

2024

Kondisi Iklim Historis & Proyeksi di Kabupaten Manggarai Barat Nusa Tenggara Timur



Tim Penyusun :

Akhmad Faqih

Bambang Dwi Dasanto

Jassica Listyarini

Raynaldi Rachmat



Yayasan Bina Karta Lestari (Bintari)

Kondisi Iklim Historis dan Proyeksi di Kabupaten Manggarai Barat, Nusa Tenggara Timur

Tim Penyusun:

Akhmad Faqih

Bambang Dwi Dasanto

Jassica Listyarini

Raynaldi Rachmat

Yayasan Bina Karta Lestari

2024

PRAKATA

Perubahan iklim telah menjadi isu global dan mendesak, serta diproyeksikan akan terus terjadi di masa yang akan datang. Menurut Laporan Penilaian Keenam dari Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC AR6), perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia telah menghasilkan perubahan pada sistem iklim bumi yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejarah manusia (IPCC, 2021). Perubahan iklim juga telah mengakibatkan kenaikan permukaan laut, peningkatan kerusakan terumbu karang, dan peningkatan kejadian cuaca dan iklim ekstrim. Dampaknya akan dirasakan secara luas, termasuk di wilayah Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

Analisis perubahan iklim historis dan proyeksinya sangat penting, terutama di wilayah Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi NTT. Wilayah ini memiliki keragaman ekosistem yang unik dan berharga, serta sekitar 70% penduduk bekerja di sektor pertanian dan masih bergantung pada sumber daya alam untuk kehidupan mereka. Perubahan dalam unsur-unsur ini dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan masyarakat dan ekosistem. Contohnya, dalam bidang pertanian, perubahan iklim diproyeksikan akan menyebabkan musim kering yang berkepanjangan di Indonesia (Naylor et al., 2007).

Yayasan Bintari sebagai pelaksana Program PEKA Iklim bekerjasama dengan Departemen Geofisika & Meteorology Institut Pertanian Bogor (IPB), telah melakukan kajian Proyeksi Iklim secara partisipatif di Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi NTT. Dalam studi ini dilakukan kajian kondisi historis dan skenario perubahan iklim, khususnya untuk unsur curah hujan, suhu, dan tinggi muka laut, serta kejadian ekstrim berdasarkan perhitungan beberapa indeks ekstrim Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Kajian ini difasilitasi oleh Program Penguatan Ketahanan Iklim (PEKA-IKLIM), sebuah program yang bertujuan untuk mewujudkan ketahanan masyarakat berisiko di NTT, khususnya dalam menghadapi perubahan iklim, dengan dukungan pendanaan dari Kementerian Ekonomi dan Pembangunan Pemerintah Federal Jerman. Program PEKA-IKLIM berlokasi di kabupaten Manggarai Barat, berlangsung tiga tahun (2022-2025), serta dilaksanakan oleh Yayasan Bina Karta Lestari (BINTARI) dan Arbeiter-Samariter-Bund (ASB), dan berkoordinasi dengan Pemerintah Kabupaten Manggarai Barat. ASB telah bekerja di Indonesia sejak tahun 2006 berdasarkan Memorandum Saling Pengertian (MSP) dengan Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia. ASB berkoordinasi erat dengan Pusat Fasilitasi Kerjasama Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia dan bermitra secara teknis dengan Direktorat Jenderal Bina Pemerintahan Desa Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia.

Hasil Proyeksi Iklim Kabupaten Manggarai Barat diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pemerintah daerah dan stakeholder lainnya dalam hal:

- Memahami bagaimana pola iklim di Kabupaten Manggarai Barat berpotensi berubah di masa depan, termasuk peningkatan suhu, pola curah hujan, dan frekuensi kejadian ekstrem.

- Dapat mengidentifikasi risiko yang terkait dengan perubahan iklim, seperti banjir, kekeringan, dan penurunan produktivitas pertanian, serta peluang yang mungkin muncul, seperti potensi untuk energi terbarukan atau pariwisata berkelanjutan.
- Informasi dari kajian proyeksi iklim dapat digunakan untuk merencanakan langkah-langkah adaptasi yang tepat guna, seperti infrastruktur tanggap bencana, pengelolaan sumber daya air, dan pengurangan risiko bencana.
- Dengan memahami bagaimana perubahan iklim dapat memengaruhi berbagai sektor seperti pertanian, kesehatan, dan ekonomi, para pembuat kebijakan dapat mengambil keputusan yang lebih baik dalam merencanakan pembangunan dan investasi jangka panjang.

Laporan Proyeksi Iklim untuk Kabupaten Manggarai Barat ini merupakan hasil dari kerja keras berbagai pihak antara lain Tim Konsultan ahli, Tim Koordinasi Penyusunan Dokumen Proyeksi dan Analisis Resiko Iklim Kabupaten Manggarai Barat, dukungan Pemerintah Kabupaten Manggarai Barat, khususnya Badan Perencana Pembangunan Daerah (Bappeda) serta dukungan (*sharing*) data dari Organisasi Perangkat Daerah (OPD) terkait dan Unit Pelaksana Teknis (UPT) vertikal di daerah.

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi sejak proses sampai dengan tersusunnya laporan ini. Semoga informasi yang disajikan dapat menjadi landasan untuk langkah-langkah mitigasi dan adaptasi yang efektif di masa yang akan datang.

Labuan Bajo, Mei 2024

Program PEKA IKLIM
Yayasan Bina Karta Lestari (Bintari)

Daftar isi

1	Pendahuluan	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Ruang Lingkup dan Tujuan	2
2	Metodologi	3
2.1	Data	3
2.1.1	Data Observasi Iklim	3
2.1.2	Data Luaran Model Iklim	3
2.2	Metode	4
2.2.1	Analisis Kondisi Iklim Rata-Rata	4
2.2.2	Analisis Variabilitas Iklim dan Faktor Pengendalinya	4
2.2.3	Analisis Tren	6
2.2.4	Proyeksi Perubahan Iklim	7
3	Pembahasan	8
3.1	Kondisi Iklim Historis	8
3.1.1	Kondisi Iklim Rata-Rata	8
3.1.2	Keragaman Iklim	13
3.1.3	Iklim Ekstrim	15
3.1.4	Tren Anomali Tinggi Muka Laut	17
3.2	Proyeksi Perubahan Iklim	19
3.2.1	Proyeksi Curah Hujan	19
3.2.2	Proyeksi Suhu Udara	20
3.2.3	Proyeksi Indeks Iklim Ekstrim	21
3.2.4	Proyeksi Kenaikan Tinggi Muka Air Laut	29
4	Kesimpulan	30

Daftar Gambar

GAMBAR 2-1 OCEAN NINO INDEX (ONI) PERIODE 1950-2020 (SUMBER: HTTPS://GGWEATHER.COM/ENSO/ONI.PNG).....	5
GAMBAR 3-1 CURAH HUJAN RATA-RATA DI STASIUN KOMODO DI KABUPATEN MANGGARAI BARAT PERIODE 2013-2022, SERTA NILAI CURAH HUJAN RATA-RATA DIHITUNG DARI RATAAN WILAYAH SELURUH KABUPATEN MANGGARAI BARAT MENGGUNAKAN DATA CHIRPS V2.0 PERIODE (1991-2020).....	8
GAMBAR 3-2 POLA SPASIAL CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN PERIODE 1991-2020 DI KABUPATEN MANGGARAI BARAT.....	9
GAMBAR 3-3 POLA SPASIAL CURAH HUJAN RATA-RATA MUSIMAN PERIODE 1991-2020 DI KABUPATEN MANGGARAI BARAT.....	10
GAMBAR 3-4 SUHU UDARA RATA-RATA DI STASIUN KOMODO (PERIODE 2013-2022) DAN SUHU UDARA RATA-RATA HASIL PERHITUNGAN RATAAN WILAYAH DI KABUPATEN MANGGARAI BARAT BERDASARKAN DATA CHIRTS V1.0 (PERIODE 1985-2014).....	11
GAMBAR 3-5 TREN DATA TAHUNAN DARI A) SUHU UDARA RATA-RATA (TMEAN), B) SUHU UDARA MINIMUM (TMIN), C) SUHU UDARA MAKSIMUM (TMAX), DAN D) SELISIH SUHU UDARA HARIAN (DIURNAL TEMPERATURE RANGE, DTR) DIHITUNG DARI RATAAN WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT MENGGUNAKAN DATA CHIRTS V1.0 PERIODE 1985-2014.....	12
GAMBAR 3-6 TREN SPASIAL DATA TAHUNAN DARI A) SUHU UDARA RATA-RATA (TMEAN), B) SUHU UDARA MINIMUM (TMIN), C) SUHU UDARA MAKSIMUM (TMAX), DAN D) SELISIH SUHU UDARA HARIAN (DIURNAL TEMPERATURE RANGE, DTR) DIHITUNG DARI RATAAN WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT MENGGUNAKAN DATA CHIRTS V1.0 PERIODE 1985-2014.....	12
GAMBAR 3-7 KORELASI SPASIAL PADA LAG 0 HINGGA 5 BULAN ANTARA CURAH HUJAN WILAYAH DI KABUPATEN MANGGARAI BARAT DENGAN ANOMALI SUHU PERMUKAAN LAUT DI INDO-PASIFIK. PETA HANYA MENUNJUKKAN KONTUR WARNA UNTUK NILAI KORELASI YANG SIGNIFIKAN PADA SELANG KEPERCAYAAN 90%.....	13
GAMBAR 3-8 HUBUNGAN ANTARA INDEKS NINO-3.4 YANG MEREPRESENTASIKAN FENOMENA ENSO BAIK EL NINO MAUPUN LA NINA DAN CURAH HUJAN SPASIAL DI WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT. KETERKAITAN HUBUNGAN LINEAR DIREPRESENTASIKAN OLEH NILAI A) KORELASI SPASIAL, DAN GAMBARAN SETIAP 1 DERAJAT PENINGKATAN ATAU PENURUNAN NILAI INDEKS NINO-3.4 TERHADAP CURAH HUJAN DIREPRESENTASIKAN OLEH NILAI B) KOEFISIEN REGRESI SPASIAL.....	14
GAMBAR 3-9 PERSENTASE PENURUNAN (PENINGKATAN) ANOMALI CURAH HUJAN DI KABUPATEN MANGGARAI BARAT TERHADAP NILAI RATA-RATA (NORMAL) SETIAP BULANNYA TERHADAP PENINGKATAN (PENURUNAN) 1 °C ANOMALI SUHU PERMUKAAN LAUT DI ZONA NINO 3.4. NILAI NEGATIF PADA PERSENTASE MENUNJUKKAN TERJADINYA PENURUNAN CURAH HUJAN SAAT TERJADI EL NINO DAN PENINGKATAN SAAT TERJADI LA NINA.....	15
GAMBAR 3-10. RINGKASAN CURAH HUJAN HARIAN TAHUNAN DARI STASIUN KOMODO PERIODE PENGAMATAN 2013-2022. VARIASI NILAI CURAH HUJAN HARIAN DALAM SETAHUN DITAMPILKAN DALAM SATU DIAGRAM BATANG UNTUK SETIAP TAHUNNYA YANG MENUNJUKKAN RENTANG NILAI HUJAN DARI NILAI PALING RENDAH HINGGA PALING EKSTREM SETIAP TAHUNNYA.....	16
GAMBAR 3-11 TREN SPASIAL BEBERAPA INDEKS EKSTREM ETCCDI.....	17
GAMBAR 3-12 TREN RATAAN WILAYAH ANOMALI TINGGI MUKA LAUT DI PERAIRAN KABUPATEN MANGGARAI BARAT PERIODE TAHUN 1993-2021 BERDASARKAN DATA SATELIT DARI BASIS DATA COPERNICUS.....	18
GAMBAR 3-13 TREN RATAAN WILAYAH ANOMALI TINGGI MUKA LAUT DI PERAIRAN KABUPATEN MANGGARAI BARAT PERIODE.....	18
GAMBAR 3-14 PERSENTASE PERUBAHAN CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN DI MASA DEPAN PADA PERIODE 2021-2050 BERDASARKAN PROYEKSI MULTI MODEL ENSEMBLE (MME) DENGAN SKENARIO A) SSP1-2.6, B) SSP2-4.5, C) SSP3-7.0, DAN D) SSP5-8.5.....	19

GAMBAR 3-15 PERSENTASE PERUBAHAN CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN DI MASA DEPAN PADA PERIODE 2051-2080 BERDASARKAN PROYEKSI MULTI MODEL ENSEMBLE (MME) DENGAN SKENARIO A) SSP1-2.6, B) SSP2-4.5, C) SSP3-7.0, DAN D) SSP5-8.5.	20
GAMBAR 3-16 PROYEKSI ANOMALI SUHU UDARA RATA-RATA TAHUNAN PERIODE 2015-2100 DARI RATAAN WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT BERDASARKAN RENTANG ANSAMBEL MULTI MODEL GCM UNTUK SKENARIO SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, DAN SSP5-8.5. NILAI ANOMALY DIHITUNG RELATIF TERHADAP DATA RATA-RATA OBSERVASI PERIODE 1985-2014.....	21
GAMBAR 3-17 PROYEKSI INDEKS CDD PERIODE 2015-2099: A) GRAFIK TIME SERIES RATAAN WILAYAH INDEKS CDD UNTUK WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT ; DAN B-E) TREN SPASIAL BERDASARKAN SKENARIO SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, DAN SSP5-8.5, DIHITUNG DARI PERIODE PROYEKSI 2015-2099.	23
GAMBAR 3-18 TREN SPASIAL INDEKS EKSTRIM BASAH CWD UNTUK WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT, DIHITUNG DARI PERIODE PROYEKSI 2015-2099.	24
GAMBAR 3-19 TREN SPASIAL INDEKS EKSTRIM BASAH R10MM UNTUK WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT, DIHITUNG DARI PERIODE PROYEKSI 2015-2099.	25
GAMBAR 3-20 TREN SPASIAL INDEKS EKSTRIM BASAH R20MM UNTUK WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT, DIHITUNG DARI PERIODE PROYEKSI 2015-2099.	26
GAMBAR 3-21 TREN SPASIAL INDEKS EKSTRIM BASAH RX1DAY UNTUK WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT, DIHITUNG DARI PERIODE PROYEKSI 2015-2099.	27
GAMBAR 3-22 TREN SPASIAL INDEKS EKSTRIM BASAH RX5DAY UNTUK WILAYAH KABUPATEN MANGGARAI BARAT, DIHITUNG DARI PERIODE PROYEKSI 2015-2099.	28
GAMBAR 3-23 PROYEKSI RATAAN WILAYAH KENAIKAN TINGGI MUKA AIR LAUT DI PERAIRAN DI SEKITAR PESISIR KABUPATEN MANGGARAI BARAT BERDASARKAN KOREKSI DARI LUARAN MODEL PADA BERBAGAI SKENARIO SSP. PERHITUNGAN DILAKUKAN BERDASARKAN NILAI RATAAN DARI LUARAN DUA MODEL GCM YAITU ACCESS-CM2 DAN NORESM2-MM YANG SUDAH DIKOREKSI.	29

Daftar Tabel

TABEL 2-1 DAFTAR GCM CMIP6 YANG DATANYA DIGUNAKAN DALAM KAJIAN	4
TABEL 2-2 IDENTIFIKASI TAHUN KEJADIAN EL NINO DAN LA NINA (ATAS) BERDASARKAN DATA ONI	6
TABEL 2-3 RINCIAN DEFINISI BESERTA SATUAN 6 INDEKS EKSTRIM HUJAN ETCCDI.	6

Daftar Singkatan dan Istilah

- IPCC** *The Intergovernmental Panel on Climate Change* atau Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim adalah suatu organisasi antarpemerintah ilmiah yang terdiri dari para ilmuwan dari seluruh dunia untuk memajukan pengetahuan tentang perubahan iklim akibat aktivitas manusia
- ETCCDI** *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* atau Tim Ahli tentang Deteksi dan Indeks Perubahan Iklim adalah suatu tim yang dibentuk oleh Komisi Klimatologi (CCI), Program Penelitian Iklim Dunia (WCRP), dan Komisi Bersama tentang Oseanografi dan Ilmu Kelautan (JCOMM) untuk mengatasi kebutuhan pengukuran dan karakterisasi objektif tentang variabilitas dan perubahan iklim. Indeks iklim ekstrim ditentukan dengan menggunakan standar ETCCDI. ETCCDI telah mendefinisikan seperangkat inti indeks deskriptif ekstrem untuk mendapatkan perspektif seragam tentang perubahan yang diamati dalam cuaca dan iklim ekstrem.
- GCM** *Global Climate Model* atau Model Iklim Global merupakan model numerik yang berbasis perhitungan dinamika interaksi antara komponen penyusun sistem iklim untuk memodelkan kondisi cuaca dan iklim bumi
- CHIRPS** *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* adalah set data curah hujan yang mencakup hampir seluruh dunia (50°S - 50°N), hanya di daratan, dengan berbagai resolusi temporal dan spasial tergantung pada wilayah dan periode waktu. CHIRPS menggabungkan citra satelit resolusi 0.05° dengan data stasiun in-situ untuk membuat seri waktu curah hujan yang digrid untuk analisis tren dan pemantauan kekeringan musiman.
- CHIRTS** *Climate Hazards Group InfraRed Temperature with Station* adalah set data suhu permukaan yang mencakup hampir seluruh dunia (60°S - 60°N), hanya di daratan, dengan berbagai resolusi temporal dan spasial tergantung pada wilayah dan periode waktu. CHIRTS menggabungkan citra satelit resolusi 0.05° dengan data stasiun in-situ untuk membuat seri waktu suhu permukaan yang digrid untuk analisis tren dan pemantauan kekeringan musiman.
- CMIP6** Climate Model Intercomparison Project phase 6 adalah fase terbaru dari proyek penelitian iklim dunia (World Climate Research Programme, WCRP) yang menyediakan proyeksi iklim untuk memahami perubahan iklim masa lalu, sekarang, dan masa depan.
- SSPs** Shared Socioeconomic Pathways adalah skenario yang digunakan dalam penelitian perubahan iklim untuk mewakili berbagai jalur masyarakat global dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan adaptasi. SSPs digunakan dalam Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) dan Laporan Penilaian Keenam dari Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC).
- MME** Multi Model Ensemble dari Global Climate Models (GCMs) adalah suatu metode yang digunakan dalam penelitian iklim untuk mengurangi ketidakpastian dalam proyeksi iklim. Metode ini melibatkan penggunaan beberapa model iklim (GCMs) untuk membuat proyeksi iklim, daripada hanya menggunakan satu model.
- ONI** *Ocean Nino Index* adalah parameter utama yang digunakan oleh NOAA untuk "mengadjust" kejadian El Nino dan La Nina, fenomena anomali iklim pada skala global. ONI mengukur suhu permukaan laut di wilayah Pasifik timur tengah, tepatnya di wilayah Nino-3.4. Wilayah ini merujuk pada lokasi di Samudera Pasifik yang merupakan irisan dari wilayah Nino-3 yang berada di samudera Pasifik timur dengan dengan wilayah Nino-4 yang berada di bagian tengah samudera Pasifik.

