruteng-Manggarai menunjukkan adanya tren turun (berkurang frekuensinya), dengan laju penurunan 0,077 per tahun (Gambar 3-25). Frekuensi kejadian kecepatan angin maximum harian  $\geq 45$  km/jam tertinggi terjadi pada tahun 2001 dan 2008 (8 kejadian), sedangkan frekuensi kejadian terendah terjadi pada tahun 1998, 1999, 2006 dan 2012 (tidak ada kejadian).

Gambar 3-25 Tren frekuensi kecepatan angin melampaui 45 km/jam di Stasiun Ruteng, Manggarai dengan menggunakan data pada periode 1994-2013



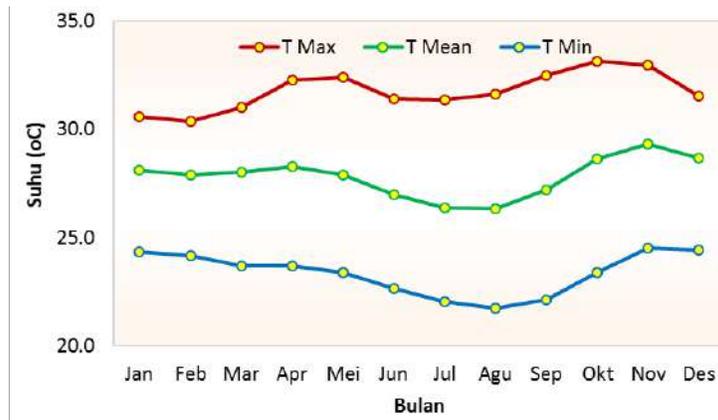
### 3.3 IKLIM HISTORIS DI KABUPATEN SABU RAIJUA

#### 3.3.1 Kondisi Klimatologi

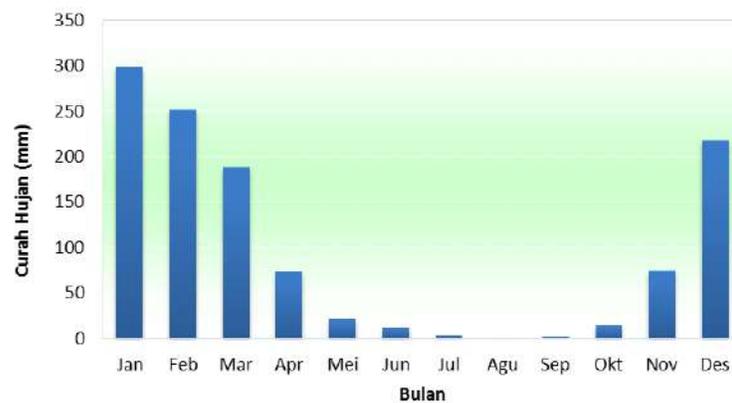
##### 3.3.1.1 Profil Temperatur Udara

Temperatur udara rata-rata bulanan tertinggi selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua terjadi pada bulan November (29,3 oC), sedangkan temperatur udara rata-rata terendah terjadi pada bulan Agustus (26,3 oC). Temperatur udara maximum bulanan tertinggi terjadi pada bulan Oktober (33,1 oC), sedangkan temperatur udara maximum terendah terjadi pada bulan Februari (30,4 oC). Temperatur udara minimum bulanan tertinggi terjadi pada bulan November (24,5 oC), sedangkan temperatur udara minimum terendah terjadi pada bulan Agustus (21,8 oC; Gambar 3-26).

Gambar 3-26 Klimatologi suhu udara rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Tardamu, Sabu Raijua periode 1982-2013



Gambar 3-27 Klimatologi curah hujan bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Tardamu, Sabu Raijua periode 1982-2013



### 3.3.1.2 Profil Curah Hujan

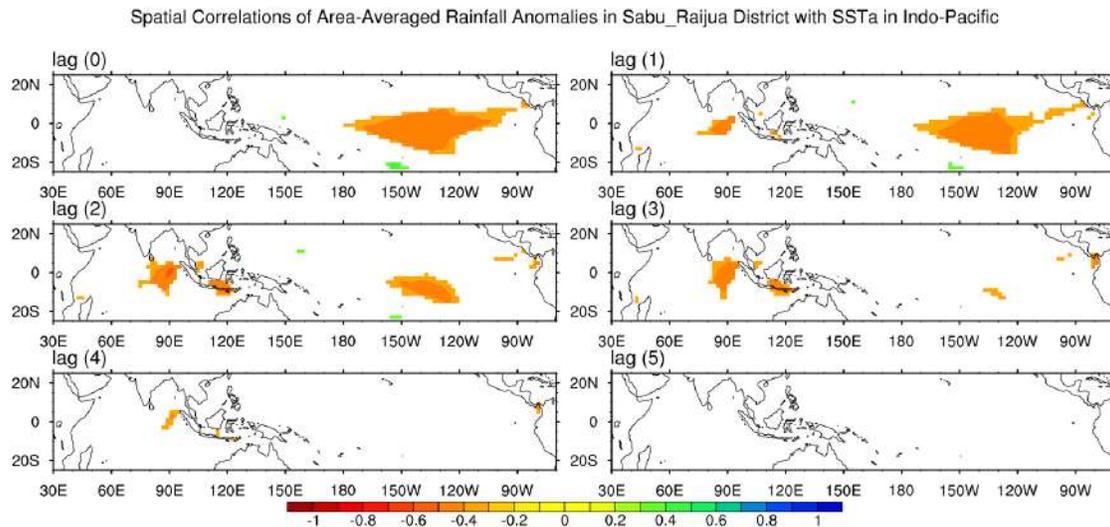
Rata-rata curah hujan bulanan tertinggi selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua terjadi pada bulan Januari (299 mm), sementara rata-rata curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan Agustus (0 mm). Musim hujan berlangsung dari Desember I – Maret II (11 dasarian), sedangkan musim kemarau berlangsung dari Maret III – November III (25 dasarian; Gambar 3-27).

### 3.3.2 Keragaman Iklim

Keragaman curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua dipengaruhi oleh faktor pengendali keragaman iklim global seperti ENSO. Anomali curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua berkaitan erat dengan kondisi penyimpangan anomali SPL di kawasan Pasifik Timur dan Tengah. Gambar 3-28 menunjukkan peta korelasi spasial antara data anomaly curah hujan wilayah di Kabupaten Sabu Raijua dengan data anomali suhu permukaan laut di Indo-Pasifik mencakup Samudera Hindia, Perairan Indonesia dan Samudera Pasifik dengan jeda waktu hingga 5 bulan sebelumnya. Peta tersebut secara jelas menunjukkan adanya nilai korelasi negatif yang signifikan (ditunjukkan oleh warna orange) di kawasan tengah Samudera Pasifik tropis yang menunjukkan adanya keterkaitan pengaruh ENSO dengan anomaly curah hujan di Kabupaten Manggarai.

Namun, tidak seperti di Kabupaten Manggarai, korelasi nyata di Samudera Pasifik Tengah nampaknya hanya sampai jeda waktu 2 bulan. Hal ini berarti bahwa informasi data anomali SPL di wilayah Pasifik tengah dapat digunakan untuk memprediksi curah hujan di Kabupaten Manggarai hingga 2 bulan ke depan. Jeda waktu keterkaitan antara curah hujan dengan anomaly SPL di Pasifik tersebut masih cukup potensial untuk pengembangan model prediksi iklim musiman yang dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari informasi iklim yang digunakan untuk perencanaan jangka pendek/musiman seperti untuk penentuan kalender dan pola tanam khususnya untuk menghindari kondisi iklim ekstrim.

Gambar 3-28 Korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah di Kabupaten Sabu Raijua dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) di kawasan Samudera Hindia dan Pasifik periode 1981-2010 dengan jeda waktu 0-5 bulan. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. Data ASPL dihitung dari data ERSST v3b.

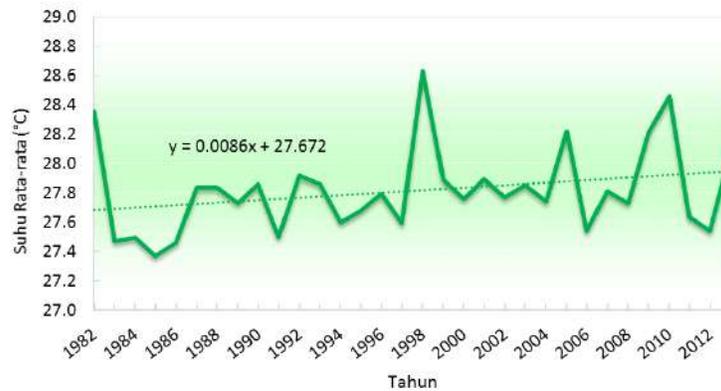


### 3.3.3 Perubahan Iklim

#### 3.3.3.1 Tren Temperatur Udara Rata-Rata

Analisis temperatur udara rata-rata selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 0,0086 °C per-tahun (Gambar 3-29). Temperatur udara rata-rata tertinggi terjadi pada November 2003 dan November 2009 (30,0 °C), sedangkan temperatur udara rata-rata terendah terjadi pada Agustus 1985 dan Juli 1986 (25,2 °C).

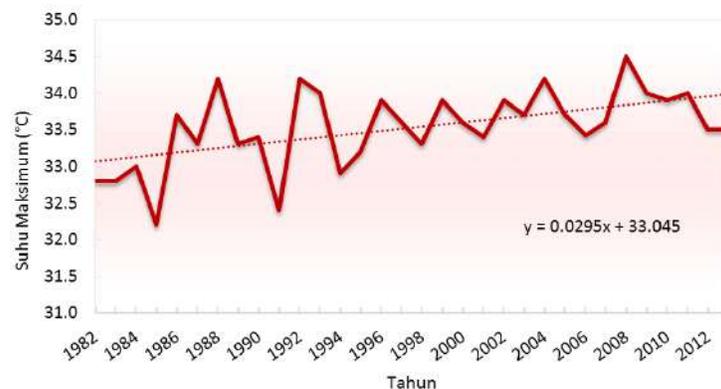
Gambar 3-29 Tren suhu udara rata-rata tahunan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.3.3.2 Tren Temperatur Udara Maximum

Analisis temperatur udara maximum selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren peningkatan, dengan laju kenaikan sebesar 0,0295 °C per-tahun (Gambar 3-30). Temperatur udara maximum tertinggi terjadi pada Oktober 2008 (34,5 °C), sedangkan temperatur udara maximum terendah terjadi pada Januari 1994 dan Februari 1997 (29,2 °C).

Gambar 3-30 Tren suhu udara maksimum tahunan di Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.

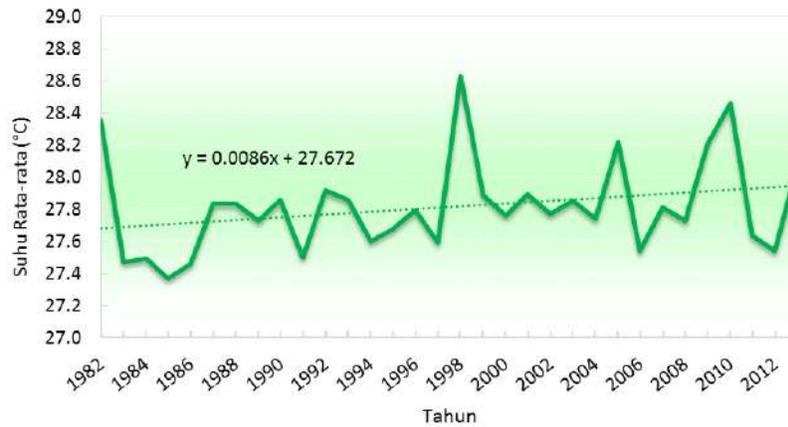


### 3.3.3.3 Tren Temperatur Udara Minimum

Analisis temperatur udara minimum selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren peningkatan (Gambar 3-31). Temperatur udara

minimum tertinggi terjadi pada Desember 1985 (26,0 °C), sedangkan temperatur udara minimum terendah terjadi pada Juli 1994 dan Agustus 2004 (19,6 °C).

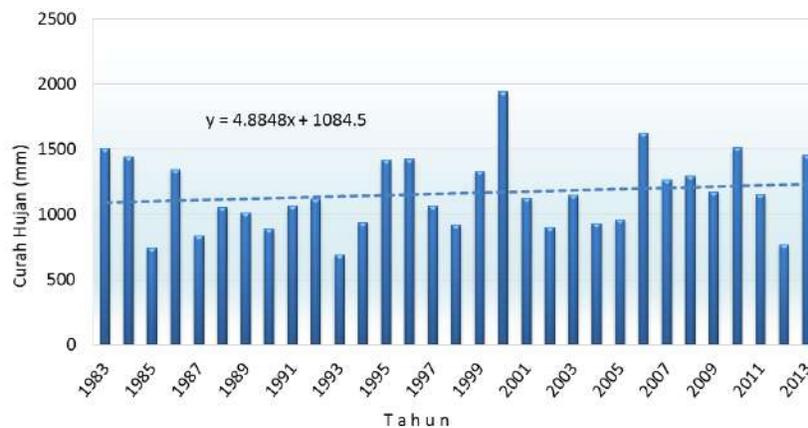
Gambar 3-31 Tren suhu udara minimum tahunan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.3.3.4 Tren Curah Hujan Tahunan

Analisis curah hujan tahunan selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 4,9 mm per tahun (Gambar 3-32). Curah hujan tahunan tertinggi terjadi pada tahun 2000 (1943 mm), sedangkan curah hujan tahunan yang cukup rendah terjadi pada 1985 (742 mm), 1993 (689 mm), dan 2012 (768 mm).

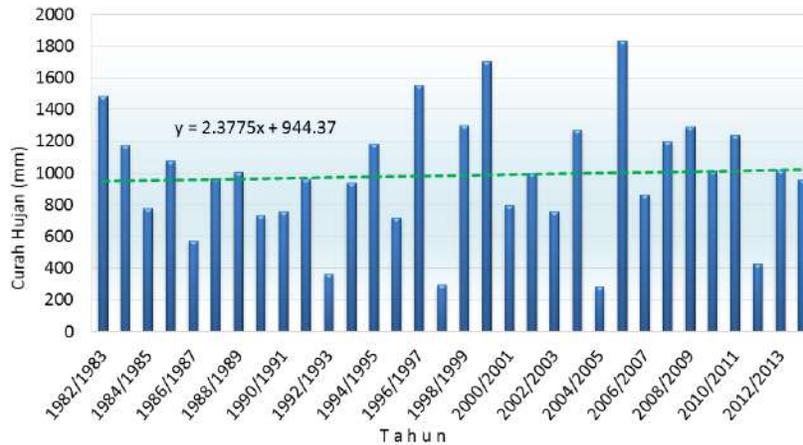
Gambar 3-32 Tren total curah hujan tahunan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.3.3.5 Tren Curah Hujan Musim Hujan

Analisis curah hujan musim hujan selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 2,4 mm per tahun (Gambar 3-33). Curah hujan tertinggi terjadi pada musim hujan 2005/2006 (1.833 mm), sedangkan curah hujan terendah terjadi pada musim hujan 2004/2005 (283 mm).

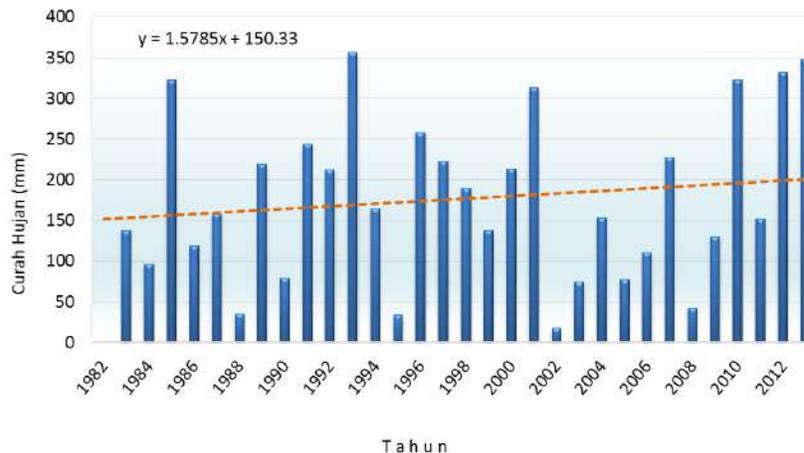
Gambar 3-33 Tren total curah hujan musim hujan di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.3.3.6 Tren Curah Hujan Musim Kemarau

Analisis curah hujan musim kemarau selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 1,6 mm per tahun (Gambar 3-34). Curah hujan tertinggi terjadi pada musim kemarau 1993 (356 mm), sedangkan curah hujan terendah terjadi pada musim kemarau 2002 (18 mm).

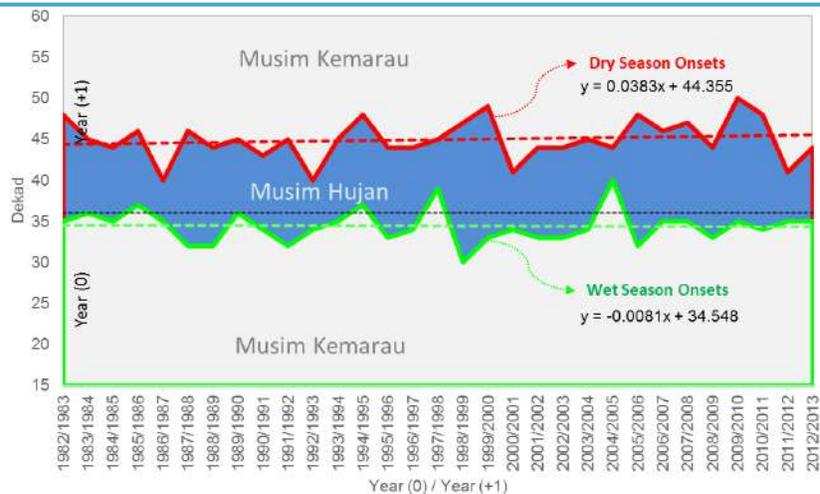
Gambar 3-34 Tren total curah hujan musim kemarau di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



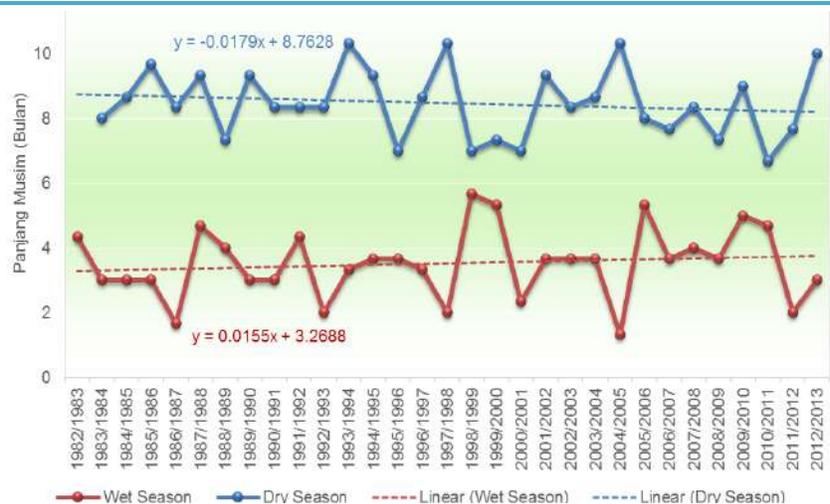
### 3.3.3.7 Tren Awal Musim Hujan dan Awal Musim Kemarau

Analisis awal musim hujan selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren menurun (maju), dengan laju yang tidak signifikan, yaitu hanya sebesar 0,008 dasarian per tahun (Gambar 3-35). Awal musim hujan tercepat terjadi pada musim hujan 1998/1999 (Oktober III), sedangkan awal musim hujan terlambat terjadi pada musim hujan 2004/2005 (Februari I). Berlawanan dengan tren awal musim hujan, awal musim kemarau pada kurun waktu yang sama menunjukkan adanya tren peningkatan (mundur/lebih lambat), dengan laju kenaikan sebesar 0,038 dasarian per tahun. Awal musim kemarau tercepat terjadi pada musim kemarau 1987 dan 1993 (Februari I), sedangkan awal musim kemarau terlambat terjadi pada musim kemarau 2010 (Mei II).

Gambar 3-35 Tren awal musim hujan dan awal musim kemarau di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



Gambar 3-36 Tren panjang musim hujan dan panjang musim kemarau di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.3.3.8 Tren Panjang Musim Hujan dan Musim Kemarau

Perhitungan panjang musim dilakukan berdasarkan penentuan AMH dan AMK. Analisis panjang musim hujan selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu-Sabu Raijua menunjukkan adanya tren naik (bertambah panjang), dengan laju kenaikan sebesar 0,015 dasarian per tahun (Gambar 3-36). Panjang musim hujan tertinggi terjadi pada musim hujan 1998/1999 dan 2005/2006 (17 dasarian), sedangkan panjang musim hujan terpendek terjadi pada musim hujan 2004/2005 dan 2006/2007 (4 dasarian).

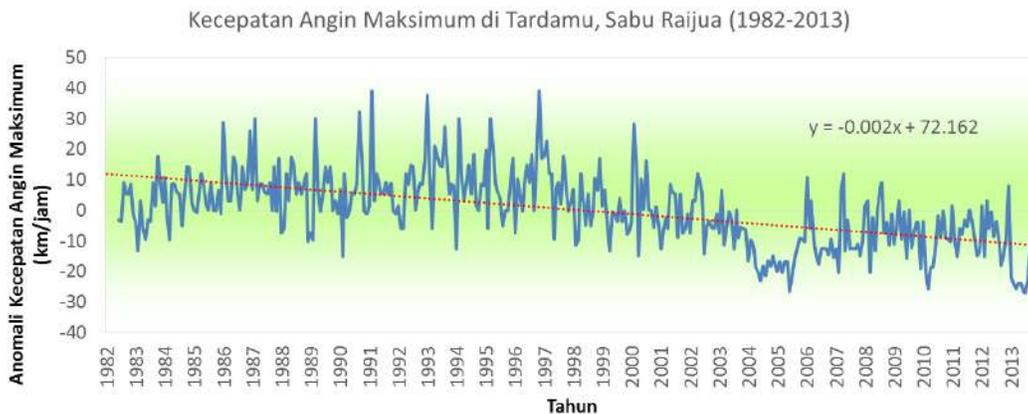
Untuk panjang musim kemarau, analisis menunjukkan adanya tren menurun (bertambah pendek), dengan laju penurunan sebesar 0,018 dasarian per tahun. Panjang musim kemarau tertinggi terjadi pada musim kemarau 1993, 1997 dan 2004 (31 dasarian), sedangkan panjang musim kemarau terpendek terjadi pada musim kemarau 2010 (20 dasarian).

### 3.3.4 Kejadian Iklim Ekstrim

#### 3.3.4.1 Tren Kecepatan Angin Maximum

Analisis kecepatan angin maximum selama hampir 32 tahun (1994-2013) di Tardamu, Kabupaten Sabu Raijua menunjukkan adanya tren menurun (berkurang kecepatannya) (Gambar 3-37). Namun demikian, pada periode dari data sebelum tahun 1987 terlihat adanya trend peningkatan. Di wilayah ini, kecepatan angin maximum tertinggi terjadi pada Februari 1991 (81 km/jam) dan Januari 1993 (81 km/jam) dan November 1996 (76 km/jam), sedangkan kecepatan angin maximum terendah terjadi pada Maret 2010 dan 2013 (16 km/jam). Berdasarkan hasil perhitungan anomali, terdapat beberapa kali nilai anomali angin maksimum yang cukup tinggi dengan nilai anomali mencapai lebih dari 30 km/jam. Hal ini tercatat beberapa kali terjadi dalam periode sebelum tahun 2000. Sementara itu, setelah tahun 2000, nilai anomali dari kecepatan angina maksimum di Tardamu cenderung menurun drastic mendekati nilai normalnya.

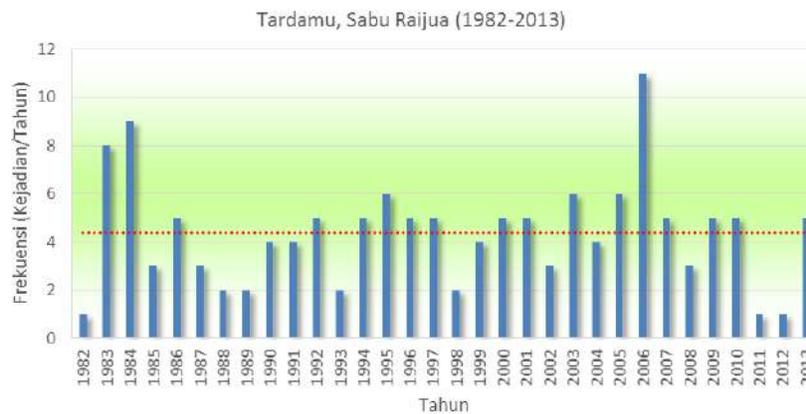
**Gambar 3-37** Tren anomali kecepatan angin bulanan maksimum di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013. Siklus musiman dari data dihilangkan.



### 3.3.4.2 Tren Frekuensi Kejadian Curah Hujan Harian $\geq 50$ mm

Analisis frekuensi kejadian curah hujan harian  $\geq 50$  mm selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu, Sabu Raijua menunjukkan tidak adanya tren yang signifikan (Gambar 3-38). Frekuensi kejadian curah hujan  $\geq 50$  mm per hari tertinggi terjadi pada tahun 1983 (8 kejadian), 1984 (9 kejadian) dan 2006 (11 kejadian). Sedangkan pada tahun lainnya tercatat memiliki jumlah kejadian kurang dari atau sama dengan 6 kejadian per tahun.

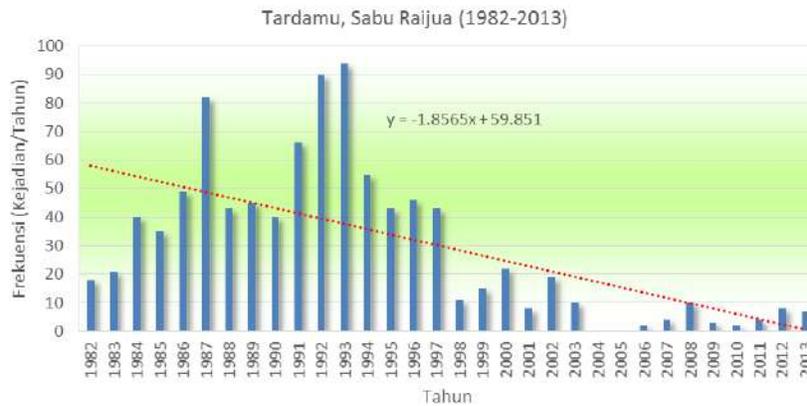
Gambar 3-38 Tren frekuensi curah hujan harian melampaui 50 mm di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013



### 3.3.4.3 Tren Frekuensi Kejadian Kecepatan Angin Maximum $\geq 45$ km/jam

Analisis frekuensi kejadian kecepatan angin maximum  $\geq 45$  km/jam selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu, Sabu Raijua menunjukkan adanya tren menurun (berkurang frekuensinya; Gambar 3-39). Perlu diperhatikan bahwa tren menurun ini mungkin saja berubah dalam beberapa puluh tahun mendatang. Hal ini disebabkan adanya kemungkinan tren yang menurun tersebut memiliki pola osilasi dasawarsa akibat adanya pengaruh variabilitas iklim frekuensi rendah. Pola keragaman dasawarsa yang mempengaruhi tren dapat terlihat dari data frekuensi pada rentang tahun 1982-1993 yang menunjukkan tren meningkat dan kemudian menurun pada periode berikutnya.

