

**PREDIKSI SUHU DI DAERAH ALIRAN SUNGAI KRUENG
ACEH PERIODE 2021-2100 MENGGUNAKAN *STATISTICAL
DOWNSCALING MODEL (SDSM)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**MUHAMMAD FADHIL ZAINUDDIN
NIM. 180702004
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM-BANDA ACEH
2022 M / 1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PREDIKSI SUHU DI DAERAH ALIRAN SUNGAI KRUENG ACEH PERIODE 2021-2100 MENGGUNAKAN *STATISTICAL DOWNSCALING MODEL (SDSM)*

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:

MUHAMMAD FADHIL ZAINUDDIN
NIM. 180702004

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 14 November 2022
Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Pembimbing I,



Aulia Kohendi, M.Sc
NIDN. 2010048202

Pembimbing II,



Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc
NIP. 198912132014031002

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



Husnawati Yahya, M.Sc
NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PREDIKSI SUHU DI DAERAH ALIRAN SUNGAI KRUENG ACEH PERIODE 2021-2100 MENGGUNAKAN *STATISTICAL DOWNSCALING MODEL (SDSM)*

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Selasa, 29 November 2022
05 Jumadil Awal 1444 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munqasyah Tugas Akhir:

Ketua,


Aulia Rohendi, M.Sc
NIDN. 2010048202

Sekretaris,


Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc
NIP. 198912132014031002

Penguji I,


Hendri Ahmadian, S.Si., M.I.M
NIP. 198301042014031002

Penguji II,


M. Faizi Ikhwal, M.Eng
NIP. 199110082020121013

Mengetahui,

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




Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fadhil Zainuddin
NIM : 180702004
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul : Prediksi Suhu di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh
Periode 2021-2100 Menggunakan *Statistical Downscaling Model (SDSM)*

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi 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 melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi 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, 12 November 2022

Yang Menyatakan



Muhammad Fadhil Zainuddin

NIM.180702004

ABSTRAK

Nama : Muhammad Fadhil Zainuddin
NIM : 180702004
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Prediksi Suhu di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh
Periode 2021-2100 Menggunakan *Statistical Downscaling Model (SDSM)*
Tanggal Sidang : 29 November 2022
Jumlah Halaman : 83
Pembimbing I : Aulia Rohendi, M.Sc.
Pembimbing II : Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc.
Kata Kunci : Perubahan iklim, suhu, *global circulation model* (GCM), *statistical downscaling model* (SDSM).

Perubahan iklim dapat diakibatkan secara langsung atau tidak langsung baik dari aktivitas manusia maupun fenomena alam yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global yaitu pemanasan global. Perubahan iklim di masa mendatang bisa diprediksi agar bisa diketahui strategi pencegahan dampaknya. Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah lahan yang penting bagi kehidupan manusia dan bisa rusak karena perubahan iklim, misalnya karena perubahan suhu yang terjadi. Suhu adalah salah satu variabel iklim yang digunakan dalam memprediksi model iklim. Dalam memprediksi iklim di masa mendatang digunakan 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 memprediksi iklim secara lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prediksi suhu di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan menggunakan *Statistical Downscaling Model* (SDSM). Metode SDSM mampu memprediksikan suhu maksimum di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan menggunakan skenario RCP (*Representative Concentration Pathways*). RCP adalah generasi terkini dari skenario yang menyediakan masukan mengenai model-model iklim. Dengan menggunakan tiga skenario, yaitu RCP 2.6 (emisi rendah), RCP 4.5 (emisi sedang), dan RCP 8.5 (emisi tinggi), diperoleh hasil *downscaling* bahwa suhu maksimum di Daerah Aliran sungai Krueng Aceh 2021-2100 diprediksi mengalami peningkatan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu maksimum terendah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh mencapai 37,15°C pada tahun 2026 untuk RCP 4.5, suhu maksimum rata-rata mencapai 38,40°C rentang tahun 2021-2100 dan suhu maksimum tertinggi mencapai 39,81°C pada tahun 2088 untuk RCP 8.5.

ABSTRACT

Name : Muhammad Fadhil Zainuddin
Student ID Number : 180702004
Departement : Environmental Engineering
Title : Temperature Prediction in the Krueng Aceh River Basin for the Period 2021-2100 Using the Statistical Downscaling Model (SDSM)
Date of Session : 29 November 2022
Number of Page : 83
Advisor I : Aulia Rohendi, M.Sc.
Advisor II : Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc.
Keywords : Climate Change, temperature, global circulation model (GCM), statistical downscaling model (SDSM).

Climate change can be caused directly or indirectly by both human activities and natural phenomena that cause changes in the composition of the global atmosphere, namely global warming. Future climate change can be predicted so that strategies for preventing its impact can be identified. River basins (DAS) are land that is important for human life and can be damaged by climate change, for example, due to temperature changes. Temperature is one of the climate variables used in predicting climate models. In predicting future climate, global climate data such as the General Circulation Model (GCM) are used, but the GCM output data is still relatively low in spatial resolution to predict future climate regionally. Therefore, a Statistical Downscaling Model (SDSM) method is needed to predict climate locally. This study aims to determine temperature predictions in the Krueng Aceh River Basins for the period 2021-2100 using the Statistical Downscaling Model (SDSM). The SDSM method can predict maximum temperatures in the Krueng Aceh Basins for the period 2021-2100 using the RCP (Representative Concentration Pathways) scenario. RCP is the latest generation of scenarios that provide input to climate models. By using three scenarios, namely RCP 2.6 (low emission), RCP 4.5 (medium emission), and RCP 8.5 (high emission), the downscaling results obtained show that the maximum temperature in the Krueng Aceh Basins 2021-2100 is predicted to increase. The simulation results show that the lowest maximum temperature in the Krueng Aceh Basins (DAS) reaches 37.15°C in 2026 for RCP 4.5, the average maximum temperature reaches 38.40°C in the year 2021-2100 and the highest maximum temperature reaches 39.81°C in the year 2088 for RCP 8.5.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT Sang Maha Pencipta yang menciptakan bintang dan bulan sebagai penerang malam serta matahari sebagai penerang siang dan yang memberikan Taufik, Hidayah, serta Rahmat kepada manusia setiap waktunya. Shalawat serta salam kita sampaikan kepada sang revolusioner muda, sang penyandang gelar al-amin, agung akhlaknya, kaya ilmunya, bersih murni hatinya, serta suri teladan bagi umat manusia yakni Nabi Muhammad SAW.

Suatu kebanggaan dan kebahagiaan bagi penulis karena dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul “Prediksi Suhu Di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh Periode 2021-2100 Menggunakan *Statistical Downscaling Model* (SDSM)”. Meskipun banyak halangan dan cobaan dalam menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir ini. Akan tetapi, tidak sedikitpun mengurangi semangat penulis dalam proses pembuatan Proposal Tugas Akhir ini. Hal itu tidak lepas dari dukungan Orang Tua serta bimbingan dari berbagai pihak.

Adapun 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 kepada berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada kedua Orang Tua yaitu Ayah Zainuddin, AMP dan Ibu Charmayenis, SE yang telah memfasilitasi dan memotivasi kepada Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan juga 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 Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

3. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Dosen Penasehat Akademik sekaligus Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
4. Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
5. Bapak M. Faisi Ikhwal, M.Eng. selaku Dosen Program Studi Teknik Lingkungan dan juga telah membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Fatria Al Kautsar Syafri, S.T., Maulidianur, S.T., Nur Azizah, S.T., Dhiya Shaphira, S.T selaku tim diskusi dalam melaksanakan penelitian ini dan juga membantu dalam mengambil data penelitian.
7. BMKG Kabupaten Aceh Besar sebagai tempat pengambilan data untuk penelitian ini.

Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2018 yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sebagai insan manusia, tentunya tidak luput dari kesalahan dan kekhilafan. Begitu juga dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan atau kesalahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu demi kebaikan Tugas Akhir ini penulis mohon maaf dan meminta kritik serta saran kepada pembaca.

AR - RANIRY

Banda Aceh, 29 November 2022
Penulis,

Muhammad Fadhil Zainuddin
NIM. 180702004

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.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Siklus Hidrologi dan Neraca Air.....	5
2.1.1 Siklus Hidrologi	5
2.1.2 Neraca Air	6
2.2 Daerah Aliran Sungai.....	6
2.3 Perubahan Iklim dan Pemanasan Global.....	7
2.4 Suhu.....	9
2.5 <i>General Circulation Model</i> (GCM).....	10
2.6 <i>Statistical Downscaling</i> (SD).....	11
2.7 Penelitian Terdahulu	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Metode Penelitian.....	16
3.2 Daerah yang dimodelkan.....	16
3.3 Data Penelitian	17
3.4 Tahapan Penelitian	18
3.4.1 Tinjauan Kepustakaan.....	19
3.4.2 Pengumpulan Data	19
3.4.3 <i>Statistical Downscaling Model</i> (SDSM).....	20
3.5 Evaluasi Model.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Kondisi Suhu DAS Krueng Aceh Tahun 1995-2020.....	27
4.2 Pemilihan Variabel Prediktor	28

4.3	Pemodelan Suhu Untuk Periode 1995-2020	33
4.4	Prediksi Suhu Bulanan Untuk Periode 2021-2100.....	35
4.5	Prediksi Suhu Tahunan Untuk Periode 2021-2100.....	56
BAB V PENUTUP.....		62
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

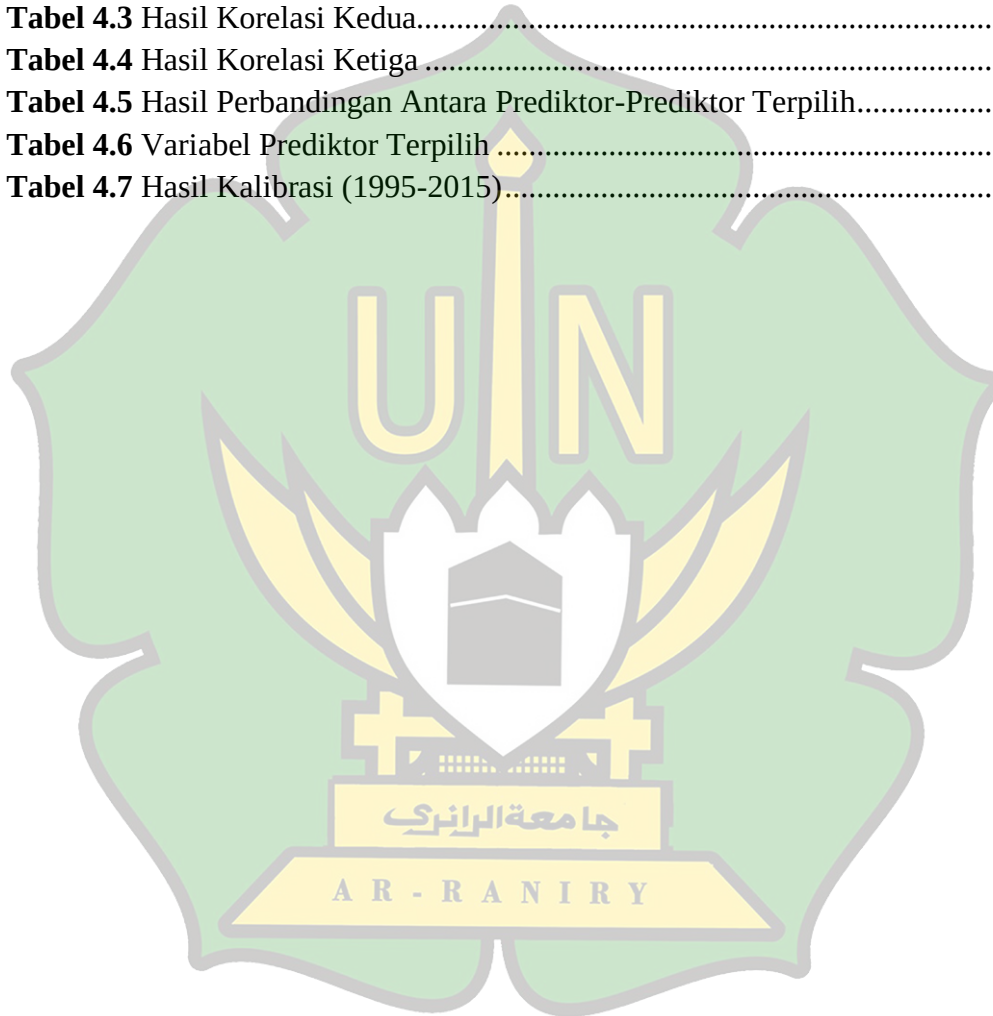
Gambar 2.1 Global Circulation Models (GCM).....	10
Gambar 2.2 Layar SDSM 4.2	12
Gambar 2.3 Ilustrasi Pemodelan SD	13
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	18
Gambar 3.3 Diagram Alir SDSM	21
Gambar 4.1 Grafik Suhu Maksimum DAS Krueng Aceh Periode 1995-2020 .	28
Gambar 4.2 Hasil Kalibrasi Tahun 1995-2015.....	32
Gambar 4.3 Hasil Validasi SDSM (2016-2020).....	33
Gambar 4.4 Grafik Historical Suhu Maksimum Periode 1995-2020	34
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Data Suhu Maksimum Observasi dengan Data Historical	34
Gambar 4.6.(1) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2021-2022	35
Gambar 4.6.(2) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2023-2024	36
Gambar 4.6.(3) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2025-2026	36
Gambar 4.6.(4) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2027-2028	37
Gambar 4.6.(5) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2029-2030	37
Gambar 4.6.(6) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2031-2032	38
Gambar 4.6.(7) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2033-2034	38
Gambar 4.6.(8) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2035-2036	39
Gambar 4.6.(9) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2037-2038	39
Gambar 4.6.(10) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2039-2040	40
Gambar 4.6.(11) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2041-2042	40
Gambar 4.6.(12) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2043-2044	41
Gambar 4.6.(13) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2045-2046	41
Gambar 4.6.(14) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2047-2048	42
Gambar 4.6.(15) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2049-2050	42
Gambar 4.6.(16) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2051-2052	43
Gambar 4.6.(17) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2053-2054	43
Gambar 4.6.(18) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2055-2056	44
Gambar 4.6.(19) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2057-2058	44
Gambar 4.6.(20) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2059-2060	45
Gambar 4.6.(21) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2061-2062	45
Gambar 4.6.(22) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2063-2064	46
Gambar 4.6.(23) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2065-2066	46
Gambar 4.6.(24) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2067-2068	47
Gambar 4.6.(25) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2069-2070	47
Gambar 4.6.(26) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2071-2072	48
Gambar 4.6.(27) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2073-2074	48

Gambar 4.6.(28) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2075-2076	49
Gambar 4.6.(29) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2077-2078	49
Gambar 4.6.(30) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2079-2080	50
Gambar 4.6.(31) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2081-2082	50
Gambar 4.6.(32) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2083-2084	51
Gambar 4.6.(33) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2085-2086	51
Gambar 4.6.(34) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2087-2088	52
Gambar 4.6.(35) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2089-2090	52
Gambar 4.6.(36) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2091-2092	53
Gambar 4.6.(37) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2093-2094	53
Gambar 4.6.(38) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2095-2096	54
Gambar 4.6.(39) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2097-2098	54
Gambar 4.6.(40) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2099-2100	55
Gambar 4.7 Grafik Suhu Maksimum Periode 2021-2040.....	56
Gambar 4.8 Grafik Suhu Maksimum Periode 2041-2060.....	57
Gambar 4.9 Grafik Suhu Maksimum Periode 2061-2080.....	58
Gambar 4.10 Grafik Suhu Maksimum Periode 2081-2100.....	59
Gambar 4.11 Grafik Suhu Maksimum Periode 2021-2100.....	60



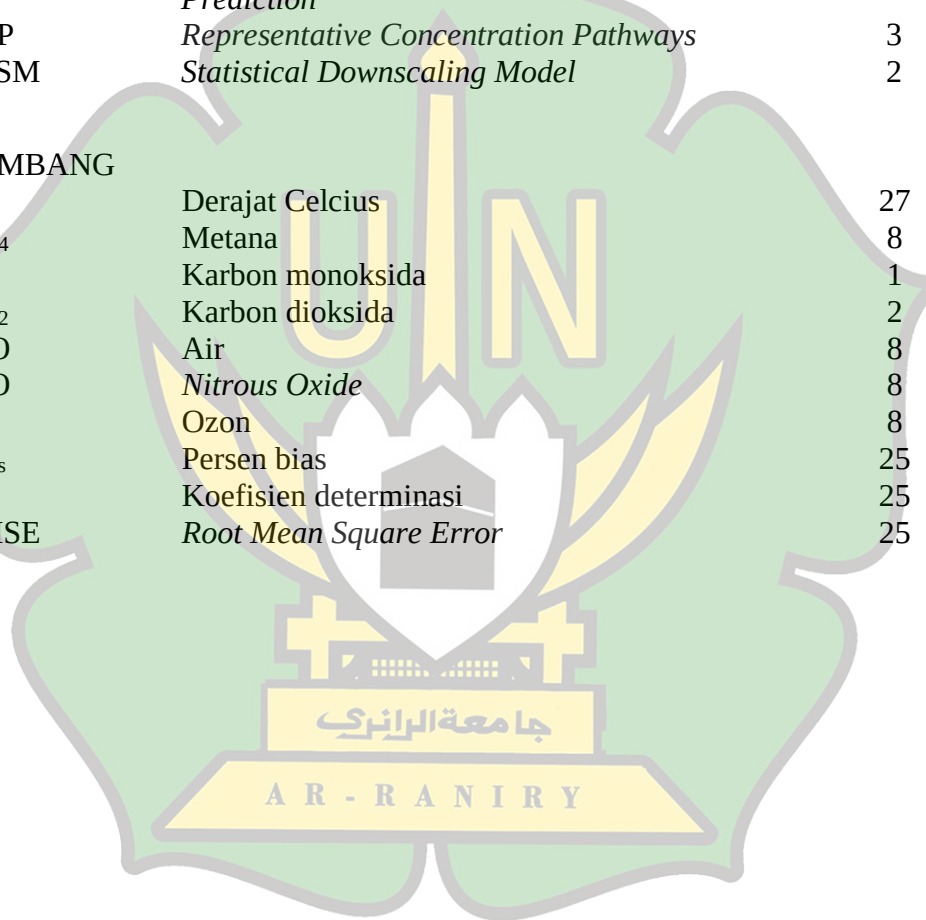
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1 Tabel Data Penelitian	17
Tabel 3.2 Data GCM CanESM2.....	20
Tabel 3.3 Parameter Atmosfer CanESM2	22
Tabel 4.1 Suhu Maksimum (Observasi).....	27
Tabel 4.2 Hasil Korelasi Pertama.....	29
Tabel 4.3 Hasil Korelasi Kedua.....	29
Tabel 4.4 Hasil Korelasi Ketiga	30
Tabel 4.5 Hasil Perbandingan Antara Prediktor-Prediktor Terpilih.....	30
Tabel 4.6 Variabel Prediktor Terpilih	31
Tabel 4.7 Hasil Kalibrasi (1995-2015).....	31



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
CanESM2	<i>Canadian Earth System Model</i>	19
CFC	<i>Chloro Fluoro Carbon</i>	8
DAS	Daerah Aliran Sungai	3
GCM	<i>General Circulation Model</i>	2
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>	2
NCEP	<i>The Naational Center for Enviromental Prediction</i>	22
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>	3
SDSM	<i>Statistical Downscaling Model</i>	2
LAMBANG		
°C	Derajat Celcius	27
CH ₄	Metana	8
CO	Karbon monoksida	1
CO ₂	Karbon dioksida	2
H ₂ O	Air	8
N ₂ O	<i>Nitrous Oxide</i>	8
O ₃	Ozon	8
P _{bias}	Persen bias	25
R ²	Koefisien determinasi	25
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>	25



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Pemodelan Suhu Maksimum di DAS Krueng Aceh Periode 1995-2100	67
--	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan perubahan pada pola cuaca jangka panjang yang terjadi dalam skala global. Efek dari perubahan iklim global bersifat multisektoral dan mempengaruhi kualitas hidup manusia dan lingkungan secara umum. Selain dampak lingkungan yang diamati secara langsung, fenomena perubahan iklim juga dapat mempengaruhi sektor kesehatan, ekonomi, dan sosial, serta implikasi global pada kelangsungan kehidupan di permukaan bumi (Setiani, 2020).

Perubahan iklim terjadi karena adanya pengaruh dari pemanasan global. Pemanasan global diakibatkan oleh tingkat karbon dioksida yang meningkat secara global di atmosfer. Sebagian besar CO₂ bumi sekarang merupakan residu dari karbon, terutama karena proses pelapukan dan aktivitas biologis (Wardani, 2017). Perubahan iklim dapat menimbulkan resiko besar bagi kesehatan manusia, keamanan pangan global, dan pembangunan ekonomi (Legionosuko dkk., 2019). Dan juga dampak yang diakibatkan oleh perubahan iklim adalah bertambahnya intensitas kejadian cuaca ekstrim di suatu wilayah, perubahan pola hujan, serta peningkatan suhu dan permukaan air laut (Isdianto dan Luthfi, 2020).

Perubahan iklim mengakibatkan lapisan atmosfer bagian bawah yang dekat dengan permukaan bumi menjadi tidak stabil, sehingga memberikan dampak buruk bagi kehidupan baik area perikanan, kelautan, pertanian, kehutanan, kesehatan, sumber daya air, lingkungan, maupun ekonomi dan sosial, terutama peningkatan suhu (Anggraini dan Trisakti, 2011).

Perubahan iklim global merupakan dampak negatif yang timbul akibat kegiatan pembangunan di berbagai belahan dunia. Hutan dunia yang semakin berkurang dan rusak serta konsentrasi CO dan CO₂ yang terus meningkat di lapisan atmosfer bumi yang memicu terjadinya efek pemanasan global (Herlina dkk., 2019). Perubahan iklim global dapat disebabkan oleh pemanasan global termasuk

dalam isu lingkungan yang penting. Pemanasan global merupakan bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi (Mohammad dkk., 2019).

Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2019) dalam *special report: global warming of 1,5°C summary for policymakers* aktivitas manusia diperkirakan menyebabkan sekitar 1,0°C pemanasan global di atas tingkat pra-industri, dengan kisaran kemungkinan 0,8°C hingga 1,2°C. Pemanasan global kemungkinan akan mencapai 1,5°C antara 2030 dan 2052 jika terus meningkat pada tingkat saat ini. Sejak tahun 1901 kenaikan suhu global di Asia Tenggara mencapai 0,89°C. Pada tahun 2046-2065 diperkirakan akan mengalami peningkatan suhu sebesar 1,5–2°C. Pada tahun 2081-2100 diperkirakan suhu akan meningkat mencapai 2-4°C, suhu akan mencapai 3-4°C lebih tinggi dari pada suhu rata-rata pada siang hari.

Suhu merupakan salah satu variabel iklim yang digunakan dalam memprediksi model iklim di wilayah Indonesia. Prediksi model iklim masih terus berkembang dengan menggunakan data iklim global, diantaranya *General Circulation Model* (GCM) (Upa dkk., 2021). *General Circulation Model* (GCM) merupakan alat yang dimanfaatkan dalam memodelkan iklim dengan melakukan simulasi dan memproyeksikan perubahan iklim di kemudian hari (Sahriman dkk., 2019). GCM memberikan data dalam bentuk grid atau petak wilayah dengan resolusi rendah ($2,5^\circ$ atau $\pm 300 \text{ km}^2$) yang merepresentasikan kondisi iklim global dalam skala global atau regional (Notodiputro dkk., 2005).

Model iklim GCM telah banyak digunakan untuk memperoleh data perubahan iklim dengan skenario yang berbeda. Namun, resolusi spasial GCM termasuk rendah untuk dilakukannya pemodelan. Maka dari itu diperlukan metode *downscaling* untuk mendapatkan resolusi spasial yang tinggi. Penurunan skala statistika (*statistical downscaling*) lebih menghemat waktu dan dapat diterapkan di area yang relatif luas (Wang dkk., 2020). Penggunaan *statistical downscaling* lebih dipilih karena mudah digunakan dalam simulasi dan eksperimen data keluaran dari GCM (Sutikno dkk., 2010). Metode *statistical downscaling model* (SDSM) menggunakan penggabungan antara *transfer function* dan *stochastic weather generator* untuk proses *downscaling*. SDSM mampu memperoleh hubungan

statistik antara variat atmosfer skala besar (prediktor) dan variat meteorologi skala regional dari prediktor (Wilby dkk., 2004). Selain itu, SDSM memberikan kinerja yang lebih baik dalam menangkap karakteristik suhu (Hassan dkk., 2014).

Penelitian Kumar dan Agarwal (2020) berjudul *Statistical Downscaling of Temperature and Precipitation Using SDSM*, memprediksi curah hujan dan suhu selama 2006-2100. RCP 8.5 memiliki suhu rata-rata tertinggi hampir 30,5°C suhu rata-rata selama 2081-2084. RCP 2.6 mengalami peristiwa suhu rata-rata yang lebih rendah selama 2090-2093. RCP 8.5 memiliki curah hujan rata-rata tertinggi hampir 6 cm antara periode 2094-2099. RCP 2,6 memiliki kejadian curah hujan rata-rata yang lebih rendah daripada kedua RCP lainnya.¹

Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh menurut administrasi berada di dua Kabupaten/Kota yaitu Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh. Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh terdapat salah satu sungai yang terbesar di provinsi Aceh. DAS Krueng Aceh sangat penting bagi masyarakat sebagai sumber utama yang dibutuhkan untuk keperluan sehari-hari. Diperlukan prediksi skenario perubahan iklim (terutama suhu) di DAS Krueng Aceh. Prediksi suhu diperlukan untuk mengetahui dampak dari perubahan iklim yaitu peningkatan suhu yang dapat mempengaruhi sistem siklus hidrologi di DAS Krueng Aceh. Suhu yang meningkat disertai dengan meningkatnya evapotranspirasi yang berpengaruh terhadap limpasan/aliran permukaan (*run off*) maka keseimbangan hidrologi dapat terganggu. Jika evapotranspirasi di suatu daerah itu meningkat, maka evapotranspirasi tersebut sebagai respon terhadap kenaikan suhu atmosfer, sedangkan curah hujan yang tetap atau berkurang maka daerah tersebut akan mengalami kekurangan ketersediaan air, sehingga kemungkinan besar dapat terjadi kekeringan di daerah tersebut (Waggoner dalam Swandayani, 2010). Dengan menggunakan data spasial *output* dari GCM tidak dapat langsung dapat digunakan dikarenakan resolusinya masih kasar. Oleh karena itu, diperlukan metode *statistical downscaling model*. Penelitian ini urgen untuk dilakukan agar kita dapat mengantisipasi mitigasi bencana akibat dari peningkatan suhu.

¹ RCP (*Representative Concentration Pathways*) adalah generasi terkini dari skenario yang menyediakan masukan mengenai model-model iklim.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah diangkat dalam penelitian ini adalah “Bagaimana prediksi suhu di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan menggunakan Statistical Downscaling Model?”

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk prediksi suhu di Daerah Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 dengan menggunakan *Statistical Downscaling Model*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah menambahkan wawasan mengenai prediksi suhu menggunakan *statistical downscaling model* (SDSM) dan memberikan pengetahuan dan informasi terkait dengan perubahan iklim terutama terhadap suhu di DAS Krueng Aceh serta untuk merencanakan mitigasi dampak buruk dari perubahan iklim.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini hanya menggunakan Data GCM CanESM2 dan data observasi dari stasiun klimatologi Aceh Besar. Batas Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh berdasarkan data dari BPDASHL Krueng Aceh. *Statistical downscaling* dilakukan dengan piranti lunak Statistical Downscaling Model (SDSM) versi 4.2.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi dan Neraca Air

2.1.1 Siklus Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang air yang terdapat di bumi, baik perputaran air di bumi, pergerakan, penyebaran, ataupun segala yang berhubungan dengan air. Ilmu hidrologi adalah gerak air terhadap lingkungan serta berhubungan dengan kehidupan sesuai sifat fisika dan kimia yang terdapat di dalamnya (Wulandari dan Soebagio, 2020).

Siklus hidrologi merupakan serangkaian proses penguapan, presipitasi, infiltrasi dan limpasan permukaan. Penguapan berupa evaporasi dan transpirasi. Uap yang terwujud dari penguapan akan terjadi proses kondensasi dan kemudian dipadatkan sehingga terbentuknya awan. Setelah itu awan tersebut akan kembali lagi menjadi air kemudian turun ke permukaan (presipitasi). Sebagian presipitasi yang turun ke permukaan bumi, sebagian akan menguap kembali ke udara, dan sebagian tertahan oleh tanaman, dan sebagian lagi presipitasi tersebut sampai ke permukaan tanah (Perdana dkk., 2015).

Siklus hidrologi menggambarkan proses siklus air yang berlangsung secara terus menerus dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi. Siklus hidrologi merupakan salah satu konsep dasar dalam biogeokimia. Siklus ini memiliki beberapa tahapan, yaitu proses penguapan, proses evapotranspirasi, proses hujan, proses aliran air, proses pengendapan air tanah, dan proses air tanah ke laut. Proses penguapan adalah berubahnya air-air yang tertampung di sungai, danau atau laut menjadi uap air karena panas matahari. Evapotranspirasi adalah penguapan air terjadi diseluruh permukaan bumi termasuk badan air dan tanah maupun jaringan makhluk hidup. Proses hujan adalah suatu proses mencairnya awan disebabkan suhu udara yang tinggi. Proses aliran air adalah proses pergerakan air dari daratan yang tinggi ke daratan yang rendah di permukaan bumi. Proses pengendapan air tanah adalah proses pergerakan air ke dalam pori tanah. Proses air tanah ke laut

adalah air yang telah mengalami siklus hidrologi akan kembali ke laut (Syahputra dan Arifitama, 2018).

2.1.2 Neraca Air

Neraca air adalah seluruh *input*, *output*, dan perubahan tampungan air di suatu lahan guna menentukan jumlah air yang terkandung di dalam tanah menggambarkan penerimaan air dari waktu ke waktu (Paski dkk., 2018). Perhitungan neraca air dibutuhkan guna memberikan perumpamaan yang sebenarnya tentang ketersediaan air di Daerah Aliran Sungai (DAS) tersebut. Neraca air secara sederhana yaitu sejumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah dikurangi dengan penguapan dan aliran permukaan. Neraca air juga dapat diartikan sebagai hubungan antara aliran air ke dalam tanah yang berupa masukan (*input*) dengan luaran air (*output*) dalam jangka waktu tertentu. Luaran air (*output*) bisa dalam bentuk evapotranspirasi aktual dan aliran permukaan (Bokings, 2020).

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari evaporasi air dari permukaan tanah dan transpirasi dari tumbuhan. Defisit evapotranspirasi merupakan selisih antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi aktual. Evapotranspirasi potensial terjadi pada kondisi air tersedia maksimum atau kapasitas lapang, evapotranspirasi aktual terjadi pada kondisi air tersedia dibawah kapasitas lapang (Fibriana dkk., 2018).

2.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh punggung bukit atau batas-batas pemisah topografi, yang berfungsi menerima, menyimpan dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya ke alur sungai dan terus mengalir ke anak sungai dan ke sungai utama, akhirnya bermuara ke danau/waduk atau ke laut (Aryani dkk., 2020).

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.

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). Pengelolaan DAS dibutuhkan untuk mengatur hubungan timbal balik antara manusia dengan sumber daya alam. Upaya pengelolaan DAS dilakukan guna terwujudnya kelestarian lingkungan hidup, keseimbangan ekosistem dan terjaminnya keberlangsungan manfaat sumber daya alam (SDA) dan manusia (Sofyan dkk., 2015).

Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah sifat fisik yang terdapat di sungai dan merupakan suatu ciri khas dari sungai yang diilustrasikan dengan parameter. Karakteristik atau sifat-sifat fisik DAS seperti Panjang sungai utama, orde sungai, luas sungai, dan kemiringan sungai merupakan faktor yang dapat dianalisis pengaruhnya terhadap debit puncak yang dihitung dengan analisis hidrograf (Nadia dkk., 2016).

2.3 Perubahan Iklim dan Pemanasan Global

Berdasarkan UU No. 31 Tahun 2009, perubahan iklim adalah berubahnya iklim yang diakibatkan, langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global serta perubahan variabilitas iklim ilmiah yang teramati dalam kurun waktu yang dapat dibandingkan. 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.

Pemanasan global adalah fenomena alam alam peningkatan suhu bumi yang terjadi secara global (Septaria dkk., 2019). Menurut Hairiah dalam Utami (2019), pemanasan global berakibat langsung pada peningkatan suhu bumi. Dampak meningkatnya suhu bumi terhadap manusia melalui: (1) evapotranspirasi yang berlebihan pada hutan dan lahan sehingga ketersediaan air menjadi terbatas; (2)

kebakaran hutan dan lahan yang menyebabkan kabut asap sehingga mengganggu pernafasan.

Pemanasan global diakibatkan karena adanya aktivitas dari manusia seperti penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor, batu bara, minyak bumi dan gas alam. Misalnya kendaraan bermotor mengeluarkan karbon dioksida (CO_2) sebagai hasil pembuangan. Selain itu ada gas-gas lain seperti uap air (H_2O), *Chloro Fluoro Carbon* (CFC), *Nitrous Oxide* (N_2O), Metana (CH_4), Ozon (O_3) yang dikenal sebagai gas rumah kaca yang ke atmosfer. Kejadian tersebut mengakibatkan tertahannya pantulan panas matahari dari bumi yang mengakibatkan panas matahari tersebut tertahan dari bumi sehingga terpantul kembali ke bumi, mengakibatkan efek rumah kaca (Ainurrohman dan Sudarti, 2022).

Efek gas rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO_2 ini terjadi akibat kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara, dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuh-tumbuhan dan laut untuk mengabsorsinya. Bahan-bahan di permukaan bumi yang berperan aktif untuk mengabsorpsi hasil pembakaran yaitu tumbuh-tumbuhan, hutan, dan laut. Jadi jika hutan semakin gundul, maka panas bumi akan semakin naik. Energi yang diabsorpsi dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi infra merah oleh awan dan permukaan bumi. Hanya saja sebagian sinar inframerah tersebut tertahan oleh awan, gas CO_2 , dan gas lainnya sehingga terpantul kembali ke permukaan bumi. Dengan meningkatnya konsentrasi gas CO_2 dan gas-gas lain di atmosfer maka semakin banyak pula gelombang panas yang dipantulkan bumi dan diserap atmosfer. Dengan perkataan lain semakin banyak jumlah gas rumah kaca yang berada di atmosfer, maka semakin banyak pula panas matahari yang terperangkap di permukaan bumi. Akibatnya suhu permukaan bumi akan naik. Sudah disebutkan di atas bahwa efek rumah kaca terjadi karena emisi gas rumah kaca (Pratama, 2019).

Ketika cahaya matahari mengenai atmosfer serta permukaan bumi, sekitar 70% dari energi tersebut tertahan di bumi, diserap oleh tanah, lautan, tumbuhan serta benda-benda lainnya. Sisanya 30% dipantulkan kembali melalui awan, hujan serta permukaan reflektif lainnya. Tetapi panas yang 70 % tersebut tidak selamanya

ada di bumi, karena bila demikian maka suatu saat bumi kita akan menjadi “bola api”. Benda-benda di sekitar planet yang menyerap cahaya matahari seringkali meradiasikan kembali panas yang diserapnya. Sebagian panas tersebut masuk ke ruang angkasa, tinggal di sana dan akan dipantulkan kembali ke bawah permukaan bumi ketika mengenai zat yang berada di atmosfer, seperti karbon dioksida, gas metana dan uap air. Panas tersebut yang membuat permukaan bumi tetap hangat dari pada di luar angkasa, karena energi lebih banyak yang terserap dibandingkan dengan yang dipantulkan kembali (Pratama dan Parinduri, 2019).

2.4 Suhu

Suhu permukaan merupakan suhu bagian terluar dari suatu objek. Suhu permukaan suatu objek tergantung pada sifat fisik permukaan objek tersebut. Sifat fisik objek merupakan emisivitas, kapasitas panas jenis dan konduktivitas termal. Jika suatu objek memiliki emisivitas dan kapasitas panas jenis yang tinggi sedangkan konduktivitas termalnya rendah maka suhu permukaannya akan menurun, misalnya pada permukaan tubuh air. Sedangkan jika suatu objek memiliki emisivitas dan kapasitas panas jenis yang rendah dan konduktivitas termalnya tinggi maka suhu permukaan akan meningkat, misalnya pada permukaan darat. Secara umum suhu permukaan tertinggi terdapat di pusat kota dan menurun secara bertahap ke arah pinggiran kota sampai ke desa (Utomo, 2017).

Keadaan suhu udara pada suatu tempat di permukaan bumi dapat ditentukan oleh beberapa faktor (Rahim dkk., 2016):

1. Lamanya penyinaran matahari

Semakin lama matahari memancarkan sinarnya di suatu daerah, panas yang diterima daerah tersebut semakin banyak. Keadaan atmosfer yang lebih cerah akan lebih panas daripada keadaan atmosfer yang berawan.

2. Kemiringan sinar matahari

Suatu tempat yang posisi matahari berada tegak lurus diatas permukaan bumi, maka radiasi matahari yang diberikan akan lebih besar dan suhu di tempat tersebut akan tinggi, dibandingkan dengan tempat yang posisi matahari lebih miring.

3. Keadaan awan

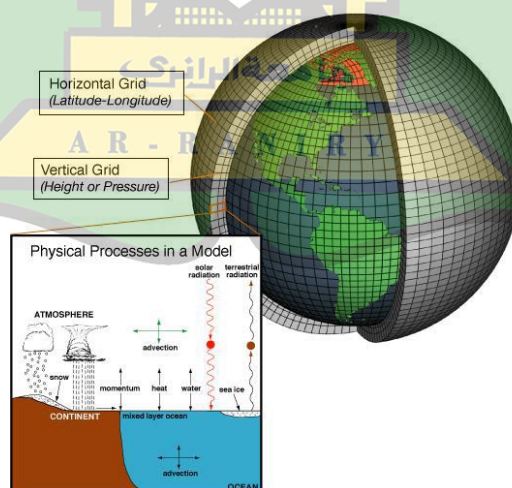
Berkurangnya radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi disebabkan oleh adanya awan di atmosfer. Karena radiasi yang mengenai awan, akan dipancarkan, dipantulkan, dan diserap oleh uap air yang terdapat di alam awan.

4. Keadaan permukaan bumi

Permukaan datar akan lebih cepat menerima dan melepaskan panas energi radiasi matahari yang diterima dipermukaan bumi dan dapat menyebabkan suhu udara di atasnya.

2.5 *General Circulation Model (GCM)*

Global Circulation Model (GCM) merupakan model numerik yang menghasilkan sejumlah data dari berbagai parameter iklim seperti presipitasi, temperatur, dan kelembaban untuk pendugaan iklim. Model GCM mempresentasikan kemungkinan cara terbaik mensimulasi kondisi iklim ke depan akibat pengaruh kekuatan yang diketahui (seperti pengaruh gas rumah kaca). Kemampuan pendugaan skala kecil menggunakan GCM sangat terbatas karena resolusi spasial dalam GCM umumnya kasar berukuran $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ($\pm 300 \text{ km} \times 300 \text{ km}$) (Soleh dkk., 2015).



Gambar 2.1 Global Circulation Models (GCM), (NOAA,2012)

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).

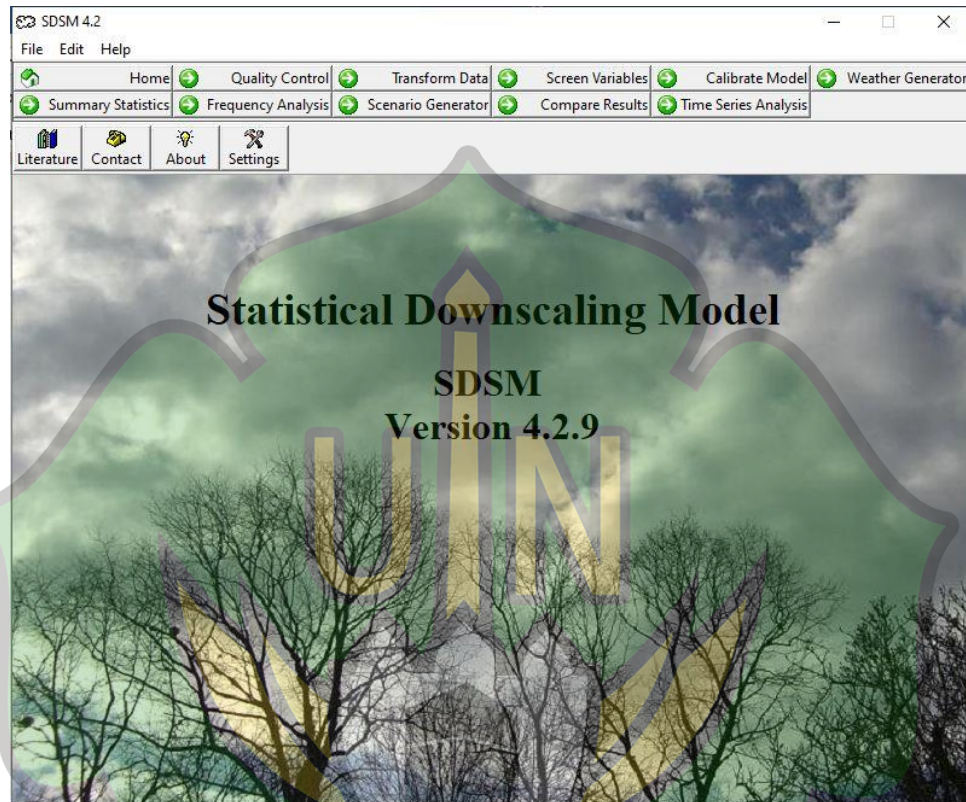
2.6 *Statistical Downscaling* (SD)

Downscaling adalah teknik yang banyak digunakan untuk menjembatani kesenjangan antara *output* GCM kasar dan nilai variabel iklim pada resolusi yang lebih baik (Fan dkk., 2021). Teknik *downscaling* untuk mentransformasi data unit skala besar menjadi data unit skala yang lebih kecil. Teknik ini menginterpolasi peubah-peubah (*variables*) *predictor* atmosfer berskala besar terhadap peubah-peubah berskala lebih kecil. Salah satu jenis dari teknik *downscaling* adalah *statistical downscaling* (Wigena dkk., 2015).

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).

SDSM dapat menurunkan *output* GCM dengan membangun hubungan statistik antara variabel GCM yang merupakan prediktor berdasarkan model regresi multilinier dan teknik bias stokastik. *Software* yang dapat digunakan adalah SDSM

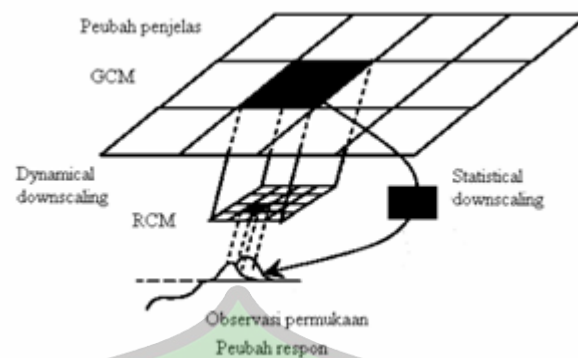
versi 4.2. Adapun tampak dari *software* SDSM versi 4.2 dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Layar SDSM 4.2

Model *Statistical Downscaling* akan memberikan hasil yang baik jika memenuhi 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., 2015).



Gambar 2.3 Ilustrasi Pemodelan SD (Sutikno, 2008)

Menurut Swarinoto dan Wigena, (2011) secara umum bentuk dari *Statistical Downscaling* yaitu:

$$Y(t) = f\{X(txg)\} \quad (2.1)$$

Dimana:

$Y(t)$ = Peubah skala lokal.

$X(txg)$ = Peubah skala global sebagai luaran dari GCM.

t = Waktu.

Metode *Statistical Downscaling* (SD) membangun hubungan matematis antara data keluaran GCM yang berskala relatif kasar dengan variabel iklim lokal berskala baik berdasarkan data observasi. Pendekatan SD kebanyakan menggunakan metode regresi (Rachmawati dkk., 2019).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai *statistical downscaling* sudah dilakukan oleh Peneliti-Peneliti terdahulu. Tabel hasil dari penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun	Hasil Penelitian
1	Siabi dkk., (2021)	<i>Statistical Downscaling of Global Circulation Models</i> untuk menilai perubahan iklim di masa depan di Cekungan Black Volta di Ghana. Studi ini menggunakan piranti lunak SDSM untuk <i>downscaling</i> skenario iklim di masa depan

		berdasarkan data GCM (CanESM2 dan HadCM3). Kinerja kedua model selama kalibrasi dan validasi relatif baik. Skenario yang dihasilkan oleh kedua model menunjukkan peningkatan $T_{\max}$ dan $T_{\min}$, masing-masing kinerja periode mendatang. $T_{\max}$ dan $T_{\min}$ menunjukkan bahwa peristiwa iklim ekstrem dapat mengakibatkan kekeringan parah, banjir, dan suhu yang diperkirakan mempengaruhi kegiatan pertanian yang merupakan sumber utama mata pencaharian di daerah aliran sungai.
2	Swarinoto dan Wigena, (2011)	<i>Statistical downscaling</i> suhu muka laut global untuk prediksi total hujan bulanan menggunakan teknik PLS. Untuk dapat melakukan prediksi total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu dapat digunakan prediktor data SML yang diperoleh dari model GCM. Penggunaan data SML skala global masih tidak sesuai dalam memprediksi total hujan bulanan untuk skala regional. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik <i>Statistical Downscaling</i> (SD) dengan menggunakan teknik PLSR untuk prediksi total hujan bulanan di wilayah Kabupaten Indramayu. Hasil prediksi total hujan bulanan dengan hasil observasi total hujan bulanan di daerah studi memiliki kesesuaian yang baik.
3	Estiningtyas dan Wigena, (2011)	Teknik <i>statistical downscaling</i> dengan regresi komponen utama dan regresi kuadrat terkecil parsial untuk prediksi curah hujan pada kondisi El Nino, La Nina, dan Normal. Analisis data dilakukan dengan PCR dan PLSR. Kemudian kedua metode tersebut dibandingkan berdasarkan nilai RMSEP (<i>Root Mean Square Error of Prediction</i>). Hasil rata-rata nilai RMSEP dan korelasi pada kondisi El Nino adalah 95.22 dan 0.66 untuk model PCR serta 102.52 dan 0.62 untuk model PLS. Pada kondisi La Nina adalah 85.14 dan 0.65 untuk model PCR serta 98.43 dan 0.69 untuk model PLS. Sedangkan untuk kondisi normal diperoleh nilai rata-rata 91.41 dan 0.57 untuk model PCR serta 85.37 dan 0.63 untuk model PLS.
4	Soleh dkk., (2015)	Pemodelan <i>Statistical Downscaling</i> untuk menduga curah hujan bulanan menggunakan model linier terampat sebaran gamma. Pemodelan dilakukan dengan teknik pemodelan

linier terampat menggunakan respons yang diasumsikan dari sebaran gamma. Keuntungan pendugaan menggunakan sebaran gamma pada pemodelan curah hujan adalah nilai dugaan respons dapat diperoleh dalam keadaan alami, yaitu bernilai non-negatif. Oleh karenanya, untuk pendugaan model curah hujan, metode ini dapat dianggap sebagai model terbaik.

- 5 Hadijati dan Irwansyah, (2019) Model debit daerah aliran sungai Jangkok berdasarkan hasil prediksi model *statistical downscaling* nonparametrik kernel curah hujan dan temperatur. Pemodelan debit air sungai DAS Jangkok menggunakan data debit air sungai DAS Jangkok sebagai variabel respon dan data curah hujan dan temperatur hasil prediksi dari model *statistical downscaling* nonparametrik kernel sebagai variabel prediktor. Model *statistical downscaling* 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.
-



BAB III

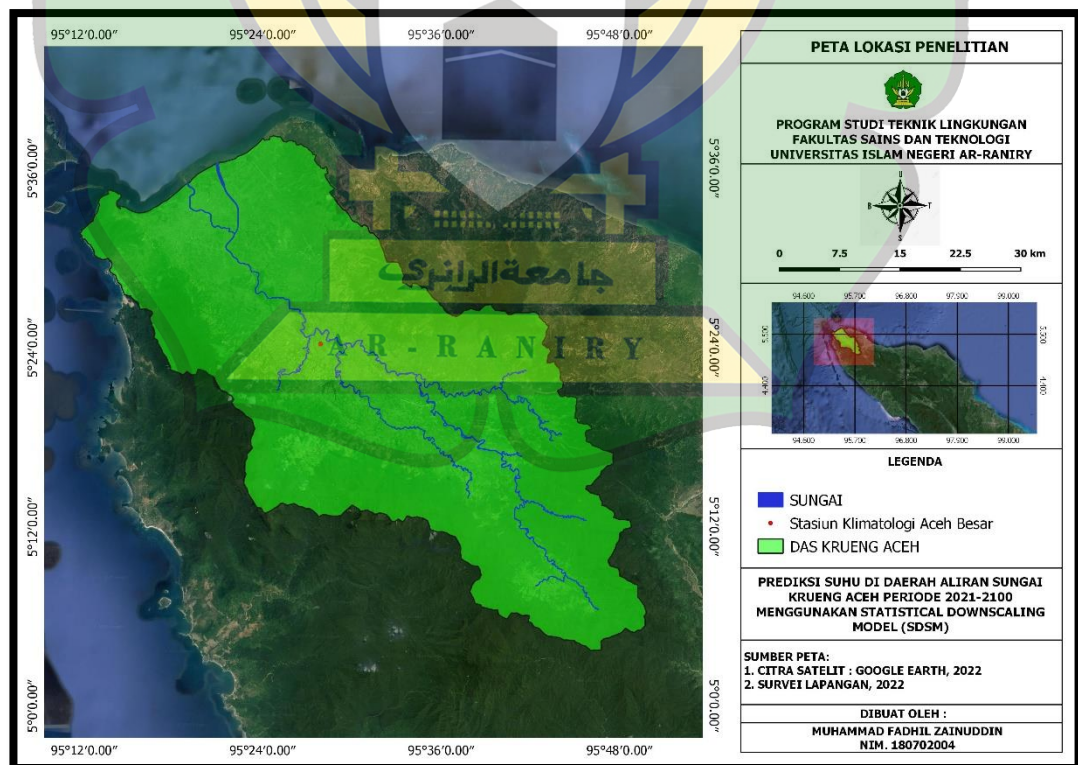
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Daerah yang dimodelkan

Daerah yang akan dimodelkan dalam penelitian ini adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh. Secara administratif DAS Krueng Aceh berada di Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar dengan luas 1.780 km² dan panjang 113 km. Letak geografis DAS Krueng Aceh terletak pada 5° 5' 40'' Lintang Utara (LU) dan 95,15° 95' 40'' Bujur Timur (BT).



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

DAS Krueng Aceh adalah salah satu DAS yang terdapat di Provinsi Aceh. DAS tersebut menjadi sumber air utama bagi penduduk Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar di Provinsi Aceh. 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 Penelitian

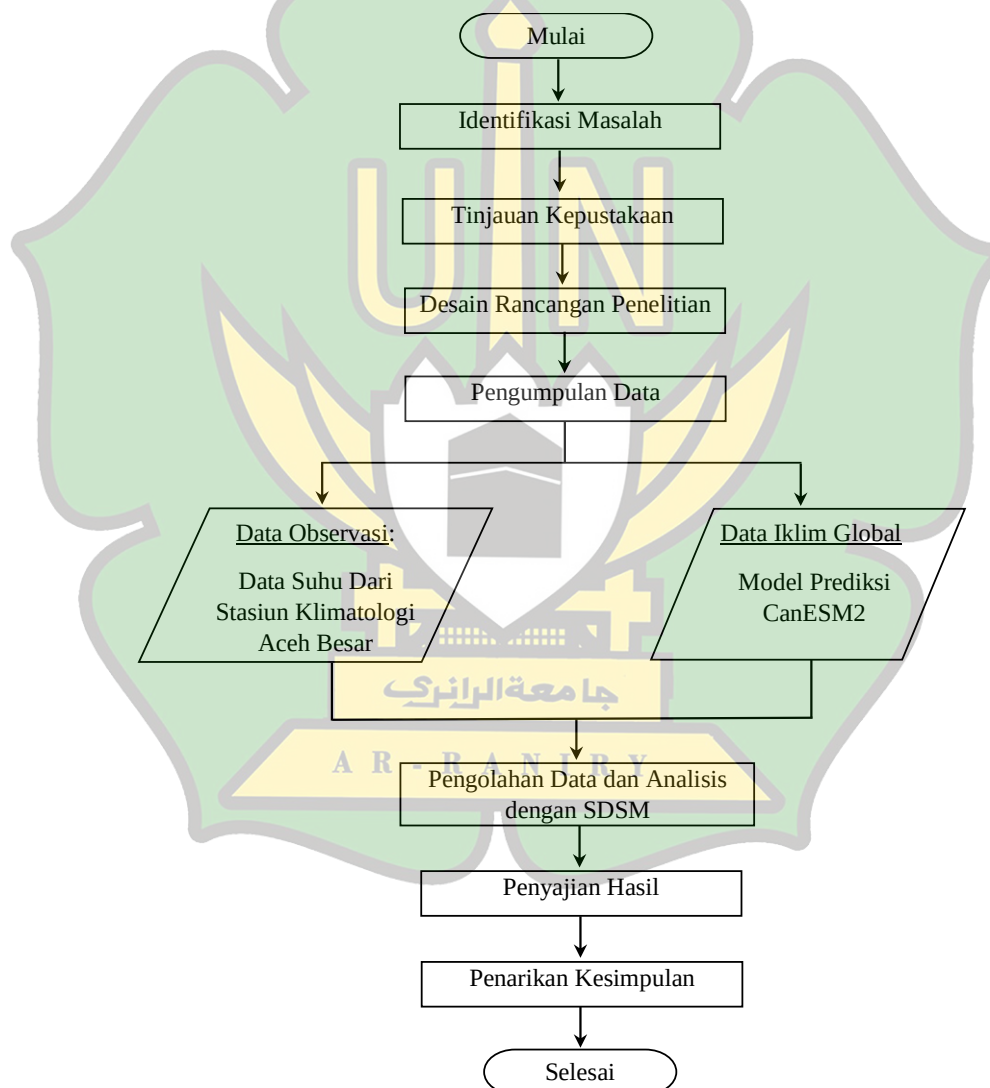
Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer berupa data yang diperoleh dari 1 stasiun dan data GCM. Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur berupa jurnal, artikel ilmiah, buku, dan lain sebagainya. Penelitian ini menggunakan *piranti lunak* SDSM 4.2 yang dapat diunduh secara gratis dari <http://www.sdsms.org.uk>. Data penelitian yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Data Penelitian

DATA	FORMAT DATA	SUMBER	Jumlah Total Data
Data Observasi	Data Suhu dari Stasiun Klimatologi Time series	Stasiun Klimatologi Aceh Besar	9497
Data Global	Canadian Earth System Model (CanESM2) .dat	https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2	38.325

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan - tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini berawal dari tinjauan kepustakaan, pengumpulan data (data observasi dan data iklim global), kemudian data tersebut diolah menggunakan *software Statistical Downscaling Model (SDSM)*. Setelah itu, hasil dari *software SDSM* dimasukkan ke dalam *software Microsoft Excel* untuk dilakukannya rekapitulasi hasil dan pembuatan grafik, kemudian dilakukannya penarikan kesimpulan. Alur penelitian ini juga dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.4.1 Tinjauan Kepustakaan

Tinjauan kepustakaan merupakan tahapan awal di dalam penelitian ini. Tinjauan kepustakaan dilakukan untuk mengkaji beberapa literatur agar dapat memperoleh materi dan teori yang dapat menjadi suatu rujukan atau panduan dasar dalam penelitian. Adapun sumber literatur yang dilakukan oleh Peneliti dengan mengakses artikel jurnal di google scholar, sinta, garuda kemdikbud dengan *keyword statistical downscaling model*, daerah aliran sungai, perubahan iklim, suhu, dan lain sebagainya yang berkaitan dengan penelitian dan juga menggunakan buku panduan *statistical downscaling model*.

3.4.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari 2 (dua) jenis data yaitu data observasi dan data global. Data observasi yaitu data suhu dari Stasiun Klimatologi Aceh Besar, sedangkan data global yaitu data yang diperoleh dari GCM (*Global Circulation Model*) yang diperoleh dari website <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2>, data GCM yang digunakan pada penelitian ini adalah *Canadian Earth System Model* (CanESM2). CanESM2 merupakan model iklim global gabungan generasi keempat yang dikembangkan oleh *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCMA) lingkungan dan perubahan iklim Kanada. CanESM2 mewakili kontribusi Kanada pada laporan penelitian kelima IPCC (AR5). CanESM2 digunakan sebagai data GCM pada penelitian ini, karena wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) termasuk ke dalamnya.

Model CanESM2 memiliki resolusi spasial $2.8125^{\circ} \times 2.8125^{\circ}$. Model CanESM2 menggunakan skenario proyeksi perubahan iklim yaitu skenario RCP yang terdiri dari RCP 2.6, RCP 4.5, dan RCP 8.5. Skenario RCP 2.6 merupakan skenario dengan kondisi mitigasi terhadap dampak perubahan iklim yang ketat, Skenario RCP 4.5 sebagai skenario kondisi dengan emisi sedang dan Skenario RCP 8.5 sebagai skenario kondisi emisi tinggi. Data Global/GCM yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

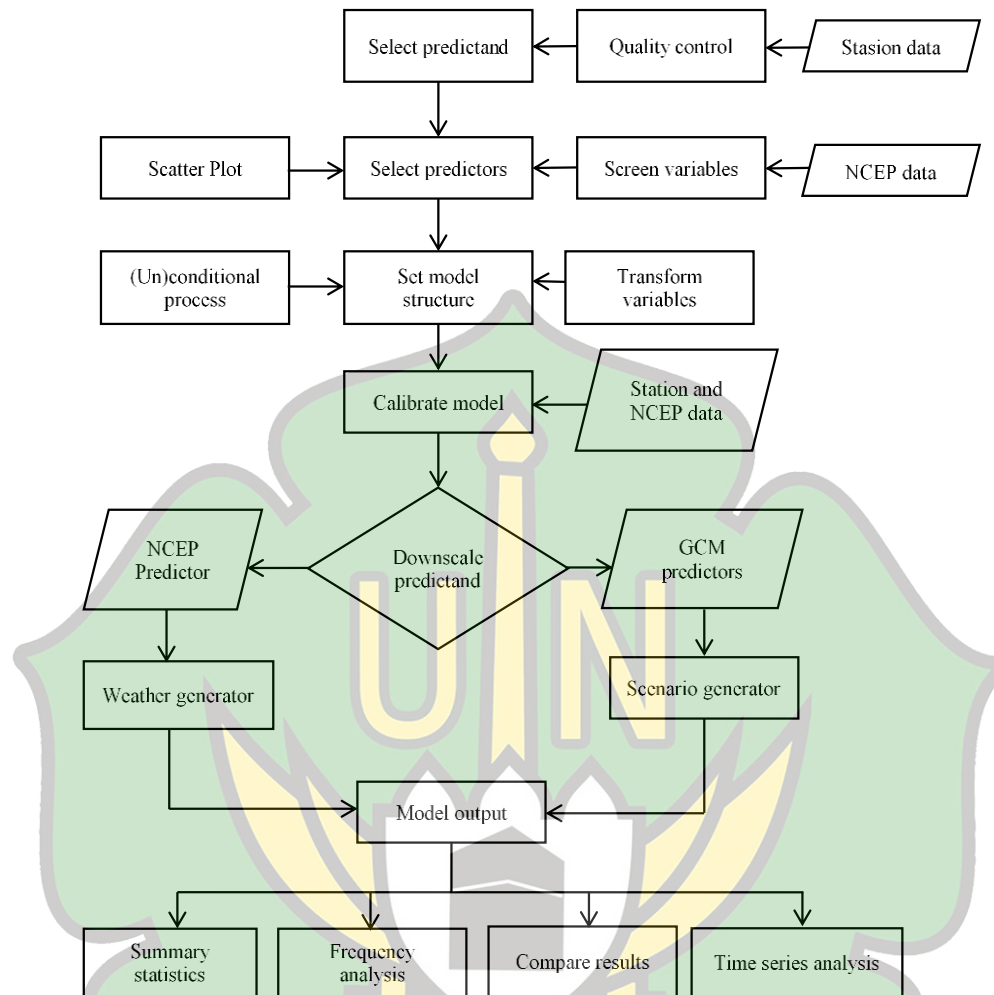
Tabel 3.2 Data GCM CanESM2

No.	Data GCM	Keterangan
1.	CanESM2_historical_1961_2005	Data historical global
2.	CanESM2_rcp26_2006_2100	Data proyeksi global
3.	CanESM2_rcp45_2006_2100	Data proyeksi global
4.	CanESM2_rcp85_2006_2100	Data proyeksi global
5.	NCEP-NCAR_1961_2005	Prediktor yang dipilih untuk prediksi/proyeksi

3.4.3 Statistical Downscaling Model (SDSM)

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 Klimatologi sebagai data lokal (Butar-butur dkk., 2019).

Software SDSM merupakan aplikasi stokatistik yang menggabungkan proses perkembangan data iklim dengan regresi. *Software* SDSM mampu untuk evaluasi cepat, murah dan *downscaling* data titik pada data harian yang dipengaruhi oleh variabel iklim pada masa saat ini dan pada masa yang akan datang.



Gambar 3.3 Diagram Alir SDSM

Langkah-langkah yang dilakukan pada SDSM sebagai berikut :

1. *Quality control*

Untuk memeriksa file input untuk data yang hilang dan/atau nilai yang dicurigai, dapat mengklik tombol *Quality Control* pada layar utama. Klik tombol *select file* untuk memasukkan file yang akan diperiksa yaitu *file* data suhu harian maksimum DAS Krueng Aceh yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kabupaten Aceh Besar. Kemudian klik tombol *Check File* pada bagian atas layar.

2. *Screen Variables Predictor* / Pemilihan Variabel Prediktor

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 suhu maksimum DAS Krueng Aceh) yang telah dipersiapkan dalam bentuk format (.dat). Kemudian pilih *process unconditional* untuk kasus suhu maksimum dan atur *significance* 0,05. Setelah itu, klik bagian tengah layar untuk memilih prediktor global (NCEP) dengan format (.dat). File prediktor NCEP berjumlah 26 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 11 variabel, kedua memilih 11 variabel, dan ketiga 4 variabel) dan 1 kali membandingkan variabel terpilih pada pemilihan 1, 2 dan 3 guna untuk memutuskan variabel prediktor yang dapat digunakan pada tahap selanjutnya (tahap kalibrasi). Variabel prediktor NCEP dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter Atmosfer CanESM2

No.	Nama File	Nama Variabel Atmosfer	No.	Nama File	Nama Variabel Atmosfer
1	P*mslpgl.dat	Mean sea level pressure	14	P*p5zhgl.dat	500hPa Divergence of true wind
2	P*pl_fgl.dat	1000 hPa Wind speed	15	P*p850gl.dat	850 hPa Geopotential
3	P*pl_uvl.dat	1000 hPa Zonal wind component	16	P*p8_fgl.dat	850 hPa Wind speed
4	P*pl_vgl.dat	1000 hPa Meridional wind component	17	P*p8_uvl.dat	850 hPa Zonal wind component
5	P*pl_zgl.dat	1000 hPa Relative vorticity of true wind	18	P*p8_vgl.dat	850 hPa Meridional wind component
6	P*plthgl.dat	1000 hPa Wind direction	19	P*p8_zgl.dat	850 hPa Relative vorticity of true wind
7	P*plzhgl.dat	1000 hPa Divergence of true wind	20	P*p8thgl.dat	850 hPa Wind direction
8	P*p500gl.dat	500 hPa Geopotential	21	P*p8zhgl.dat	850 hPa Divergence of true wind
9	P*p5_fgl.dat	500 hPa Wind speed	22	P*prcpgl.dat	Total precipitation

10	P*p5_ugl.dat	500 hPa Zonal wind component	23	P*s500gl.dat	500 hPa Specific humidity
11	P*p5_fgl.dat	500 hPa Meridional wind component	24	P*s850gl.dat	850 hPa Specific humidity
12	P*p5_zgl.dat	500 hPa Relative vorticity of true wind	25	P*shumgl.dat	1000 hPa Specific humidity
13	P*p5thgl.dat	500 hPa Wind direction	26	P*tempgl.dat	Air Temperature at 2 m

Sumber: Romadhoni dkk., 2020

Data NCEP/NCAR *Reanalysis 1* adalah set dat atmosfer global hasil re-analysis berdasarkan asimilasi data observasi satelit sejak 1948. Data ini dibandingkan dengan data observasi untuk menentukan parameer iklim yang akan digunakan dalam proses *downscaling*. Data NCEP/NCAR terdiri dari parameter atmosfer yang sama dengan model CanESM2. Data NCEP/NCAR digunakan sejak 1995-2020 sesuai dengan seri data observasi.

3. Calibrate Model

Proses kalibrasi model dimulai dengan klik *select predictand file* (file data observasi yaitu suhu maksimum 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 *unconditional* karena diasumsikan terdapat adanya hubungan langsung antara prediktor skala regional dan suhu lokal. Setelah sesuai pilihan yang kita buat, kemudian klik tombol *calibrate* tunggu beberapa saat untuk keluar hasil dari kalibrasinya.

4. Weather Generator

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 untuk 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. Langkah pertama ubah pengatur *year length* menjadi 365 (GCM) kemudian

input file suhu harian maksimum dari data observasi (suhu maksimum DAS Krueng Aceh dengan format .PAR) di bagian kiri atas layar. Kemudian pilih direktori variabel prediktor di bagian kiri bawah layar. Untuk menulis data sintesis kedalam *file* hasil, perlu untuk memilih direktori yang sesuai dan nama *file output*. Klik tombol *save to .OUT file* di pojok kanan atas. Simpan dengan nama file yang sesuai, misalnya DAS Krueng Aceh.OUT. Klik *view details* untuk melihat detail dari data *input*, versi dari SDSM, *record start* (tanggal dimulai), *record length* (jumlah hari), *synthesis start* dan *synthesis Length*. Dan juga ensemble size yang digunakan standarnya adalah 20. Setelah semua hal diatas dilakukan, kemudian klik tombol *synthesis* dibagian atas layar.

5. *Scenario Generator*

Scenario generator adalah operasi menghasilkan *ensemble* seri cuaca harian sintesis yang diberikan variabel prediktor atmosfer harian yang disediakan oleh GCM. Pada tahap *scenario generator*, 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 suhu maksimum DAS krueng Aceh dengan format (.PAR). Kemudian pilih data GCM (CanESM2) 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*

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 yaitu 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.

3.5 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 yang sempurna antara data model dengan data observasi. P_{bias} digunakan untuk menunjukkan kecenderungan keluaran model lebih kecil atau lebih besar dari data yang diamati. Semakin kecil nilai P_{bias} (misal 0,0), maka semakin akurat modelnya. Sedangkan RMSE digunakan untuk 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 prediksi
 N = Banyaknya data
 Σ = *Summation* (Jumlah keseluruhan nilai)



BAB IV

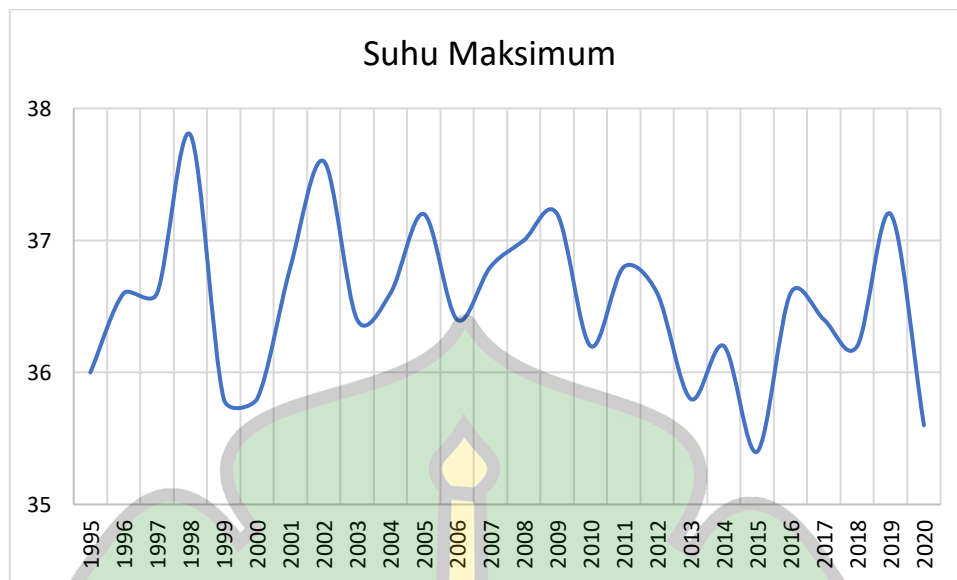
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Suhu DAS Krueng Aceh Tahun 1995-2020

Kondisi suhu maksimum 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 Suhu Maksimum (Observasi)

No.	Tahun	Bulan	Derajat (°C)	No.	Tahun	Bulan	Derajat (°C)
1.	1995	Juni	36	14.	2008	Agustus	37
2.	1996	September	36,6	15.	2009	Juli	37,2
3.	1997	Juli dan Agustus	36,6	16.	2010	Mei	36,2
4.	1998	Juni	37,8	17.	2011	Juli	36,8
5.	1999	Juli	35,8	18.	2012	September	36,6
6.	2000	Agustus dan September	35,8	19.	2013	Mei	35,8
7.	2001	Agustus	36,8	20.	2014	Juli	36,2
8.	2002	Juni	37,6	21.	2015	Juli	35,4
9.	2003	Juni dan Agustus	36,4	22.	2016	Juli	36,6
10.	2004	Juli	36,6	23.	2017	Juli dan Agustus	36,4
11.	2005	Agustus	37,2	24.	2018	Juli dan September	36,2
12.	2006	Agustus	36,4	25.	2019	Juli	37,2
13.	2007	September dan Oktober	36,8	26.	2020	Juli	35,6
			Maksimum				37,8
			Minimum				35,4
			Rata-Rata				36,5
			Standar Deviasi				0,6



Gambar 4.1 Grafik Suhu Maksimum DAS Krueng Aceh Periode 1995-2020

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa suhu maksimum di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh dari tahun 1995-2020 mengalami kenaikan maupun penurunan suhu. Adapun suhu maksimum tertinggi mencapai suhu 37,8°C, suhu maksimum terendah mencapai 35,4°C, sedangkan suhu maksimum rata-rata yaitu 36,5°C. Standar Deviasi untuk tahun 1995-2020 yaitu 0,61.

4.2 Pemilihan Variabel Prediktor

Pada piranti 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 suhu maksimum ($T_{\max}$). Pemilihan variabel prediktor dilakukan sebanyak 3 kali dan 1 kali membandingkan hasil dari pemilihan variabel prediktor sebelumnya, guna untuk memutuskan variabel prediktor terpilih.

1. Pemilihan variabel pertama

Peneliti dalam hal memilih variabel prediktor terbaik dengan memilih 2 (dua) variabel dari 11 variabel yang dilakukan korelasi. Variabel terbaik yang memiliki nilai $P_{\text{value}} = 0.0000$ dan Partial r yang tertinggi (maksimum). Adapun variabel prediktor terpilih pada pemilihan pertama ini yaitu ncepp1_ugl dengan nilai Partial $r = 0.050$ $P_{\text{value}} = 0.0000$ dan ncepp1_vgl dengan nilai Partial $r = 0.081$ $P_{\text{value}} = 0.0000$. NCEP merupakan kumpulan data grid global yang mewakili keadaan atmosfer bumi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Korelasi Pertama

No.	NCEP	Partial r	P_{Value}
1.	ncepmslpgl.dat	-0,114	0,0000
2.	ncepp1_fgl.dat	-0,024	0,0383
3.	ncepp1_ugl.dat	0,050	0,0000
4.	ncepp1_vgl.dat	0,081	0,0000
5.	ncepp1_zgl.dat	-0,140	0,0000
6.	ncepp1thgl.dat	-0,009	0,3817
7.	ncepp1zhgl.dat	0,042	0,0001
8.	ncepp5_fgl.dat	-0,026	0,0233
9.	ncepp5_ugl.dat	-0,056	0,0000
10.	ncepp5_vgl.dat	-0,006	0,4885
11.	ncepp5_zgl.dat	-0,011	0,3236

2. Pemilihan variabel kedua

Pada perlakuan kedua variabel prediktor terpilih ialah ncepp500gl dengan nilai Partial $r = 0.064$ $P_{\text{value}} = 0.0000$ dan ncepp8_ugl dengan nilai Partial $r = 0.082$ $P_{\text{value}} = 0.0000$. berikut hasil dari pemilihan variabel kedua dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Korelasi Kedua

No.	NCEP	Partial r	P_{Value}
1.	ncepp500gl.dat	0,064	0,0000
2.	ncepp5thgl.dat	-0,023	0,0491
3.	ncepp5zhgl.dat	-0,003	0,5380
4.	ncepp8_fgl.dat	-0,022	0,0544
5.	ncepp8_ugl.dat	0,082	0,0000
6.	ncepp8_vgl.dat	0,036	0,0012
7.	ncepp8_zgl.dat	-0,133	0,0000
8.	ncepp850gl.dat	-0,095	0,0000
9.	ncepp8thgl.dat	-0,010	0,3527

10.	ncepp8zhgl.dat	0.028	0,0151
11.	ncepprcgl.dat	-0,015	0,1983

3. Pemilihan variabel ketiga

Pada perlakuan ketiga variabel prediktor yang terpilih hanya 1 (satu) ialah nceptempgl dengan nilai Partial $r = 0.182$ $P_{\text{value}} = 0.0000$. Setelah mendapatkan variabel prediktor diatas maka kita lakukan perbandingan antara prediktor-prediktor terpilih tersebut. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Korelasi Ketiga

No.	NCEP	Partial r	PValue
1.	ncepts500gl.dat	0,006	0,4714
2.	ncepts850gl.dat	-0,220	0,0000
3.	ncepshumgl.dat	0,043	0,0001
4.	nceptempgl.dat	0,182	0,0000

4. Membandingkan hasil variabel prediktor terpilih pada pemilihan pertama hingga ketiga

Tabel 4.5 Hasil Perbandingan Antara Prediktor-Prediktor Terpilih

No.	NCEP	Partial r	PValue
1.	ncepp1_ugl.dat	0,102	0,0000
2.	ncepp1_vgl.dat	0,158	0,0000
3.	ncepp500gl.dat	-0,090	0,0000
4.	ncepp8_ugl.dat	-0,006	0,4624
5.	nceptempgl.dat	0,175	0,0000

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut maka didapatkan variabel prediktor terpilih yaitu ncepp1_vgl dengan nilai Partial $r = 0.158$ $P_{\text{value}} = 0.0000$ dan nceptempgl dengan nilai Partial $r = 0.175$ $P_{\text{value}} = 0.0000$. Kemudian variabel prediktor terpilih tersebut kita masukkan ke tahapan selanjut yaitu tahapan *Calibrate Model* (Kalibrasi Model). Berikut variabel prediktor terpilih dapat dilihat Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Variabel Prediktor Terpilih

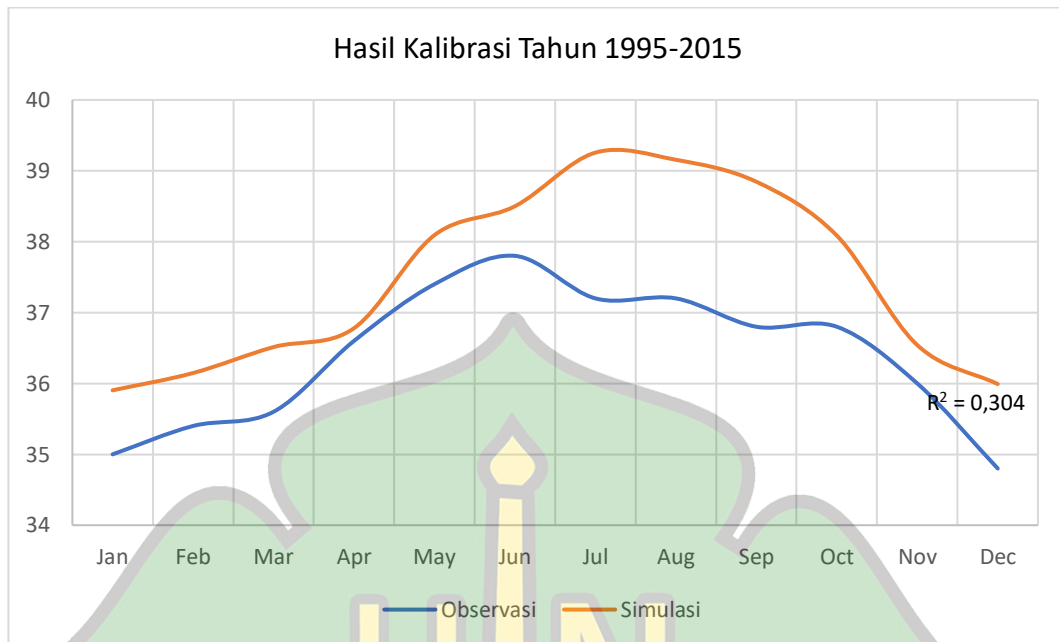
No.	Prediktor	Keterangan	Suhu Maksimum	
			Partial r	P _{Value}
1.	ncepp1_vgl	<i>Surface meridional velocity</i>	0.158	0.0000
2.	nceptempgl	<i>Mean temperature at 2 m</i>	0.175	0.0000

4.3 Kalibrasi dan Validasi SDSM

Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan *output* dari data analisis ulang NCEP, setelah dilakukannya proses pemilihan 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 4.7 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.7 Hasil Kalibrasi (1995-2015)

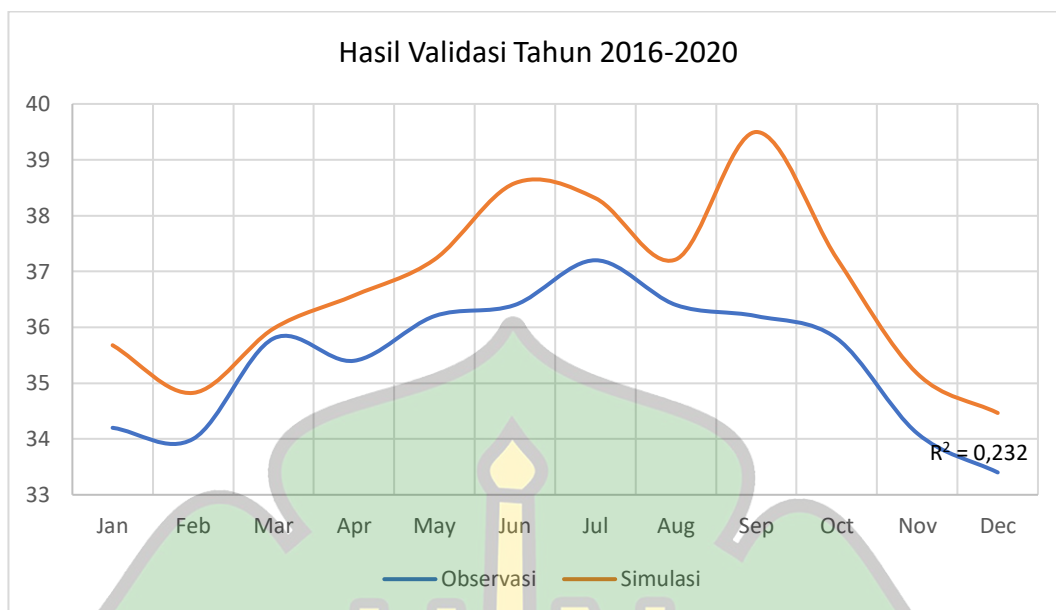
Bulan	R ²	SE
Januari	0,431	0,996
Februari	0,293	1,145
Maret	0,295	1,012
April	0,261	1,038
Mei	0,227	1,327
Juni	0,284	1,308
Juli	0,320	1,438
Agustus	0,405	1,432
September	0,292	1,530
Oktober	0,217	1,664
November	0,286	1,317
Desember	0,333	1,235
Rata-Rata	0,304	1,287



Gambar 4.2 Hasil Kalibrasi Tahun 1995-2015

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.

A R - R A N I R Y

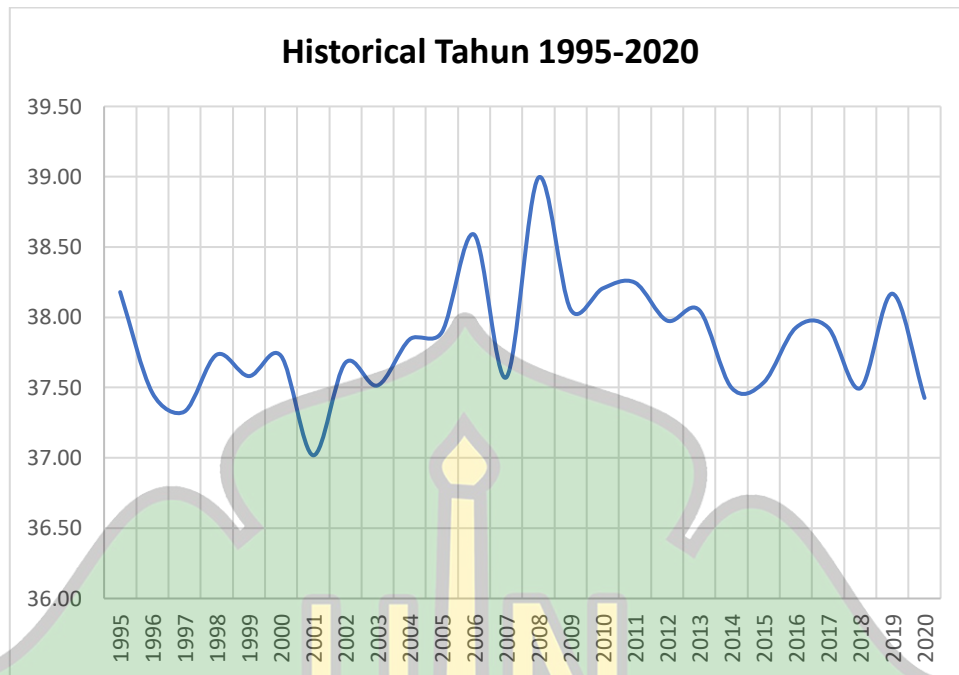


Gambar 4.3 Hasil Validasi SDSM (2016-2020)

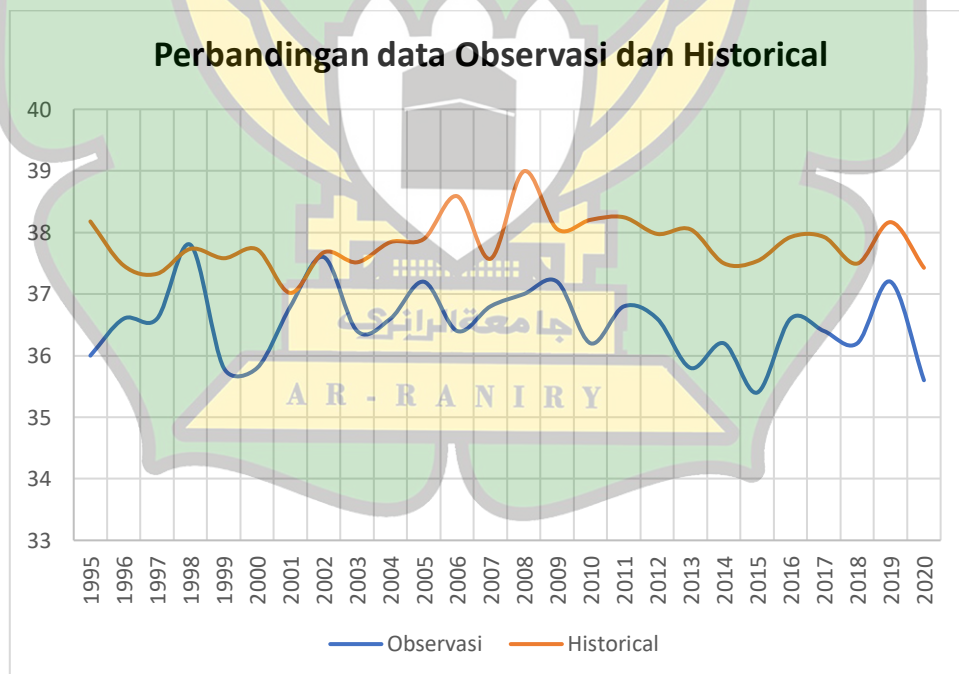
Berdasarkan Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, hasil kalibrasi menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,304 dan hasil validasi menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,232. Nilai koefisien determinan (R^2) menunjukkan tingkat hubungan yang rendah (Sugiyono, 2006). Nilai RMSE pada hasil proses kalibrasi dan validasi berturut-turut yaitu 1,287 dan 1,286.

4.3 Pemodelan Suhu Untuk Periode 1995-2020

Penggunaan *Statistical Downscaling Model* (SDSM) menggunakan variabel prediktor dari data *historical* CanESM2 dan data observasi dapat memodelkan suhu untuk periode 1995-2020. Pemodelan yang dihasilkan dapat berupa grafik *historical*. Adapun grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Historical Suhu Maksimum Periode 1995-2020

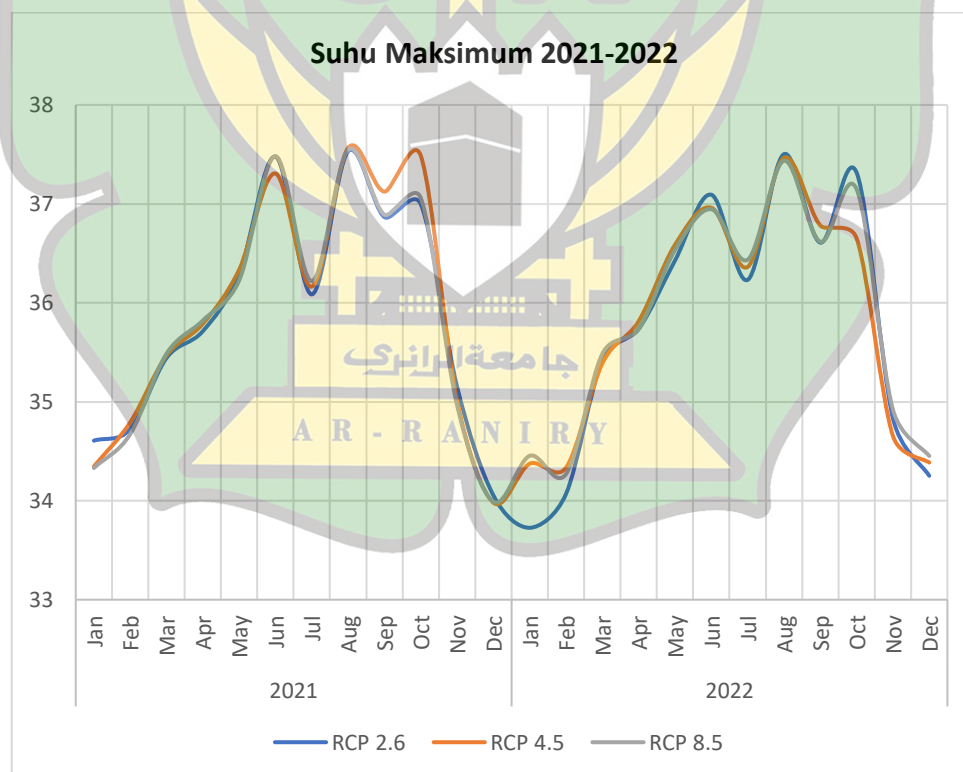


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Data Suhu Maksimum Observasi dengan Data Historical

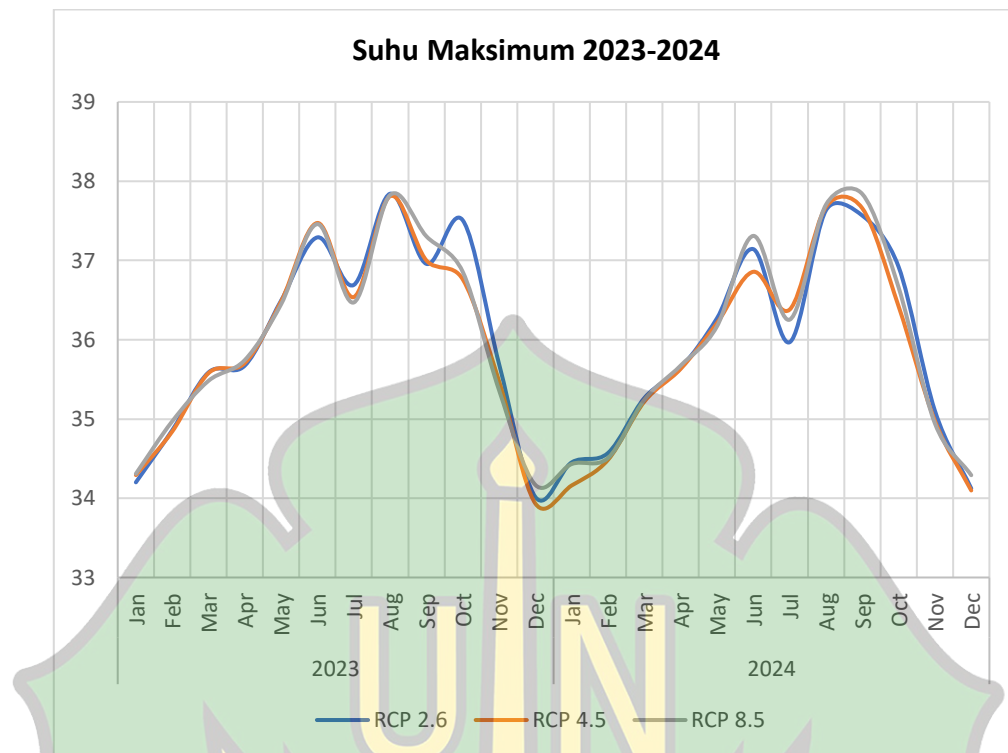
Berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.4 menurut data historical suhu maksimum tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 1995-2020 yaitu 38,99°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,02°C. Untuk suhu maksimum rata-rata yaitu 37,83°C. Standar Deviasi yang didapatkan dari hasil grafik tersebut menurut yaitu 0,42. Dan juga berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pemodelan suhu maksimum historical lebih tinggi dibandingkan dengan data observasi.

4.4 Prediksi Suhu Bulanan Untuk Periode 2021-2100

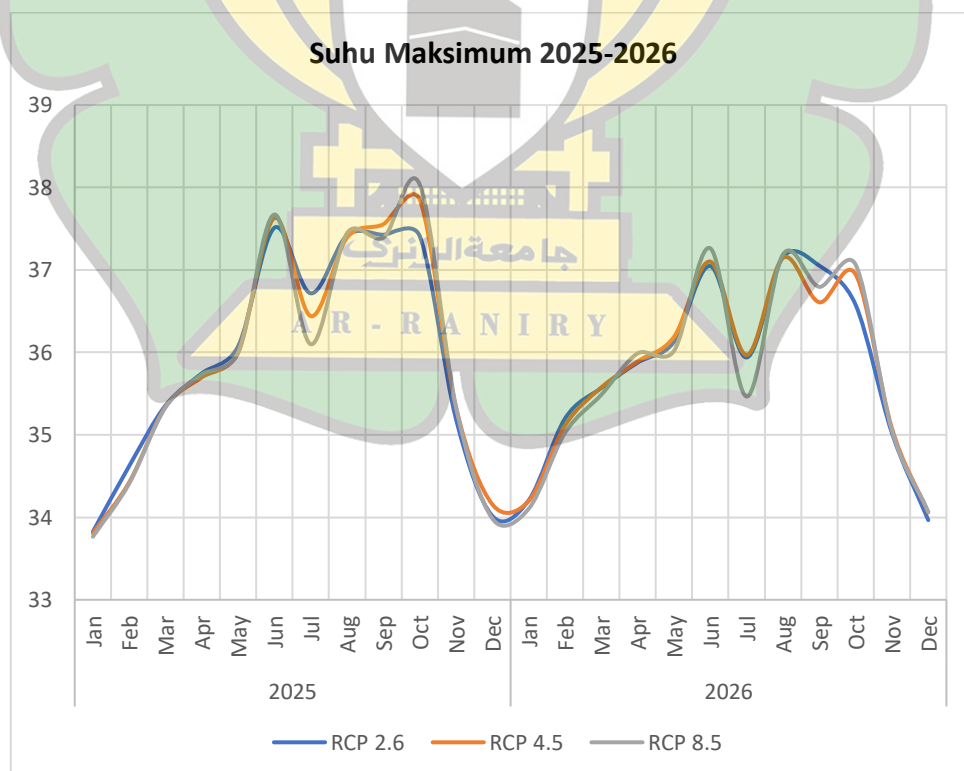
Prediksi suhu maksimum bulanan periode 2021-2100 menggunakan piranti lunak SDSM, adapun variabel yang digunakan berdasarkan pada skenario CanESM2. Grafik hasil simulasi keluaran dari SDSM dapat dilihat pada Gambar 4.6.(1) s.d 4.6.(...).



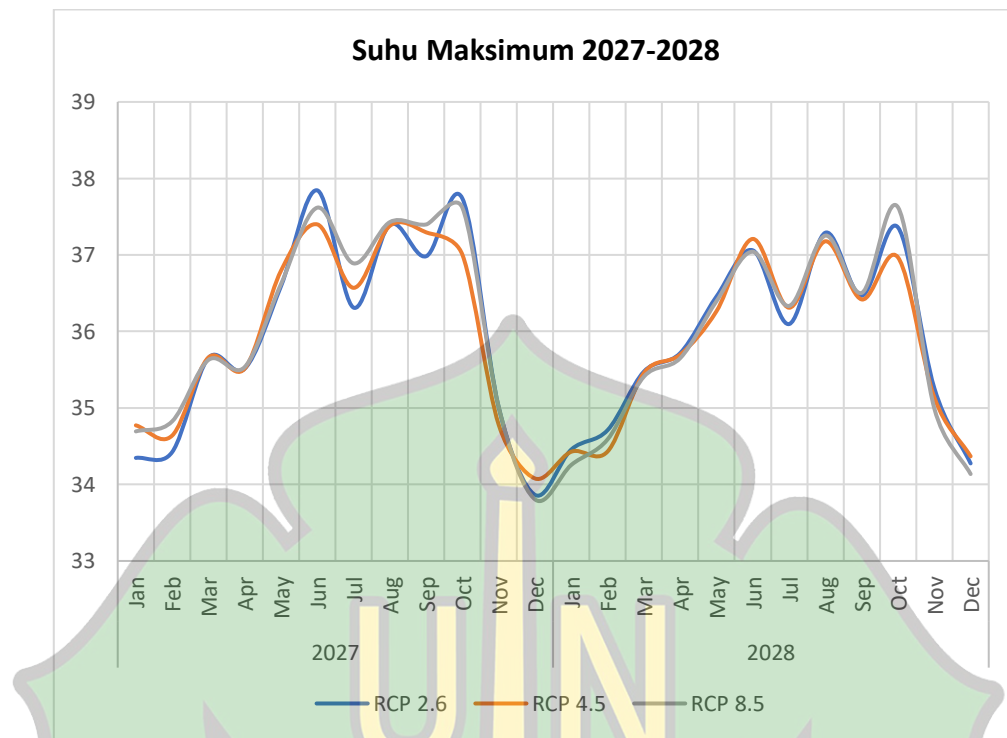
Gambar 4.6.(1) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2021-2022



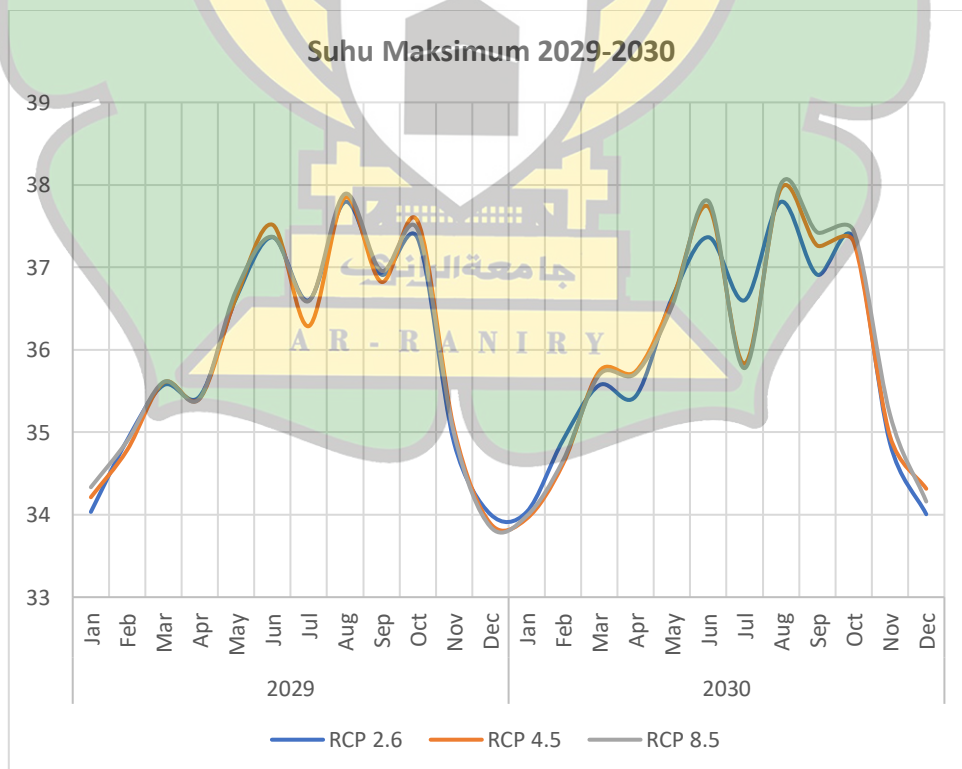
Gambar 4.6.(2) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2023-2024



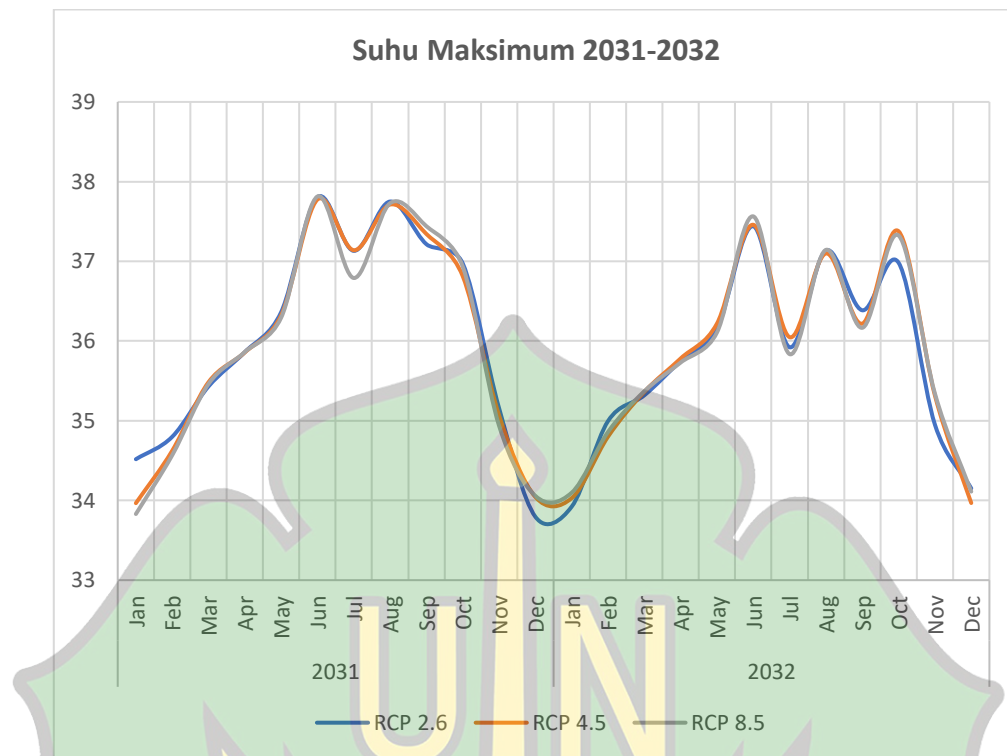
Gambar 4.6.(3) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2025-2026



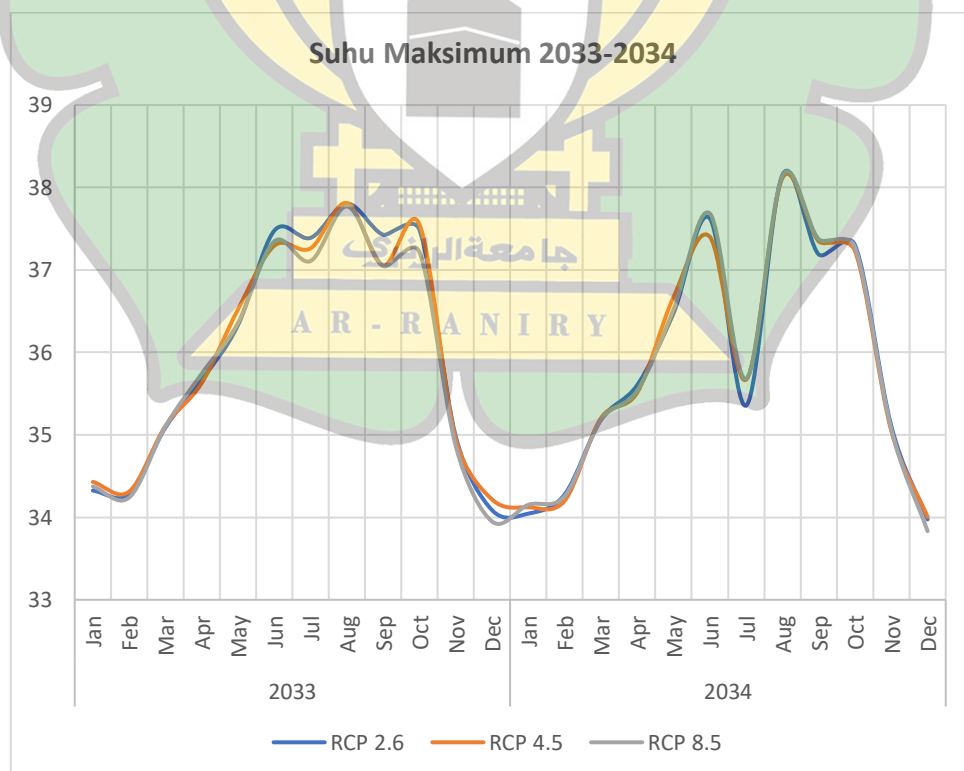
Gambar 4.6.(4) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2027-2028



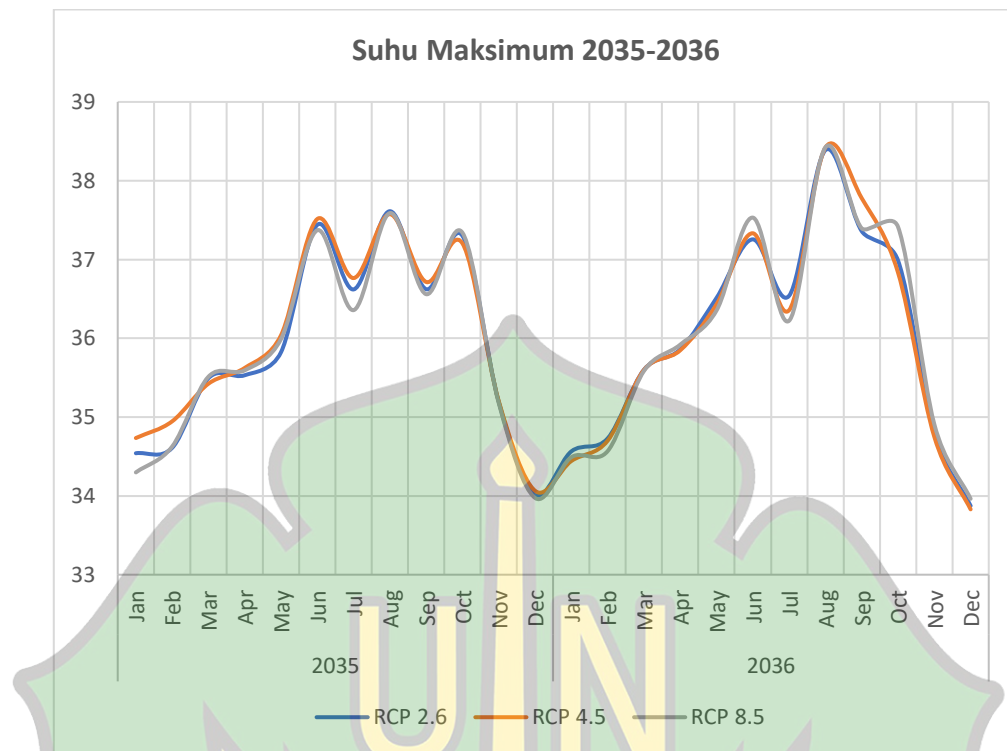
Gambar 4.6.(5) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2029-2030



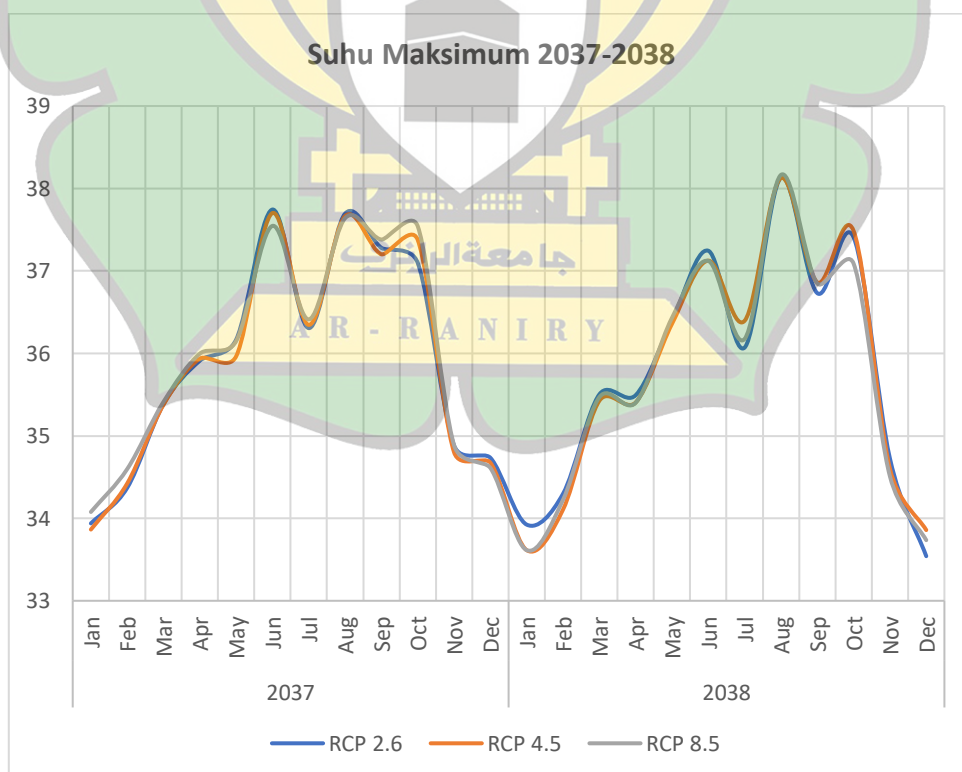
Gambar 4.6.(6) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2031-2032



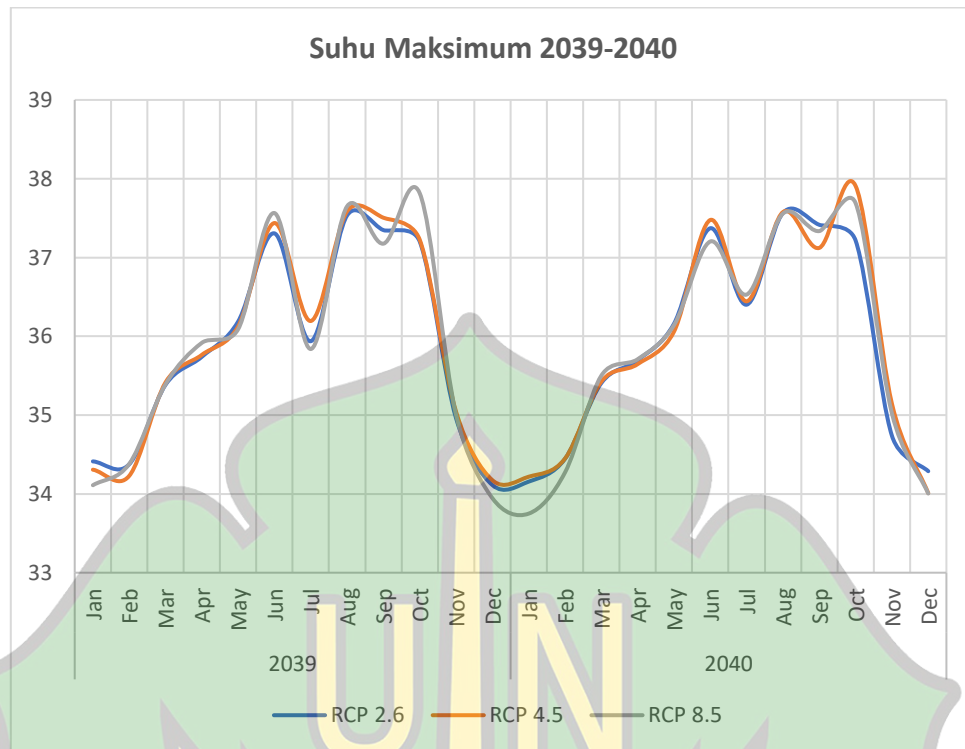
Gambar 4.6.(7) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2033-2034



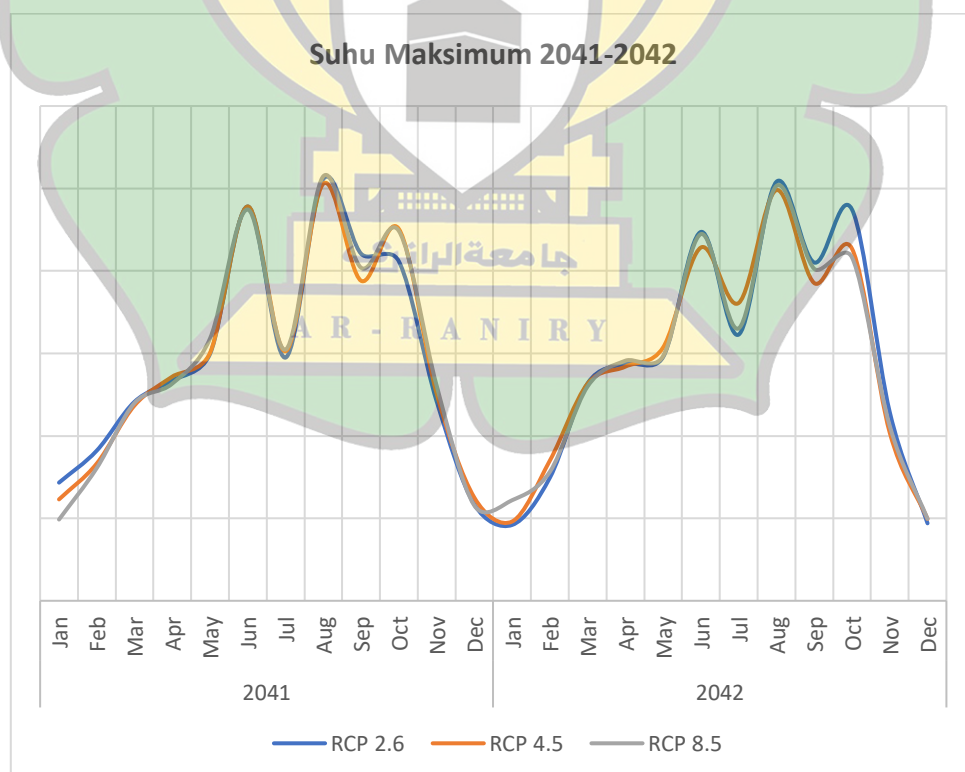
Gambar 4.6.(8) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2035-2036



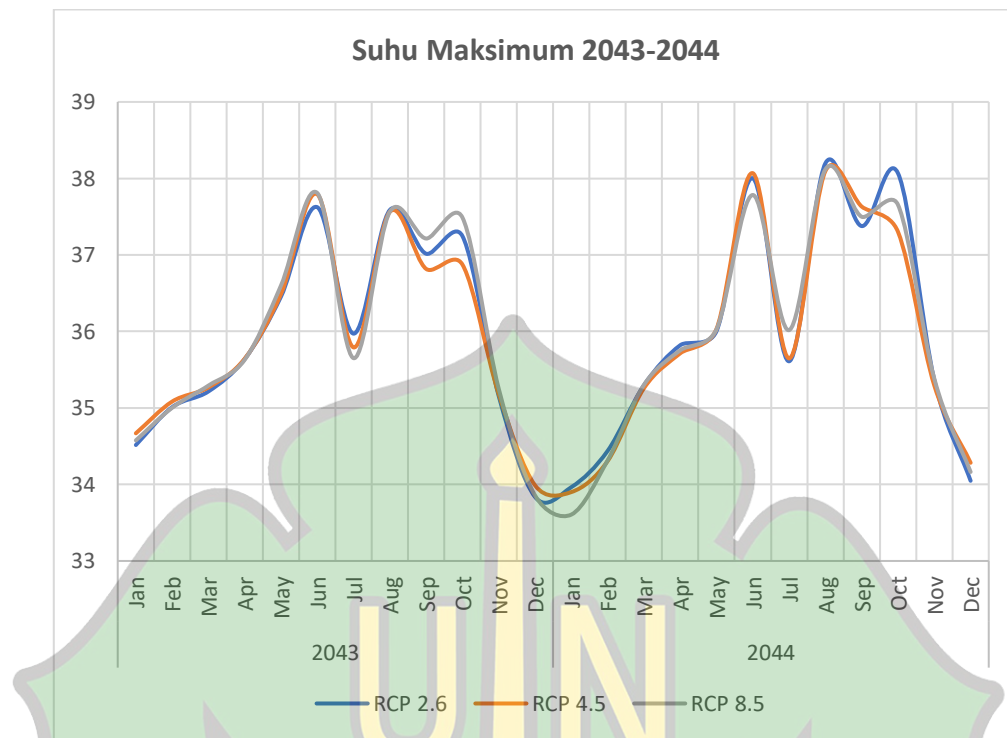
Gambar 4.6.(9) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2037-2038



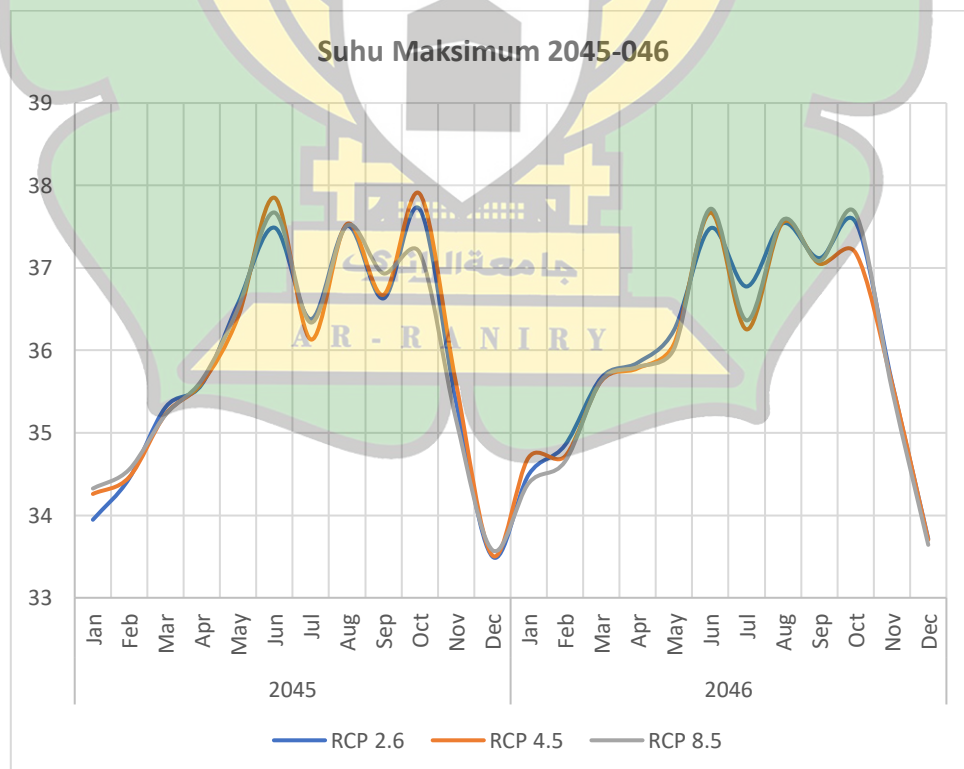
Gambar 4.6.(10) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2039-2040



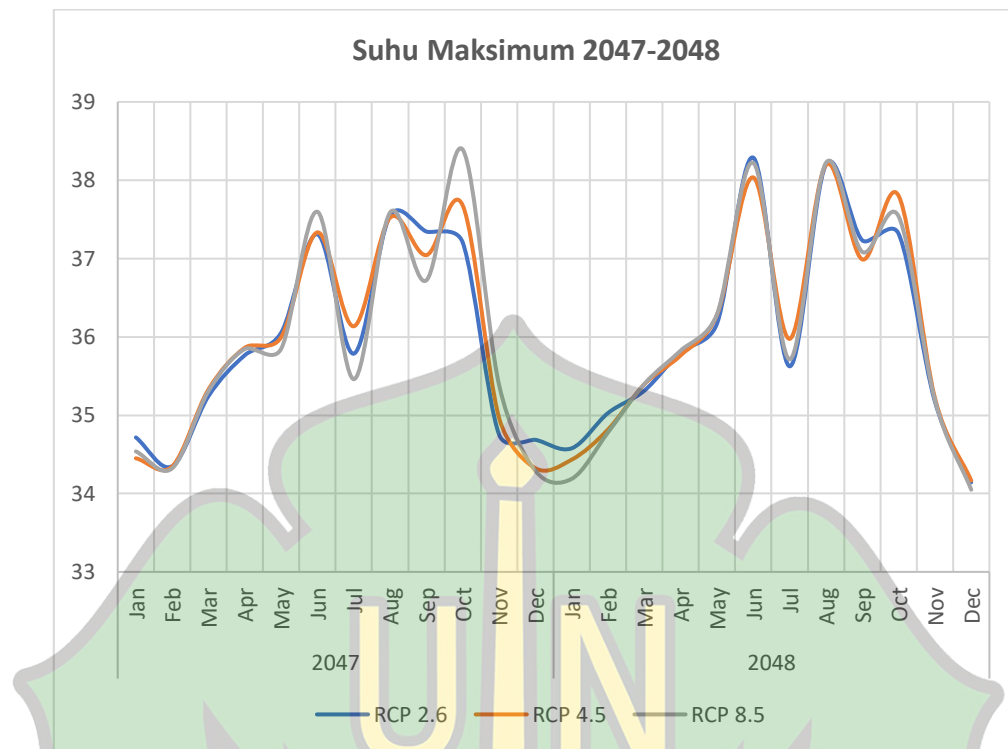
Gambar 4.6.(11) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2041-2042



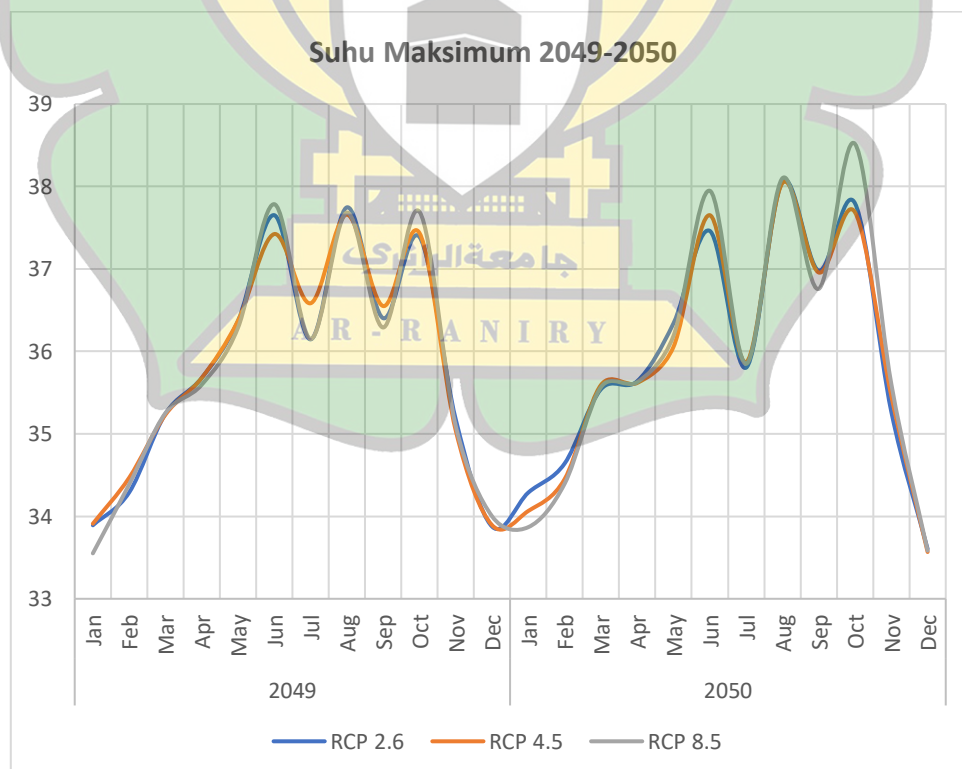
Gambar 4.6.(12) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2043-2044



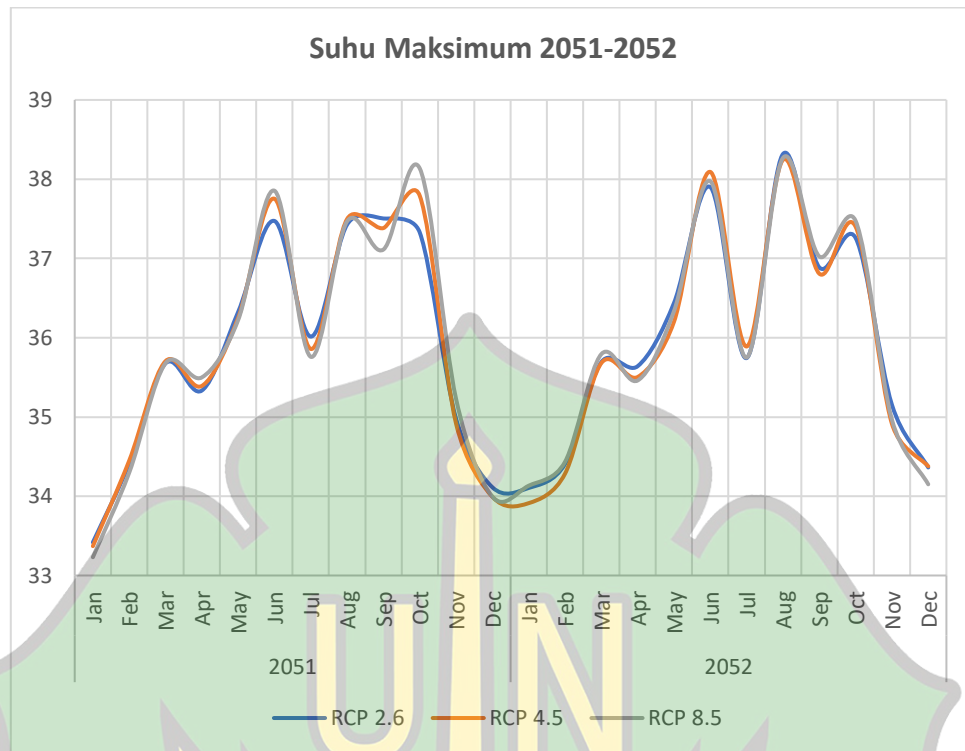
Gambar 4.6.(13) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2045-2046



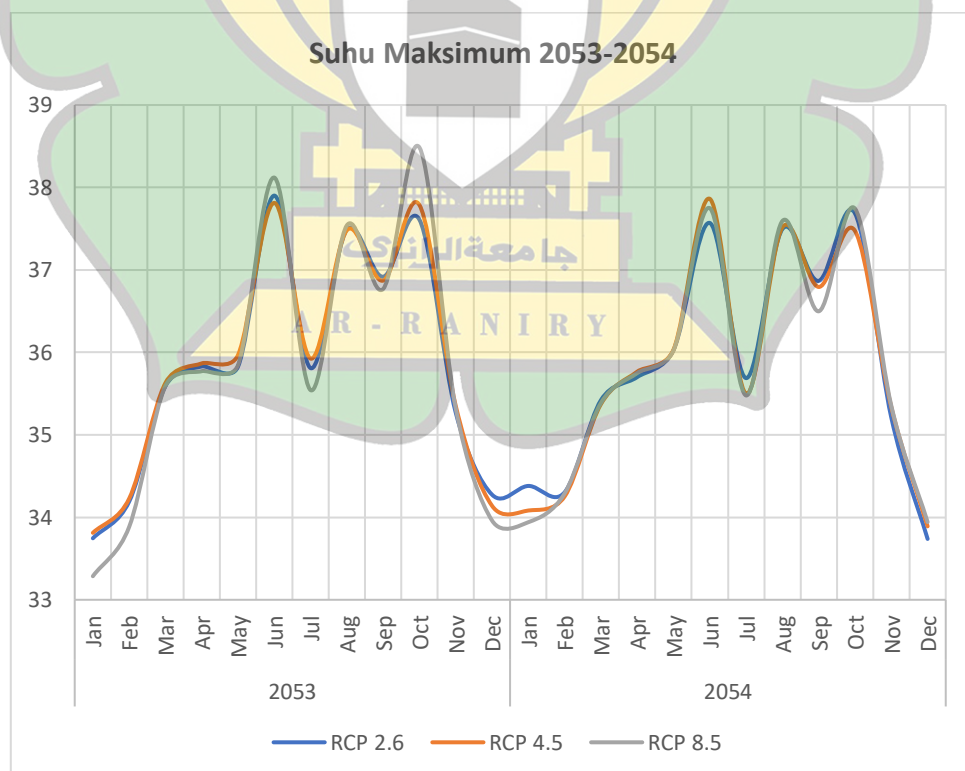
Gambar 4.6.(14) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2047-2048



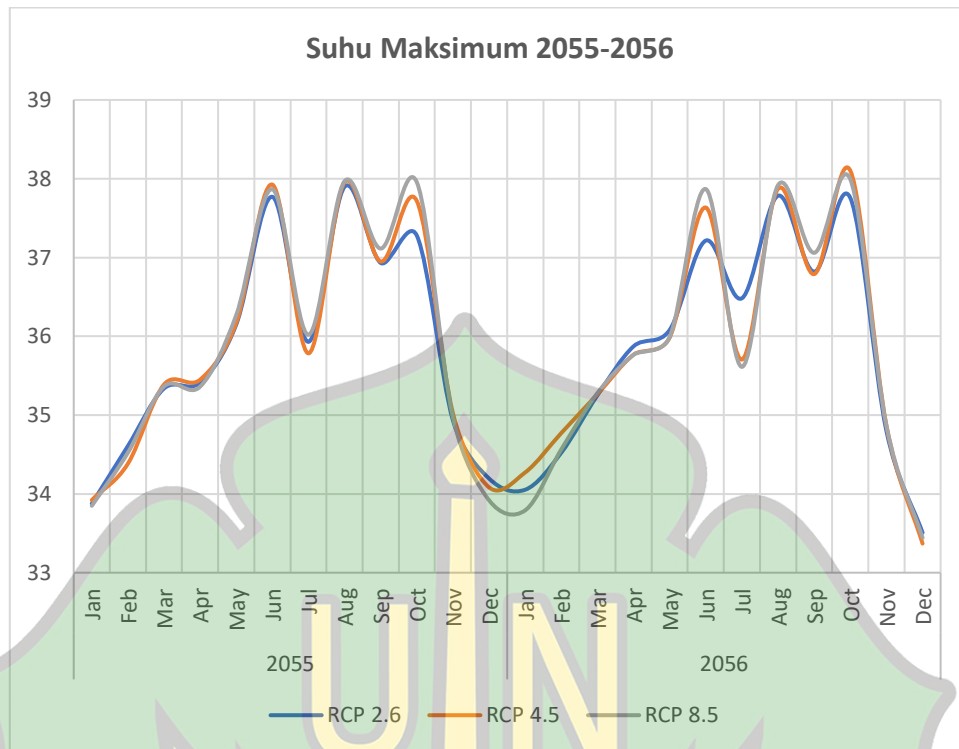
Gambar 4.6.(15) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2049-2050



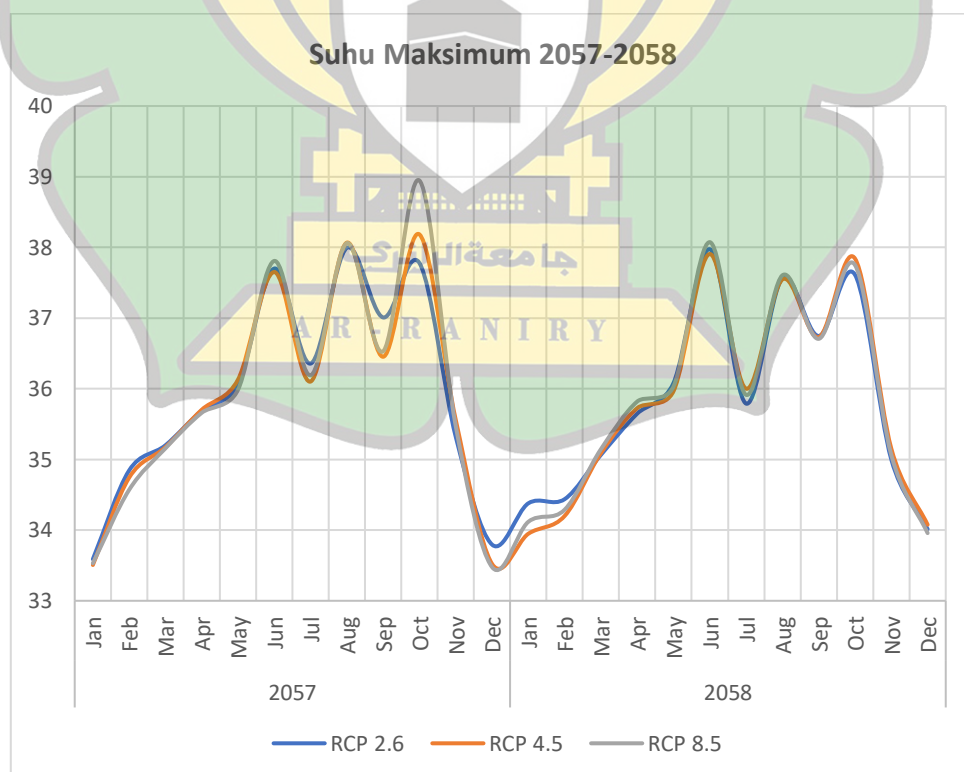
Gambar 4.6.(16) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2051-2052



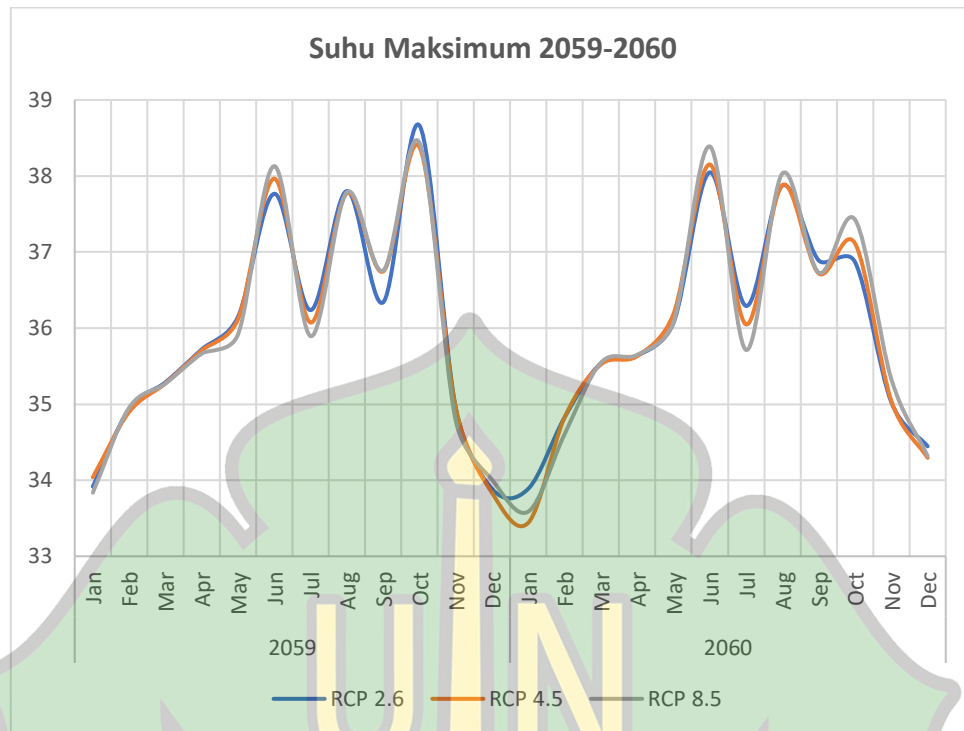
Gambar 4.6.(17) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2053-2054



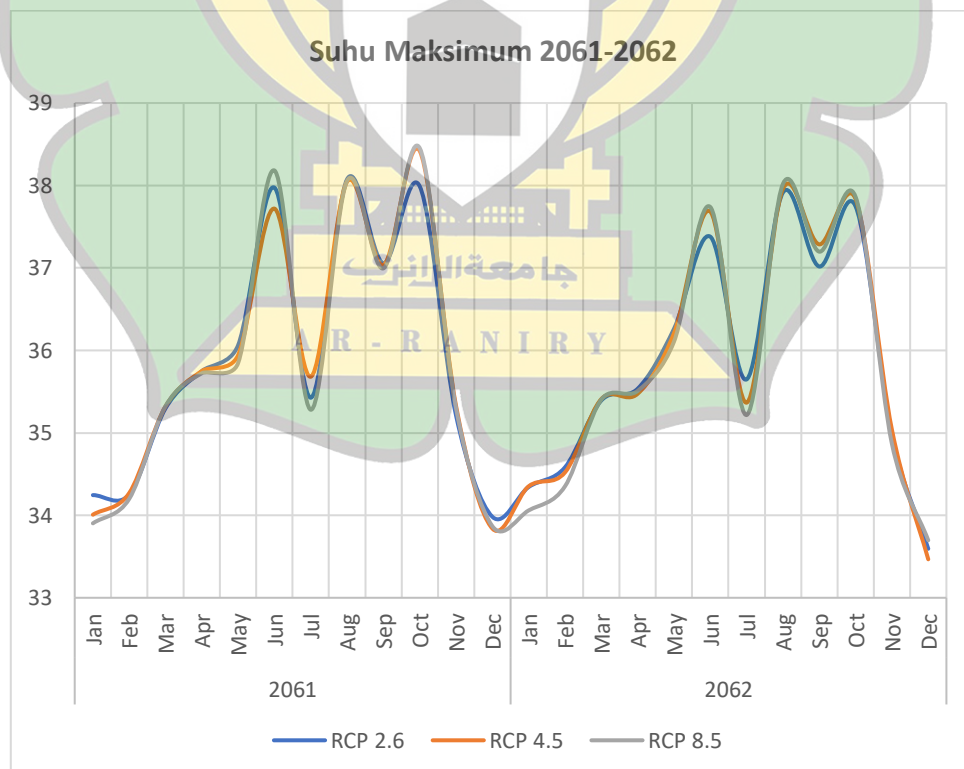
Gambar 4.6.(18) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2055-2056



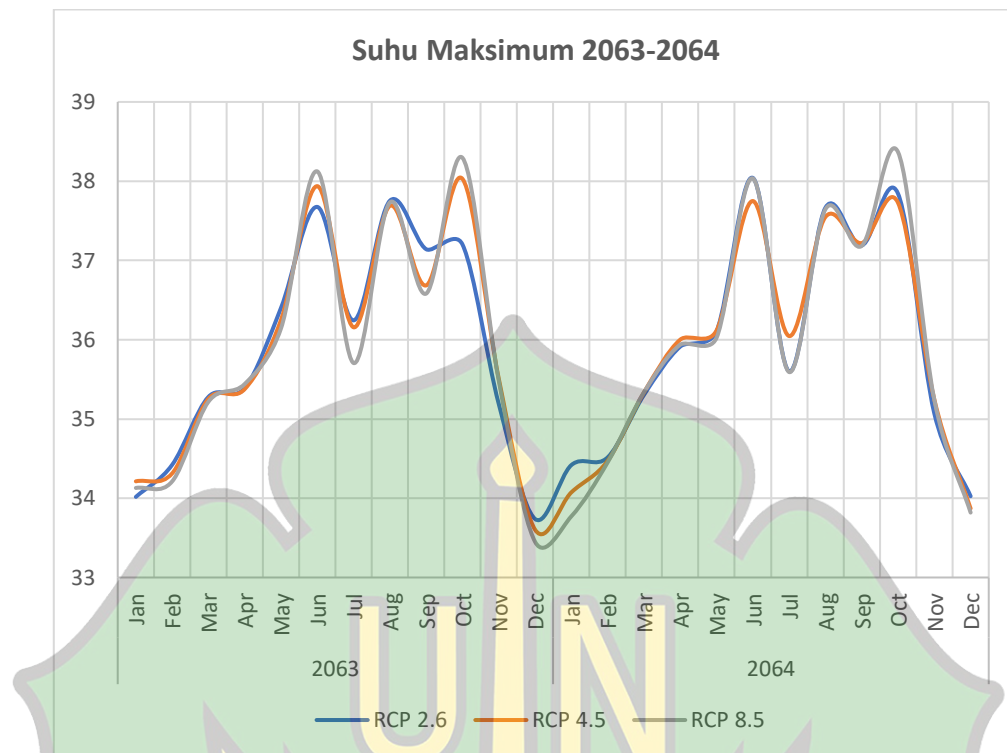
Gambar 4.6.(19) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2057-2058



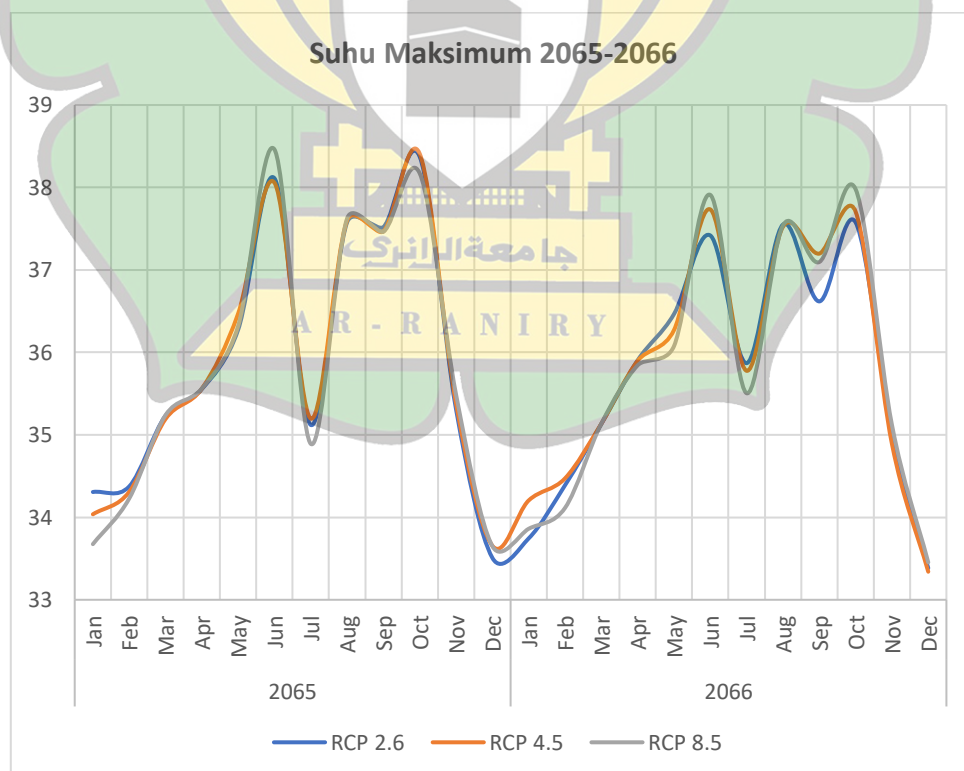
Gambar 4.6.(20) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2059-2060



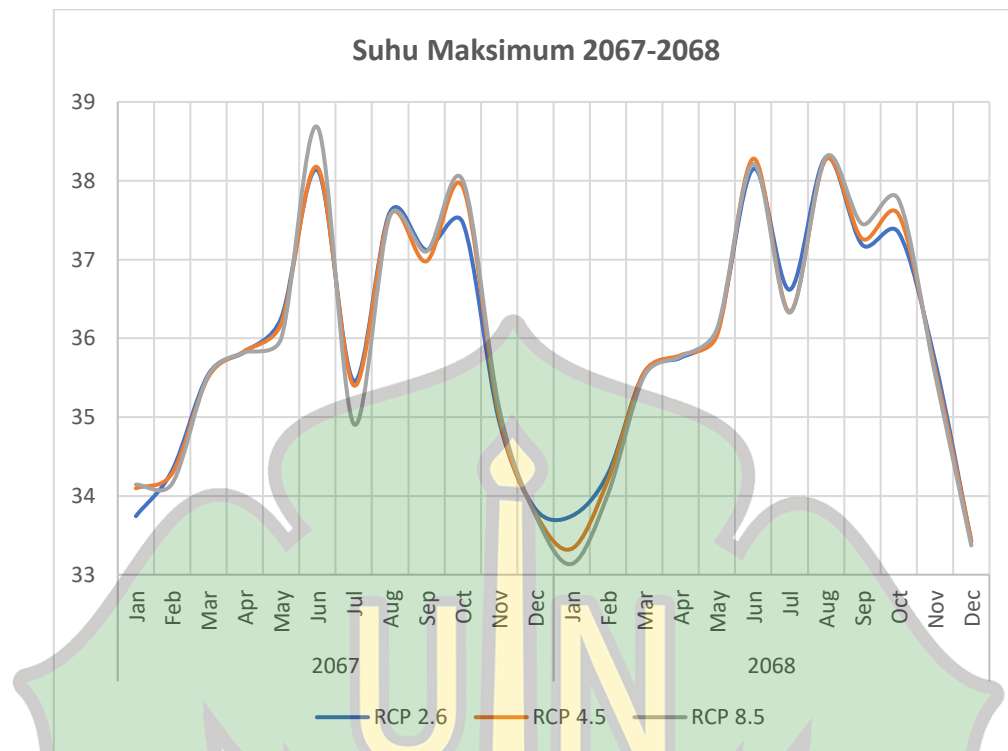
Gambar 4.6.(21) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2061-2062



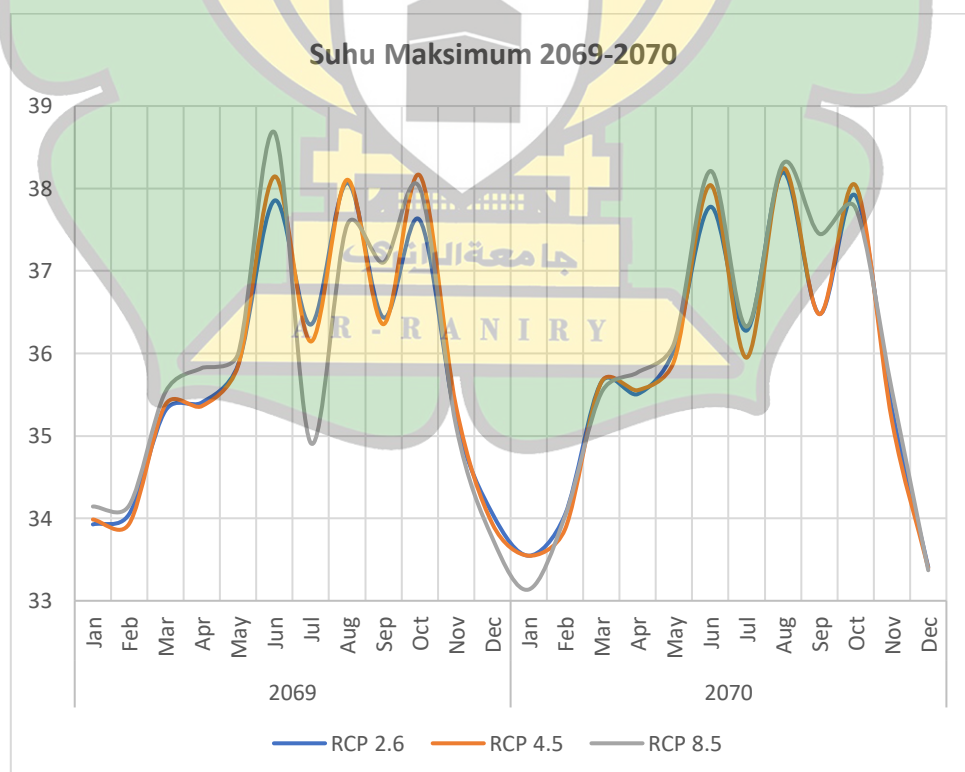
Gambar 4.6.(22) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2063-2064



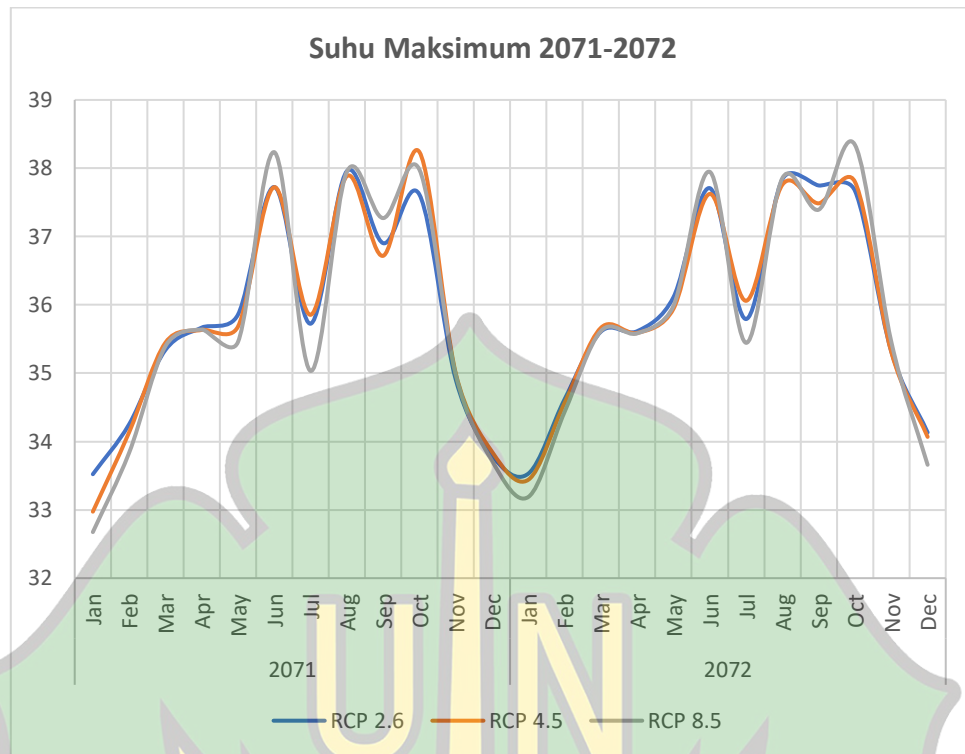
Gambar 4.6.(23) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2065-2066



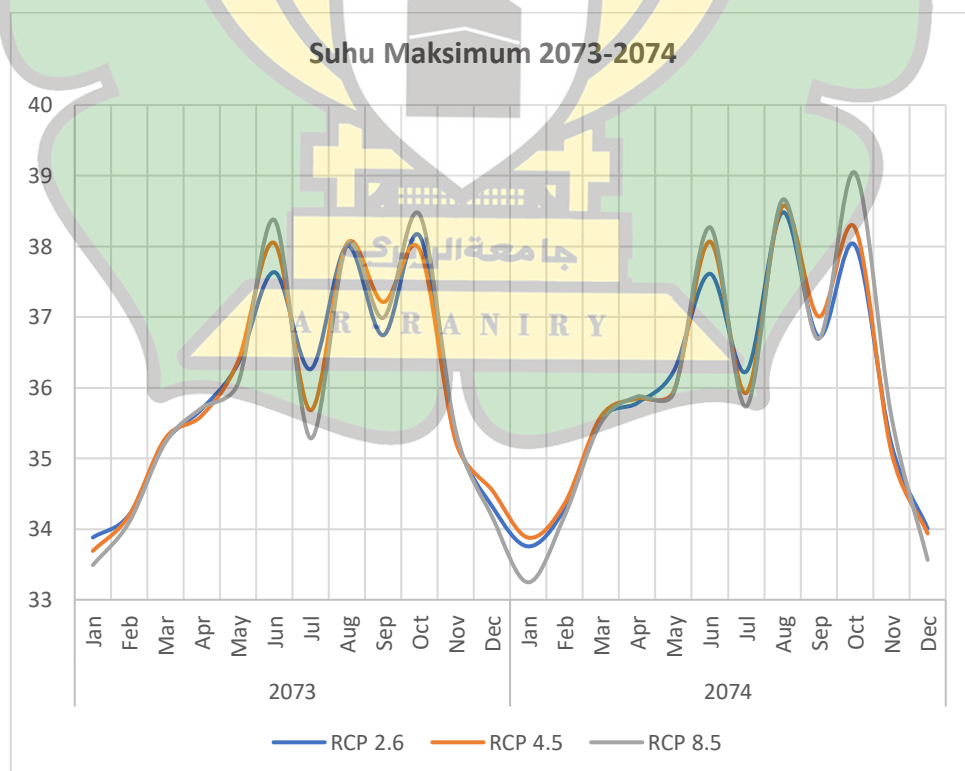
Gambar 4.6.(24) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2067-2068



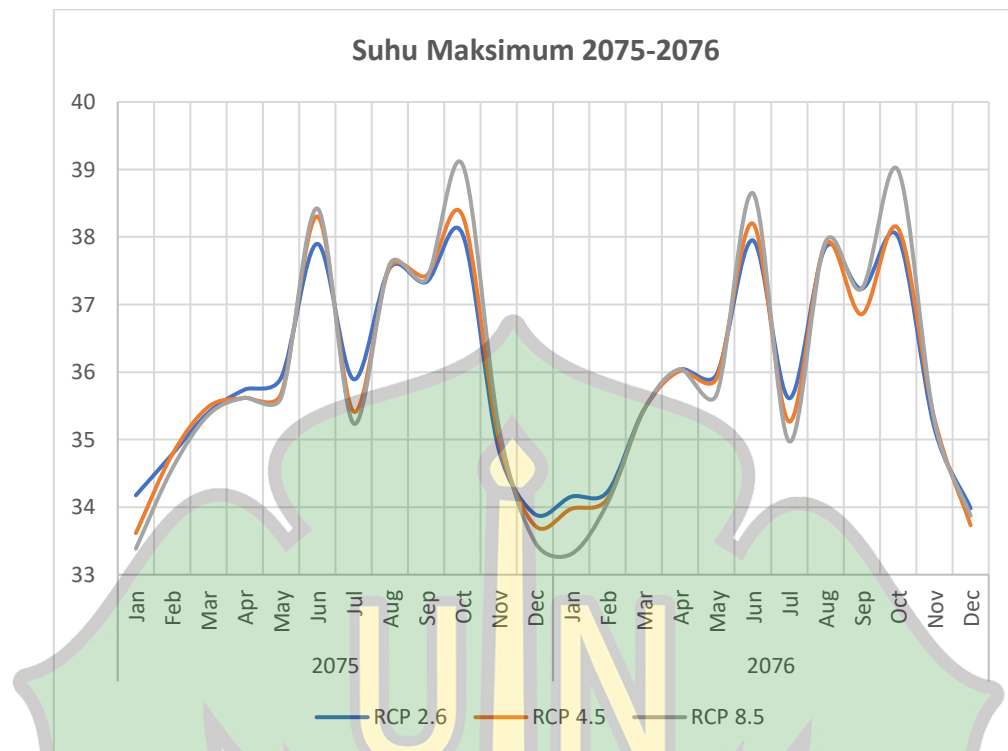
Gambar 4.6.(25) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2069-2070



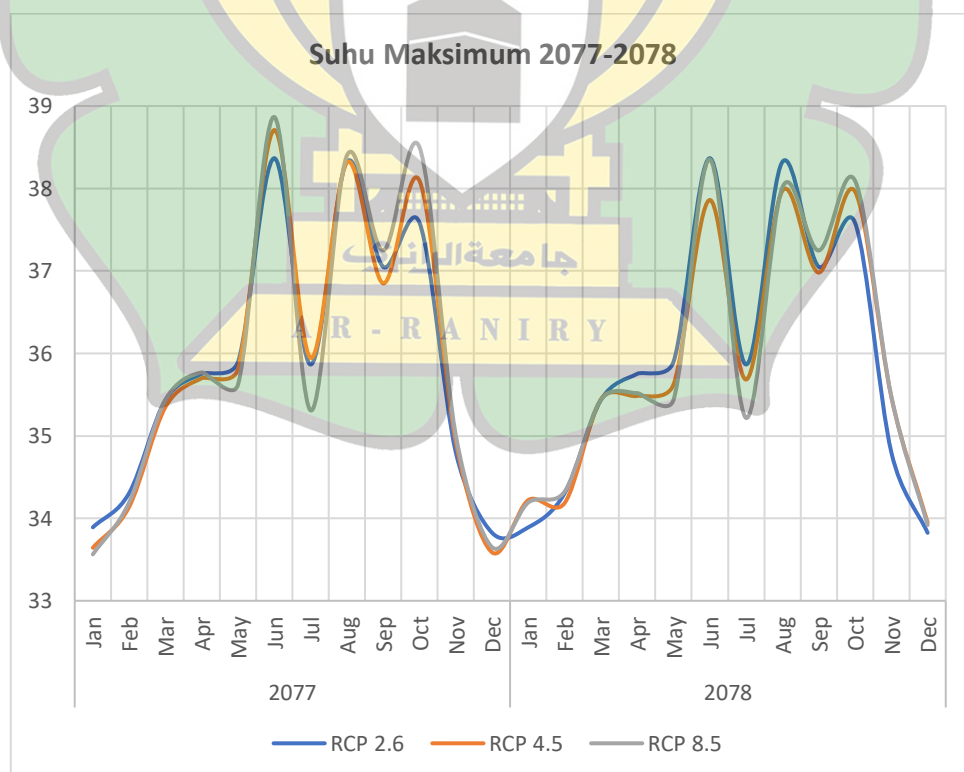
Gambar 4.6.(26) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2071-2072



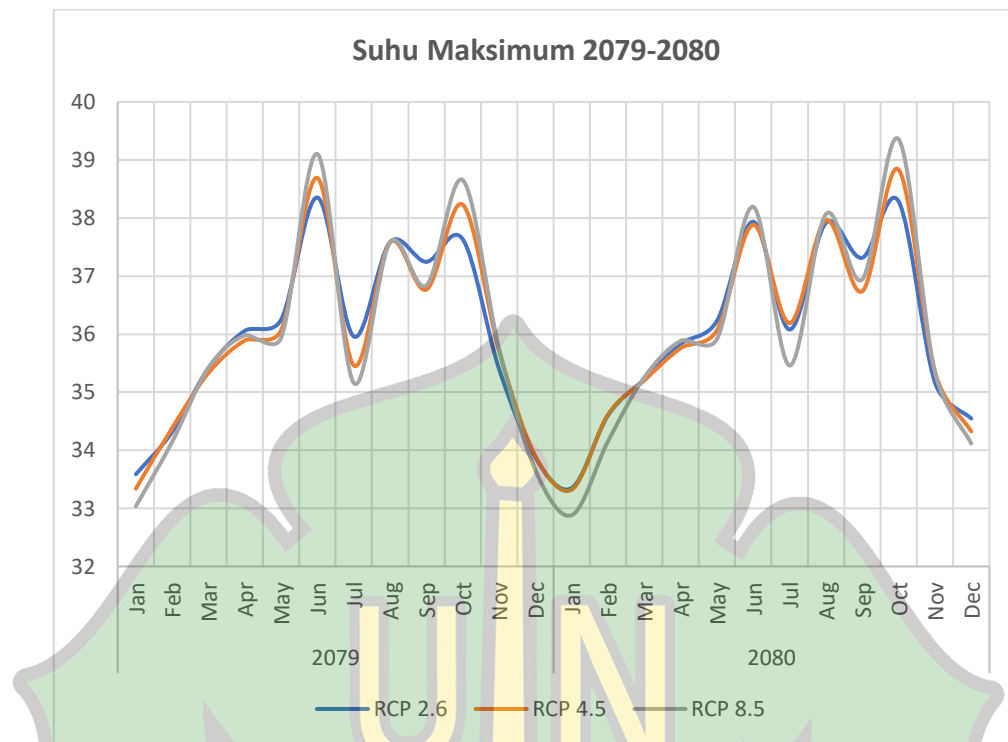
Gambar 4.6.(27) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2073-2074



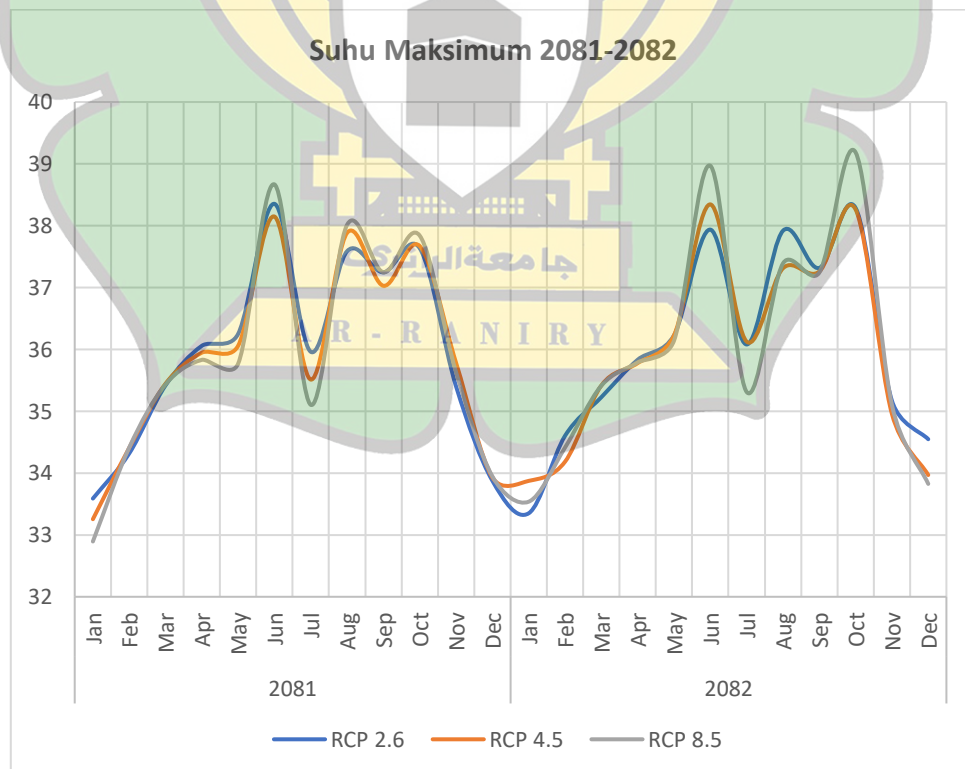
Gambar 4.6.(28) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2075-2076



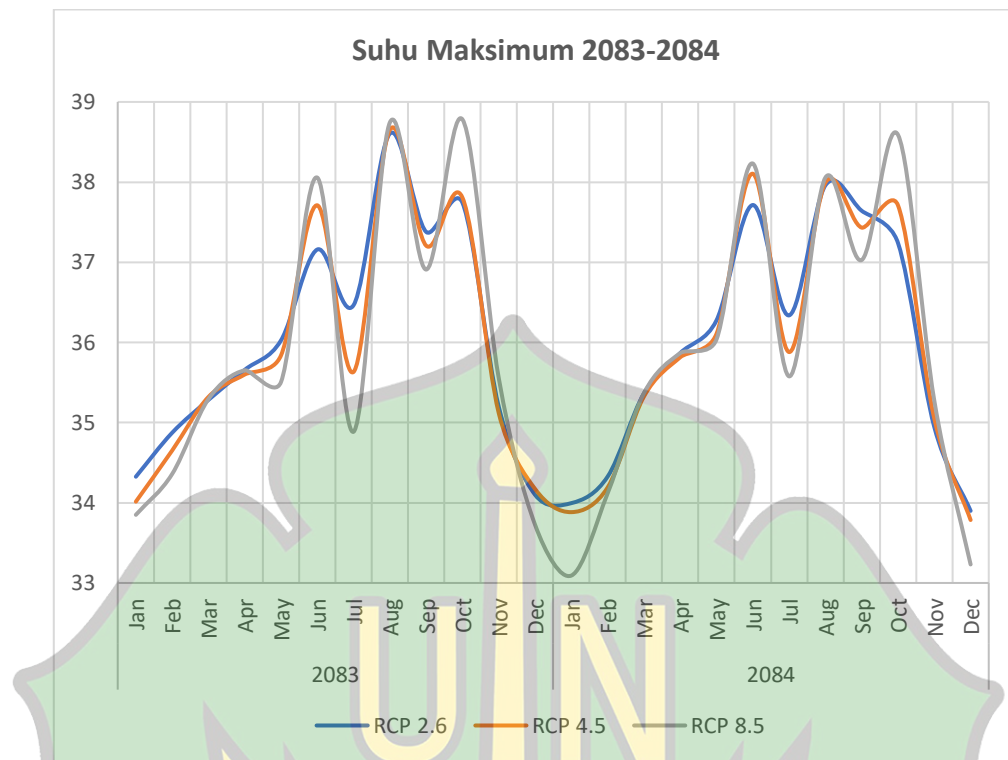
Gambar 4.6.(29) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2077-2078



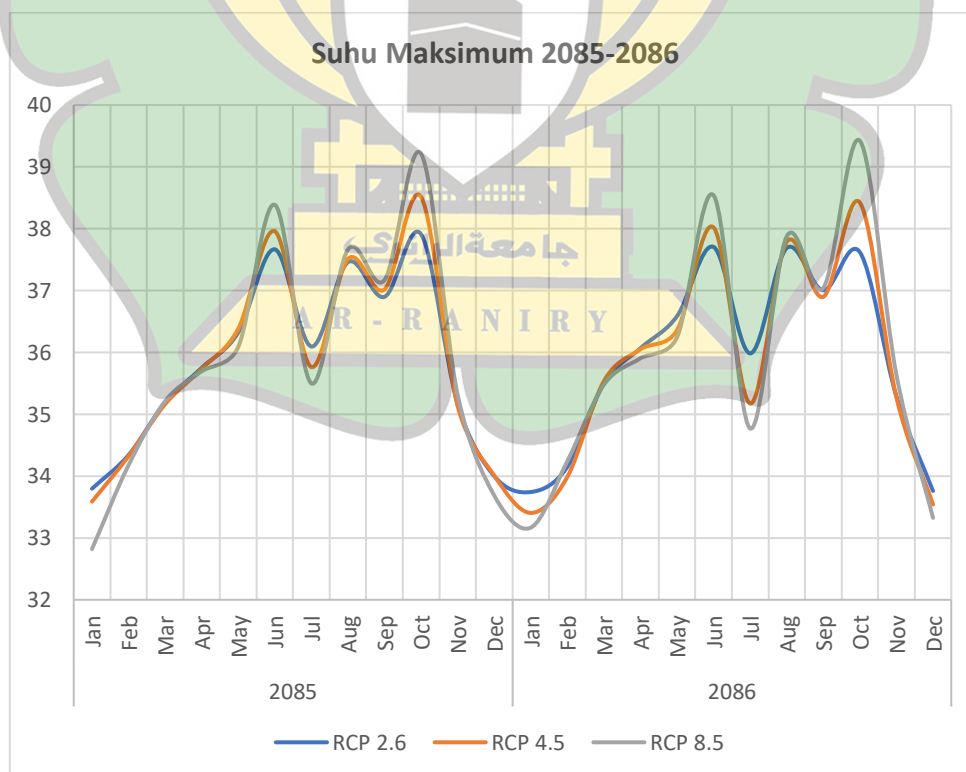
Gambar 4.6.(30) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2079-2080



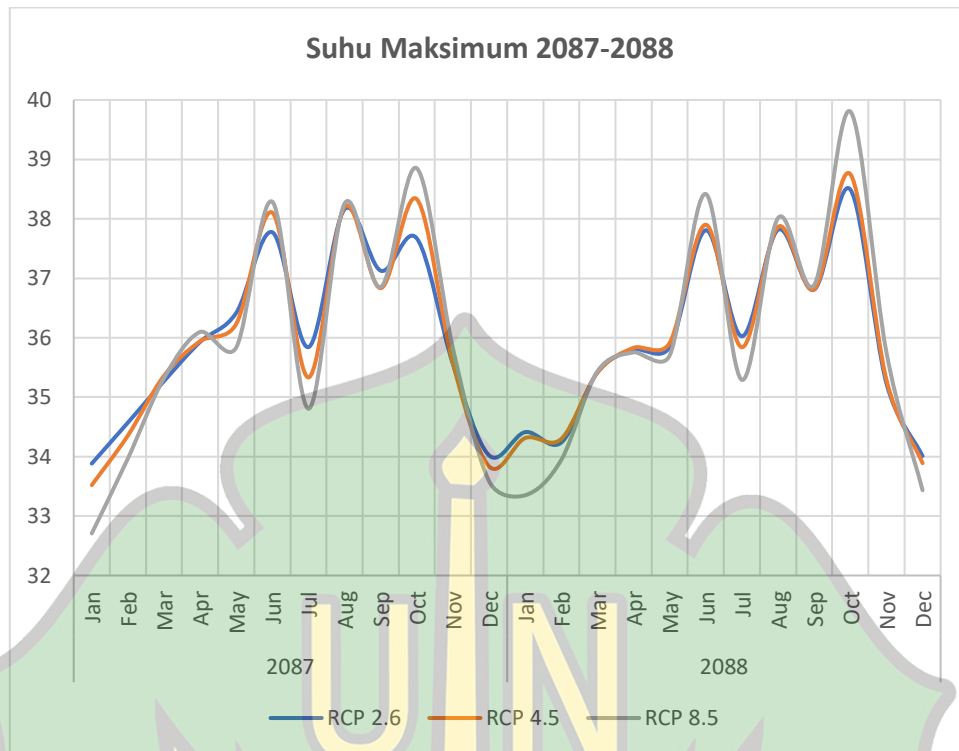
Gambar 4.6.(31) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2081-2082



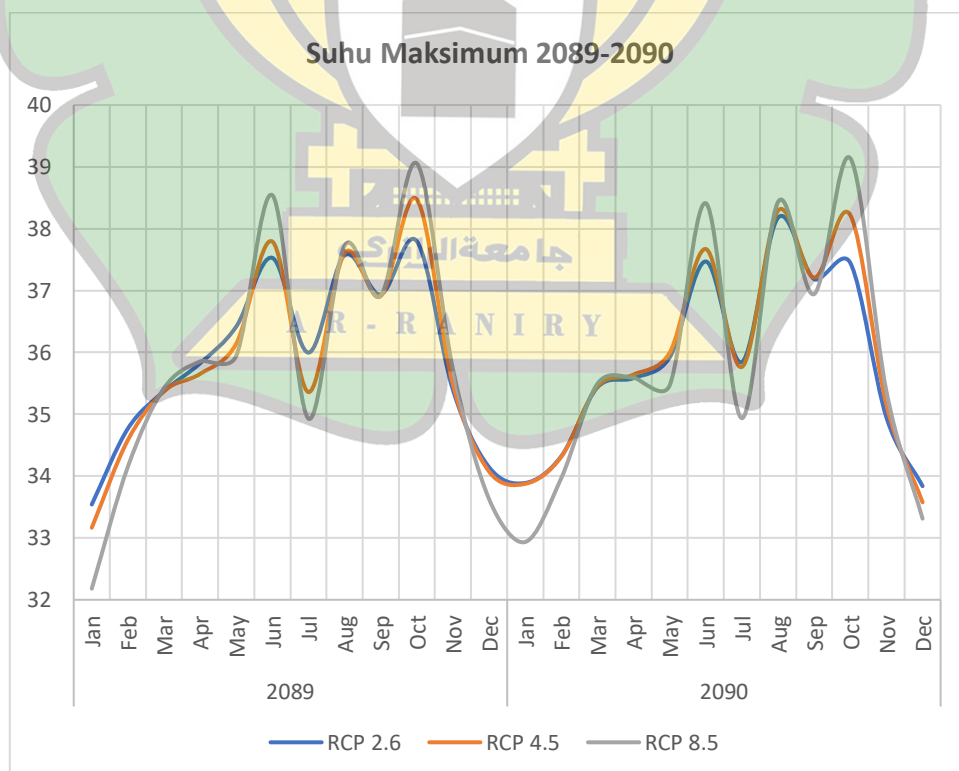
Gambar 4.6.(32) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2083-2084



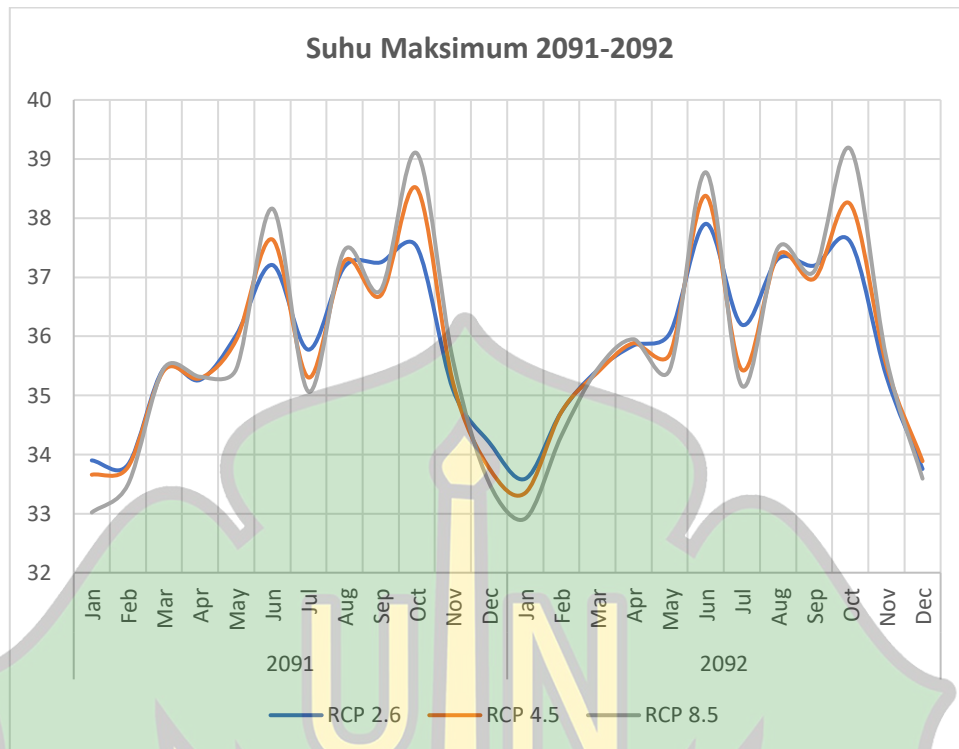
Gambar 4.6.(33) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2085-2086



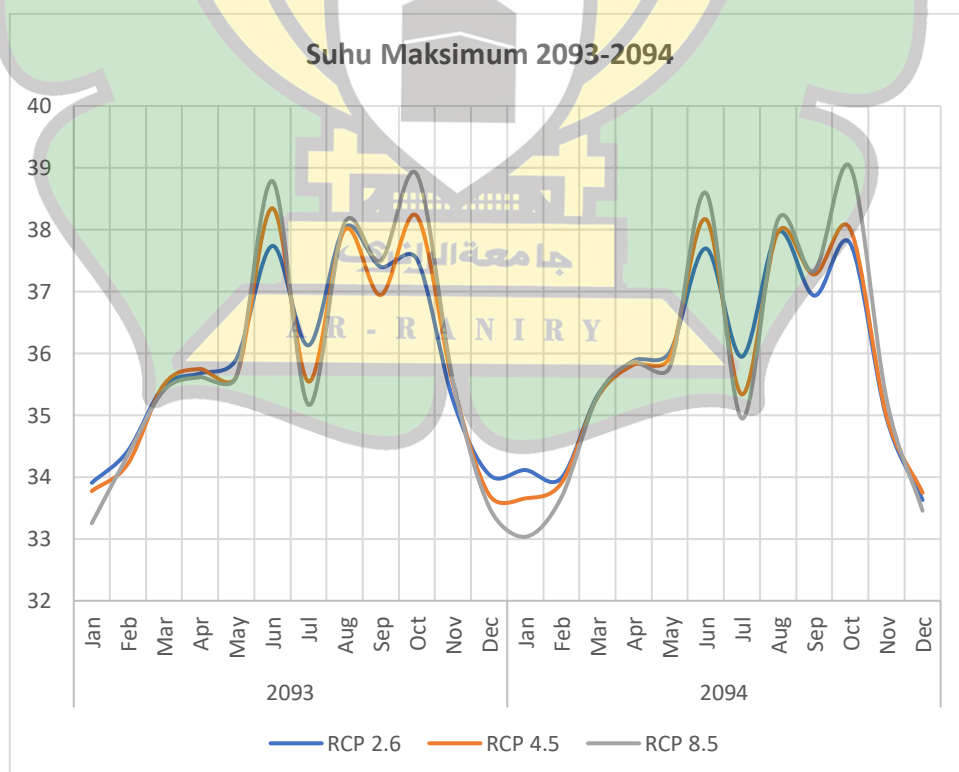
Gambar 4.6.(34) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2087-2088



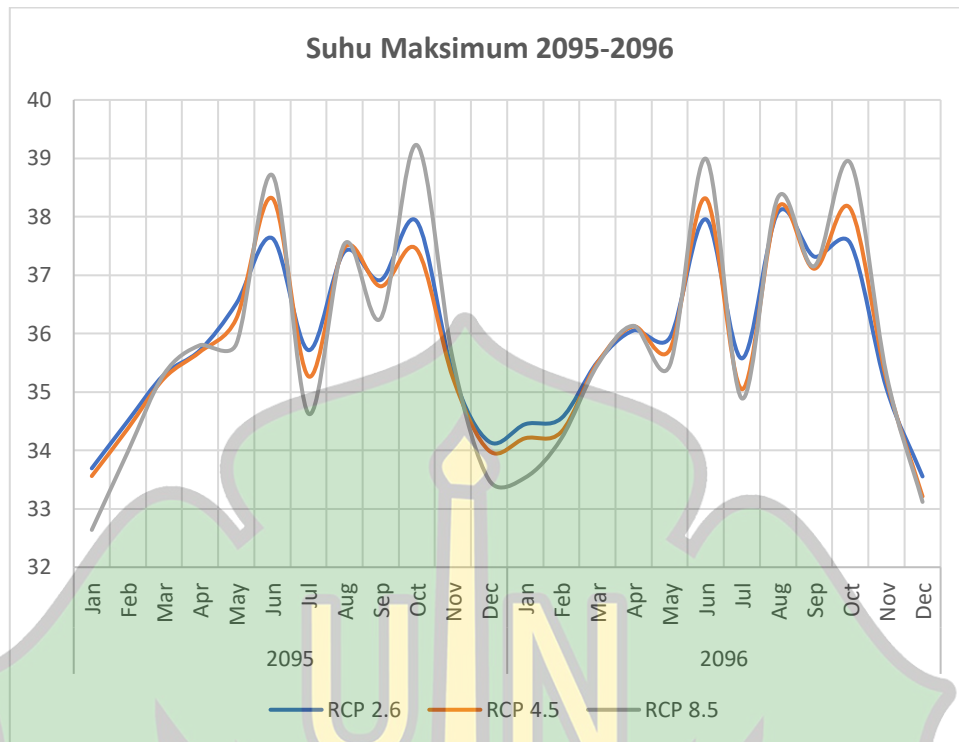
Gambar 4.6.(35) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2089-2090



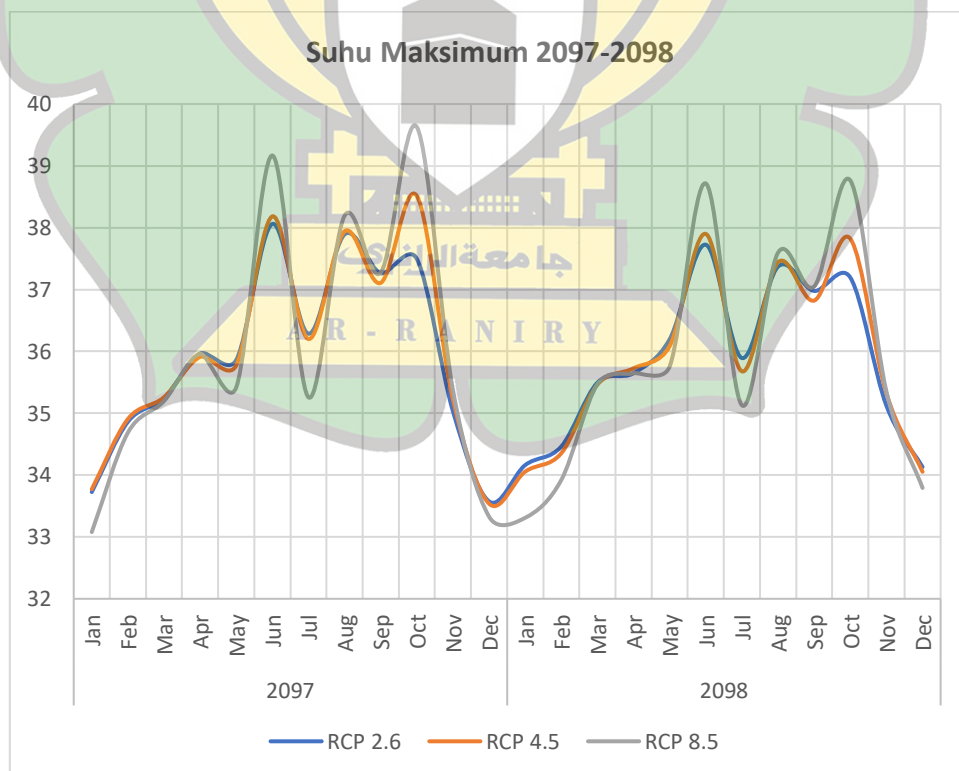
Gambar 4.6.(36) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2091-2092



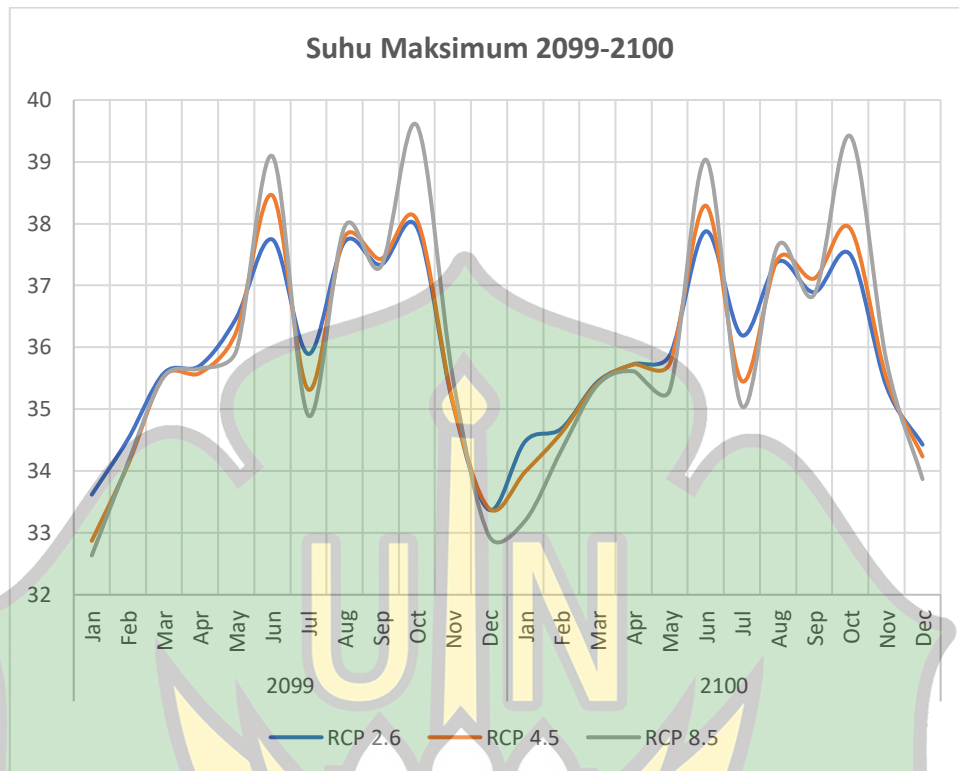
Gambar 4.6.(37) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2093-2094



Gambar 4.6.(38) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2095-2096



Gambar 4.6.(39) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2097-2098



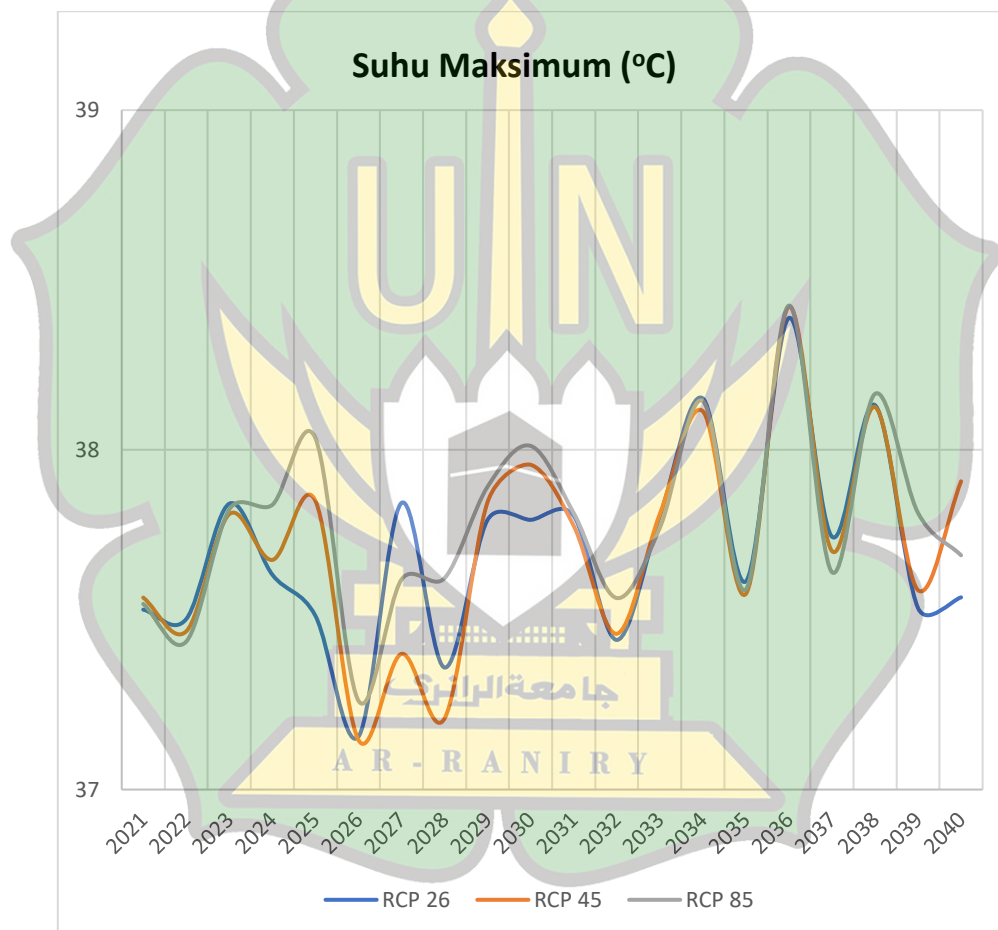
Gambar 4.6.(40) Suhu Maksimum Bulanan DAS Krueng Aceh 2099-2100

Berdasarkan grafik-grafik diatas perubahan suhu maksimum bulanan untuk skenario RCP 2.6, RCP 4.5, dan RCP 8.5, suhu maksimum bulanan mengalami peningkatan di bulan Juni sampai November. Sedangkan pada bulan Desember sampai mei suhu maksimum mengalami penurunan. Suhu maksimum menurut RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5, untuk suhu maksimum tertinggi pada masing-masing RCP yaitu 38,66°C, 38,83°C dan 39,81°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,16°C, 37,15°C dan 37,26°C. Untuk suhu maksimum rata-rata yaitu 37,94°C, 38,07°C dan 38,40°C. Standar Deviasi yang diperoleh dari suhu maksimum per masing-masing RCP periode 2021-2100 yaitu 0,31, 0,36 dan 0,60. Naik dan turunnya proyeksi suhu tergantung dari nilai *Radiative Forcing* yang dipicu oleh parameter iklim seperti konsentrasi CO₂ atau radiasi matahari sesuai yang dinyatakan Agard (2014) serta skenario RCP yang digunakan sesuai (Pachauri dkk. 2014).

4.5 Prediksi Suhu Tahunan Untuk Periode 2021-2100

Prediksi suhu maksimum periode 2021-2100 menggunakan piranti lunak SDSM, variabel yang digunakan berdasarkan pada skenario CanESM2. Dalam penelitian ini membagikan kedalam 4 periode untuk memprediksi suhu yaitu periode 2021-2040, periode 2041-2060, periode 2061-2080, dan periode 2081-2100.

1. Periode 2021-2040

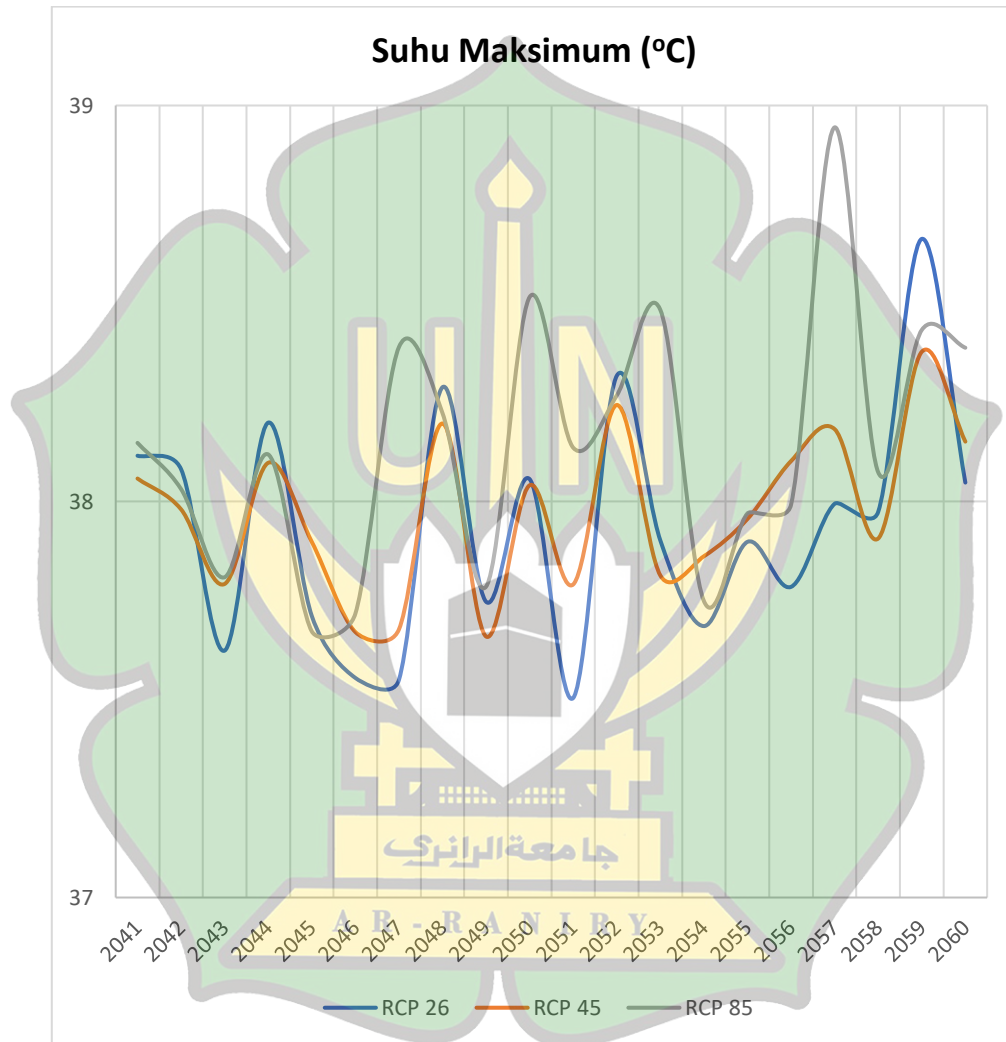


Gambar 4.7 Grafik Suhu Maksimum Periode 2021-2040

Berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.7 menurut RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 suhu maksimum tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2021-2040 untuk skenario RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 yaitu 38,39°C, 38,42°C dan 38,42°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,16°C, 37,15°C dan 37,16°C. Untuk

suhu maksimum rata-rata yaitu $37,71^{\circ}\text{C}$, $37,72^{\circ}\text{C}$ dan $37,78^{\circ}\text{C}$. Standar Deviasi yang didapatkan dari hasil grafik tersebut menurut masing-masing RCP yaitu 0,29, 0,31 dan 0,28.

2. Periode 2041-2060

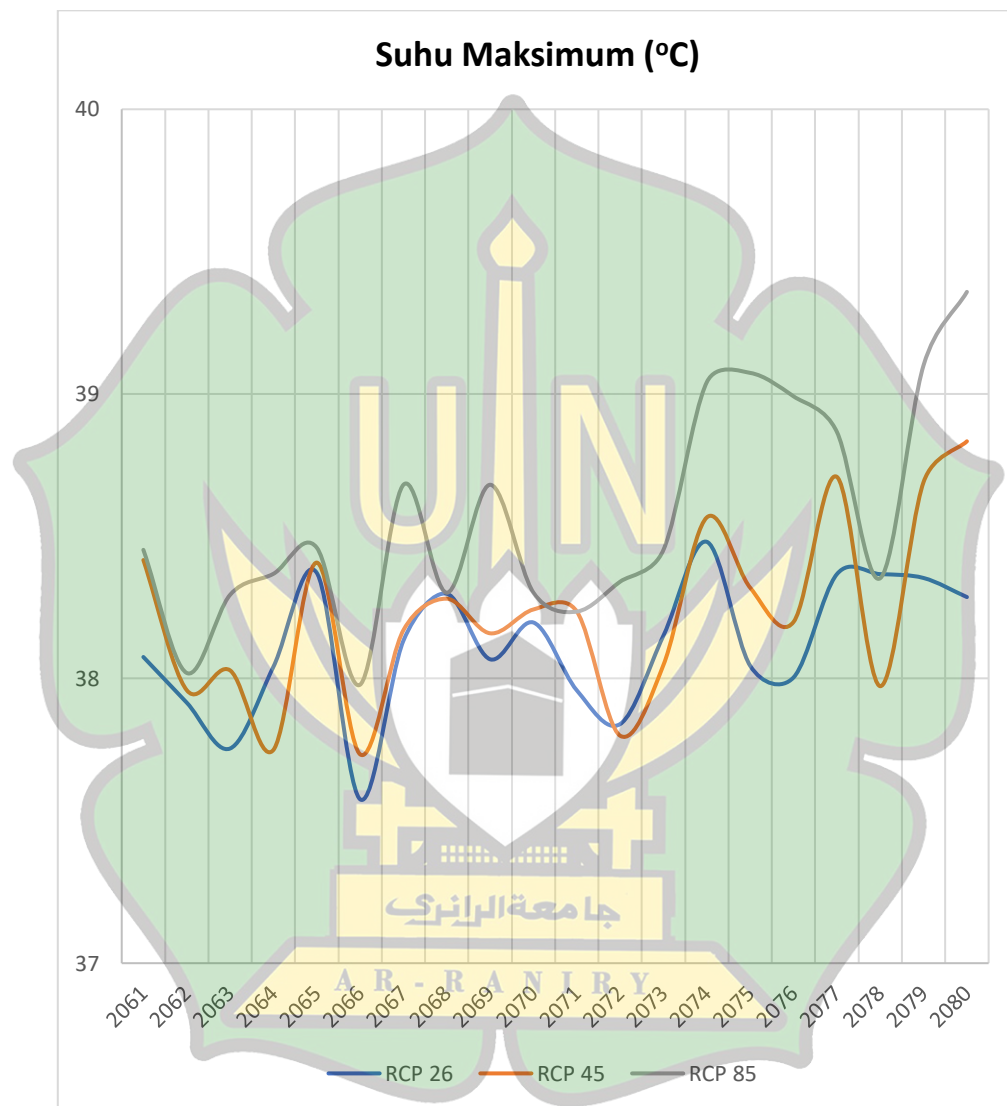


Gambar 4.8 Grafik Suhu Maksimum Periode 2041-2060

Berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.8 menurut RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 suhu maksimum tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2041-2060 untuk skenario RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 yaitu $38,66^{\circ}\text{C}$, $38,38^{\circ}\text{C}$ dan $38,94^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu $37,50^{\circ}\text{C}$, $37,66^{\circ}\text{C}$ dan $37,67^{\circ}\text{C}$. Untuk suhu maksimum rata-rata yaitu $37,93^{\circ}\text{C}$, $37,97^{\circ}\text{C}$ dan $38,14^{\circ}\text{C}$. Standar Deviasi

yang didapatkan dari hasil grafik tersebut menurut masing-masing RCP yaitu 0,30, 0,21 dan 0,32.

3. Periode 2061-2080

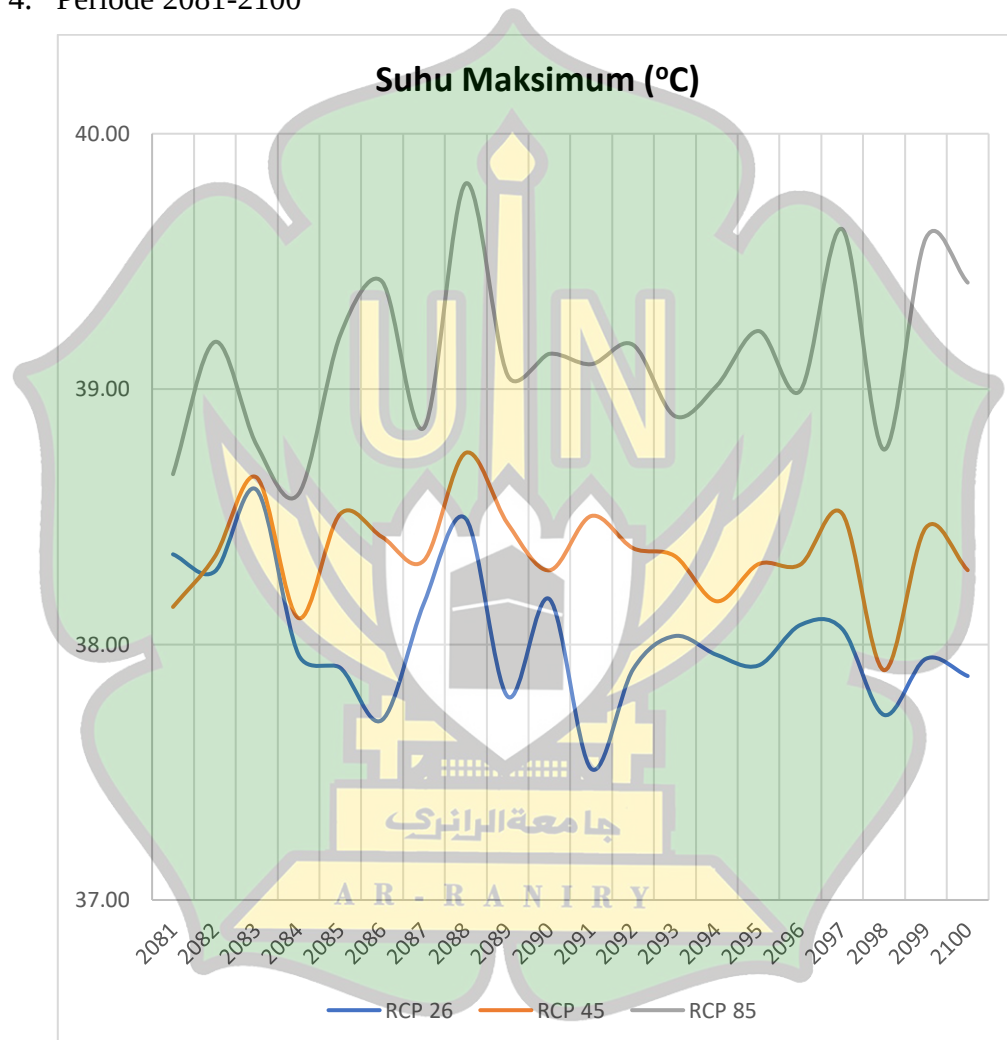


Gambar 4.9 Grafik Suhu Maksimum Periode 2061-2080

Berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.9 menurut RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 suhu maksimum tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2061-2080 untuk skenario RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 yaitu 38,48°C, 38,83°C dan 39,36°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,58°C, 37,73°C dan 37,98°C. Untuk

suhu maksimum rata-rata yaitu 38,11°C, 38,23°C dan 38,57°C. Standard Deviasi yang didapatkan dari hasil grafik tersebut menurut masing-masing RCP yaitu 0,23, 0,31 dan 0,39.

4. Periode 2081-2100

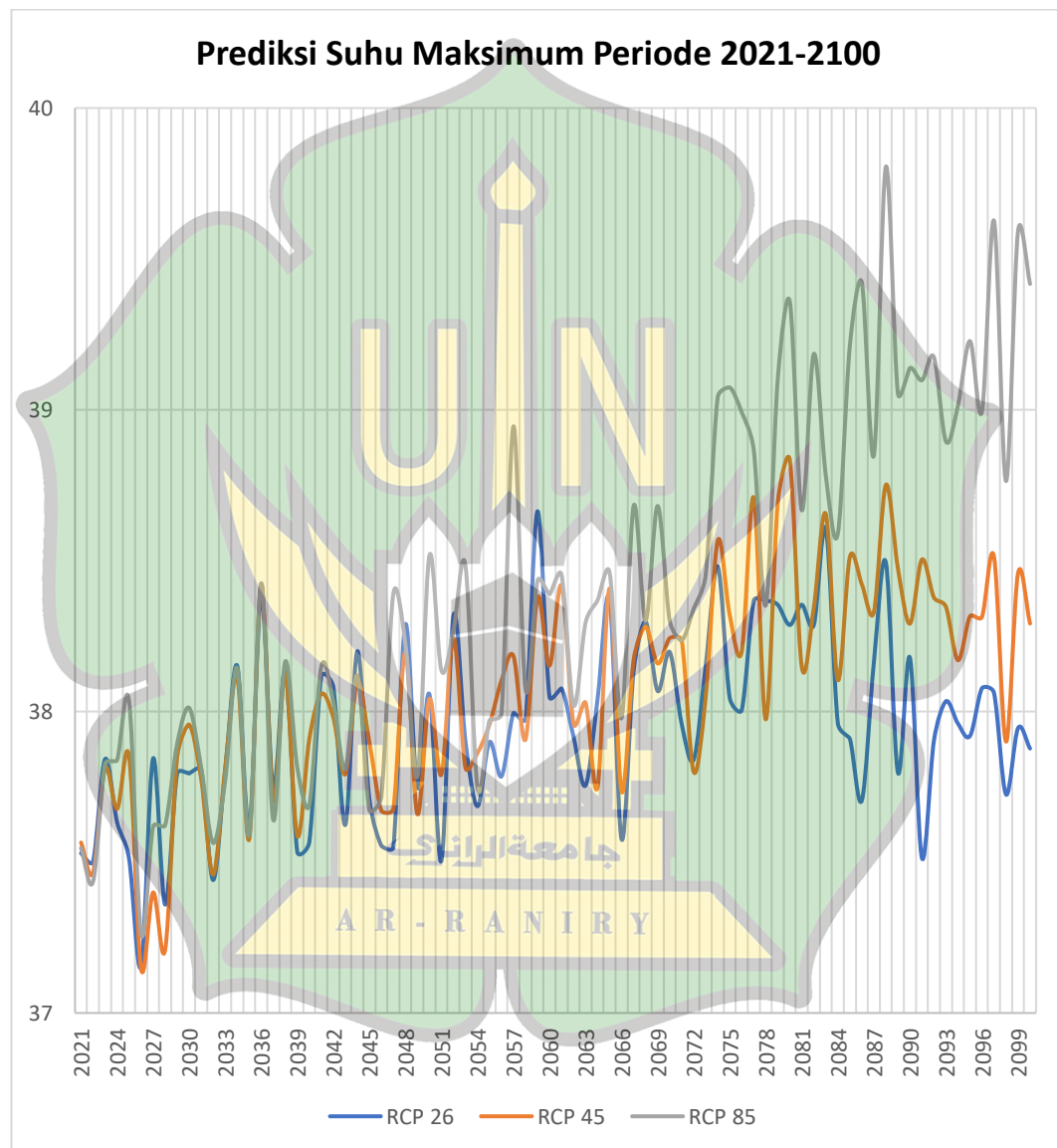


Gambar 4.10 Grafik Suhu Maksimum Periode 2081-2100

Berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.10 menurut RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 suhu maksimum tertinggi di DAS Krueng Aceh periode 2081-2100 untuk skenario RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5 yaitu 38,61°C, 38,75°C dan 39,81°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,51°C, 37,90°C dan 38,59°C. Untuk

suhu maksimum rata-rata yaitu 38,02°C, 38,36°C dan 39,12°C. Standar Deviasi yang didapatkan dari hasil grafik tersebut menurut masing-masing RCP yaitu 0,27, 0,19 dan 0,33.

5. Periode 2021-2100



Gambar 4.11 Grafik Suhu Maksimum Periode 2021-2100

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa suhu maximum di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 mengalami kenaikan suhu dan juga penurunan. Suhu maksimum menurut RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP

8.5, untuk suhu maksimum tertinggi pada masing-masing RCP yaitu 38,66°C, 38,83°C dan 39,81°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,16°C, 37,15°C dan 37,26°C. Untuk suhu maksimum rata-rata yaitu 37,94°C, 38,07°C dan 38,40°C. Standar Deviasi yang diperoleh dari suhu maksimum per masing-masing RCP periode 2021-2100 yaitu 0,31, 0,36 dan 0,60.

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Shukla (2015) untuk menurunkan skala skenario emisi masa depan menggunakan model HadCM3 A2 dengan piranti lunak SDSM. Hasil dari penelitiannya yaitu suhu minimum dan maksimum untuk periode mendatang suhu rata-rata diproyeksikan meningkat hingga 1,5°C–2,5°C di area Komando Kanal India Sagar.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa hasil simulasi skenario suhu maksimum di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 menggunakan *statistical downscaling model* (SDSM) menurut skenario RCP 2.6, RCP 4.5 dan RCP 8.5. Untuk suhu maksimum tertinggi yaitu 38,66°C, 38,83°C dan 39,81°C. Sedangkan suhu maksimum terendah yaitu 37,16°C, 37,15°C dan 37,26°C. Untuk suhu maksimum rata-rata yaitu 37,94°C, 38,07°C dan 38,40°C. Standar deviasi untuk suhu maksimum periode 2021-2100 berdasarkan masing-masing RCP adalah 0,31, 0,36 dan 0,60. Penggunaan *statistical downscaling model* (SDSM) dapat membantu dalam memprediksi suhu di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh periode 2021-2100 secara cepat dan efisien. Nilai kalibrasi sebesar 0,304 masih tergolong lemah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Perkiraan suhu di masa mendatang meningkat. Oleh karena itu, diperlukannya langkah untuk mengatasi agar suhu di masa mendatang tidak terlampau tinggi. Adapun langkah yang dapat dilakukan adalah mengurangi polusi pencemar udara, meminimalkan penggunaan peralatan yang mengandung CFC, melakukan penghijauan (reboisasi), tidak menebang pohon sembarangan, dan lain sebagainya.
2. Nilai R^2 diperoleh masih tergolong lemah untuk prediksi suhu di masa mendatang, maka dari itu perlu dilakukannya penelitian lanjutan agar mendapatkan nilai R^2 yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurrohmah, S., dan Sudarti, S. (2022). Analisis Perubahan Iklim dan Global Warming yang Terjadi sebagai Fase Kritis. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika ...*, 3(3), 1–10.
- Aryani, N., Ariyanti, D. O., dan Ramadhan, M. (2020). Pengaturan Ideal tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di Indonesia (Studi di Sungai Serang Kabupaten Kulon Progo). *Jurnal Hukum Ius Quia Iustum*, 27(3), 592–614.
- Bokings, S. F. (2020). Analisis Neraca Air. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 4(1), 28–37.
- Butar-butar, V. P., Soleh, A. M., dan 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.
- Eraku, S. S., dan Permana, A. P. (2020). Analisis Kemampuan Dan Kesesuaian Lahan Di Daerah Aliran Sungai Alo, Provinsi Gorontalo. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1), 86–99.
- Fan, X., Jiang, L., dan Gou, J. (2021). Statistical downscaling and projection of future temperatures across the Loess Plateau, China. *Weather and Climate Extremes*, 32, 100328.
- Fibriana, R., Ginting, Y. S., Ferdiansyah, E., dan Mubarak, S. (2018). Analisis Besar atau Laju Evapotranspirasi pada Daerah Terbuka. 2(2), 130–137.
- Herlina, N., Fajriani, S., dan Rahman, F. A. (2019). Evaluasi Perubahan Iklim dan Pengaruhnya terhadap Pola Tanam, Waktu Tanam serta Produktivitas Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Di Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 7(2), 106–120.
- Isdianto, A., dan Luthfi, O. M. (2020). Persepsi Dan Pola Adaptasi Masyarakat Teluk Popoh Terhadap Perubahan Iklim. *Jurnal Ilmu Kelautan Spermonde*, 5(2), 77–82.
- Legionosuko, T., Madjid, M. A., Asmoro, N., dan Samudro, E. G. (2019). Posisi dan Strategi Indonesia dalam Menghadapi Perubahan Iklim guna Mendukung Ketahanan Nasional. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 25(3), 295.

- Mohammad, I., Sangkertadi, S., dan Wuisang, C. (2019). *Analisis kenaikan suhu lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas kendaraan bermotor di kawasan perdagangan dan jasa kota manado. February.*
- Nadia, F., Fauzi, M., dan Sandhyavitri, A. (2016). Analisis Karakteristik Das Di Kota Pekanbaru Berbasis Sistem Informasi Geografis Untuk Menganalisis Hidrograf Satuan Sintetik. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–11.
- Notodiputro, K. A., Wigena, A. H., dan Fitriadi. (2005). Pendekatan Regresi Komponen Utama Dan Arima Untuk Statistical Downscaling. *J. Sains Tek.*, 11(3), 137–142.
- Paski, J. A. I., S L Faski, G. I., Handoyo, M. F., dan Sekar Pertiwi, D. A. (2018). Analisis Neraca Air Lahan untuk Tanaman Padi dan Jagung Di Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2), 83.
- Perdana, D. A., Zakaria, A., dan Sumiharn. (2015). Studi Pemodelan Sintetik Curah Hujan Harian Pada Beberapa Stasiun Hujan di Kabupaten Pringsewu. *Jrsdd*, 3(1), 45–56.
- Pratama, R. (2019). Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Buletin Utama Teknik*, 14(2), 120–126.
- Pratama, R., dan Parinduri, L. (2019). Penanggulangan Pemanasan Global. *Buletin Utama Teknik*, 15(1), 1410–4520.
- Rachmawati, R. N., Sungkawa, I., dan Rahayu, A. (2019). Extreme rainfall prediction using Bayesian quantile regression in statistical downscaling modeling. *Procedia Computer Science*, 157, 406–413.
- Rahim, R., Asniawaty, Martosenjoyo, T., Amin, S., dan Hiromi, R. (2016). Karakteristik Data Temperatur Udara dan Kenyamanan Termal di Makassar. *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 1(1), 75–79.
- Sahriman, S., Kalondeng, A., dan Koerniawan, V. (2019). Pemodelan Statistical Downscaling Dengan Peubah Dummy Berdasarkan Teknik Cluster Hierarki Dan Non- Hierarki Untuk Pendugaan Curah Hujan. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, 3(3), 295–309.
- Santri, D., dan Hanike, Y. (2020). Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Kuantil Komponen Utama Fungsional untuk Prediksi Curah Hujan

- Ekstrim. *MAP Journal*, 2(1), 47–57.
- Sofyan, H., Thamrin, dan Mubarak. (2015). Model Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Terpadu (Sub DAS apung Kanan). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(1), 59–70.
- Soleh, A. M., Wigena, A. H., Djuraidah, A., dan Saefuddin, A. (2015). Pemodelan Statistical Downscaling Untuk Menduga Curah Hujan Bulanan Menggunakan Model Linier Terampat Sebaran Gamma. *Informatika Pertanian*, 24(2), 215–222.
- Sutikno, S., Setiawan, S., dan Purnomoadi, H. (2010). Statistical Downscaling Output GCM Modeling with Continuum Regression and Pre-Processing PCA Approach. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 21(3).
- Swandayani, T. H. (2010). *Ekosistem Hutan (Studi Kasus : Das Ciliwung)* Tri Hastuti Swandayani.
- Swarinoto, Y. S., dan 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.
- Syahputra, A., dan Arifitama, B. (2018). Pengembangan Alat Peraga Edukasi Proses Siklus Air (Hidrologi) Menggunakan Teknologi Augmented Reality. *Seminar Nasional Teknologi Dan Multimedia 2018*, 1–6.
- Upa P, D. S., Sahriman, S., dan 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.
- Wang, Q., Huang, J., Liu, R., Men, C., Guo, L., Miao, Y., Jiao, L., Wang, Y., Shoaib, M., dan 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. *Prosiding Seminar Nasional Agroinovasi Spesifik Lokasi Untuk Ketahanan Pangan Pada Era Masyarakat Ekonomi ASEAN, Hunten 1993*, 1105–1126.
- Wigena, A. H., Djuraidah, A., dan Sahrima, S. (2015). Statistical Downscaling

Dengan Pergeseran Waktu Berdasarkan Korelasi Silang. In *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* (Vol. 16, Issue 1, pp. 19–24).

Wulandari, S., dan Soebagio. (2020). Studi pengembangan metode poligon thiessen dengan pembobotan linier terhadap bidang eksak pada perhitungan curah hujan rerata daerah. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 8(1), 57–68.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Pemodelan Suhu Maksimum di DAS Krueng Aceh Periode 1995-2100