- ENSO** *El Nino-Southern Oscillation* adalah fenomena alam yang melibatkan fluktuasi suhu permukaan laut di Samudera Pasifik bagian tengah dan timur yang berinteraksi dengan perubahan kondisi atmosfer di atasnya. ENSO terjadi secara berkala dan tidak teratur, dan berpengaruh terhadap sebagian besar daerah tropis dan subtropis. ENSO memiliki tiga fase: El Niño, La Niña, dan Netral:
- IOD** *Indian Ocean Dipole* atau Dipol Samudera Hindia, adalah suatu fenomena naik turunnya suhu permukaan laut dalam periode tidak teratur yang melibatkan perubahan antara fase-fase suhu hangat dan dingin, terutama mempengaruhi bagian barat dan timur samudra tersebut. IOD diidentifikasi berdasarkan perbedaan suhu muka laut pada dua kawasan atau dua kutub (*dipole*) pada Samudera Hindia yaitu di wilayah pantai timur Afrika dan kawasan barat perairan Indonesia.
- CWD** *Consecutive Wet Days* adalah jumlah maksimum hari hujan berturut-turut atau nilai maksimum hari berturut-turut dengan curah hujan lebih besar atau sama dengan 1 mm dalam 1 tahun. Ini juga disebut sebagai deret hari hujan (*wet spell*). CWD adalah salah satu indeks yang digunakan dalam analisis perubahan iklim untuk mengukur tingkat kelembaban suatu wilayah.
- CDD** *Consecutive Dry Days* adalah jumlah maksimum hari kering berturut-turut atau nilai maksimum hari berturut-turut dengan curah hujan lebih kecil dari 1 mm dalam setahun. Ini juga disebut sebagai deret hari kering (*dry spell*). CDD adalah salah satu indeks yang digunakan dalam analisis perubahan iklim untuk mengukur tingkat kekeringan suatu wilayah.
- DTR** *Diurnal Temperature Range* atau Kisaran Suhu Diurnal adalah variasi antara suhu maksimum dan minimum yang terjadi dalam satu hari di lokasi tertentu. Misalnya, jika suhu maksimum adalah 26°C dan suhu minimum adalah 14°C, maka DTR adalah 26-14 = 12 °C. DTR ini bisa berbeda-beda tergantung pada musim dan lokasi.
- TML** Tinggi muka air laut atau permukaan laut adalah rata-rata ketinggian air laut yang dapat diukur di pantai. Kata 'rata-rata' harus digunakan karena ketinggian air laut senantiasa berubah seiring terjadinya pasang surut air laut, yang disebabkan oleh adanya gaya gravitasi bulan dan matahari. Muka laut rata-rata lokal (*local mean sea level* atau disingkat LMSL) didefinisikan sebagai tinggi laut terhadap titik acu (*benchmark*) di darat, dirata-ratakan terhadap suatu periode waktu tertentu yang cukup panjang, sebulan atau setahun, sehingga fluktuasi akibat gelombang dan pasang surut sebisa mungkin dapat dihilangkan

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim saat ini adalah isu global yang mendesak. Perubahan tersebut diproyeksikan akan terus terjadi di masa akan datang. Menurut Laporan Penilaian Keenam dari Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC AR6), perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia telah menghasilkan perubahan pada sistem iklim Bumi yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejarah manusia (IPCC, 2021). Dengan peningkatan suhu global sebesar 1,1 derajat Celsius, perubahan pada sistem iklim yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam ribuan hingga jutaan tahun, kini terjadi di berbagai wilayah dunia dengan implikasi mulai dari kenaikan permukaan laut hingga peristiwa cuaca ekstrem hingga pencairan lautan es yang cepat (IPCC, 2021).

Dengan adanya perubahan iklim, Indonesia merupakan negara yang mengalami peningkatan ancaman dari bencana hidrometeorologis seperti banjir, kekeringan, tanah longsor, kebakaran hutan dan lahan dan bencana terkait iklim lainnya. Sehingga, upaya adaptasi perlu terus ditingkatkan seiring dengan upaya pencapaian kontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim di semua bagian Indonesia umumnya membuat suhu udara naik. Secara umum, di wilayah selatan Indonesia curah hujan akan berkurang sementara curah hujan di wilayah utara akan meningkat. Selain itu, perubahan iklim telah mengakibatkan kenaikan permukaan laut, peningkatan kerusakan terumbu karang, dan peningkatan kejadian cuaca dan iklim ekstrim. Dampaknya akan dirasakan secara luas, termasuk di wilayah Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Analisis perubahan iklim historis dan proyeksinya sangat penting, terutama di wilayah Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Wilayah ini memiliki keragaman ekosistem yang unik dan berharga, serta merupakan rumah bagi banyak komunitas yang bergantung pada sumber daya alam untuk kehidupan mereka. Perubahan dalam unsur-unsur ini dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan masyarakat dan ekosistem. Misalnya, peningkatan suhu dapat mempengaruhi produktivitas pertanian, sementara perubahan dalam curah hujan dan tinggi muka laut dapat meningkatkan risiko banjir dan erosi pantai. Dampak perubahan iklim sangat luas dan berpotensi memberikan risiko yang tinggi terhadap berbagai kelompok atau tipe masyarakat terutama yang paling rentan. Contohnya, dalam bidang pertanian, perubahan iklim diproyeksikan akan menyebabkan musim kering yang berkepanjangan di Indonesia (Naylor et al., 2007).

Oleh karena itu, dalam studi ini dilakukan kajian kondisi historis dan skenario perubahan iklim, khususnya untuk unsur curah hujan, suhu, dan tinggi muka laut, serta kejadian ekstrim berdasarkan perhitungan beberapa indeks ekstrim *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI). Perhitungan indeks ekstrim ETCCDI dapat memberikan gambaran tentang frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrim, seperti hujan lebat atau ekstrim, yang dapat memiliki dampak yang merusak pada komunitas dan infrastruktur.

Melalui analisis dan kajian perubahan iklim baik yang telah terjadi saat ini maupun kemungkinannya di masa depan, khususnya di wilayah Kabupaten Manggarai Barat, dapat membantu para pemangku kepentingan dalam memahami dampaknya dan merencanakan strategi adaptasi dan mitigasi yang tepat. Ini akan membantu mereka dalam upaya untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di wilayah tersebut dan meminimalkan dampak negatif variabilitas dan perubahan iklim.

1.2 Ruang Lingkup dan Tujuan

Studi ini memiliki ruang lingkup yaitu untuk melakukan analisis iklim historis dan proyeksi skenario perubahan iklim di Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur.

2 Metodologi

2.1 Data

Studi yang difokuskan pada wilayah Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) ini dilakukan untuk menganalisis kondisi iklim historis dan proyeksinya di masa depan dengan menggunakan sumber data sekunder dari hasil observasi jangka panjang dan dari luaran model iklim global (*Global Climate Model*, GCM).

2.1.1 Data Observasi Iklim

Studi kondisi iklim historis dan proyeksi skenario iklim masa depan dilakukan dengan menggunakan dua jenis data utama, yaitu yang berasal dari arsip data historis observasi dan dari data luaran model iklim. Untuk data historis observasi, terdapat beberapa sumber dan jenis data yang digunakan dengan tujuan untuk saling melengkapi. Data observasi tersebut yaitu bersumber dari data hasil pengamatan di lapang (*land-based observation*) yang diukur pada berbagai stasiun pengamatan cuaca/iklim, dan data yang berasal dari hasil olahan dalam bentuk data grid, baik yang berasal dari proses interpolasi data stasiun menjadi data grid, dari hasil estimasi penginderaan jauh seperti satelit atau radar, atau kombinasi dari keduanya atau berbagai jenis sumber data lainnya. Data observasi stasiun diperoleh dari BMKG berupa data curah hujan dan suhu rata-rata. Data grid observasi diperoleh dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) untuk data curah hujan (Funk et al., 2015), dan dari data *Climate Hazards Group InfraRed Temperature with Station data* (CHIRTS) untuk data suhu udara maksimum (Tmax) dan minimum (Tmin) (Funk et al., 2019). Data suhu udara rata-rata dihitung dari nilai rata-rata antar Tmax dan Tmin. Pada analisis kenaikan muka air laut, data yang digunakan adalah anomali tinggi muka laut (TML) hasil observasi altimetri satelit dari Copernicus periode tahun 1993-2021 (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-sea-level-global?tab=overview>).

2.1.2 Data Luaran Model Iklim

2.1.2.1 Luaran Model Iklim

Analisis proyeksi skenario perubahan iklim di masa depan dilakukan dengan menggunakan data GCM dari basis data *Climate Model Intercomparison Project phase 6* (CMIP6). Data ini adalah data yang digunakan di dalam laporan *the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) yang ke-6 (*6th Assessment Report*, AR6) (IPCC, 2021). Terdapat delapan model GCM yang luarannya digunakan dalam studi ini (Tabel 2.1) yang diunduh dari basis data *NASA Global Daily Downscaled Projections CMIP6* (Thrasher et al., 2022).

Tabel 2-1 Daftar GCM CMIP6 yang datanya digunakan dalam kajian

No	GCM
1	ACCESS-CM2
2	ACCESS-ESM1-5
3	BCC-CSM2-MR
4	CanESM5
5	CMCC-CM2-SR5
6	CMCC-ESM2
7	MIROC6
8	MPI-ESM1-2-HR

2.1.2.2 Skenario Perubahan Iklim

GCM CMIP6 menggunakan skenario perubahan iklim yang dikenal sebagai *Shared Socio-economic Pathways* (SSPs) yang digunakan di Laporan ke-6 *IPCC Assessment Report* (IPCC AR6) (IPCC, 2021). Data ini dapat diunduh dari berbagai sumber. Ada lima "keluarga" skenario dalam SSP, yaitu SSP1 (Keberlanjutan/*Sustainability*), SSP2 (Jalan Tengah/*Middle of the Roads*), SSP3 (Rivalitas Regional/*Regional Rivalry*), SSP4 (Ketimpangan/*Inequality*), dan SSP5 (Pembangunan Berbahan Bakar Fosil/*Fossil-fuelled Development*) (O'Neill et al., 2016; Riahi et al., 2017). Dari kelima skenario yang ada pada SSP, kami mengusulkan empat skenario yang akan digunakan dalam analisis yaitu SSP1, SSP2, SSP3 dan SSP5 yang selanjutnya disebut SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 dan SSP5-8.5 mewakili empat kondisi dari optimistis ke pesimistis. Analisis akan dilakukan dengan menggunakan ansambel multi model (*multi-model ensemble*, MME) dari keluaran delapan model CMIP6 GCM (Tabel 2-1). Periode baseline model yang digunakan adalah tahun 1985-2014 dan periode proyeksi dibagi menjadi dua, yaitu tahun 2021-2050 dan 2051-2080.

2.2 Metode

2.2.1 Analisis Kondisi Iklim Rata-Rata

Analisis awal dilakukan untuk melihat karakteristik iklim di wilayah kajian melalui analisis kondisi historis iklim rata-rata untuk curah hujan dan temperatur udara selama periode 30-tahun. Perhitungan nilai rata-rata untuk curah hujan dilakukan untuk berbagai jenis data baik yang bersumber dari data observasi titik stasiun ataupun dari data grid observasi. Hal ini dilakukan untuk melihat konsistensi pola musiman yang dihasilkan dari berbagai sumber data. Selain analisis kondisi iklim historis, dilakukan pula analisis iklim rata-rata (normal) untuk periode proyeksi pada empat skenario SSP, yaitu SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 dan SSP5-8.5. Analisis perubahan pada pola curah hujan atau suhu rata-rata diperlukan untuk menganalisis perubahan yang terjadi pada iklim di masa depan, relatif terhadap kondisi historisnya.

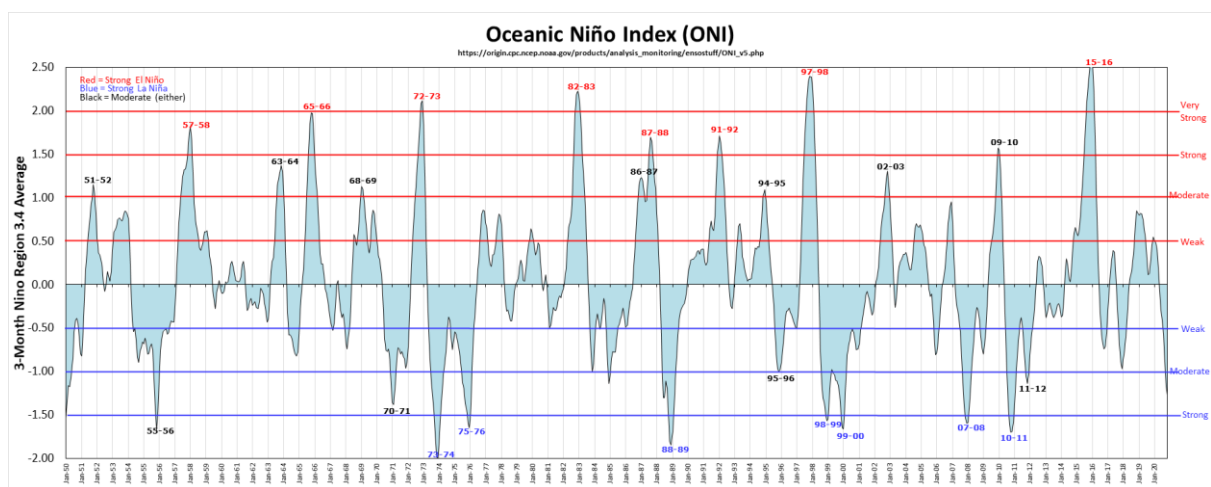
2.2.2 Analisis Variabilitas Iklim dan Faktor Pengendalinya

Dalam kajian iklim historis, perlu dilakukan analisis keragaman atau anomali iklim dan kaitannya dengan beberapa faktor pengendali keragaman iklim utama yang seringkali mempengaruhi keragaman iklim di Indonesia. Beberapa fenomena atau variabilitas faktor

pengendali iklim yang dianalisis salah satunya yaitu El Nino-Southern Oscillation (ENSO) dengan dua fenomenanya yang dikenal secara umum sebagai El Nino dan La Nina. Fenomena tersebut diketahui memiliki pengaruh terhadap peningkatan kejadian cuaca dan iklim ekstrim di Indonesia.

Fenomena ENSO dingin biasa dikenal dengan La Nina. La Nina berhubungan erat dengan kondisi curah hujan di atas normal di sebagian besar wilayah Indonesia, termasuk di wilayah kajian. Sebaliknya, fenomena ENSO hangat biasa dikenal dengan El Nino. El Nino umumnya berdampak pada peningkatan kondisi kekeringan di Indonesia di mana musim kemarau menjadi lebih panjang dari biasanya, sehingga memperlambat datangnya musim hujan.

Salah satu indeks yang digunakan untuk memonitor perkembangan dari kejadian ENSO yaitu *Ocean Nino Index* (ONI). Grafik indeks ONI disajikan pada Gambar 2-1. Informasi tahun-tahun kejadian El Nino dan La Nina dapat dilihat pada Tabel 2-2.



Gambar 2-1 Ocean Nino Index (ONI) periode 1950-2020 (Sumber: <https://ggweather.com/enso/oni.png>).

Analisis korelasi spasial antara anomali curah hujan rata-rata wilayah dan data spasial dari anomali suhu permukaan laut (SPL) dilakukan untuk menganalisis pengaruh faktor pengendali iklim seperti ENSO dan IOD terhadap variabilitas curah hujan di Kabupaten Manggarai Barat. Domain wilayah SPL yang dianalisis mencakup Samudera Hindia, Samudera Pasifik dan perairan Indonesia. Korelasi ini dilakukan berbasis *time lag* (jeda waktu), menggunakan *lag-correlations* hingga lima bulan ke depan. Pertimbangan ini dilakukan karena adanya jeda waktu efek telekoneksi dari interaksi lautan dengan atmosfer yang mempengaruhi variabilitas curah hujan di Indonesia.