Gambar 3-39 Tren frekuensi kecepatan angin melampaui 45 km/jam di Stasiun Tardamu, Sabu Raijua dengan menggunakan data pada periode 1982-2013



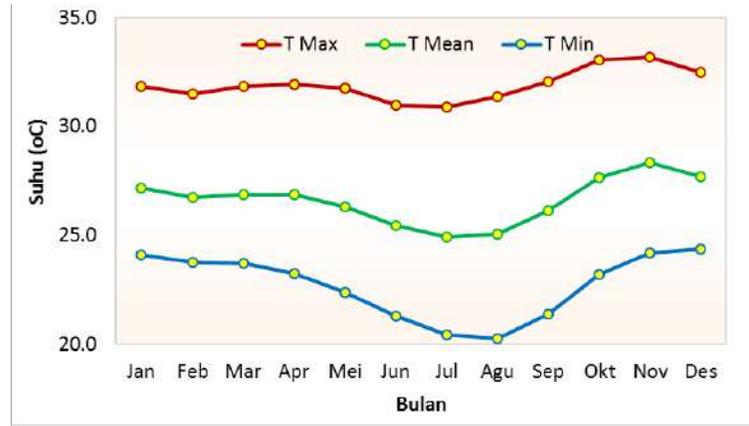
## 3.4 IKLIM HISTORIS DI KABUPATEN SUMBA TIMUR

### 3.4.1 Kondisi Klimatologi

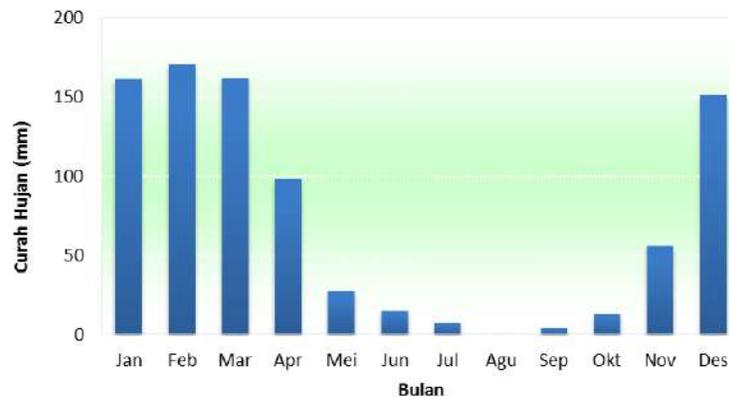
#### 3.4.1.1 Profil Temperatur Udara

Temperatur udara rata-rata bulanan tertinggi selama 32 tahun (1982-2013) di Waingapu-Sumba Timur terjadi pada bulan November ( $28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan temperatur udara rata-rata terendah terjadi pada bulan Juli ( $24,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Temperatur udara maximum bulanan tertinggi terjadi pada bulan November ( $33,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan temperatur udara maximum terendah terjadi pada bulan Juli ( $30,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Temperatur udara minimum bulanan tertinggi terjadi pada bulan November ( $24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan temperatur udara minimum terendah terjadi pada bulan Agustus ( $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Gambar 3-40).

Gambar 3-40 Klimatologi suhu udara rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Waingapu, Sumba Timur periode 1982-2013



Gambar 3-41 Klimatologi curah hujan bulanan berdasarkan data pengamatan di stasiun Waingapu, Sumba Timur periode 1982-2013



#### 3.4.1.2 Profil Curah Hujan

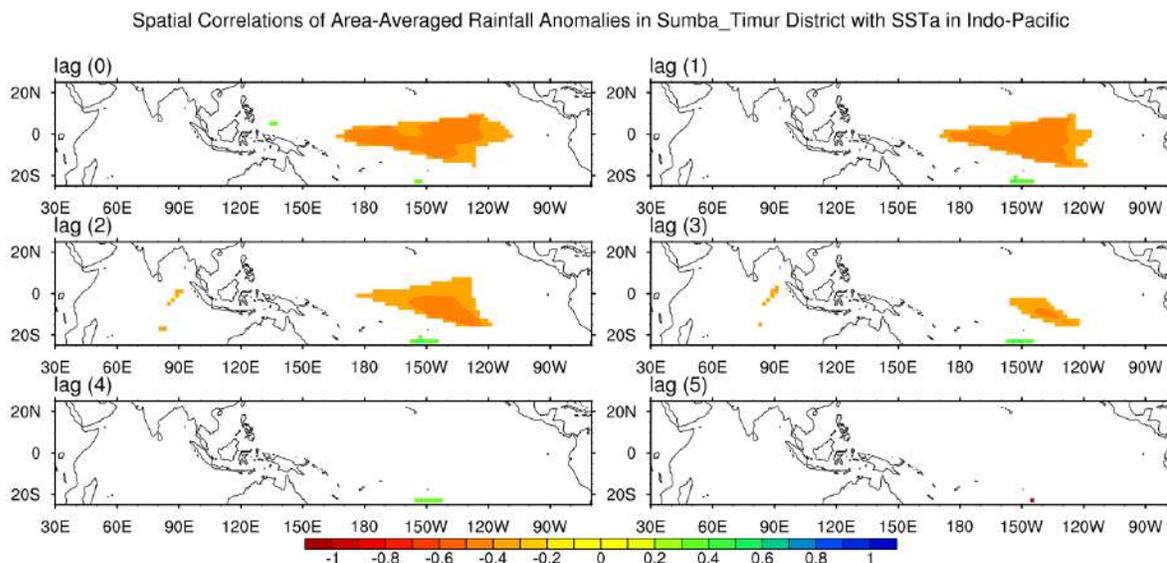
Gambar 3-41 menunjukkan rata-rata curah hujan bulanan tertinggi selama 32 tahun (1982-2013) di Waingapu-Sumba Timur terjadi pada bulan Februari (170 mm), sementara rata-rata curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan Agustus (0 mm). Musim hujan berlangsung dari Desember II – Maret II (10 dasarian), sedangkan musim kemarau berlangsung dari Maret III – Desember I (26 dasarian).

### 3.4.2 Keragaman Iklim

Kabupaten Sumba Timur memiliki keragaman curah hujan yang dipengaruhi oleh faktor pengendali keragaman iklim global seperti ENSO. Anomali curah hujan di Kabupaten Sumba Timur berkaitan erat dengan kondisi penyimpangan anomali SPL di kawasan Pasifik Timur dan Tengah. Gambar 3-42 menunjukkan peta korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah tersebut dengan data anomali suhu permukaan laut di Indo-Pasifik mencakup Samudera Hindia, Perairan Indonesia dan Samudera Pasifik dengan jeda waktu hingga 5 bulan sebelumnya. Peta tersebut secara jelas menunjukkan adanya nilai korelasi negatif yang signifikan (ditunjukkan oleh warna orange) di kawasan tengah Samudera Pasifik tropis yang menunjukkan adanya keterkaitan pengaruh ENSO dengan anomali curah hujan.

Korelasi yang kuat nampak hingga jeda waktu 3-4 bulan yang berarti bahwa informasi data anomali SPL di wilayah Pasifik tengah dapat digunakan untuk memprediksi curah hujan di Kabupaten Sumba Timur hingga 3-4 bulan ke depan. Jeda waktu yang cukup lama ini cukup potensial untuk pengembangan model prediksi iklim musiman yang dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari informasi iklim yang digunakan untuk perencanaan jangka pendek/musiman seperti untuk penentuan kalender dan pola tanam khususnya untuk menghindari kondisi iklim ekstrim.

Gambar 3-42 Korelasi spasial antara data anomali curah hujan wilayah di Kabupaten Sumba Timur dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) di kawasan Samudera Hindia dan Pasifik periode 1981-2010 dengan jeda waktu 0-5 bulan. Data curah hujan menggunakan data CHIRPS v1.7 yang telah divalidasi dan dikoreksi dengan data curah hujan stasiun. Data ASPL dihitung dari data ERSST v3b.

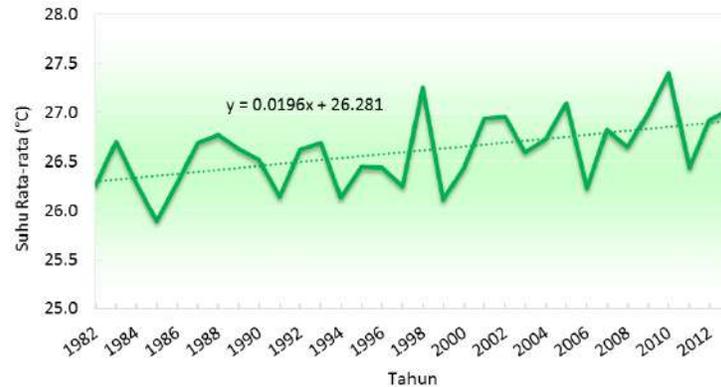


### 3.4.3 Perubahan Iklim

#### 3.4.3.1 Tren Temperatur Udara Rata-Rata

Analisis temperatur udara rata-rata selama 32 tahun (1982-2013) di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  per tahun (Gambar 3-43). Temperatur udara rata-rata tertinggi terjadi pada 1998 ( $27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan temperatur udara rata-rata terendah terjadi pada 1985 ( $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

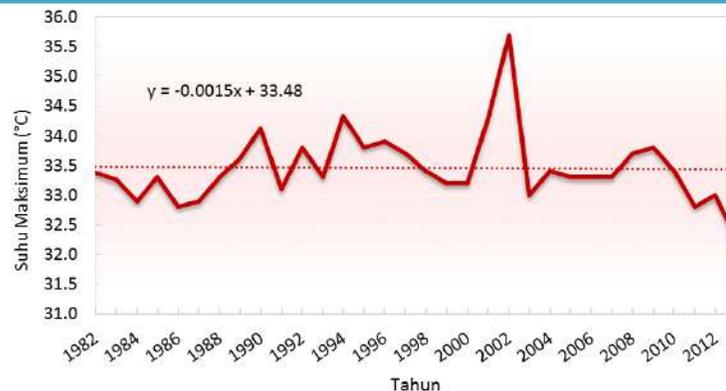
Gambar 3-43 Tren suhu udara rata-rata tahunan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



#### 3.4.3.2 Tren Temperatur Udara Maximum

Analisis temperatur udara maximum selama 32 tahun (1982-2013) di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren menurun dengan laju yang relative kecil yaitu  $0,0015\text{ }^{\circ}\text{C}$  per tahun (Gambar 3-44). Temperatur udara maximum tertinggi terjadi pada tahun 2002 ( $35,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan temperatur udara maximum terendah terjadi pada Februari 2013 ( $32,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

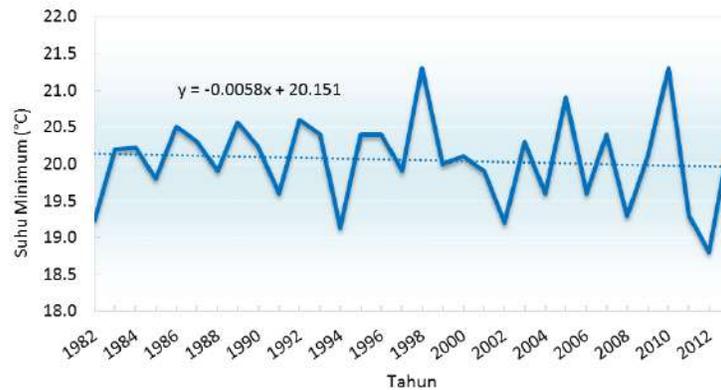
**Gambar 3-44** Tren suhu udara maksimum tahunan di Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.4.3.3 Tren Temperatur Udara Minimum

Analisis temperatur udara minimum selama 32 tahun (1982-2013) di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren menurun, dengan laju penurunan sebesar 0,006 °C per tahun (Gambar 3-45). Temperatur udara minimum tertinggi terjadi pada Desember 2002 dan Desember 2010 (21,4 °C), sedangkan temperatur udara minimum terendah terjadi pada tahun 2012 (18,8 °C).

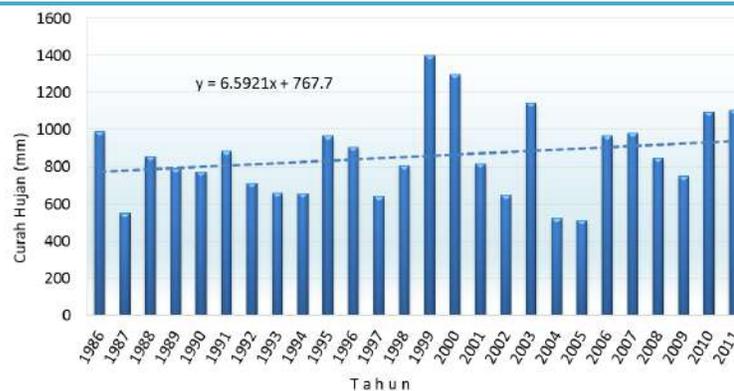
Gambar 3-45 Tren suhu udara minimum tahunan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013.



### 3.4.3.4 Tren Curah Hujan Tahunan

Analisis curah hujan tahunan di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 6,59 mm per tahun (Gambar 3-46). Curah hujan tahunan tertinggi terjadi pada tahun 1999 (1400 mm) ketika terjadi peristiwa La Nina. Pengaruh La Nina tersebut juga berkontribusi terhadap peningkatan total curah hujan tahunan pada tahun berikutnya, yaitu tahun 2000 (1300mm). Sebaliknya, curah hujan tahunan yang cukup rendah terjadi pada tahun 1987, 2004 dan 2005 yang bertepatan dengan tahun El Nino yang sering menyebabkan kekeringan di Indonesia, termasuk juga di NTT.

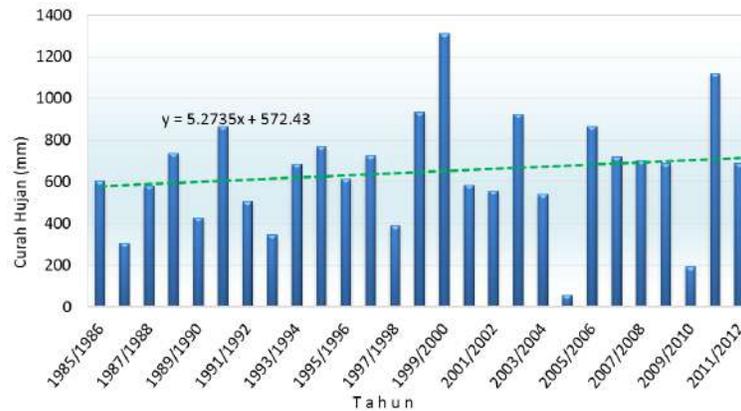
Gambar 3-46 Tren total curah hujan tahunan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1986-2011.



### 3.4.3.5 Tren Curah Hujan Musim Hujan

Curah hujan musim hujan di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan tren peningkatan, dengan laju kenaikan sebesar 5,27 mm per tahun (Gambar 3-47). Curah hujan tertinggi terjadi pada musim hujan 1999/2000 (1.380 mm), sedangkan curah hujan terendah terjadi pada musim hujan 2004/2005 (57 mm). Hal ini konsisten dengan yang terjadi pada total curah hujan tahunan sebagaimana telah dibahas sebelumnya.

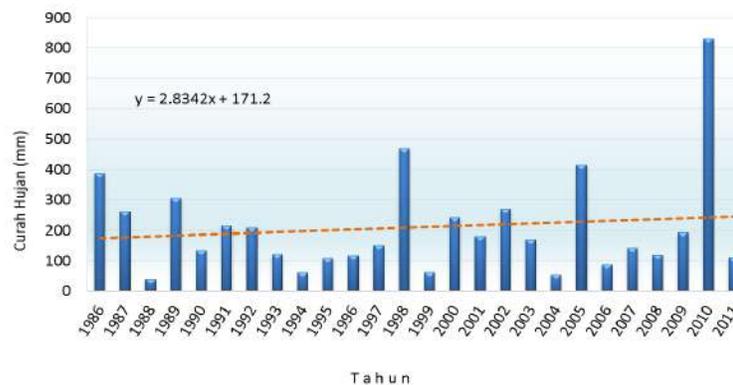
Gambar 3-47 Tren total curah hujan musim hujan di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.



### 3.4.3.6 Tren Curah Hujan Musim Kemarau

Curah hujan musim kemarau di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren naik, dengan laju kenaikan sebesar 2,8 mm per tahun (Gambar 3-48). Curah hujan tertinggi terjadi pada musim kemarau 2010 (830 mm), sedangkan curah hujan terendah terjadi pada musim kemarau 1988 (39 mm). Dapat dipastikan bahwa curah hujan musim kemarau yang sangat tinggi pada tahun 2010 disebabkan oleh adanya kejadian La Nina yang menyebabkan peningkatan curah hujan sepanjang tahun termasuk di musim kemarau. Pengaruh La Nina tersebut mempengaruhi sebagian besar wilayah di Indonesia.

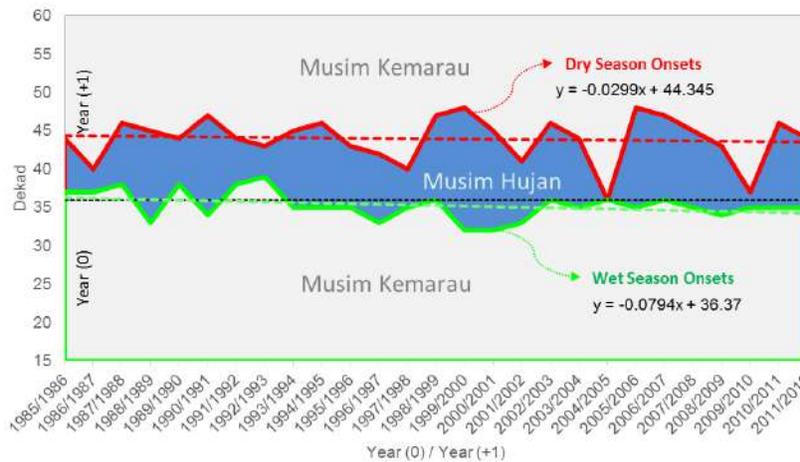
Gambar 3-48 Tren total curah hujan musim kemarau di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.



### 3.4.3.7 Tren Awal Musim Hujan dan Awal Musim Kemarau

Analisis awal musim hujan selama periode 1985-2012 di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren turun (maju/lebih cepat), dengan laju penurunan sebesar 0,079 dasarian per tahun (Gambar 3-49). Awal musim hujan tercepat terjadi pada musim hujan 1999/2000 (November II), sedangkan awal musim hujan terlambat terjadi pada musim hujan 1982/1983 (Februari II). Tren penurunan tersebut juga ditemukan pada data awal musim kemarau, dengan laju penurunan sebesar 0,020 dasarian per tahun. Awal musim kemarau tercepat terjadi pada musim kemarau 2005 (Januari I), sedangkan awal musim kemarau terlambat terjadi pada musim kemarau 2000 (Mei III).

Gambar 3-49 Tren awal musim hujan dan awal musim kemarau di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.



Gambar 3-50 Tren panjang musim hujan dan panjang musim kemarau di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1985-2012.



### 3.4.3.8 Tren Panjang Musim Hujan dan Musim Kemarau

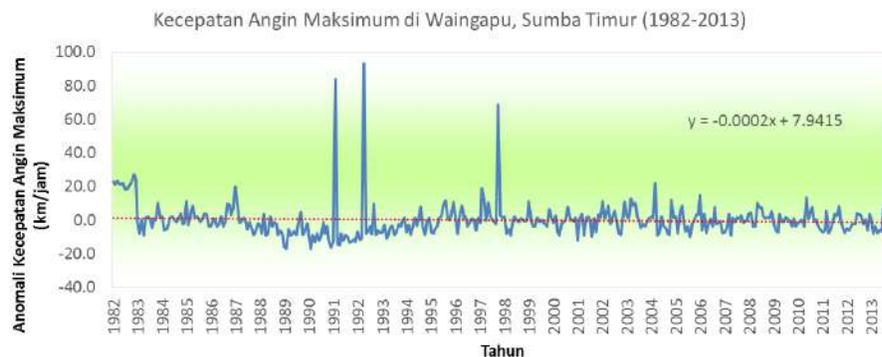
Wilayah Sumba Timur, khususnya di Waingaputermasuk wilayah yang cukup kering. Hal ini dapat dilihat dari panjang musim hujan yang relatif pendek berkebalikan dengan panjang musim kemarau yang cukup panjang (Gambar 3-50). Selama periode 1985-2012, panjang musim hujan di Waingapu-Sumba Timur menunjukkan adanya tren naik (bertambah panjang), dengan laju kenaikan sebesar 0,0165 dasarian per tahun. Panjang musim hujan tertinggi terjadi pada musim hujan 1999/2000 (19 dasarian), sedangkan panjang musim hujan terpendek terjadi pada musim hujan 2004/2005 (1 dasarian). Sebaliknya, panjang musim kemarau pada kurun waktu yang sama menunjukkan adanya tren menurun (bertambah pendek), dengan laju penurunan sebesar 0,0129 dasarian per tahun. Panjang musim kemarau tertinggi terjadi pada musim kemarau 2005 (34 dasarian), sedangkan panjang musim kemarau terpendek terjadi pada musim kemarau 1999 dan 2000 (20 dasarian).

## 3.4.4 Kejadian Iklim Ekstrim

### 3.4.4.1 Tren Kecepatan Angin Maximum

Analisis kecepatan angin maximum selama hampir 32 tahun (1994-2013) di Waingapu, Kabupaten Sumba Timur menunjukkan adanya tren menurun yang tidak signifikan (Gambar 3-51). Di wilayah ini, kecepatan angin maximum tertinggi terjadi pada Februari 1991 (119 km/jam) dan April 1992 (130 km/jam) dan Oktober 1997 (104 km/jam), sedangkan kecepatan angin maximum terendah terjadi pada beberapa bulan di tahun 1990 dan 1991. Berdasarkan hasil perhitungan anomali, terdapat beberapa kali nilai anomali angin maksimum yang cukup tinggi dengan nilai anomali mencapai lebih dari 60 km/jam. Hal ini tercatat beberapa kali terjadi dalam periode sebelum tahun 2000. Sementara itu, setelah tahun 2000, nilai anomali dari kecepatan angin maksimum di Waingapu cenderung menurun drastik mendekati nilai normalnya dengan nilai anomali tidak lebih dari 20 km/jam.

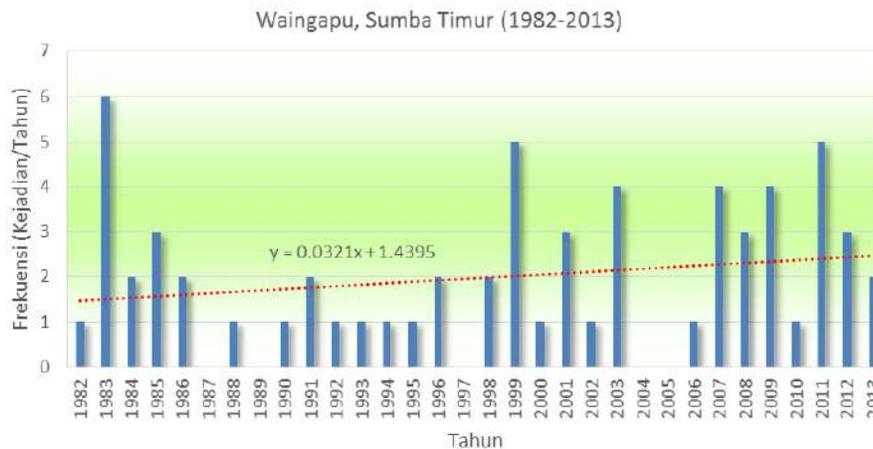
Gambar 3-51 Tren anomali kecepatan angin bulanan maksimum di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013. Siklus musiman dari data dihilangkan.



#### 3.4.4.2 Tren Frekuensi Kejadian Curah Hujan Harian $\geq 50$ mm

Analisis frekuensi kejadian curah hujan harian  $\geq 50$  mm selama 32 tahun (1982-2013) di Waingapu, Sumba Timur menunjukkan tren peningkatan (Gambar 3-52). Frekuensi kejadian curah hujan  $\geq 50$  mm per hari tertinggi terjadi pada tahun 1983 (6 kejadian), 1999 (5 kejadian) dan 2011 (5 kejadian). Sedangkan pada tahun lainnya tercatat memiliki jumlah kejadian kurang dari 5 kejadian per tahun.

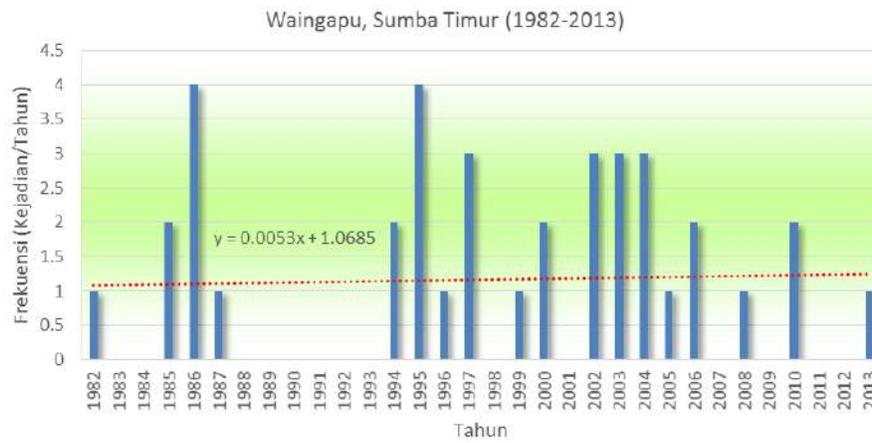
Gambar 3-52 Tren frekuensi curah hujan harian melampaui 50 mm di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013



#### 3.4.4.3 Tren Frekuensi Kejadian Kecepatan Angin Maximum $\geq 45$ km/jam

Analisis frekuensi kejadian kecepatan angin maximum  $\geq 45$  km/jam selama 32 tahun (1982-2013) di Tardamu, Sabu Raijua menunjukkan adanya tren peningkatan (Gambar 3-53). Akan tetapi jika dilihat dari data 20 tahun terakhir, Nampak adanya tren penurunan. Perlu diperhatikan bahwa perbedaan tren tersebut disebabkan adanya kemungkinan tren yang mengikuti pola osilasi dasawarsa akibat adanya pengaruh variabilitas iklim frekuensi rendah. Frekuensi kejadian angin ekstrim tahunan tersebut tercatat dengan jumlah paling banyak yaitu pada tahun 1986 dan 1995 dengan jumlah masing-masing 4 kejadian per tahun.

