

**SIMULASI EROSI DAN SEDIMENTASI DAS KRUENG ACEH
(SUB DAS KRUENG KHEA) MENGGUNAKAN MODEL
SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

ADE SYAWAL NURFITRI

NIM. 170702124

**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
SIMULASI EROSI DAN SEDIMENTASI DAS KRUENG ACEH (SUB DAS
KRUENG KHEA) MENGGUNAKAN MODEL
SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

TUGAS AKHIR

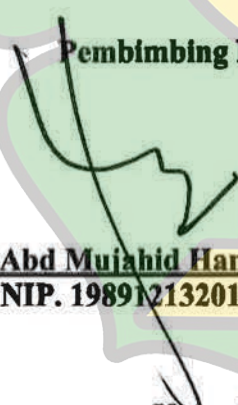
Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Dalam Prodi Teknik Lingkungan

Oleh:
ADE SYAWAL NURFITRI
NIM. 170702124
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh,
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


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


Aulia Rohendi, M. Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, M. Sc.
NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
SIMULASI EROSI DAN SEDIMENTASI DAS KRUENG ACEH (SUB DAS
KRUENG KHEA) MENGGUNAKAN MODEL
SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

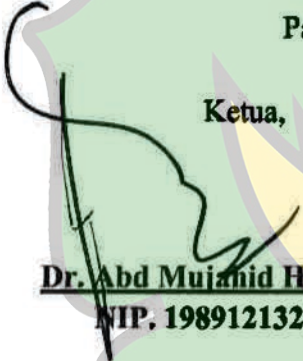
TUGAS AKHIR

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

Pada Hari/Tanggal: Rabu 21 Desember 2022
17 Jumadil Awal 1443
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir:

Ketua,


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

Sekretaris,


Aulia Rohendi, M. Sc.
NIDN. 2010048202

Penguji 1,

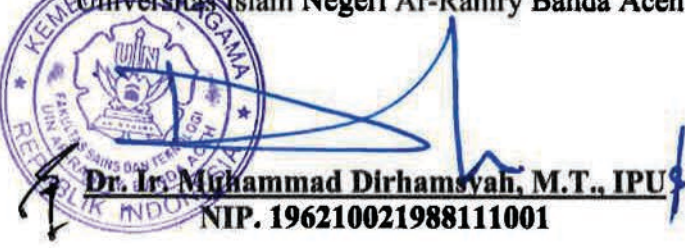

Ir. Juliansyah Harahap, M. Sc
NIP. 198207312014031001

Penguji 2,


M. Faisi 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 : Ade Syawal Nurfitri
NIM : 170702124
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Simulasi Erosi dan Sedimentasi DAS Krueng Aceh (Sub DAS Krueng Khea) Menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan bertanggung jawabkan;
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 bertanggung jawab atas karya ini;

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggung jawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah 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, 21 Desember 2022

Penyusun,



Ade Syawal Nurfitri

ABSTRAK

Nama : Ade Syawal Nurfitri
NIM : 170702124
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Simulasi Erosi dan Sedimentasi DAS Krueng Aceh (Sub DAS Krueng Khea) Menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)
Tanggal Sidang : 21 Desember 2022
Judul Halaman : 52
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M. Sc
Pembimbing II : Aulia Rohendi, M. Sc
Kata Kunci : Model SWAT, Sub DAS Krueng Khea, erosi dan sedimentasi

Bedasarkan penelitian yang pernah dilakukan, kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh mengalami kerusakan akibat dari perubahan tata guna lahan di daerah hulu dan mengakibatkan terjadinya longsor dan banjir di daerah hilir yang berkaitan erat dengan perubahan tata guna lahan pada bagian hulu tersebut. DAS Krueng Aceh dengan didalamnya terdapat DAS Krueng Khea ditetapkan sebagai DAS prioritas I untuk dilakukan upaya penanganan. Oleh karena itu, dilakukan pemodelan tata kelola DAS pada penelitian ini untuk mengetahui laju erosi dan sedimentasi di Sub DAS Krueng Khea. Model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) merupakan model yang efektif dan efisien untuk digunakan dalam mengevaluasi tata kelola suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dibandingkan model lainnya. Laju erosi dan sedimentasi tertinggi pada Sub DAS Krueng Khea terjadi pada bagian hilir dengan kehilangan tanah 60-480 (ton/ha/tahun). Jenis penutupan lahan pada bagian hilir didominasi lahan pertanian dan perkebunan. Laju erosi dan sedimentasi yang tinggi dikarenakan pengelolaan tanaman dan konservasi yang terjadi sangat buruk. Perlu dilakukan pengelolaan dan konservasi penggunaan lahan agar mampu meminimalisir terjadinya erosi dan sedimentasi.

ABSTRACT

Name : Ade Syawal Nurfitri
Nim : 170702124
Department : Environmental Engineering
Title : Simulation Erosion and Sedimentation of the Krueng Aceh Watershed (Khea Sub-watershed) Using a Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool)
Date of Session : 21 Desember 2022
Number of Page : 52
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M. Sc
Advisor II : Aulia Rohendi, M. Sc
Keywords : Model SWAT, Khea Sub-watershed, erosion and sedimentation

Based on research that has been conducted, the condition of the Krueng Aceh Watershed (DAS) has been damaged as a result of changes in land use in the upstream area and resulted in landslides and flooding in the downstream areas which are closely related to changes in land use in the upstream area. The Krueng Aceh Watershed, which includes the Krueng Khea Watershed, has been designated as the first priority watershed for handling efforts. Therefore, watershed governance modeling was carried out in this study to determine the rate of erosion and sedimentation in the Krueng Khea sub-watershed. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model is an effective and efficient model to use in evaluating the management of a watershed (DAS) compared to other models. The highest erosion and sedimentation rates in the Krueng Khea sub-watershed occur in the downstream with soil loss of 60-480 (tons/ha/year). The type of land cover in the downstream is dominated by agricultural land and plantations. Erosion and sedimentation rates are high due to poor management of plants and conservation. It is necessary to manage and conserve land use in order to minimize erosion and sedimentation.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT yang telah melimpahkan segala karunia-Nya yang tidak terhingga, khususnya nikmat iman dan islam, yang dengan keduanya diperoleh kebahagiaan dunia dan akhirat. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW, dan atas keluarga dan sahabat beliau serta orang-orang yang mengikuti jejak langkah mereka itu hingga akhir zaman.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT skripsi tugas akhir dengan judul **“Simulasi Erosi dan Sedimentasi DAS Krueng Aceh (Sub Das Krueng Khea) Menggunakan Model Swat (*Soil and Water Assessment Tool*)”** telah dapat penulis selesaikan. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada kedua orang tua yaitu Bapak Karman dan Ibu Cut Darnita yang telah memfasilitasi dan selalu mendukung 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 UIN Ar-Raniry
2. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Sekaligus sebagai pembimbing dua tugas akhir penulis yang telah banyak memberi arahan dan dukungan selama masa pembuatan skripsi dan perkuliahan.
4. Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik dan pembimbing satu yang telah banyak membantu dan membimbing sejak awal perkuliahan hingga sampai pada tahap skripsi tugas akhir.
5. Ir. Juliansyah Harahap, M.Sc. selaku dosen penguji satu sidang akhir skripsi yang telah banyak membantu dan memberi masukan pada tahap skripsi tugas akhir.

6. M. Faisi Ikhwal, M.Eng. selaku dosen penguji dua sidang akhir skripsi yang telah banyak membantu dan memberi masukan pada tahap skripsi tugas akhir.
7. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Lingkungan yang telah membimbing dan mengajarkan banyak ilmu kepada penulis di masa perkuliahan.
8. Para sahabat yang selalu membantu dan memberi semangat.
9. Teman-teman seangkatan Teknik Lingkungan 2017 seperjuangan yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi tugas akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa skripsi tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan penulisan skripsi tugas akhir ini. Tidak ada yang sia-sia semua kaya makna, akhir kata penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pembaca sekalian.

Banda Aceh, Desember 2022

Penulis,

Ade Syawal Nurfitri

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	3
I.5 Batasan Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 4
II.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)	4
II.2 Erosi	5
II.3 Sedimentasi	7
II.4 Model Hidrologi SWAT (<i>Soil and Water Assessment Tool</i>)	8
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 11
III.1 Jenis Penelitian	11
III.2 Tahapan Penelitian	11
III.3 Wilayah dan Waktu Penelitian	12
III.4 Analisis Data	14
III.4.1 Deliniasi Daerah Aliran Sungai (DAS).....	14
III.4.2 Pembentukan HRU (<i>Hydrologic Response Units</i>).....	14
III.4.3 Input data Iklim.....	14
III.4.4 Simulasi Model	19
III.4.5 Kalibrasi dan Validasi Model	20
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 22
IV.1 Deliniasi Daerah Aliran Sungai (DAS)	22
IV.2 Pembentukan <i>Hydrologic Response Units</i> (HRU)	24
IV.2.1 Penggunaan Lahan.....	24
IV.2.2 Jenis Tanah	26
IV.2.3 Kemiringan Lereng.....	28
IV.3 Simulasi <i>Soil Water Assessment Tools</i> (SWAT).....	30
IV.4 Kalibrasi dan Validasi Model SWAT.....	35

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
V.1Kesimpulan	40
V.2Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41

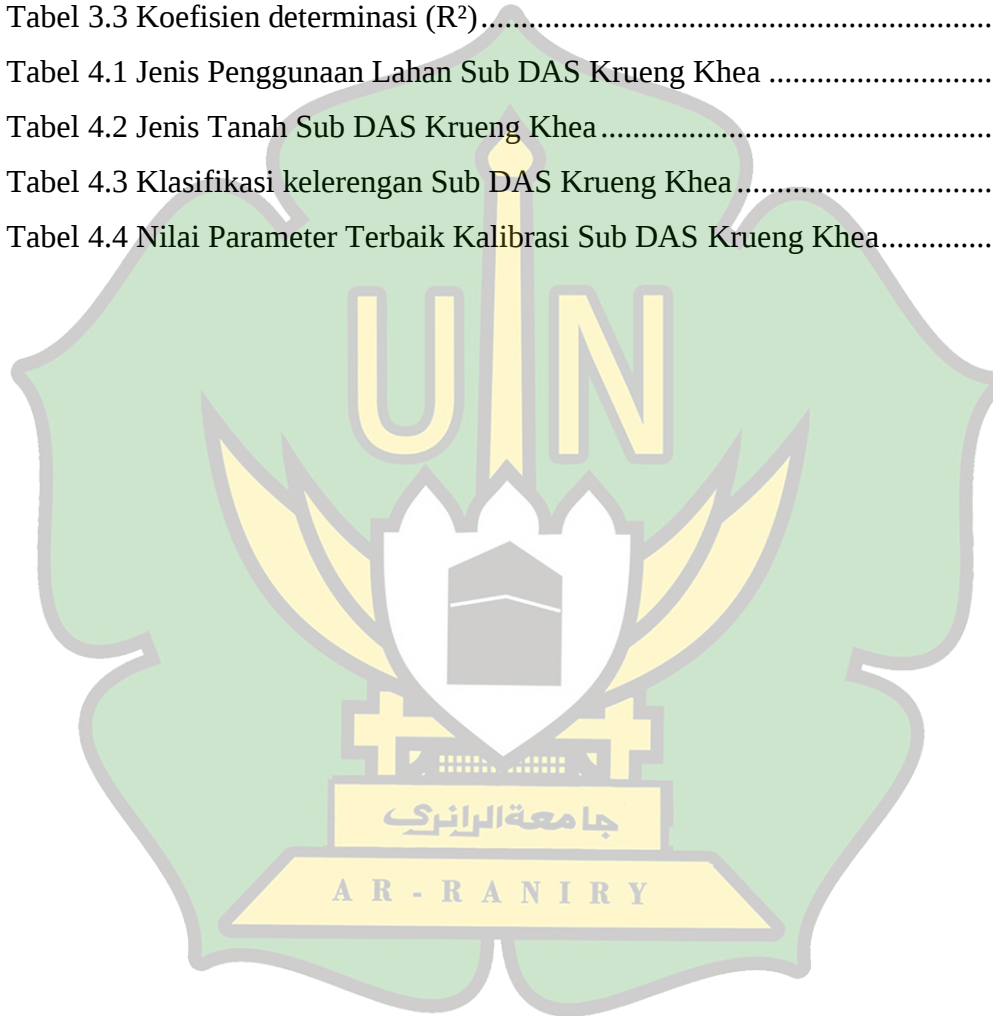


DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	11
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian.....	13
Gambar 3.3 Curah Hujan Stasiun SIM	13
Gambar 3.4 Temperatur Udara Stasiun SIM.....	13
Gambar 3.5 Kecepatan Angin Stasiun SIM	13
Gambar 3.6 Radiasi Matahari Stasiun SIM.....	13
Gambar 3.7 Kelembaban Udara Stasiun SIM	13
Gambar 3.8 WGN Parameters Estimation Tool.....	17
Gambar 3.9 SWAT Weather Database	18
Gambar 3.10 Weather Data definition Model SWAT	19
Gambar 3.11 Setup and run SWAT model simulation	19
Gambar 4.1 Peta Deliniasi Sub DAS Krueng Khea.....	23
Gambar 4.2 Peta Penggunaan Lahan Sub DAS Krueng Khea.....	25
Gambar 4.3 Peta Jenis Tanah Sub DAS Krueng Khea	27
Gambar 4.4 Peta Kelerengan Sub DAS Krueng Khea.....	29
Gambar 4.5 Setup Model SWAT.....	30
Gambar 4.6 Output SWAT Hidrologi Sub DAS Krueng Khea	31
Gambar 4.7 Output SWAT Sedimentasi Sub DAS Krueng Khea	32
Gambar 4.8 Peta Penyebaran Erosi di Sub DAS Krueng Khea	34
Gambar 4.9 Hasil Debit Simulasi dan Observasi.....	35
Gambar 4.10 Hasil Kalibrasi Model SWAT Sub DAS Krueng Khea	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi	6
Tabel 3.1 Jenis Data Penelitian	12
Tabel 3.2 Koefisien Nash Sutcliffe (NS)	21
Tabel 3.3 Koefisien determinasi (R^2)	21
Tabel 4.1 Jenis Penggunaan Lahan Sub DAS Krueng Khea	24
Tabel 4.2 Jenis Tanah Sub DAS Krueng Khea	26
Tabel 4.3 Klasifikasi kelerengn Sub DAS Krueng Khea	28
Tabel 4.4 Nilai Parameter Terbaik Kalibrasi Sub DAS Krueng Khea	36



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh yang sungai utamanya adalah sungai Krueng Aceh, memiliki luas 174.785 Ha dengan bagian hulu Krueng Aceh terdapat di kawasan Janthoe. Bagian tengah Krueng Aceh terdapat di Kuta Cot Glie dan kawasan hilirnya terdapat di Kota Banda Aceh. Secara geografis DAS Krueng Aceh terletak pada 5°03'41'' - 5°38'10'' LU dan 95°11'41'' - 95°49'46'' BT. Secara administratif DAS Krueng Aceh berada di empat Kabupaten/Kota di Provinsi Aceh yang meliputi Kabupaten Aceh Jaya, Kabupaten Pidie, Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh. Bagian Hulu DAS Krueng Aceh saat ini telah terjadi alih fungsi lahan hutan menjadi penggunaan lainnya. Akibatnya terjadinya longsor dan banjir di daerah hilir yang berkaitan erat dengan perubahan tata guna lahan pada bagian hulu tersebut (Kadir dan Bahagia, 2019).

Menurut Tsabitah dkk. (2022), kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh saat ini mengalami penurunan. Hal ini terjadi akibat perubahan tata guna lahan pada daerah hulu dan berdampak pada daerah hilir. Tingginya nilai kebutuhan pada DAS Krueng Aceh, maka perlu dilakukan pengelolaan secara tepat agar permasalahan yang terjadi dapat teratasi dan nilai ekonomi maupun lingkungan didapat lebih optimal. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: SK. 328/Menhut-II/2009 DAS Krueng Aceh dengan didalamnya terdapat berbagai Sub DAS yang salah satunya merupakan Sub DAS Krueng Khea ditetapkan sebagai DAS prioritas I untuk dilakukan upaya penanganan terhadap permasalahan erosi, sedimentasi, peningkatan penduduk dan konservasi hutan lindung.

Sub DAS Krueng Khea merupakan salah satu bagian dari Satuan Wilayah Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (SWP-DAS) Krueng Aceh yang melewati Kecamatan Seulimum, Kota Jantho dan Kecamatan Kuta Cot Glie. Sub DAS Krueng Khea memiliki karakteristik bentuk aliran yang memanjang dengan debit puncak cepat dan nilai kerapatan alirannya 0,57-0,96 yang mengakibatkan respon

DAS terhadap curah hujan yang jatuh di atasnya berpengaruh terhadap perubahan nilai limpasan (Darwin dkk., 2021). Menurut Putri dkk. (2016), Sub DAS Krueng Khea dapat dijadikan sebagai area model DAS mikro, yaitu contoh pengelolaan DAS dalam skala kecil dengan luas kurang dari 5.000 ha yang digunakan sebagai tempat untuk memodelkan proses pengelolaan sumber daya alam, rehabilitasi hutan dan lahan, konservasi tanah dan air. Wilayah pemodelan yang cenderung kecil akan meningkatkan keakuratan perhitungan komponen hidrologi.

Sujarwo (2020) mengatakan model pengelolaan yang berkembang untuk memperkirakan dampak pengolahan lahan pada keadaan hidrologi DAS dengan menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) telah banyak dilakukan seperti model *Universal Soil Loss Equation* (USLE), *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE), *Revised Universal Loss Equation* (RUSLE), *Watershed Erosion Prediction Project* (WEPP), *Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System* (CREAMS), dan *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT).

Menurut Utomo dkk. (2020), model yang efektif dan efisien untuk digunakan dalam mengevaluasi dampak dari penerapan pengelolaan alternatif pada sumber daya suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) dibandingkan model lainnya. Model SWAT dikembangkan pertama kali pada awal 1990-an oleh *United State Department Agriculture* (USDA) dengan keunggulannya yaitu efisien dalam penggunaan waktu, mampu digunakan sebagai evaluasi jangka panjang suatu DAS, dan model dibangun berdasarkan proses yang terjadi dengan memasukkan informasi terkait topografi, iklim, jenis tanah, dan pengelolaan lahan yang terdapat dalam DAS. Oleh karena itu, dalam melakukan simulasi erosi dan sedimentasi yang terjadi di Sub DAS Krueng Khea sangat disarankan untuk digunakan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana laju erosi dan sedimentasi yang terjadi pada Sub DAS Krueng Khea?
2. Bagaimana keakuratan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) dalam perbandingan hasil simulasi model terhadap data observasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat disimpulkan tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Memperkirakan besarnya laju erosi dan sedimentasi pada Sub DAS Krueng Khea dengan menggunakan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT)
2. Mengetahui akurasi pemodelan SWAT pada Sub DAS Krueng Khea dengan keadaan sebenarnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi DAS Krueng Aceh (Sub DAS Krueng Khea) terkait permasalahan erosi dan sedimentasi secara pemodelan
2. Menjadi referensi bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian terkait erosi dengan menggunakan pemodelan hidrologi.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada ketentuan sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan simulasi terhadap laju erosi dan sedimentasi pada Sub DAS Krueng Khea
2. Simulasi laju erosi dan sedimentasi di Sub DAS Krueng Khea menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Pendefinisian Daerah Aliran Sungai (DAS) perlu adanya pemahaman tentang konsep siklus hidrologi. Menurut Syahputra dan Arifitama (2018), siklus hidrologi memiliki beragam proses yang meliputi proses evaporasi, evapotranspirasi, presipitasi, infiltrasi, perkolasi, dan proses air tanah ke laut. Proses evaporasi artinya perubahan air yang tertampung pada sungai, danau, atau laut menjadi uap air akibat panas matahari. Proses evapotranspirasi ialah penguapan air yang dialami pada semua bagian permukaan bumi seperti badan air serta tanah maupun jaringan makhluk hidup. Proses presipitasi adalah mencairnya awan akibat suhu udara yang panas. Proses infiltrasi adalah proses masuknya air pada pori-pori tanah secara vertikal. Proses perkolasi yakni proses masuknya air ke bagian tanah yang lebih dalam. Proses air tanah ke laut artinya air yang telah melewati siklus hidrologi nantinya kembali ke laut.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 mengenai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Daerah Aliran Sungai adalah sebuah daerah daratan yang memiliki satu kesatuan dengan sungai dan sub sungai yang berfungsi sebagai menampung, menyimpan, dan mengalirkan air dari curah hujan menuju ke danau atau laut dengan secara alamiah dengan perbatasan di darat sebagai pemisah topografi dan batasnya di laut. Wilayah daratan disebut daerah tangkapan air (*catchment area*) yang berfungsi sebagai sebuah ekosistem dengan memiliki unsur utama berisikan sumber daya alam (air, tanah dan vegetasi) kemudian dimanfaatkan oleh sumber daya manusia.

Ekosistem suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dipengaruhi oleh banyak faktor meliputi manusia, topografi, jenis tanah, serta vegetasi. Jika ada salah satu faktor terganggu, maka dapat berpengaruh pada ekosistem DAS. Daerah Aliran Sungai (DAS) dibagi atas wilayah hulu, tengah, dan hilir. DAS bagian hulu merupakan wilayah konservasi, DAS bagian hilir sebagai wilayah pemanfaatan, sedangkan bagian tengah adalah wilayah transisi dari kedua ciri DAS. Bagian hulu

DAS berperan penting khususnya pada segi proteksi fungsi tata air. Seluruh aktivitas pada wilayah hulu dapat berpengaruh terhadap DAS di bagian hilirnya, seperti perubahan fluktuasi sirkulasi serta perubahan transportasi sedimen, termasuk unsur hara dan material terlarut pada aliran air. Istilah lainnya, bagian hulu DAS memiliki fungsi sebagai perlindungan keseluruhan DAS di bagian hilirnya (Kironoto dkk., 2021).

Menurut Jayanti dkk. (2019), Daerah Aliran Sungai (DAS) prioritas ialah suatu DAS terpilih pada penanganan konservasi tanahnya dijadikan target utama. DAS prioritas ditetapkan dengan pertimbangan antara lain wilayah yang mengalami kritis hidrologi, ditandai dengan besaran angka perbandingan antara debit maksimum pada saat musim hujan dan debit minimum saat musim kemarau. Kemudian, laju erosi tahunan tinggi sehingga memiliki dampak kandungan sedimen yang berlebihan dan persentase tutupan tanaman rendah. Urgensi perlindungan investasi bangunan vital dengan investasi besar, wilayah yang rawan terjadi kekeringan dan bencana banjir, wilayah yang sistem bercocok tanam berpindah-pindah atau daerah dengan penggarapan tanah yang merusak tanah dan lingkungan, daerah dengan tingkat pendapatan dan tingkat kesadaran masyarakat terhadap usaha konservasi sumber daya alam yang masih rendah dan daerah dengan berkepadatan penduduk tinggi.

2.2 Erosi

Menurut Lihawa (2017), erosi merupakan suatu proses pengikisan permukaan bumi oleh tenaga yang melibatkan pengangkatan benda-benda, seperti air mengalir, es, angin, dan gelombang atau arus. Penyebab terjadinya erosi dipengaruhi oleh iklim, topografi, jenis tanah, vegetasi penutup lahan, dan penggunaan lahan. Berdasarkan penyebab utamanya erosi dibedakan menjadi dua yaitu, erosi alamiah dan erosi karena aktivitas manusia. Erosi alamiah terjadi karena proses pembentukan tanah dan proses erosi yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami. Erosi karena faktor alamiah umumnya masih memberikan media yang memadai untuk berlangsungnya pertumbuhan kebanyakan tanaman, sedangkan erosi karena kegiatan manusia kebanyakan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan aturan konservasi tanah atau

kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah, antara lain pembuatan jalan di daerah kemiringan lereng besar. Proses erosi menghasilkan sedimen dan bakal dapat dan masuk pada sungai, dan mengalir menuju luar DAS kemudian yang lain terendap pada aliran permukaan di bagian bawah lereng. (Sujarwo, 2020). *United States Department of Agriculture* (USDA) sudah menetapkan klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE) berdasarkan laju erosi yang dihasilkan dalam ton/ha/tahun seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1. TBE menjadi gambaran bagaimana tingkat bahaya erosi yang terjadi pada suatu lahan ataupun daerah aliran sungai termasuk dalam tingkatan yang membahayakan atau tidak, sehingga dapat dijadikan pedoman dalam pengelolaan daerah aliran sungai. Untuk klasifikasi kelas bahaya erosi dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Kelas Erosi	Erosi (Ton/ha/tahunan)	Keterangan
I	<15	Sangat Ringan
II	15-60	Ringan
III	60-180	Sedang
IV	180-480	Berat
V	>480	Sangat Berat

(Sumber: Palenga dkk., 2020)

Menurut Azmeri (2020), proses terjadinya erosi meliputi tahap mengelupas, terpisah, pemindahan, dan terendap. Proses ini hasil dari energi kinetik percikan air yang jatuh ke tanah dan mengganggu ketahanannya tanah sehingga lepasnya partikel tanah. Air yang jatuh ke atas tanah dapat terjadi dua keadaan yaitu infiltrasi dan aliran limpasan. Apabila intensitas hujan besar menyebabkan kebanyakan airnya menjadi aliran limpasan dan kemudian mengangkat partikel tanah yang sudah terdispersi. Faktor kemiringan lahan sebagai penyebab utamanya pada erosi air, dikarenakan makin curam kemiringan lahannya sehingga makin kuat dorongan airnya dalam mengangkat tanah di sepanjang daerah erosi.

Menurut Palenga (2020), salah satu metode untuk menghitung nilai erosi melalui persamaan USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Parameter yang diperhitungkan untuk pendugaan erosi yaitu erosivitas hujan (EI), erodibilitas tanah (K), panjang lereng (L), kemiringan lereng (S), pengelolaan tanaman (C), dan konservasi tanah (P). Proses erosi terjadi melalui tiga tahap, yaitu pelepasan partikel tanah, pengangkutan oleh media seperti air dan angin, dan selanjutnya pengendapan. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya erosi adalah curah hujan, tanah, lereng (topografi), vegetasi, dan aktivitas manusia. Faktor-faktor tersebutlah yang merupakan komponen-komponen pengali dalam pendekatan USLE. Hubungan faktor-faktor yang menyebabkan kedalam Metode Universal Soil Loss Equation dapat dijelaskan sebagai berikut. Faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan laju erosi dalam metode Universal Soil Loss Equation (USLE) dirumuskan sebagai berikut:

$$EA = EI \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

- EA = Banyaknya tanah yang tererosi (ton/ha/tahun)
- EI = Faktor erosivitas hujan (KJ/ha)
- K = Faktor erodibilitas tanah (ton/KJ)
- LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng
- C = Faktor vegetasi dan tataguna lahan P adalah Faktor tindakan konservasi Tanah

2.3 Sedimentasi

Menurut Sujarwo (2020), tanah atau partikel tanah yang terbawa oleh air dari sebuah kawasan yang terjadi erosi di sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS) serta masuk ke dalam sebuah badan air umumnya dinamakan sedimen. Sedimen yang dibentuk dari proses erosi dan mengikuti aliran air nantinya mengendap di sebuah lokasi yang kecepatan aliran lambat atau berhenti. Fenomena pengendapan tersebut dinamakan dengan proses sedimentasi. Proses sedimentasi terjadi kompleks sekali, diawali dengan jatuh hujan yang menjadi energi kinetik yakni awal dari prosesnya erosi. Serta tanah menjadi partikel halus dan terbawa dengan aliran, sebagiannya

nanti tinggal di atas tanah Adapun sebagian lain berada di sungai ikut pada aliran sebagai angkutan sedimen.

Sedimentasi merupakan proses mengendap material organik pada dasar perairan dikarenakan terbawa dari air atau angin. Daerah perairan yang sering mengalami sedimentasi yakni sungai dan danau. Akibat terbesar dari sedimentasi yaitu mengalami pendangkalan sungai atau danau yang membuat banjir. Sedimentasi di perairan dialami sebab terjadinya erosi di tepi sungai atau danau. Tanah dan material organik lain masuk menuju aliran sungai yang membuat terjadi pengendapan di dasar sungai. Kejadian tersebut dialami sebab vegetasi di tepian hulu sungai makin sedikit yang disebabkan oleh degradasi hutan dan betonisasi, maka potensi tanah dalam penyerapan air hujan berkurang dan membuat erosi. Pendangkalan sungai menjadikan aliran sungainya menjadi lebih kuat hingga ke hilir sehingga terjadi kenaikan pada debit air sungai yang dapat berpeluang terjadinya banjir. Upaya efektif untuk mengantisipasi terjadinya sedimentasi pada sungai dengan memperbaiki kawasan tepi sungai dari hulu hingga muaranya. Dalam mencapai hasil yang terbaik, pembenahannya tidak dapat dikerjakan hanya pada satu lokasi. Kegiatan Reboisasi dan pembuatan biopori telah efektif bila terjadi kerja sama dan komitmen yang baik antara pemerintah pusat, pemerintah daerah, dan masyarakat (Salampessy dkk., 2020).

Prediksi laju sedimentasi dibutuhkan menjadi dasarnya perencanaan bangunan hidraulik sungai, pengelolaan scouring dan berbagai permasalahan lain pada sungai. Berbagai teknik tersedia dalam prediksi kecepatan sedimentasi, yang umumnya prediksi kecepatan sedimentasi bisa berdasarkan dengan karakteristik sedimen yang mencakup ukuran, bentuk, berat volume dan berat jenis hingga kecepatan jatuh. Dengan mendapatkan variabel-variabel karakteristik sedimen, sehingga laju sedimentasi di sungai bisa diperkirakan (Hambali dan Apriyanti, 2016).

2.4 Model Hidrologi Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Sistem Informasi Geografis (SIG) yaitu instrument yang bisa dipakai saat pengumpulan, penyimpanan, mentransformasikan, dan juga menyajikan data

spasial dari sebuah kejadian di permukaan bumi. Penggunaan SIG pada proses prediksi erosi dan sedimentasi dapat membenahi keakuratannya prediksi model dan cakupan area kajian, hingga dapat menyajikan hasil secara spasial. *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) yakni model berdistribusi yang terhubung dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan mengintegrasikan Spasial *Decision Support System* (DSS). Model SWAT dioperasikan dalam interval waktu harian dan dirancang sebagai prediksi kelangsungan dan keadaan dampak jangka panjang dari praktek pengelolaan lahan pada sumberdaya air, material, sedimen dan hasil agrochemical pada DAS besar dan komplek dengan bermacam skenario tanah, pemakaian lahan dan pengelolaan beragam (Yusuf dkk., 2020).

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) merupakan model yang digunakan untuk memprediksi pengaruh penggunaan lahan terhadap debit, sedimen, bahan kimia pertanian yang masuk ke sungai atau badan air pada suatu DAS. Siklus hidrologi yang disimulasikan dalam SWAT menggunakan persamaan neraca air yaitu:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

SW_t = kandungan air tanah akhir

SW_o = kandungan tanah permulaan pada hari ke-1

t = waktu (harian)

R_{day} = total curah hujan pada hari ke-i

Q_{surf} = total aliran permukaan pada hari ke-i

E_a = evapotranspirasi pada hari ke-i

W_{seep} = jumlah air yang masuk dalam zona akuifer tanah pada hari ke-i

Q_{gw} = aliran kembali (*return flow*).

Pendugaan erosi dan sedimentasi pada model SWAT diprediksi pada tingkat *Hydrological Response Unit* (HRU) menggunakan pendekatan *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Konsep SWAT menggambarkan air hujan yang jatuh mengalir ke tanah dan jumlahnya melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan air permukaan yang dapat mengakibatkan terjadinya erosi dan sedimentasi. SWAT menghitung laju limpasan puncak dengan metode rasional yang telah dimodifikasi.

DAS yang memiliki kondisi tanah dengan permeabilitas tinggi sangat berpengaruh terhadap aliran lateral. Air yang terkumpul di atas lapisan *impermeabel* akan menjadi sumber air. SWAT menghitung perkolasi pada setiap lapisan tanah dan proses ini hanya terjadi ketika kadar air tanah lebih dari kapasitas lapangan di Indonesia menunjukkan metode SWAT mampu mensimulasikan proses hidrologi dengan nilai *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE) > 0,5. Model tersebut diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam membuat perencanaan pengelolaan DAS dengan indikator erosi dan sedimentasi (Sujarwo dkk., 2020).

Menurut Christanto dkk. (2018), model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) mulai ditingkatkan di *United States Department of Agriculture* (USDA) yang bertujuan saat memperkirakan efek untuk suatu keputusan pada ciri-ciri pergerakan air, unsur hara, polusi, serta hasil sedimen pada aliran sungai. SWAT mampu menganalisa aliran sungai secara spasial yang berbentuk Sub DAS atau *Hydrologic Response Unit*. Model SWAT memiliki beberapa keunggulannya, yaitu:

1. Model dilakukan berdasarkan kejadian yang terjadi dengan mendapatkan informasi terkait iklim, sifat tanah, topografi, tanaman dan pengelolaan lahan yang terdapat dalam DAS
2. Input data yang relatif mudah tersedia
3. Model dapat dikerjakan secara efisien menggunakan komputer sehingga hemat waktu dan biaya
4. Memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dalam suatu DAS.

BAB III

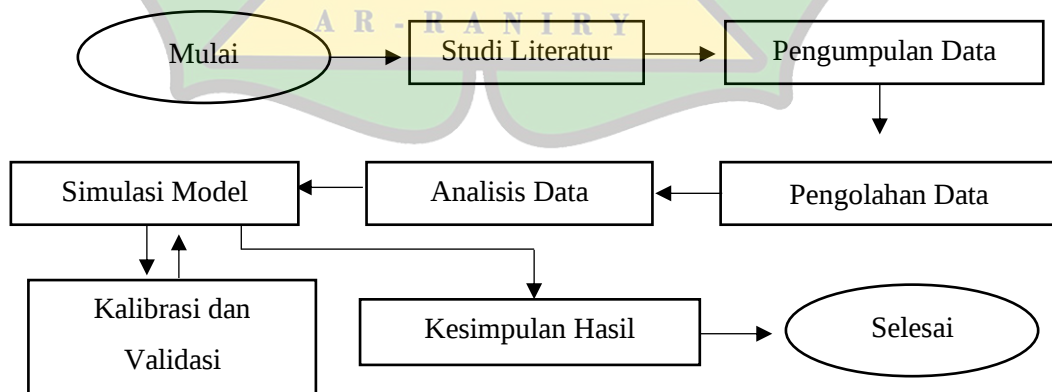
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian pemodelan. Pemodelan yang dilakukan menggunakan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) dalam melakukan simulasi erosi dan sedimentasi pada tahun 2011-2020 yang terjadi pada Sub DAS Krueng Khea.

3.2 Tahapan Pemodelan

Pemodelan ini dilakukan dalam beberapa tahap yang diawali dengan mencari studi literatur terkait kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh pada Sub DAS Krueng Khea mengenai permasalahan erosi dan sedimentasi. Kemudian dilakukan tahap pengumpulan data dengan jenis data sekunder yang dapat diperhatikan pada Tabel 3.1. Tahap analisis data dilakukan sebagai proses pengolahan data menggunakan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) dalam mensimulasikan laju erosi dan sedimentasi yang terjadi pada Sub DAS Krueng Khea. Tahap kalibrasi dan validasi dilakukan sebagai penentuan kepastian model untuk dilakukan simulasi. Selanjutnya, dilakukan pembuatan kesimpulan dari hasil simulasi model SWAT terkait erosi dan sedimentasi pada Sub DAS Krueng Khea. Adapun tahap-tahap penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



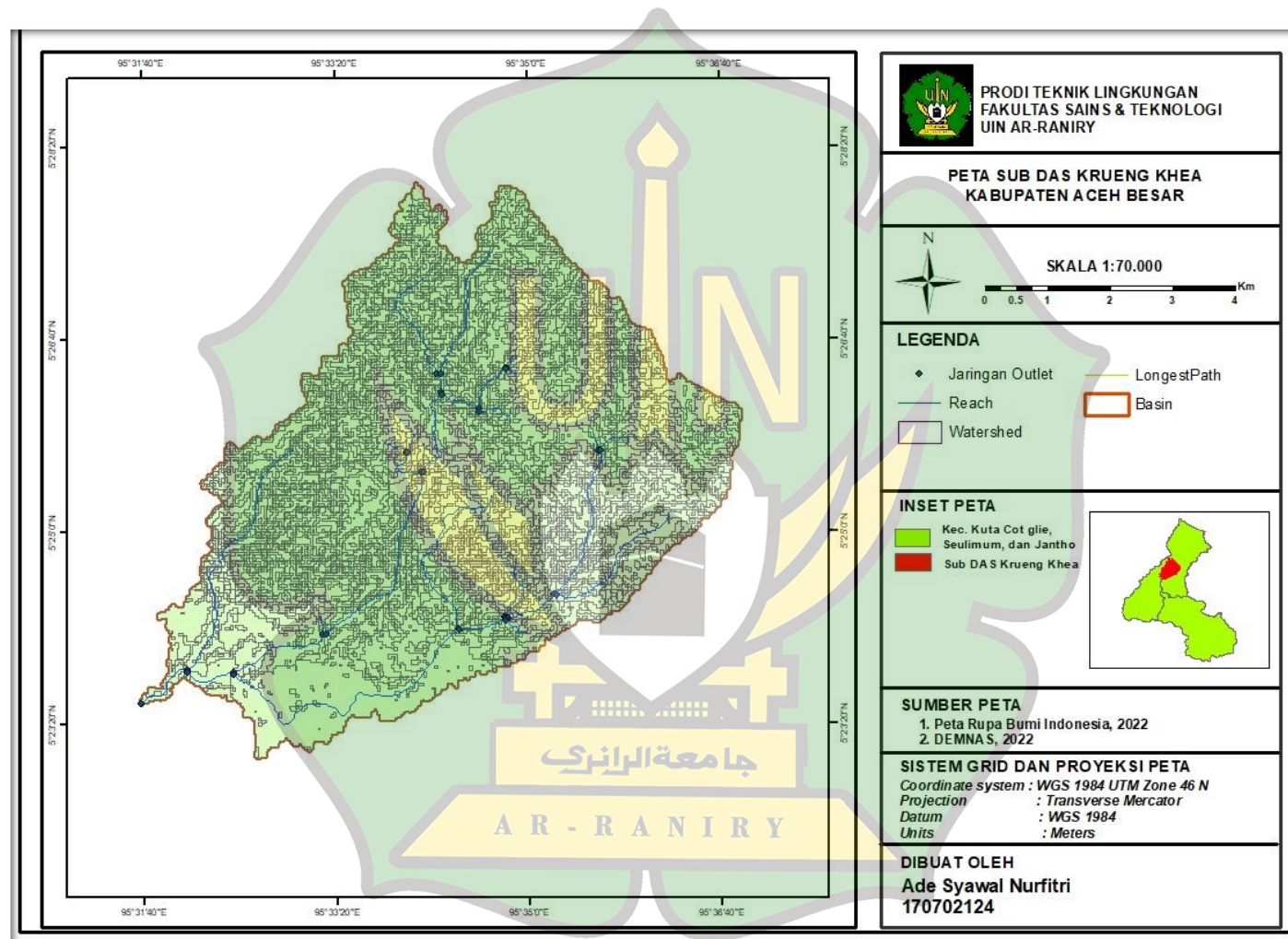
Gambar 3.1 Diagram alir pemodelan

Tabel 3.1 Jenis Data Penelitian

NO	JENIS DATA	KETERANGAN	FORMAT DATA	SUMBER
1	Peta DEM (<i>Digital Elevation Model</i>)	DEM 2021. SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) Resolusi 90x90 m	tif	Indonesia Geospasial Portal
2	Peta Penggunaan Lahan	2020	.shp	BPDASHL Aceh
3	Peta Jenis Tanah	2020	.shp	BPDASHL Aceh
4	Data Klimatologi Harian - Curah Hujan - Temperatur - Kelembaban - Kecepatan Angin - Radiasi Matahari	2010-2020 (4019 Cell/data)	.xlsx	BMKG Aceh
5	Data Debit Bulanan	2011-2017 (84 Cell)	.xlsx	Dinas PU Pengairan Aceh

3.3 Wilayah dan Waktu Penelitian

Wilayah yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah Sub DAS Krueng Khea. