

**PENERAPAN TEKNIK *STATISTICAL DOWNSCALING*
DALAM PROYEKSI CURAH HUJAN DAERAH ALIRAN
SUNGAI KRUENG ACEH TAHUN 2021-2100**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

DHIYA SHAPHIRA

NIM. 180702014

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M/1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PENERAPAN TEKNIK *STATISTICAL DOWNSCALING* DALAM PROYEKSI CURAH HUJAN DAERAH ALIRAN SUNGAI KRUENG ACEH TAHUN 2021-2100

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:
DHIYA SHAPHIRA
NIM. 180702014

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128907


M. Faisi Ikhwal, M.Eng
NIDN. 2008109101

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENERAPAN TEKNIK *STATISTICAL DOWNSCALING* DALAM PROYEKSI CURAH HUJAN DAERAH ALIRAN SUNGAI KRUENG ACEH TAHUN 2021-2100

TUGAS AKHIR

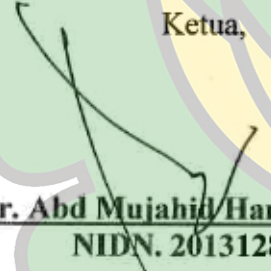
Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan


Pada Hari/Tanggal: Selasa, 28 Desember 2022
04 Jumadil Akhir 1444 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir:

Ketua,

Sekretaris,


Dr. Abd Mujahid/Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901


M. Faisi Hkhwali, M.Eng
NIDN. 2008109101

Penguji I,

Penguji II,


Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
NIDN. 2002028301


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIDN. 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dhiya Shaphira
NIM : 180702014
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul : Penerapan Teknik *Statistical Downscaling* Dalam Proyeksi Curah Hujan Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh Tahun 2021-2100

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenaisanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 15 Desember 2022
Yang Menyatakan,



Dhiya
Dhiya Shaphira
NIM. 180702014

ABSTRAK

Nama : Dhiya Shaphira
NIM : 180702014
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Penerapan Teknik *Statistical Downscaling* Dalam Proyeksi Curah Hujan Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh Tahun 2021-2100
Tanggal Sidang : 28 Desember 2022
Jumlah Halaman : 92
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Pembimbing II : M. FaisiIkhwal, M.Eng
Kata Kunci : Perubahan iklim, curah hujan, *Statistical Downscaling*, DAS

Perubahan iklim dapat diakibatkan secara langsung atau tidak langsung baik dari aktivitas manusia maupun fenomena alam yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global. Perubahan iklim di masa mendatang dapat diprediksi untuk mengetahui strategi adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim. Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah ekosistem yang penting bagi kehidupan manusia dan bisa rusak karena perubahan iklim, misalnya karena perubahan pol Curah hujan yang terjadi. Curah hujan merupakan variabel iklim yang digunakan dalam memprediksi model iklim. Proyeksi iklim di masa mendatang dapat menggunakan data iklim global seperti General Circulation Model (GCM), tetapi data keluaran GCM resolusi spasial masih tergolong rendah untuk memprediksi iklim di masa mendatang secara regional. Oleh karena itu, diperlukannya metode *statistical downscaling model* (SDSM) dalam memproyeksikan iklim secara lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proyeksi curah Hujan di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan menggunakan *Statistical Downscaling Model* (SDSM). Metode SDSM mampu memprediksikan curah hujan di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan menggunakan skenario *Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)*. SSPs adalah skenario perubahan iklim berdasarkan faktor-faktor sosial ekonomi dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan iklim dengan tiga scenario yaitu SSP 1-2.6 (emisi rendah), SSP 2-4.5 (emisi sedang) dan SSP 5-8.5 (emisi tinggi) diperoleh hasil downscaling curah hujan maksimum di Daerah Aliran sungai Krueng Aceh 2021-2100 diprediksi mengalami peningkatan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa curah hujan maksimum terendah di Daerah Aliran sungai Krueng Aceh mencapai 261,36 untuk SSP 5-8.5 pada tahun 2076, curah hujan maksimum rata-rata mencapai 330,86 mm pada tahun 2021-2100 dan curah hujan maksimum tertinggi mencapai 445,71 mm pada tahun 2054 untuk SSP 1-2.6.

ABSTRACT

Name : Dhiya Shaphira
NIM : 180702014
Department : Environmental Engineering
Title : Application of Statistical Downscaling Techniques in Rainfall Projections for the Krueng Aceh Watershed in 2021-2100
Dte Of Sessions : 28 December 2022
Number of Pages : 92
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
Advisor II : M. FaisiIkhwal, M.Eng
Keywords : Climate change, rainfall, statistical downscaling, watershed

Climate change can be caused directly or indirectly from both human activities and natural phenomena that cause changes in the composition of the global atmosphere. Future climate change can be predicted in order to know strategies for adaptation and mitigation of climate change impacts. Watersheds (DAS) are important ecosystems for human life and can be damaged by climate change, for example due to changes in rainfall patterns that occur. Rainfall is a climate variable used in predicting climate models. Future climate projections can use global climate data such as the General Circulation Model (GCM), but the GCM spatial resolution output data is still relatively low to predict future climate regionally. Therefore, the Statistical Downscaling Model (SDSM) method is needed to project climate locally. This study aims to determine rainfall projections in the Krueng Aceh Watershed for the period 2021-2100 using the Statistical Downscaling Model (SDSM). The SDSM method is able to predict rainfall in the Krueng Aceh Watershed for the period 2021-2100 using the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) scenario. SSPs are climate change scenarios based on socio-economic factors that can influence climate change with three scenarios namely SSP 1-2.6 (low emission), SSP 2-4.5 (medium emission) and SSP 5-8.5 (high emission) the results obtained downscaling of maximum rainfall in the Krueng Aceh Watershed 2021-2100 is predicted to increase. The simulation results show that the lowest maximum rainfall in the Krueng Aceh Watershed reaches 261.36 for SSP 5-8.5 in 2076, the average maximum rainfall reaches 330.86 mm in 2021-2100 and the highest maximum rainfall reaching 445.71 mm in 2054 for SSP 1-2.6.

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat beserta salam penulis sanjung sajikan kepada baginda Nabi Muhammad SAW membawa kita ke alam kebodohan kealam yang penuh ilmu pengetahuan seperti yang kita rasakan sekarang ini.

Suatu kebanggaan dan kebahagiaan bagi penulis karena dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Penerapan Teknik *Statistical Downscaling* Dalam Proyeksi Curah Hujan Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh Tahun 2021-2100”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kurikulum pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh untuk dapat mencapai gelar Sarjana Teknik Lingkungan.

Pada Kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih tak terhingga kepada kedua Orang Tua penulis, Ayahanda Karimuddin S.P., dan Ibunda Nursiah S.Pd., beserta keluarga yang selalu mendukung serta memfasilitasi Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini selain itu, penulis berterima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi dan Dosen Penguji II dalam pelaksanaan sidang Tugas akhir penulis
4. Bapak Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc., selaku Dosen Penasehat Akademik.
5. Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah berkenan mengarahkan dan membimbing saya serta memberikan ilmu, saran dan solusi pada setiap permasalahan penulisan tugas akhir ini.

6. Bapak M. Faisi Ikhwal, S.T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah berkenan untuk mengarahkan dan membimbing saya dan memberikan ilmu, saran dan solusi.
7. Bapak Teuku Muhammad Ashari, M.Sc., selaku Dosen Penguji I dalam pelaksanaan tugas akhir penulis.
8. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Lingkungan yang telah membimbing dan mengajarkan banyak ilmu kepada penulis di masa perkuliahan.
9. Fatria Al Kautsar Syafri, S.T., Maulidianur, S.T., Muhammad Fadhil Zainuddin, S.T., Nur Azizah, S.T., selaku tim diskusi dalam melaksanakan penelitian ini dan membantu dalam mengambil data penelitian.
10. Intan Fadhilah, S.T., Della Jaswita, S.T., Delvi Febrilla Tizka S.T., Nurhasmah, S.T., Salsabila Khalisa, Dian Fatziaty, Riska Irayani dan teman-teman seperjuangan Teknik Lingkungan Angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi tugas akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala kebaikan dengan pahala yang berlipat ganda. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 15 Desember 2022

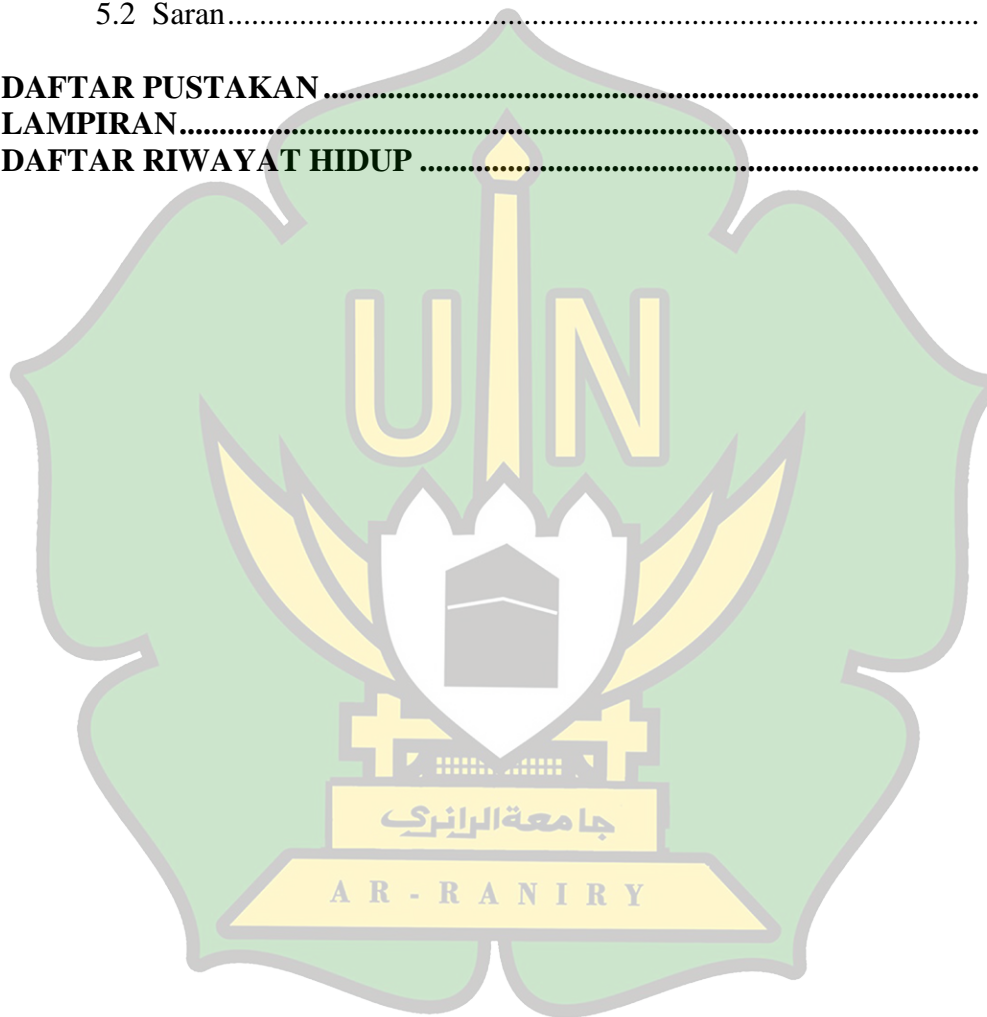
Penulis,

Dhiya Shaphira
NIM. 180702014

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Siklus Hidrologi	6
2.2 Daerah Aliran Sungai	7
2.3 Curah Hujan	10
2.4 Pola Curah Hujan di Indonesia.....	10
2.5 Perubahan Iklim dan Pemanasan Global.....	12
2.6 <i>Global Circulation Model</i> (GCM)	14
2.7 <i>Statistical Downscaling</i>	16
2.8 <i>Shared Socioeconomic Pathways</i> (SSPs).....	17
2.9 Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Jenis Penelitian.....	22
3.2 Wilayah yang dimodelkan.....	22
3.3 Data yang digunakan.....	23
3.4 Tahapan penelitian	23
3.4.1 Studi Literatur	24
3.4.2 Pengumpulan data penelitian.....	25
3.4.3 Tahapan Analisis downscaling dengan Statistical Downscaling Model.....	26
3.4.4 Evaluasi Model.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Kondisi Curah Hujan DAS Krueng Aceh Tahun 1995-2020.....	34
4.2 Pemilihan Variabel Prediktor	35
4.3 Kalibrasi dan validasi model.....	38

4.4	Pemodelan Curah Hujan Periode 1995-2020	40
4.5	Proyeksi Curah Hujan Bulanan Tahun 2021-2100	42
4.5	Proyeksi Curah Hujan Tahun 2021-2100.....	43
4.6	Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Berdasarkan Pola Curah Hujan di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh.....	49
BAB V PENUTUP.....		54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKAN		56
LAMPIRAN.....		61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		78

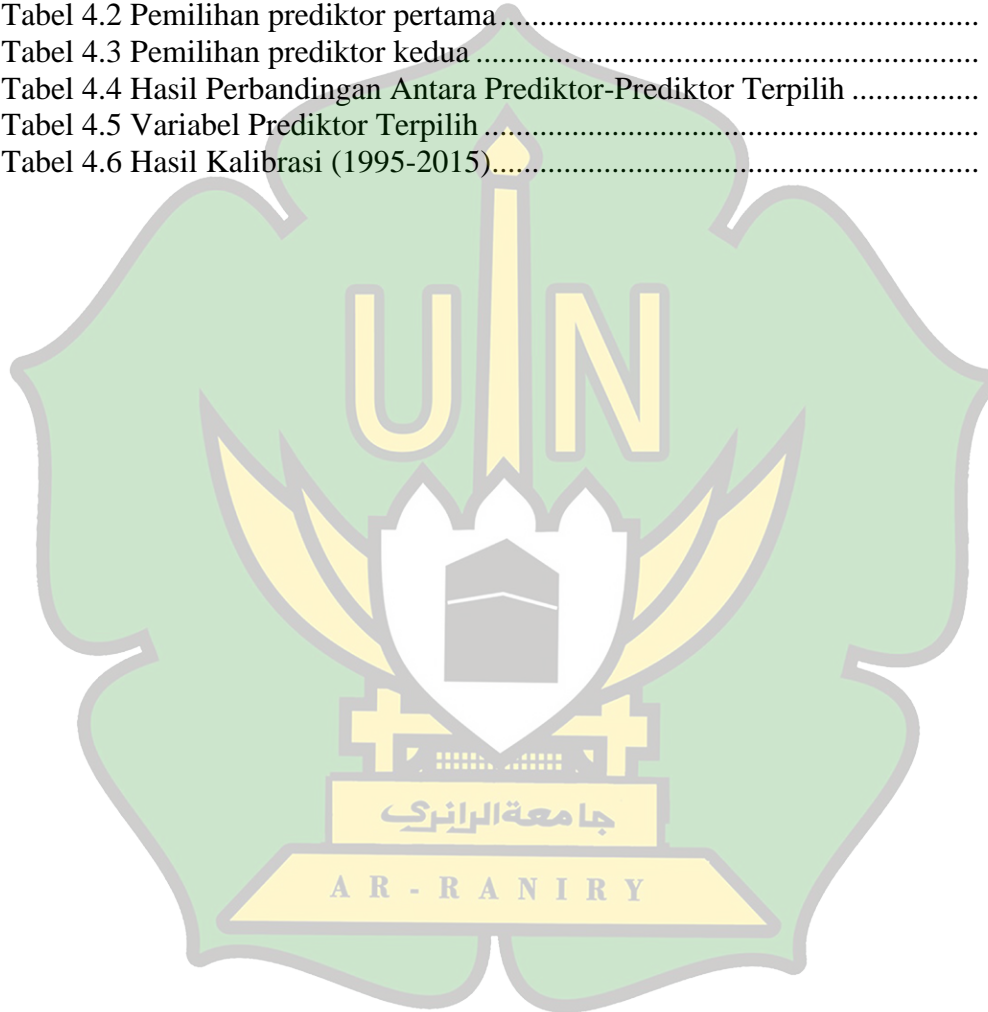


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus Hidrologi.....	7
Gambar 2.2	Ilustrasi Daerah Aliran Sungai	9
Gambar 2.3	Tiga wilayah iklim Indonesia.	11
Gambar 2.4	Mekanisme perubahan iklim	13
Gambar 2.5	Ilustrasi <i>Downscaling</i>	15
Gambar 2.6	Ilustrasi <i>Shared Socioeconomic Pathways</i>	18
Gambar 3.1	Peta Lokasi Penelitian	22
Gambar 3.2	Proaedur Penelitian.....	24
Gambar 3.3	Proses mengunduh Data GCM CanESM5 berdasarkan DAS Krueng Aceh.....	26
Gambar 3.4	Tampilan layar SDSM 4.2.....	27
Gambar 3.5	Langkah-Langkah SDSM	28
Gambar 4.1	Curah Hujan Bulanan DAS Krueng Aceh.....	35
Gambar 4.2	Hasil Kalibrasi Tahun 1995-2015	39
Gambar 4.3	Hasil Validasi SDSM (2016-2020)	40
Gambar 4.4	Grafik Curah Hujan Historical tahun 1995-2020	41
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Maksimum Observasi Dengan Data Historical	41
Gambar 4.6	Curah Hujan Bulanan Periode 2021-2022.....	42
Gambar 4.7	Curah Hujan Periode 2099-2100.....	43
Gambar 4.8	Curah Hujan Maksimum Periode 2021-2040	44
Gambar 4.9	Curah hujan maksimum Periode 2041-2060	45
Gambar 4.10	Curah hujan maksimum Periode 2061-2080	46
Gambar 4.11	Curah hujan maksimum Periode 2081-2100	47
Gambar 4.12	Grafik Curah Hujan maksimum Periode 2021-2100.....	48
Gambar 4.13	Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2021- 2040	49
Gambar 4.14	Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2041- 2060	50
Gambar 4.15	Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2061-2080.....	50
Gambar 4.16	Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2081- 2100	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Emisi <i>Shared Socioeconomic Pathways</i>	18
Tabel 2.2 Penelitian terdahulu.....	20
Tabel 3.1 Data Penelitian	23
Tabel 3.2 Data GCM CanESM5	25
Tabel 3.3 Parameter Atmosfer CanESM5.....	29
Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum (Observasi)	34
Tabel 4.2 Pemilihan prediktor pertama.....	36
Tabel 4.3 Pemilihan prediktor kedua	36
Tabel 4.4 Hasil Perbandingan Antara Prediktor-Prediktor Terpilih	37
Tabel 4.5 Variabel Prediktor Terpilih	38
Tabel 4.6 Hasil Kalibrasi (1995-2015).....	38



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
CanESM5	<i>Canadian Earth System Model Version 5</i>	4
CIFOR	<i>Center for International Forestry Research</i>	12
CMIP	<i>Coupled Model Intercomparison Project</i>	2
	<i>Coupled Model Intercomparison Project</i>	2
CMIP6	<i>Phase 6</i>	
DAS	<i>Daerah Aliran Sungai</i>	3
	<i>European Center for Medium-Range</i>	30
ECMWF	<i>Weather Forecasts</i>	
GCM	<i>Global Circulation Model</i>	2
GRK	<i>Gas Rumah Kaca</i>	14
	<i>Intergovernmental Panel on Climate</i>	2
IPCC	<i>Change</i>	
	<i>National Centers for Environmental</i>	30
NCEP-DOE	<i>Prediction</i>	
	<i>National Centers for Environmental</i>	
NCEP-DOE	<i>Prediction-Department of Energy</i>	
PBB	<i>Perserikatan Bangsa-Bangsa</i>	2
SDSM	<i>Statistical Downscaling Model</i>	3
SSPs	<i>Shared Socioeconomic Pathways</i>	5
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>	2
	<i>World Climate Research Programme</i>	2
WCRP-WGCM	<i>Working Group of Coupled Modelling</i>	
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>	2
LAMBANG		
CH ₄	<i>Metana</i>	14
CO ₂	<i>Karbon Dioksida</i>	1
Ha	<i>Hektar</i>	22
km ²	<i>Kilometer Persegi</i>	22
mm	<i>Milimeter</i>	10
N ₂ O	<i>Nitrous Oxide</i>	14
°C	<i>Derajat Celcius</i>	19
Pbias	<i>Persen bias</i>	35
R ²	<i>koefesien determinasi</i>	35
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Proyeksi Curah Hujan Bulanan Tahun 2021-2100	61
--	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada abad ke-21, perubahan iklim telah menjadi isu besar di dunia yang diperkirakan memiliki konsekuensi bencana bagi manusia dan lingkungan alam (Baghanam dkk., 2020). Salah satu permasalahan lingkungan hidup global adalah meningkatnya laju pemanasan global (*Global Warming*) yang menyebabkan perubahan iklim (Nufutomo, 2022). Pemanasan global merupakan bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi (Imran dkk., 2019). Pemanasan global diakibatkan oleh tingkat karbon dioksida (CO₂) yang meningkat secara global di atmosfer (Wardani, 2017).

Pemanasan global akan berdampak pada siklus hidrologi karena peningkatan suhu dan curah hujan mempengaruhi sistem ekologi, sosial, ekonomi, kesehatan, ekosistem perikanan, industri, pertanian, ketersediaan air, dan sebagainya. Kegiatan yang dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global seperti kegiatan industri, gas buang kendaraan bermotor, kegiatan produksi listrik, kebakaran hutan dan lahan. Kegiatan tersebut mengakibatkan terjadinya perubahandi bumi yang dibuktikan dengan banyaknya gas emisi atau gas buang yang terdapat di udara, sehingga udara pana yang terdapat di bumi sulit untuk dipantulkan ke atmosfer (Alfian dan Phelia, 2021).

Dampak dari perubahan iklim adalah bertambahnya intensitas kejadian cuaca ekstrim di suatu wilayah, perubahan pola hujan, serta peningkatan suhu dan permukaan air laut (Isdianto dan Luthfu, 2020). Dampak lainnya berupa variasi dan perubahan pola ketersediaan sumber daya air, kejadian hidrologi ekstrim seperti banjir, kekeringan, dan juga beberapa efek yang terjadi secara tidak langsung terhadap sektor pertanian dan penyediaan air (Fenta dan Disse, 2018). Perubahan suhu dan curah hujan dan akibatnya mempengaruhi karakteristik hidrologi di daerah aliran sungai (Hatmoko dan Diaz, 2020). Pengaruhnya banyak kejadian banjir dan kekeringan setiap tahunnya (Akhter dan Ahmad, 2017). Hal ini

menjelaskan bahwa perubahan iklim memiliki hubungan yang erat dengan pola curah hujan (Khan dkk., 2021).

Prediksi model iklim di Indonesia masih terus dikembangkan dengan memanfaatkan informasi iklim global salah satunya dapat diperoleh dari *Global Circulation Model (GCM)* (Upa dkk., 2021). Banyak model iklim global *Global Circulation Model (GCM)* yang dikembangkan untuk melakukan simulasi iklim yang berasal dari berbagai lembaga di seluruh dunia untuk berkontribusi pada *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* tentang perubahan iklim. IPCC merupakan panel ilmiah yang terdiri dari para ilmuwan dari seluruh dunia dan didirikan oleh 2 (dua) organisasi PBB yaitu *World Meteorological Organization (WMO)* dan *United Nations Environment Programme (UNEP)* pada 1988. IPCC didirikan bertujuan untuk mengevaluasi risiko perubahan iklim akibat aktivitas manusia. Setiap tahun IPCC mengadakan pertemuan untuk membahas perkembangan isu-isu perubahan iklim.

Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) telah merilis beberapa simulasi model iklim terkoordinasi untuk mendukung Laporan Penilaian ke-6 IPCC (AR6) (Hausfather, 2019). Upaya berkelanjutan dalam mengembangkan eksperimen CMIP sebagai bagian dari program jangka panjang *World Climate Research Programme Working Group of Coupled Modelling (WCRP-WGCM)* yang memajukan pemahaman tentang sistem bumi. Tujuan CMIP adalah menyediakan rangkaian metode eksperimen kemudian simulasi tersebut digunakan komunitas iklim untuk meningkatkan pemahaman tentang proses iklim. Selain peningkatan berbagai proses iklim yang telah dimasukkan dalam setiap generasi model iklim, peningkatan yang signifikan dalam daya komputasi memungkinkan GCM dibangun lebih kompleks dan memberikan informasi resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi.

Penggunaannya GCM dalam skala regional dibatasi oleh resolusi spasial yang rendah dan perlu dilakukan *downscaling* untuk mendapatkan resolusi spasial yang tinggi (Baiati dkk., 2018). Teknik *downscaling* adalah suatu teknik untuk memperoleh informasi skala lokal dari skala global luaran GCM atau hubungan yang dapat dikembangkan antara grid skala global menjadi grid skala lokal (Husna

dan Sanusi, 2019). Ada dua pendekatan downscaling yang sering digunakan yaitu *Dynamic Downscaling* dan *Statistical Downscaling*. *Dynamic Downscaling* mencakup model iklim secara regional yang bersarang ke dalam sebuah model iklim global. Metode *Dynamic Downscaling* paling kompleks karena membutuhkan persamaan dinamika atmosfer yang memerlukan perangkat keras dengan kecepatan tinggi dan kapasitas memori yang besar serta membutuhkan waktu komputasi yang cukup lama. Sedangkan bila dilihat berdasarkan letak wilayah Indonesia yang beriklim tropis dengan ketersediaan data yang terbatas dengan wilayah yang cukup luas dan banyak pulau-pulau, untuk menurunkan grid ke skala lokal dalam penelitian ini sangat cocok bila dipadukan dengan metode *Statistical Downscaling* (Husna dan Sanusi, 2019).

Penurunan skala statistika (*statistical downscaling*) lebih menghemat waktu dan dapat diterapkan di area yang relatif luas (Wang dkk., 2020). Beberapa teknik yang tersedia untuk *statistical downscaling* yaitu model regresi berganda dan *stochastic weather generator* (Wijaya dan Sujono, 2022). Salah satunya dengan SDSM (*Statistical Downscaling Model*). SDSM (*Statistical Downscaling Model*) adalah suatu tool untuk membantu menilai dampak perubahan iklim lokal menggunakan metode *statistical downscaling* yang kuat. SDSM adalah model statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara data berskala global dengan data berskala lokal. SDSM didasarkan pada hubungan empiris antara data GCM sebagai data global dengan data stasiun sebagai data lokal. SDSM tersusun atas kovariat dengan skala besar dan multikolinearitas (Butar-butur dkk., 2019).

Menurut Khan dkk (2006) yang telah menganalisis ketidakpastian hasil dari 3 metode *statistical downscaling* yaitu SDSM, LARS-WG, dan ANN yang dilakukan di Sub DAS Chute-du-diable di Kanada SDSM mampu mereproduksi berbagai karakteristik statistik dari data yang diamati dengan tingkat kepercayaan 95%, kemudian disusul LARS-WG dan terakhir ANN. Menurut Hassan dkk., (2014) yang mengaplikasikan SDSM dan LARS-WG untuk melakukan downscaling terhadap curah hujan dan temperatur dari beberapa stasiun pengamatan yang berada di Semenanjung Malaysia. Secara umum, hasil dari model SDSM lebih mendekati seri data iklim yang diamati jika dibandingkan dengan

model LARS-WG (Wijaya dan Sujono, 2022). Selain itu SDSM memberikan kinerja yang lebih baik dalam menangkap karakteristik curah hujan, suhu minimum dan maksimum (Hassan dkk., 2020).

Curah hujan merupakan unsur iklim yang paling dominan dalam mencirikan kondisi iklim di Indonesia karena curah hujan di Indonesia memiliki keragaman dan fluktuasi yang tinggi dibandingkan suhu (Upa P dkk., 2021). Indonesia merupakan salah satu negara beriklim tropis yang dilewati oleh garis khatulistiwa dengan dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Indonesia terdiri dari 38 (tiga puluh delapan) provinsi, salah satunya Provinsi Aceh. Secara klimatologis, iklim di Aceh dipengaruhi oleh fenomena global, regional, dan lokal, seperti kondisi topografi yang berbukit. Wilayah Aceh berada di antara Samudera Hindia pada bagian barat, Selat Malaka di bagian timur dan menjadi sangat bervariasi. Secara umum, Aceh memiliki dua tipe pola curah hujan yaitu tipe equatorial dan tipe monsun. Untuk Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh tergolong kedalam tipe pola curah hujan monsun. Pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim sangat cepat disertai cuaca ekstrem semakin sering terjadi (Muhajir dkk., 2021).

Sungai Krueng Aceh salah satu sungai terbesar di Aceh yang posisinya diantara Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh. Penelitian curah hujan ini berdasarkan model CanESM5 digunakan untuk menilai proyeksi iklim masa depan di DAS Krueng Aceh. Keluaran ini kemudian digunakan untuk menunjukkan kepekaan hidrologi curah hujan wilayah tersebut terhadap perubahan faktor iklim rentang tahun 2021-2100. Sebagai upaya pencegahan bencana akibat pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim. Secara umum, bahaya iklim (*climatological hazard*) yang terkait dengan sektor air seperti kekeringan, penurunan ketersediaan air, dan bencana banjir. Untuk menghadapi kondisi tersebut DAS Krueng Aceh memerlukan strategi pengelolaan lingkungan yang baik, berdasarkan data dan analisis perubahan iklim yang akurat. Informasi yang diperlukan untuk kajian dampak dan resiko iklim adalah kajian iklim historis dan proyeksi jangka pendek maupun jangka panjang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana model prediksi curah hujan periode 2021-2100 dengan teknik *Statistikal Downscaling* menggunakan data global CanESM5 pada Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh?”

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memproyeksikan curah hujan periode 2021-2100 menggunakan model prediksi data global di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah dapat menambah pengetahuan dan wawasan baru mengenai teknik *Statistikal Downscaling* dalam memproyeksikan curah hujan periode 2021-2100 dengan model prediksi data global CanESM5 di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh untuk mitigasi dan adaptasi dampak perubahan iklim karena perubahan curah hujan di DAS Krueng Aceh.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini menggunakan data GCM CanESM5 dan data observasi dari stasiun klimatologi Aceh Besar. *Statistical downscaling* dilakukan dengan piranti lunak *Statistical Downscaling Model* (SDSM) versi 4.2 untuk memproyeksikan curah hujan 2021-2100 menggunakan CMIP6 dengan tiga skenario perubahan iklim, yaitu SSP1.0-2.6, SSP2.0-4.5 dan SSP5.0-8.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus Hidrologi adalah sirkulasi air tanpa henti dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer melalui proses kondensasi, presipitasi, evaporasi, dan transpirasi. Siklus hidrologi adalah perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah lalu kembali lagi ke laut yang tidak pernah berhenti. Air tersebut akan tertahan sementara di sungai, danau/waduk, dalam tanah sehingga dapat di manfaatkan oleh makhluk hidup lainnya (Firdaus, 2021)

Siklus Hidrologi dimulai dengan air dari laut ke atmosfer melalui penguapan, kemudian akan jatuh pada permukaan bumi dalam bentuk hujan, yang mengalir didalam tanah dan diatas permukaan tanah sebagai sungai yang menuju ke laut (Sakti, 2022). Dalam siklus hidrologi, energi panas matahari dan faktor-faktor iklim lainnya yang menyebabkan terjadinya proses penguapan air (evaporasi) yang ada di lautan maupun ataupun di daratan. Air yang menguap sebagai hasil dari evaporasi akan terbawa oleh angin yang akan berubah menjadi awan kemudian mengembun dan sebagian uap air tersebut akan terkondensasi dan turun ke permukaan bumi sebagai hujan. Sebelum mencapai permukaan tanah, sebagian air hujan yang jatuh akan tertahan oleh tumbuhan, sebagian lainnya tidak akan pernah mencapai permukaan tanah melainkan terevaporasi kembali ke atmosfer, dan sebagian lainnya akan mencapai permukaan tanah. Air hujan yang jatuh ke daratan, sebagian masuk kedalam tanah (infiltrasi), sebagian lain yang tidak teresap dalam tanah akan mengalir sebagai air permukaan (sungai, danau, dan genangan air), dan sebagian lain menguap langsung ataupun melalui tumbuhan (intersepsi dan transpirasi) Proses perjalanan air melalui sungai di daratan membentuk suatu daerah aliran sungai (DAS) (Sakti, 2022).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

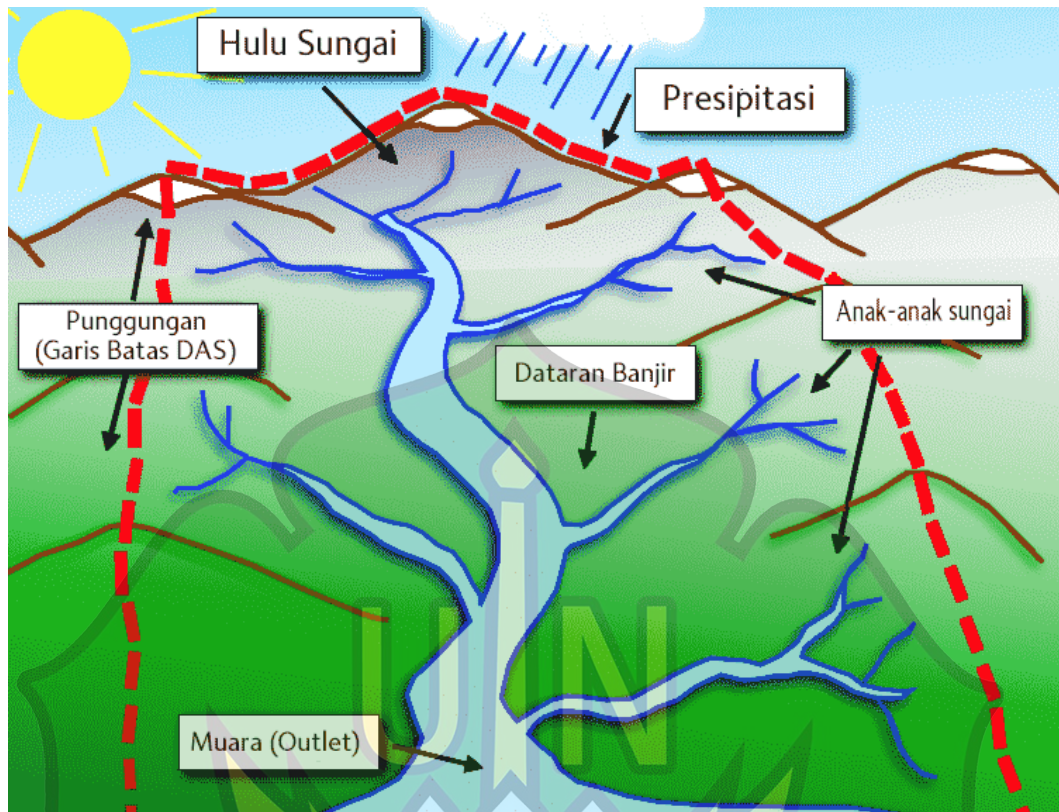
2.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam Undang-Undang Nomor 17 tahun 2019 tentang sumber daya air (SDA) merupakan suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan sungai dan anak-anaknya yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan menuju danau atau secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Ardiansyah dan Windarti, 2022). Daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian disalurkan ke sebuah outlet melalui sungai utamanya (Sari dkk., 2021).

Definisi DAS berdasarkan fungsi DAS dibagi dalam beberapa batasan, yaitu pertama DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi. Fungsi konservasi dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan. Kedua, DAS bagian tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang antara lain dapat

diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau. Ketiga, DAS bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah (Alexandro dkk., 2021).

Suatu DAS mempunyai karakteristik yang spesifik dan berhubungan erat dengan jenis tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng sebagai unsur utamanya, sehingga dalam merespon curah hujan yang jatuh dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, air larian, aliran permukaan, kandungan air dan aliran sungai. Bencana alam seperti longsor dan banjir merupakan peristiwa yang terjadi karena DAS telah gagal memenuhi fungsinya sebagai penampung air hujan, penyimpanan dan penyalur ke sungai-sungai. Fungsi suatu DAS merupakan fungsi gabungan yang dilakukan oleh seluruh faktor yang ada pada DAS tersebut, yaitu vegetasi, bentuk wilayah (topografi), tanah, dan permukiman. Apabila salah satu dari faktor tersebut di atas mengalami perubahan maka hal tersebut akan mempengaruhi pola ekosistem DAS. Sedangkan perubahan ekosistem yang akan menyebabkan gangguan terhadap bekerjanya fungsi DAS sehingga tidak berjalan sebagaimana mestinya. Apabila fungsi suatu DAS terganggu maka sistem penangkapan curah hujan akan menjadi tidak sempurna. Akan menjadi sangat berkurang atau sistem penyimpanan airnya sangat longgar, ataukah sistem penyalurannya menjadi sangat boros (Firdaus, 2021).



Gambar 2.2 Ilustrasi Daerah Aliran Sungai

Pengelolaan DAS harus memperhatikan isu dan komitmen global, utamanya isu perubahan iklim/curah hujan, karena kebanyakan DAS di Indonesia ada di wilayah bergunung-gunung dengan curah hujan yang tinggi. Perubahan curah hujan akan menimbulkan implikasi terjadinya banjir, erosi sedimentasi, tanah longsor, dan kekurangan air pada musim kemarau sehingga mempengaruhi ketahanan pangan. Pengelolaan DAS kedepan seharusnya juga mengintegrasikan tiga konvensi internasional, yaitu konvensi internasional tentang perubahan iklim, keanekaragaman hayati, dan konvensi pencegahan desertifikasi. Pengelolaan DAS merupakan pengelolaan dari seluruh sumber daya air di suatu lingkungan. Pengelolaan DAS agar memenuhi kebutuhan lahan yang lestari dan pemanfaatan air dari DAS tersebut (Eraku dan Permana, 2020).

2.3 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, runoff dan infiltrasi. Jumlah curah hujan diukur sebagai volume air yang jatuh di atas permukaan bidang datar dalam periode waktu tertentu, yaitu harian, mingguan, bulanan, atau tahunan (Laia dan Setyawan, 2020). Presipitasi adalah curahan atau jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi dan laut dalam bentuk berbeda, yaitu curah hujan di daerah tropis dan curah hujan serta salju di daerah beriklim sedang (Firdaus, 2021).

Curah hujan merupakan faktor utama yang mengendalikan berlangsungnya daur hidrologi dalam suatu wilayah DAS (merupakan elemen utama yang perlu diketahui 10 mendasari pemahaman tentang kelembaban tanah, proses resapan air tanah, dan debit aliran). Derajat curah hujan dinyatakan dalam suatu waktu yang disebut intensitas curah hujan. Curah hujan dihitung berdasarkan beberapa titik pengamatan curah hujan kemudian dihitung rata-ratanya untuk menentukan keadaan curah hujan rata-rata pada suatu daerah tertentu. Umumnya curah hujan di daerah pegunungan lebih besar dari pada dataran rendah hal ini berhubungan dengan ketinggian (Elevasi) topografi (Firdaus, 2021). Pengukuran curah hujan adalah mengetahui tinggi air hujan yang menggenangi suatu bidang datar atau tanah pada suatu daerah. Satuan curah hujan adalah milimeter (mm). Dalam satu milimeter curah hujan berarti pada luasan satu meter persegi bidang yang datar tertampung air hujan setinggi satu milimeter atau tertampung volume air hujan sebesar satu liter (Nurdiyanto dan Primawan, 2020).

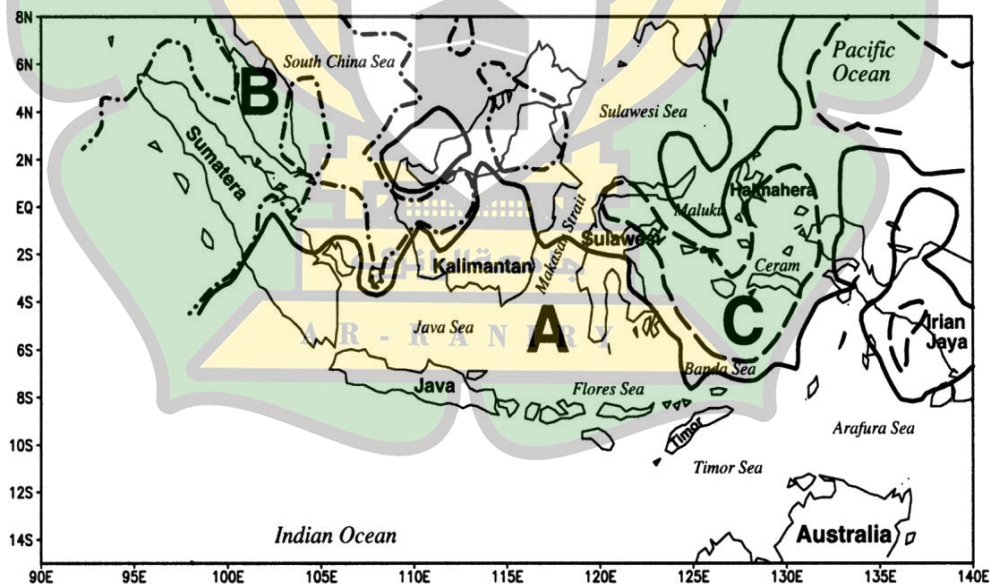
2.4 Pola Curah Hujan di Indonesia

Secara umum, Indonesia memiliki tiga pola curah hujan yaitu pola hujan ekuatorial, monsunal, dan lokal (Pradiko dkk., 2016). Pola curah hujan ekuatorial cenderung memiliki curah hujan yang hampir merata sepanjang tahun dimana curah hujan yang sedikit lebih rendah umumnya pada awal tahun dan pertengahan tahun. Pola curah hujan monsunal memiliki perbedaan musim kemarau dan penghujan yang tegas. Curah hujan yang rendah dan kadangkala terjadi kemarau panjang

umumnya terjadi pada periode Juni-September. Sementara itu, pola curah hujan lokal umumnya memiliki pola khas yang berbeda dengan kedua pola hujan yang disebutkan sebelumnya.

Pola curah hujan ekuatorial dimiliki wilayah Sumatera Utara; sepanjang pantai barat Sumatera; Kalimantan bagian utara; Sulawesi bagian utara, tengah dan tenggara; Maluku bagian selatan, serta Papua bagian tengah. Pola curah hujan lokal dimiliki sebagian kecil Sulawesi, Maluku, dan Papua. Adapun pola curah hujan monsonal terdapat di Sumatera bagian selatan, Kalimantan bagian selatan, Papua bagian selatan, serta Jawa, Bali, NTT, NTB, dan pulau-pulau kecil disekitarnya (Pradiko dkk., 2016). Meskipun demikian, jika ditinjau lebih lanjut, pola curah hujan di masing-masing daerah sangatlah bervariasi. Sebagai contoh, di Pulau Sumatera terdapat setidaknya 8 tipe curah hujan dengan waktu puncak musim hujan dan musim kemarau yang berbeda (Darlan dkk., 2016).

Hal ini didukung oleh (Aldrian dan Susanto, 2003) yang telah mengklasifikasi iklim Indonesia sebagai berikut (Hermawan., 2010):



Gambar 2.3 Tiga wilayah iklim Indonesia. Wilayah A (monsun) garis hitam, Wilayah B (ekuatorial) garis dan titik, Wilayah C (lokal) garis putus-putus.

(Aldrian dan Dwi Susanto, 2003)

Pola monsun merupakan tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim hujan) dimana pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi musim kering, sedangkan untuk bulan Desember, Januari dan Februari merupakan bulan basah. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau). Daerah yang didominasi oleh pola monsun ini berada di daerah Sumatra bagian Selatan, Kalimantan Tengah dan Selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan sebagian Papua. Pola ekuatorial merupakan tipe curah dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekuinoks. Daerahnya meliputi pulau Sumatra bagian tengah dan Utara serta pulau Kalimantan bagian Utara. Pola lokal merupakan tipe curah hujan bentuk pola hujan unimodial (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsun. Daerahnya hanya meliputi daerah Maluku, Sulawesi dan sebagian Papua (Hermawan, 2010).

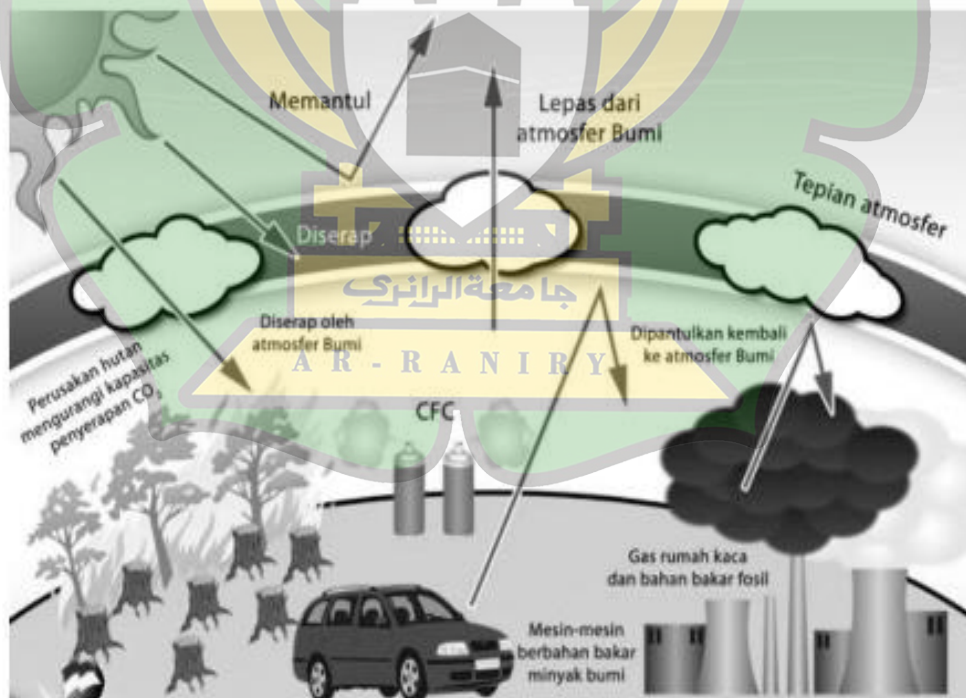
2.5 Perubahan Iklim dan Pemanasan Global

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2018), perubahan iklim adalah berubahnya kondisi fisik atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi curah hujan terhadap berbagai sektor kehidupan manusia. Perubahan iklim adalah perubahan pola cuaca rata-rata yang terjadi dalam rangka waktu lama yang memengaruhi iklim bumi skala lokal, regional, dan global. Perubahan iklim bumi yang teramati sejak awal abad 21 terutama disebabkan oleh aktivitas manusia yang salah satunya adalah penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil ini meningkatkan jumlah gas rumah kaca yang memerangkap panas di atmosfer bumi sehingga menaikkan suhu rata-rata permukaan bumi. Kenaikan suhu akibat aktivitas manusia ini dikenal dengan istilah pemanasan global .

Pemanasan global adalah kejadian meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan daratan Bumi. Berdasarkan pendapat peneliti *Center for International Forestry Research* (CIFOR) pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas atau infra merah), yang dipancarkan ke bumi oleh gas-gas rumah kaca. Pemanasan global

terjadi akibat peningkatan efek rumah kaca yang disebabkan oleh naiknya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Semakin tinggi konsentrasi gas rumah kaca, maka semakin banyak radiasi panas dari bumi yang terperangkap di atmosfer dan dipancarkan kembali ke bumi. Hal ini menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi (Dosdogru dkk, 2020). Pemanasan global (*global warming*) terjadi disebabkan meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi. Hal ini antara lain disebabkan karena:

1. Bumi menyerap lebih banyak energi matahari dari pada yang dilepas kembali ke atmosfer (ruang angkasa).
2. Menyebabkan terjadinya peningkatan emisi gas
3. Menimbulkan peningkatan panas bumi dan pencairan kutub es
4. Pemicu utamanya: yaitu meningkatnya emisi karbon, akibat penggunaan energy fosil (bahan bakar minyak, batu-bara dan sejenisnya).
5. Penghasil terbesar emisi karbon merupakan Negara-negara industri.



Gambar 2.4 Mekanisme perubahan iklim

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyatakan bahwa selama tahun 1990-2005 terjadi kenaikan suhu antara 0,1-0,15⁰C. Dengan demikian

apabila tidak dilakukan usaha pencegahan (preventif) maka pada tahun 2050-2070 diperkirakan suhu bumi akan meningkat sekitar $4,2^{\circ}\text{C}$. Diperkirakan pada tahun 2100, akan terjadi peningkatan suhu atmosfer sebesar $1,5-4,5^{\circ}\text{C}$ (Christina dkk., 2022). Pemanasan global dan perubahan iklim akan memberikan pengaruh pada lingkungan dan kehidupan manusia. Gas Rumah Kaca berada pada lapisan troosfer yang berjarak sekitar 12 km dari permukaan bumi. Adanya GRK dan konsentrasinya yang cukup besar diatmosfer mempunyai peran yang sangat penting bagi kelangsungan hidup di bumi. Adanya GRK yang penting yaitu gas CO_2 , CH_4 , dan gas N_2O yang jumlahnya berlebihan menyebabkan bumi makin panas danperubahan iklim drastis yang berbahaya bagi kehidupan. Permukaan air laut akan naik dan berakibat buruk pada kehidupan masyarakat pesisir(Pinontoan dkk., 2022).

Kenaikan suhu dan kejadian ekstrem yang lebih sering terjadi seperti gelombang panas, hujan lebat, banjir, kekeringan mendadak, dan kekeringan terus-menerus. Perubahan pada kriosfer, terestrial global juga mengalami perubahan yang melibatkan mundurnya gletserdan degradasi permafrost, yang akan memengaruhi siklus air.Pemanasan global (*global warming*) dan perubahan iklim (*climate change*) juga akan menyebabkan perubahan suhu, curah hujan, tekanan udara, kelembapan udara, laju serta arah angin, kondisi awan, dan radiasi matahari. Efek pemanasan global antara lain akan terjadi kenaikan permukaan air laut sampai 90 cm yang mengakibatkan beberapa hal seperti terjadinya rob yang akan menenggelamkan sebagianpinggir pantai yang kesemuanya itu akan berpengaruh terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat(Pinontoan dkk., 2022).

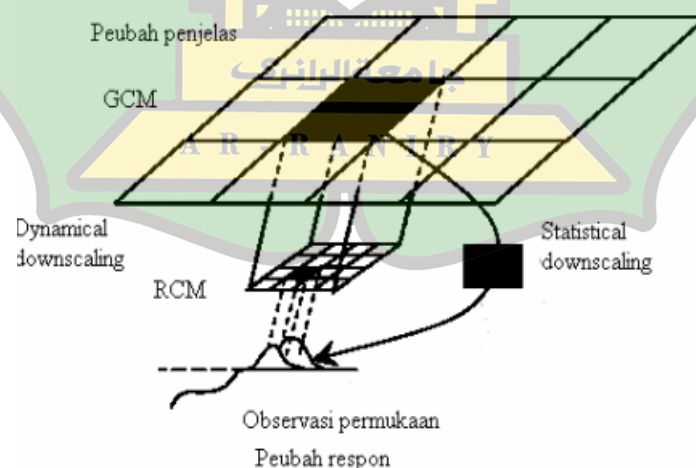
2.6 *Global Circulation Model (GCM)*

Model iklim global (*Global Circulation Model*, GCM) adalah model numerik yang mewakili proses fisik di atmosfer, laut, kriosfer dan permukaan tanah. GCM ini merupakan alat yang paling canggih saat ini untuk mensimulasikan respon sistem iklim global untuk meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca. GCM menggambarkan kondisi iklim menggunakan grid tiga dimensi untuk wilayah seluruh dunia, biasanya memiliki resolusi horizontal antara 250 dan 600 kilometer,

10 sampai 20 lapisan. Berdasarkan PP Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Luaran GCM mampu menunjukkan dengan baik kaitannya dengan *large scale atmospheric flow pattern*. Namun untuk keperluan prediksi iklim regional luaran GCM masih memiliki kualitas yang relatif kasar. Akibatnya untuk mengetahui peranan luaran GCM pada variabilitas iklim pada resolusi tinggi (Swarinoto dan Wigena, 2011) akan sulit untuk memperoleh informasi yang berskala lokal (Santri dan Hanike, 2020).

GCM menghasilkan data dalam bentuk *grid* atau petak wilayah dengan resolusi rendah ($2,5^\circ$ atau $\pm 300 \text{ km}^2$) yang mempresentasikan keadaan iklim global tapi tidak dalam skala regional atau lokal (Notodiputro dkk., 2005). Oleh karena itu diperlukan suatu teknik untuk menduga peubah iklim skala lokal dengan tingkat akurasi tinggi yaitu menggunakan teknik *Statistical Downscaling* (SD) (Upa dkk., 2021)



Gambar 2.5 Ilustrasi Downscaling

2.7 *Statistical Downscaling*

Pendekatan SD disusun berdasarkan adanya hubungan antara grid skala global (prediktor) dengan grid skala lokal (respon) yang dinyatakan dengan model statistik dan dapat digunakan untuk menerjemahkan anomali-anomali skala global yang menjadi anomali dari beberapa peubah iklim lokal. Pada umumnya pendekatan SD melibatkan data deret waktu (t) dan data spasial GCM (g). Banyaknya peubah Y, peubah X, lapisan atmosfer dalam model dan autokorelasi serta kolinearitas pada peubah Y maupun X menunjukkan kompleksitas model. Hubungan fungsional sirkulasi atmosfer global dengan unsur-unsur iklim lokal memiliki bentuk umum seperti berikut :

$$Y_{t,p} = f(X_{t,q},g) \quad (2.1)$$

dengan :

Y = Peubah-peubah iklim lokal

X = Peubah-peubah luaran GCM

t = Periode waktu

p = Banyaknya peubah Y

q = Banyaknya peubah X

g = Banyaknya grid domain GCM

Model *Statistical Downscaling* akan memberikan hasil yang baik jikamemenuhi tiga syarat utama, yaitu:

1. Hubungan antara respon (skala lokal) dengan prediktor (skala global) harus kuat untuk menjelaskan keragaman iklim lokal dengan baik.
2. Peubah predictor harus disimulasikan dengan baik oleh GCM.
3. Hubungan antara respon dan prediktor tidak berubah dengan adanya perubahan waktu dan tetap sama meskipun ada perubahan iklim di masa depan (Wigena dkk., 2017).

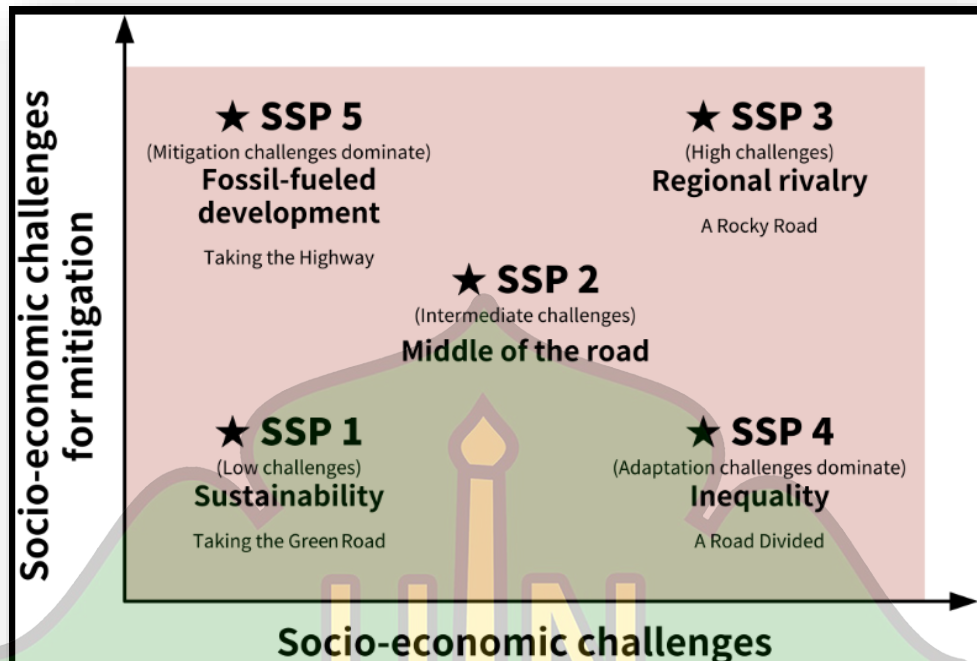
Statistical Downscaling Model(SDSM) adalah salah satu model untuk pendugaan curah hujan dan suhu. SDSM adalah model statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara data berskala global dengan data berskala lokal. SDSM didasarkan pada hubungan empiris antara data GCM sebagai data

global dengan data stasiun sebagai data lokal. SDSM tersusun atas kovariat dengan skala besar dan multikolinearitas (Butar-butur dkk., 2019). Dalam model ini, hubungan empiris antara data prediksi dan observasi dan prediktor NCEP dijabarkan dengan menggunakan pendekatan regresi dan stokastik. Untuk melakukan SDSM, diperlukan dua jenis deret waktu: deret waktu yang diamati dan deret waktu predictor (Huang dkk, 2021). Dataset pertama terdiri dari daerah yang diprediksi seperti suhu dan curah hujan dan dataset kedua merupakan prediktor dari model iklim skala global. Secara keseluruhan SDSM memperkirakan curah hujan rata-rata dengan sangat baik selama periode kalibrasi dan validasi tetapi korelasi antara curah hujan yang diamati dan yang diperkirakan tidak begitu bagus.

2.8 *Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)*

Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) adalah kumpulan scenario yang pertama kali muncul dalam Laporan Penilaian IPCC tentang perubahan iklim AR6 yang diterbitkan pada 9 Agustus 2021. *Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)* merupakan sebuah skenario perubahan iklim yang disusun untuk mengetahui bagaimana faktor-faktor sosio ekonomi dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan iklim. Faktor-faktor ini didalamnya termasuk populasi, pertumbuhan ekonomi, pendidikan, urbanisasi dan perkembangan teknologi (Hausfather, 2018).

Skenario SSP didasarkan pada lima narasi yang menggambarkan kecenderungan sosioekonomi yang membentuk masyarakat di masa depan. Kelima narasi tersebut ialah *sustainability (SSP1)*, *middle of the road (SSP2)*, *regional rivalry (SSP3)*, *inequality (SSP4)* dan *fossil-fueled development (SSP5)* (Riahi dkk., 2017). Berbagai kemungkinan iklim masa depan dengan lima skenario emisi inti, mulai dari SSP1-1.9 “emisi sangat rendah”, SSP1-2.6 “rendah” dan SSP2-4.5 “menengah”, hingga SSP3-7.0 “tinggi” dan SSP5-8.5 “sangat tinggi”. Proyeksi yang andal sangat penting dalam memproyeksikan perubahan iklim di masa depan.



Gambar 2.6 Ilustrasi *Shared Socioeconomic Pathways*

(Sumber: IPCC., 2021)

Tabel 2.1 Tingkat Emisi *Shared Socioeconomic Pathways*

SSP	Skenario
SSP 1-1.9	Emisi GRK yang sangat rendah : Emisi CO ₂ berkurang hingga nol bersih sekitar tahun 2050
SSP 1-2.6	Emisi GRK rendah: Emisi CO ₂ turun menjadi nol sekitar tahun 2075
SSP 2-4.5	Emisi GRK menengah: Emisi CO ₂ di sekitar level saat ini hingga tahun 2050 kemudian turun akan tetapi tidak sampai nol bersih pada tahun 2100
SSP 3-7.0	Emisi GRK tinggi: emisi CO ₂ berlipat ganda pada tahun 2100
SSP 5-8.5	Emisi GRK yang sangat tinggi emisi CO ₂ tiga kali lipat tahun 2035

Skenario SSP1.0-2.6 merupakan skenario SSP yang menjelaskan bahwa masyarakat di masa depan akan mengambil langkah yang mengarah pada keberlanjutan (*sustainability*). Pada skenario ini, manajemen global perlahan

meningkat, investasi pada bidang kesehatan dan pendidikan mempercepat transisi demografi dan sektor ekonomi berkembang ke arah yang lebih ramah lingkungan. Riahi dkk., (2017) menyebutkan bahwa skenario ini menghadapi tantangan yang rendah baik dalam mitigasi maupun adaptasi perubahan iklim. Terkait perubahan iklim, skenario SSP1.0-2.6 memproyeksikan bahwa suhu bumi akan meningkat kurang dari 2°C (O'Neill dkk., 2016)

Skenario SSP2.0-4.5 merupakan skenario perubahan iklim yang merepresentasikan kelanjutan dari pola historis yang berlanjut sepanjang abad ke-21. Pada skenario ini, kecenderungan sosial, ekonomi dan teknologi masih sama mengikuti pola historis. Perkembangan dan pertumbuhan pendapatan tersebar secara tidak merata, sebagian negara berhasil membuat progres namun tidak dengan sebagian yang lain. Institusi nasional dan global telah melakukan usaha terkait pembangunan yang berkelanjutan namun dengan langkah yang lamban. Skenario ini menghadapi tantangan yang berada pada level moderat untuk mitigasi maupun adaptasi perubahan iklim (Riahi dkk., 2017). Besarnya gas rumah kaca pada skenario SSP2.04.5 akan tetap meningkat hingga mencapai kenaikan suhu sebesar 3.8-4.2°C di akhir abad ke-21 (Hausfather, 2018).

Hampir serupa dengan SSP1.0-2.6, SSP5.0-8.5 merupakan skenario perubahan iklim dengan tantangan yang rendah dalam usaha adaptasi perubahan iklim. Namun, pada skenario ini masyarakat diproyeksikan akan melakukan perkembangan dengan menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan utama sehingga tantangan yang dihadapi adaptasi perubahan iklim menjadi sangat tinggi. Pada skenario ini, investasi terhadap sektor pendidikan dan kesehatan dalam peningkatan kualitas hidup sangat tinggi, namun di saat yang bersamaan, eksploitasi terhadap bahan bakar fosil semakin marak. Terkait peningkatan suhu, skenario SSP5.08.5 diproyeksikan akan mengalami peningkatan sebesar 4.7-5.1°C di tahun 2100 (Hausfather, 2018).

Setiap skenario SSP ini dapat digabungkan dengan jalur emisi berbeda yang membuat proyeksi masa depan menjadi lebih kompleks dan beragam. SSP memungkinkan untuk melihat bagaimana pilihan masyarakat akan mempengaruhi emisi dan kebijakan dan aksi untuk memenuhi tujuan Perjanjian Paris .Skenario

dengan tantangan adaptasi dan mitigasi yang rendah, seperti SSP 1, jauh lebih mungkin untuk memenuhi tujuan Perjanjian Paris, dari pada yang lain dengan tantangan yang lebih tinggi. Namun, upaya mitigasi yang besar masih diperlukan di semua scenario. Scenario adaptasi dan mitigasi, sehingga mengarah pada penelitian yang lebih terinformasi dan juga sebagai keputusan kebijakan yang mencerahkan. SSP memungkinkan untuk melihat berbagai faktor sosial ekonomi mempengaruhi perubahan iklim (Hausfather, 2018).