Gambar 3-53 Tren frekuensi kecepatan angin melampaui 45 km/jam di Stasiun Waingapu, Sumba Timur dengan menggunakan data pada periode 1982-2013



## 4 PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM

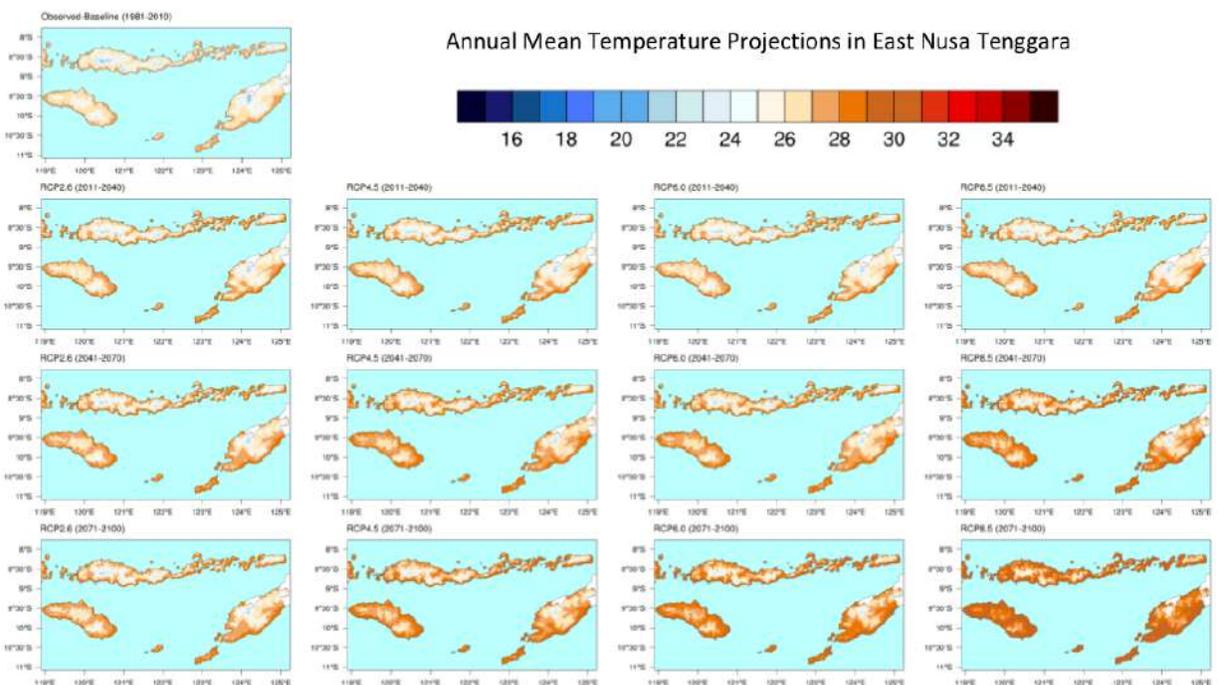
### 4.1 PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM DI NTT

Analisis proyeksi perubahan iklim yang dilakukan dalam kajian ini memanfaatkan data proyeksi iklim yang diperoleh dari data hasil simulasi model iklim regional (RCM) dan data keluaran model iklim global (*global climate model*, GCM). Penjelasan tentang simulasi RCM dan informasi mengenai model GCM yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada bagian Metodologi.

#### 4.1.1 Proyeksi Suhu

Proyeksi suhu untuk wilayah NTT dilakukan dengan menggunakan rata-rata beberapa model GCM. Selisih suhu udara rata-rata antara periode proyeksi dan periode baseline digunakan untuk menghitung nilai perubahan suhu yang kemudian digunakan sebagai faktor penambah pada data observasi. Data hasil tersebut yang kemudian dijadikan sebagai data proyeksi. Data proyeksi tersebut dihitung untuk empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada tiga periode proyeksi, yaitu periode tahun 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. Hasil proyeksi suhu tersebut dan perbandingannya dengan data observasi disajikan pada Gambar 4-1.

Gambar 4-1 Suhu udara rata-rata 30 tahunan di NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



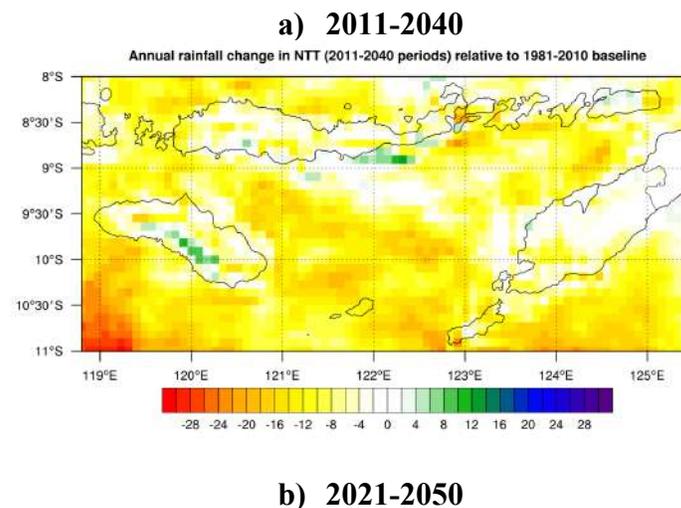
Dari hasil proyeksi suhu tersebut, secara umum dapat dilihat bahwa perbedaan peningkatan suhu masih belum terlihat beragam antar skenario pada periode 2011-2040. Perbedaan antar skenario baru dapat terlihat cukup besar pada periode 2041-2070 dan 2071-2100. Peningkatan suhu berdasarkan skenario RCP8.5 menunjukkan peningkatan paling tinggi mencapai lebih dari 3°C pada periode rata-rata 2071-2100. Pada periode yang sama, skenario RCP2.6 menunjukkan peningkatan suhu yang paling rendah. Hal ini disebabkan karena alur perwakilan konsentrasi pada RCP2.6 termasuk yang paling optimis dalam aspek penurunan gas rumah kaca yang menyebabkan alur nilai radiative forcing yang relative lebih rendah dibandingkan skenario lainnya. Hal ini tentunya menyebabkan peningkatan suhu global menjadi tidak sebesar yang diproyeksikan oleh skenario lain khususnya skenario RCP8.5 yang memiliki alur radiative forcing yang paling tinggi yaitu sekitar 8.5 Watt/m<sup>2</sup> pada tahun 2100 atau setara dengan konsentrasi GRK >1370 ppm CO<sub>2</sub> ekuivalen.

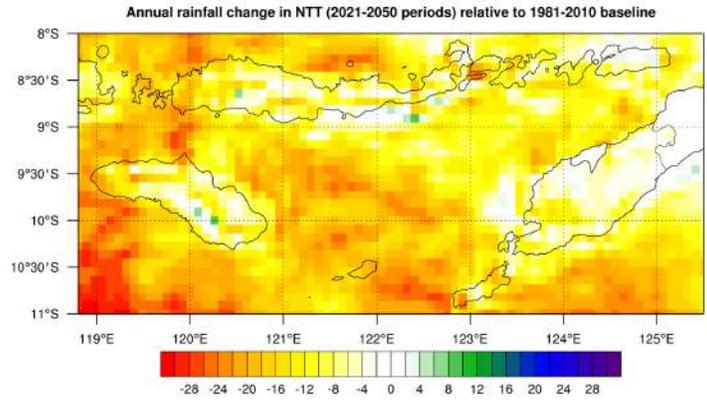
#### 4.1.2 Proyeksi Curah Hujan

##### 4.1.2.1 Hasil Proyeksi Model Iklim Regional

Simulasi model iklim regional dilakukan dengan memanfaatkan data ICBC dari salah satu GCM, yaitu model CanESM2 berbasis pada skenario perubahan iklim RCP4.5. Rentang periode simulasi dilakukan mulai dari tahun 1980 hingga tahun 2050 yang mewakili periode baseline dan proyeksi. Dalam kajian ini periode 1981-2010 dipilih sebagai periode baseline, sedangkan untuk periode proyeksi digunakan data hasil simulasi pada periode 2011-2040 dan 2021-2050.

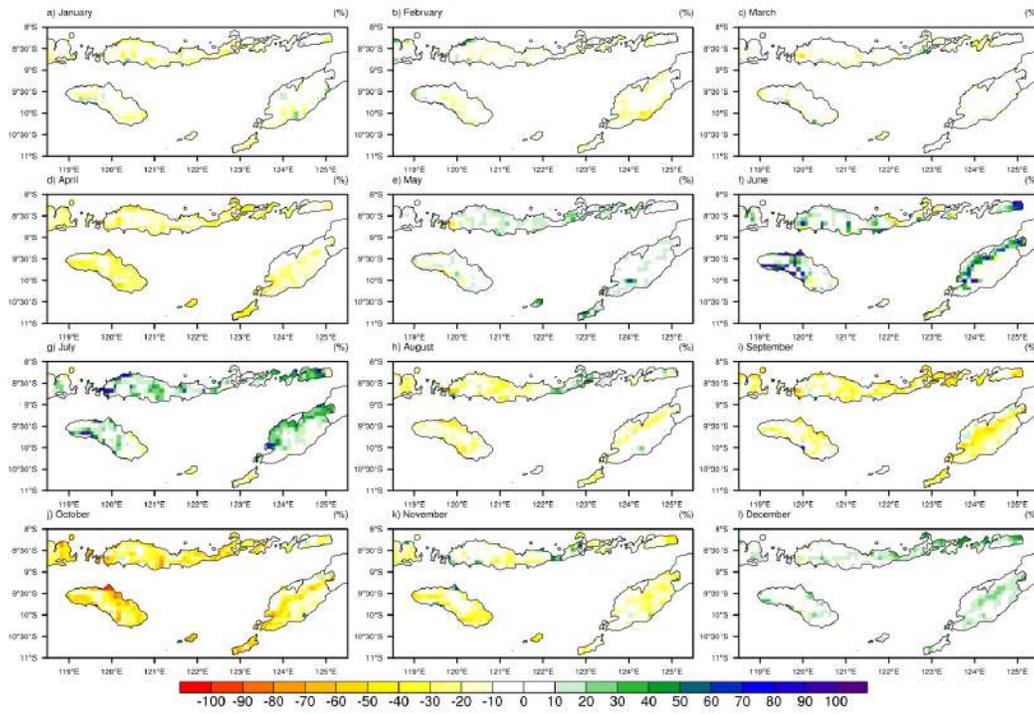
Gambar 4-2 Persentase perubahan curah hujan rata-rata tahunan di NTT pada periode a) 2011-2040 dan 2021-2050 relatif terhadap periode baseline 1981-2010 berdasarkan simulasi model iklim regional RegCM4.



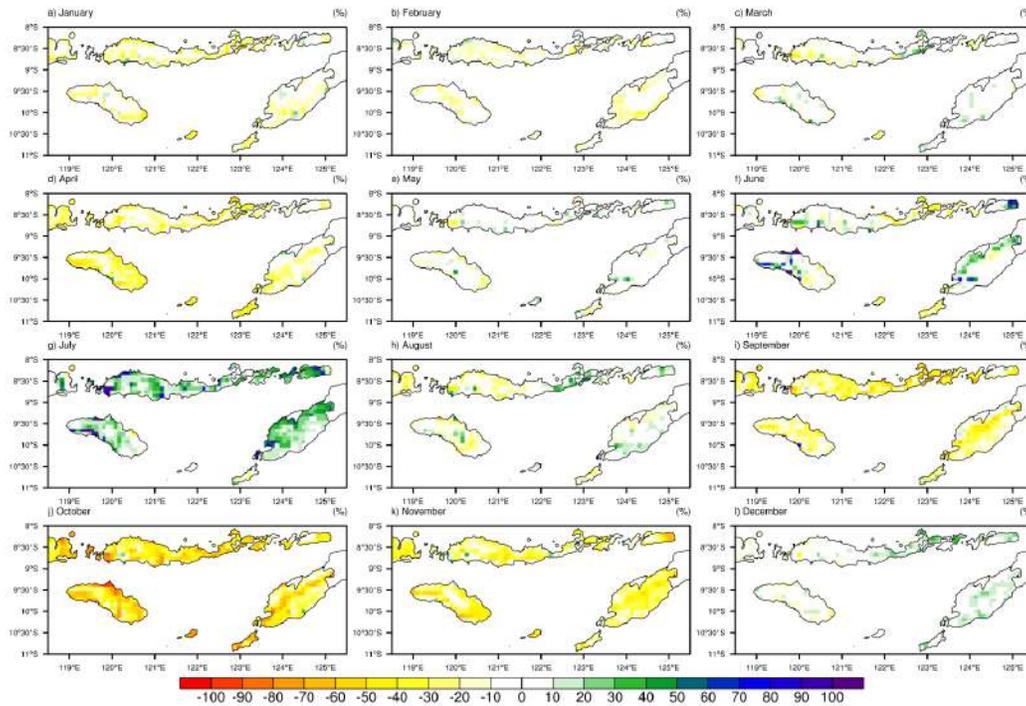


Gambar 4-3 Persentase perubahan curah hujan rata-rata bulanan di NTT pada periode a) 2011-2040 dan 2021-2050 relatif terhadap periode baseline 1981-2010 berdasarkan simulasi model iklim regional RegCM4.

**a) 2011-2040**



**b) 2021-2050**



Gambar 4-2a dan 4-2b masing-masing menunjukkan nilai persentase perubahan curah hujan rata-rata tahunan pada kedua periode proyeksi yang dihitung relatif terhadap data curah hujan klimatologi pada periode baseline. Dari kedua gambar tersebut terlihat jelas bahwa proyeksi dari RCM menunjukkan adanya kemungkinan penurunan curah hujan rata-rata tahunan di sebagian besar wilayah di NTT kecuali pada sebagian kecil wilayah di bagian barat Sumba Timur yang menunjukkan persentase peningkatan. Kecenderungan curah hujan yang semakin berkurang dapat memberikan indikasi adanya potensi kekeringan yang semakin besar di sebagian besar wilayah NTT yang dapat mengancam berbagai aktifitas kehidupan yang bergantung pada ketersediaan air, seperti pada sektor pertanian dan sumberdaya air.

Akan tetapi, perlu diperhatikan bahwa hasil proyeksi dari RCM ini hanya berlandaskan pada hasil downscaling dari satu model GCM saja. Oleh karena itu analisis lebih lanjut akan diberikan dengan memanfaatkan statistical downscaling dari beberapa model GCM. Penggunaan berbagai model GCM ini sangat penting guna mengurangi permasalahan ketidakpastian hasil proyeksi akibat hasil keluaran yang beragam antar model iklim. Hal ini akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Kembali kepada hasil keluaran RCM lagi, kali ini pada Gambar 4-3 disajikan secara lebih detail persentase perubahan curah hujan pada masing-masing bulan. Dari hasil pada Gambar tersebut dapat dilihat bahwa penurunan curah hujan cenderung terjadi pada bulan-bulan di musim hujan dan di musim transisi menjelang musim hujan. Sementara itu

peningkatan curah hujan rata-rata diproyeksikan terjadi pada beberapa bulan di musim kemarau dan musim transisi menjelang musim kemarau, yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli. Peningkatan curah hujan tersebut terjadi di sebagian besar wilayah di NTT.

#### 4.1.2.2 Hasil Proyeksi Model Iklim Global

Selain menggunakan informasi proyeksi perubahan curah hujan dari hasil simulasi model iklim regional (RCM), studi ini juga menggunakan proyeksi dari hasil downscaling model iklim global (GCM). Proyeksi dari GCM digunakan sebagai pembanding dan pelengkap dari hasil RCM yang hanya berdasarkan pada satu model GCM sebagai input model dengan satu skenario RCP4.5. Penggunaan hasil proyeksi dari downscaling GCM dimaksudkan untuk melihat konsensus model dalam melakukan proyeksi sebagai upaya untuk mengurangi masalah ketidakpastian dalam proyeksi iklim yang disebabkan oleh perbedaan hasil simulasi antar model dan antar skenario.

Pada awal disiapkan data luaran dari 20 model GCM untuk analisis proyeksi perubahan curah hujan di NTT. Namun, jumlah tersebut dikurangi menjadi hanya 16 model berdasarkan hasil seleksi yang dilakukan berdasarkan kesesuaian data klimatologi antara masing-masing model dengan data observasi (lihat Sub-bagian 2.2.3). Rataan dari nilai persentase peluang untuk seluruh NTT pada berbagai skenario di tiga periode, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 disajikan pada Gambar 4-4. Sedangkan pola spasial dari proyeksi curah hujan berdasarkan konsensus dari 16 GCM masing-masing berdasarkan empat skenario perubahan iklim, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 untuk periode 2011-2040 disajikan pada Gambar 4-5 hingga 4-8 (untuk periode lainnya tidak ditampilkan).

Nilai peluang peningkatan curah hujan berdasarkan konsensus dari hasil proyeksi dari keseluruhan GCM memiliki batas nilai antara 0 (0%) hingga 1 (100%). Semakin tinggi nilai dari peluang tersebut (mendekati 1) berarti semakin banyak model yang menunjukkan kesepakatan akan kemungkinan terjadinya peningkatan curah hujan di masa akan datang. Sedangkan semakin kecil nilai peluang yang diperoleh (mendekati 0), maka semakin sedikit model yang menunjukkan proyeksi peningkatan curah hujan; dengan kata lain, semakin banyak model yang menyepakati penurunan curah hujan dibandingkan kondisi baseline.

Untuk periode proyeksi 2011-2040 sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4-5 hingga 4-8, hasil proyeksi berdasarkan kecenderungan dari 16 model GCM menunjukkan secara umum kondisi curah hujan yang mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi baseline. Hal ini ditunjukkan dengan sebaran spasial nilai peluang yang terdapat pada masing-masing bulan yang secara dominan menunjukkan nilai peluang kurang dari 0.5. Namun demikian, nilai peluang hasil konsensus model cenderung lemah untuk sebagian besar hasil proyeksi. Hal ini konsisten dengan nilai rata-ran persentase perubahan untuk seluruh NTT (Gambar 4-4) yang menunjukkan nilai persentase perubahan naik turunnya curah hujan yang tidak lebih dari nilai 10%.

Gambar 4-4 menunjukkan bahwa secara konsisten penurunan curah hujan diproyeksikan terjadi pada bulan-bulan di musim kemarau di bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dengan penurunan terendah terjadi pada bulan Agustus. Penurunan curah hujan pada waktu tersebut diproyeksikan terjadi di semua periode, namun dengan besaran persentase perubahan yang berbeda untuk masing-masing skenario RCP..

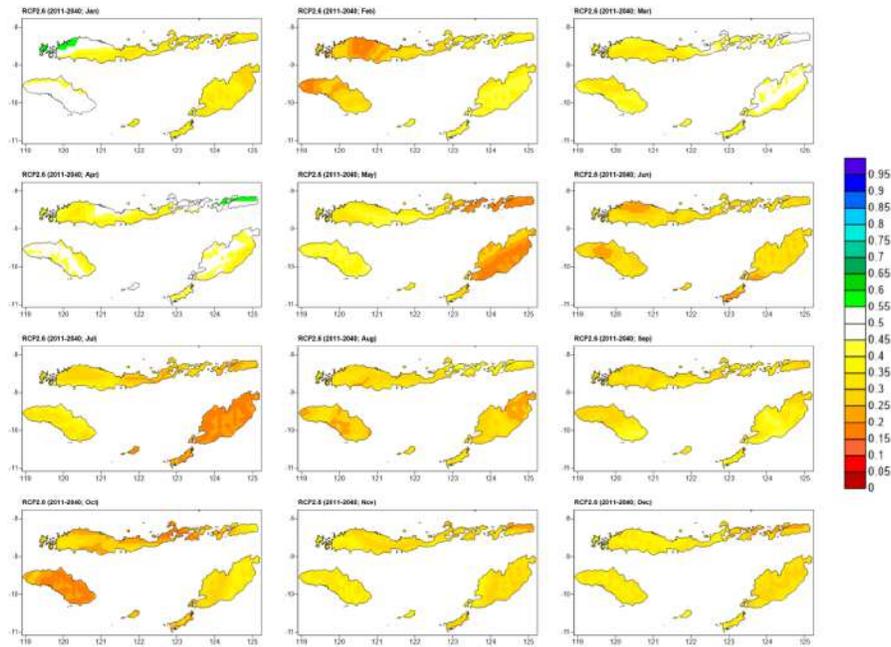
Gambar 4-4 Proyeksi naik-turunnya curah hujan di NTT berdasarkan rata-rata wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100.



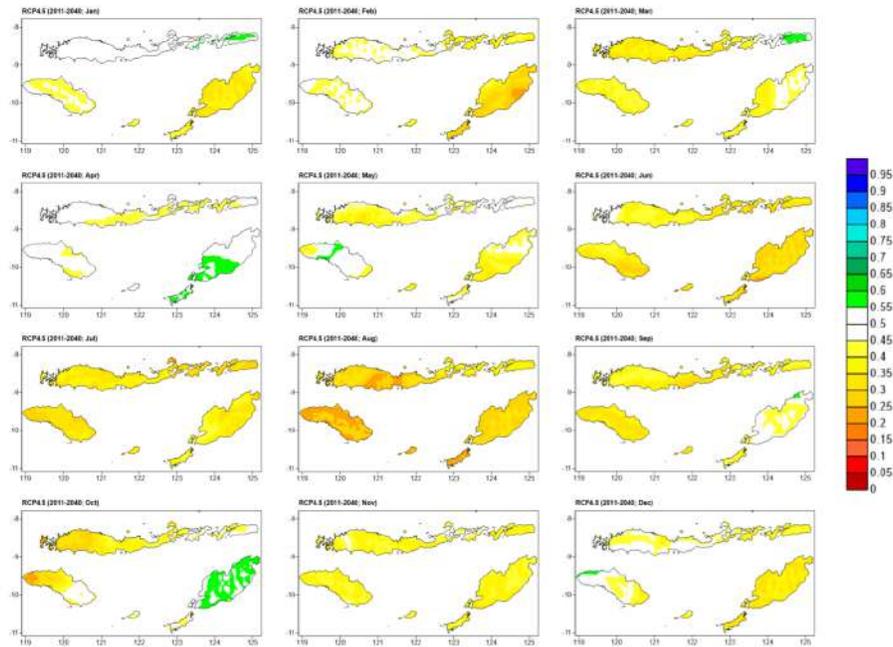
Khusus untuk Gambar 4-5 hingga 4-8, hasil proyeksi menunjukkan kecenderungan 16 model GCM dari keseluruhan bulan dari Januari hingga Desember secara spasial untuk proyeksi curah hujan periode 2011-2040. Secara umum, hanya sebagian kecil model sepakat akan kemungkinan terjadi peningkatan curah hujan di NTT. Sebagian besar model lebih cenderung menunjukkan proyeksi curah hujan yang lebih rendah dibandingkan kondisi baseline. Hal ini ditunjukkan oleh sebaran nilai peluang yang lebih kecil dari 0.5. Kecenderungan penurunan tersebut berbeda-beda nilainya dan distribusinya secara spasial pada masing-masing skenario. Pada Gambar 4-5 (skenario RCP2.6), curah hujan pada periode terkait terlihat memiliki peluang lebih tinggi terutama di sebagian Pulau Flores pada bulan Februari, di sebagian Pulau Sumba pada bulan Februari dan Oktober, serta di Pulau Timor pada bulan Mei dan Juli. Sedangkan pada

Gambar 4-6 (skenario RCP4.5), Kecenderungan penurunan curah hujan pada periode terkait terlihat memiliki peluang lebih tinggi terutama di sebagian Pulau Flores pada bulan Februari, di sebagian Pulau Sumba pada bulan Februari dan Oktober, serta di Pulau Timor pada bulan Mei dan Juli.

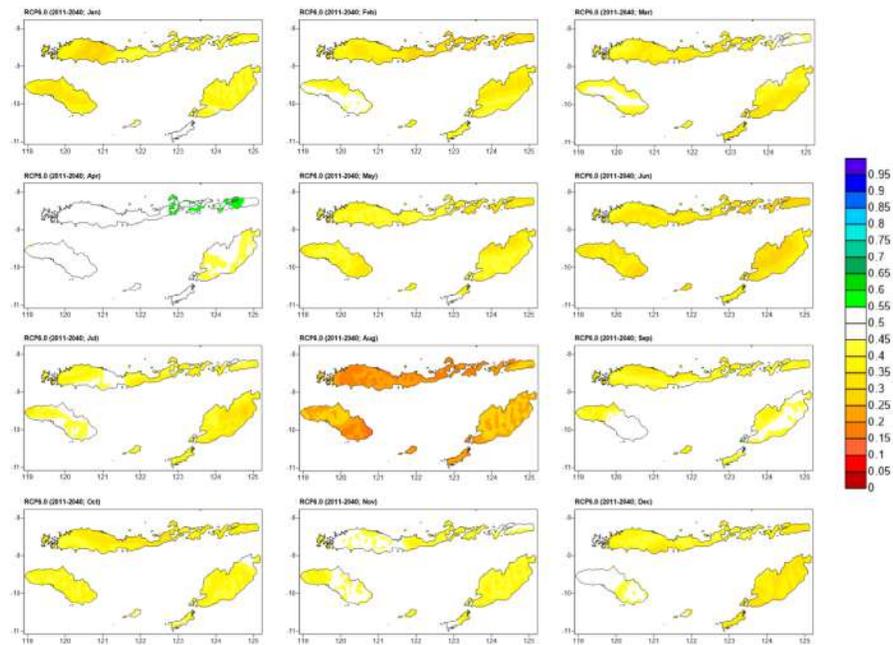
Gambar 4-5 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP2.6.



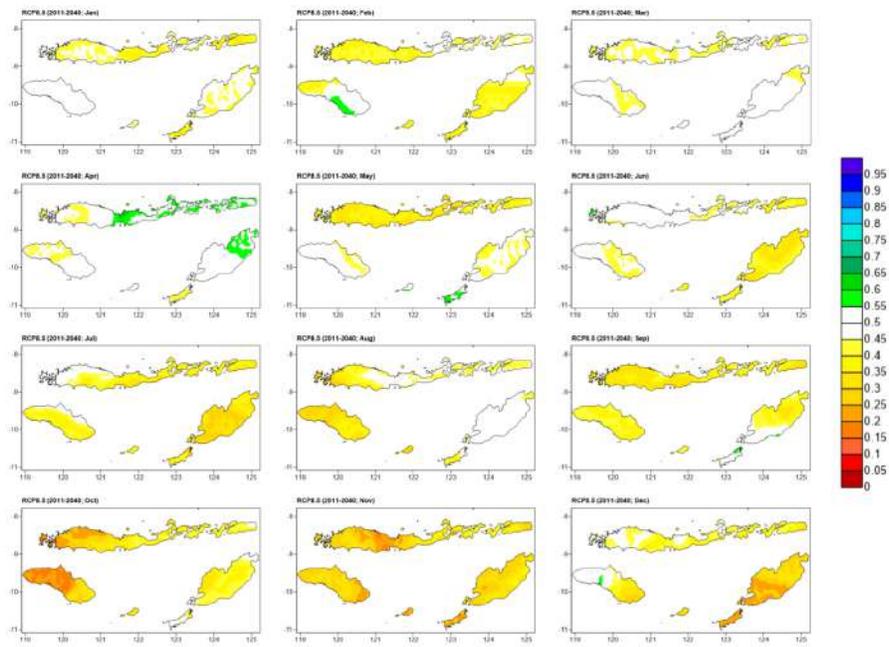
Gambar 4-6 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP4.5.



Gambar 4-7 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP6.0.



Gambar 4-8 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di NTT berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario RCP8.5.



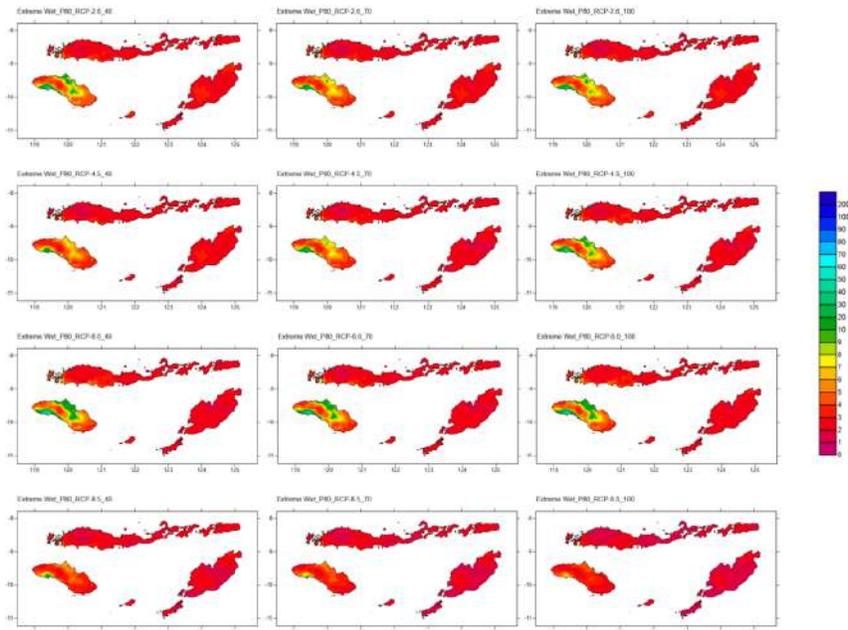
### 4.1.3 Proyeksi Iklim Ekstrim

#### 4.1.3.1 Hasil Proyeksi Ekstrim Basah

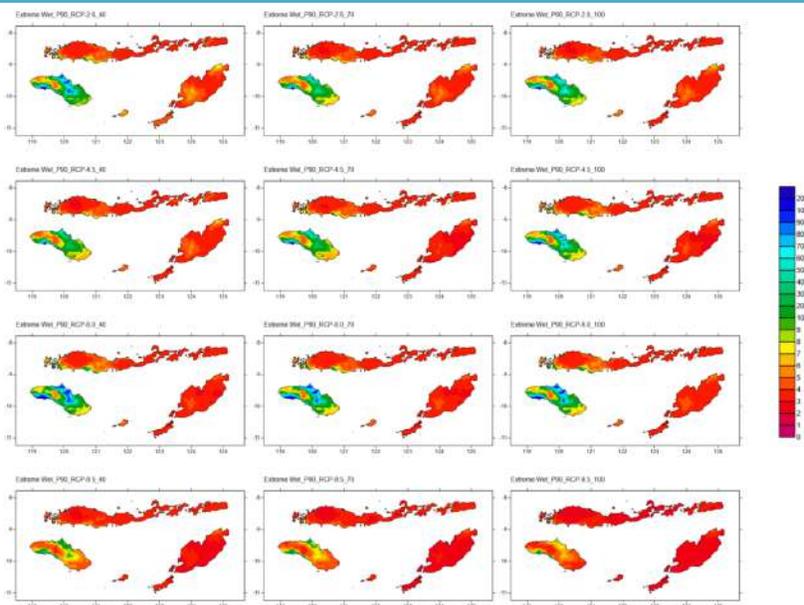
IPCC (2012) menyatakan bahwa perubahan iklim dapat menyebabkan meningkatnya frekuensi, intensitas dan luasan wilayah dari kejadian iklim ekstrim. Dalam kajian ini, untuk wilayah NTT kami melakukan proyeksi iklim ekstrim berkaitan dengan perubahan periode ulang dari curah hujan ekstrim atau disebut disini dengan ekstrim basah. Perubahan peluang kejadian ekstrim diidentifikasi berdasarkan peluang terlampaui dari ambang batas curah hujan ekstrim yang telah dibahas pada Subbagian 3.1.4. Perubahan periode ulang hasil proyeksi model dianalisis dengan menggunakan referensi nilai periode ulang curah hujan ekstrim periode baseline pada ambang batas peluang 80% ( $P > R_t = 20\%$ ), 90% ( $P > R_t = 10\%$ ) dan 95% ( $P > R_t = 5\%$ ). Masing masing ambang batas tersebut merepresentasikan periode ulang 5 tahunan, 10 tahunan dan 20 tahunan. Nilai periode ulang tersebut merepresentasikan nilai ambang batas curah hujan ekstrim yang secara spasial ditunjukkan pada Gambar 3-9. Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang sesuai ambang batas pada Gambar 3-9 tersebut disajikan pada Gambar 4-9, 4-10 dan 4-11.

Periode ulang dari kejadian curah hujan ekstrim basah di NTT diproyeksikan akan mengalami perubahan. Gambar 4-9 menunjukkan bahwa secara umum bahwa akan terjadi peningkatan periode ulang kejadian hujan pada ambang batas ekstrim yang sebelumnya terjadi 5 tahunan ( $P > R_t = 20\%$ ), akan meningkat menjadi 2-3 tahunan. Peningkatan frekuensi kejadian tersebut diproyeksikan terjadi di sebagian besar NTT untuk seluruh periode, kecuali di Pulau Sumba. Sebagian wilayah di Pulau tersebut menunjukkan penurunan frekuensi dengan perubahan periode ulang 5 tahunan menjadi lebih lambat hingga mencapai 20 tahunan.

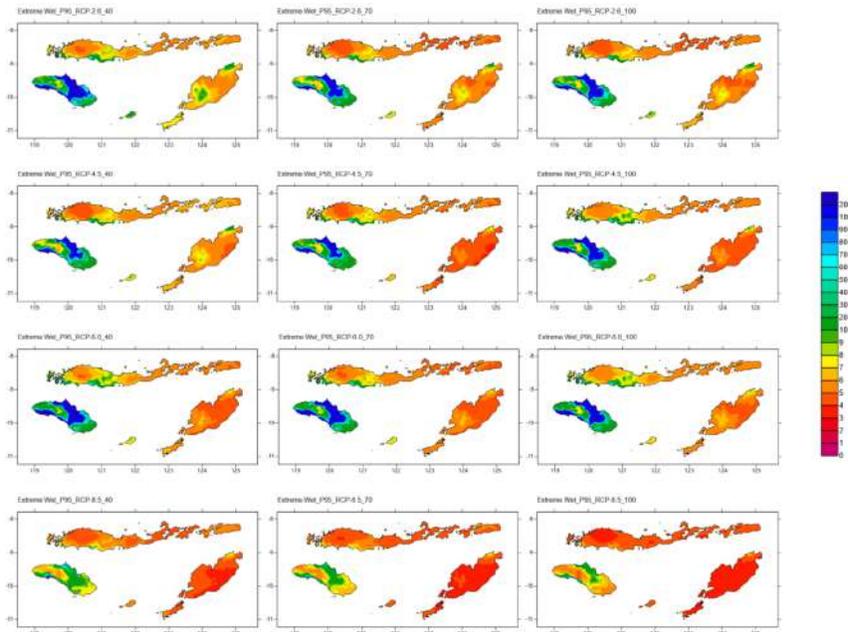
Gambar 4-9 Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040 (40), 2041-2070 (70) dan 2071-2100 (100) dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 5 tahunan ( $P > R_t = 20\%$ ).



Gambar 4-10 Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040 (40), 2041-2070 (70) dan 2071-2100 (100) dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 10 tahunan ( $P > R_t = 10\%$ ).



Gambar 4-11 Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim basah dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040 (40), 2041-2070 (70) dan 2071-2100 (100) dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 20 tahunan ( $P > R_t = 5\%$ ).



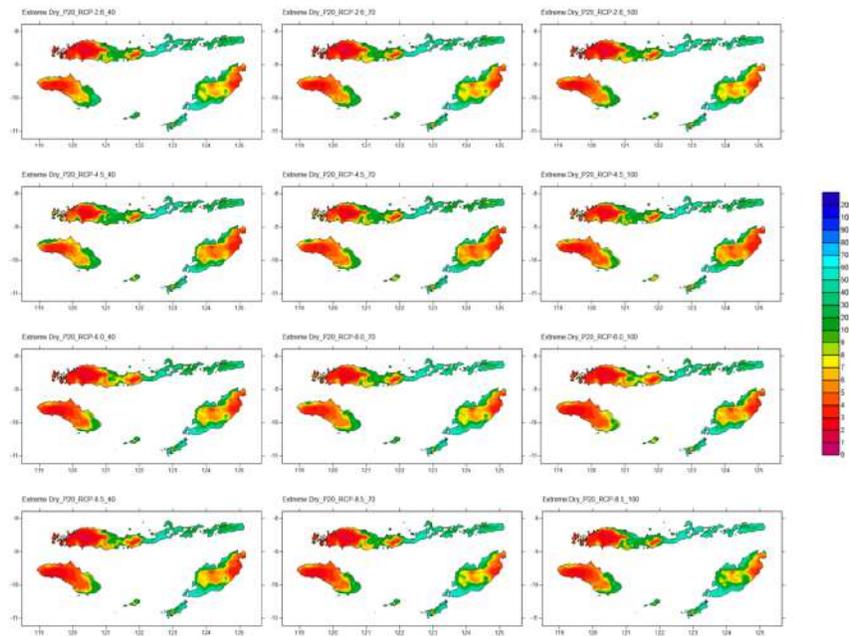
Kondisi untuk perubahan periode ekstrim basah kejadian 5 tahunan hampir sama dengan perubahan periode ulang curah hujan ekstrim 10 tahunan (Gambar 4-10) dimana untuk wilayah Pulau Sumba sebagian menunjukkan terjadinya pengurangan frekuensi kejadian dengan periode ulang yang lebih lambat. Walaupun dengan variasi spasial periode ulang yang beragam dimana terdapat juga wilayah di bagian timur dan barat yang sebagian menunjukkan peningkatan frekuensi kejadian/periode ulang. Sementara untuk wilayah di Pulau Flores dan Timor, terdapat keseragaman yang menunjukkan kemungkinan terjadinya peningkatan periode ulang menjadi lebih cepat dari 10 tahun. Peningkatan periode ulang di kedua Pulau utama tersebut juga terlihat konsisten untuk curah hujan ekstrim dengan periode ulang yang lebih lambat, yaitu setiap 20 tahunan (Gambar 4-11). Diproyeksikan akan terjadi peningkatan periode ulang menjadi setiap 5 tahunan. Sekali lagi, hal ini agak sedikit berbeda untuk Pulau Sumba yang menunjukkan beberapa bagian wilayah yang mengalami peningkatan atau penurunan periode ulang serta beberapa bagian yang tidak mengalami perubahan.

#### 4.1.3.2 Hasil Proyeksi Ekstrim Kering

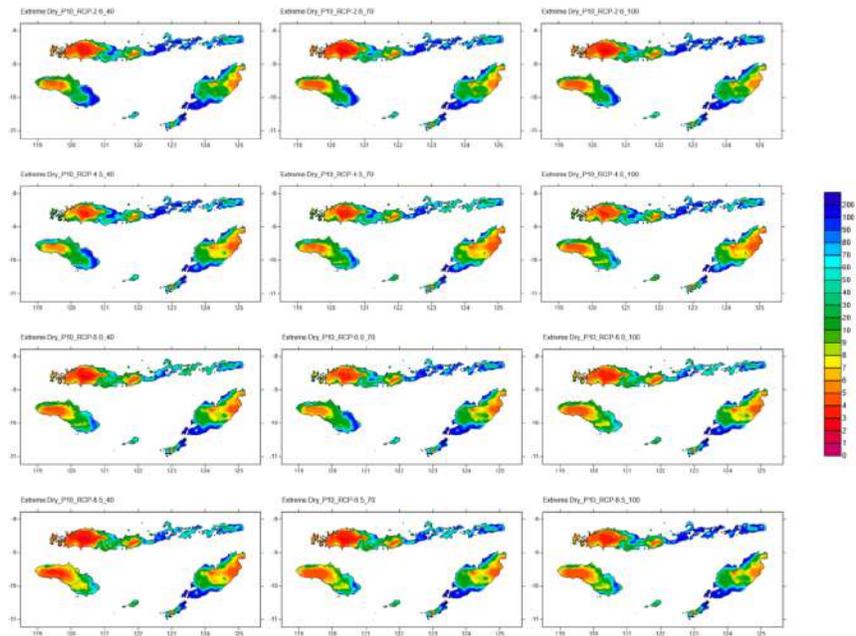
Selain proyeksi iklim ekstrim basah yang terkait dengan curah hujan maksimum, pada studi ini juga dilakukan analisis periode ulang pada ambang batas di sisi lain dari rentang distribusi, yaitu pada ambang batas 20% ( $P < R_t = 20\%$ ), 10% ( $P < R_t = 10\%$ ) dan 5%

( $P < R_t = 5\%$ ) yang masing-masing merepresentasikan periode ulang 5 tahunan, 10 tahunan dan 20 tahunan untuk kejadian iklim ekstrim kering. Sebagai batasan, penentuan ambang batas ini belum mewakili lama kejadian periode kering yang umumnya dapat ditentukan berdasarkan nilai maksimum deret hari kering (*dry spell*).

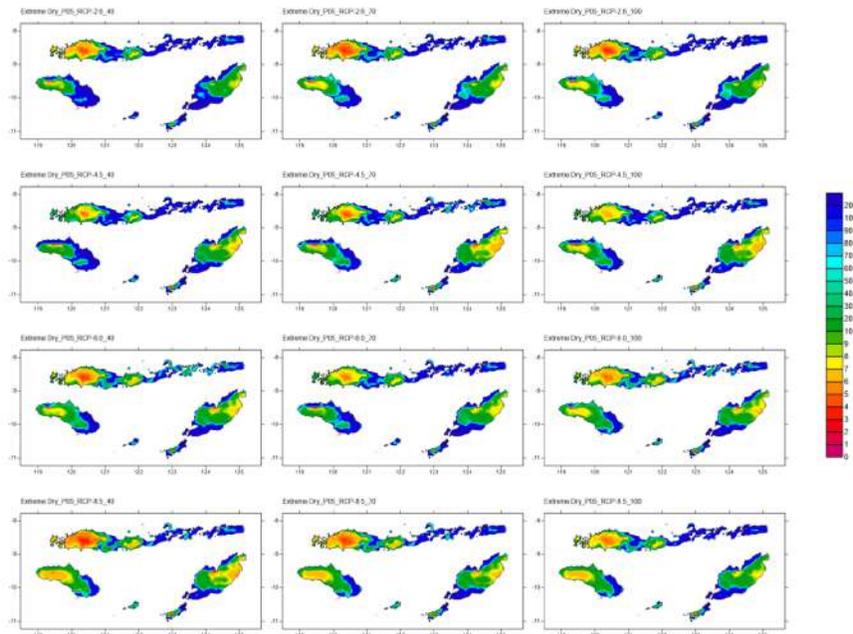
Gambar 4-12 Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim kering dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 5 tahunan ( $P < R_t = 20\%$ ).



Gambar 4-13 Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim kering dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 10 tahunan ( $P < Rt = 10\%$ ).



Gambar 4-14 Proyeksi periode ulang kejadian ekstrim kering dimasa depan berdasarkan empat skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 masing-masing pada periode 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100 dengan menggunakan referensi nilai periode ulang 20 tahunan ( $P > R_t = 5\%$ ).



Periode ulang dari kejadian ekstrim kering di NTT juga diproyeksikan akan mengalami perubahan akibat perubahan iklim. Gambar 4-12 menunjukkan bahwa diproyeksikan akan terjadi peningkatan periode ulang pada ambang batas ekstrim yang sebelumnya terjadi 5 tahunan ( $P > R_t = 20\%$ ), akan meningkat menjadi 2-3 tahunan pada wilayah-wilayah tertentu saja di NTT, seperti di bagian barat Pulau Flores mencakup wilayah Kabupaten Manggarai, bagian barat Pulau Sumba dan bagian timur Pulau Timor dekat perbatasan dengan Timor Leste. Sementara untuk sebagian wilayah lain menunjukkan pelambatan periode ulang atau penurunan frekuensi kejadian. Kondisi serupa diproyeksikan juga kemungkinan terjadi untuk batasan perubahan periode ulang 10 tahunan dan 20 tahunan, tentunya dengan pola distribusi secara spasial yang sedikit berbeda (Gambar 4-13 dan 4-14).

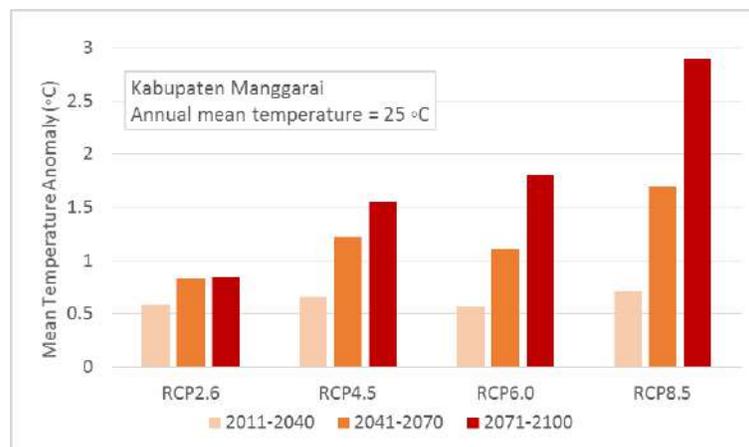
## 4.2 PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM DI KABUPATEN MANGGARAI

### 4.2.1 Proyeksi Suhu

Di masa depan, suhu udara rata-rata tahunan di Kabupaten Manggarai diproyeksikan akan meningkat karena pemanasan global dan perubahan iklim. Gambar 4-15 menunjukkan nilai rata-rata wilayah di Kabupaten Manggarai dari anomaly suhu rata-

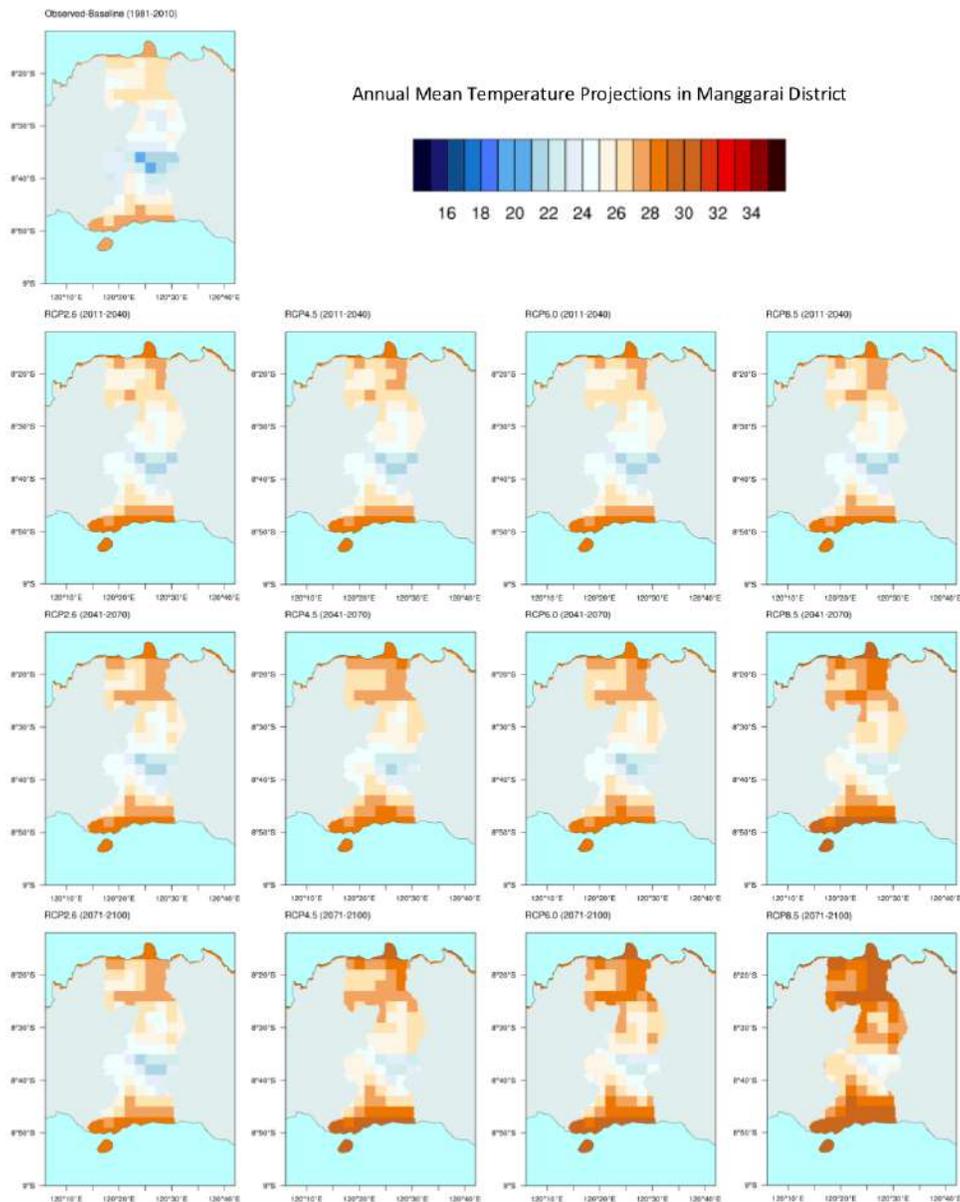
rata tahunan relatif terhadap periode baseline pada saat ini. Berdasarkan keempat skenario RCP, yaitu RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5, Nampak tidak ada perbedaan yang terlalu besar antara anomali suhu antar masing-masing skenario pada periode rata-rata 2011-2040. Peningkatan suhu berada di nilai 0,59 °C dan 0,71 °C antara skenario terendah (RCP2.6) dan tertinggi (RCP8.5). Perbedaan peningkatan suhu yang cukup jelas baru tampak pada periode 2041-2070 dan 2071-2100. Pada periode rata-rata 2041-2071, peningkatan suhu dibawah 1 °C hanya tampak pada skenario RCP2.6 yang merupakan skenario paling optimis dalam upaya pelambatan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Sementara itu, skenario lainnya konsisten menunjukkan peningkatan suhu di atas 1 °C pada periode tersebut dengan peningkatan rata-rata tertinggi terdapat pada skenario RCP8.5 sekitar 1,7 °C. Hal serupa juga terjadi pada periode tahun 2071-2100, dimana hanya RCP2.6 yang menunjukkan peningkatan suhu rata-rata tahunan kurang dari 1,5 °C, dan RCP8.5 menunjukkan peningkatan suhu tertinggi dengan rata-rata mencapai 2,9 °C.

Gambar 4-15 Rataan wilayah untuk anomali suhu udara rata-rata tahunan selama 30 tahun di Kabupaten Manggarai relatif terhadap periode baseline tahun 1980-2009. Proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



Sebaran spasial proyeksi suhu udara rata-rata tahunan di Kabupaten Manggarai ditampilkan secara spasial pada Gambar 4-16. Gambar tersebut menunjukkan nilai suhu rata-rata tahunan dari observasi dan proyeksi. Untuk nilai hasil proyeksi diperoleh dengan menjumlahkan nilai rata-rata data observasi dengan nilai selisih peningkatan suhu dari model (pendekatan *delta*). Secara jelas Gambar 4-16 menunjukkan peningkatan suhu yang konsisten di masa yang akan datang, dimana peningkatan tersebut sejalan dengan proyeksi radiative forcing pada masing-masing skenario.

Gambar 4-16 Suhu udara rata-rata 30 tahunan di Kabupaten Manggarai, NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



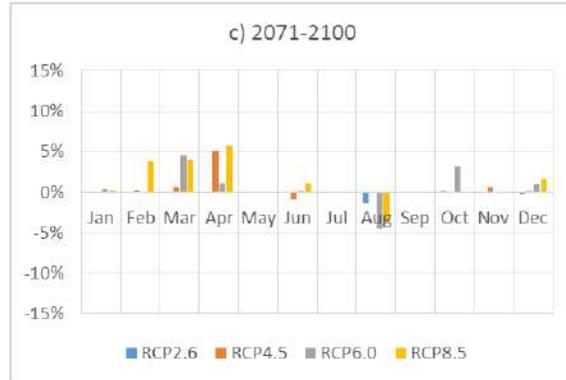
#### 4.2.2 Proyeksi Hujan

Perubahan iklim diproyeksikan akan mempengaruhi perubahan curah hujan di Kabupaten Manggarai. Hal tersebut ditunjukkan dari analisis proyeksi curah hujan untuk NTT. Hasil lebih detail dari proyeksi tersebut di sajikan pada Gambar 4-17 untuk representasi nilai rata-rata wilayah perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari median 16 GCM CMIP5 untuk seluruh skenario masing-masing pada tiga periode terpisah. Sementara untuk Gambar 4-18 menampilkan gambaran spasial perubahan curah hujan berdasarkan nilai peluang dari kecenderungan model GCM tersebut yang disajikan secara lebih detail khusus untuk wilayah Kabupaten Manggarai. Gambar 4-18 hanya menyajikan peta peluang untuk periode 2011-2040 pada semua skenario RCP. Sementara itu untuk dua periode lainnya yaitu 2041-2070 dan 2071-2100, gambarnya dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2.