Tabel 2-2 Identifikasi tahun kejadian El Nino dan La Nina (atas) berdasarkan data ONI

El Niño				La Niña		
Weak - 12	Moderate - 7	Strong - 5	Very Strong - 3	Weak - 10	Moderate - 4	Strong - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		
2019-20						

2.2.3 Analisis Tren

Analisis tren dilakukan untuk data historis dan proyeksi. Untuk data historis, analisis tren juga dilakukan terhadap beberapa data indeks *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) yang digunakan untuk identifikasi kejadian ekstrim. Keterangan masing-masing indeks ETCCDI dapat dilihat pada Tabel 2-3. Indeks CDD adalah representasi dari kondisi ekstrim kering, sedangkan indeks lainnya berkaitan dengan kondisi ekstrim basah.

Tabel 2-3 Rincian definisi beserta satuan 6 indeks ekstrim hujan ETCCDI.

Label Indeks	Definisi	Satuan
RX1day	Jumlah curah hujan maksimum dalam periode 1 hari	mm
RX5day	Jumlah curah hujan maksimum dalam periode 5 hari	mm
R10mm	Jumlah hari dengan curah hujan ≥ 10 mm	hari
R20mm	Jumlah hari dengan curah hujan ≥ 20 mm	hari
CWD	Panjang deret hari maksimum dengan curah hujan ≥ 1 mm	hari
CDD	Panjang deret hari maksimum dengan curah hujan < 1 mm	hari

Analisis tren juga dilakukan terhadap data proyeksi iklim di masa depan. Data proyeksi berdasarkan skenario perubahan iklim diperoleh dengan melakukan pendekatan *downscaling* statistik berbasis metode koreksi bias terhadap data *time series* dari curah hujan dan temperatur hasil luaran GCM.

Selain itu, analisis tren juga dilakukan terhadap kenaikan muka air laut. Perhitungan tren dilakukan dengan menggunakan data historis anomali tinggi muka air laut per tahun hasil observasi altimetri satelit dari Copernicus.

(<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-sea-level-global?tab=overview>). Data anomali dihitung berdasarkan selisih nilai aktual dengan nilai rata-rata permukaan laut periode referensi rata-rata 20 tahun (1993-2012).

2.2.4 Proyeksi Perubahan Iklim

Dengan menggunakan data input yang sama, variasi pada arsitektur model GCM dapat menyebabkan ketidakpastian. Untuk mempertimbangkan hal ini, analisis proyeksi berbasis MME perlu dilakukan dengan menggunakan lebih dari satu luaran model GCM. Data proyeksi iklim untuk time series harian dan bulanan diperoleh dengan mengoreksi bias melalui pendekatan koreksi distribusi (Faqih, 2017; Piani et al., 2010) pada data harian. Luaran GCM yang sudah terkoreksi digunakan untuk menghitung beberapa indeks ETCCDI dari data proyeksi harian.

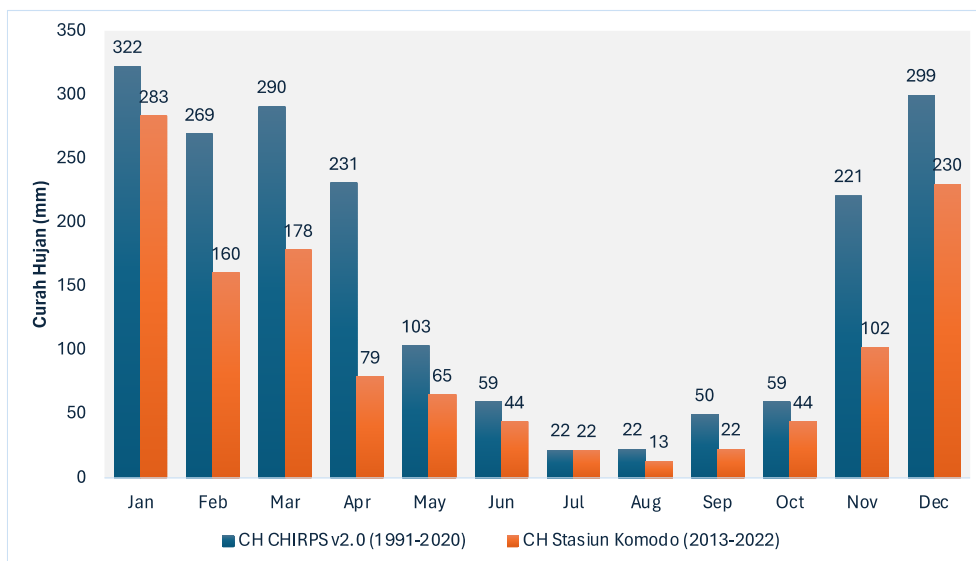
3 Pembahasan

3.1 Kondisi Iklim Historis

3.1.1 Kondisi Iklim Rata-Rata

3.1.1.1 Curah Hujan

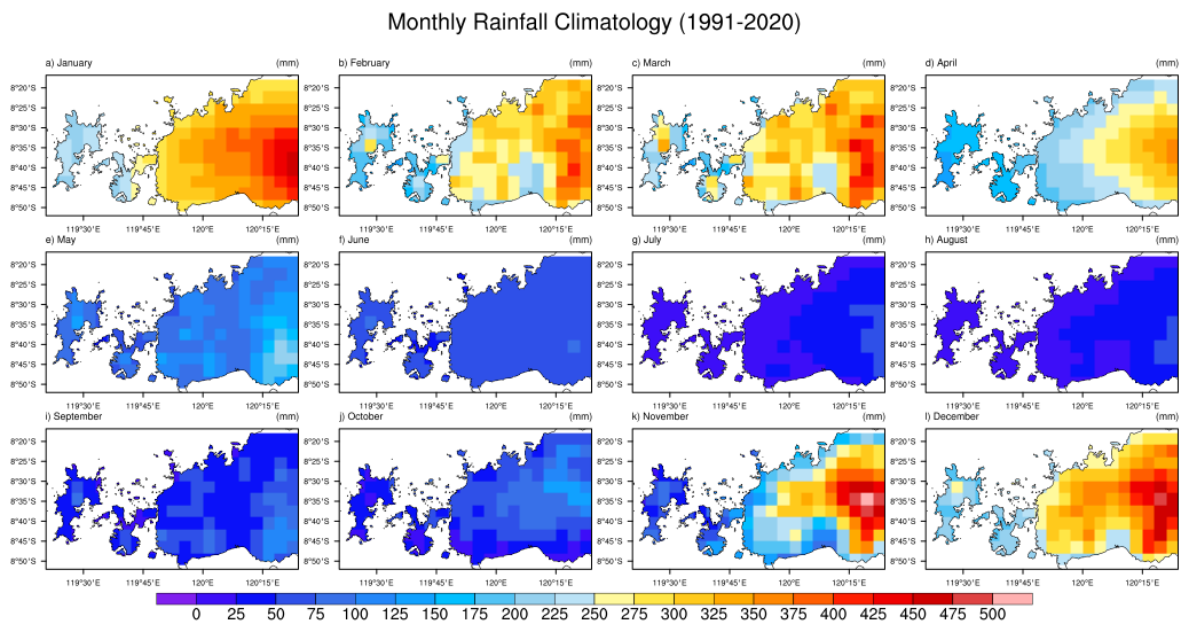
Wilayah Kabupaten Manggarai Barat terletak di ujung bagian barat Provinsi Nusa Tenggara Timur. Berdasarkan perhitungan nilai rata-rata dengan periode perhitungan rata-rata yang berbeda pula dari dua sumber berbeda yaitu data CHIRPS v2.0 dan data pengamatan BMKG di Stasiun Komodo, menunjukkan secara konsisten pola curah hujan yang sama, walaupun pastinya nilai hujannya berbeda. Kondisi curah hujan rata-rata wilayah tersebut memiliki satu pucak hujan yang umumnya terjadi di bulan Desember atau Januari (Gambar 3-1). Pola hujan tersebut menyerupai pola hujan monsun yang dipengaruhi oleh monsun Australia (Aldrian and Susanto, 2003). Secara musiman, curah hujan relatif tinggi di rentang bulan Desember-Maret (DJFM), dengan jumlah curah hujan rata-rata bulanan di masing-masing bulan melampaui 150 mm. Sebaliknya, curah hujan relatif rendah di rentang bulan Juni-Oktober (JJASO) dengan nilai tidak lebih dari 50 mm, kecuali untuk rata-rata di bulan Juni dan Oktober dari data CHIRPS v2.0 yang sedikit lebih besar dari 50 mm, yaitu sebesar 59 mm.



Gambar 3-1 Curah hujan rata-rata di Stasiun Komodo di Kabupaten Manggarai Barat periode 2013-2022, serta nilai curah hujan rata-rata dihitung dari rata-rata wilayah seluruh Kabupaten Manggarai Barat menggunakan data CHIRPS v2.0 periode (1991-2020).

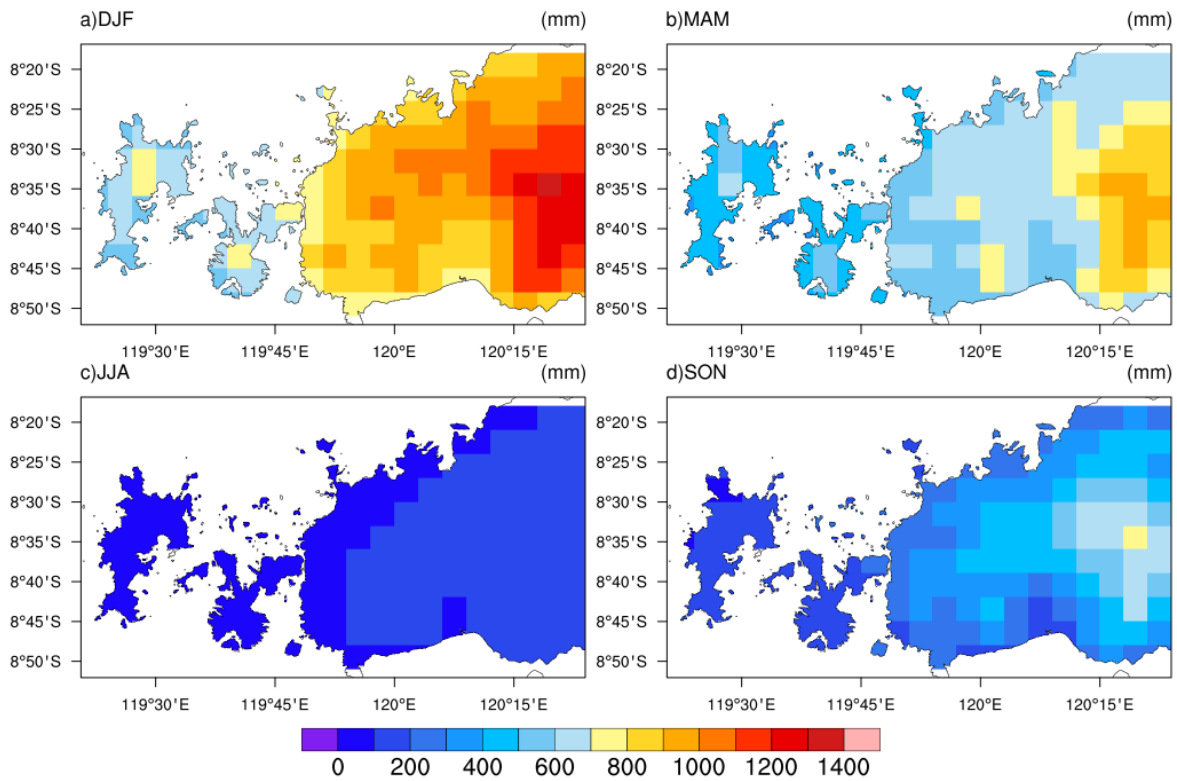
Gambar 3.2 dan 3.3 masing-masing menunjukkan pola spasial curah hujan rata-rata bulanan dan musiman di Kabupaten Manggarai Barat. Dari spasial data bulanan, kondisi relatif kering dengan curah hujan yang relatif rendah dengan jumlah rata-rata curah hujan bulanan kurang dari 150 mm terjadi pada bulan Juni hingga Oktober, dan untuk sebagian kecil wilayah khususnya di bagian barat yaitu di Pulau Komodo, dapat berlanjut hingga November. Sedangkan curah hujan rata-rata bulanan lebih dari 150 mm, terjadi di bulan

Januari hingga April, serta November dan Desember. Secara umum, wilayah bagian timur Kabupaten Manggarai Barat memiliki kondisi iklim yang lebih basah dibandingkan dengan wilayah di bagian barat. Rataan curah hujan bulanan yang tinggi terdapat di wilayah timur Kabupaten Manggarai Barat yang berbatasan dengan Kabupaten Manggarai. Tinggi curah hujan rata-rata di wilayah tersebut dapat mencapai hingga lebih dari 400 mm perbulan. Pada pola spasial curah hujan musiman (Gambar 3-3), total rata-rata curah hujan musiman tertinggi terjadi di periode Desember-Januari-Februari (DJF) berkisar antara 500 mm per 3-bulan di bagian barat hingga 1000-an mm per 3-bulan di bagian timur. Sebaliknya, total curah hujan musiman terendah terjadi di periode Juni-Juli-Agustus (JJA), dengan total curah hujan kurang dari 200 mm per 3-bulan.



Gambar 3-2 Pola spasial curah hujan rata-rata bulanan periode 1991-2020 di Kabupaten Manggarai Barat.

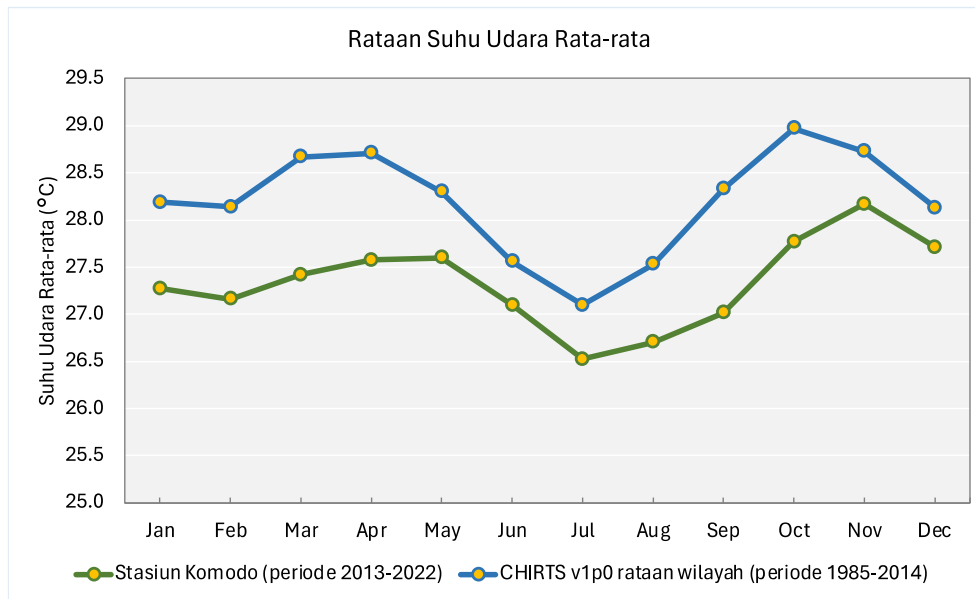
Seasonal Rainfall Climatology (1991-2020)



Gambar 3-3 Pola spasial curah hujan rata-rata musiman periode 1991-2020 di Kabupaten Manggarai Barat.

3.1.1.2 Suhu Udara

Rataan wilayah suhu udara rata-rata bulanan di wilayah Kabupaten Manggarai Barat berdasarkan data CHIRTS v1.0 periode 30 tahun (1985-2014) berada di kisaran 27,1 °C hingga 29 °C, dengan suhu udara rata-rata terendah berada di bulan Juli dan tertinggi di bulan Oktober. Nilai ini relatif lebih tinggi dibandingkan suhu udara rata-rata yang diambil dari titik pengamatan di Stasiun Meteorologi Komodo dengan periode yang lebih pendek, yaitu 10 tahun (2013-2022). Rentang nilai di stasiun tersebut berada di kisaran 26,5 °C di bulan Juli hingga 28,2 °C di bulan November. Perbedaan ini sangat dimungkinkan karena keduanya diperoleh dari sumber data yang berbeda, dengan periode dan luasan wilayah yang berbeda pula. Namun demikian, terdapat pola musiman yang konsisten dari kedua sumber data tersebut (Gambar 3-4).



Gambar 3-4 Suhu udara rata-rata di Stasiun Komodo (periode 2013-2022) dan suhu udara rata-rata hasil perhitungan rata-rata wilayah di Kabupaten Manggarai Barat berdasarkan data CHIRTS v1.0 (periode 1985-2014).