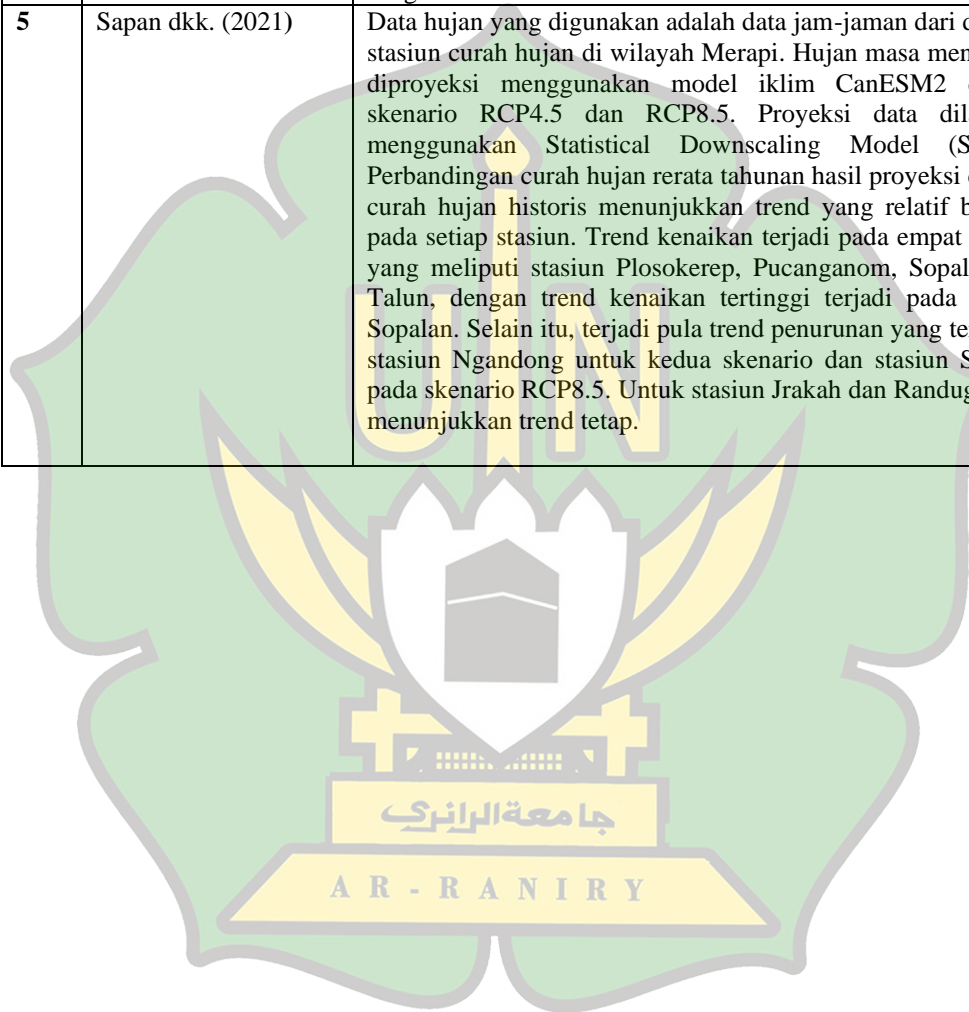
2.9 Penelitian Terdahulu

Adapun Penelitian terdahulu tentang statistical downscaling dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian terdahulu

No	Nama dan Tahun	Hasil
1	Romadhoni dkk (2021)	Perubahan iklim (curah hujan) dilakukan dengan Model GCM CanESM2 skenario RCP melalui proses downscaling. Downscaling dilakukan dengan metode SDSM. Indeks erosivitas hujan dianalisis berdasarkan rumus Lenvain. Downscaling dengan metode SDSM mampu memberikan hasil yang baik berdasarkan koefisien determinasi dan didapatkan perubahan curah hujan bulanan pada periode jangka pendek, menengah dan panjang, serta untuk curah hujan tahunan terdapat peningkatan hingga 34,3%. Indeks erosivitas hujan tahunan di DTA Waduk Saguling mengalami perubahan seiring dengan berubahnya curah hujan akibat perubahan iklim dan terdapat peningkatan hingga 44,1%.
2	Hamidon dkk (2019)	Hasil untuk curah hujan di masa depan menunjukkan tren peningkatan di semua cakrawala waktu di masa depan untuk skenario emisi A2 dan B2. Hal ini membuktikan bahwa model SDSM mampu memprediksi curah hujan yang akan datang di DAS Kurau Hulu. Hasil ini akan memberikan dasar ilmiah yang penting dan informasi praktis untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air di DAS.
3	Siabi dkk (2021)	Berdasarkan skenario emisi dari GCM (CanESM2 dan HadCM3). Kinerja kedua model selama kalibrasi dan validasi relatif baik. skenario yang dihasilkan oleh kedua model menunjukkan peningkatan Tmax dan Tmin, masing-masing kinerja periode mendatang. Namun curah hujan diperkirakan akan turun secara umum pada akhir abad ke-21. Dampak yang diharapkan dari curah hujan yang diproyeksikan, Tmax dan Tmin menunjukkan bahwa peristiwa iklim ekstrim dapat mengakibatkan kekeringan parah, banjir, dan suhu yang diperkirakan mempengaruhi kegiatan pertanian yang merupakan sumber utama mata pencaharian di daerah aliran sungai.

No	Nama dan Tahun	Hasil
4	Hadijati dan Irwansyah (2019)	Model <i>statistical downscaling</i> curah hujan dan temperatur memberikan hasil prediksi di DAS Jangkok yang cukup baik untuk digunakan dalam pemodelan debit air sungai. Adapun model debit air sungai yang dihasilkan berdasarkan hasil prediksi iklim DAS Jangkok tersebut memberikan hasil prediksi yang cukup baik juga namun untuk lebih baiknya dalam pemodelan debit tidak hanya berdasarkan faktor iklim tapi juga memasukkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi debit air sungai.
5	Sapan dkk. (2021)	Data hujan yang digunakan adalah data jam-jaman dari delapan stasiun curah hujan di wilayah Merapi. Hujan masa mendatang diproyeksi menggunakan model iklim CanESM2 dengan skenario RCP4.5 dan RCP8.5. Proyeksi data dilakukan menggunakan Statistical Downscaling Model (SDSM). Perbandingan curah hujan rerata tahunan hasil proyeksi dengan curah hujan historis menunjukkan trend yang relatif berbeda pada setiap stasiun. Trend kenaikan terjadi pada empat stasiun yang meliputi stasiun Plosokerep, Pucanganom, Sopalan dan Talun, dengan trend kenaikan tertinggi terjadi pada stasiun Sopalan. Selain itu, terjadi pula trend penurunan yang terjadi di stasiun Ngandong untuk kedua skenario dan stasiun Sorasan pada skenario RCP8.5. Untuk stasiun Jrasah dan Randugunting menunjukkan trend tetap.



BAB III

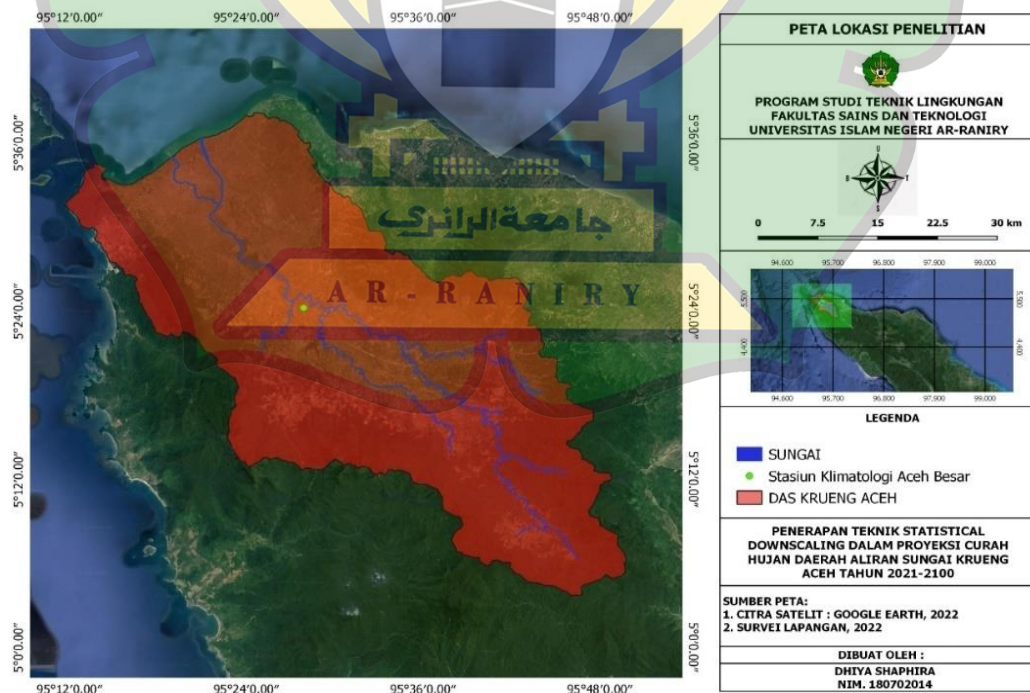
METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini berbasis pemodelan. Pemodelan yang dilakukan yaitu menggunakan metode *statistical downscaling model* (SDSM) untuk prediksi curah hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan piranti lunak SDSM 4.2.

3.2 Wilayah yang dimodelkan

Penelitian ini mengambillokasi studi di Daerah Aliran Sungai Krueng Sungai Krueng Aceh. Secara geografis posisi terletak pada bagian $5^{\circ} 5' 40''$ Lintang Utara (LU) dan $95,15^{\circ} 95' 40''$ Bujur Timur (BT). DAS Krueng Aceh memiliki luas 174.770,41 ha atau 1.747,70 km². Terletak pada 2 daerah administratif yaitu Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

Adapun Keadaan tutupan lahan berupa hutan primer saat ini luasnya semakin berkurang. Hasil penelitian Nasrullah dan Kartiwa (2010) menyebutkan bahwa pada tahun 1994 luas lahan hutan primer di DAS Krueng Aceh 112.776 ha (57%). Husnan (2010) menambahkan bahwa tahun 2002 luas hutan primer di DAS Krueng Aceh menjadi 94.178 ha (47.6%) dan tahun 2005 luas hutan primer di DAS Krueng Aceh menjadi 79.141 ha (40%). Hasil penelitian terakhir yang dilakukan oleh Yayasan Leuser Internasional (YLI, 2013) menyatakan bahwa pada tahun 2010 luas hutan primer menjadi 31.812 ha (16,07%) dari luas DAS Krueng Aceh.

3.3 Data yang digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa data yang diperoleh dari 1 stasiun iklim dan data GCM. Sedangkan data sekunder didapatkan dari berbagai literatur berupa jurnal, artikel ilmiah, buku, dan lain sebagainya. Penelitian ini menggunakan *software* SDSM 4.2 yang dapat diunduh secara gratis dari <http://www.sdsm.org.uk>. Adapun data dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1. dibawah ini

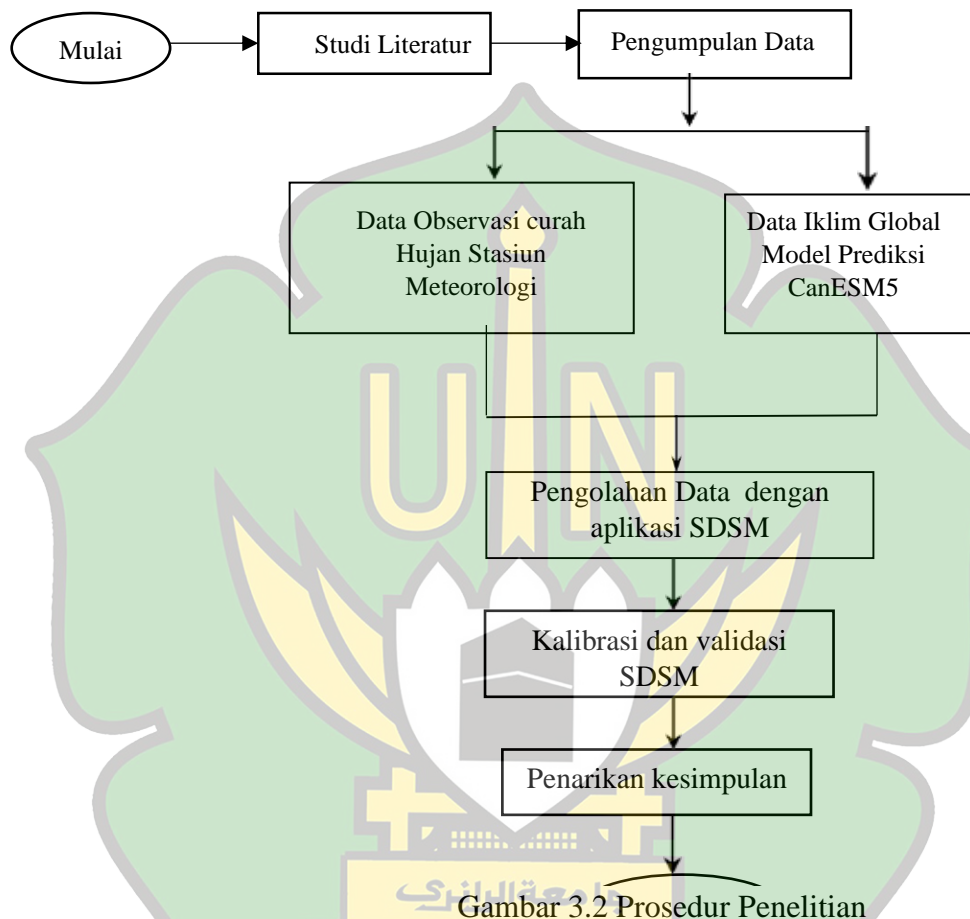
Tabel 3.1 Data Penelitian

Data Penelitian	Format Data	Jumlah Data	Sumber Data
Data Observasi Curah Hujan Meteorologi tahun 1995-2020	Time series	9497	Badan Meteorologi dan Geofisika
Data iklim <i>Canadian Earth System Model Version 5 (CanESM5)</i>	.dat	38.325	<i>Canadian Center for Climate Modeling and Analysis</i> (https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-cmip6)

3.4 Tahapan penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini berawal studi literatur, pengumpulan data (data observasi dan data iklim global), kemudian data tersebut diolah menggunakan *software statistical downscaling model (SDSM)*. Setelah itu, hasil dari *software SDSM* selanjutnya dilakukan rekapitulasi hasil Kemudian

dilakukannya penarikan kesimpulan, dan selesai. Alur penelitian ini juga dapat dilihat pada Gambar 3.2.



3.4.1 Studi Literatur

Merupakan tahapan studi atau kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui segala informasi dan mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian dengan membaca serta mencatat informasi dan data yang diambil dari buku, jurnal dan juga skripsi. dengan *keyword statistical downscaling model*, daerah aliran sungai, perubahan iklim, curah hujan, dan lain sebagainya yang berhubungan dengan penelitian dan juga menggunakan buku panduan *statistical downscaling model*.

3.4.2 Pengumpulan data penelitian

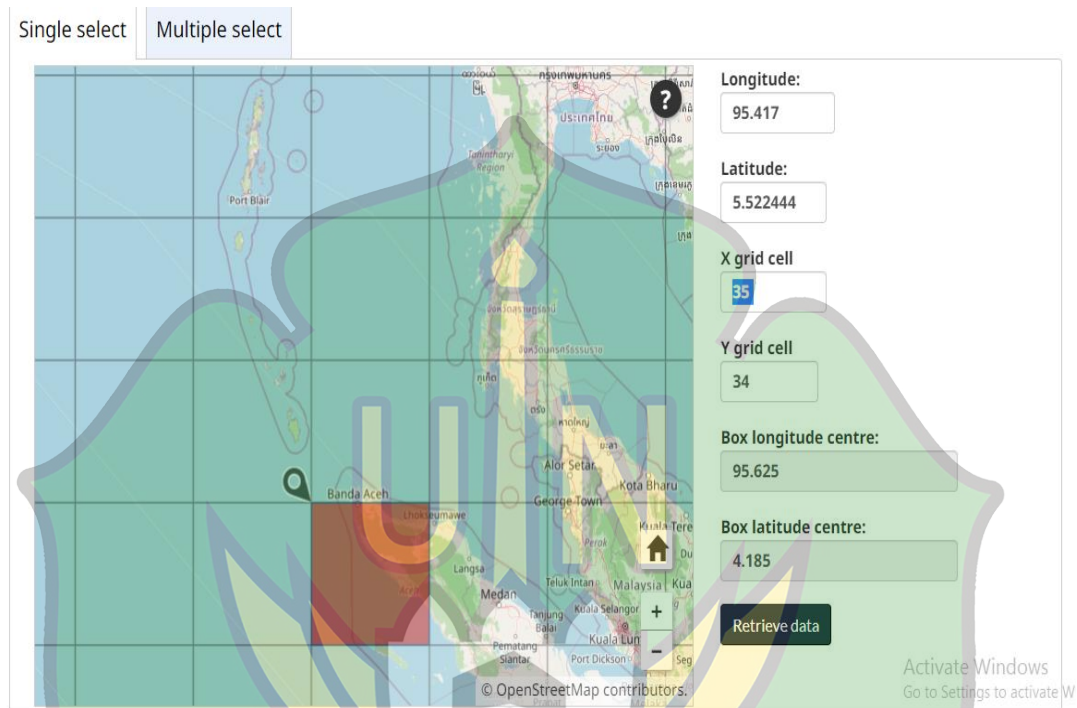
Data penelitian meliputi data curah hujan observasi yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Sedangkan data iklim global (GCM) CanESM5 yang dikembangkan oleh organisasi dengan Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) merupakan data yang progresif dan canggih menilai tantangan masa depan. The Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5) bagian dari CMIP6. Versi terbaru dari model sistem bumi *Canadian Center for Climate Modeling and Analysis* (CCCma). Versi terbaru dari CanESM2 yang tersedia untuk CMIP5. CanESM2 memiliki komponen siklus karbon atmosfer, samudra, es laut, daratan, terestrial dan samudra yang digabungkan sepenuhnya. CanESM5 merupakan versi terbaru CCCma dari gabungan GCM-nya, menggabungkan pembaruan tambahan untuk model atmosfer, permukaan darat, dan ekosistem terestrial (darat), komponen yang benar-benar baru untuk lautan, es laut, dan ekosistem laut (Jeong dkk., 2022). Peneliti menggunakan tiga skenario perubahan iklim CMIP6 dengan tiga skenario perubahan iklim, yaitu SSP1.0-2.6, SSP2.0-4.5 dan SSP5.0-8.5. Model *General Circulation Models* (GCMs) CanESM5 dengan 3 skenario *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP 1.0-2.6, SSP 2.0-4.5 dan SSP 5.0-8.5) digunakan dalam penelitian ini. SSP 1.0-2.6 digunakan untuk merepresentasikan skenario perubahan iklim dengan emisi rendah, SSP 2.0-4.5 untuk merepresentasikan skenario perubahan iklim dengan tingkat emisi moderat dan SSP 5.0-8.5 untuk merepresentasikan skenario perubahan iklim dengan tingkat emisi tinggi.

Tabel 3.2 Data GCM CanESM5

No	Data GCM	Keterangan	Prediktor
1.	CanESM5_historical_1979_2014	Data sejarah	23 prediktor
2.	CanESM5_ssp126_2015_2100	Proyeksi	23 prediktor
3.	CanESM5_ssp245_2015_2100	Proyeksi	23 prediktor
4.	CanESM5_ssp585_2015_2100	Proyeksi	23 prediktor
5.	NCEP_DOE_1979_2014	Prediktor	23 prediktor

Data-data diatas diperoleh berdasarkan koordinat lintang dan bujur sehingga didapatkan predictor model GCM CanESM5 yang diunduh melalui *website Government of Canada* (<https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred->

[cmip6](#)) dengan grid yang mencakup lokasi penelitian Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh yaitu grid cell 34X_35Y. Adapun langkah mengunduh data GCM berdasarkan pada Gambar 3.3

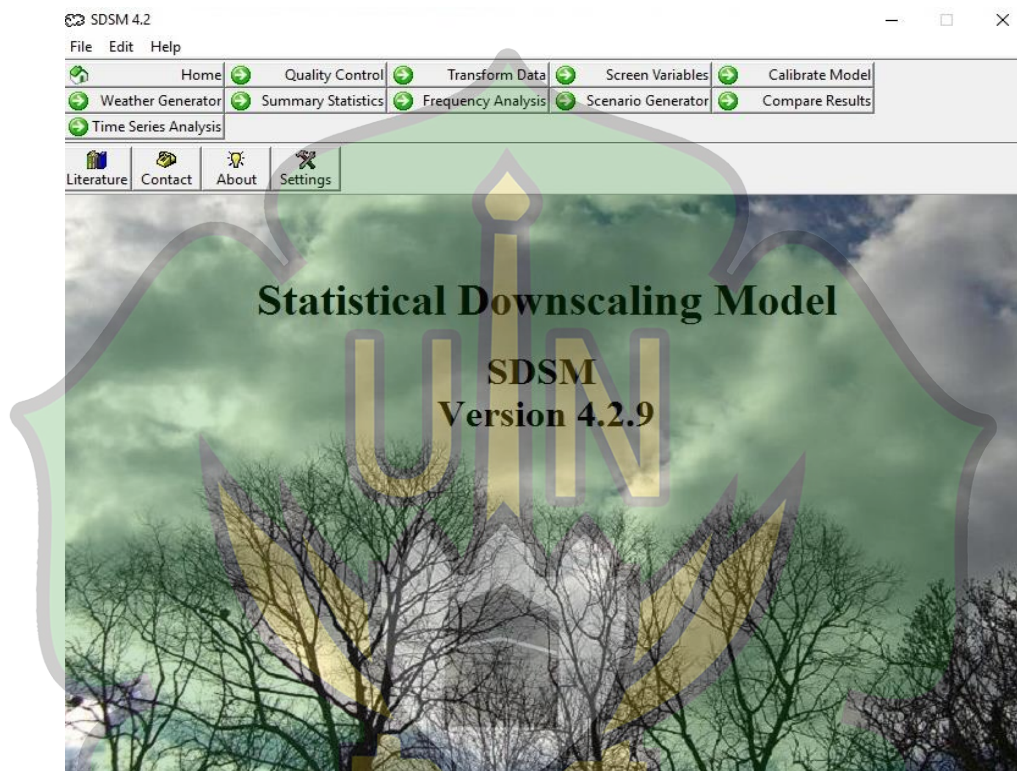


Gambar 3.3 Proses mengunduh Data GCM CanESM5 berdasarkan DAS Krueng Aceh

3.4.3 Tahapan Analisis downscaling dengan Statistical Downscaling Model

Downscaling data iklim global ke tingkat lokal dilakukan oleh dengan perangkat lunak yang diunduh secara gratis dari <http://www.sdsm.org.uk>. Digunakan untuk mengembangkan hubungan kuantitatif antara GCM skala besar (prediktor) dan variabel permukaan lokal (misalnya curah hujan dan suhu), yang diamati data dari stasiun meteorologi berdasarkan teknik regresi berganda. Variabel prediktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan. *Downscaling* merupakan penurunan skala global menjadi skala regional/lokal. Skala global tidak dapat digunakan untuk pemodelan karena skalanya masih rendah maka dari itu diperlukan penurunan skala ke regional/lokal agar skalanya tinggi. Dalam penelitian ini proses *downscaling* menggunakan pendekatan statistik atau *statistical*

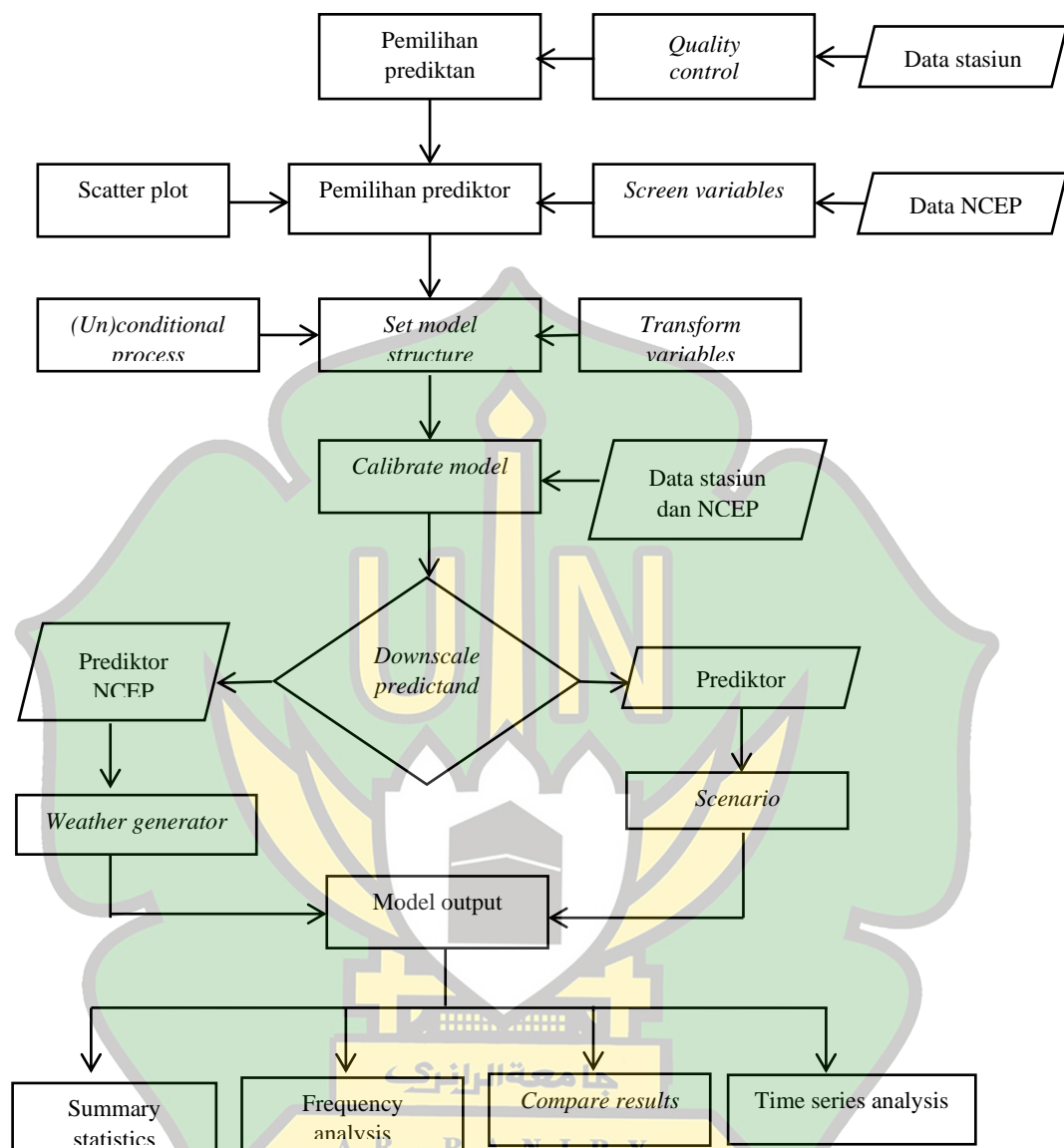
downscaling. SDSM merupakan model statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara data berskala global dengan data berskala lokal. *Statistical downscaling* didasarkan pada hubungan empiris antara data GCM sebagai data global dengan data stasiun sebagai data lokal (Butar-butardkk., 2019).



Gambar 3.4 Tampilan layar SDSM 4.2.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y



Gambar 3.5 Langkah-Langkah SDSM

Adapun tahapan langkah-langkah dalam SDSM sebagai berikut

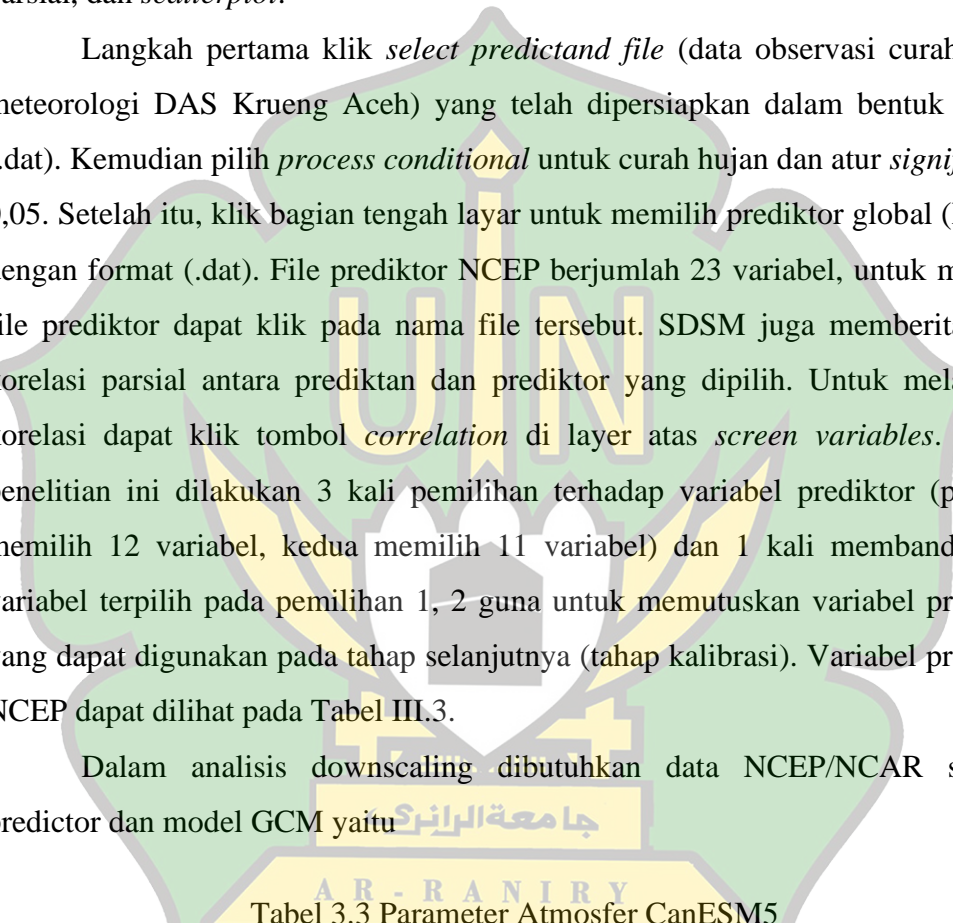
1. Kontrol kualitas dan transformasi data

Data yang hilang atau tidak lengkap akan dilakukan pemeriksaan kontrol kualitas pada SDSM untuk identifikasi kesalahan data sebelum kalibrasi model. Klik tombol *select file* untuk memasukkan file yang akan diperiksa yaitu *file* data curah hujan DAS Krueng Aceh dengan format (.dat). Kemudian klik tombol *Check File* pada bagian atas layar.

2. *Screening of downscaling predictor variables*(Pemilihan variabel predictor)

Pemilihan prediktor *downscaling* yang sesuai untuk menentukan karakter skenario iklim. *Screen variables* ini bertujuan untuk memilih variabel prediktor dalam *Statistical downscaling* / penurunan skala yang sesuai untuk kalibrasi model. Pada *screen variables* terdiri dari analisis korelasi musiman, analisis korelasi parsial, dan *scatterplot*.

Langkah pertama klik *select predictand file* (data observasi curah hujan meteorologi DAS Krueng Aceh) yang telah dipersiapkan dalam bentuk format (.dat). Kemudian pilih *process conditional* untuk curah hujan dan atur *significance* 0,05. Setelah itu, klik bagian tengah layar untuk memilih prediktor global (NCEP) dengan format (.dat). File prediktor NCEP berjumlah 23 variabel, untuk memilih file prediktor dapat klik pada nama file tersebut. SDSM juga memberitahukan korelasi parsial antara prediktan dan prediktor yang dipilih. Untuk melakukan korelasi dapat klik tombol *correlation* di layer atas *screen variables*. Dalam penelitian ini dilakukan 3 kali pemilihan terhadap variabel prediktor (pertama memilih 12 variabel, kedua memilih 11 variabel) dan 1 kali membandingkan variabel terpilih pada pemilihan 1, 2 guna untuk memutuskan variabel prediktor yang dapat digunakan pada tahap selanjutnya (tahap kalibrasi). Variabel prediktor NCEP dapat dilihat pada Tabel III.3.