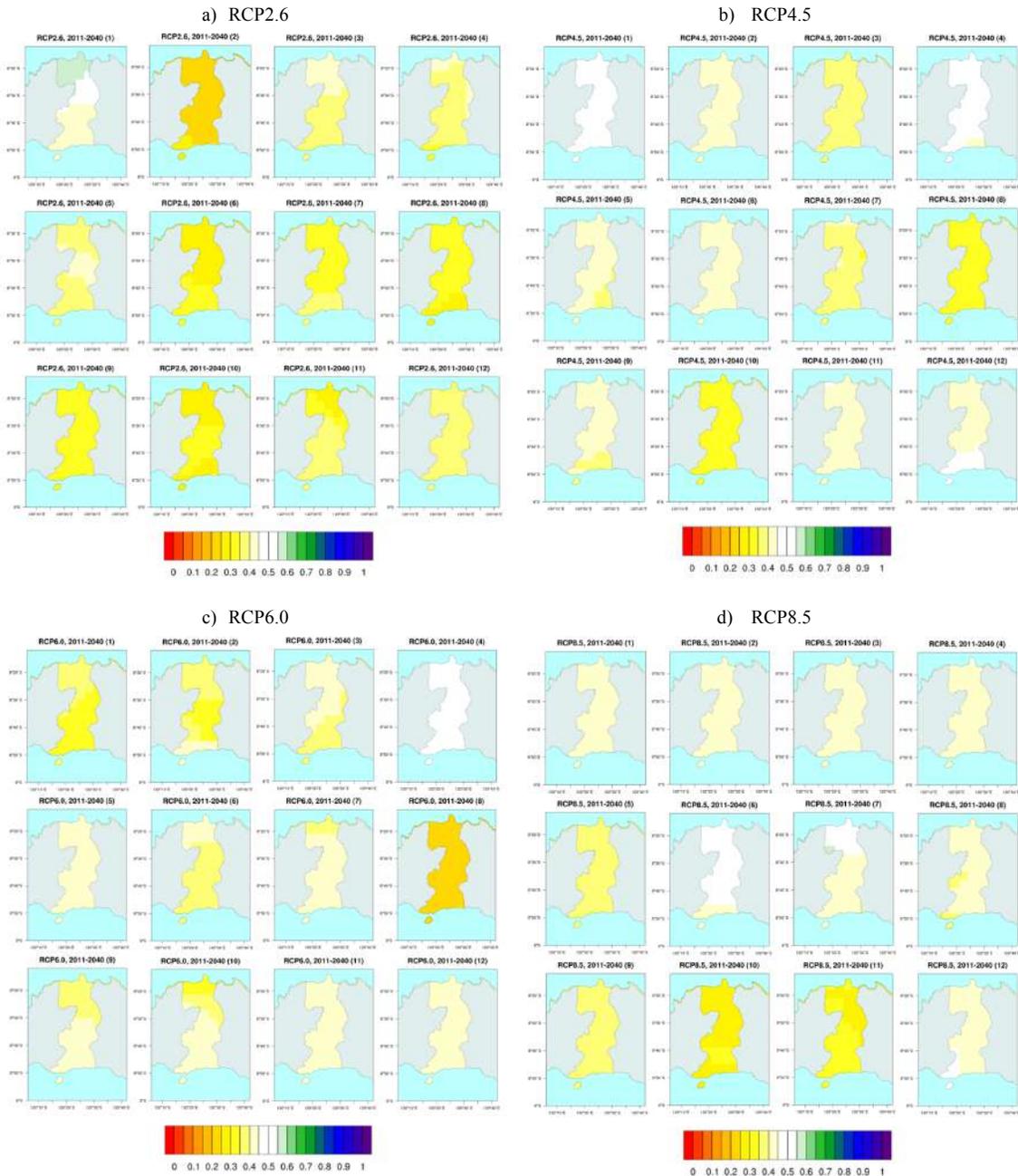
Gambar 4-17a menunjukkan adanya perubahan curah hujan pada periode 2011-2040 dibandingkan periode baseline. Akan tetapi, nilai persentase perubahan relatif kecil dengan nilai persentase kurang dari  $\pm 5\%$ , kecuali untuk RCP6.0 di bulan Agustus. Sementara itu, persentase perubahan curah hujan nampak lebih jelas terlihat untuk periode tahun 2041-2070 dan 2071-2100 (Gambar 4-17b dan 4-17c). Peningkatan persentase curah hujan nampak pada bulan Januari, Maret dan April untuk periode 2041-2070 dan Desember, Februari, Maret dan April untuk periode tahun 2071-2100. Sebaliknya, persentase penurunan curah hujan tampak pada bulan Juli dan Agustus untuk periode 2041-2070 dan pada bulan Agustus saja untuk periode 2071-2100.

Gambar 4-17 Proyeksi naik-turunnya curah hujan di Kabupaten Manggarai berdasarkan rata-rata wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100.





Gambar 4-18 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di Kabupaten Manggarai berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



Secara spasial, peluang kecenderungan perubahan curah ditunjukkan pada Gambar 4-18 untuk periode 2011-2040 mengindikasikan adanya penurunan curah hujan di Kabupaten Manggarai. Hal ini dapat dilihat dari kecenderungan model yang lebih banyak

memproyeksikan curah hujan yang lebih rendah dibandingkan kondisi baseline. Walaupun jumlah model yang mengindikasikan hal tersebut tidak terlampaui dominan. Hasil ini konsisten dengan nilai rata-rata median 16 GCM yang disajikan pada gambar sebelumnya (Gambar 4-17a). Sementara untuk periode lainnya yaitu 2041-2070 dan 2071-2100 (lihat Lampiran 1 dan 2), lebih banyak model yang memproyeksikan adanya peningkatan curah hujan pada bulan Maret dan April, khususnya pada skenario RCP6.0 dan RCP8.5.

### 4.2.3 Proyeksi Iklim Ekstrim

#### 4.2.3.1 Hasil Proyeksi Index Iklim Ekstrim

Analisis proyeksi kejadian iklim ekstrim juga dilakukan secara spesifik untuk masing-masing dari tiga kabupaten yang menjadi wilayah kajian. Data yang digunakan dalam proyeksi yaitu data hasil keluaran model iklim regional RegCM4 yang memiliki data dengan resolusi harian yang dibutuhkan untuk kajian iklim ekstrim. Terdapat enam indeks ekstrim yang dianalisis dalam studi ini, yaitu curah hujan tahunan total melampaui ambang batas 99<sup>th</sup> percentile (R99p), curah hujan tahunan total melampaui ambang batas 95<sup>th</sup> percentile (R95p), deret hari kering maksimum dengan ambang batas hujan < 1mm (CDD), deret hari basah maksimum dengan ambang batas hujan > 1mm (CDD), total curah hujan tahunan untuk hari basah dengan batas curah hujan > 1mm (PRCPTOT), indeks perbandingan antara total curah hujan dibagi dengan jumlah hari basah pada ambang batas hari basah > 1mm (SDII), jumlah hari tahunan ketika suhu maksimum > 25 °C (SU25) dan jumlah hari tahunan ketika suhu minimum < 20 °C (TR20). Informasi tentang daftar indeks ekstrim tersebut disajikan pada Tabel 4-1.

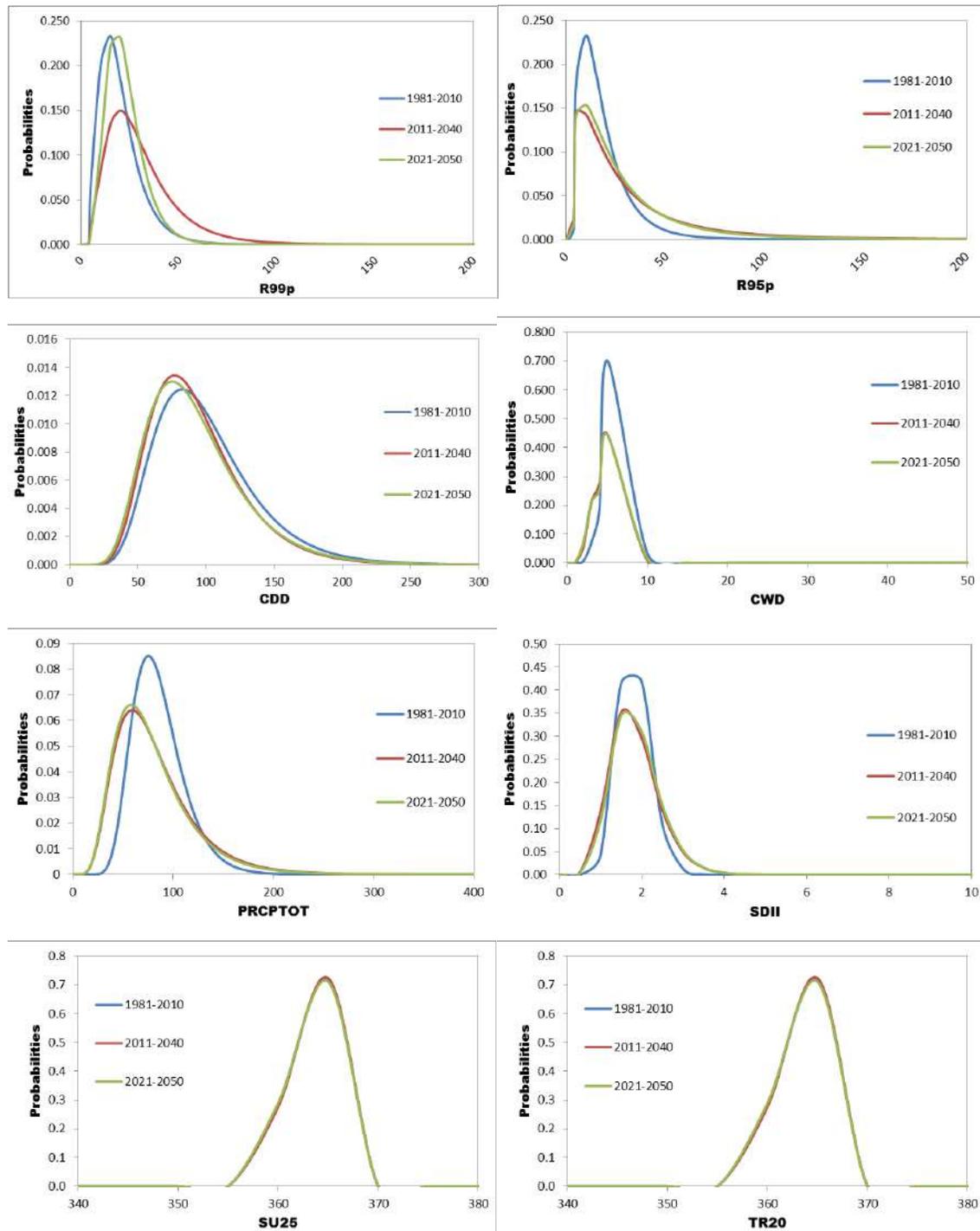
Tabel 4-1 Daftar indeks iklim yang dianalisis dalam studi ini.

ID	Indicator name	Definitions	UNITS
<b>R99p</b>	Extremely wet days	Annual total PRCP when RR>99 <sup>th</sup> percentile	mm
<b>R95p</b>	Very wet days	Annual total PRCP when RR>95 <sup>th</sup> percentile	mm
<b>CDD</b>	Consecutive dry days	Maximum number of consecutive days with RR<1mm	Days
<b>CWD</b>	Consecutive wet days	Maximum number of consecutive days with RR>=1mm	Days
<b>PRCPTOT</b>	Annual total wet-day precipitation	Annual total PRCP in wet days (RR>=1mm)	mm
<b>SDII</b>	Simple daily intensity index	Annual total precipitation divided by the number of wet days(defined as PRCP>=1.0mm) in the year	mm/day
<b>SU25</b>	Summer days	Annual count when TX(daily maximum)>25°C	Days
<b>TR20</b>	Tropical nights	Annual count when TN(daily minimum)>20°C	Days

Berdasarkan hasil proyeksi, wilayah Kabupaten Manggarai akan mengalami peningkatan peluang kejadian iklim ekstrim pada periode 2011-2040 dan 2021-2050 dibandingkan dengan periode baseline (Gambar 4-19). Peningkatan yang terjadi khususnya pada indeks

curah hujan R99p dan R95p. Kedua indeks tersebut perubahan nilai peluang terlampaui terlihat jelas untuk curah hujan diatas 50 mm. Sementara itu untuk CDD, CWD, dan PRCPTOT diproyeksikan justru akan mengalami penurunan peluang kejadian. SDII diperkirakan akan mengalami peningkatan frekuensi kejadian. Sedangkan untuk SU25 dan TR20 diproyeksikan tidak terjadi perubahan yang signifikan dari sisi jumlah dan frekuensi kejadian. Indeks

Gambar 4-19 Proyeksi kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Manggarai berdasarkan hasil keluaran RegCM4 dengan skenario RCP4.5.



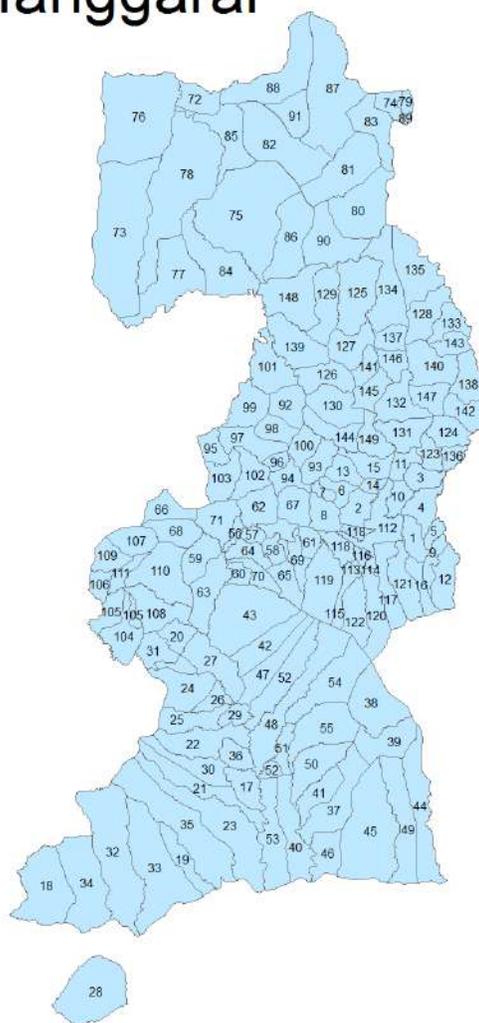
#### 4.2.3.2 Perubahan Peluang Ekstrim Basah dan Kering

Peluang kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Manggarai diproyeksikan akan berubah di masa akan datang. Hasil proyeksi secara umum menunjukkan adanya peningkatan peluang peningkatan intensitas hujan ekstrim di sebagian besar desa yang ada di Kabupaten tersebut. Peningkatan peluang lebih besar terutama di wilayah bagian tengah. Wilayah selatan dan utara juga mengalami peningkatan, tetapi peningkatan peluang di wilayah selatan relatif lebih kecil dibandingkan dengan wilayah lain dari Kabupaten Manggarai. Informasi nama desa sesuai dengan penomoran di tabel dan peta lokasi masing-masing, disajikan pada Gambar 4-20. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai rujukan untuk melihat perubahan nilai peluang ekstrim masing-masing desa yang disajikan pada Gambar 4-21. Peta overlay desa untuk perubahan peluang kejadian ekstrim kering disajikan pada Lampiran 7.

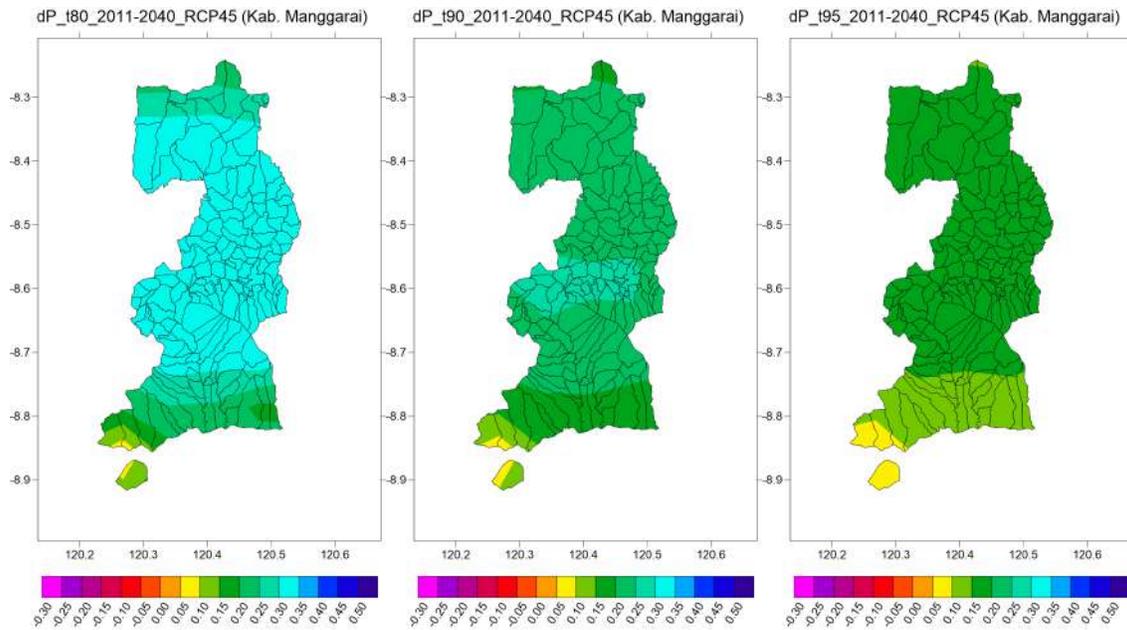
Gambar 4-20 Batas administrasi desa di Kabupaten Manggarai dan urutan penomoran masing-masing desa.

## Daftar Desa di Kab. Manggarai

No.	Nama Desa	No.	Nama Desa	No.	Nama Desa
1	BANGKA JONG	51	PONGGEOK	101	WAE MANTANG
2	BANGKA KENDA	52	PONGKOR	102	TENKULESE
3	COMPANG NDEHES	53	TAL	103	PONG LENGOR
4	GOLD CADOR	54	UMUNG	104	URANG
5	GOLD MENDO	55	WEWO	105	PONG UMPUJ
6	GOLD WATU	56	WAE BELANG	106	NDIWAR
7	GOLD WLIA	57	RAI	107	NATI
8	LALONG	58	PONG MURUNG	108	LAMBA KETANG
9	LONGKO	59	PONG LEKO	109	GELONG
10	NDEHES	60	PONG LAO	110	BANGKA LELAK
11	POCO	61	BENTENG KUMUJ	111	BANGKA DESE
12	RANAKA	62	BEO RAHONG	112	KARDOT
13	RANGGI	63	BULAN	113	LAWIR
14	SATAR NGKELING	64	COMPANG DALO	114	MBAUMUKU
15	WAE MULU	65	CUMBI	115	PAU
16	WAE RII	66	GOLDWOROK	116	PITAK
17	BEA KONDO	67	KAKOR	117	TENDA
18	BORIK	68	BELANG TURI	118	WALI
19	CEKA LUJU	69	POCO LIKANG	119	GOLD DUKAL
20	CIRENG	70	BANGKA LAO	120	WATU
21	GOLD ROPONG	71	MELER	121	CAREP
22	GULUNG	72	PARA LANDO	122	WASO
23	HILUHINTIR	73	NGGALAK	123	WUDI
24	KOLE	74	MATA AIR	124	WELUJ
25	UA	75	LOCE	125	WAE RENCA
26	LING	76	LEMARANG	126	WAE CODI
27	NAO	77	LANTE	127	TIMBU
28	NUCA MOLAS	78	WAE KAJONG	128	LANGKAS
29	POPO	79	BARU	129	LATUNG
30	RENDA	80	BAJAK	130	LENDA
31	RUANG	81	RUIS	131	NENU
32	SATAR LENDA	82	RURA	132	PAGAL
33	SATAR LUJU	83	SALAMA	133	LANDO
34	SATAR RUMBUK	84	SAMBI	134	RIUNG
35	TERONG	85	TOE	135	LADUR
36	TODO	86	TORONG KOE	136	RADO
37	GOLD MUNTAS	87	WANGKUNG	137	KENTOL
38	LUNGA	88	ROBEK	138	PINGGANG
39	MOCOK	89	REO	139	GOLD WOI
40	PAKA	90	WATU TANGO	140	PERAK
41	GARA	91	WATU BAUR	141	BANGKA ARA
42	GOLD LAMBO	92	MANONG	142	BARANG
43	JAONG	93	LIANG BUA	143	BEA MESE
44	KOAK	94	GOLD LANGKOK	144	BERE
45	LANGGO	95	DIMPONG	145	COMPANG CIBAL
46	LEGU	96	COMPANG DARI	146	GAPONG
47	NGKAER	97	BUAR	147	GOLD
48	PAPANG	98	BENTENG TUBI	148	GOLD LANAK
49	TADO	99	BANGKA RUANG	149	GOLD NCUANG
50	WAE AJANG	100	BANGKA AJANG		



Gambar 4-21 Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim basah yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Manggarai, NTT.



### 4.3 PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM DI KABUPATEN SABU RAIJUA

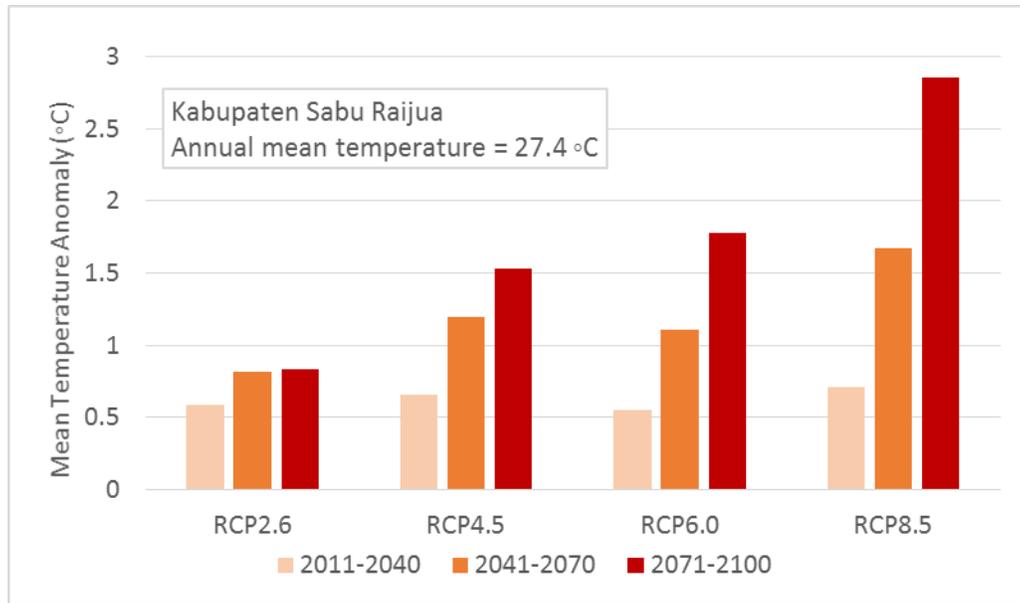
#### 4.3.1 Proyeksi Suhu

Mirip halnya dengan kondisi di Kabupaten Manggarai, di masa depan, suhu udara rata-rata tahunan di Kabupaten Sabu Raijua diproyeksikan akan meningkat karena pemanasan global dan perubahan iklim. Gambar 4-22 menunjukkan nilai rata-rata wilayah di Kabupaten Manggarai dari anomali suhu rata-rata tahunan relatif terhadap periode baseline pada saat ini. Berdasarkan keempat skenario RCP, yaitu RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5, Nampak tidak ada perbedaan yang terlalu besar antara anomali suhu antar masing-masing skenario pada periode rata-rata 2011-2040. Peningkatan suhu berada di nilai 0,58 °C dan 0,71 °C antara skenario terendah (RCP2.6) dan tertinggi (RCP8.5).

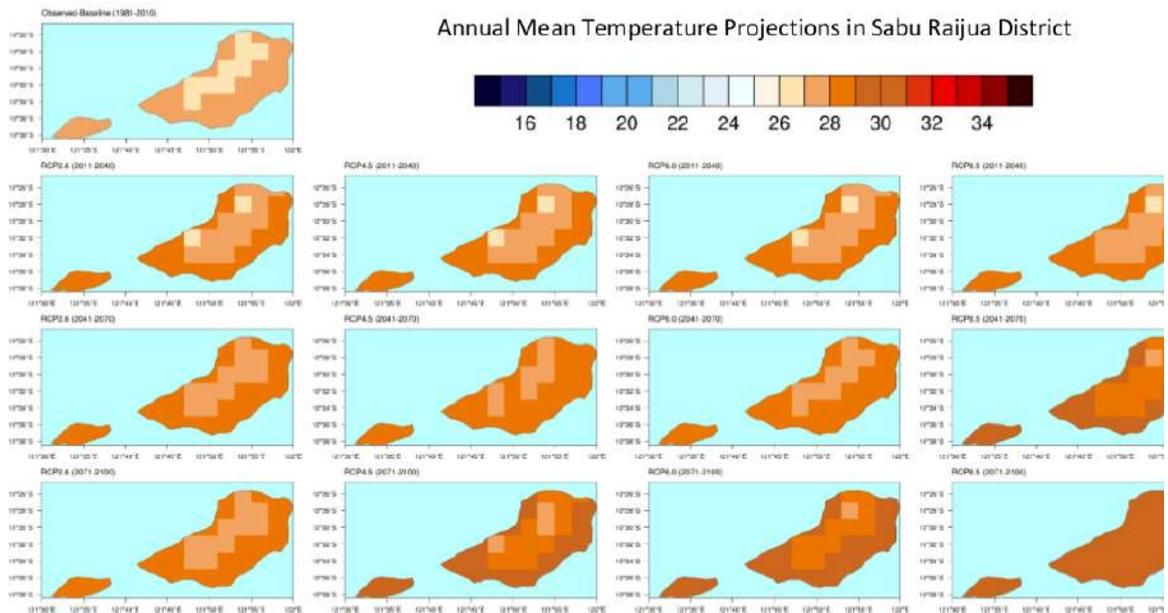
Perbedaan peningkatan suhu yang cukup jelas baru tampak pada periode 2041-2070 dan 2071-2100. Pada periode rata-rata 2041-2071, peningkatan suhu dibawah 1 °C hanya tampak pada skenario RCP2.6 yang merupakan skenario paling optimis dalam upaya pelambatan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Sementara itu, skenario lainnya konsisten menunjukkan peningkatan suhu di atas 1 °C pada periode tersebut dengan peningkatan rata-rata tertinggi terdapat pada skenario RCP8.5 sekitar 1,67 °C. Hal serupa juga terjadi pada periode tahun 2071-2100, dimana hanya RCP2.6 yang

menunjukkan peningkatan suhu rata-rata tahunan kurang dari 1,5 °C, dan RCP8.5 menunjukkan peningkatan suhu tertinggi dengan rata-rata mencapai 2,85 °C.

Gambar 4-22 Rataan wilayah anomali suhu udara rata-rata tahunan selama 30 tahun di Kabupaten Sabu Raijua relatif terhadap periode baseline tahun 1980-2009. Proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



Gambar 4-23 Suhu udara rata-rata 30 tahunan di Kabupaten Sabu Raijua, NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



Sebaran spasial proyeksi suhu udara rata-rata tahunan di Kabupaten Sabu Raijua ditampilkan secara spasial pada Gambar 4-23. Gambar tersebut menunjukkan nilai suhu rata-rata tahunan dari observasi dan proyeksi. Untuk nilai hasil proyeksi diperoleh dengan menjumlahkan nilai rata-rata data observasi dengan nilai selisih peningkatan suhu dari model (pendekatan *delta*). Secara jelas Gambar 4-23 menunjukkan peningkatan suhu yang konsisten di masa yang akan datang, dimana peningkatan tersebut sejalan dengan proyeksi radiative forcing pada masing-masing skenario. Peningkatan suhu dengan nilai hampir merata seluruh wilayah banyak terlihat semakin nyata dengan semakin meningkatnya waktu dan semakin tingginya skenario perubahan iklim yang digunakan.

#### 4.3.2 Proyeksi Hujan

Sama halnya dengan kondisi di Manggarai dan di berbagai wilayah lainnya di Indonesia, perubahan iklim diproyeksikan akan mempengaruhi perubahan curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua. Hal tersebut ditunjukkan secara umum dari analisis proyeksi curah hujan untuk NTT. Gambar 4-24 menunjukkan secara lebih detil hasil dari proyeksi tersebut yang disajikan sebagai representasi nilai rata-rata wilayah perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari median 16 GCM CMIP5 untuk seluruh skenario masing-masing pada tiga periode terpisah. Sementara untuk Gambar 4-25 menampilkan gambaran spasial perubahan curah hujan berdasarkan nilai peluang dari kecenderungan model GCM

tersebut yang disajikan secara lebih detil khusus untuk wilayah Kabupaten Sabu Raijua. Gambar 4-25 hanya menyajikan peta peluang untuk periode 2011-2040 pada semua skenario RCP. Sementara itu untuk dua periode lainnya yaitu 2041-2070 dan 2071-2100, dapat dilihat pada Lampiran 3 dan 4.

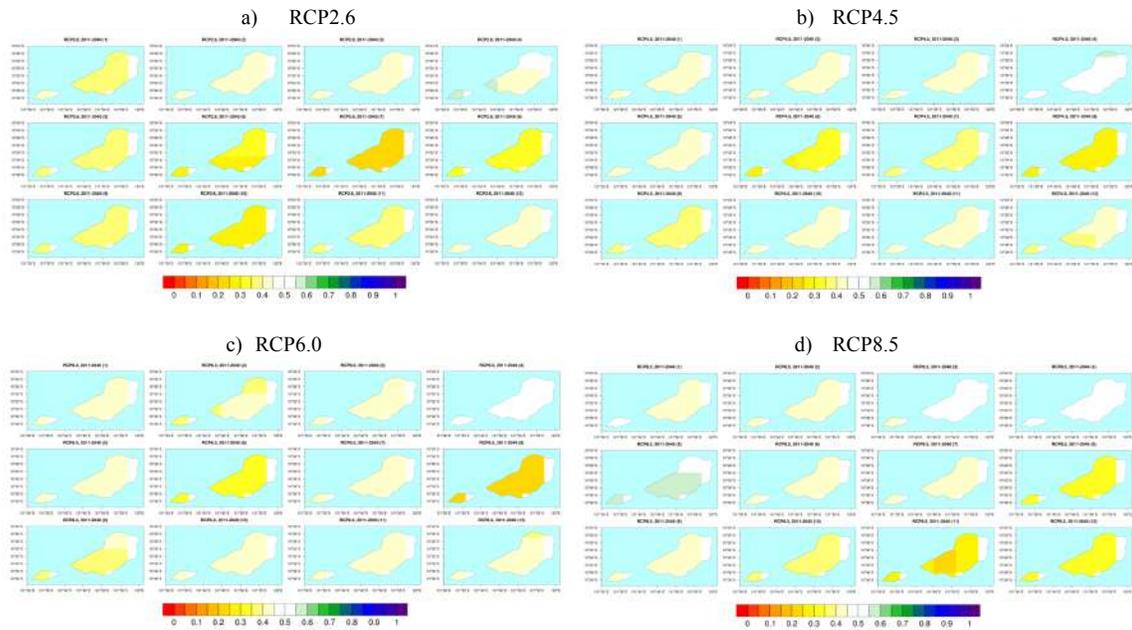
Gambar 4-24 Proyeksi naik-turunnya curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan rata-rata wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100.



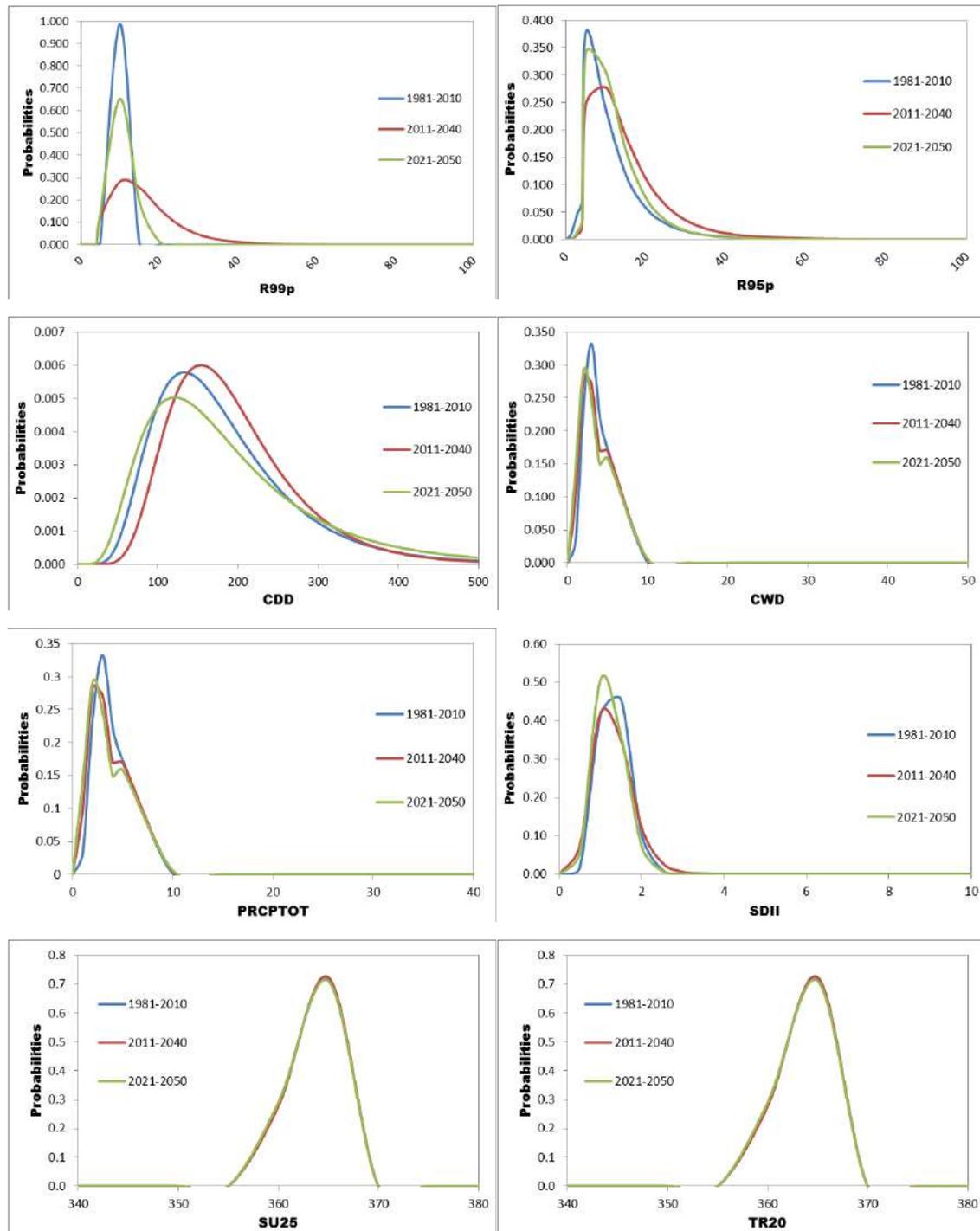
Gambar 4-24a menunjukkan adanya perubahan curah hujan pada periode 2011-2040 dibandingkan periode baseline. Akan tetapi, nilai persentase perubahan relatif kecil dengan nilai persentase kurang dari  $\pm 5\%$ , kecuali untuk RCP2.6 di bulan Agustus dan pada satu skenario RCP8.5 di bulan November. Sementara itu, persentase perubahan curah hujan nampak lebih jelas terlihat untuk periode tahun 2041-2070 dan 2071-2100 (Gambar 4-24b dan 4-24c). Persentase peningkatan curah hujan nampak pada bulan Maret, April dan Mei untuk periode 2041-2070 dan Maret dan April untuk periode tahun 2071-2100. Sebaliknya, persentase penurunan curah hujan tampak pada bulan Juli dan Agustus untuk periode 2041-2070 dan pada bulan Juni dan Agustus saja untuk periode 2071-2100.

Secara spasial, peluang kecenderungan perubahan curah dari berbagai model GCM ditunjukkan pada Gambar 4-25 untuk periode 2011-2040 mengindikasikan adanya penurunan curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua. Hal ini dapat dilihat dari kecenderungan model yang lebih banyak memproyeksikan curah hujan yang lebih rendah dibandingkan kondisi baseline. Walaupun jumlah model yang mengindikasikan hal tersebut tidak terlampaui dominan. Hasil ini konsisten dengan nilai rata-rata median 16 GCM yang disajikan pada gambar sebelumnya (Gambar 4-24a). Sedangkan pada periode lainnya, yaitu 2041-2070 dan 2071-2100, secara spasial terdapat indikasi perbedaan kecenderungan model antar bulan dimana pada bulan Januari, Maret dan April terdapat kemungkinan peningkatan curah hujan (Lampiran 3 dan 4). Hal ini konsisten dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4-24b dan 4-24c.

Gambar 4-25 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



Gambar 4-26 Proyeksi kejadian iklim ekstrem di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan hasil keluaran RegCM4 dengan skenario RCP4.5.



---

### 4.3.3 Proyeksi Iklim Ekstrim

---

#### 4.3.3.1 Hasil Proyeksi Index Iklim Ekstrim

Berdasarkan hasil proyeksi, wilayah Kabupaten Sabu Raijua akan mengalami peningkatan peluang kejadian iklim ekstrim pada periode 2011-2040 dan 2021-2050 dibandingkan dengan periode baseline. Peningkatan yang terjadi khususnya pada indeks curah hujan R99p dan R95p. Kedua indeks tersebut perubahan nilai peluang terlampaui terlihat jelas untuk curah hujan diatas 50 mm. Sementara itu untuk CDD, CWD, dan PRCPTOT diproyeksikan justru akan mengalami penurunan peluang kejadian walaupun khusus untuk CDD pada ambang batas tertentu justru akan mengalami peningkatan peluang kejadian. SDII diperkirakan akan mengalami peningkatan frekuensi kejadian, khususnya untuk periode 2011-2040. Sedangkan untuk SU25 dan TR20 diproyeksikan tidak terjadi perubahan yang signifikan dari sisi jumlah dan frekuensi kejadian (Gambar 4-26).

---

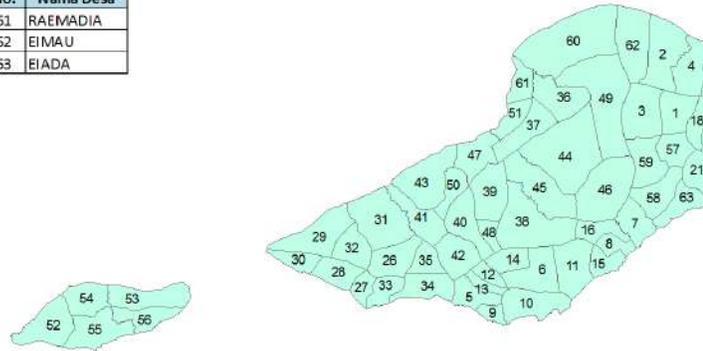
#### 4.3.3.2 Perubahan Peluang Ekstrim Basah dan Kering

Peluang kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Sabu Raijua diproyeksikan akan berubah di masa akan datang. Hasil proyeksi secara umum menunjukkan adanya peningkatan peluang peningkatan intensitas hujan ekstrim di sebagian besar desa yang ada di Kabupaten tersebut. Peningkatan peluang lebih besar terutama di wilayah bagian luar pulau. Informasi nama desa sesuai dengan penomoran di tabel dan peta lokasi masing-masing, disajikan pada Gambar 4-27. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai rujukan untuk melihat perubahan nilai peluang ekstrim masing-masing desa yang disajikan pada Gambar 4-28. Peta overlay desa untuk perubahan peluang kejadian ekstrim kering disajikan pada Lampiran 8.

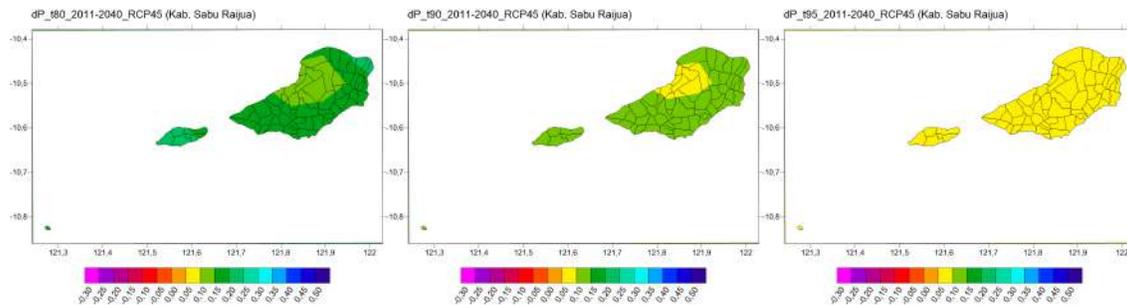
Gambar 4-27 Batas administrasi desa di Kabupaten Sabu Raijua dan urutan penomoran masing-masing desa..

## Daftar Desa di Kab. Sabu Raijua

No.	Nama Desa	No.	Nama Desa	No.	Nama Desa	No.	Nama Desa
1	LOBOAJU	21	LOBODEI	41	JADU	61	RAEMADIA
2	EILODE	22	LIMAGGU	42	TERIWU	62	EIMAU
3	EIMMADAKE	23	BODAE	43	RAEDEWA	63	BIADA
4	JIWUWU	24	KUJIRATU	44	NADAWAWI		
5	RAEROBO	25	BOLOU	45	RAENYALE		
6	LEDEKE	26	PEDARRO	46	RAEKORE		
7	DEME	27	RAMEDUE	47	LEDEANA		
8	LEDETALO	28	LOBOHEDE	48	TITINALEDE		
9	DAINAO	29	MOLIE	49	DELO		
10	WADUWALA	30	LEDERAGA	50	LEDEKEPAKA		
11	EILOGO	31	DAIEKO	51	MEBBA		
12	MEHONA	32	TANAJAWA	52	KOLORAE		
13	EIKARE	33	LEDEAE	53	LEDEUNNU		
14	LOBORUI	34	WADUMEDDI	54	BALLU		
15	HALAPAJI	35	GURIMONEARU	55	BOLUA		
16	KOTAHAWU	36	ROBOABA	56	LEDEKE		
17	KELIHA	37	RAELORO	57	MATEI		
18	KEDURU	38	RAEMUDE	58	BEBAE		
19	HUWAGA	39	DEPE	59	TADA		
20	LOBORAI	40	RAENALULU	60	MENIA		



Gambar 4-28 Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrem basah yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sabu Raijua, NTT.



## 4.4 PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM DI KABUPATEN SUMBA TIMUR

### 4.4.1 Proyeksi Suhu

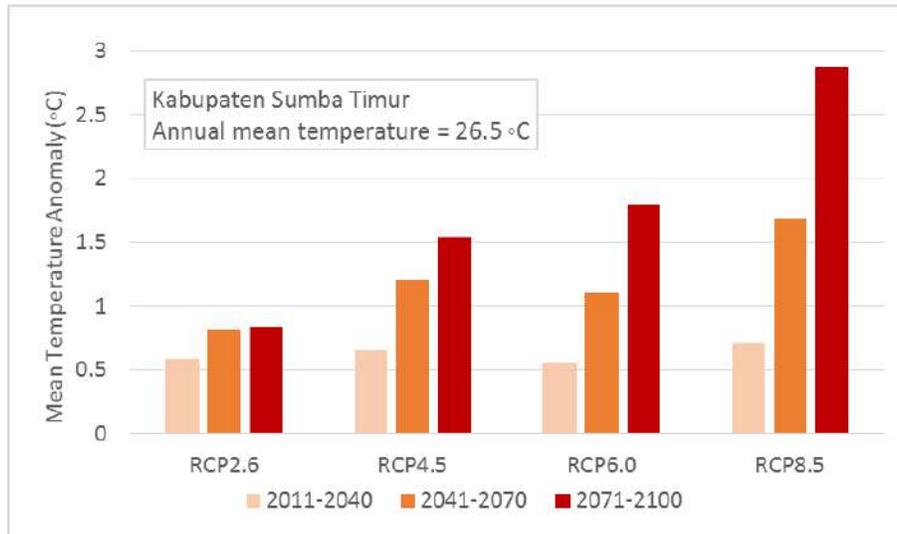
Tidak berbeda dengan kondisi di Kabupaten Manggarai dan Sabu Raijua, di masa depan, suhu udara rata-rata tahunan di Kabupaten Sumba Timur diproyeksikan akan meningkat karena pemanasan global dan perubahan iklim. Gambar 4-29 menunjukkan nilai rata-rata wilayah di Kabupaten Sumba Timur dari anomali suhu rata-rata tahunan relatif terhadap

periode baseline pada saat ini. Berdasarkan keempat skenario RCP, yaitu RCP 2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5, nampak tidak ada perbedaan yang terlalu besar antara anomali suhu antar masing-masing skenario pada periode rata-rata 2011-2040. Peningkatan suhu berada di nilai 0,59 °C dan 0,71 °C antara skenario terendah (RCP2.6) dan tertinggi (RCP8.5).

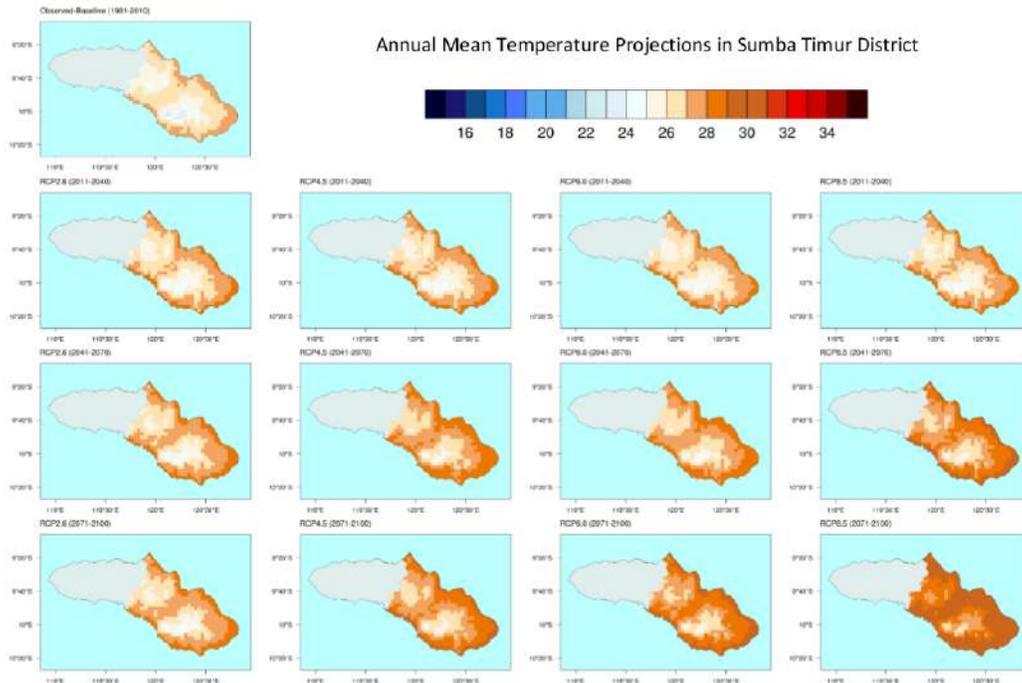
Perbedaan peningkatan suhu yang cukup jelas baru tampak pada periode 2041-2070 dan 2071-2100. Pada periode rata-rata 2041-2071, peningkatan suhu dibawah 1 °C hanya tampak pada skenario RCP2.6 yang merupakan skenario paling optimis dalam kaitannya dengan upaya pelambatan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Sementara itu, skenario lainnya konsisten menunjukkan peningkatan suhu di atas 1 °C pada periode tersebut dengan peningkatan rata-rata tertinggi terdapat pada skenario RCP8.5 sekitar 1,69 °C. Hal serupa juga terjadi pada periode tahun 2071-2100, dimana hanya RCP2.6 yang menunjukkan peningkatan suhu rata-rata tahunan kurang dari 1,5 °C, dan RCP8.5 menunjukkan peningkatan suhu tertinggi dengan rata-rata mencapai 2,87 °C.

Sebaran spasial proyeksi suhu udara rata-rata tahunan di Kabupaten Sumba Timur ditampilkan secara spasial pada Gambar 4-30. Gambar tersebut menunjukkan nilai suhu rata-rata tahunan dari observasi dan proyeksi. Untuk nilai hasil proyeksi diperoleh dengan menjumlahkan nilai rata-rata data observasi dengan nilai selisih peningkatan suhu dari model (pendekatan *delta*). Secara jelas Gambar 4-30 menunjukkan peningkatan suhu yang konsisten di masa yang akan datang, dimana peningkatan tersebut sejalan dengan proyeksi *radiative forcing* pada masing-masing skenario. Peningkatan suhu dengan nilai hampir merata seluruh wilayah banyak terlihat semakin nyata dengan semakin meningkatnya waktu dan semakin tingginya skenario perubahan iklim yang digunakan. Untuk wilayah Sumba Timur, nilai rata-rata suhu yang tinggi akibat peningkatan suhu sebagai pengaruh perubahan iklim terlihat cukup besar untuk wilayah dataran rendah, khususnya di sekitar wilayah pantai.

Gambar 4-29 Rataan wilayah anomali suhu udara rata-rata tahunan selama 30 tahun di Kabupaten Sumba Timur relatif terhadap periode baseline tahun 1980-2009. Proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



Gambar 4-30 Suhu udara rata-rata 30 tahunan di Kabupaten Sumba Timur, NTT pada periode baseline tahun 1981-2010 dan proyeksi berdasarkan kombinasi beberapa GCM CMIP5 dengan semua skenario RCP, yaitu RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5 pada tiga periode akan datang, yaitu 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100.



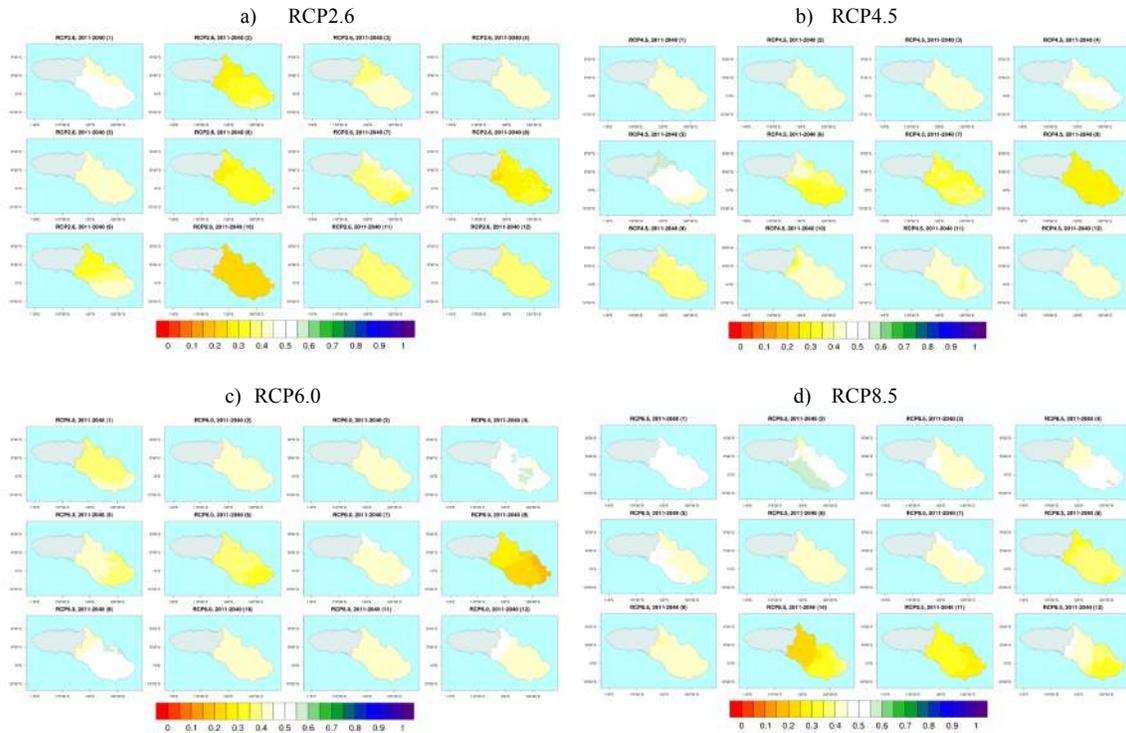
#### 4.4.2 Proyeksi Hujan

Perubahan iklim diproyeksikan akan mempengaruhi perubahan curah hujan di Kabupaten Sumba Timur, sebagaimana juga terjadi di wilayah Kabupaten Manggarai dan Sabu Raijua serta seluruh bagian wilayah lain di NTT dan Indonesia secara umum. Hal tersebut dapat dilihat dari analisis proyeksi curah hujan untuk NTT sebagaimana telah disajikan pada Subbagian 4.1.2. Gambar 4-31 menunjukkan secara lebih detil hasil dari proyeksi tersebut yang disajikan sebagai representasi nilai rata-rata wilayah perubahan curah hujan bulanan rata-rata dari median 16 GCM CMIP5 untuk seluruh skenario masing-masing pada tiga periode terpisah. Sementara itu, Gambar 4-32 menampilkan gambaran spasial perubahan curah hujan berdasarkan nilai peluang dari kecenderungan model GCM tersebut yang disajikan secara lebih detil khusus untuk wilayah Kabupaten Sabu Raijua. Gambar 4-32 hanya menyajikan peta peluang untuk periode 2011-2040 pada semua skenario RCP. Sementara itu untuk dua periode lainnya yaitu 2041-2070 dan 2071-2100 peta spasial kecenderungan model yang menunjukkan indikasi perubahan curah hujan disajikan pada Lampiran 5 dan 6.

Gambar 4-31 Proyeksi naik-turunnya curah hujan di Kabupaten Smba Timur berdasarkan rata-ran wilayah dari median 16 GCM pada semua skenario RCP untuk periode: a) 2011-2040, b) 2041-2070 dan c) 2071-2100.



Gambar 4-32 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2011-2040 di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.

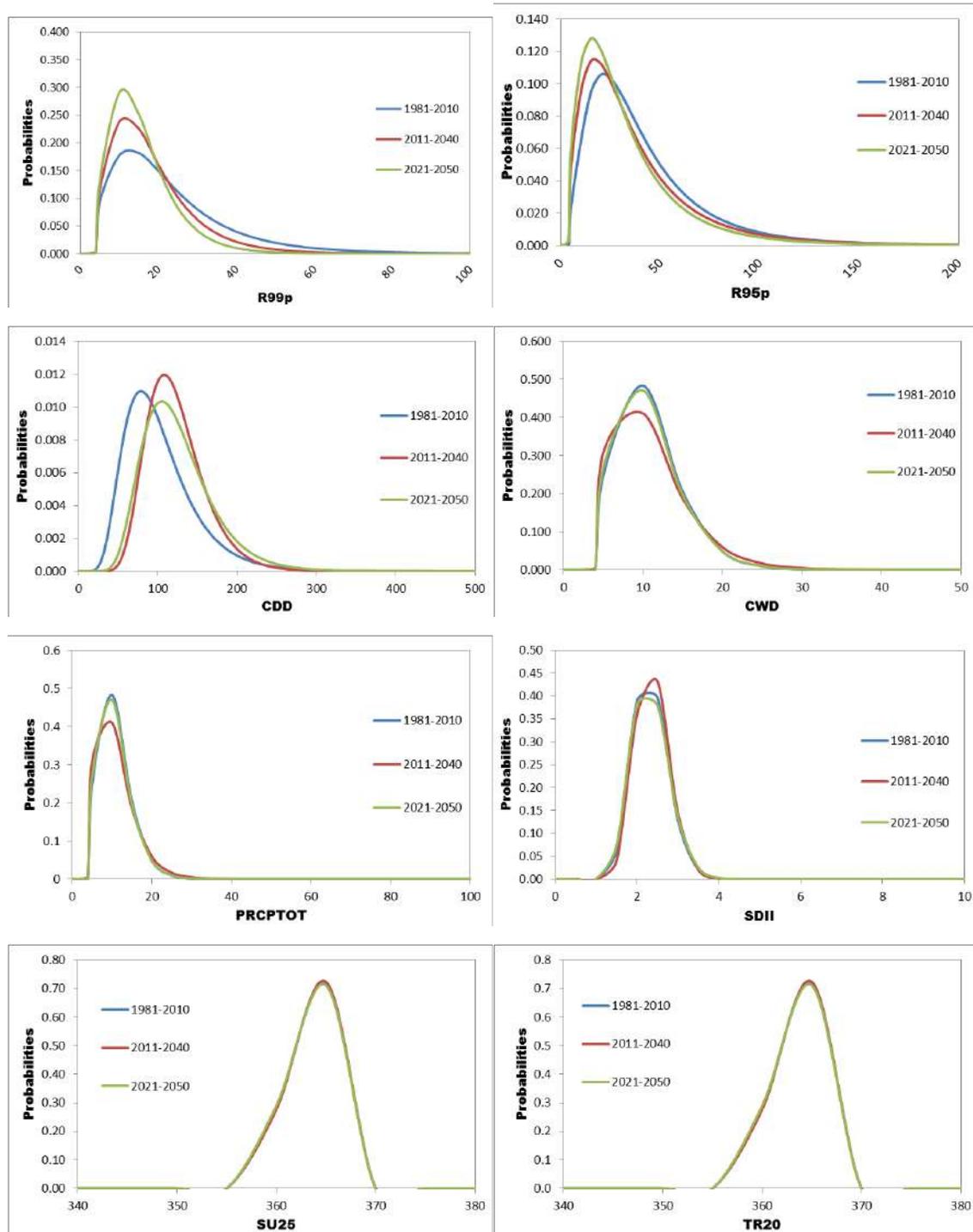


Gambar 4-31a menunjukkan adanya perubahan curah hujan pada periode 2011-2040 dibandingkan periode baseline. Akan tetapi, nilai persentase perubahan relatif kecil dengan nilai persentase kurang dari  $\pm 5\%$ , kecuali untuk RCP4.5 dan RCP6.0 di bulan Agustus. Sementara itu, persentase perubahan curah hujan nampak lebih jelas terlihat untuk periode tahun 2041-2070 dan 2071-2100 (Gambar 4-31b dan 4-31c). Persentase peningkatan curah hujan nampak pada bulan Desember, Maret dan April untuk periode 2041-2070 dan Desember, Februari, Maret dan April untuk periode tahun 2071-2100. Sebaliknya, persentase penurunan curah hujan tampak pada bulan Juli dan Agustus untuk periode 2041-2070 dan pada bulan Agustus saja untuk periode 2071-2100.

Secara spasial, peluang kecenderungan perubahan curah dari berbagai model GCM ditunjukkan pada Gambar 4-32 untuk periode 2011-2040 mengindikasikan adanya penurunan curah hujan di Kabupaten Sabu Raijua di sebagian besar bulan. Hal ini dapat dilihat dari kecenderungan model yang lebih banyak memproyeksikan curah hujan yang lebih rendah dibandingkan kondisi baseline. Walaupun jumlah model yang mengindikasikan hal tersebut tidak terlampaui dominan. Hasil ini konsisten dengan nilai rata-rata median 16 GCM yang disajikan pada gambar sebelumnya (Gambar 4-31a).

Proyeksi peningkatan curah hujan lebih terlihat pada periode berikutnya yaitu 2041-2070 dan 2071-2100. Pada periode tersebut terlihat indikasi adanya lebih banyak bulan yang menunjukkan lebih banyak model dengan hasil proyeksi curah hujan yang meningkat relatif terhadap curah hujan baseline (lihat Lampiran 5 dan 6). Selain itu, pada tahun 2041-2070 kesepakatan antar model terlihat lebih jelas untuk penurunan curah hujan pada bulan Agustus, khususnya berdasarkan skenario RCP4.5.

Gambar 4-33 Proyeksi kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan hasil keluaran RegCM4 dengan skenario RCP4.5.



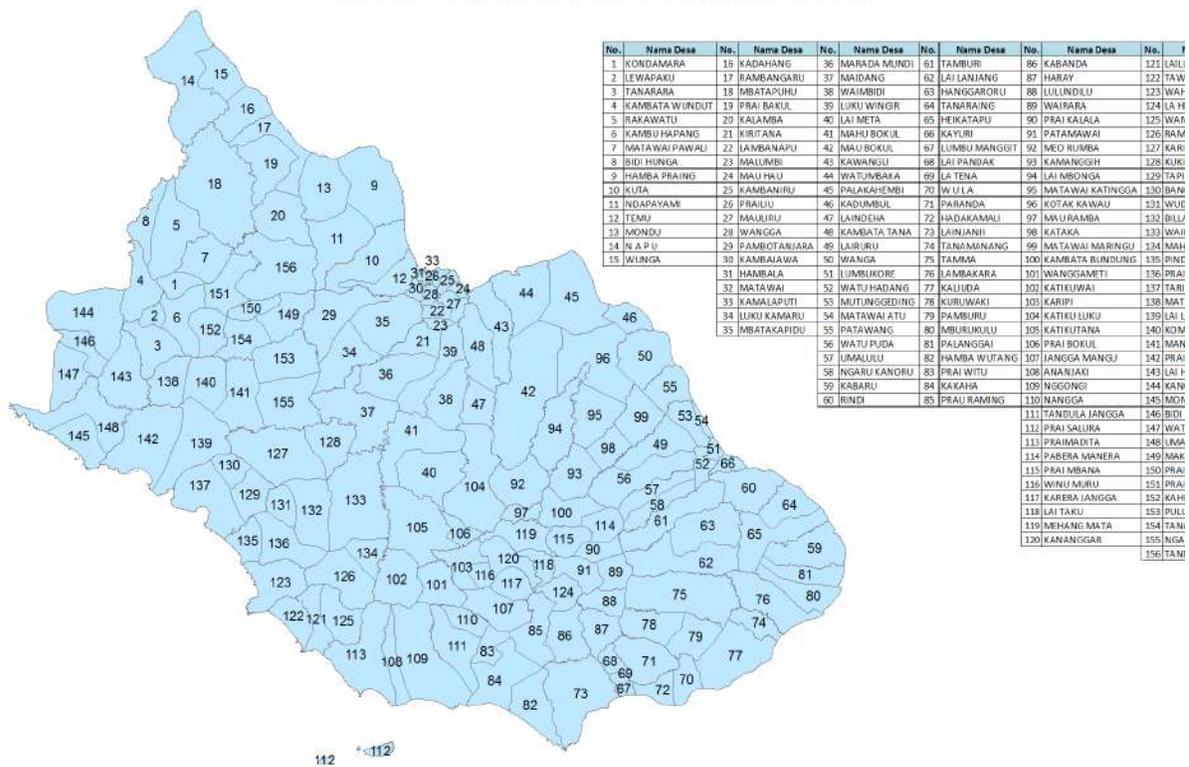
### 4.4.3 Proyeksi Iklim Ekstrim

#### 4.4.3.1 Hasil Proyeksi Index Iklim Ekstrim

Berdasarkan hasil proyeksi, wilayah Kabupaten Sumba Timur akan mengalami perubahan peluang kejadian iklim ekstrim pada periode 2011-2040 dan 2021-2050 dibandingkan dengan periode baseline. Penurunan peluang diproyeksikan terjadi khususnya pada indeks curah hujan R99p dan R95p. Sementara itu untuk CDD diproyeksikan akan mengalami peningkatan di Sabu Raijua. Sedangkan CWD, dan PRCPTOT diproyeksikan justru akan mengalami perubahan peluang kejadian, dimana pada level tertentu perubahan yang terjadi tidak terlihat terlalu besar. Hal serupa juga ditemukan untuk indeks SDII. Sedangkan untuk SU25 dan TR20 diproyeksikan tidak terjadi perubahan yang signifikan dari sisi jumlah dan frekuensi kejadian (Gambar 4-33).

Gambar 4-34 Batas administrasi desa di Kabupaten Sumba Timur dan urutan penomoran masing-masing desa.

### Daftar Desa di Kab. Sumba Timur

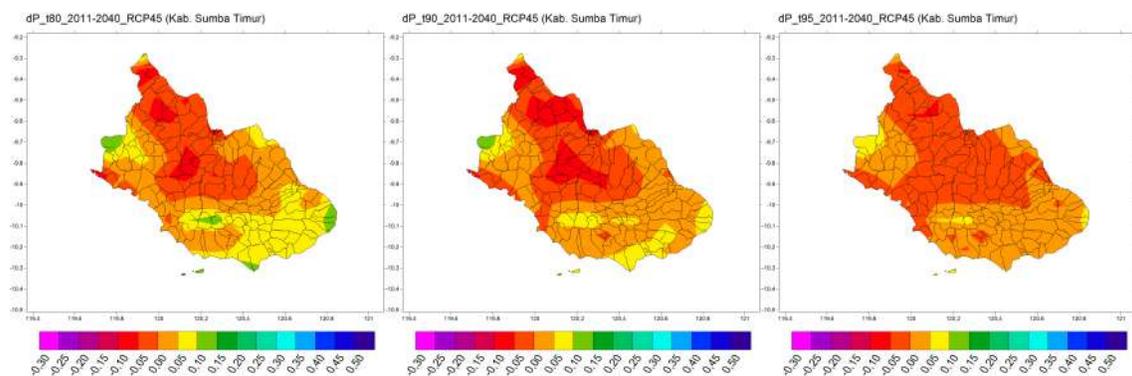


#### 4.4.3.2 Perubahan Peluang Ekstrim Basah dan Kering

Peluang kejadian iklim ekstrim di Kabupaten Sumba Timur diproyeksikan akan berubah di masa akan datang. Hasil proyeksi secara umum menunjukkan adanya penurunan

peluang peningkatan intensitas hujan ekstrim di sebagian besar desa yang ada di Kabupaten tersebut. Peningkatan peluang lebih besar terutama di wilayah bagian utara hingga ke tengah. Sementara itu, wilayah selatan cenderung mengalami perubahan yang tidak besar dan sebagian cenderung ke arah positif, Informasi nama desa sesuai dengan penomoran di tabel dan peta lokasi masing-masing, disajikan pada Gambar 4-20. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai rujukan untuk melihat perubahan nilai peluang ekstrim masing-masing desa yang disajikan pada Gambar 4-35. Peta overlay desa untuk perubahan peluang kejadian ekstrim kering disajikan pada Lampiran 9.

Gambar 4-35 Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim basah yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sumba Timur, NTT..



## 5 RINGKASAN

Berdasar hasil analisis data historis parameter iklim di Waingapu-Sumba Timur, Ruteng-Manggarai dan Tardamu-Sabu Raijua, dapat disimpulkan antara lain :

1. Waingapu-Sumba Timur; analisis temperatur udara rata-rata, temperatur udara maximum dan temperatur udara minimum menunjukkan tren naik; curah hujan bulanan, curah hujan musim hujan dan curah hujan musim kemarau juga menunjukkan tren naik (bertambah curah hujan); awal musim hujan dan awal musim kemarau menunjukkan tren turun (semakin maju/lebih cepat); panjang musim hujan menunjukkan tren naik (bertambah panjang), sedangkan panjang musim kemarau menunjukkan tren turun (semakin pendek); frekuensi kejadian temperatur udara maximum  $\geq 35$  oC menunjukkan tren naik (bertambah frekuensi kejadiannya); frekuensi kejadian curah hujan harian  $\geq 50$  mm menunjukkan tren naik (bertambah frekuensi kejadiannya); dan frekuensi kejadian angin maximum  $\geq 45$  km/jam menunjukkan tren naik (bertambah frekuensi kejadiannya).
2. Ruteng-Manggarai; analisis temperatur udara rata-rata dan temperatur udara minimum menunjukkan tren turun, sedangkan temperatur udara maximum menunjukkan tren naik; curah hujan bulanan dan curah hujan musim hujan menunjukkan tren naik (bertambah curah hujan), sedangkan curah hujan musim kemarau menunjukkan tren turun (berkurang curah hujan); awal musim hujan menunjukkan tren turun (semakin maju/lebih cepat), sedangkan awal musim kemarau menunjukkan tren naik (semakin mundur/lebih lambat); panjang musim hujan menunjukkan tren naik (bertambah panjang), sedangkan panjang musim kemarau menunjukkan tren turun (semakin pendek); frekuensi kejadian temperatur udara maximum  $\geq 35$  oC menunjukkan tren turun (berkurang frekuensi kejadiannya); frekuensi kejadian curah hujan harian  $\geq 50$  mm menunjukkan tren naik (bertambah frekuensi kejadiannya); dan frekuensi kejadian angin maximum  $\geq 45$  km/jam menunjukkan tren turun (berkurang frekuensi kejadiannya).
3. Tardamu-Sabu Raijua; analisis temperatur udara rata-rata, temperatur udara maximum dan temperatur udara minimum menunjukkan tren naik; curah hujan bulanan, curah hujan musim hujan dan curah hujan musim kemarau juga menunjukkan tren naik (bertambah curah hujan); awal musim hujan menunjukkan tren turun (semakin maju/lebih cepat), sedangkan awal musim kemarau menunjukkan tren naik (semakin mundur/lebih lambat); panjang musim hujan menunjukkan tren naik (bertambah panjang), sedangkan panjang musim kemarau menunjukkan tren turun (semakin pendek); frekuensi kejadian temperatur udara maximum  $\geq 35$  oC menunjukkan tren naik (bertambah frekuensi kejadiannya); frekuensi kejadian curah hujan harian  $\geq 50$  mm menunjukkan tren tetap (tidak mengalami penambahan atau pengurangan frekuensi kejadiannya); dan frekuensi kejadian angin maximum  $\geq 45$  km/jam menunjukkan tren turun (berkurang frekuensi kejadiannya).

Proyeksi perubahan iklim di masa akan datang menunjukkan peningkatan temperatur udara rata-rata di wilayah NTT secara umum dan di tiga kabupaten yang menjadi wilayah kajian. Secara umum perbedaan peningkatan suhu masih belum terlihat beragam antar skenario pada periode 2011-2040. Perbedaan antar skenario baru dapat terlihat cukup besar pada periode 2041-2070 dan 2071-2100. Peningkatan suhu berdasarkan skenario RCP8.5 menunjukkan peningkatan paling tinggi mencapai lebih dari 3°C pada periode rata-rata 2071-2100. Perubahan curah hujan diproyeksikan akan menunjukkan penurunan dibandingkan periode baseline untuk ketiga kabupaten, walaupun dengan persentase perubahan yang relatif kecil untuk periode 2011-2040. Penurunan curah hujan yang signifikan umumnya diproyeksikan terjadi pada bulan Agustus, sementara peningkatan curah hujan diproyeksikan akan terjadi pada periode transisi, khususnya di bulan Maret dan April.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arora, V. and Boer, G.J., 2010. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change. *Glob. Change Biol.*, 16(12): 3327-3348.
- Barnett, J., Dessai, S. and Jones, R., 2003. *Climate Change in Timor Leste: science, impacts, policy and planning*, University of Melbourne and CSIRO, Australia.
- Boer, R. and Faqih, A., 2011. *Assessment of current and future climate risk at East Nusa Tenggara Timor*, United Nation Development Programs.
- Collins, W.D., Rasch, P.J., Boville, B.A., Hack, J.J., McCaa, J.R., Williamson, D.L., Briegleb, B.P., Bitz, C.M., Lin, S.-J. and Zhang, M., 2006. The Formulation and Atmospheric Simulation of the Community Atmosphere Model Version 3 (CAM3). *Journal of Climate*, 19(11): 2144-2161.
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A. and Woodward, S., 2011. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. *Geosci. Model Dev.*, 4(4): 1051-1075.
- CRU, 2008. CRU Time Series (TS) high resolution gridded datasets, [Internet]. NCAS British Atmospheric Data Centre. In: I.H. [Phil Jones (Editor)].
- Delworth, T.L., Broccoli, A.J., Rosati, A., Stouffer, R.J., Balaji, V., Beesley, J.A., Cooke, W.F., Dixon, K.W., Dunne, J., Dunne, K.A., Durachta, J.W., Findell, K.L., Ginoux, P., Gnanadesikan, A., Gordon, C.T., Griffies, S.M., Rich Gudgel, Harrison, M.J., Held, I.M., Hemler, R.S., Horowitz, L.W., Klein, S.A., Knutson, T.R., Kushner, P.J., Langenhorst, A.R., Lee, H.-C., Lin, S.-J., Lu, J., Malyshev, S.L., Milly, P.C.D., Ramaswamy, V., Russell, J., M. Daniel Schwarzkopf, Shevliakova, E., Sirutis, J.J., Spelman, M.J., Stern, W.F., Winton, M., Wittenberg, A.T., Wyman, B., Zeng, F. and Zhang, R., 2006. GFDL's CM2 Global Coupled Climate Models. Part I: Formulation and Simulation Characteristics. *Journal of Climate*, 19( 5): 643–674.
- Dickinson, R.E., Henderson-Sellers, A. and Kennedy, P.J., 1993. *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme, BATS: version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model*, the National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA.
- Donner, L.J., Wyman, B.L., Hemler, R.S., Horowitz, L.W., Ming, Y., Zhao, M., Golaz, J.-C., Ginoux, P., Lin, S.-J., Schwarzkopf, M.D., Austin, J., Alaka, G., Cooke, W.F., Delworth, T.L., Freidenreich, S.M., Gordon, C.T., Griffies, S.M., Held, I.M., Hurlin, W.J., Klein, S.A., Knutson, T.R., Langenhorst, A.R., Lee, H.-C., Lin, Y., Magi, B.I., Malyshev, S.L., Milly, P.C., Naik, V., Nath, M.J., Pincus, R., Ploshay, J.J., Ramaswamy, V., Seman, C.J., Shevliakova, E., Sirutis, J.J., Stern, W.F., Stouffer, R.J., Wilson, R.J., Winton, M., Wittenberg, A.T. and Zeng, F., 2011. The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL global coupled model CM3. *Journal of Climate*, 24: 3484-3519.
- Dufresne, J.L., Foujols, M.A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., Balkanski, Y., Bekki, S., Bellenger, H., Benshila, R., Bony, S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Cheruy, F., Codron, F., Cozic, A., Cugnet, D., Noblet,

- N., Duvel, J.P., Ethé, C., Fairhead, L., Fichefet, T., Flavoni, S., Friedlingstein, P., Grandpeix, J.Y., Guez, L., Guilyardi, E., Hauglustaine, D., Hourdin, F., Idelkadi, A., Ghattas, J., Joussaume, S., Kageyama, M., Krinner, G., Labetoulle, S., Lahellec, A., Lefebvre, M.P., Lefevre, F., Levy, C., Li, Z.X., Lloyd, J., Lott, F., Madec, G., Mancip, M., Marchand, M., Masson, S., Meurdesoif, Y., Mignot, J., Musat, I., Parouty, S., Polcher, J., Rio, C., Schulz, M., Swingedouw, D., Szopa, S., Talandier, C., Terray, P., Viovy, N. and Vuichard, N., 2013. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, 40(9-10): 2123-2165.
- Dunne, J.P., John, J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Shevliakova, E.N., Stouffer, R.J., Cooke, W., Dunne, K.A., Harrison, M.J., Krasting, J.P., Malyshev, S.L., Milly, P.C.D.P., P. J. , Sentman, L.T., Samuels, B.L., Spelman, M., Winton, M., Wittenberg, A.T. and Zadeh, N., 2012. GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth System Models Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of Climate*, 25(19).
- Dunne, J.P., John, J.G., Shevliakova, E., Stouffer, R.J., Krasting, J.P., Malyshev, S.L., Milly, P.C.D., Sentman, L.T., Adcroft, A.J., Cooke, W., Dunne, K.A., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Harrison, M.J., Levy, H., Wittenberg, A.T., Phillips, P.J. and Zadeh, N., 2013. GFDL's ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part II: Carbon System Formulation and Baseline Simulation Characteristics. *J. Climate*, 26: 2247–2267.
- Emanuel, K.A. and Zivkovic-Rothman, M., 1999. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56: 1766–1782. DOI: 10.1175/1520-0469(1999)056<1766:DAEOAC>2.0.CO;2.
- Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C. and Verdin, A.P., 2014. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p.
- Gent, P.R. and Danabasoglu, G., 2011. Response to increasing Southern Hemisphere winds in CCSM4. *J. Clim.*, 24: 4992–4998.
- Geru, A.S., 2013. Penyusunan Buku Informasi Perubahan Iklim. In: B.M.K.d. Geofisika (Editor), Laporan.
- Giorgi, F., Elguindi, N., S, C. and G, G., 2013. Regional Climatic Model RegCM User's Guide Version 4.4., The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Strada Costiera, 11 I - 34151, Trieste, Italy.
- Holtzlag, A., de Bruijn, E.I.F. and Pan, H.L., 1990. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, 118: 1561–1575.
- Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K.P., Hong, Y., Stocker, E.F. and Wolff, D.B., 2007. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *J. Hydrometeor.*, 8: 38-55.
- Hurrell, J., et al., 2013. The Community Earth System Model: A framework for collaborative research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*

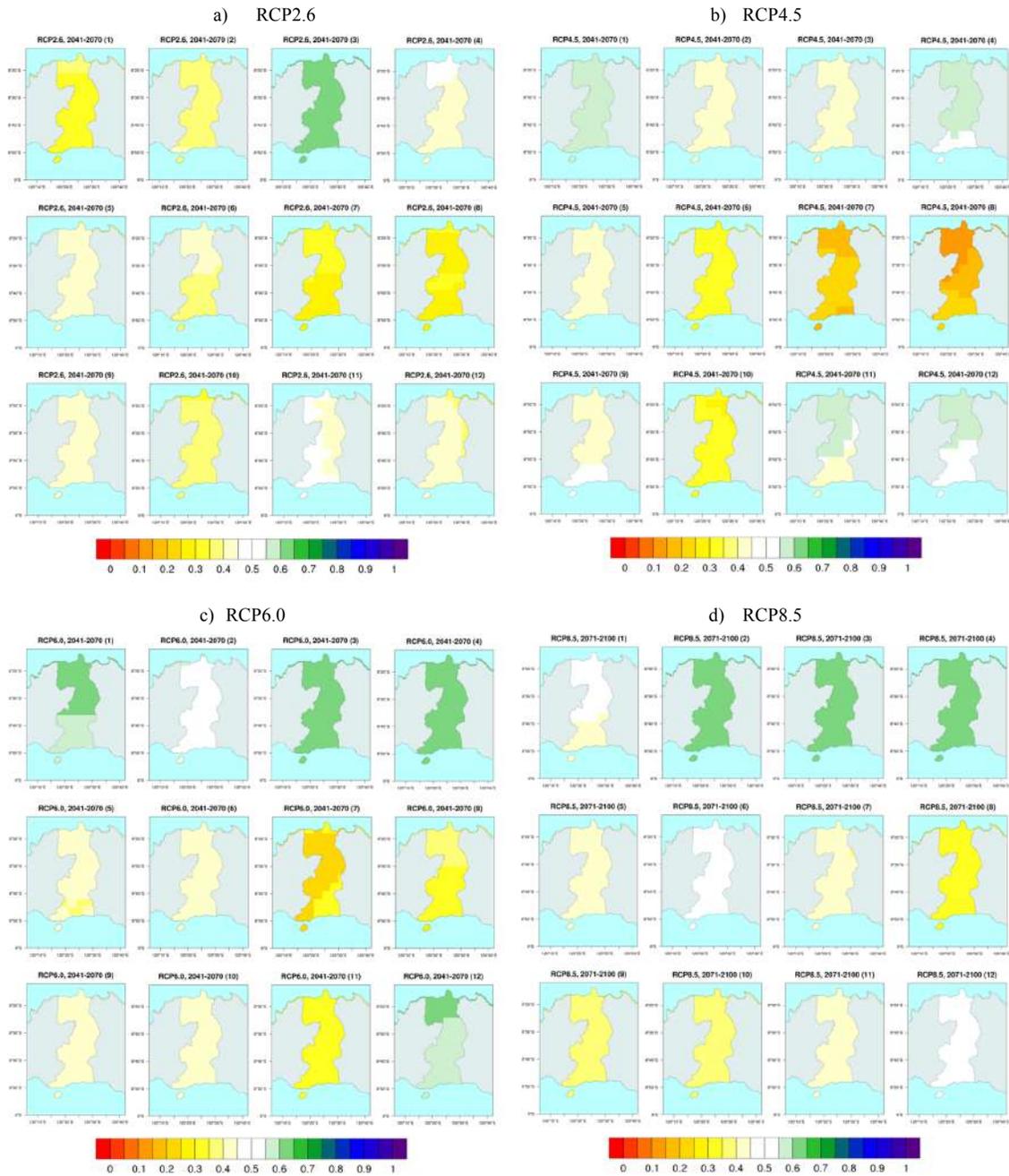
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- 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* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Iversen, T., Bentsen, M., Bethke, I., Debernard, J.B., Kirkevåg, A., Seland, Ø., Drange, H., Kristjansson, J.E., Medhaug, I., Sand, M. and Seierstad, I.A., 2013. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 2: Climate response and scenario projections. *Geosci. Model Dev.*, 6(2): 389-415.
- Katzfey, J., McGregor, J., Nguyen, K. and Thatcher, M., 2010. Regional climate change projection development and interpretation for Indonesia, CSIRO, Australia.
- Martin, G.M., Bellouin, N., Collins, W.J., Culverwell, I.D., Halloran, P.R., Hardiman, S.C., Hinton, T.J., Jones, C.D., McDonald, R.E., McLaren, A.J., O'Connor, F.M., Roberts, M.J., Rodriguez, J.M., Woodward, S., Best, M.J., Brooks, M.E., Brown, A.R., Butchart, N., Dearden, C., Derbyshire, S.H., Dharssi, I., Doutriaux-Boucher, M., Edwards, J.M., Falloon, P.D., Gedney, N., Gray, L.J., Hewitt, H.T., Hobson, M., Huddleston, M.R., Hughes, J., Ineson, S., Ingram, W.J., James, P.M., Johns, T.C., Johnson, C.E., Jones, A., Jones, C.P., Joshi, M.M., Keen, A.B., Liddicoat, S., Lock, A.P., Maidens, A.V., Manners, J.C., Milton, S.F., Rae, J.G.L., Ridley, J.K., Sellar, A., Senior, C.A., Totterdell, I.J., Verhoef, A., Vidale, P.L. and Wiltshire, A., 2011. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geosci. Model Dev.*, 4(3): 723-757.
- Mitchell, T.D. and Jones, P.D., 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25(6): 693-712.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Vuuren, D.P.v., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. and Wilbanks, T.J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. 463.
- Piani, C., Haerter, J.O. and Coppola, E., 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor. Appl. Climatol.*, 99: 187–192.
- Pujiono, E., 2013. *Kajian Spasial Tingkat Kerentanan Air Akibat Perubahan Iklim di DAS Kambaniru Sumba Timur*. In: *Makalah* (Editor).
- Rotstayn, L.D., Jeffrey, S.J., Collier, M.A., Dravitzki, S.M., Hirst, A.C., Syktus, J.I. and Wong, K.K., 2012. Aerosol- and greenhouse gas-induced changes in summer rainfall and circulation in the Australasian region: A study using single-forcing climate simulations. *Atmos. Chem. Phys.*, 12: 6377–6404.

- Rudolf, B., Becker, A., Schneider, U., Meyer-Christoffer, A. and Ziese, M., 2010. GPCP Status Report December 2010, GPCP.
- Schmidt, G.A., Ruedy, R., Hansen, J.E., Aleinov, I., Bell, N., Bauer, M., Bauer, S., Cairns, B., Canuto, V., Cheng, Y., Del Genio, A., Faluvegi, G., Friend, A.D., Hall, T.M., Hu, Y., Kelley, M., Kiang, N.Y., Koch, D., Lacis, A.A., Lerner, J., Lo, K.K., Miller, R.L., Nazarenko, L., Oinas, V., Perlwitz, J., Perlwitz, J., Rind, D., Romanou, A., Russell, G.L., Sato, M., Shindell, D.T., Stone, P.H., Sun, S., Tausnev, N., Thresher, D. and Yao, M.-S., 2006. Present-Day Atmospheric Simulations Using GISS ModelE: Comparison to In Situ, Satellite, and Reanalysis Data. *Journal of Climate*, 19(2): 153-192.
- Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E. and Edmonds, J.A., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* 109: 77–94.
- Tjiputra, J.F., Roelandt, C., Bentsen, M., Lawrence, D.M., Lorentzen, T., Schwinger, J., Seland, Ø. and Heinze, C., 2013. Evaluation of the carbon cycle components in the Norwegian Earth System Model (NorESM). *Geosci. Model Dev.*, 6(2): 301-325.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., Takata, K., Yamazaki, D., Yokohata, T., Nozawa, T., Hasumi, H., Tatebe, H. and Kimoto, M., 2010. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, 23(23): 6312-6335.
- Wu, T., 2012. A mass-flux cumulus parameterization scheme for large-scale models: Description and test with observations *Clim. Dyn.*, 38: 725–744.
- Xin, X., Wu, T., Li, J., Wang, Z., Li, W. and Wu, F., 2012. How well does BCC\_CSM1.1 reproduce the 20th century climate change over China? *Atmos. Ocean. Sci. Lett.*, 6: 21–26.
- Xin, X., Zhang, L., Zhang, J., Wu, T. and Fang, Y., 2013. Climate change projections over East Asia with BCC\_CSM1.1 climate model under RCP scenarios. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 91: 413–429.
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N. and Kitoh, A., 2012. APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93: 1401–1415.
- Yukimoto, S., Adachi, Y., Hosaka, M., Sakami, T., Yoshimura, H., Hirabara, M., Tanaka, T.Y., Shindo, E., Tsujino, H., Deushi, M., Mizuta, R., Yabu, S., Obata, A., Nakano, H., Koshiro, T., Ose, T. and Kitoh, A., 2012. A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 &mdash;Model Description and Basic Performance&mdash;. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 90A: 23-64.
- Yukimoto, S., Yoshimura, H., Hosaka, M., Sakami, T., Tsujino, H., Hirabara, M., Tanaka, T.Y., Deushi, M., Obata, A., Nakano, H., Adachi, Y., Shindo, E., Yabu, S., Ose, T. and Kitoh, A., 2011. Meteorological Research Institute - Earth System Model v1 (MRI-ESM1) - Model Description, Ibaraki, Japan.

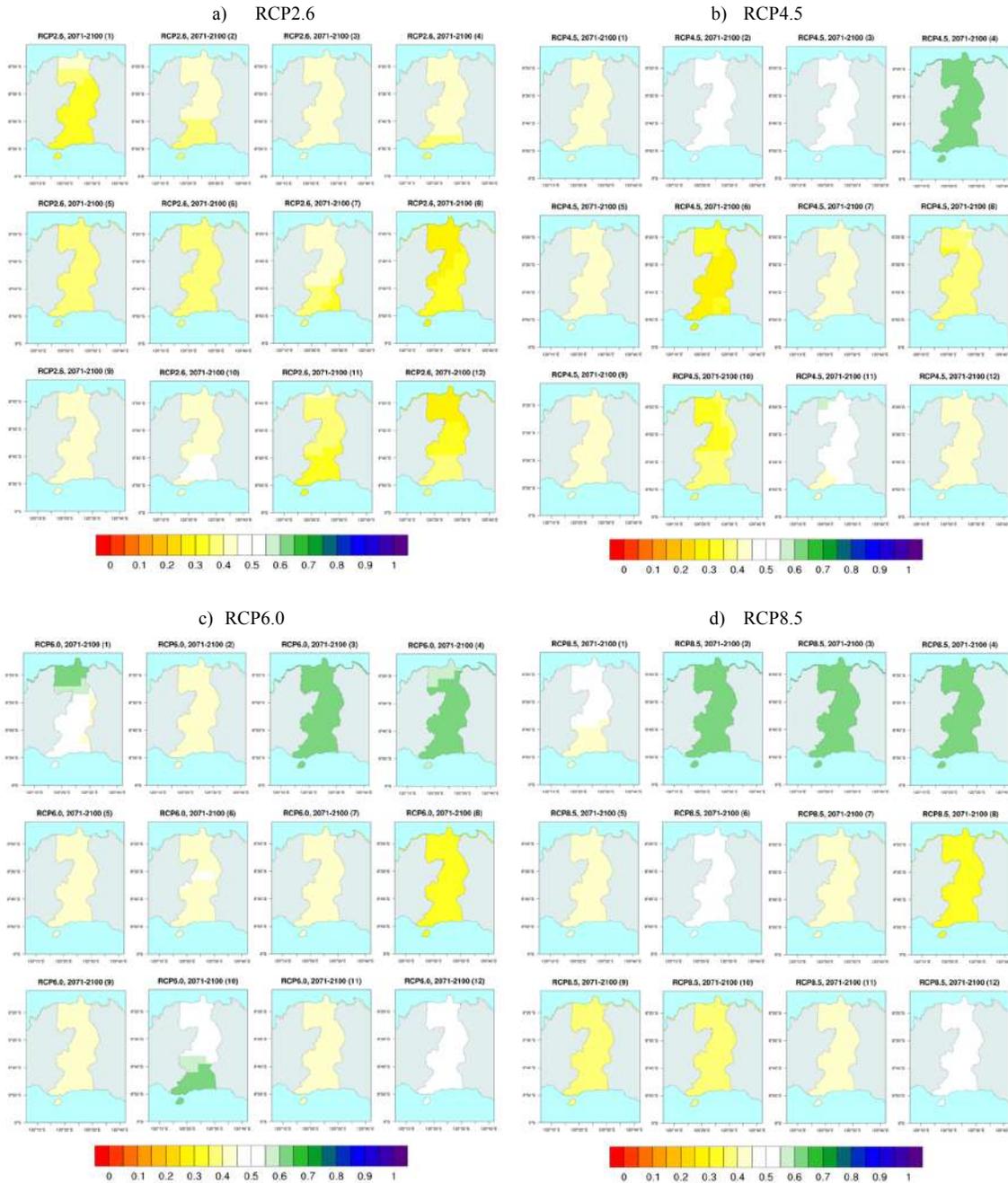
Zeng, X., Zhao, M. and Dickinson, R.E., 1998. Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data. *Journal of Climate*, 11(2628–2644).

## LAMPIRAN

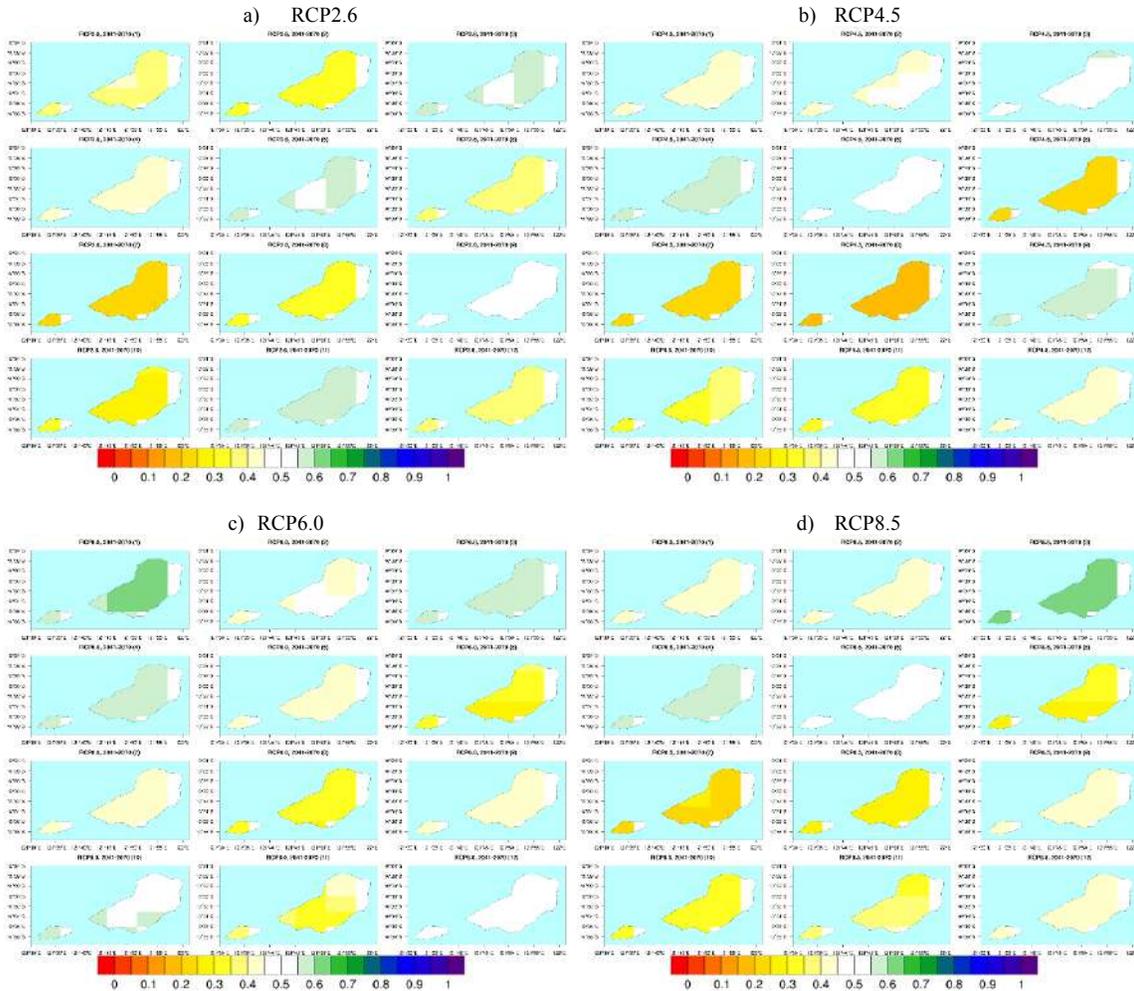
Lampiran 1 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2041-2070 di Kabupaten Manggarai berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



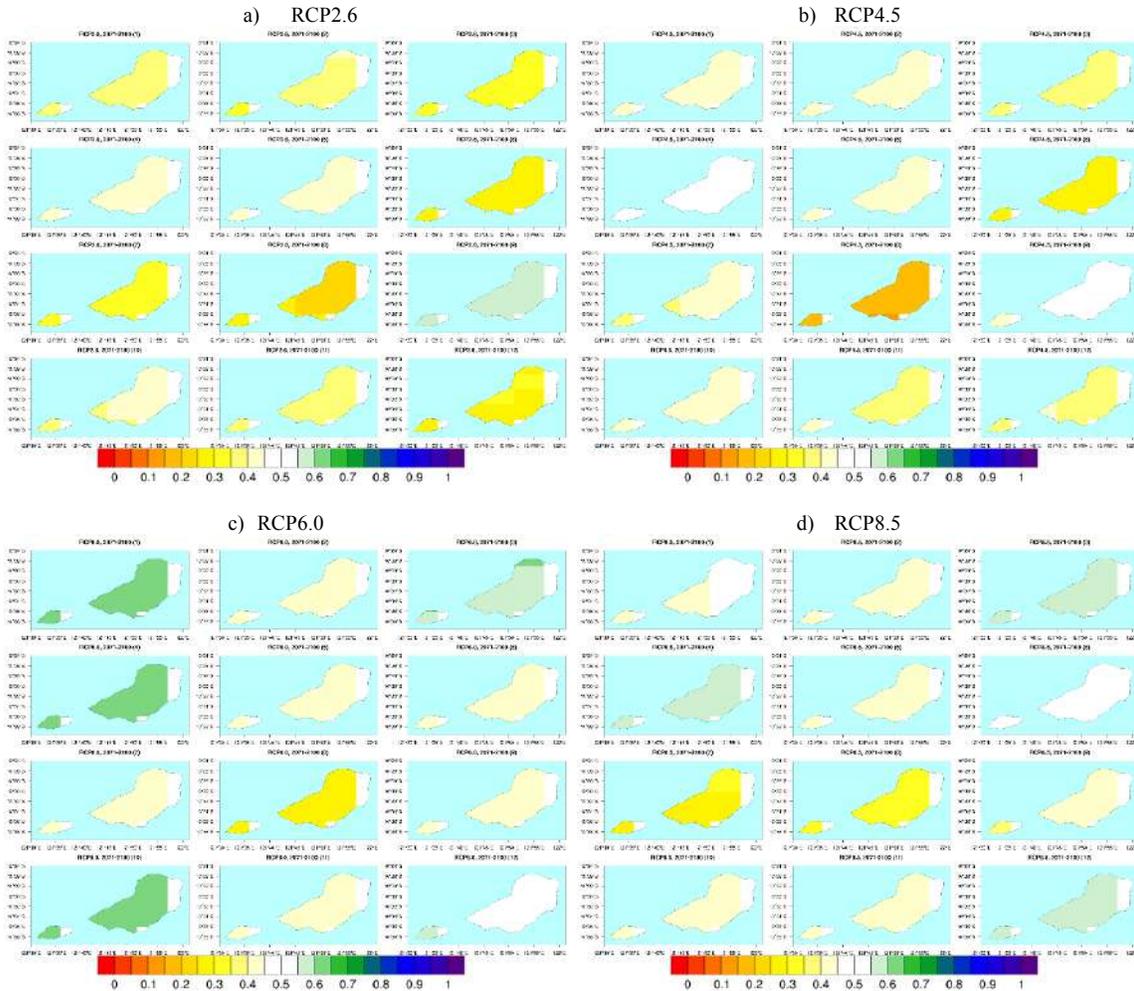
Lampiran 2 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2071-2100 di Kabupaten Manggarai berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



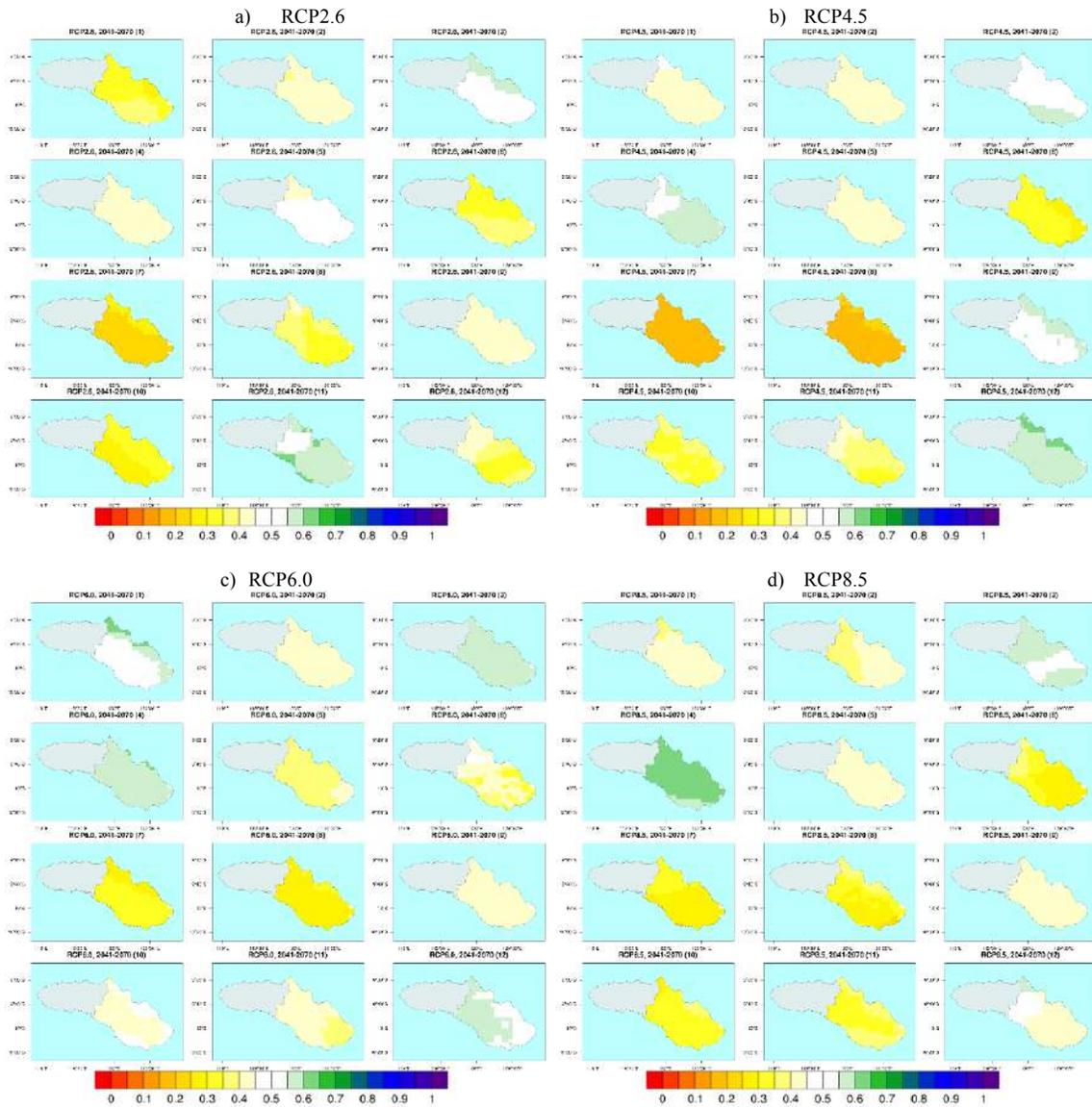
Lampiran 3 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2041-2070 di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



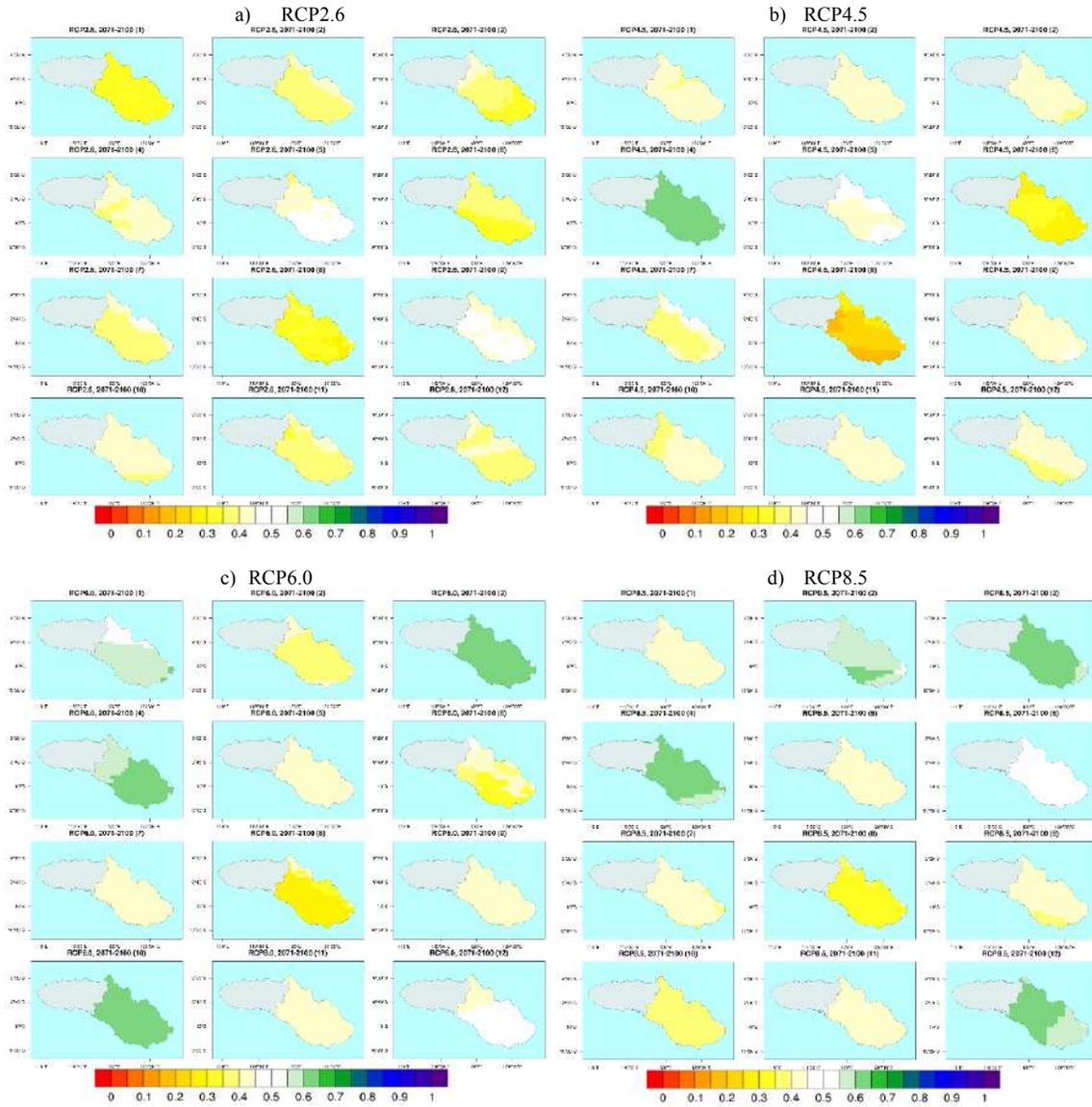
Lampiran 4 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2071-2100 di Kabupaten Sabu Raijua berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



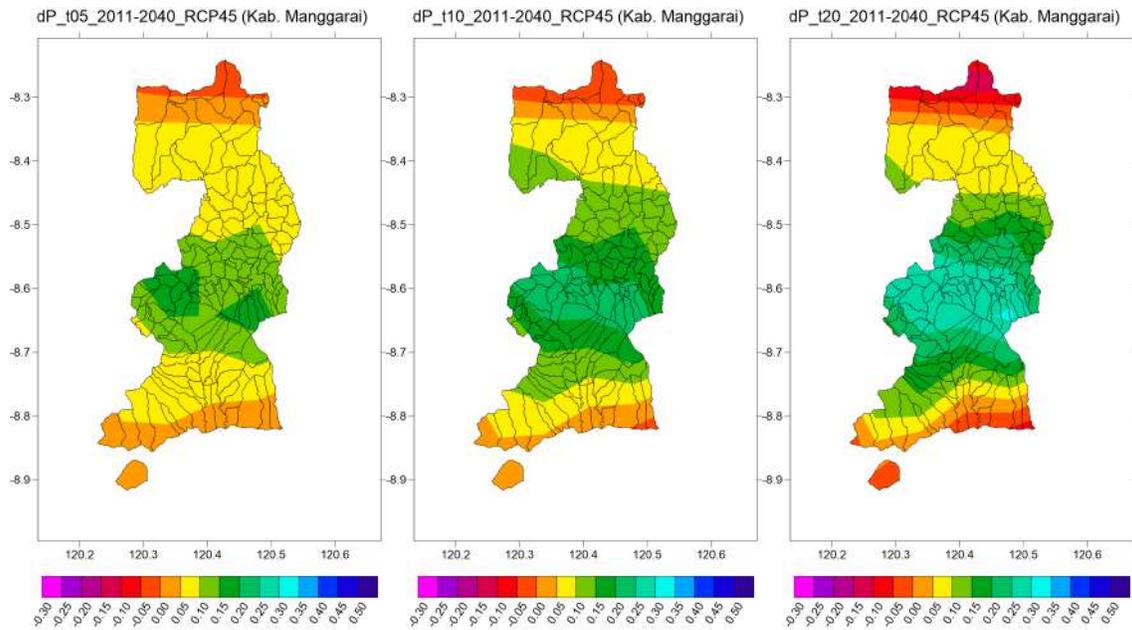
Lampiran 5 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2041-2070 di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



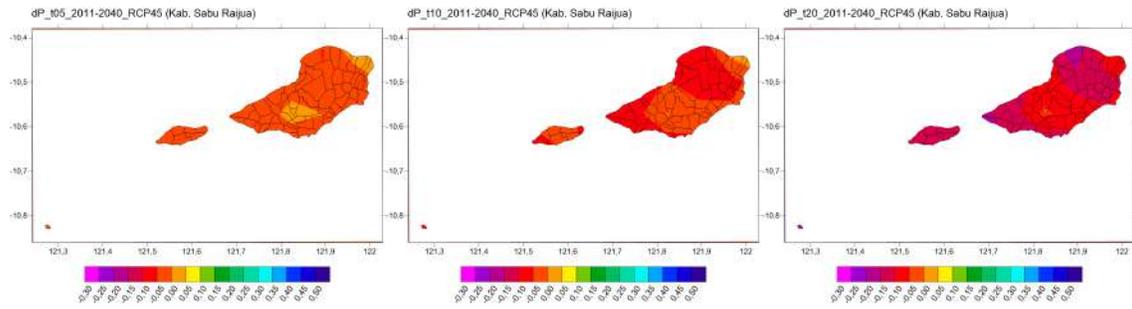
Lampiran 6 Peluang peningkatan curah hujan klimatologi bulanan periode 2071-2100 di Kabupaten Sumba Timur berdasarkan kecenderungan 16 model GCM CMIP5 dengan skenario a) RCP2.6, b) RCP4.5, c) RCP6.0 dan d) RCP8.5.



Lampiran 7 Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim kering yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Manggarai, NTT..



Lampiran 8 Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim kering yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sabu Raijua, NTT..



Lampiran 9 Proyeksi perubahan peruang curah hujan ekstrim kering yang di-overlay dengan batas administrasi desa di Kabupaten Sumba Timur, NTT..