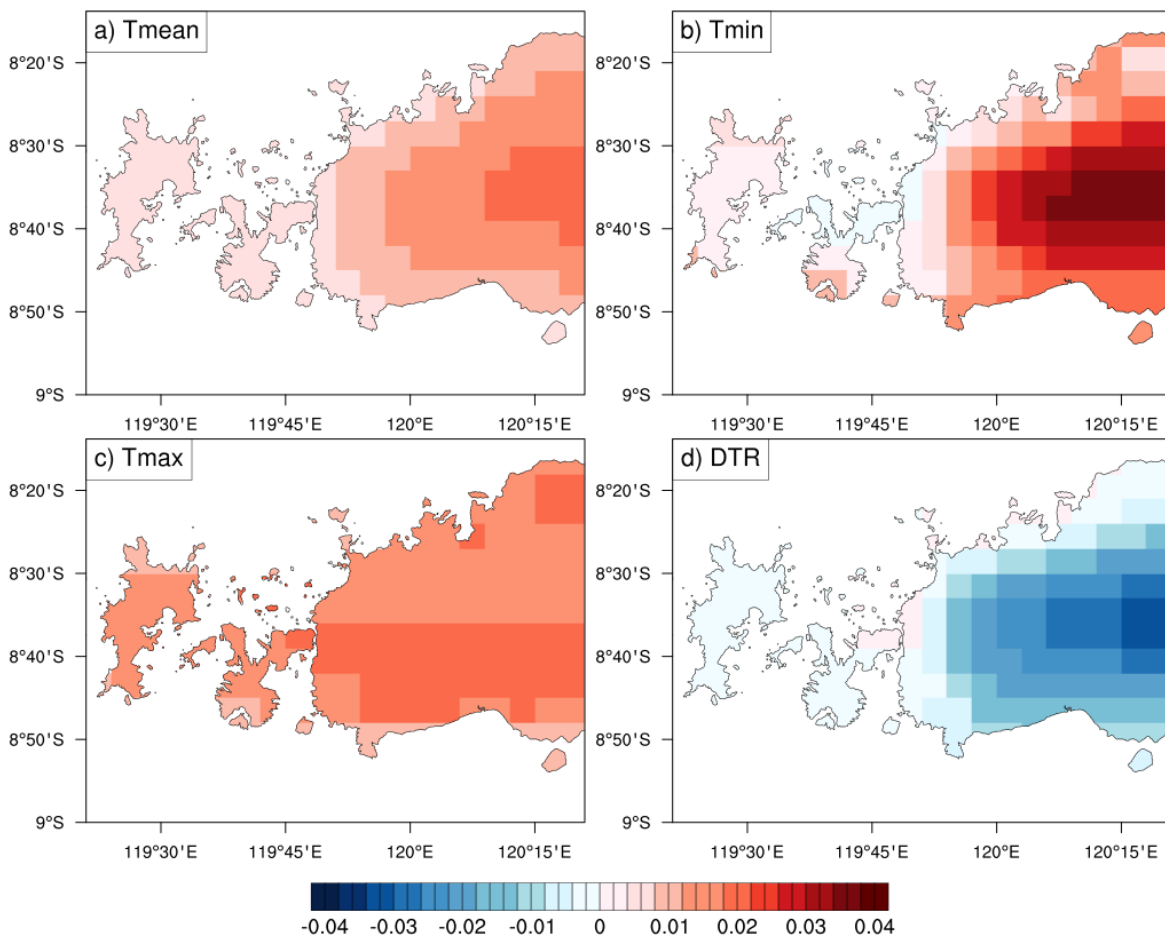
Tren suhu udara periode historis di Kabupaten Manggarai Barat menunjukkan laju peningkatan untuk semua jenis variable suhu udara (dekat) permukaan, baik suhu udara rata-rata, suhu udara minimum, dan suhu udara maksimum. Konsekuensi dari tren peningkatan suhu udara maksimum dan minimum tersebut yaitu terjadinya tren penurunan selisih antara suhu maksimum dan minimum harian yang dikenal dengan istilah *diurnal temperature range* (DTR). Dengan terjadinya peningkatan suhu maksimum dan minimum, jarak atau rentang nilai antara suhu maksimum dan minimum semakin kecil. Laju tren peningkatan suhu udara rata-rata, suhu udara minimum, dan suhu udara maksimum yaitu masing-masing sebesar 0,0102 °C per-tahun, 0,0125 °C per-tahun, dan 0,0163 °C per-tahun. Sedangkan laju tren penurunan DTR relatif kecil, yaitu sebesar -0,009 °C per-tahun (Gambar 3-5).

Secara spasial, laju tren yang sama juga konsisten ditunjukkan untuk suhu udara rata-rata, suhu minimum, dan suhu maksimum, yang sama-sama menunjukkan peningkatan (Gambar 3-6). Wilayah bagian timur dari Kabupaten Manggarai barat yang didominasi oleh wilayah perbukitan menunjukkan laju tren peningkatan suhu udara rata-rata dan suhu udara minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan di bagian barat yang didominasi oleh wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Sementara suhu udara maksimum menunjukkan tren peningkatan yang hampir merata di seluruh wilayah kabupaten. Pola tren peningkatan dengan laju lebih tinggi di bagian timur berkontribusi lebih jelas terhadap laju tren penurunan yang lebih tinggi dari DTR di wilayah tersebut, dibandingkan dengan di wilayah bagian timurnya.



Gambar 3-5 Tren data tahunan dari a) suhu udara rata-rata (Tmean), b) suhu udara minimum (Tmin), c) suhu udara maksimum (Tmax), dan d) selisih suhu udara harian (diurnal temperature range, DTR) dihitung dari rata-rata wilayah Kabupaten Manggarai Barat menggunakan data CHIRTS v1.0 periode 1985-2014.

Tren Spasial Suhu Udara di Kabupaten Manggarai Barat (Periode 1985-2014)

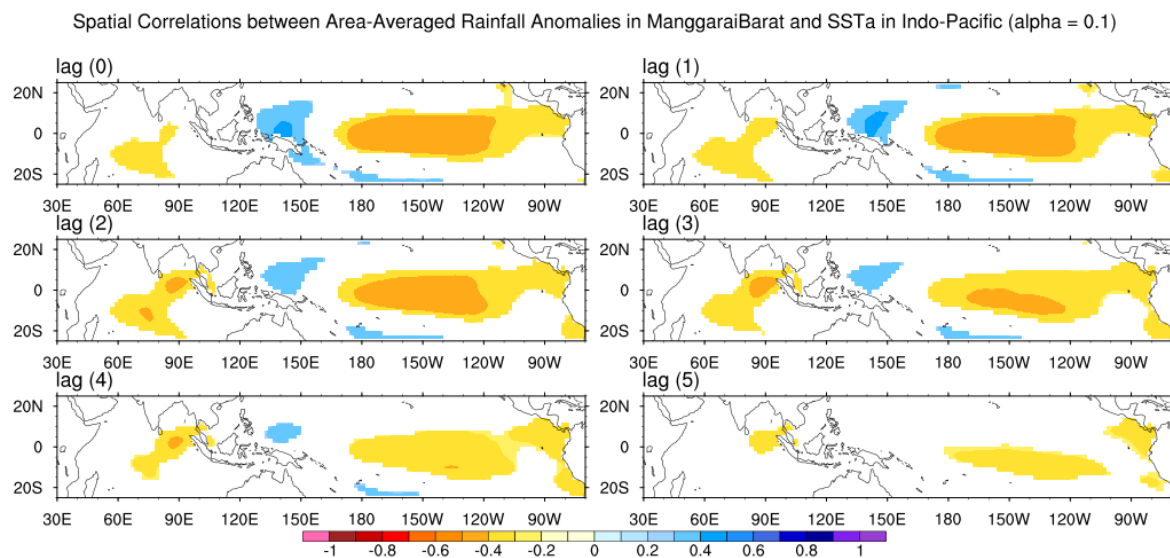


Gambar 3-6 Tren spasial data tahunan dari a) suhu udara rata-rata (Tmean), b) suhu udara minimum (Tmin), c) suhu udara maksimum (Tmax), dan d) selisih suhu udara harian (diurnal temperature range, DTR) dihitung dari rata-rata wilayah Kabupaten Manggarai Barat menggunakan data CHIRTS v1.0 periode 1985-2014.

3.1.2 Keragaman Iklim

Curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai variabilitas iklim yang mempunyai variasi skala waktu, mulai dari skala waktu pendek, menengah, dan panjang. Variabilitas iklim ini mempunyai berbagai pola spasial tertentu yang diikuti dengan dampak yang berbeda di tiap wilayah dan mempunyai tendensi untuk berulang sesuai dengan skala waktunya. Dalam bagian ini, khususnya akan dibahas pengaruh fenomena *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) terhadap variabilitas iklim di wilayah kajian.

Fenomena ENSO, yang terdiri dari El-Nino dan La-Nina, adalah faktor pengendali iklim yang memiliki pengaruh signifikan terhadap keragaman iklim khususnya curah hujan di Indonesia. El-Nino ditandai oleh kenaikan suhu permukaan laut di Samudera Pasifik dan penurunan suhu permukaan laut di sebagian besar wilayah perairan Indonesia, berimplikasi pada berkurangnya curah hujan dibandingkan kondisi normalnya. Sebaliknya, La-Nina ditandai oleh penurunan suhu permukaan laut di Samudera Pasifik tropika dan kenaikan suhu permukaan laut di perairan Indonesia, mengakibatkan peningkatan frekuensi dan intensitas curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia. Saat La-Nina berlangsung, kemungkinan hujan ekstrem di Indonesia meningkat, sementara keadaan berbalik saat terjadi El-Nino.



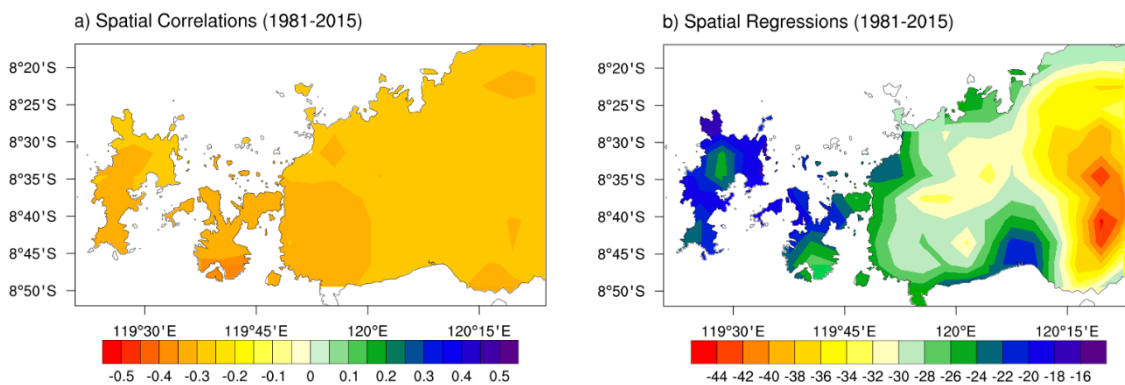
Gambar 3-7 Korelasi spasial pada lag 0 hingga 5 bulan antara curah hujan wilayah di Kabupaten Manggarai Barat dengan anomali suhu permukaan laut di Indo-Pasifik. Peta hanya menunjukkan kontur warna untuk nilai korelasi yang signifikan pada selang kepercayaan 90%.

Fenomena iklim dengan skala waktu antar-tahunan seperti ENSO juga dapat memengaruhi variabilitas atau anomali curah hujan di Manggarai Barat. Gambar 3-7 menunjukkan korelasi spasial antara anomali curah hujan rata-rata wilayah di Kabupaten Manggarai Barat dengan anomali suhu permukaan laut di wilayah lautan yang luas di Kawasan Indo-Pasifik yang mencakup Samudera Pasifik, Samudera Hindia, dan perairan Indonesia. Fenomena ENSO dapat dimonitor melalui variasi anomali SPL di kawasan Samudera Pasifik Tropis khususnya di bagian timur dan tengah, yang biasanya dihubungkan dengan zonasi indeks Nino-1.2, Nino-3, Nino-3.4, dan Nino-4. Sehingga korelasi yang signifikan ($r = -0,3$ hingga $-0,4$) pada

Gambar 3-4 di wilayah tersebut menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari fenomena ENSO terhadap keragaman atau anomali curah hujan di Kabupaten Manggarai Barat. Nilai korelasi negatif menunjukkan peningkatan anomali SPL di wilayah Pasifik yang berkaitan dengan fenomena El Nino berkaitan dengan penurunan curah hujan yang seringkali berimplikasi pada perpanjangan musim kemarau atau kekeringan di wilayah Kabupaten Manggarai Barat. Sebaliknya, penurunan anomali SPL di wilayah Pasifik tersebut berhubungan dengan peristiwa La Nina yang menyebabkan peningkatan curah hujan di wilayah kajian.

Berdasarkan gambar yang sama (Gambar 3-7), korelasi signifikan negatif juga ditemukan di wilayah Samudera Hindia. Korelasi ini menunjukkan juga adanya pengaruh fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) dengan anomali curah hujan di Kabupaten Manggarai Barat, walaupun nilai korelasinya tidak sekuat korelasi di Samudera Pasifik. Secara sederhana, fenomena IOD adalah terjadinya anomali suhu muka laut di wilayah barat Samudra Hindia dan Indonesia. Ketika IOD negatif, terjadi peningkatan suhu di wilayah Indonesia dan penurunan suhu di Samudra Hindia. Peningkatan suhu muka laut yang meningkatkan jumlah uap air dan juga diikuti oleh angin baratan menyebabkan peningkatan curah hujan di wilayah Indonesia (Hamada *et al.*, 2012a; Nur'utami and Hidayat, 2016; Saji *et al.*, 1999; Saji and Yamagata, 2003). Hal sebaliknya terjadi ketika IOD positif. Fenomena IOD, dan ENSO dapat terjadi secara bersamaan dan melemahkan atau meningkatkan dampak yang terjadi (Hamada *et al.*, 2012b; Nur'utami and Hidayat, 2016; Shinoda and Han, 2005; Tangang *et al.*, 2008; Wilson *et al.*, 2013).

Spatial Correlations of Rainfall Anomalies with Nino-34 Index Spatial Regressions of Rainfall Anomalies with Nino-34 Index

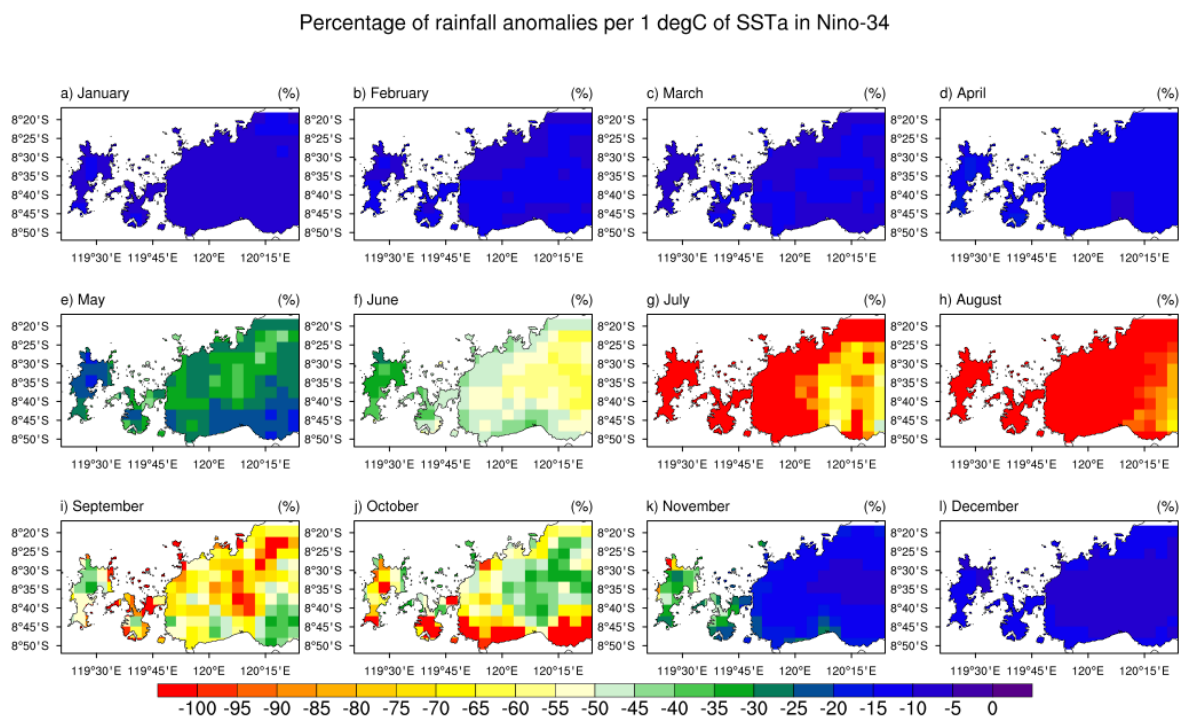


Gambar 3-8 Hubungan antara indeks Nino-3.4 yang merepresentasikan fenomena ENSO baik El Nino maupun La Nina dan curah hujan spasial di wilayah Kabupaten Manggarai Barat. Keterkaitan hubungan linear direpresentasikan oleh nilai a) korelasi spasial, dan gambaran setiap 1 derajat peningkatan atau penurunan nilai indeks Nino-3.4 terhadap curah hujan direpresentasikan oleh nilai b) koefisien regresi spasial.

Gambar 3-8a menunjukkan korelasi antara indeks Nino-3.4 dengan anomali curah hujan spasial di Kabupaten Manggarai Barat ($r = -0.3$ hingga -0.4). Indeks Nino-3.4 merupakan salah satu indeks yang dihitung dari data anomali permukaan laut di bagian tengah Samudera Pasifik tropika yang biasa digunakan untuk monitoring ENSO. Pengaruh dari ENSO terhadap curah hujan di Manggarai Barat dapat dilihat dari nilai koefisien regresi yang ditampilkan pada Gambar 3-8b. Nilai negatif pada koefisien regresi menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara indeks anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino-3.4 dengan

curah hujan. Setiap peningkatan per 1 nilai indeks Nino-3.4 berhubungan dengan penurunan rata-rata anomali curah hujan sekitar 16 hingga lebih dari 44 mm per bulan, atau sebaliknya. Keterkaitan hubungan ini dihitung lebih lanjut dalam bentuk perhitungan persentase pengaruh ENSO pada curah hujan setiap bulannya, sebagaimana disajikan pada Gambar 3-9.