Dalam analisis *downscaling* dibutuhkan data NCEP/NCAR sebagai predictor dan model GCM yaitu  جامعة الأزهر

Tabel 3.3 Parameter Atmosfer CanESM5

No.	Variabel id	Variabel prediktor	Keterangan
1.	Mslp	Mean sea level pressure	Tekanan rata-rata permukaan laut
2.	p1_f	1000 hPa Wind speed	Kecepatan angin 1000 hPa
3.	p1_u	1000 hPa Zonal wind component	Komponen angin zonal 1000 hpa
4.	p1_v	1000 hPa Meridional wind component	Komponen angin meridional 1000 hpa
5.	p1_z	1000 hPa Relative vorticity of true wind	1000 hPa Vortisitas relatif dari angin
6.	p1th	1000 hPa Wind direction	1000 hPa Arah angin
7.	p1zh	1000 hPa Divergence of true wind	1000 hPa Divergensi angin
8.	p5_f	500 hPa Wind speed	Kecepatan angin 500 hPa

No	Variabel id	Variabel prediktor	Keterangan
9.	p5_u	500 hPa Zonal wind component	Komponen angin zonal 500 hPa
10.	p5_v	500 hPa Meridional wind component	Komponen angin Meridional 500 hPa
11.	p5_z	500 hPa Relative vorticity of true wind	500 hPa Vortisitas relatif dari angin
12.	p5th	500 hPa Wind direction	Arah angin 500 hPa
13.	p5zh	500 hPa Divergence of true wind	500 hPa Divergensi angin
14.	p8_f	850 hPa Wind Speed	Kecepatan Angin 850 hPa
15.	p8_u	850 hPa Zonal wind component	850 hPa Komponen angin zonal
16.	p8_v	850 hPa Meridional wind component	850 hPa Meridional komponen angin
17.	p8_z	850 hPa Relative vorticity of true wind	850 hPa Vortisitas relatif dari angin
18.	p8th	850 hPa Wind direction	850 hPa Arah angin
19.	p8zh	850 hPa Divergence of true wind	850 hPa Divergensi angin
20.	p500	500 hPa Geopotential	Geopotensial 500 hPa
21.	p850	850 hPa Geopotential	850 hPa Geopotensial
22.	Prcp	Total precipitation	Jumlah curah hujan
23.	s500	500 hPa Specific humidity	500 hPa Kelembaban spesifik
24.	s850	850 hPa Specific humidity	Kelembaban spesifik 850 hPa
25.	Shum	1000 hPa Specific humidity	1000 hPa Kelembaban spesifik
26.	Temp	Air temperature at 2 m	Suhu udara pada 2 m

Data National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy (NCEP-DOE) Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP)-II Reanalysis (juga disebut NCEP-DOE Reanalysis 2) serta European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) kumpulan data analisis atmosfer Generasi Kelima (ERA5) dimasukkan sebagai bagian dari kumpulan data prediktor. NCEP-DOE Reanalysis 2 adalah versi perbaikan dari sebelumnya, NCEP/NCAR Reanalysis 1, karena mencakup parameterisasi yang diperbarui dari proses fisik dan perbaikan kesalahan. ERA5 dibangun di atas kumpulan data analisis ulang ECMWF sebelumnya, termasuk sistem dan fitur terbaru, dan dibuat menggunakan penelitian dan informasi dari mitra ECMWF dan ECMWF ERA5, memberikan resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi, dan memiliki kemajuan seperti troposfer yang lebih baik, representasi yang lebih baik dari siklon tropis, keseimbangan curah hujan dan penguapan global yang lebih baik, curah hujan yang lebih baik yang sesuai dengan tanah di daerah tropis, kelembaban tanah yang lebih baik, dan suhu permukaan laut dan es laut yang lebih stabil.

Pada beberapa penelitian penggunaan 1 hingga 3 Predictor cukup untuk menghasilkan hubungan dengan Predictand (Romadhoni dkk., 2022). Satu hingga tiga predictor dianggap cukup untuk menjelaskan predictand (data terukur) tanpa menimbulkan multikolinieritas (Mahmood dan Babel, 2013).

3. *Calibrate Model*

Kalibrasi model adalah untuk memprediksi yang ditentukan dengan variabel prediktordan menghitung parameter persamaan regresi berganda melalui algoritma optimasi. Proses kalibrasi model dimulai dengan klik *select predictand file* (file data observasi curah hujan DAS krueng Aceh dengan format .dat). Kemudian pilih variabel prediktor yang terpilih pada tahap *screen variables*. Setelah itu pilih *select output PAR file* untuk menyimpan *file output* dengan format (.PAR). Untuk resolusi temporal pada kalibrasi model *downscaling* pilih *model type* bulanan. Selanjutnya pilih *conditional* untuk parameter curah hujan digunakan transformasi *Model Fourth Root Transformation (Conditional Process)* karena adanya distribusi yang tidak linier (Supriya dan Krishnaveni, 2018). Setelah sesuai pilihan yang kita buat, kemudian klik tombol *calibrate* tunggu beberapa saat untuk keluar hasil dari kalibrasinya.

4. *Weather generator*

Weather Generator menghasilkan rangkaian waktu sintesis dari curah hujan dan prediktor atmosfer yang diamati. *Weather generator* merupakan operasi yang menghasilkan ansambel seri cuaca harian yang diberikan (atau analisis ulang dari NCEP) variabel prediktor atmosfer dan bobot model regresi yang dihasilkan oleh kalibrasi model. *Weather generator* memungkinkan verifikasi model yang dikalibrasi serta sintesis deret waktu buatan yang mewakili kondisi iklim saat ini. *Weather generator* juga dapat digunakan untuk merekonstruksi prediksi atau untuk mengisi data yang hilang.

5. *Scenario generation*

Scenario generator merupakan operasi yang menghasilkan *ensemble* seri cuaca harian sintesis yang diberikan variabel prediktor atmosfer harian yang disediakan oleh GCM. Di tahap *scenario generator* ini, pertama sekali ubah pengatur *year length* menjadi 365 (GCM) dan *standard start/end date*. Setelah

selesai ubah pengaturan *year length*, klik tombol *select parameter file* untuk memasukkan data curah hujan DAS krueng Aceh dengan format (.PAR). Kemudian pilih data GCM (CanESM5) untuk dilakukannya *downscaled* iklim saat ini atau masa mendatang.

Selanjutnya klik tombol *view detail* untuk melihat informasi jumlah prediktor, autoregression, tipe proses, dan versi SDSM. Kemudian klik *select output* untuk menyimpan file data dengan format (.OUT). Setelah hal tersebut selesai, klik tombol *generate* di bagian atas layar.

6. *Summary Statistics*

Tahap ini dilakukan untuk mengevaluasi data observasi dan *downscaled data*, klik tombol *summary statistics* di bagian atas layar. Pada tahap *summary statistics* terdapat opsi *data source* pilih *modelled* untuk analisis data *downscaled* atau data observasi. Kemudian klik tombol *Select input file* untuk memasukkan data observasi dengan format (.OUT). Selanjutnya tentukan periode yang diperlukan analisis periode yaitu *analysis start date and analysis end date*. Setelah itu, klik tombol *select output file* untuk menyimpan hasil analisis dengan format (.TXT). Setelah hal diatas dilakukan, klik tombol *Analyse* di bagian atas layar untuk melihat hasil analisisnya.

7. *Compare Result*

Compare result merupakan tahap untuk membandingkan hasil dari *summary statistics* untuk merencanakan statistik bulan. Pilihan grafik memungkinkan perbandingan antara dua set hasil dari skenario iklim observasi dan *downscaled*. Untuk membandingkannya klik tombol *compare result* di bagian atas layar. Kemudian masukkan hasil *scenario generator* dengan memilih *select first file* untuk memasukkan data *scenario generator* yang pertama dan pilih *select second file* untuk memasukkan data *scenario generator* yang kedua (dalam format .TXT). setelah itu, klik line pada atas layar *compare result* untuk melihat hasilnya

3.4.4 Evaluasi Model

Evaluasi model yang digunakan pada penelitian ini menggunakan koefisien determinasi (R^2), Persen bias (P_{bias}), dan *Root Mean Square Error*(RMSE). R^2

digunakan untuk menunjukkan kesesuaian data model dibandingkan dengan data observasi. Nilai R^2 berkisar dari 0 hingga 1, jika R^2 bernilai 1 menunjukkan kesesuaian sempurna antara data model dengan data yang diamati. P_{bias} menunjukkan kecenderungan keluaran model lebih kecil atau lebih besar dari data yang diamati. Semakin kecil nilai P_{bias} (misalnya 0,0), semakin akurat modelnya. Di sisi lain, RMSE menunjukkan standar deviasi model dalam menghasilkan data yang diamati. Nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan model yang paling akurat (Gebrechorkos dkk, 2019).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.1)$$

$$P_{bias} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{\sum_{i=1}^N X_i} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (3.3)$$

Dimana:

X_i = nilai data aktual

Y_i = Nilai hasil peramalan

N = banyaknya data

Σ = Summation (Jumlahkan keseluruhan nilai)

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

BAB IV

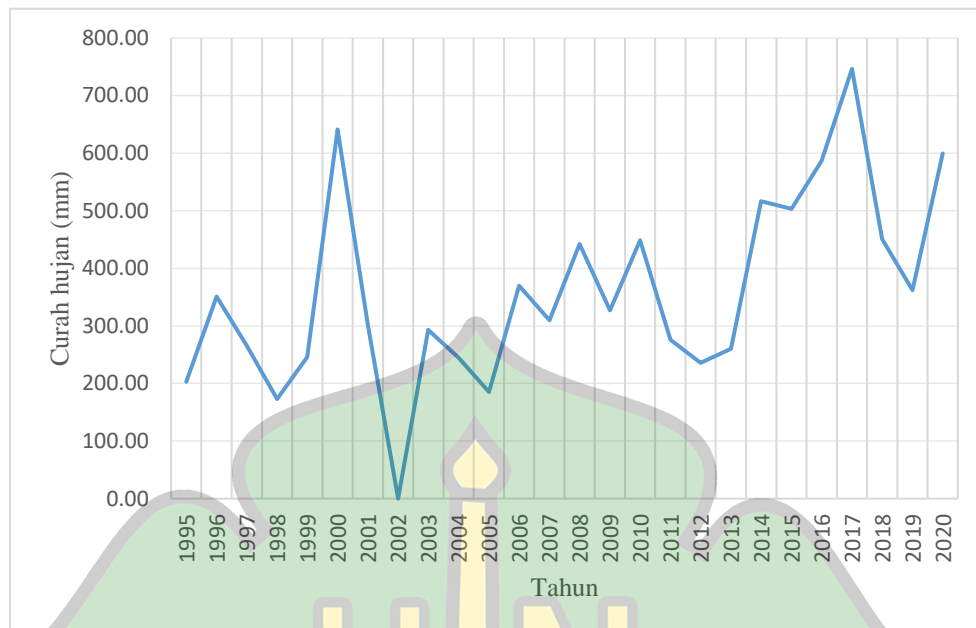
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Curah Hujan DAS Krueng Aceh Tahun 1995-2020

Kondisi curah hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh berdasarkan data observasi yang diperoleh dari BMKG Aceh Besar, dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum (Observasi)

No	Tahun	Bulan	Curah hujan (mm)	No	Tahun	Bulan	Curah hujan (mm)
1.	1995	Maret	203.00	14.	2008	Desember	442.00
2.	1996	Februari	351.00	15.	2009	Desember	327.00
3.	1997	Maret	266.00	16.	2010	Desember	449.00
4.	1998	Februari	173.00	17.	2011	Januari	276.00
5.	1999	Agustus	246.00	18.	2012	November	236.00
6.	2000	November	641.00	19.	2013	Januari	260.10
7.	2001	Desember	303.73	20.	2014	November	516.90
8.	2002	-	0.00	21.	2015	November	503.10
9.	2003	November	293.00	22.	2016	November	586.90
10.	2004	April	245.00	23.	2017	Desember	746.40
11.	2005	April	185.00	24.	2018	Desember	450.80
12.	2006	Januari	370.00	25.	2019	November	362.10
13.	2007	Juni	310.00	26.	2020	Mei	599.50
Maksimum							746.40
Minimum							173.00
Rata-Rata							359.33
Standar Deviasi							167.79



Gambar 4.1 Curah Hujan Bulanan DAS Krueng Aceh

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan curah hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh dari tahun 1995-2020 memiliki jumlah curah hujan tertinggi mencapai 746,4 mm, curah hujan terendah 173,00 mm sedangkan curah hujan rata-rata yaitu 359,33 mm. Standar Deviasi untuk tahun 1995 -2020 yaitu 167,79 mm. Data ini menunjukkan bahwa temperatur observasi saat ini sudah menunjukkan adanya potensi perubahan iklim. Kenaikan curah hujan pada periode observasi sudah terindikasi baik secara global maupun regional (Suwarman dkk., 2022).

4.2 Pemilihan Variabel Prediktor

Pada perangkat lunak SDSM 4.2. terdapat *tools* untuk memilih variabel prediktor yaitu *screening predictor variables* yang telah disederhanakan terdiri dari statistik sederhana seperti analisis korelasi musiman dan analisis korelasi parsial. Nilai *default* tingkat *significance* adalah $P > 0,05$ digunakan untuk menguji *significance* dari variabel prediktor. Variabel prediktor dan korelasi parsial untuk curah hujan Pemilihan variabel prediktor dilakukan sebanyak 2 kali dan 1 kali membandingkan hasil dari pemilihan variabel prediktor sebelumnya, guna untuk memutuskan variabel prediktor terpilih.

1. Pemilihan Variabel pertama

Pemilihan variabel pertama dengan memilih variabel memilih 2 (dua) variabel dari terbaik dari 12 variabel yang dilakukan korelasi. Variabel terbaik bernilai $P_{\text{value}} = 0,0000$ atau minimum sedangkan partial r yang memiliki nilai tertinggi (maksimum). Adapun variabel prediktor terpilih pada pemilihan pertama ini yaitu ncepp1_zgr dengan nilai Partial r = 0,062 $P_{\text{value}} = 0,0036$ dan ncepp5_ugr dengan nilai nilai partial r = 0,026 $P_{\text{value}} = 0,2331$ Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pemilihan prediktor pertama

No.	The National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	Keterangan	Partial r	PValue
1.	ncepmslpgr.dat	Tekanan rata-rata permukaan laut	-0,009	0,5019
2.	ncepp1_fgr.dat	Kecepatan angin 1000 hPa	-0,014	0,4312
3.	ncepp1_ugr.dat	Komponen angin zonal 1000 hpa	-0,002	0,5623
4.	ncepp1_vgr.dat	Komponen angin meridional 1000 hpa	-0,023	0,2752
5.	ncepp1_zgr.dat	1000 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,062	0,0036
6.	ncepp1zhgr.dat	500 hPa Vortisitas relatif dari angin	-0,006	0,5360
7.	ncepp5_fgr.dat	Kecepatan angin 500 hPa	-0,023	0,2775
8.	ncepp5_ugr.dat	Komponen angin zonal 500 hPa	0,26	0,2331
9.	ncepp5_vgr.dat	Komponen angin Meridional 500 hPa	0,014	0,4427
10.	ncepp5_zgr.dat	500 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,008	0,5176
11.	ncepp500gr.dat	500 hPa Vortisitas relatif dari angin	-0,009	0,5079
12.	ncepp5zhgr.dat	500 hPa Divergensi angin	-0,007	0,5319

2. Pemilihan variabel kedua

Pada perlakuan kedua variabel prediktor terpilih yaitu ncepp8_zgr dengan nilai Partial r = 0,062 $P_{\text{value}} = 0,0035$ dan nilai Partial r = 0,07 $P_{\text{value}} = 0,05290$ berikut hasil dari pemilihan variabel kedua dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.3 Pemilihan prediktor kedua

No.	The National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	Keterangan	Partial r	PValue
1.	ncep8_fgr.dat	Kecepatan Angin 850 hPa	-0,014	0,4317
2.	ncepp8_ugr.dat	850 hPa Komponen angin zonal	0,007	0,5290

No	The National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	Keterangan	Partial r	P _{Value}
3.	ncepp8_vgr.dat	850 hPa Meridional komponen angin	-0,003	0,5567
4.	ncepp8_zgr.dat	850 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,062	0,0035
5.	ncepp500gr.dat	850 hPa Arah angin	-0,039	0,0746
6.	ncepp8zhgr.dat	850 hPa Divergensi angin	-0,058	0,0062
7.	ncepprecpgr.dat	Jumlah curah hujan	-0,032	0,0062
8.	nceps500gr.dat	500 hPa Kelembaban spesifik	-0,021	0,3145
9.	nceps850gr.dat	Kelembaban spesifik 850 hPa	-0,006	0,5355
10.	ncepshumgr.dat	1000 hPa Kelembaban spesifik	0,003	0,5578
11.	nceptemp.dat	500 hPa Divergensi angin	-0,023	0,2783

3. Membandingkan hasil variabel prediktor terpilih pada pemilihan pertama dan kedua

Tabel 4.4 Hasil Perbandingan Antara Prediktor-Prediktor Terpilih

No	The National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	Keterangan	Partial r	P _{Value}
1	ncepp1_zgr.dat	1000 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,010	0,4796
2	ncepp5_ugr.dat	Komponen angin zonal 500 hPa	0,040	0,0698
3	ncepp8_ugr.dat	850 hPa Komponen angin zonal	-0,007	0,5330
4	ncepp8_zgr.dat	850 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,041	0,0620

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut maka didapatkan variabel prediktor terpilih yaitu ncepp8_zgr dengan nilai Partial r = 0.040 P_{value} = 0.0698, ncepp5_ugr dengan nilai Partial r = 0.039 P_{value} = 0.0721 dan ncepp1_zgr dengan nilai Partial r = 0.014 P_{value} = 0.0713 Kemudian variabel prediktor terpilih tersebut kita masukkan ke tahapan selanjut yaitu tahapan *Calibrate Model* (Kalibrasi Model). Berikut variabel prediktor terpilih dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Variabel Prediktor Terpilih

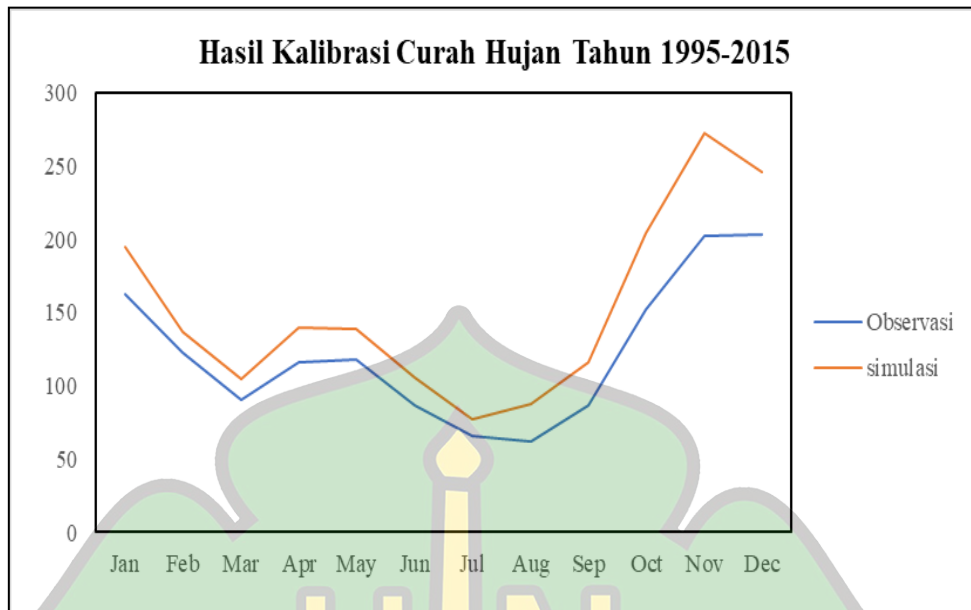
No	Prediktor terpilih	Keterangan	Partial r	Pvalue
1	ncepp1_zgr.dat	1000 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,013	0,4525
2	ncepp5_ugr.dat	Komponen angin Meridional 500 hPa	0,040	0,0688
3	ncepp8_zgr.dat	850 hPa Vortisitas relatif dari angin	0,040	0,0654

4.3 Kalibrasi dan validasi model

Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan *output* dari data analisis ulang NCEP, sesudah proses pemilihan proses variabel prediktor (variabel prediktor terpilih). Dalam penelitian ini, baseline (data observasi) stasiun adalah 26 tahun dan dibagi menjadi 2 (dua) periode waktu, yaitu 21 tahun (1995-2015) untuk kalibrasi model dan 5 tahun (2016-2020) untuk keperluan validasi model. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.6 Hasil Kalibrasi (1995-2015)

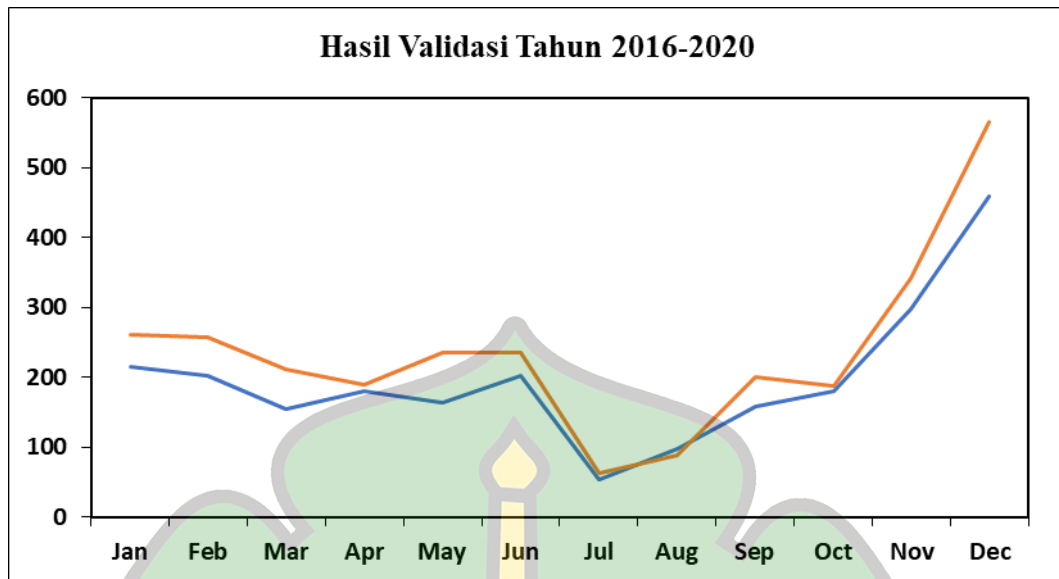
Bulan	Curah Hujan	
	R ²	SE
Januari	0,015	18,211
Februari	0,019	19,949
Maret	0,053	16,669
April	0,011	19,099
Mei	0,047	13,999
Juni	0,016	14,972
Juli	0,013	13,578
Agustus	0,049	17,363
September	0,010	16,524
Oktober	0,013	21,821
November	0,037	28,321
Desember	0,014	19,128
Rata-Rata	0,025	18,298



Gambar 4.2 Hasil Kalibrasi Tahun 1995-2015

Pada proses validasi digunakan data tahun (2016-2020) Untuk proses validasi digunakan *weather generator* yang sesuai pada piranti lunak SDSM 4.2. sehingga mampu untuk menghasilkan nilai sintetik dari data cuaca harian terkini berdasarkan masukan dari deret waktu yang diamati, dan parameter regresi linier berganda yang telah dihasilkan. Sebanyak 5 tahun (2016-2020) data observasi yang digunakan di *Weather Generator* sebagai data pengamatan independen yang tidak digunakan selama proses kalibrasi. Berikut hasil validasi model dapat dilihat pada Gambar 4.3

جامعة الرانيري
A R - R A N I R Y

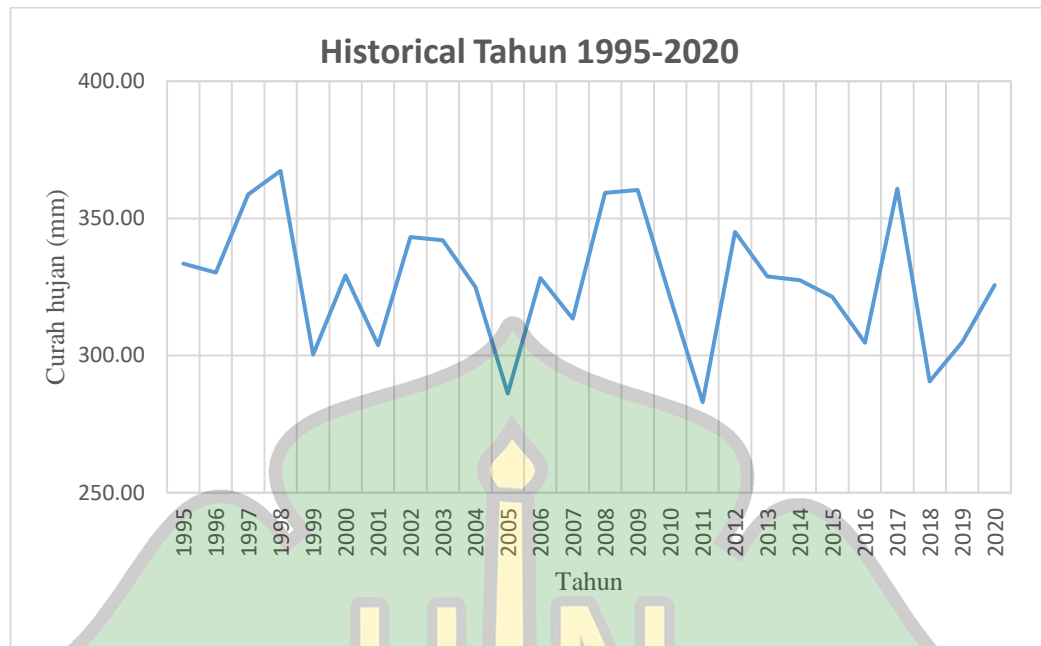


Gambar 4.3 Hasil Validasi SDSM (2016-2020)

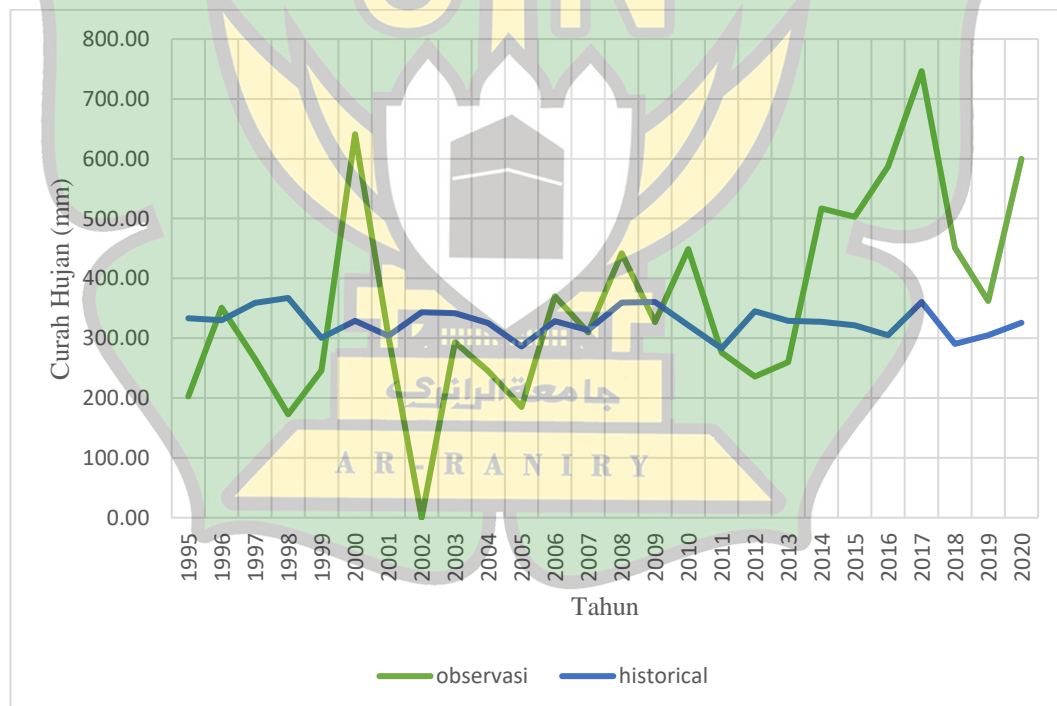
Berdasarkan Gambar 4.2. dan 4.3, menunjukkan hasil kalibrasi nilai R^2 sebesar 0,025 dan hasil validasi 0,041. Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan hubungan yang rendah. Nilai RMSE pada proses kalibrasi dan validasi berturut-turut sebesar 18,298 dan 23,748, Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan hubungan yang rendah.

4.4 Pemodelan Curah Hujan Periode 1995-2020

Penggunaan *Statistical Downscaling Model* (SDSM) menggunakan variabel prediktor dari data *historical* CanESM5 dan data observasi sehingga dapat memodelkan curah hujan untuk periode 1995-2020. Pemodelan yang dihasilkan dapat berupa grafik *historical*. Adapun grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Curah Hujan Historical tahun 1995-2020



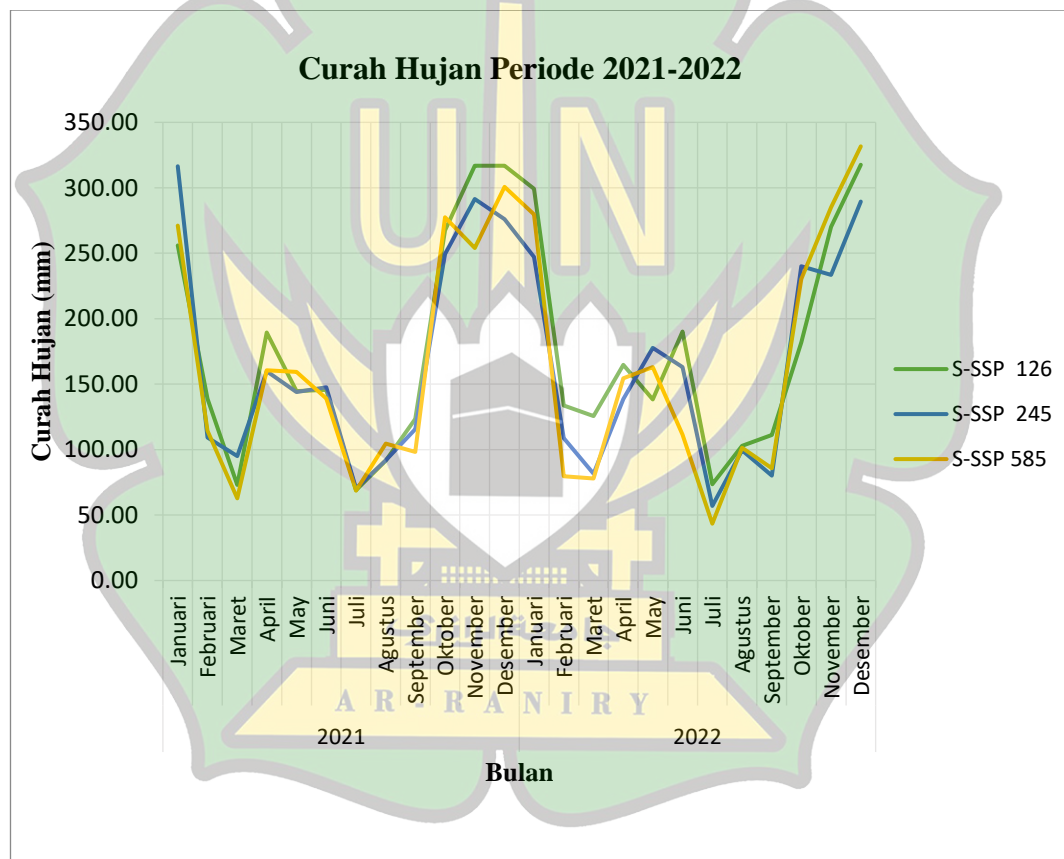
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Maksimum Observasi Dengan Data Historical

Berdasarkan Grafik 4.4 data historical curah hujan maksimum tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 1995-2020 yaitu 367,29 mm. Sedangkan curah hujan maksimum terendah yaitu 282.98 mm. Untuk curah hujan maksimum rata-rata

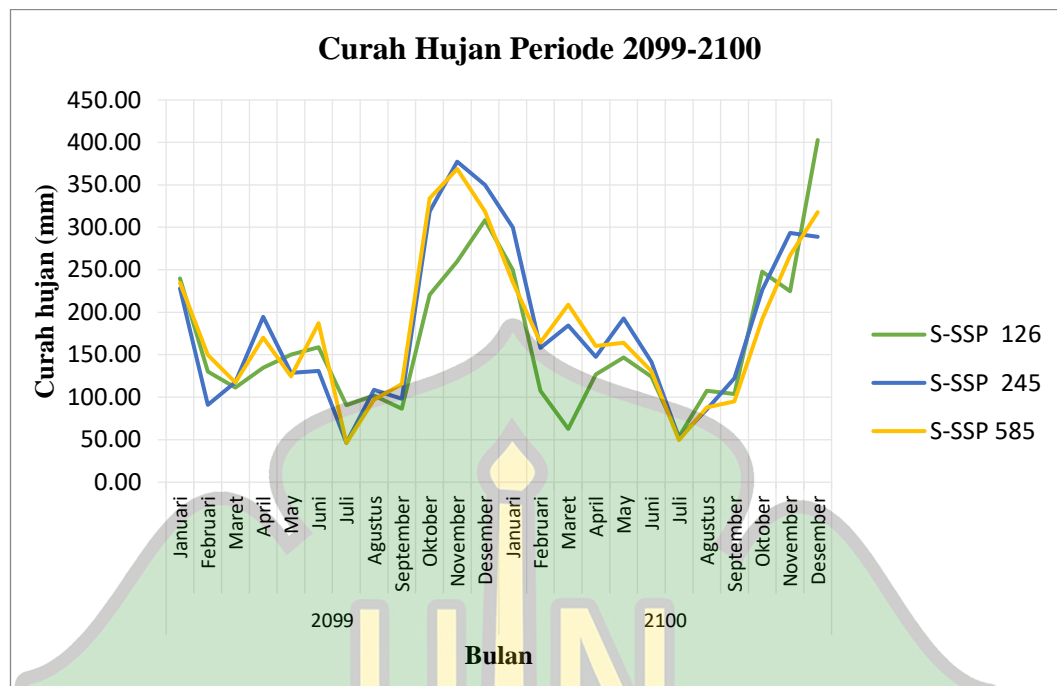
326,71 mm. Standar deviasi yang diperoleh yaitu 23,86. Dan berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pemodelan curah hujan maksimum historikal lebih tinggi dibandingkan data observasi.

4.5 Proyeksi Curah Hujan Bulanan Tahun 2021-2100

Proyeksi Curah hujan tahun 2021-2100 menggunakan SDSM, dengan penggunaan variabel berdasarkan scenario CanESM5. Grafik Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6 Curah Hujan Bulanan Periode 2021-2022



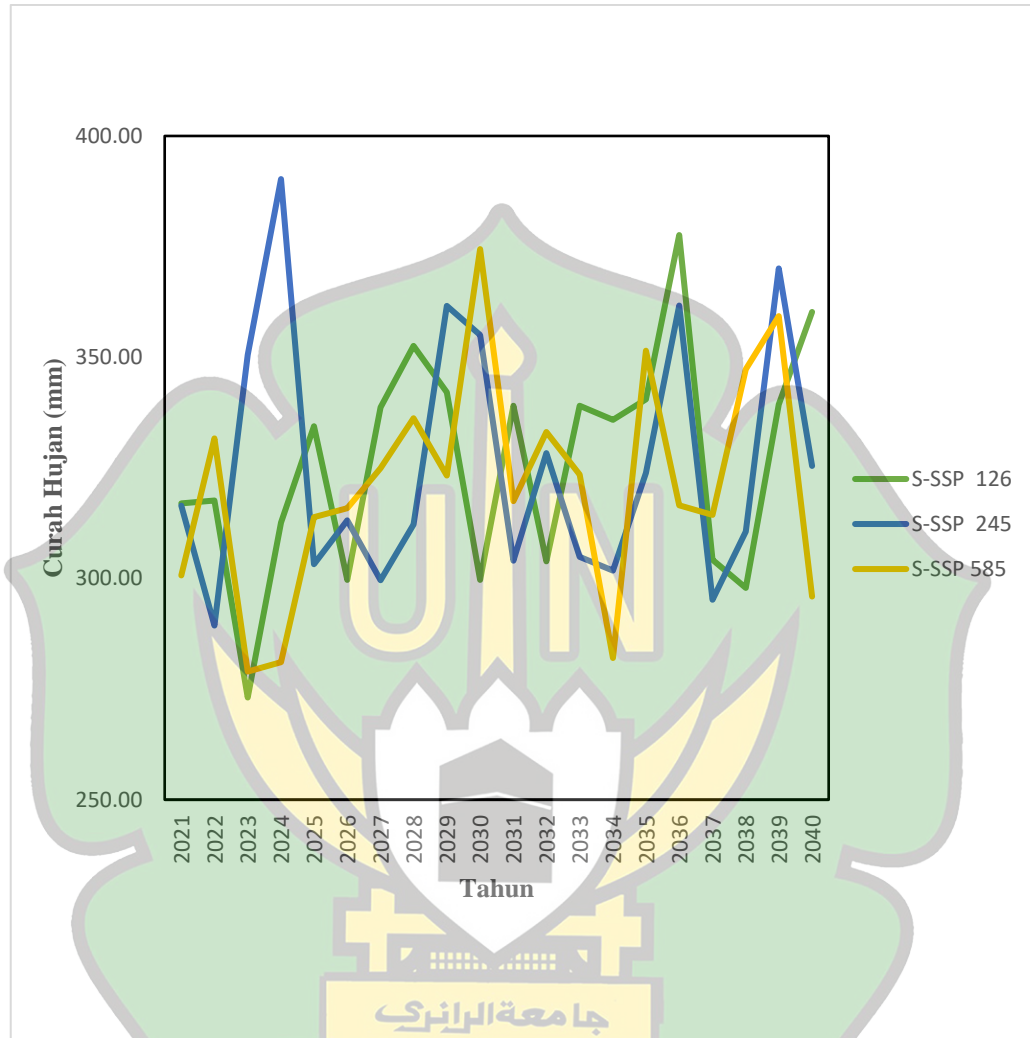
Gambar 4.7 Curah Hujan Periode 2099-2100

Berdasarkan grafik diatas perubahan curah hujan bulanan untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585, curah hujan mengalami peningkatan di bulan Juli hingga Desember dan penurunan di bulan Januari sampai Juni. Curah hujan menurut S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585 untuk curah hujan tertinggi pada masing-masing RCP yaitu 445,71 mm, 394, 23 mm dan 400,02 mm. Sedangkan curah hujan terendah 22,46 mm, 40,16 mm, dan 40,03 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 171,90 mm, 170,85 mm dan 170,09 mm. Standar deviasi masing masing S-SSP periode 2021-2100 yaitu 87.87, 87,00 dan 86,41.

4.5 Proyeksi Curah Hujan Tahun 2021-2100

Proyeksi curah hujan periode 2021-2100 menggunakan piranti lunak SDSM, berdasarkan variabel yang digunakan pada skenario CanESM5. Proyeksi dalam penelitian ini dibagi kedalam 4 periode proyeksi untuk memprediksi curah hujan yaitu periode 2021-2040, periode 2041-2060, periode 2061-2080, dan periode 2081-2100.

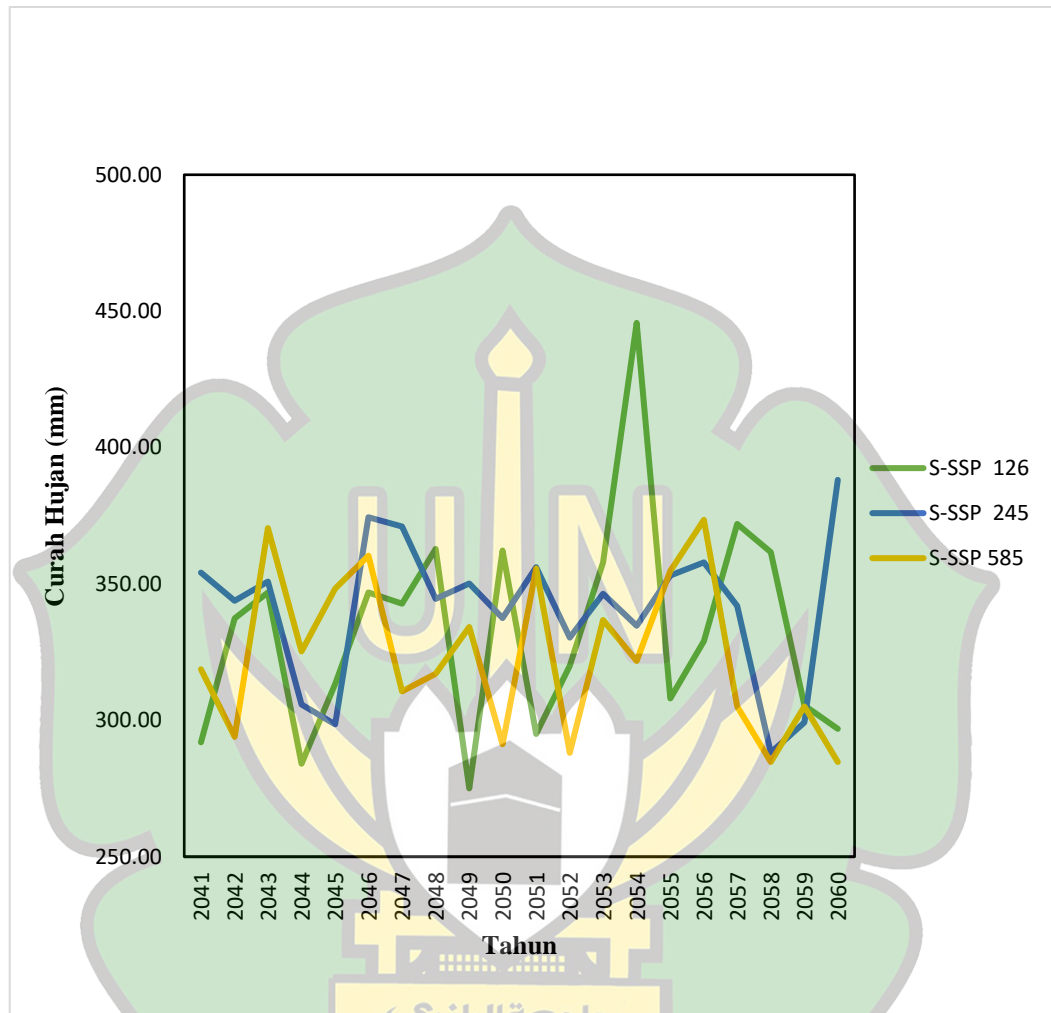
1. Periode 2021-2040



Gambar 4.8 Curah Hujan Maksimum Periode 2021-2040

Berdasarkan grafik dalam gambar 4.8 diatas menunjukkan S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2021-2040 yaitu 377,61 mm, 390.26 mm dan 374.44 mm sedangkan curah hujan terendah yaitu 273,11 mm, 289,37 mm dan 278,96 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 319,14 mm, 323,43 mm, dan 319,32 mm. Standar deviasi yaitu 24,91, 29,74 dan 22,30.

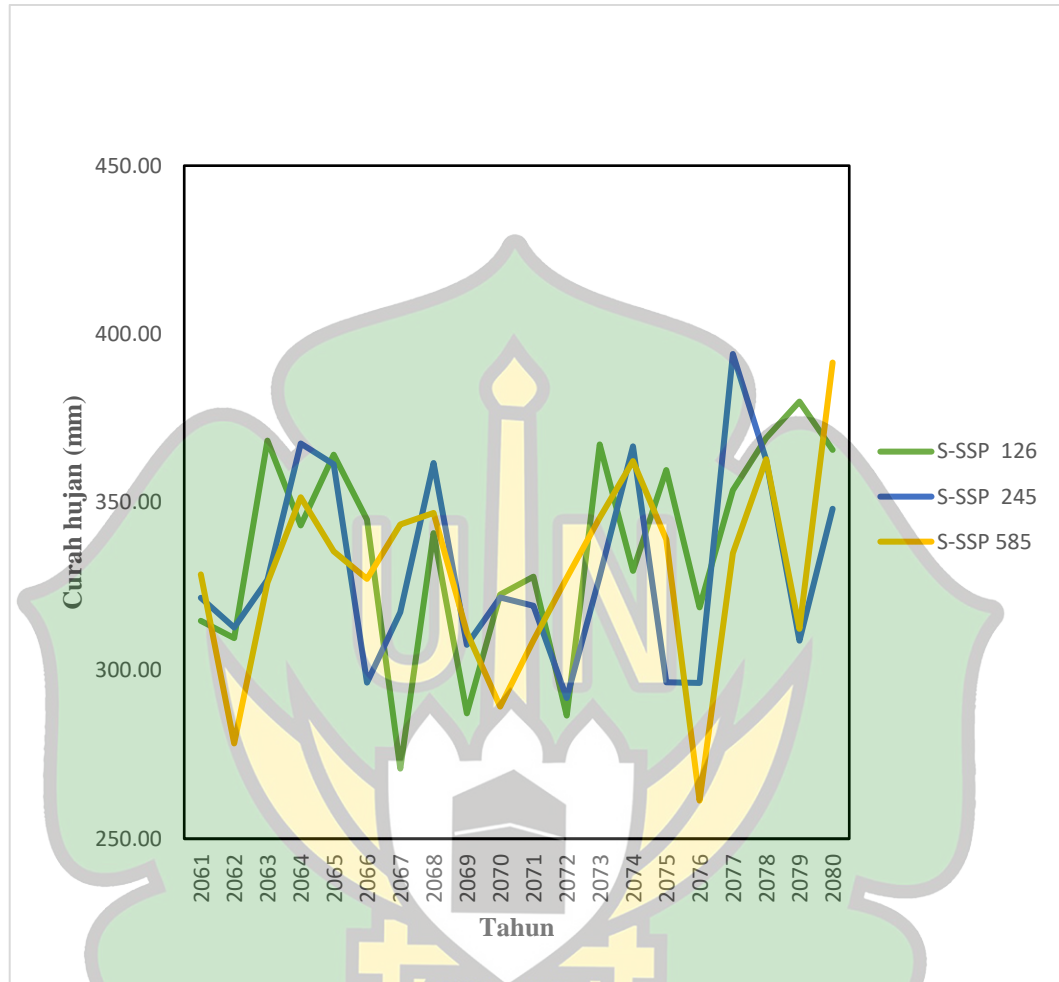
2. Periode 2041-2060



Gambar 4.9 Curah hujan maksimum Periode 2041-2060

Berdasarkan grafik dalam Gambar 4.9 menunjukkan S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2041-2060 yaitu 445,71 mm, 388,16 mm dan 373,51 mm sedangkan curah hujan terendah yaitu 275,06 mm, 288,21 mm dan 284,76 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 331,09 mm, 341,36 mm dan 342,04mm. Standar deviasi yaitu 39,85, 26,21 dan 29,08.

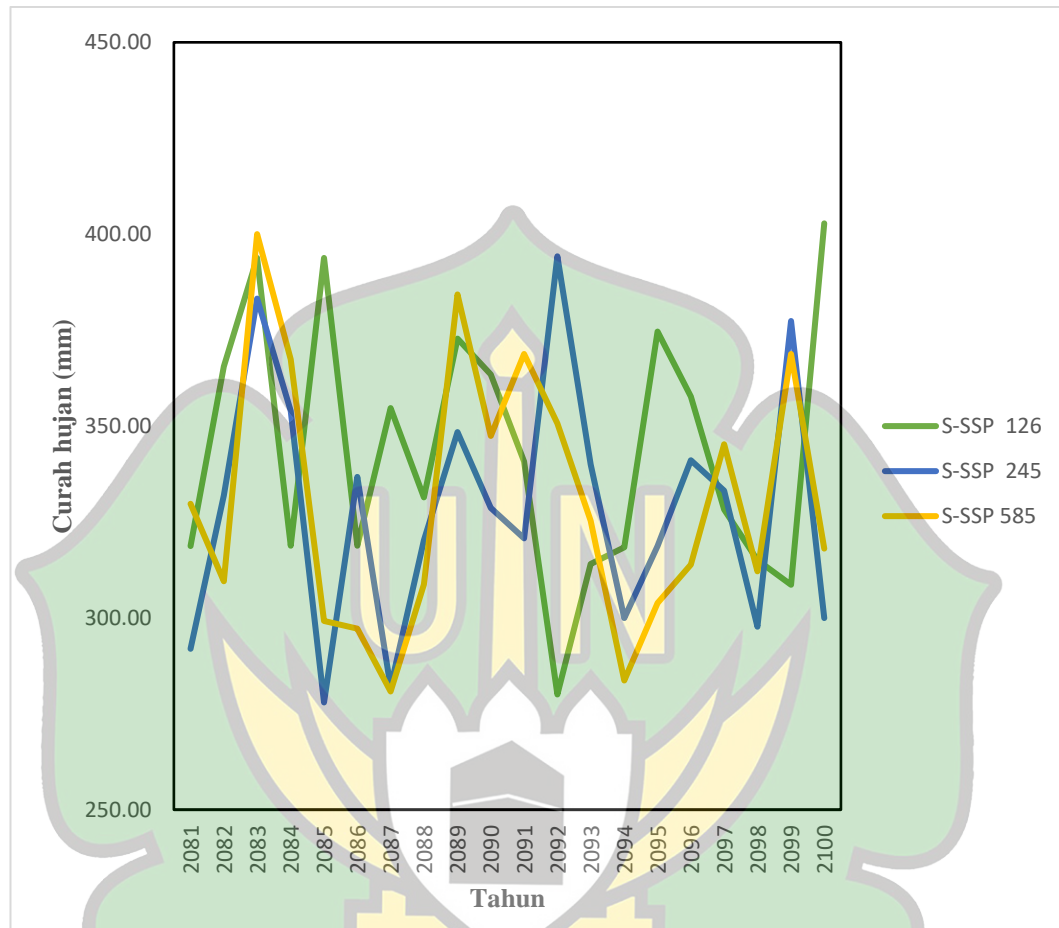
3. Periode 2061-2080



Gambar 4.10 Curah hujan maksimum Periode 2061-2080

Berdasarkan grafik dalam Gambar 4.10 menunjukkan S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh pada periode 2061-2080 yaitu 379,91 mm, 394,05 mm dan 391,51 mm. Sedangkan curah hujan terendah yaitu 270,86 mm, 291,83 mm dan 261,36 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 336,19 mm, 328,48 mm dan 328,22 mm. Standar deviasi yaitu 31,20, 28,58 dan 29,93.

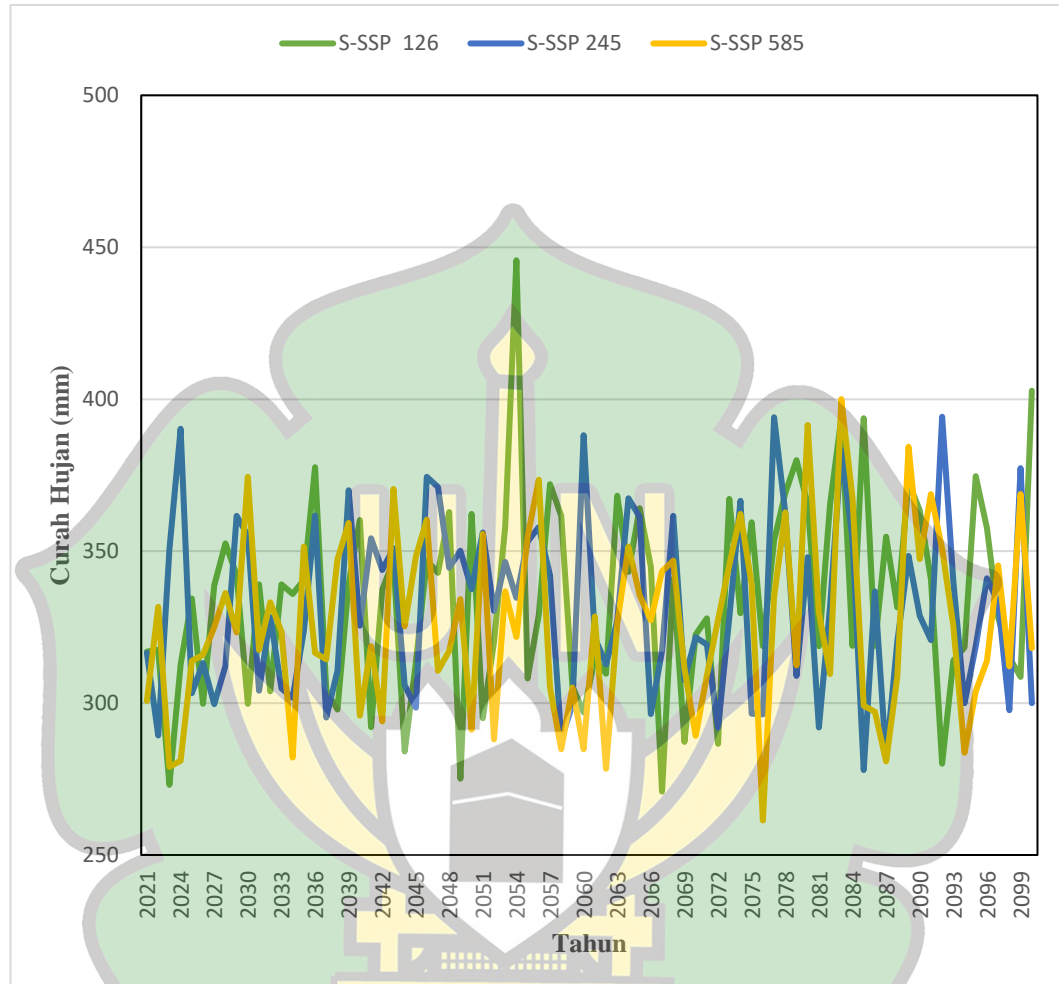
4. Periode 2080-2100



Gambar 4.11 Curah hujan maksimum Periode 2081-2100

Berdasarkan grafik dalam Gambar 4.11 menunjukkan S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2081-2100 yaitu 402,82 mm, 394,23 mm dan 400,02 mm sedangkan curah hujan terendah yaitu 280,04 mm, 277,96 mm dan 280,81 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 343,59 mm, 328,89 mm dan 330,74 mm. Standar deviasi yaitu 33,55, 32,45 dan 34,10.

5. Curah Hujan periode 2021-2100



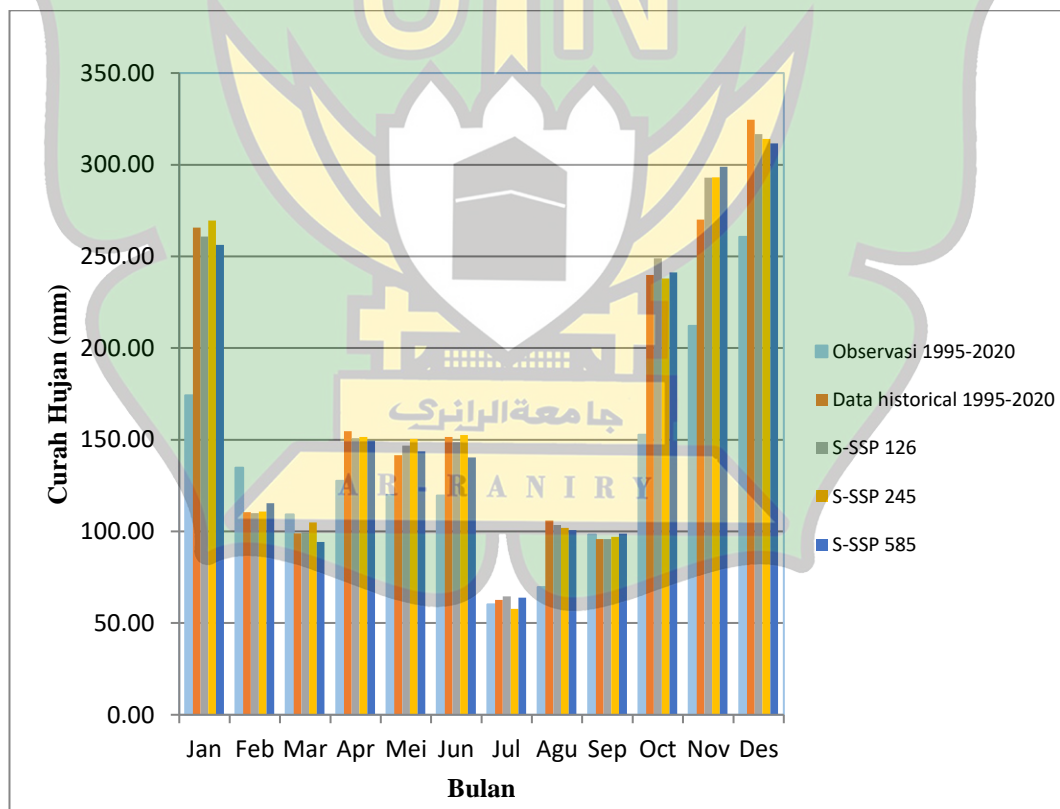
Gambar 4.12 Grafik Curah Hujan maksimum Periode 2021-2100

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.12 menunjukkan S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2021-2100 yaitu 445,71 mm, 394,23 mm dan 400,02 mm sedangkan curah hujan terendah yaitu 270,86 mm, 277,96 mm dan 261,36 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 334,70 mm, 331,61 mm dan 326,27 mm. Standar deviasi yaitu 32,84, 29,40 dan 32,84.

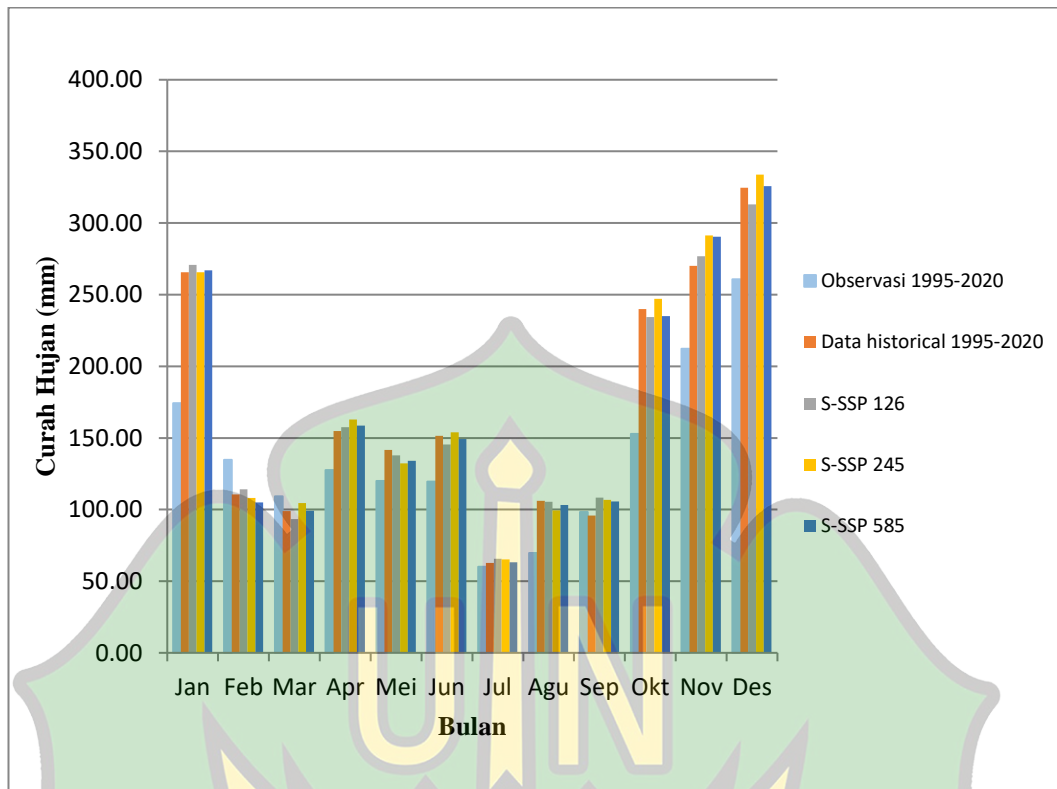
4.6 Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Berdasarkan Pola Curah Hujan di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh

Berdasarkan hasil tahap kalibrasi dan validasi selanjutnya dilakukan *Scenario Generator* untuk membangkitkan data Model GCM sebagai proyeksi curah hujan iklim berdasarkan skenario S-SSP 126, S-SSP 245 dan S-SSP 585. Data hasil pembangkitan proyeksi iklim dirata-rata pada 4 periode tahun 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 dan 2081-2100 serta dibandingkan dengan data observasi DAS Krueng Aceh tahun 1995-2020 dan data historical 1995-2020.

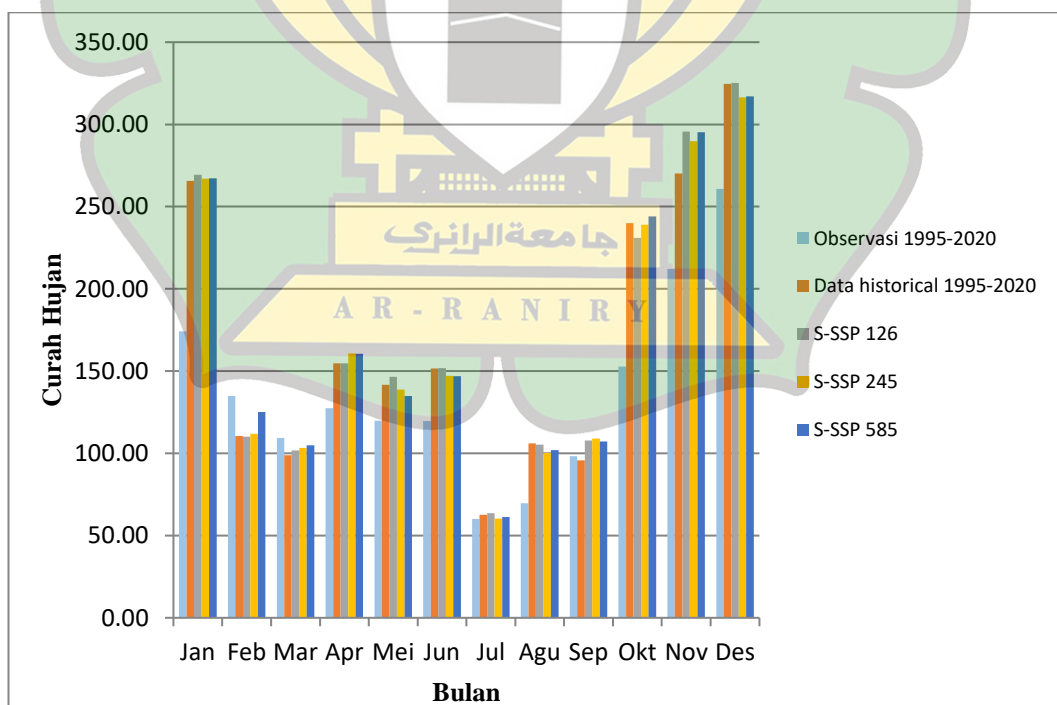
Jika data hasil pembangkitan data proyeksi iklim dirata-ratakan pada 4 periode dibandingkan dengan data curah hujan observasi akan menghasilkan proyeksi perubahan iklim dapat dilihat pada Gambar 4.13, Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16



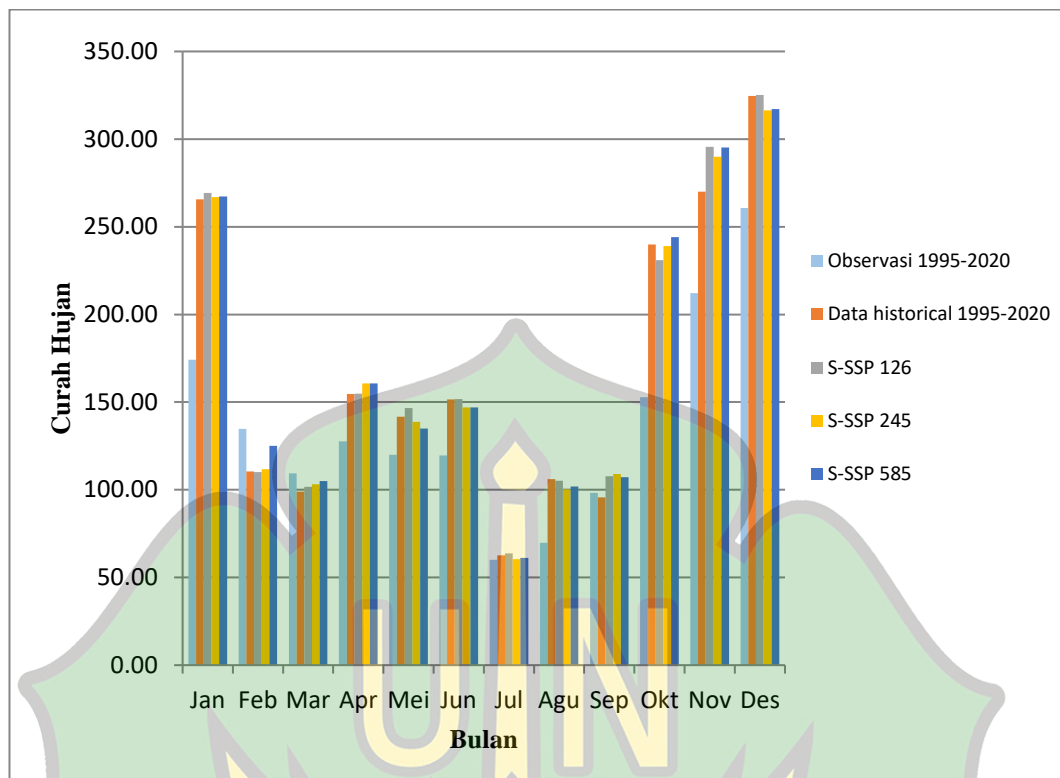
Gambar 4.13 Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2021-2040



Gambar 4.14 Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2041-2060



Gambar 4.15 Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2061-2080



Gambar 4.16 Perbandingan Proyeksi Curah Hujan Bulanan Periode 2081-2100

Berdasarkan proyeksi perubahan iklim diakibatkan oleh perubahan intensitas curah hujan bulanan rata-rata. Pada periode 2021-2040 untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi pada Oktober-November-Desember-Januari, kemudian menurun pada bulan Februari dan Maret, naik kembali pada bulan April-Mei-Juni, Sedangkan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli-Agustus-September-Maret. Apabila curah hujan bulanan ditotal dalam tahunan untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245. Berdasarkan grafik 4. menunjukkan S-SSP 126, S-SSP 245, Dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2021-2040 yaitu 402,82 mm, 394,23 mm dan 400,02 mm sedangkan curah hujan terendah yaitu 280,04 mm, 277,96 mm dan 280,81 mm. Untuk curah hujan rata-rata yaitu 343,59 mm, 328,89 mm dan 330,74 mm. Standar deviasi yaitu 33,55, 32,45 mm dan 34,10 mm.

Pada periode 2041-2060 untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi pada Oktober-November-Desember-Januari, kemudian menurun pada bulan Februari dan Maret, naik kembali pada bulan April-Mei-

Juni, Sedangkan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli-Agustus-September-Maret. Apabila curah hujan bulanan ditotal dalam tahunan untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 masing-masing mengalami perubahan sebesar 33%, 33% dan 34%.

Pada periode 2061-2080 untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi pada Oktober-November-Desember-Januari, kemudian menurun pada bulan Februari dan Maret, naik kembali pada bulan April-Mei-Juni, Sedangkan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli-Agustus-September-Maret. Apabila curah hujan bulanan ditotal dalam tahunan untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 masing-masing mengalami perubahan sebesar 34 %, 33% dan 33 %.

Pada periode tahun 2081-2100 untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585, Curah hujan tertinggi pada Oktober-November-Desember-Januari, kemudian menurun pada bulan Februari dan Maret, naik kembali pada bulan April-Mei-Juni, Sedangkan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli-Agustus-September-Maret. Apabila curah hujan bulanan ditotal dalam tahunan untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 masing-masing mengalami perubahan sebesar 34%, 33% dan 33%.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.13, Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16, untuk skenario S-SSP 126, S-SSP 245, dan S-SSP 585 curah hujan tertinggi dan curah hujan terendah maka pola curah hujan di DAS Krueng Aceh termasuk ke pola monsun. Pola monsun merupakan tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim hujan) dimana pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi musim kering, sedangkan untuk bulan Desember, Januari dan Februari merupakan bulan basah. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau) (Hermawan, 2010).

Naik dan turunnya proyeksi curah hujan tergantung dari nilai *Radiative Forcing* yang dipicu parameter perubahan iklim seperti konsentrasi CO₂ atau radiasi matahari sesuai yang dinyatakan Agard dkk (2014) serta skenario RCP yang digunakan sesuai Pachauri dkk (2014). Nilai-nilai temperatur dan curah hujan

ekstrem yang terjadi pada kondisi sekarang berpeluang hadir lebih sering di masa depan (Suwarman dkk., 2022). Perubahan iklim diperkirakan akan meningkatkan kejadian ekstrem secara futuristik, serta efek yang berpotensi merusak struktur dan infrastruktur sungai, seperti jembatan (Rau dkk., 2021). Karena Indonesia memiliki banyak sungai, diperlukan kesadaran khusus terkait kondisi perubahan iklim saat ini. Sebagai negara kepulauan, juga memiliki sekitar 60% penduduk yang bertempat tinggal di wilayah pesisir, dimana pembangunan masyarakat terutama meningkatkan risiko bencana melalui banjir, kekeringan, dan banjir rob (Rudiarto dkk., 2018)

Penelitian ini berdasarkan perubahan emisi CO₂ yang sejalan dengan perbedaan nilai *radiative forcing* sebagaimana dalam Van Vuuren dkk (2011) dimana untuk Skenario RCP 2.6 nilai *radiative forcing* mencapai puncak pada tahun 2050 sebesar 3 W/m² (setara CO₂ sebesar 490 ppm) dan turun menjadi 2,6 W/m² pada tahun 2100 (terjadi reduksi emisi CO₂), untuk skenario RCP 4.5 *radiative forcing* mengalami stabilisasi setelah tahun 2050 dan pada tahun 2100 nilainya sebesar 4,5 W/m² (setara CO₂ sebesar 650 ppm), sedangkan untuk skenario RCP 8.5 *radiative forcing* dan emisi CO₂ terus mengalami peningkatan hingga tahun 2100 mencapai nilai sebesar 8,5 W/m² (setara CO₂ sebesar 1370 ppm). Proyeksi curah hujan menunjukkan adanya peningkatan intensitas curah hujan yang sejalan dengan peningkatan *radiative forcing* dan emisi CO₂. Berdasarkan penilaian IPCC keenam yang menilai hasil suhu dengan lima skenario kerangka kerja SSP. Skenario ini terdiri dari SSP (SSP1-SSP5), dikombinasikan dengan tingkat pemaksaan radiasi yang diharapkan pada tahun 2100 (1,9 hingga 8,5 W/m²) (Hausfather, 2019). Berdasarkan beberapa skenario perubahan iklim yang digunakan, diperkirakan akan terjadi peningkatan frekuensi kejadian ekstrim di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh pada masa yang akan datang, sehingga diperlukan tindakan adaptasi dan mitigasi yang tepat setelah mendapatkan berbagai kemungkinan prediksi curah hujan di masa depan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan Model CanESM5 memperlihatkan proyeksi curah hujan di masa depan menurut tiga skenario yaitu S-SSP 126 (emisi rendah), S-SSP 245 (emisi sedang), dan S-SSP 585 (emisi tinggi) dengan curah hujan tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2021-2100 yaitu 445,71 mm, 394,23 mm dan 400,02 mm, dan curah hujan terendah yaitu 270,86 mm, 277,96 mm dan 261,36 mm. Curah hujan rata-rata ketiga scenario berurutan adalah 343,70 mm, 331,61 mm dan 326.27 mm, dengan standar deviasi 32,84, 29,40 dan 32,8. Hasil simulasi menunjukkan bahwa curah hujan maksimum terendah di Daerah Aliran sungai Krueng Aceh mencapai 261,36 mm untuk SSP 5-8.5 pada tahun 2076, curah hujan maksimum rata-rata mencapai 330,86 mm pada tahun 2021-2100 dan curah hujan maksimum tertinggi mencapai 445,71 mm pada tahun 2054 untuk SSP 1-2.6.. Curah hujan bulanan jika ditotal dalam tahunan untuk 33%, 33% dan 34%. Nilai kalibrasi 0.025 masih tergolong lemah. Naik dan turunnya proyeksi curah hujan dengan tingkat perbedaan tergantung dari nilai *Radiative Forcing* yang dipicu parameter perubahan iklim seperti konsentrasi CO₂.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pemodelan di lebih banyak stasiun terkait parameter hidrologi. Nilai R² (Koefesien determinasi) yang diperoleh masih tergolong lemah untuk prediksi curah hujan dimasa mendatang, oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan agar mendapatkan nilai R² yang lebih baik.
2. Perlu dilakukan pemodelan hidrologi lainnya seperti kelembapan, aliran permukaan, evapotranspirasi dan berbagai parameter hidrologi lainnya di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh.
3. Perlu dilakukan pemodelan hidrologi dengan berbagai piranti lunak seperti SDSM, LARS WG, ANN dan sebagainya agar dapat memitigasi berbagai

bencana hidrologi karena perubahan iklim di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh.



DAFTAR PUSTAKAN

- Agard, J., Schipper, E. L. F., Birkmann, J., Campos, M., Dubeux, C., Nojiri, Y., Olsson, J., Osman-Elasha, B., Pelling, M., & Prather, M. J. (2014). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Annex II Glossary*. Cambridge University Press, New York.
- Akhter, M., & Manzoor Ahmad, A. (2017). Climate Modeling of Jhelum River Basin-A Comparative Study. *Environment Pollution and Climate Change*, 1(2), 1–14.
- Aldrian, E., & Dwi Susanto, R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452.
- Alexandro, R., Putri, W. U., & Oktaria, M. (2021). Analisis Aktivitas Ekonomi Masyarakat Dan Nilai Ekonomi Daerah Aliran Sungai Saat Terdampak Pandemi COVID-19 Di Kelurahan Panamas Kecamatan Selat Kabupaten. *Edunomics Journal*, 2(1), 43–55.
- Alfian, R., & Phelia, A. (2021). Evaluasi Efektifitas Sistem Pengangkutan Dan Pengelolaan Sampah Di TPA Sarimukti Kota Bandung. *JICE (Journal of Infrastructural in Civil Engineering)*, 2(01), 16–22.
- Ardiansyah, A. N., & Windarti, A. (n.d.). *Pola Perilaku Spasial Masyarakat Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung Kaitannya Dalam Pelestarian Lingkungan (Studi Kasus: Masyarakat Di Kecamatan Pancoran Kota Jakarta Selatan)*. Jakarta: FITK UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Baghanam, A. H., Nourani, V., Sheikhabaei, A., & Seifi, A. J. (2020). Statistical downscaling and projection of future temperature change for Tabriz city, Iran. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 491(1), 12009.
- Butar-butur, V. P., Soleh, A. M., & Wigena, A. H. (2019). Pemodelan Clusterwise Regression Pada Statistical Downscaling Untuk Pendugaan Curah Hujan Bulanan. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, 3(3), 236–246.
- Christina, B., Nugraheni, N. D., & Rosidha, N. S. (2022). Potensi Pemanfaatan Emisi Ch4 dari Sektor Limbah Cair Domestik sebagai Energi Listrik di Kota Cimahi. *EnviroUS*, 2(2), 41–48.
- Dosdogru, F., Kalin, L., Wang, R., & Yen, H. (2020). Potential impacts of land use/cover and climate changes on ecologically relevant flows. *Journal of Hydrology*, 584(March 2019), 124654.
- Eraku, S. S., & Permana, A. P. (2020). Analisis Kemampuan Dan Kesesuaian Lahan Di Daerah Aliran Sungai Alo, Provinsi Gorontalo. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1), 86–99.

<https://doi.org/10.20527/jukung.v6i1.8243>

- Fenta Mekonnen, D., & Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391–2408.
- Firdaus, A. (2021). *Analisis Debit Puncak Das Jenelata Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan*.
- Hassan, Z., Shamsudin, S., & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116(1), 243–257.
- Hatmoko, W., & Diaz, B. (2020). Comparison of rainfall-runoff models for climate change projection—case study of Citarum River Basin, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 423(1), 12045.
- Hausfather, Z. (2018). Explainer: How ‘shared socioeconomic pathways’ explore future climate change. *Carbon Brief*, 19.
- Hausfather, Z. (2019). CMIP6: the next generation of climate models explained. *Carbon Brief [Internet]*, 2.
- Hermawan, E. (2010). Pengelompokan Pola Curah Hujan yang terjadi di beberapa kawasan P. Sumatera berbasis hasil analisis teknik spektral. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 11(2).
- Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C. Y., Wang, B., & Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(6), 781–792.
- Husna, J., & Sanusi, S. (2019). Modeling Statistical Downscaling for Prediction Precipitation Dry Season in Bireuen District Province Aceh. *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*, 2(2), 74–82.
- Imran, M., Sangkertadi, C. E. V., & Rahmat, A. (2019). Thermal Analisis of the Increase in Ambient Temperature Due to Motor Vehicle Activities. *Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 9(2), 751–754.
- Jeong, D. Il, Yu, B., & Cannon, A. J. (2022). Climate change impacts on linkages between atmospheric blocking and North American winter cold spells in CanESM2 and CanESM5. *Climate Dynamics*, 1–15.
- Khan, A. A., Zhao, Y., Khan, J., Rahman, G., Rafiq, M., & Moazzam, M. F. U. (2021). Spatial and Temporal Analysis of Rainfall and Drought Condition in Southwest Xinjiang in Northwest China, Using Various Climate Indices. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 201–216. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00226-5>
- Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319(1–4), 357–382.

- Laia, M. L., & Setyawan, Y. (2020). Perbandingan hasil klasifikasi curah hujan menggunakan metode SVM dan NBC. *Jurnal Statistika Industri Dan Komputasi*, 5(02), 51–61.
- Mahmood, R., & Babel, M. S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1), 27–44.
- Muhajir, M., Ismail, N., Syahreza, S., & Simanjuntak, A. V. H. (2021). Pemutakhiran Zona Musim (ZOM) Provinsi Aceh Menggunakan Data Blending Berbasis Non-Hirarki K-Means Clustering. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18(1), 35–41.
- NASRULLAH, N., & KARTIWA, B. (n.d.). Landuse Change Analysis in Relation to Hydrological Characteristic of Krueng Aceh Watershed. *Indonesian Soil and Climate Journal*, 31, 134339.
- Notodiputro, K. A., Wigena, A. H., & Fitriadi. (2005). Pendekatan Regresi Komponen Utama Dan Arima Untuk Statistical Downscaling. *J. Sains Tek.*, 11(3), 137–142.
- Nufutomo, T. K. (2022). perubahan iklim sebagai ancaman ketahanan kualitas air pada daerah aliran sungai: literatur review. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(3), 188–200.
- Nurdiyanto, I. A., & Primawan, A. B. (2020). Monitoring Data Curah Hujan Berbasis Internet of Things (IoT). *Seri Prosiding Seminar Nasional Dinamika Informatika*, 4(1).
- 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. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., & Dasgupta, P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc.
- Pinontoan, I. O. R., Sumampouw, O. J., Pi, S., & Nelwan, J. E. (2022). *Perubahan Iklim Dan Pemanasan Global*. Deepublish.
- Rau, M. I., Hidayatulloh, M. H., Suharnoto, Y., & Arif, C. (2021). Evaluation of flood modelling using online visual media: Case study of Ciliwung River at Situ Duit Bridge, Bogor City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1), 12041.

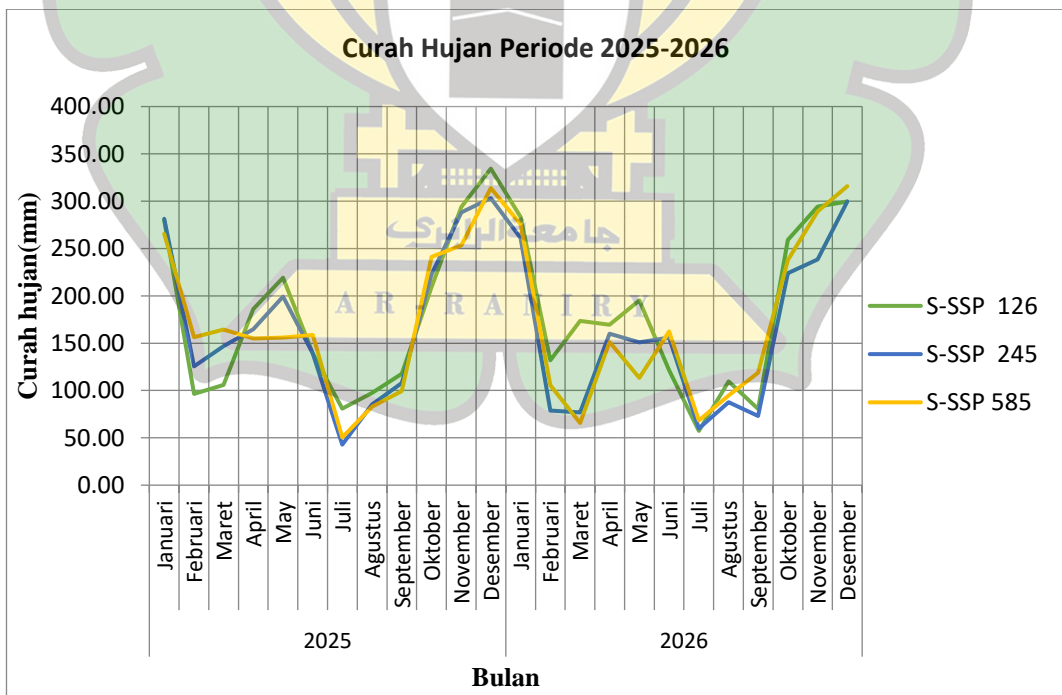
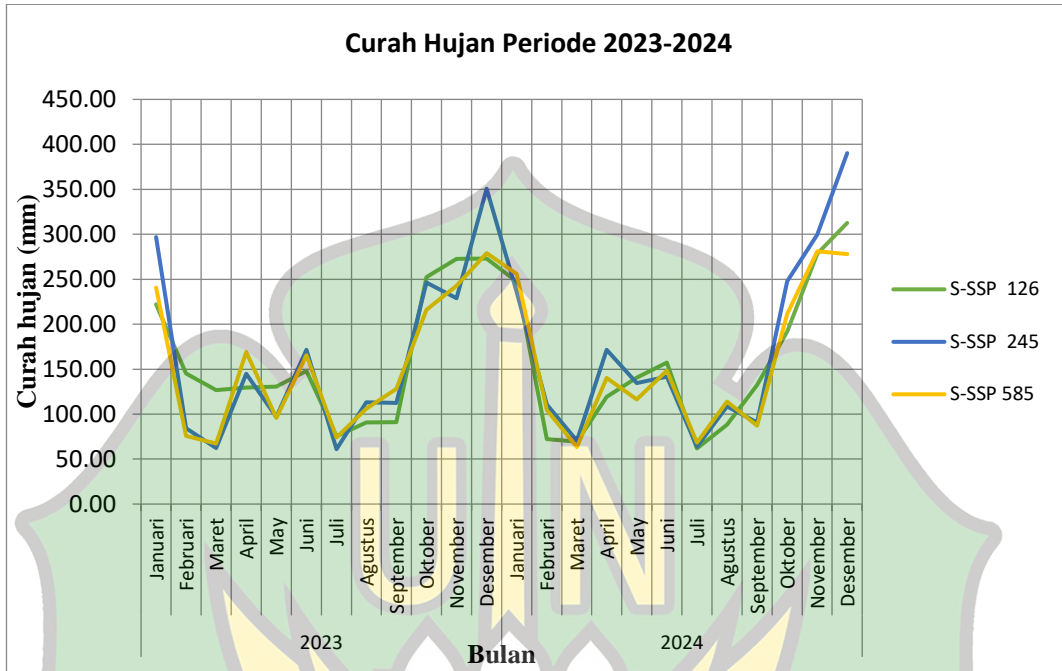
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., & Fricko, O. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. *Global Environmental Change*, *42*, 153–168.
- Romadhoni, A. Z., Wulandari, D. A., & Suharyanto, S. (2022). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Indeks Erosivitas Hujan Pada Daerah Tangkapan Air Waduk Saguling. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, *5*(2), 107–120.
- Rudiarto, I., Handayani, W., & Sih Setyono, J. (2018). A regional perspective on urbanization and climate-related disasters in the northern coastal region of central Java, Indonesia. *Land*, *7*(1), 34.
- Sakti, P. (2022). Perencanaan Drainase Sebagai Upaya Penanggulangan Analisis Banjir Di Desa Analahumbuti Kecamatan Anggotaa Kabupaten Konawe. *Sibatik Journal: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, *1*(7), 1263–1270.
- Santri, D., & Hanike, Y. (2020). Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Kuantil Komponen Utama Fungsional untuk Prediksi Curah Hujan Ekstrim. *MAP Journal*, *2*(1), 47–57.
- Sari, Y., Nasution, I. S., & Syahrul, S. (2021). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Jadwal Tanam Dan Produktivitas Padi Sawah Di Daerah Irigasi (DI.) Krueng Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, *6*(3).
- Supriya, P., & Krishnaveni, M. (2018). Flooding under changing climate in Vellar river basin using global circulation models. *MAUSAM*, *69*(4), 509–522.
- Suwarman, R., Riawan, E., Simanjuntak, Y. S. M., & Irawan, D. E. (2022). Kajian Perubahan Iklim di Pesisir Jakarta Berdasarkan Data Curah Hujan dan Temperatur. *Buletin Oseanografi Marina*, *11*(1), 99–110.
- Swarinoto, Y. S., & Wigena, A. H. (2011). Statistical Downscaling Suhu Muka Laut Global Untuk Prediksi Total Hujan Bulanan Menggunakan Teknik Pls. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, *12*(1), 9–19.
- Upa P, D. S., Sahrman, S., & Thamrin, S. A. (2021). Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Modifikasi Jackknife Ridge Dummy Berbasis K-means untuk Pendugaan Curah Hujan. *ESTIMASI: Journal of Statistics and Its Application*, *2*(1), 19–28.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., & Lamarque, J.-F. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, *109*, 5–31.

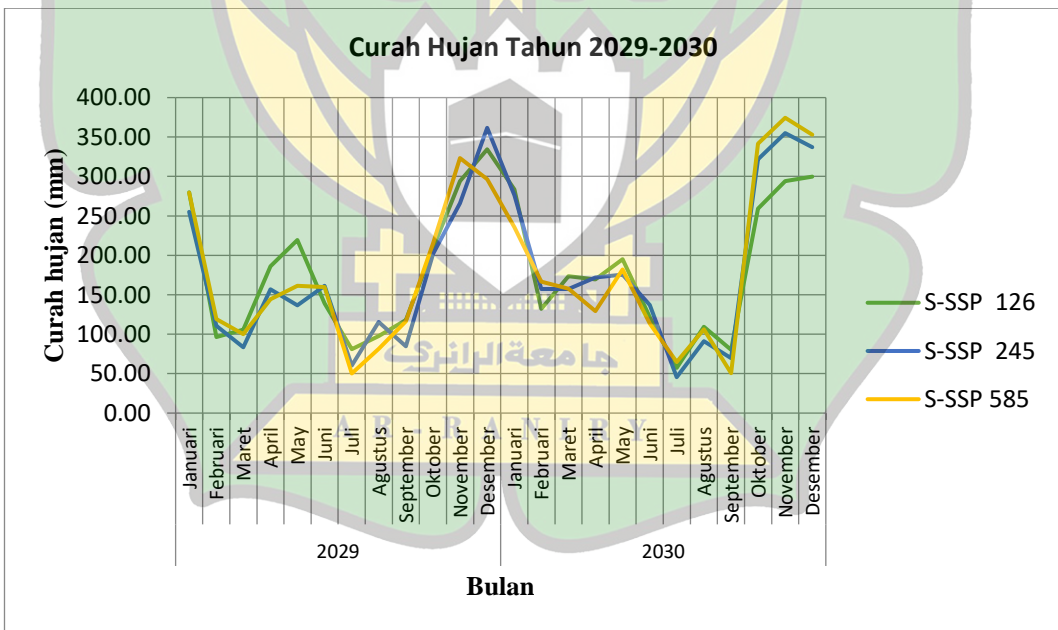
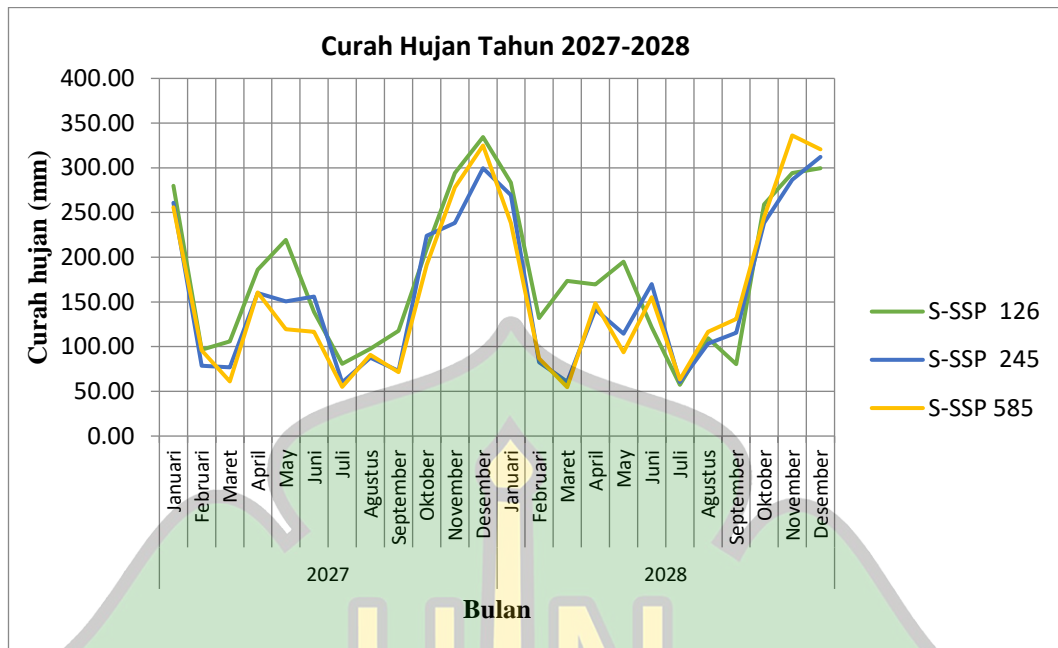
- Wang, Q., Huang, J., Liu, R., Men, C., Guo, L., Miao, Y., Jiao, L., Wang, Y., Shoaib, M., & Xia, X. (2020). Sequence-based statistical downscaling and its application to hydrologic simulations based on machine learning and big data. *Journal of Hydrology*, 586, 124875.
- Wardani, N. (2017). *Perubahan iklim dan pengaruhnya terhadap serangga hama*. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian.
- Wigena, A. H., Djuraidah, A., & Sahrima, S. (2015). Statistical Downscaling Dengan Pergeseran Waktu Berdasarkan Korelasi Silang. In *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* (Vol. 16, Issue 1, pp. 19–24).
- Wijaya, T., & Sujono, J. (2022). Ketidakpastian Hasil dari Metode Statistical Downscaling dalam membuat Model Hujan Rerata Wilayah. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 13(2), 195–205.

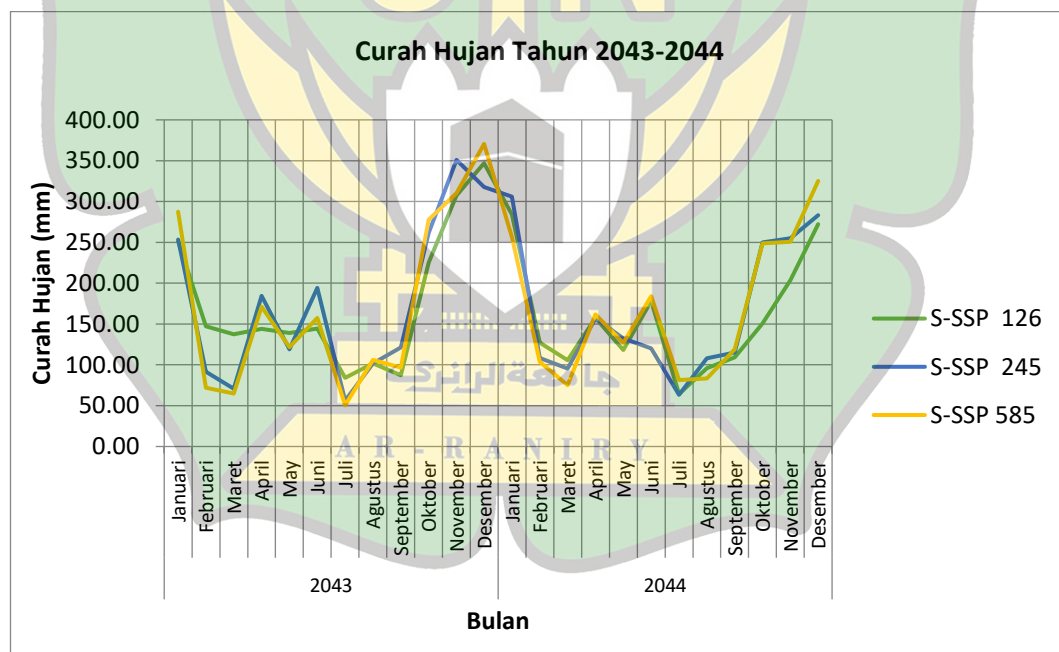
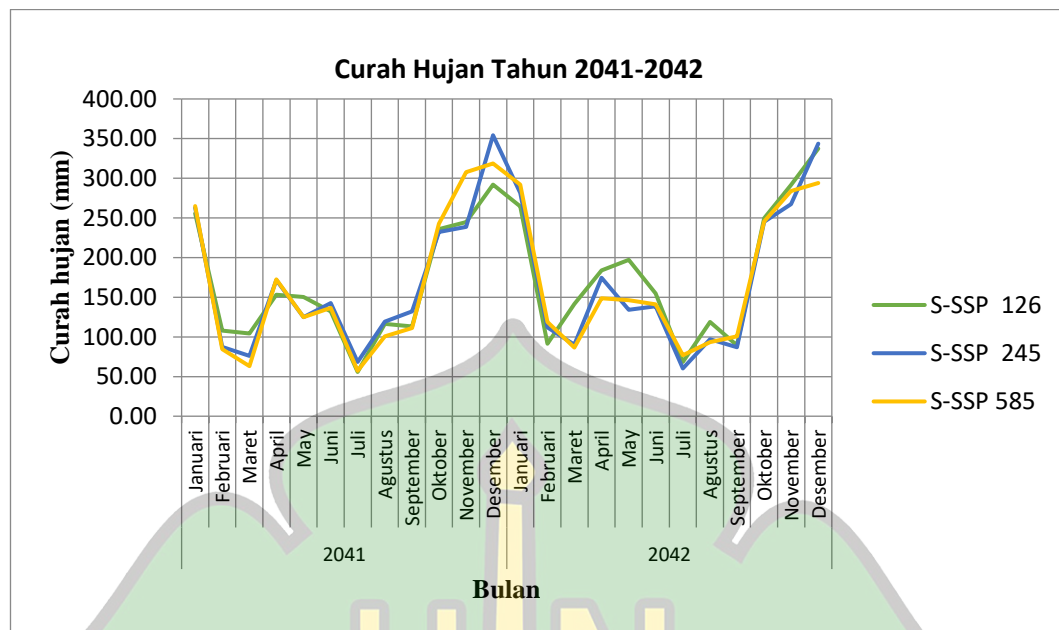


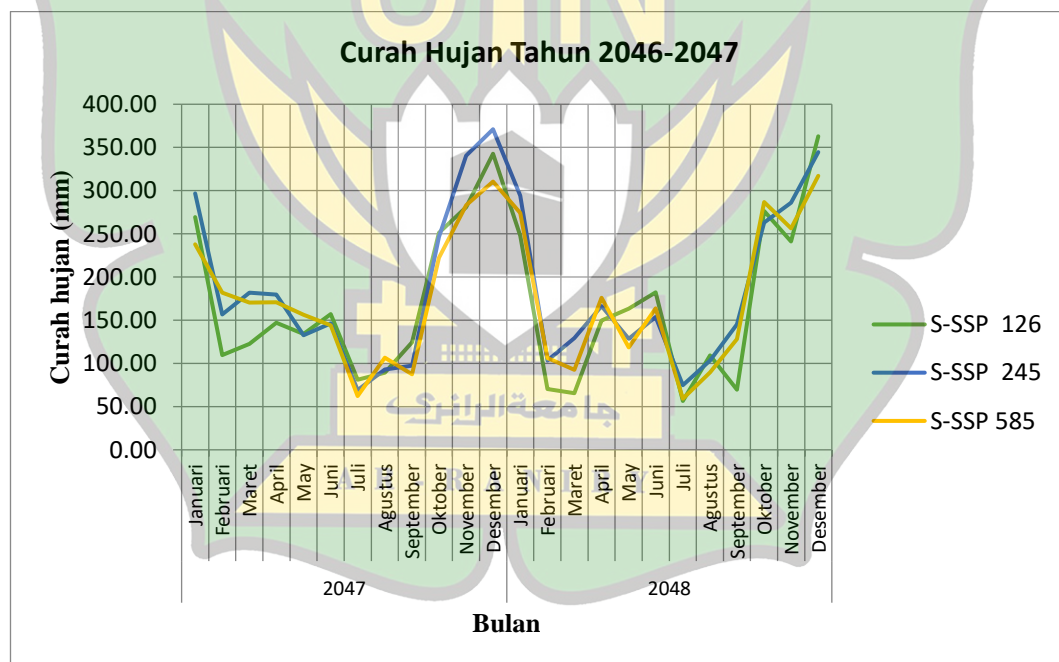
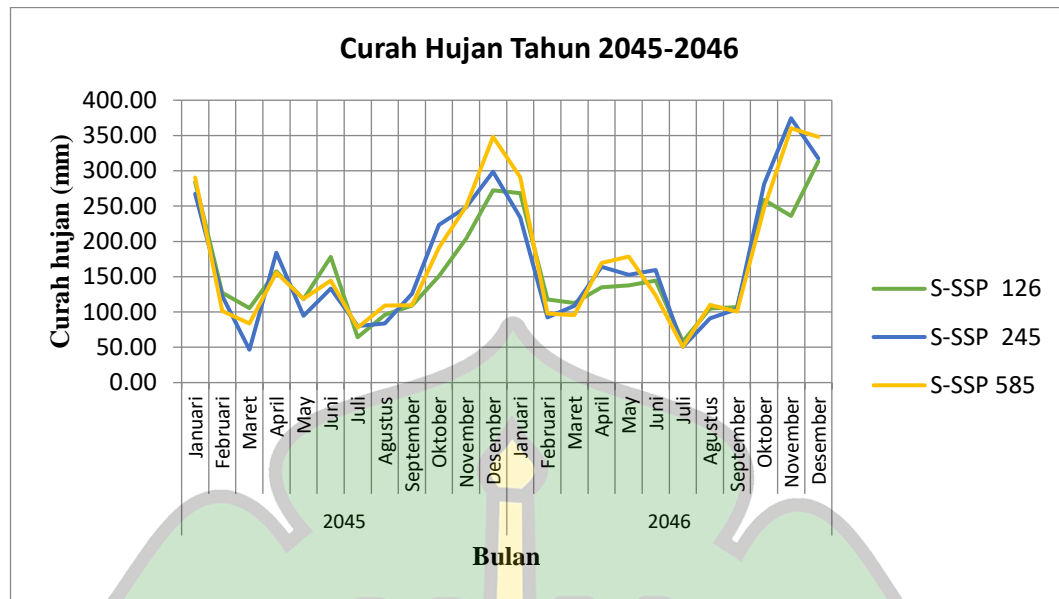
LAMPIRAN

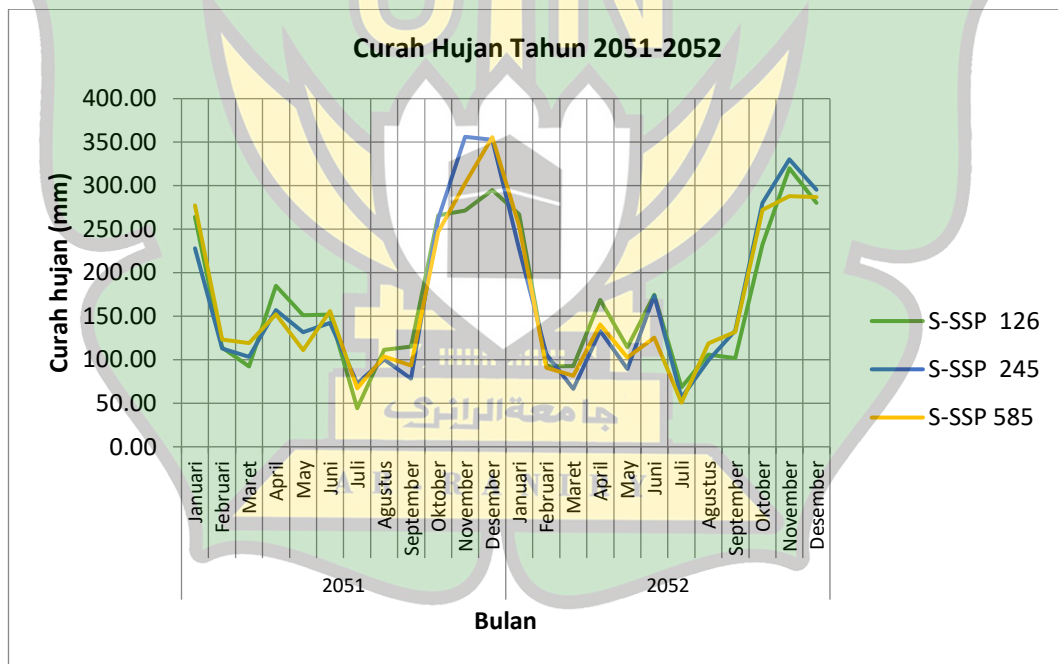
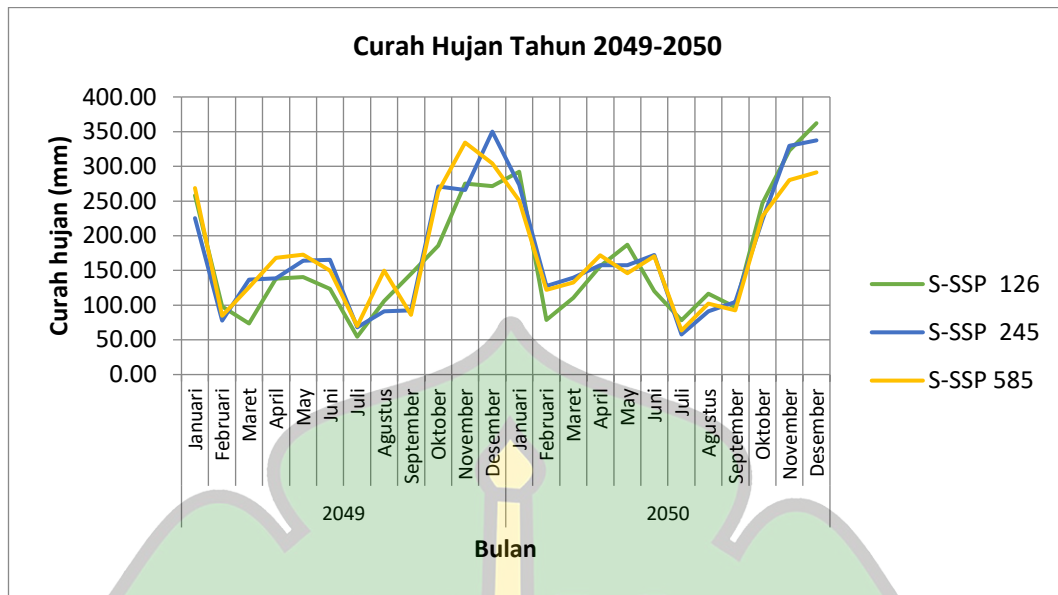
Lampiran 1 Grafik Proyeksi Curah Hujan Bulanan Tahun 2023-2100

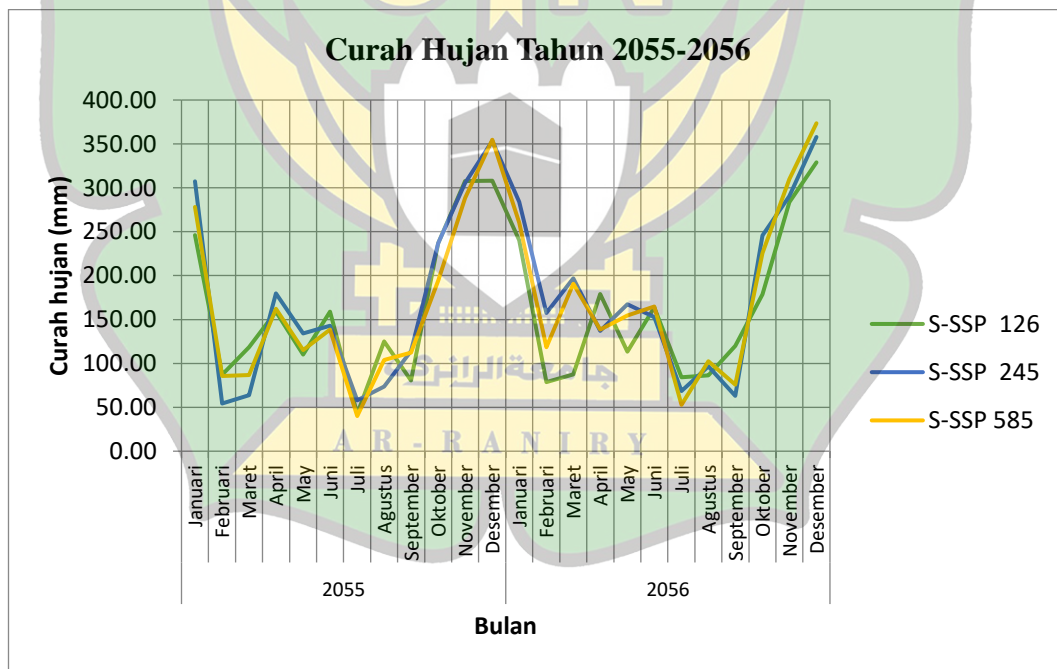
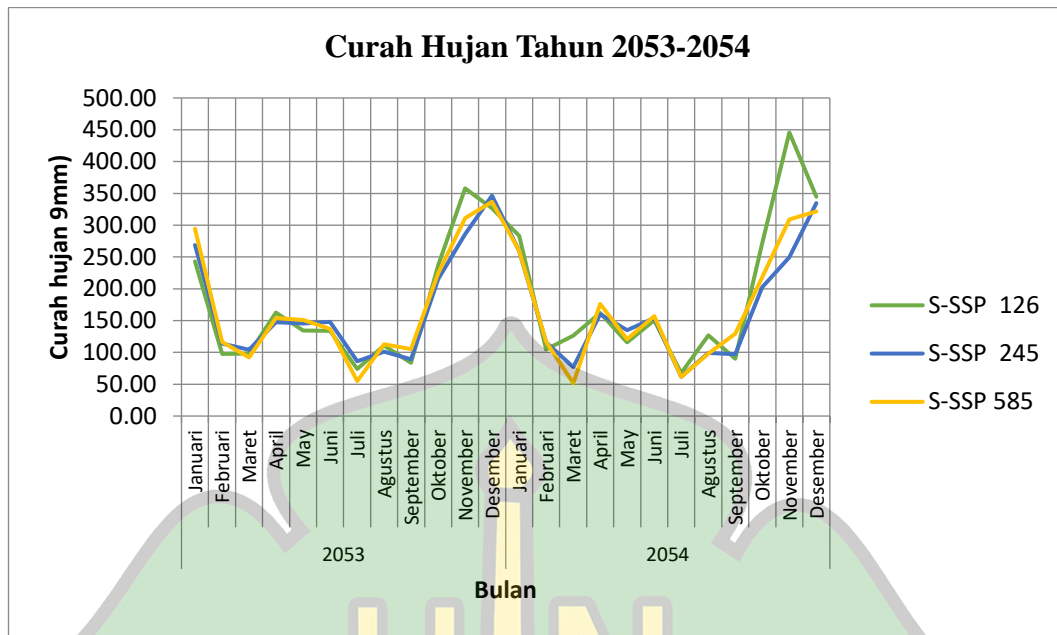


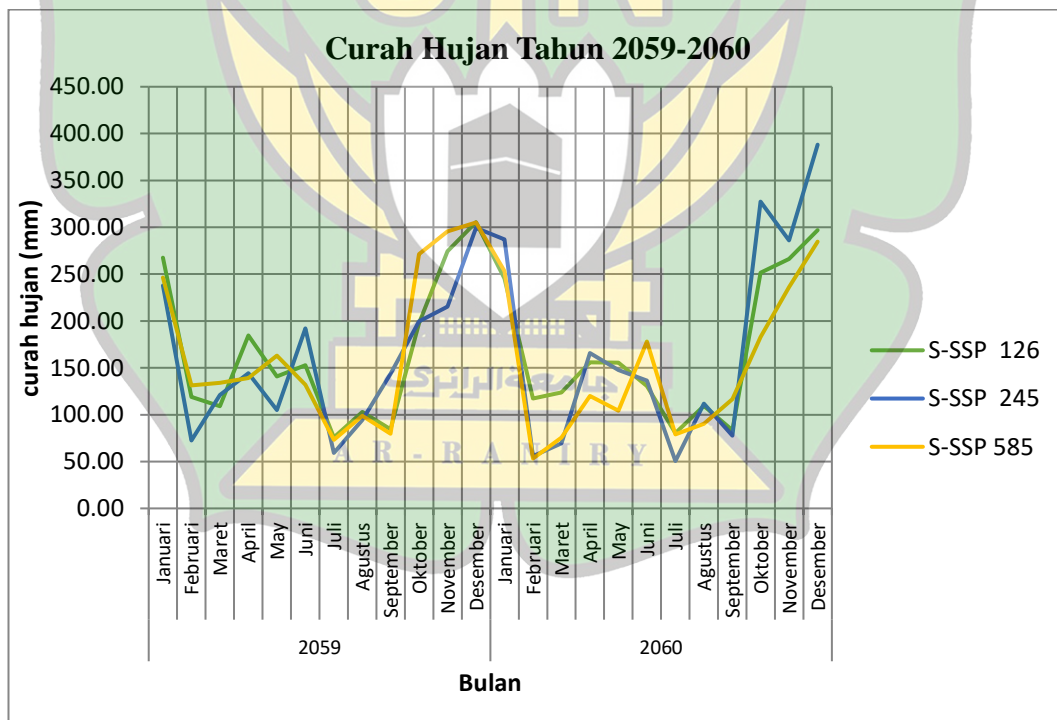
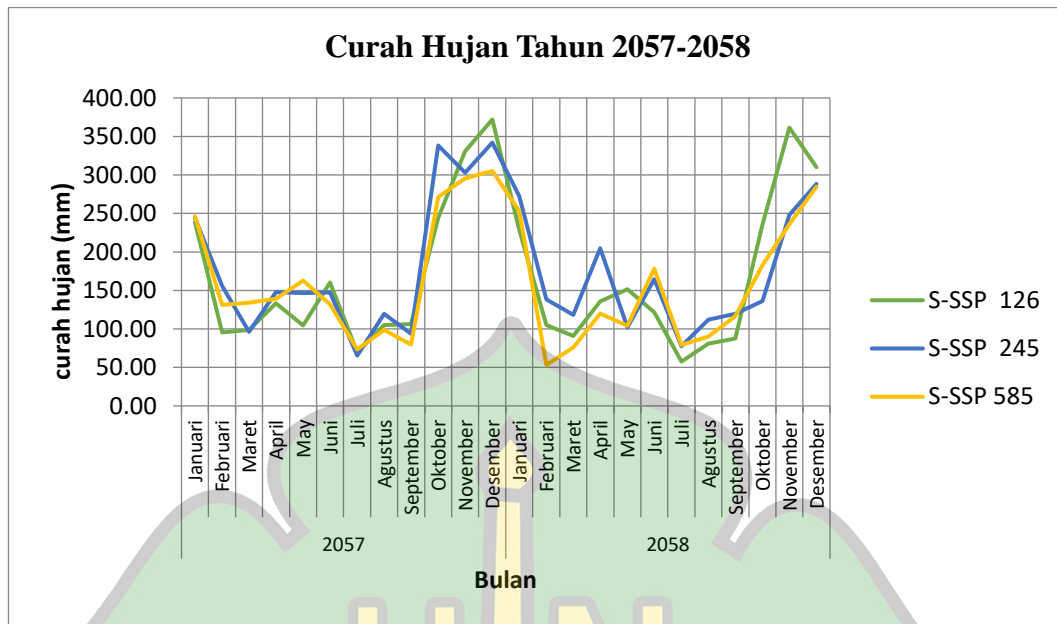


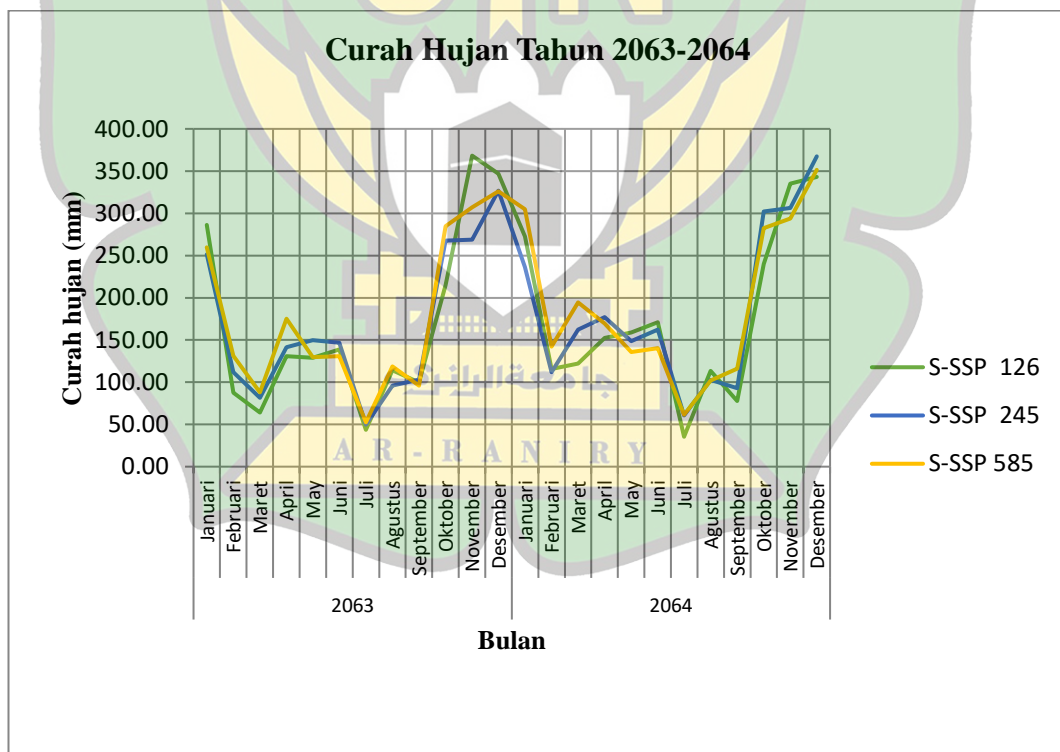
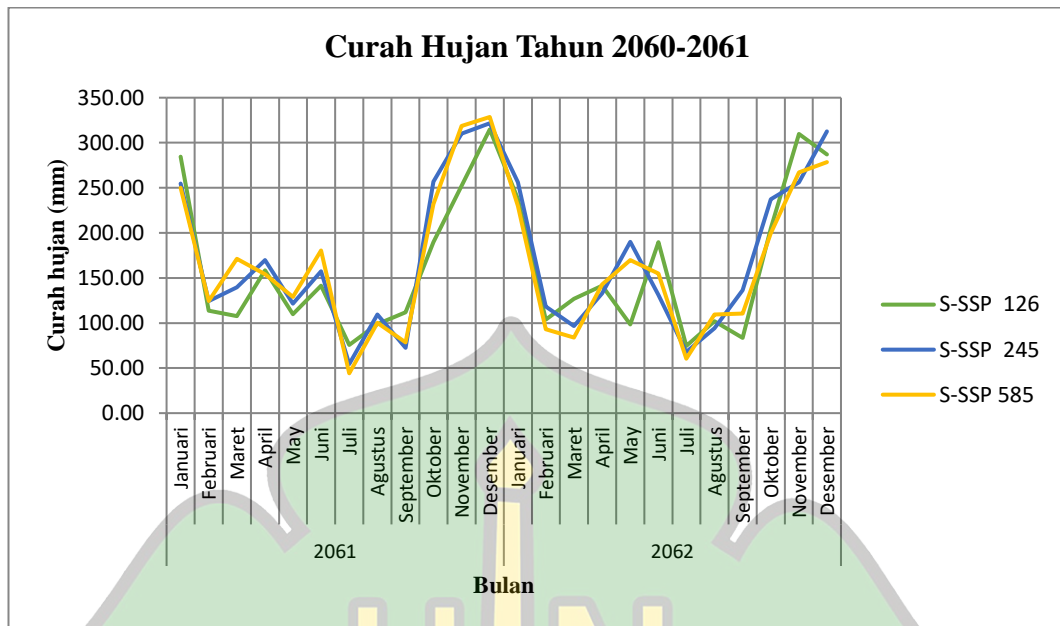


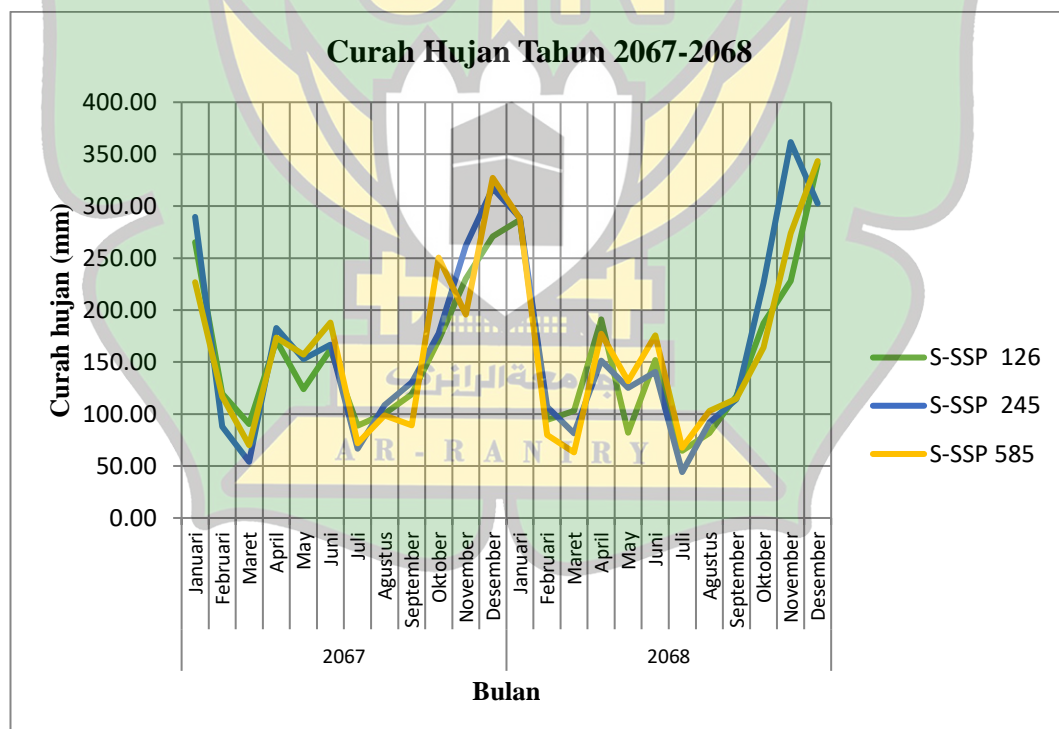
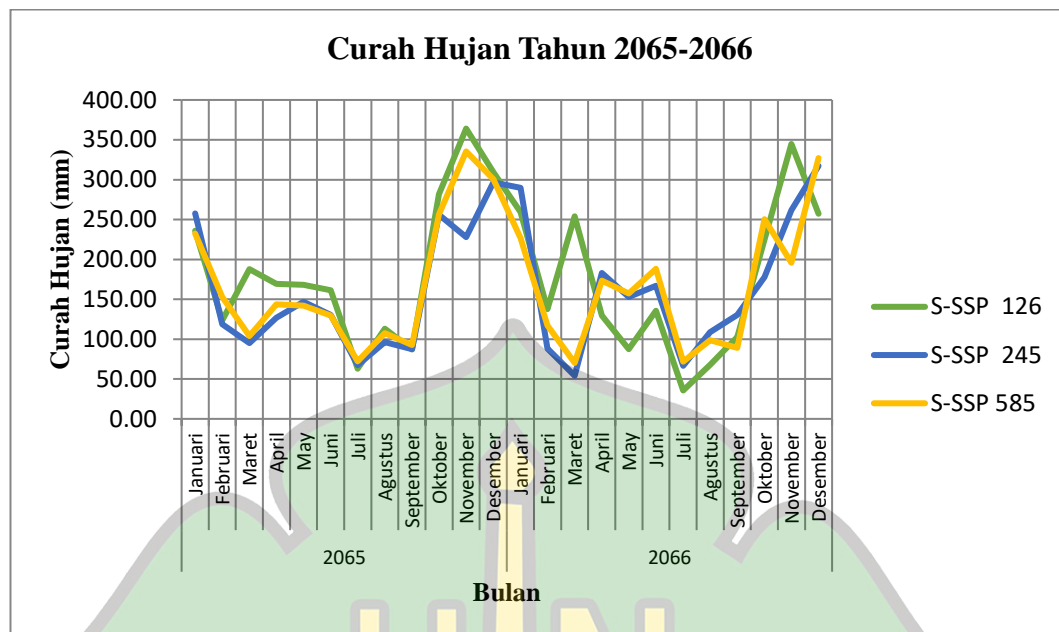


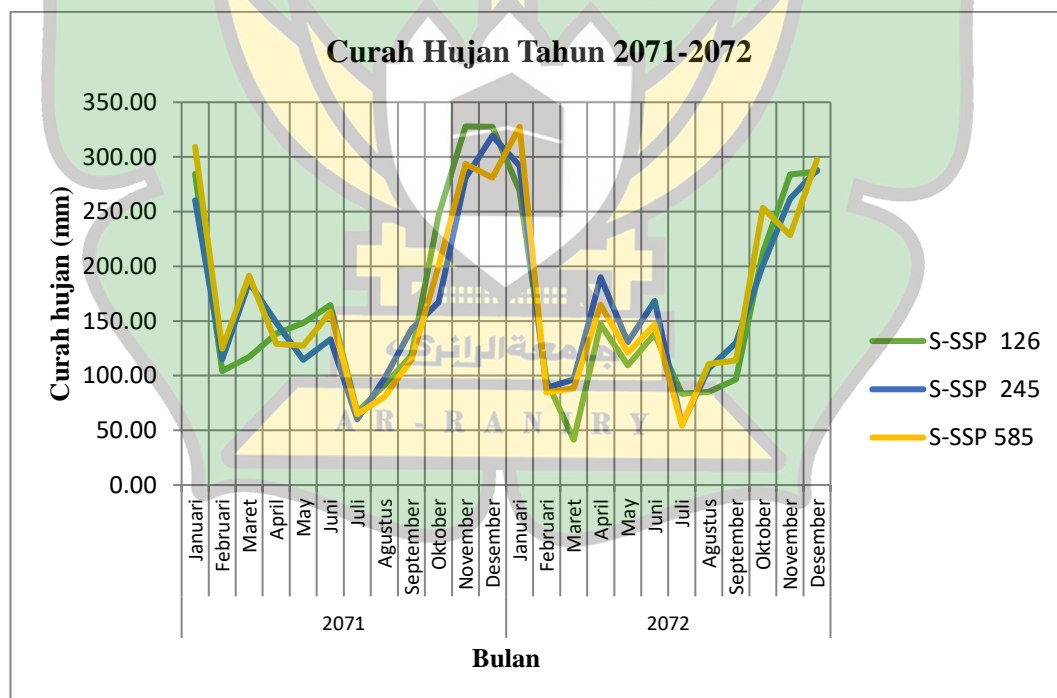
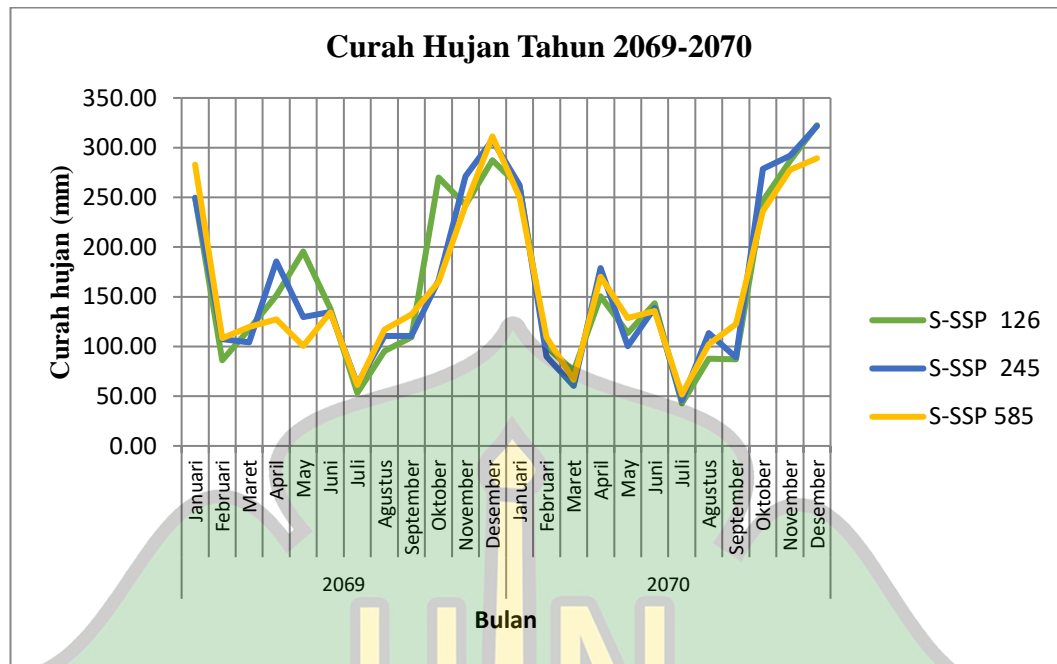


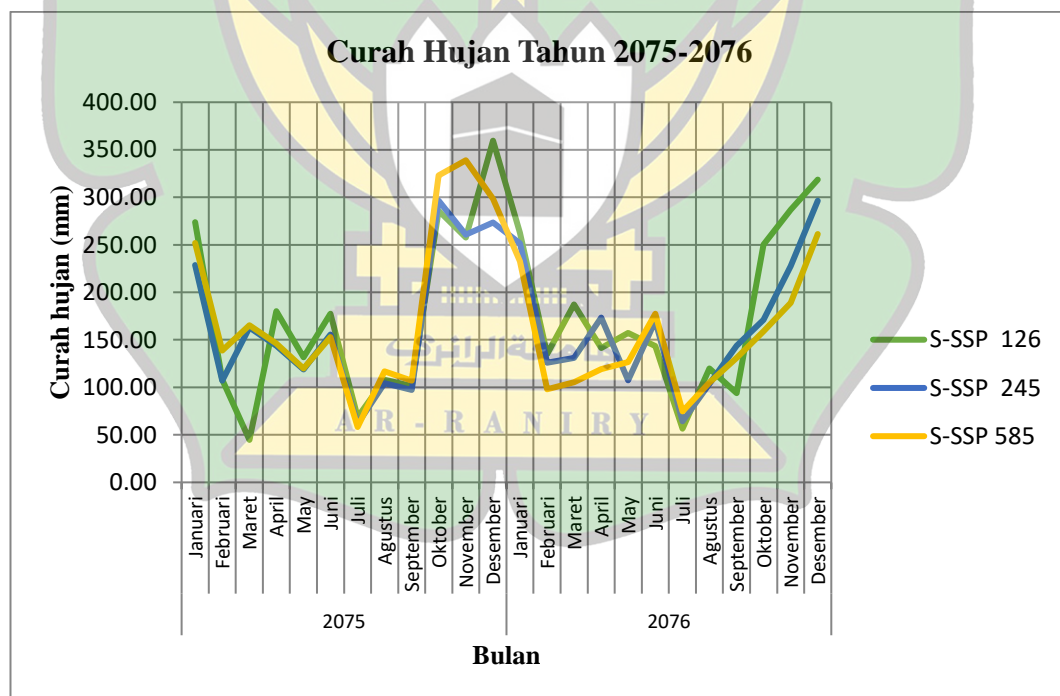
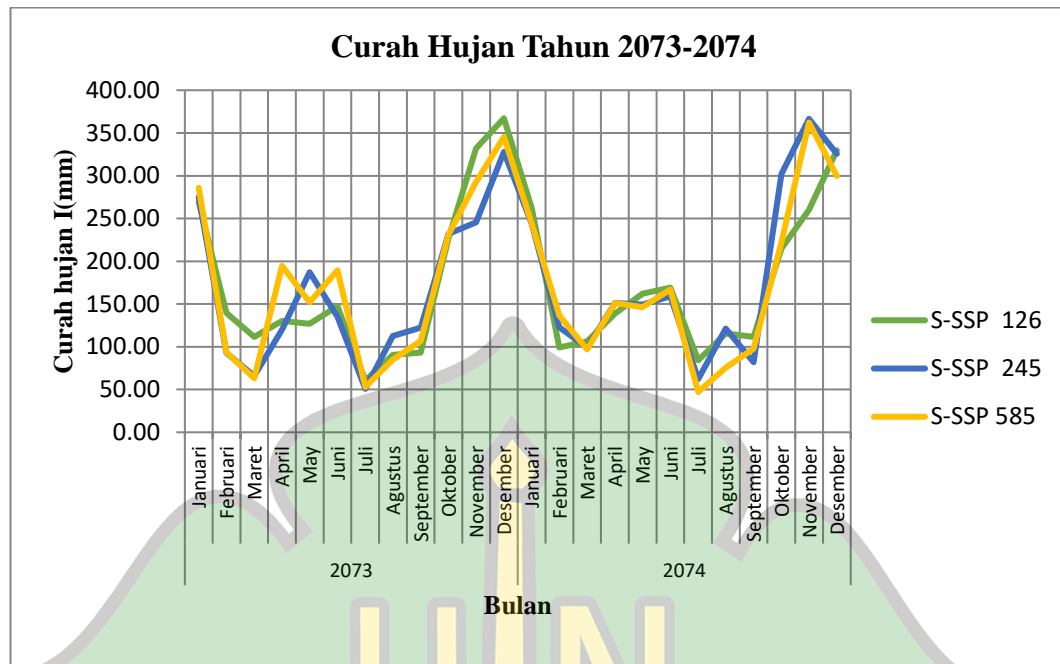


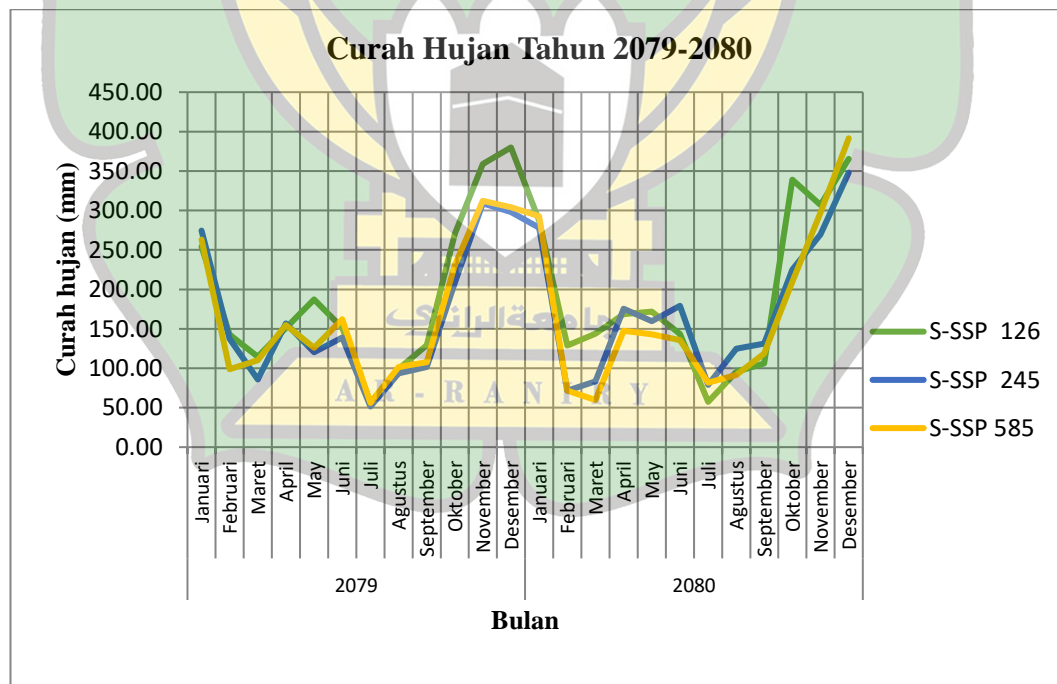
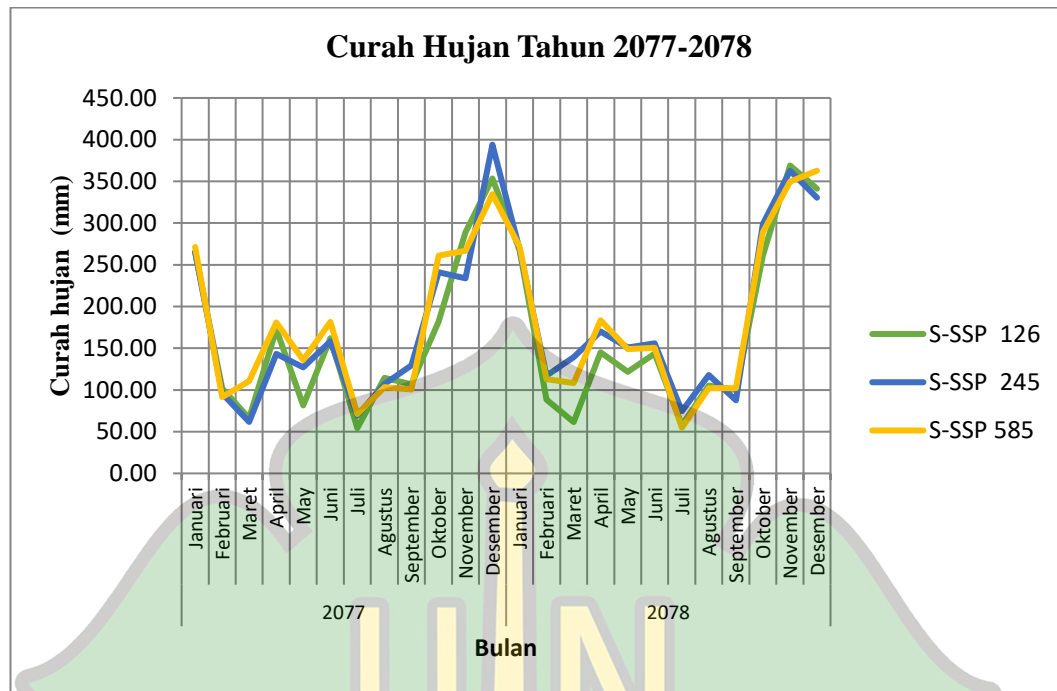


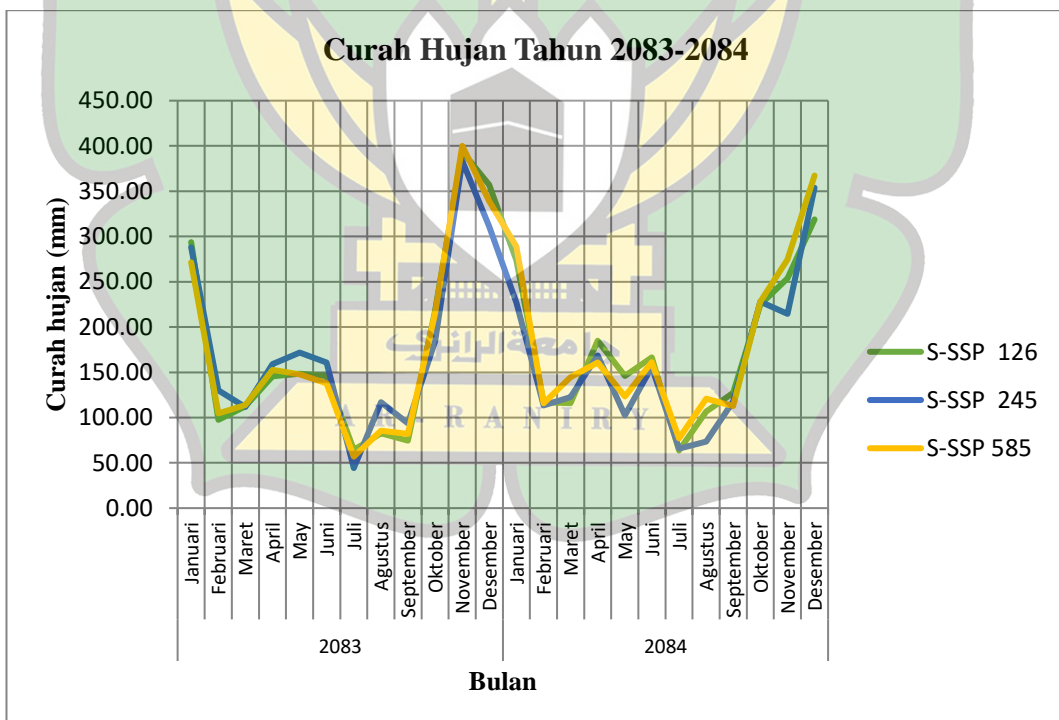
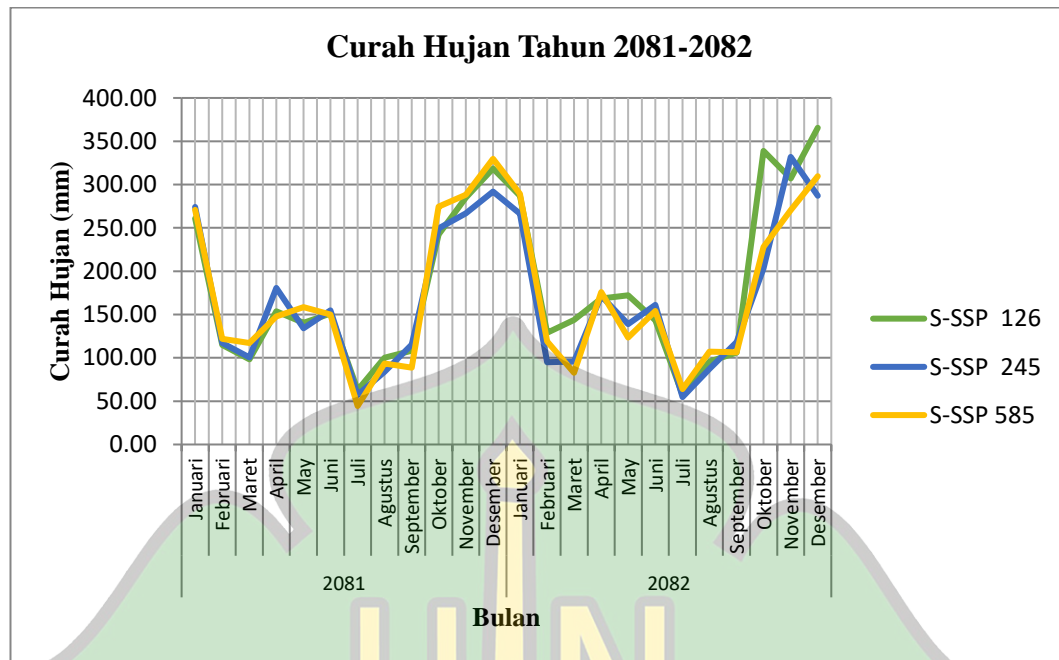


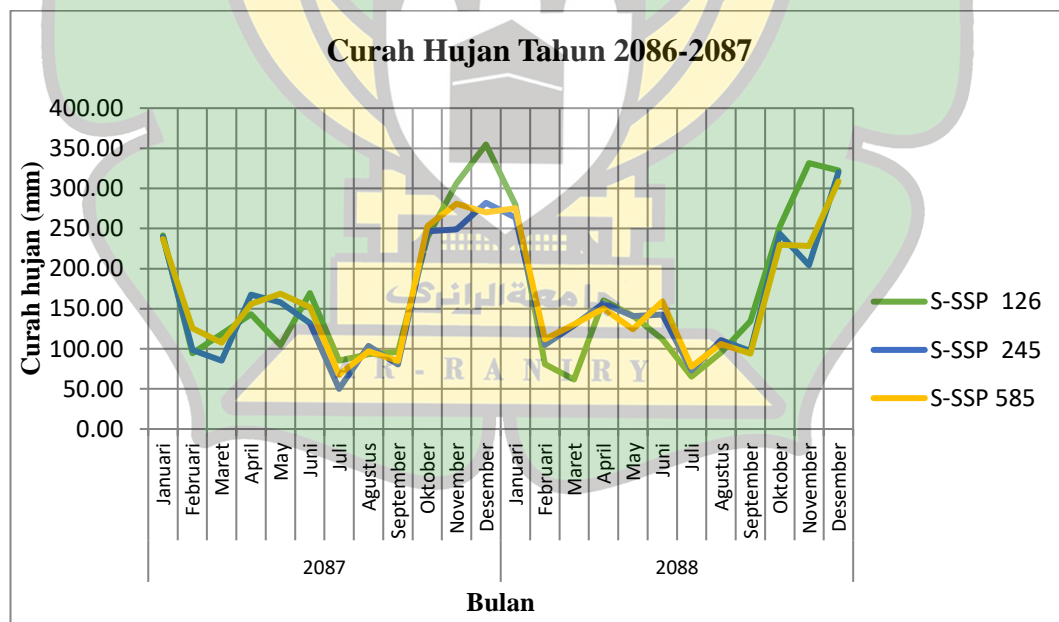
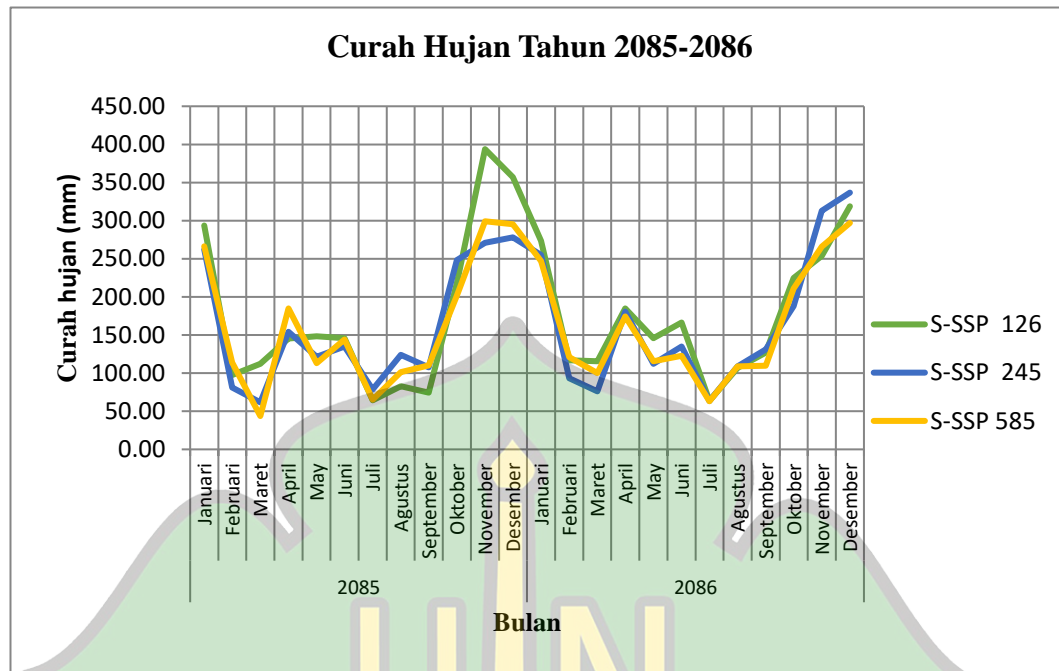


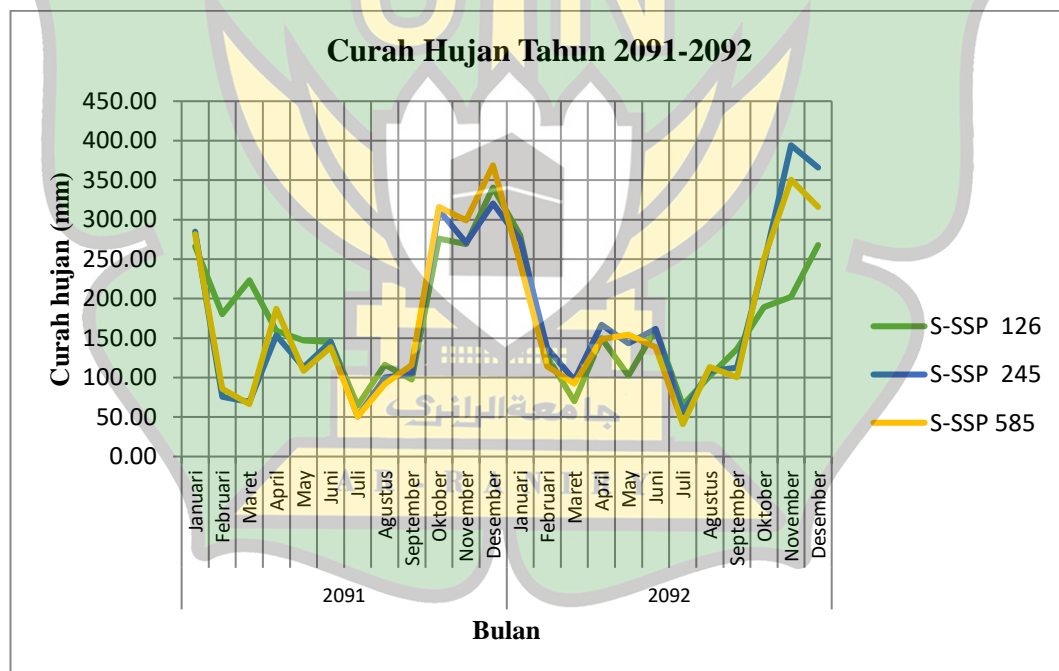
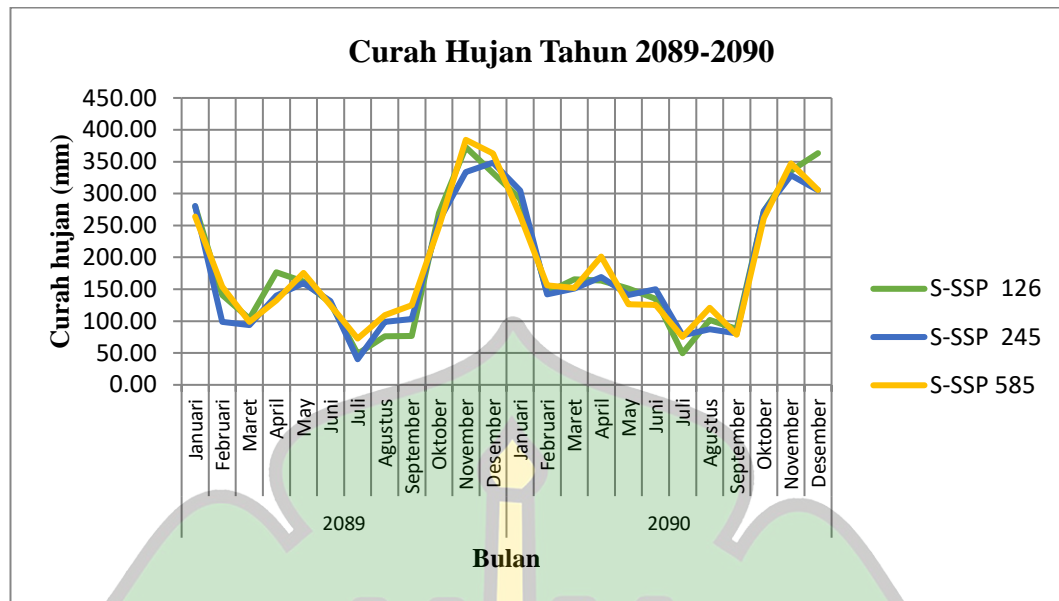


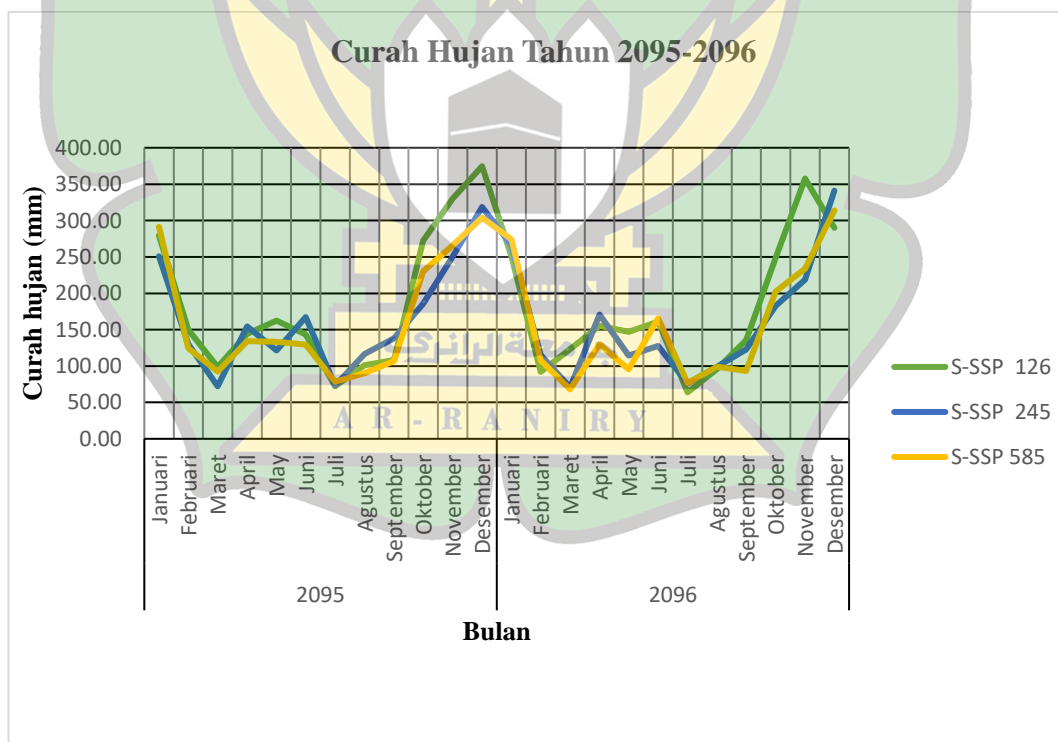
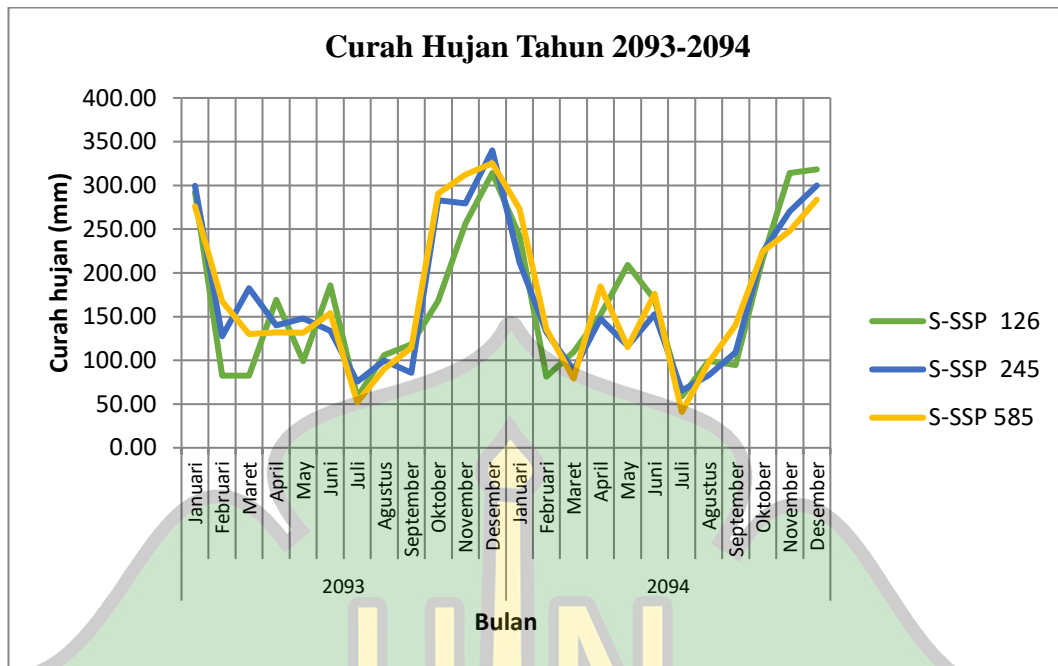


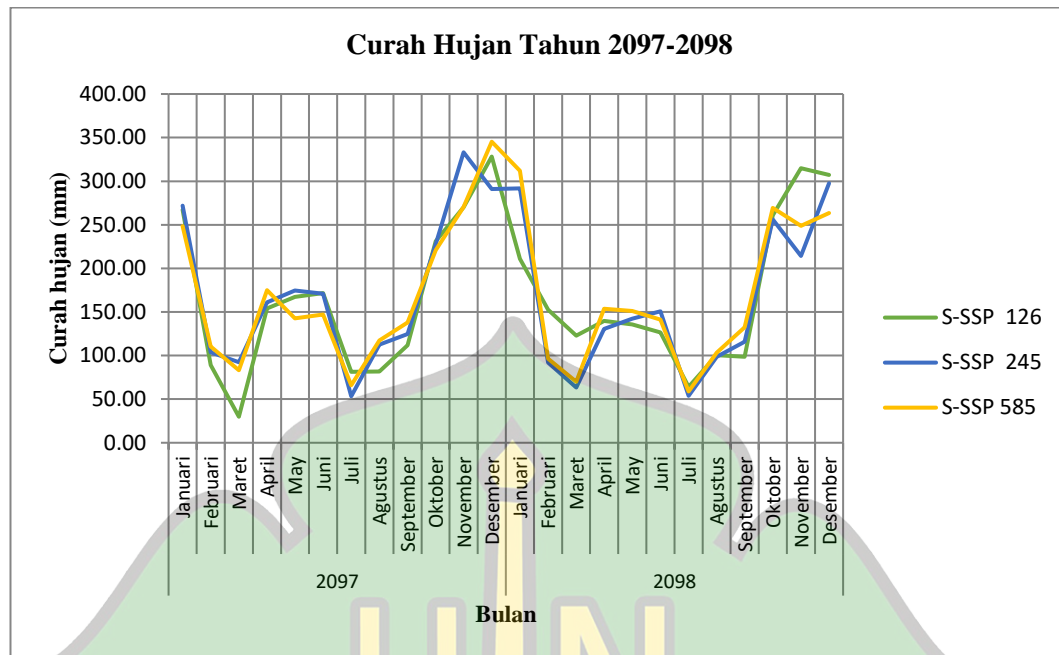












DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Dhiya Shaphira dilahirkan di Kota Sigli, Provinsi Aceh, pada 05 Desember 2000. Anak kedua dari empat bersaudara, anak dari Bapak Karimuddin S.P., dan Ibu Nursiah S.Pd., Peneliti menyelesaikan pendidikan dasar di MIN 5 Pidie pada tahun 2012. Pada tahun 2012 melanjutkan pendidikan Menengah Pertama di MTSN 17 Pidie lulus pada tahun 2015. Kemudian pada tahun 2015 peneliti melanjutkan Pendidikan Menengah Atas di Man 1 Pidie, lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 peneliti melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri Universitas Islam Negeri Ar-Raniry pada jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi. Menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) pada tahun 2022. Semasa perkuliahan peneliti pernah mengikuti organisasi internal maupun eksternal kampus. Adapun organisasi internal kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Anggota Departemen Sosial dan Komunikasi pada tahun 2020/2021 dan Sekretaris Departemen Sosial dan Komunikasi pada tahun 2021/2022. Sedangkan organisasi eksternal kampus yaitu Sekolah lingkungan Aceh Angkatan 3 Binaan Wahana Lingkungan Aceh sebagai siswa pada tahun 2021, Relawan Masyarakat Indonesia Aceh sebagai anggota tahun 2021 dan Rumpul liar sebagai Anggota Bidang pendidikan tahun 2021.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y