Pada saat El Nino, persentase anomali curah hujan di wilayah Manggarai Barat mengalami penurunan yang signifikan mulai dari bulan Juni-Oktober (Gambar 3-9). Persentase terendah terjadi pada bulan Juli dan Agustus sebesar -50 hingga -100%, bahkan lebih. Hal ini mengindikasikan bahwa curah hujan di kawasan tersebut mengalami penurunan sebesar 50 hingga lebih dari 100% dari kondisi rata-ratanya saat terjadi El Nino. Persentase anomali curah hujan mengalami penurunan pada bulan November-April disebabkan peningkatan curah hujan rata-rata pada bulan-bulan tersebut akibat pengaruh monsun. Pada bulan September, persentase penurunan curah hujan yang tertinggi terdapat di wilayah bagian barat Kabupaten Manggarai, sementara pada bulan Oktober persentase penurunan curah hujan tertinggi pindah ke bagian selatan. Pada saat La Nina, kondisi sebaliknya terjadi, dimana curah hujan mengalami peningkatan ketika terjadi penurunan nilai indeks Nino-3.4.



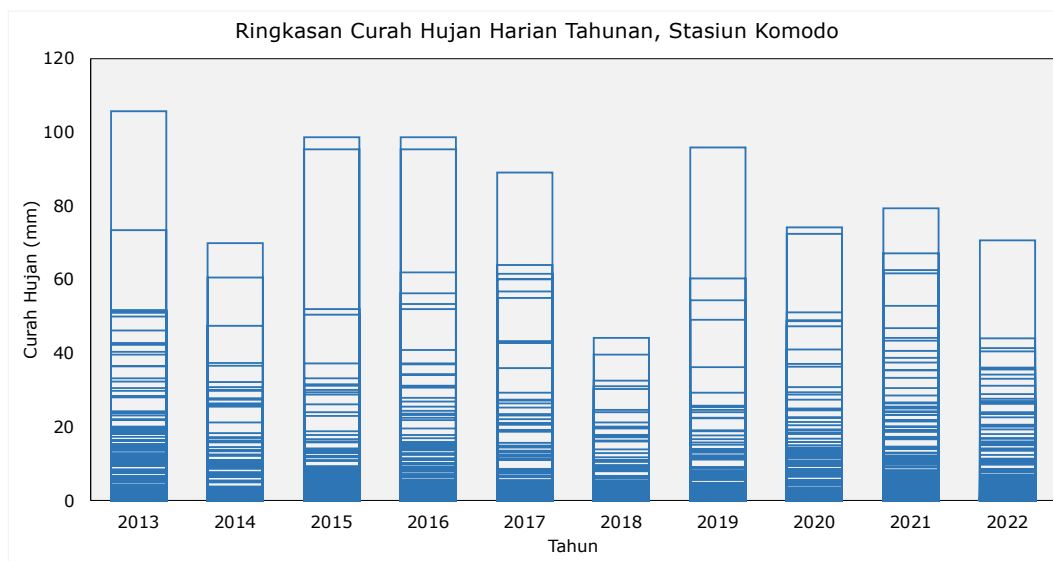
Gambar 3-9 Persentase penurunan (peningkatan) anomali curah hujan di Kabupaten Manggarai Barat terhadap nilai rata-rata (normal) setiap bulannya terhadap peningkatan (penurunan) 1 °C anomali suhu permukaan laut di zona Nino 3.4. Nilai negatif pada persentase menunjukkan terjadinya penurunan curah hujan saat terjadi El Nino dan peningkatan saat terjadi La Nina.

3.1.3 Iklim Ekstrim

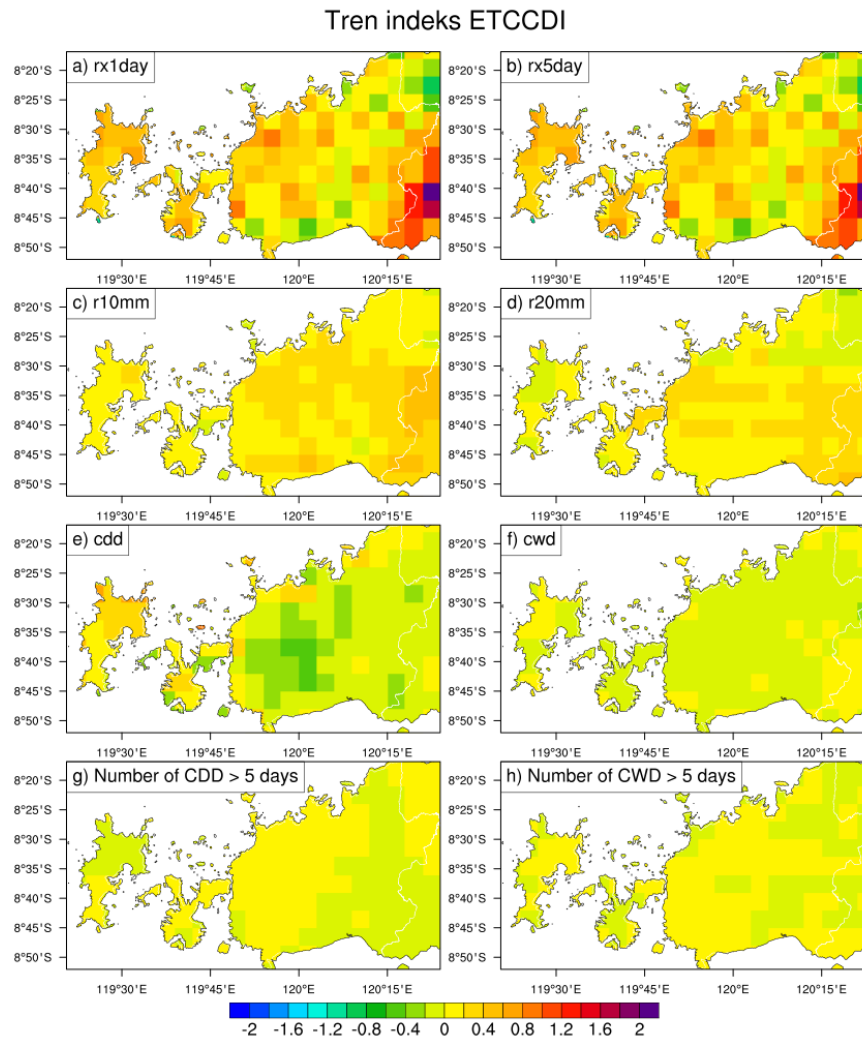
Bencana terkait iklim di wilayah Indonesia didominasi oleh bencana hidrometeorologis yang sebagian besar berkaitan dengan kejadian ekstrim dari curah hujan, baik untuk kondisi ekstrim basah maupun ekstrim kering. Kejadian banjir umumnya disebabkan karena

frekuensi dan intensitas curah hujan lebat atau ekstrem yang terjadi dalam satu hari atau lebih. Statistik dari data curah hujan harian dalam periode waktu tertentu dapat menunjukkan kondisi dan karakteristik ekstrem yang terjadi di suatu wilayah.

Gambar 3-10 menunjukkan visualisasi sederhana dari ringkasan data curah hujan harian di Stasiun Komodo setiap tahunnya selama tahun 2013 hingga 2022. Garis horizontal di dalam grafik batang setiap tahunnya menunjukkan nilai hujan harian yang sebagian besar menumpuk di curah hujan rendah. Semakin tinggi nilai curah hujannya, jumlah kejadiannya semakin jarang atau ekstrem. Tahun 2013 memiliki curah hujan maksimum harian tertinggi dengan nilai intensitas sebesar 106 mm/hari. Sementara intensitas curah hujan harian maksimum tahun 2015, 2016 dan 2019 nilainya berada sedikit di bawah 100 mm/hari, yaitu masing-masing 99, 99, dan 96 mm/hari.



Gambar 3-10. Ringkasan curah hujan harian tahunan dari Stasiun Komodo periode pengamatan 2013-2022. Variasi nilai curah hujan harian dalam setahun ditampilkan dalam satu diagram batang untuk setiap tahunnya yang menunjukkan rentang nilai hujan dari nilai paling rendah hingga paling ekstrem setiap tahunnya.



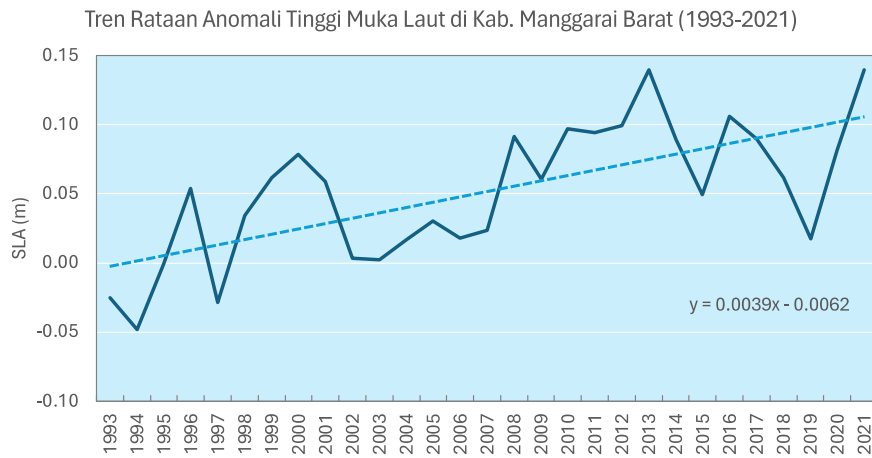
Gambar 3-11 Tren spasial beberapa indeks ekstrim ETCCDI

Analisis tren spasial sejumlah indeks ekstrim ETCCDI menunjukkan bahwa wilayah Manggarai Barat cenderung mengalami variasi tren penurunan dan peningkatan yang tersebar secara spasial pada beberapa indeks ekstrim basah seperti RX1day, RX5day (Gambar 3-11). Trend Rx1day dan Rx5day menunjukkan sebagian besar wilayah cenderung mengalami tren peningkatan, khususnya di bagian tengah dan barat. Sedangkan tren penurunan dari kedua indeks tersebut nampak di sebagian wilayah timur dan selatan. Indeks R10 mm dan R20 mm secara umum menunjukkan tren yang meningkat di sebagian besar wilayah kabupaten. Sebaliknya, tren CDD yang menjadi satu-satunya proksi yang berkaitan dengan kekeringan atau ekstrim kering, menunjukkan tren penurunan di sebagian besar wilayahnya, dengan laju tertinggi terdapat di wilayah bagian tengah. Pengecualian terjadi untuk wilayah utara dan kepulauan di bagian barat seperti di Pulau Rinca, Pulau Komodo, dan pulau lainnya.

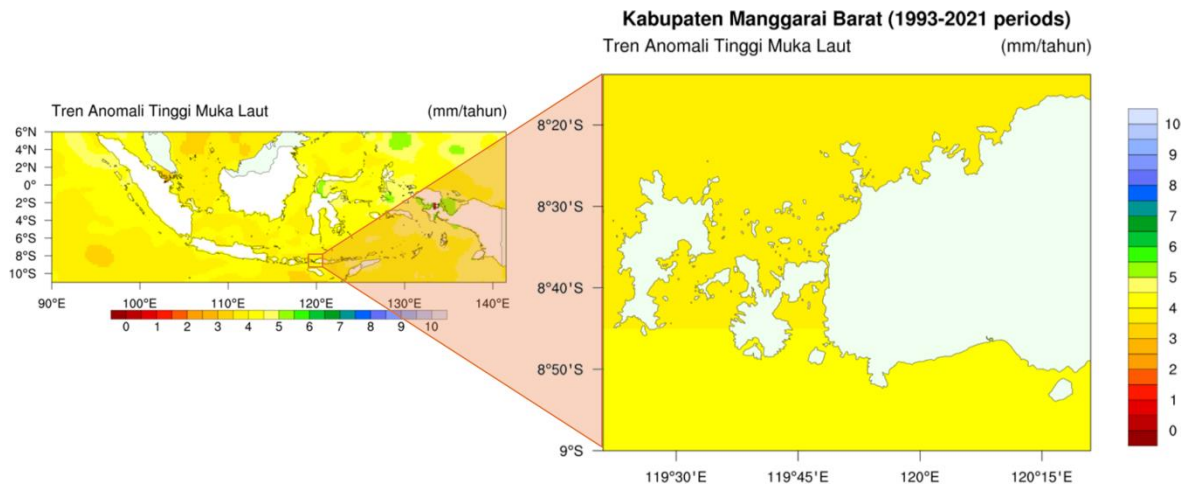
3.1.4 Tren Anomali Tinggi Muka Laut

Data historis hasil pengamatan satelit altimetri periode 1993-2021 menunjukkan tren peningkatan anomali tinggi muka laut di perairan di sekitar wilayah Kabupaten Manggarai Barat dengan laju sebesar 0,0039 m/tahun atau 3,9 mm/tahun (Gambar 3-12). Pola spasial

dari tren disajikan pada Gambar 3-13 yang menunjukkan tren dengan laju peningkatan berada di rentang kisaran 3,5-4,5 mm/tahun.



Gambar 3-12 Tren rata-rata wilayah anomali tinggi muka laut di perairan Kabupaten Manggarai Barat periode tahun 1993-2021 berdasarkan data satelit dari basis data Copernicus.

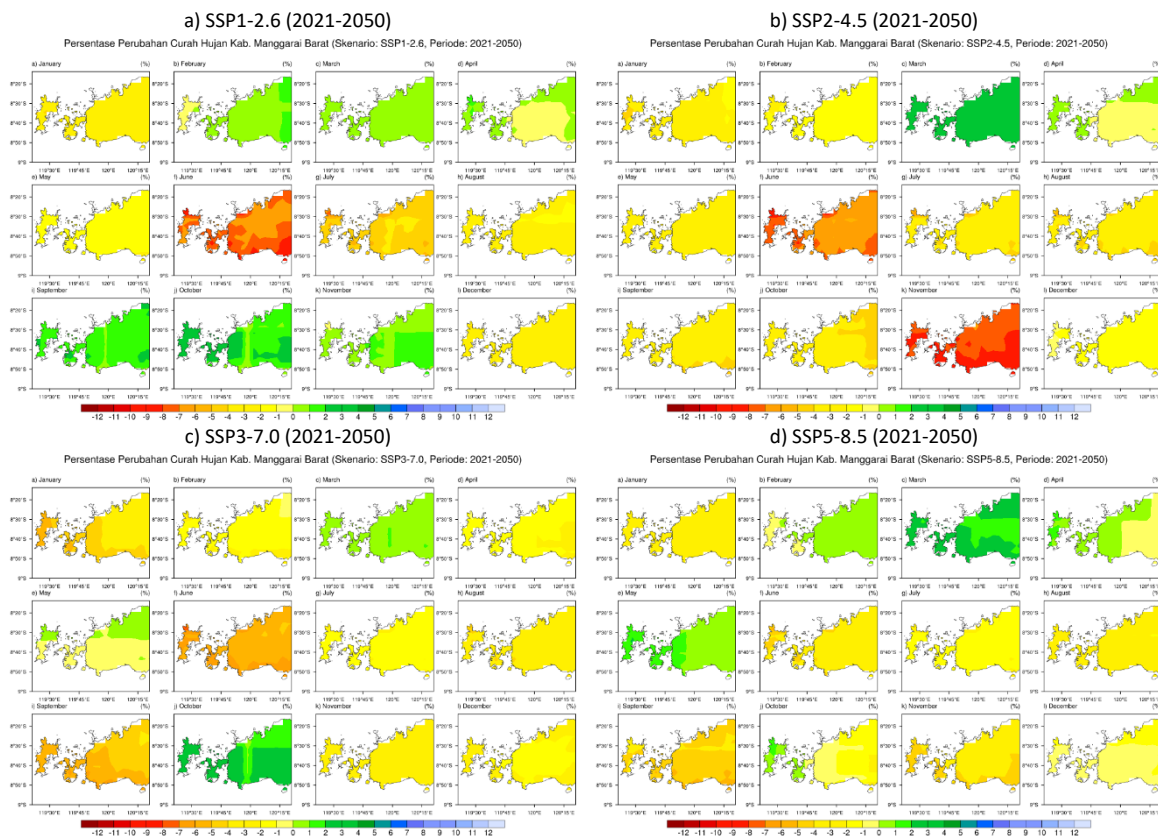


Gambar 3-13 Tren rata-rata wilayah anomali tinggi muka laut di perairan Kabupaten Manggarai Barat periode

3.2 Proyeksi Perubahan Iklim

3.2.1 Proyeksi Curah Hujan

Curah hujan merupakan unsur penting dalam iklim, terutama di daerah tropis seperti Indonesia. Banyak sektor tergantung pada hujan terutama untuk pasokan air yang memenuhi berbagai kebutuhan baik konsumsi, pertanian, dan industri. Hujan juga berperan penting dalam memicu bencana hidrometeorologis seperti banjir, kekeringan, dan tanah longsor, yang merupakan jenis bencana yang paling sering terjadi di Indonesia. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari proyeksi curah hujan untuk memahami bagaimana perubahan iklim di masa depan, dengan berbagai skenario, dapat mempengaruhi pola dan karakteristik curah hujan. Perubahan ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, akan berdampak pada banyak sektor, dan mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dan sosial-ekonomi masyarakat.

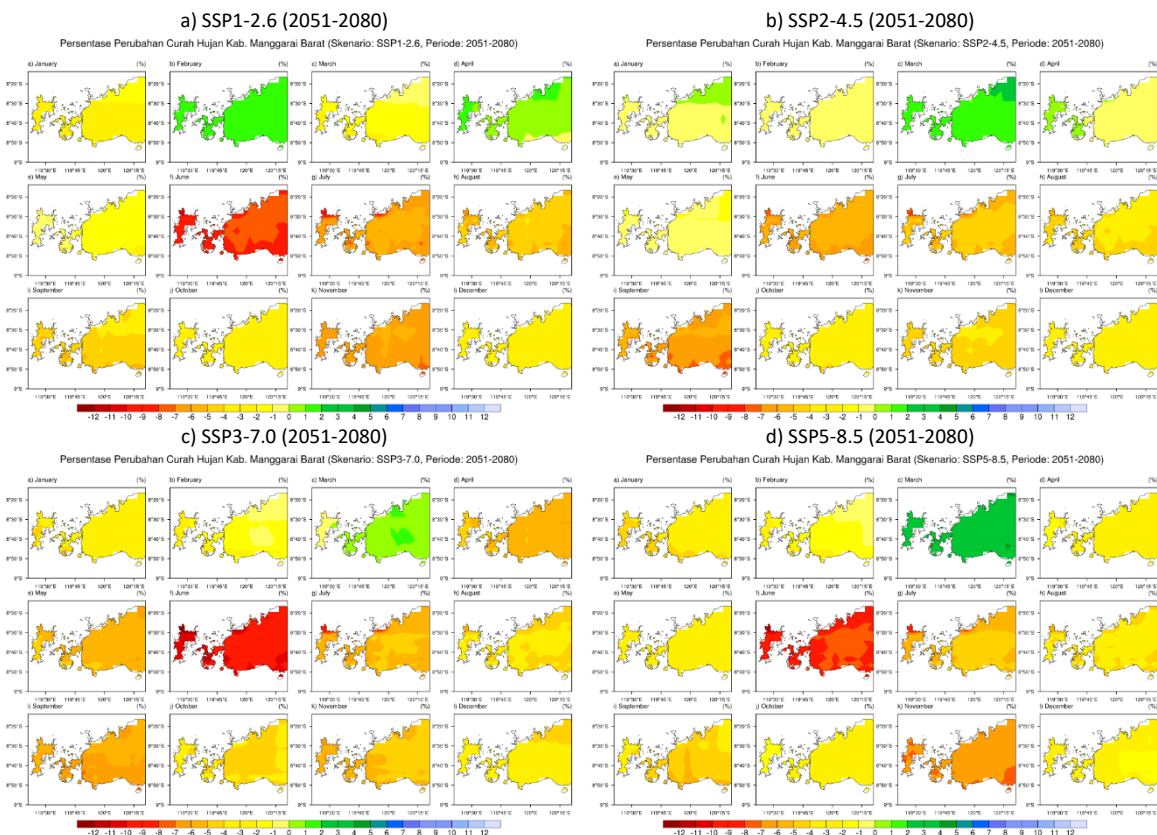


Gambar 3-14 Persentase perubahan curah hujan rata-rata bulanan di masa depan pada periode 2021-2050 berdasarkan proyeksi MME GCM dengan skenario a) SSP1-2.6, b) SSP2-4.5, c) SSP3-7.0, dan d) SSP5-8.5.

Proyeksi perubahan curah hujan pada berbagai skenario SSP (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, dan SSP5-8.5) disajikan pada Gambar 3-14 untuk periode 2021-2050, dan Gambar 3-15 untuk periode 2051-2080. Gambar proyeksi ditampilkan dalam bentuk persentase perubahan curah hujan yang dihitung relatif terhadap rata-rata 30 tahun periode historis tahun 1985-2014 dengan menggunakan nilai rata-rata dari gabungan delapan model GCM (*MME mean*).

Pada skenario yang mengedepankan aspek keberlanjutan (*Sustainability*) yaitu skenario SSP1-2.6, untuk periode 2021-2050, menunjukkan adanya bulan-bulan dengan peningkatan

persentase curah hujan, khususnya di bulan Februari, Maret, April, September, Oktober dan November. Sedangkan pada bulan lainnya menunjukkan persentase penurunan. Hasil proyeksi dari skenario tersebut berbeda dengan skenario lainnya. Pada representasi skenario SSP2 (Jalan Tengah/*Middle of the Roads*) yang diwakili oleh SSP2-4.5, hampir seluruh bulan menunjukkan persentase penurunan curah hujan, kecuali di bulan Maret dan April (sebagian wilayah). Persentase penurunan tertinggi diproyeksikan terjadi di bulan November, mencapai 10%. Dominasi bulan-bulan dengan persentase penurunan curah hujan diproyeksikan juga terjadi untuk skenario SSP3-7.0 dan SSP5-8.5, dengan sedikit perbedaan pada bulan yang mengalami persentase peningkatan curah hujan rata-rata bulanan.



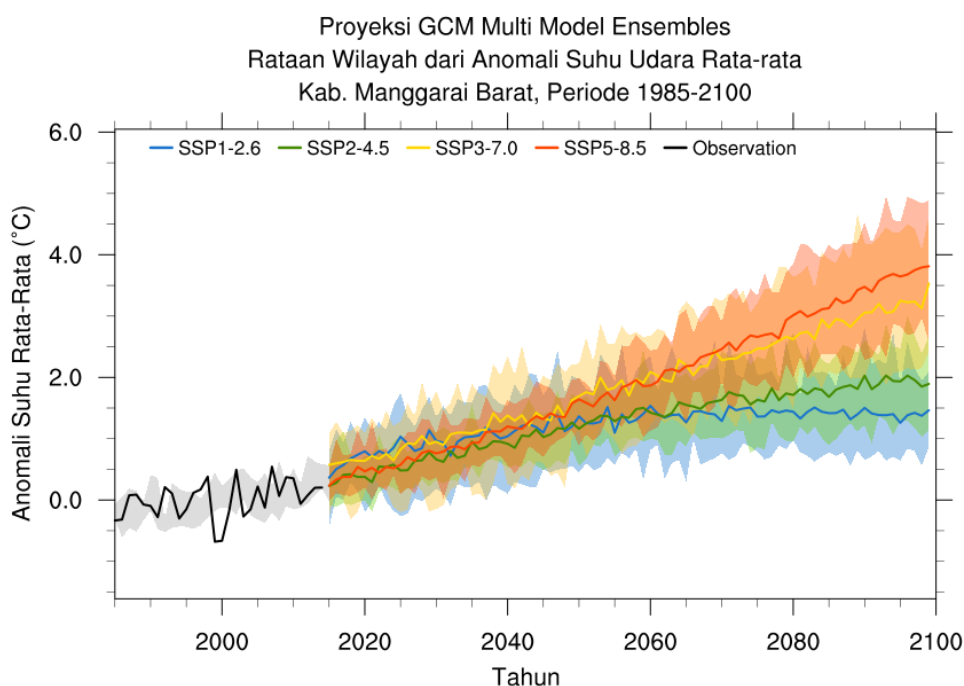
Gambar 3-15 Persentase perubahan curah hujan rata-rata bulanan di masa depan pada periode 2051-2080 berdasarkan proyeksi MME dengan skenario a) SSP1-2.6, b) SSP2-4.5, c) SSP3-7.0, dan d) SSP5-8.5.

Pada periode 2051-2080, wilayah Kabupaten Manggarai Barat diproyeksikan akan mengalami penurunan curah hujan rata-rata dengan persentase yang lebih besar dibandingkan dengan periode 2021-2050. Persentase penurunan curah hujan tertinggi mencapai lebih dari 10% diproyeksikan terjadi pada bulan Juni di semua skenario kecuali pada SSP2-4.5. Proyeksi peningkatan persentase penurunan curah hujan rata-rata di masa depan mengindikasikan kemungkinan terjadinya peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian kondisi iklim ekstrem kering yang umumnya berhubungan dengan bencana kekeringan.

3.2.2 Proyeksi Suhu Udara

Pada periode historis, suhu udara rata-rata telah menunjukkan adanya tren peningkatan. Kondisi ini diperkirakan akan berlanjut di masa depan, berdasarkan hasil downscaling untuk

proyeksi dengan menggunakan MME GCM pada berbagai skenario SSP. Tren peningkatan suhu udara rata-rata tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-16. Rataan MME menunjukkan peningkatan suhu rata-rata di bawah 2 °C pada tahun 2100 untuk skenario SSP1-2.6 dan SSP2-4.5. Sedangkan pada skenario SSP3-7.0 dan SSP5-8.5 menunjukkan nilai peningkatan anomali suhu lebih dari 2 °C mulai dari sekitar tahun 2060, dengan laju peningkatan lebih tinggi terjadi pada skenario SSP5-8.5. Pada tahun 2100, nilai rataan MME dari suhu udara pada skenario tersebut mengalami peningkatan mendekati hampir 4 °C, dengan kemungkinan rentang ketidakpastian (*uncertainty*) di atas 4 °C. Peningkatan suhu rata-rata dapat berdampak pada berbagai bidang mulai dari pertanian, kesehatan, pariwisata, dan lainnya. Khusus di Kabupaten Manggarai Barat yang mengandalkan sektor pariwisata, tren peningkatan suhu rata-rata dapat berpengaruh pada indeks kenyamanan, rusaknya terumbu karang, potensi kebakaran hutan dan lahan, dan potensi pengaruh terhadap satwa.



Gambar 3-16 Proyeksi anomali suhu udara rata-rata tahunan periode 2015-2100 dari rataan wilayah Kabupaten Manggarai Barat berdasarkan rentang ansambel multi model GCM untuk skenario SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, dan SSP5-8.5. Nilai anomali dihitung relatif terhadap data rata-rata observasi periode 1985-2014.

3.2.3 Proyeksi Indeks Iklim Ekstrim

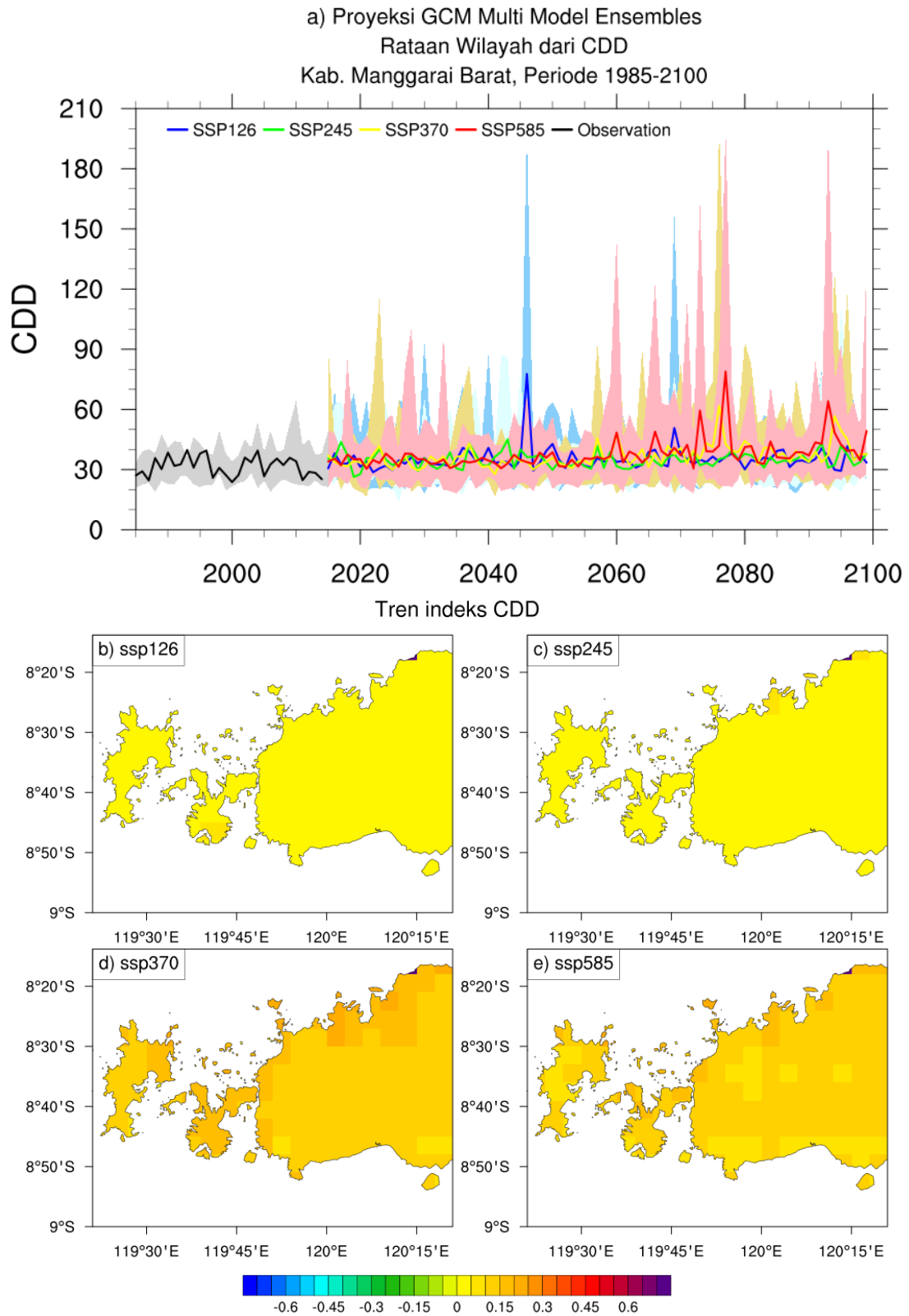
Perspektif yang lebih komprehensif tentang proyeksi perubahan curah hujan di Kabupaten Manggarai Barat di masa mendatang perlu disajikan, yaitu melalui analisis proyeksi indeks iklim ekstrim yang diturunkan dari data curah hujan harian. Grafik time series yang menunjukkan visualisasi kecenderungan atau tren masing-masing indeks mulai dari periode historis hingga periode proyeksi di masa akan datang disertai dengan gambar peta tren spasialnya, disajikan pada Gambar 3-17 hingga Gambar 3-22. Analisis dilakukan pada data proyeksi beberapa indeks ekstrim ETCCDI, di antaranya yaitu indeks CDD yang mewakili indeks ekstrim kering, dan beberapa indeks ekstrim basah seperti CWD, R10MM, R20MM, RX1DAY, dan RX5DAY (untuk penjelasan lebih detail tentang masing-masing indeks, silakan lihat Tabel 2-3). Pada grafik time series, rentang ketidakpastian (*uncertainty*) dihitung

menggunakan nilai minimum dan maksimum dari MME dari delapan GCM yang digunakan dalam studi ini. Selain itu dihitung juga nilai rata-rata dari MME tersebut. Grafik menampilkan kombinasi dari data historis dan luaran model mulai dari periode baseline hingga periode proyeksi (tahun 2015-2099) yang diperoleh dari hasil downscaling curah hujan harian hasil luaran delapan model GCM berdasarkan skenario SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, dan SSP5-8.5.

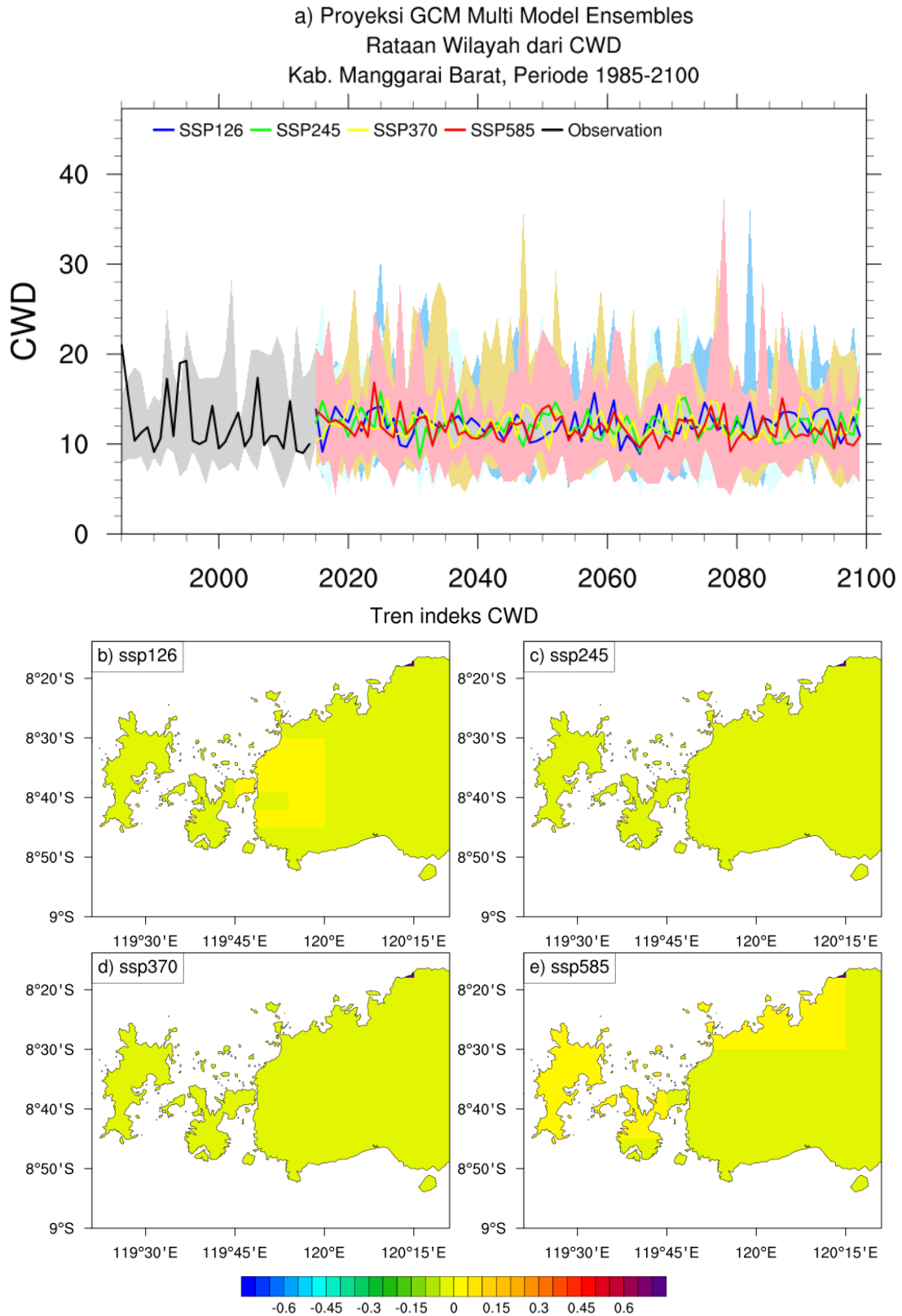
Berdasarkan Gambar 3-17a, indeks ekstrim kering CDD untuk wilayah Manggarai Barat diproyeksikan akan mengalami peningkatan pada seluruh skenario perubahan iklim. Tren peningkatan paling tinggi terlihat pada skenario SSP5-8.5. Peningkatan tren juga diiringi oleh peningkatan variabilitas dengan potensi peningkatan intensitas dan frekuensi CDD di masa depan. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan semakin meningkatnya suhu global di masa depan, akan mendorong kemungkinan peningkatan peluang kondisi ekstrim kering seperti kekeringan di wilayah tersebut. Tren peningkatan CDD pada berbagai skenario SSP dapat dilihat pada peta tren spasial yang menunjukkan laju tren kenaikan terlihat lebih tinggi pada skenario SSP3-7.0 dan 5-8.5 (Gambar 3-17 d dan e) dibandingkan skenario SSP1-2.6 dan 2-4.5 (Gambar 3-17 b dan c).

Kondisi ekstrim kering yang diproyeksikan akan semakin meningkat di Kabupaten Manggarai Barat di masa akan datang dapat terlihat juga dari semakin menurunnya tren indeks ekstrim basah CWD yang menunjukkan deret hari basah maksimum akan cenderung semakin pendek. Gambar 3-18 menunjukkan bahwa indeks ekstrim basah CWD untuk wilayah Manggarai Barat diproyeksikan akan cenderung mengalami penurunan di seluruh skenario SSP. Namun demikian, laju tren penurunannya tidak terlalu besar, dan terdapat pula sebagian wilayah yang memiliki tren positif yaitu pada skenario SSP1-2.6 dan SSP5-8.5.

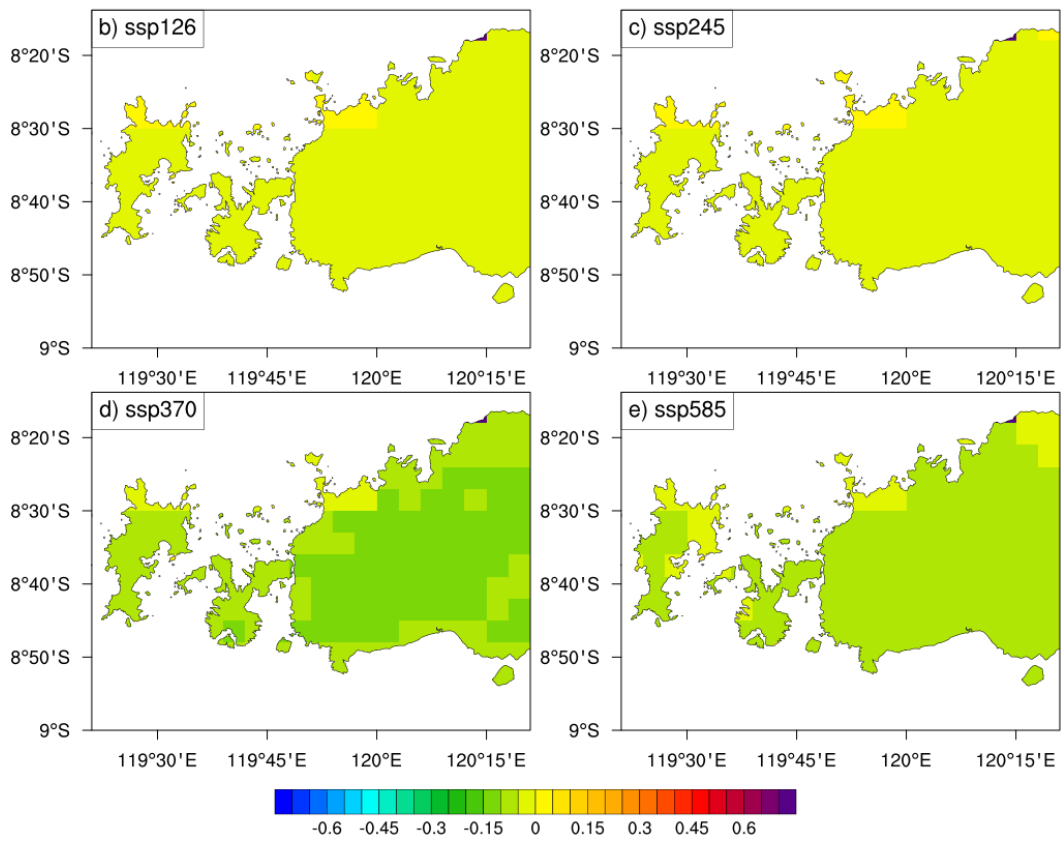
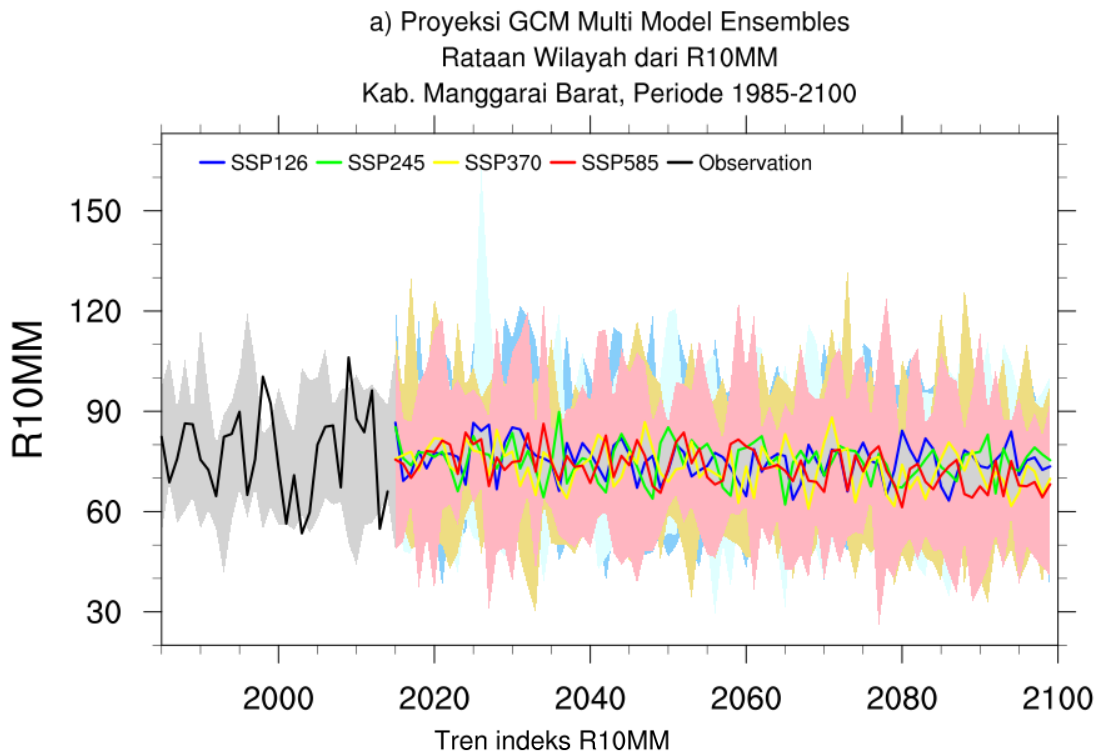
Dari sisi frekuensi kejadian, curah hujan ekstrim dengan ambang batas lebih dari 10 mm/hari (R10MM) menunjukkan tren yang menurun dengan laju tertinggi terdapat pada skenario SSP3-7.0 (Gambar 3-19). Tren penurunan tersebut juga ditunjukkan oleh indeks R20MM pada semua skenario kecuali skenario SSP2-4.5 (Gambar 3-20). Sebaliknya, dari sisi intensitas kejadian, intensitas curah hujan ekstrim yang diwakili oleh indeks RX1DAY (Gambar 3-21) dan RX5DAY (Gambar 3-22), keduanya sama-sama menunjukkan adanya tren peningkatan di semua skenario SSP.



Gambar 3-17 Proyeksi indeks CDD periode 2015-2099: a) Grafik time series rata-ran wilayah indeks CDD untuk wilayah Kabupaten Manggarai Barat ; dan b-e) tren spasial berdasarkan skenario SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, dan SSP5-8.5, dihitung dari periode proyeksi 2015-2099.

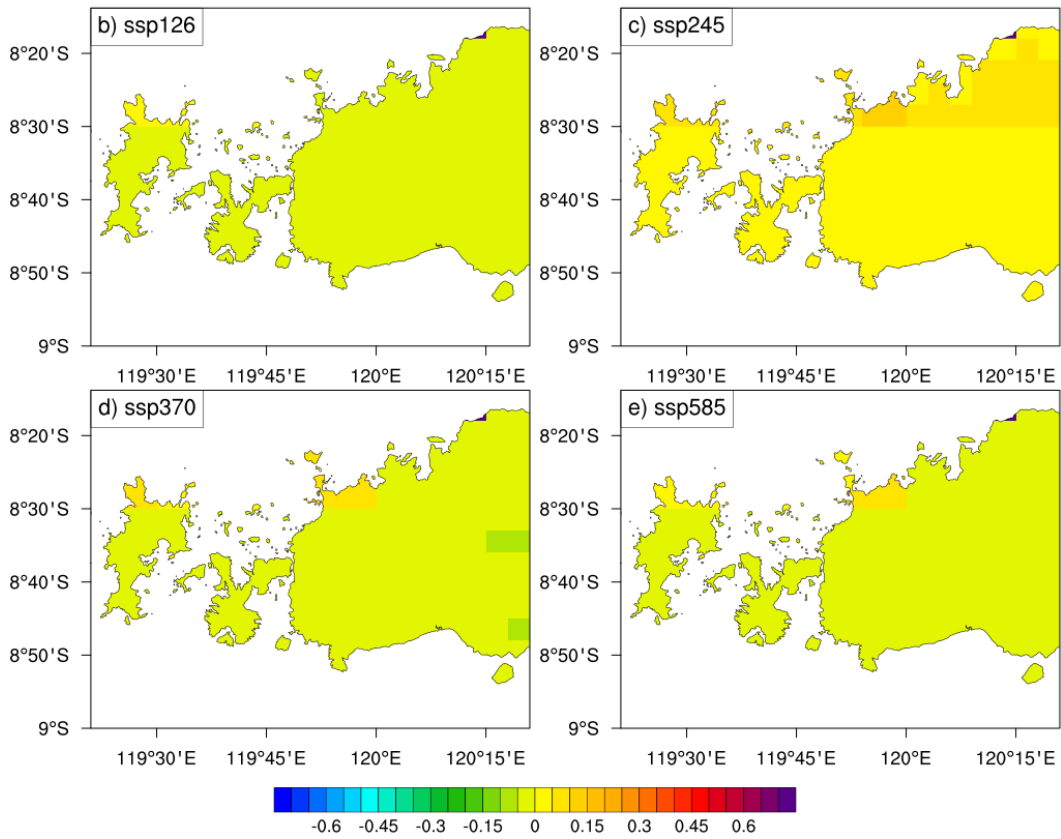
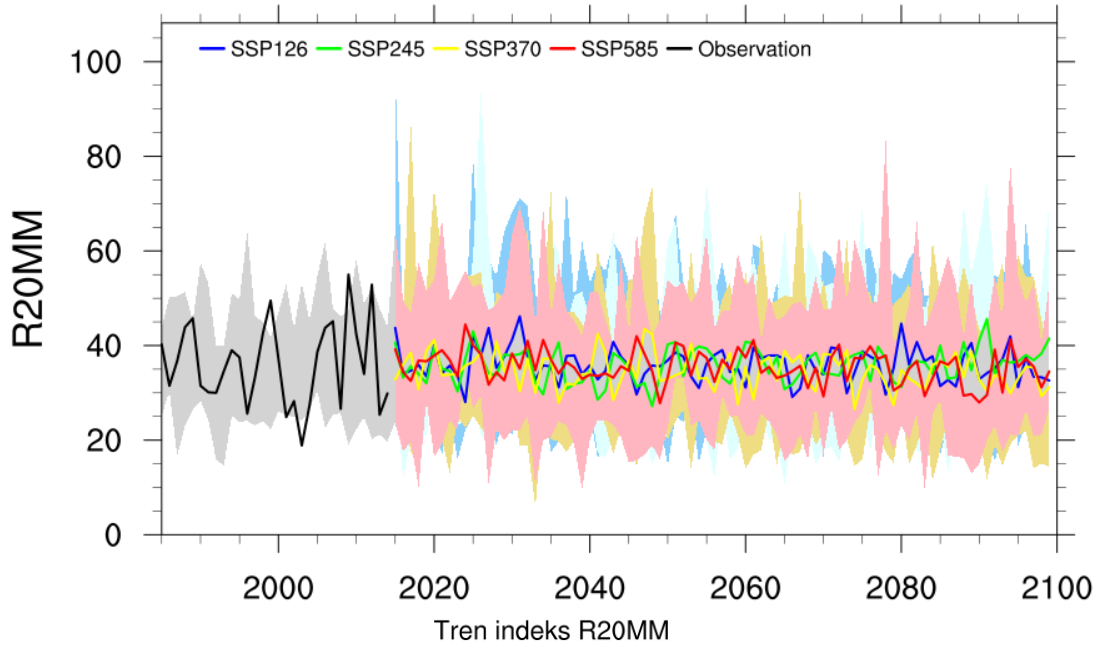


Gambar 3-18 Tren spasial indeks ekstrim basah CWD untuk wilayah Kabupaten Manggarai Barat, dihitung dari periode proyeksi 2015-2099.

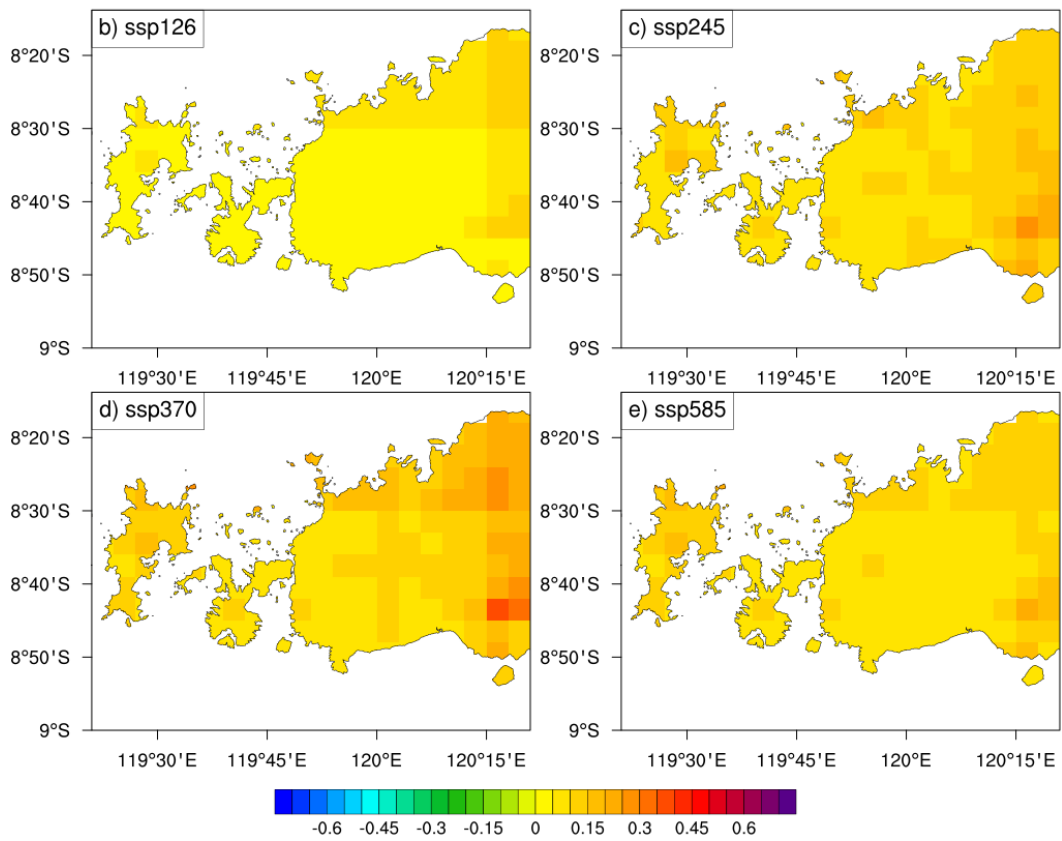
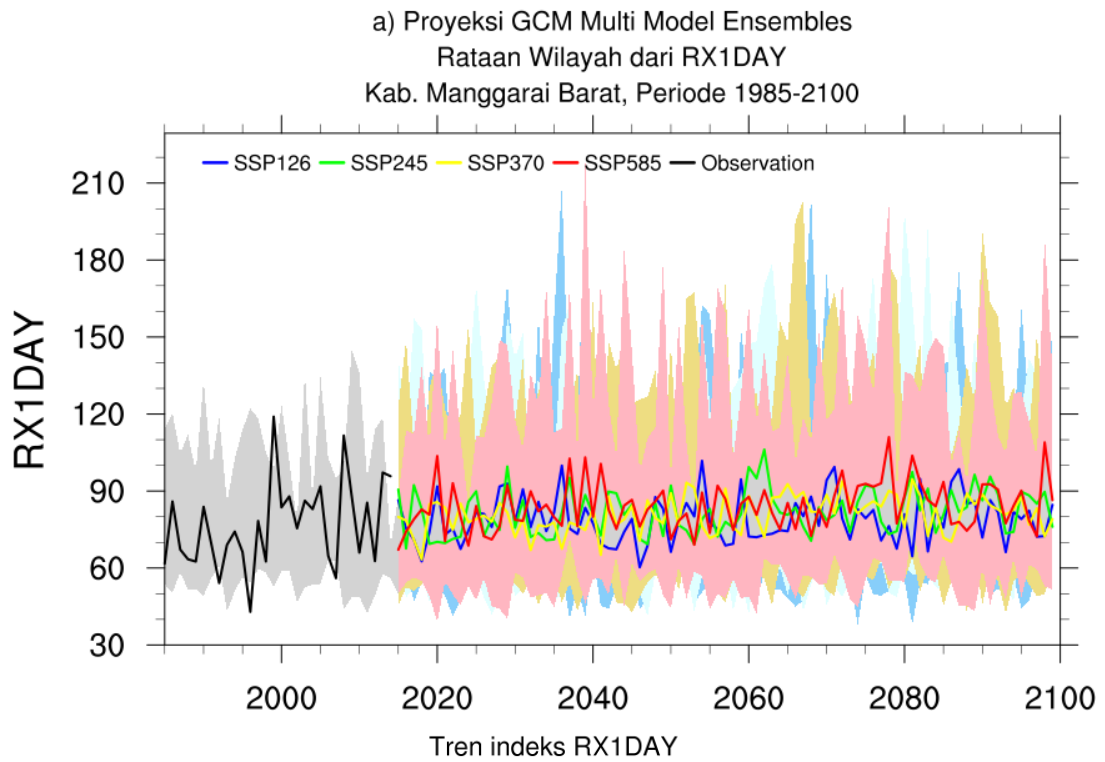


Gambar 3-19 Tren spasial indeks ekstrim basah r10mm untuk wilayah Kabupaten Manggarai Barat, dihitung dari periode proyeksi 2015-2099.

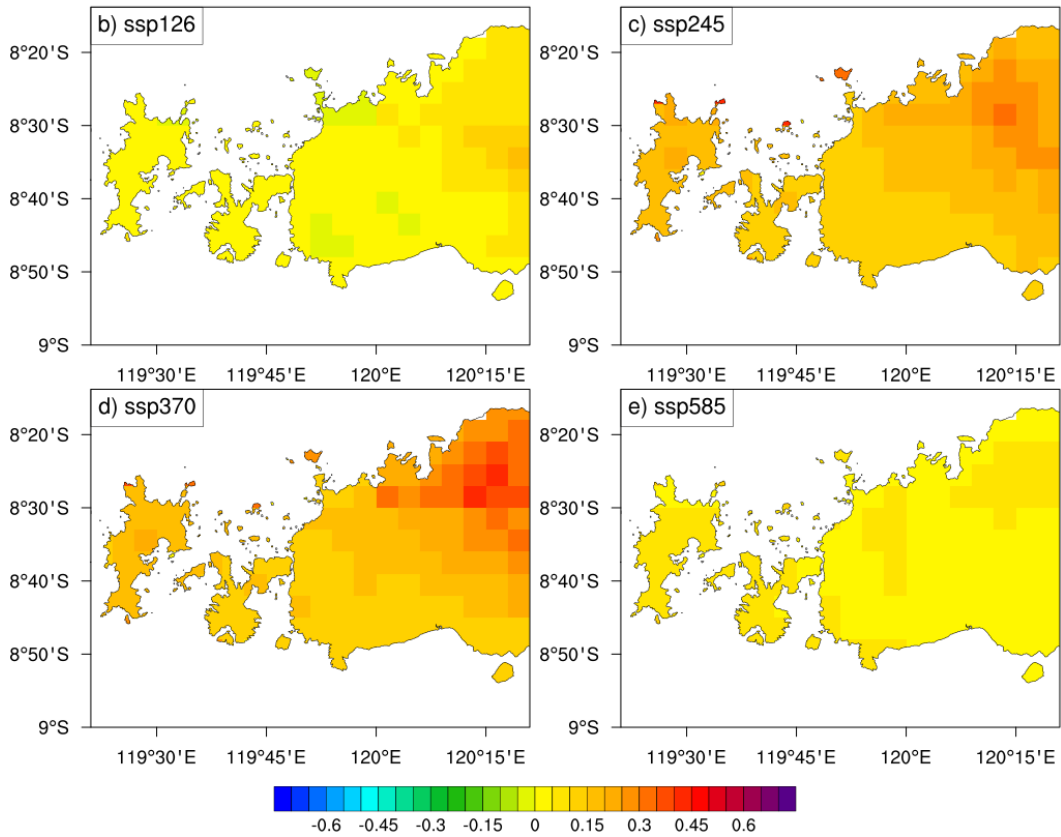
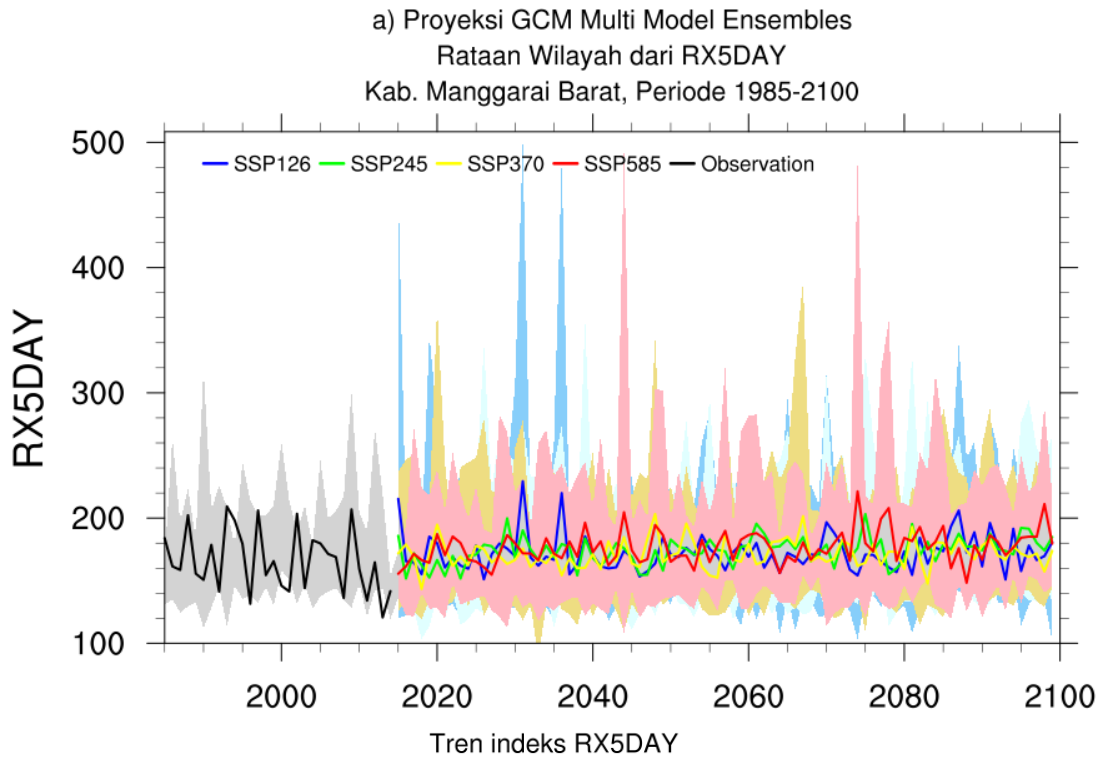
a) Proyeksi GCM Multi Model Ensembles
Rataan Wilayah dari R20MM
Kab. Manggarai Barat, Periode 1985-2100



Gambar 3-20 Tren spasial indeks ekstrim basah r20mm untuk wilayah Kabupaten Manggarai Barat, dihitung dari periode proyeksi 2015-2099.



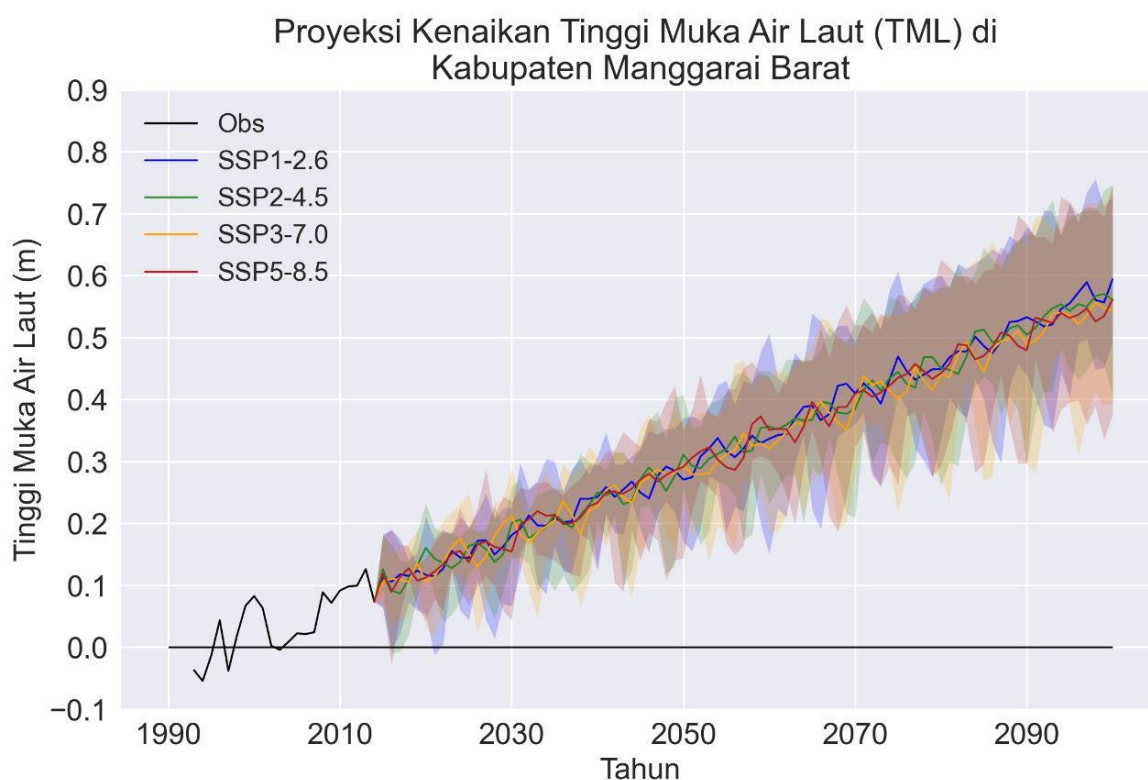
Gambar 3-21 Tren spasial indeks ekstrem basah rx1day untuk wilayah Kabupaten Manggarai Barat, dihitung dari periode proyeksi 2015-2099.



Gambar 3-22 Tren spasial indeks ekstrim basah rx5day untuk wilayah Kabupaten Manggarai Barat, dihitung dari periode proyeksi 2015-2099.

3.2.4 Proyeksi Kenaikan Tinggi Muka Air Laut

Tren peningkatan tinggi muka air laut (TML) di Kabupaten Manggarai Barat telah terjadi pada periode historis. Laju peningkatan ini diproyeksikan akan terus meningkat di masa depan dengan adanya perubahan iklim. Gambar 3-23 menunjukkan tren peningkatan dengan perkiraan peningkatan air laut akan mencapai rata-rata sekitar 0,3 meter di tahun 2050 dengan rentang ketidakpastian berada di kisaran 0,15-0,4 meter. Sementara pada tahun 2100, peningkatan rata-rata tinggi muka air laut diproyeksikan akan mencapai mendekati 0,6 meter secara rata-rata, dengan rentang ketidakpastian berada di kisaran 0,36-0,75 meter. Naiknya tinggi muka air laut berpotensi akan mempengaruhi kehidupan masyarakat di wilayah pesisir, dan berdampak pada sektor pariwisata yang menjadi salah satu andalan bagi Kabupaten Manggarai Barat. Banyak bangunan dan infrastruktur di wilayah pesisir yang akan terdampak dengan naiknya tinggi muka air laut, karena akan semakin mendorong air laut masuk lebih dalam ke daratan secara permanen. Hal ini akan meningkatkan kemungkinan terjadinya bencana banjir di pesisir atau banjir rob yang terjadi saat terjadi pasang air laut, yang kemungkinan akan semakin parah jika kejadiannya bersamaan dengan banjir limpasan yang disebabkan oleh hujan ekstrim.



Gambar 3-23 Proyeksi rata-rata wilayah kenaikan tinggi muka air laut di perairan di sekitar pesisir Kabupaten Manggarai Barat berdasarkan koreksi dari luaran model pada berbagai skenario SSP. Perhitungan dilakukan berdasarkan nilai rata-rata dari luaran dua model GCM yaitu ACCESS-CM2 dan NorESM2-MM yang sudah dikoreksi.

4 Kesimpulan

Wilayah Kabupaten Manggarai Barat secara historis telah mengalami dampak dari pengaruh variabilitas dan perubahan iklim. Secara umum, variabilitas atau anomali curah hujannya dipengaruhi oleh fenomena ENSO pada saat El Nino dan La Nina. El Nino menyebabkan curah hujan lebih rendah dari biasanya (Bawah Normal), sehingga dapat menyebabkan bencana kekeringan. Sedangkan pada saat La Nina, hujan turun dengan frekuensi dan intensitas yang lebih tinggi dari biasanya (Atas Normal), memicu terjadinya bencana hidrometeorologis seperti banjir dan tanah longsor. Selain itu indikasi adanya pengaruh perubahan iklim yang telah terjadi dapat dilihat dari adanya tren peningkatan intensitas curah hujan ekstrim yang dilihat dari indeks ekstrim basah RX1DAY dan RX5DAY. Tren peningkatan juga dapat dilihat dari data historis anomali tinggi muka laut di perairan sekitar wilayah tersebut.

Berdasarkan proyeksi iklim masa depan dengan menggunakan MME dari data GCM CMIP6 pada empat skenario SSP, ancaman perubahan iklim diproyeksikan akan terus berlanjut dan semakin meningkat, khususnya berkaitan dengan curah hujan ekstrim, baik ekstrim kering maupun ekstrim basah. Peluang kejadian kekeringan diproyeksikan akan mengalami peningkatan dilihat dari tren peningkatan indeks CDD yang biasanya dijadikan proksi untuk kondisi ekstrim kering. Kondisi ini juga didukung oleh tren penurunan indeks CWD yang berkaitan dengan kondisi ekstrim basah. Namun demikian, walaupun terdapat indikasi adanya peningkatan kondisi ekstrim kering di masa depan, bukan berarti wilayah Kabupaten Manggarai Barat akan terbebas dari dampak ekstrim basah. Intensitas curah hujan ekstrim diproyeksikan akan juga mengalami peningkatan, dilihat melalui adanya tren peningkatan indeks RX1DAY dan RX5DAY di masa depan pada semua skenario SSP. Walaupun di sisi lain, indeks R10MM dan R20MM yang menunjukkan frekuensi kejadian curah hujan ekstrim, justru mengalami tren penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. and Susanto, R.D., 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23: 1435-1452.
- Faqih, A., 2017. A Statistical Bias Correction Tool for Generating Climate Change Scenarios in Indonesia based on CMIP5 Datasets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 58(1): 012051.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A. and Michaelson, J., 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1): 150066.
- Funk, C., Peterson, P., Peterson, S., Shukla, S., Davenport, F., Michaelson, J., Knapp, K.R., Landsfeld, M., Husak, G., Harrison, L., Rowland, J., Budde, M., Meiburg, A., Dinku, T., Pedreros, D. and Mata, N., 2019. A High-Resolution 1983–2016 Tmax Climate Data Record Based on Infrared Temperatures and Stations by the Climate Hazard Center. *Journal of Climate*, 32(17): 5639-5658.
- IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Naylor, R.L., Battisti, D.S., Vimont, D.J., Falcon, W.P. and Burke, M.B., 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *PNAS*, 104(19): 7752–7757.
- O'Neill, B.C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K. and Sanderson, B.M., 2016. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.*, 9(9): 3461-3482.
- Piani, C., Haerter, J.O. and Coppola, E., 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1): 187-192.
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A. and Tavoni, M., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42: 153-168.
- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T. and Nemani, R., 2022. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. *Scientific Data*, 9(1): 262.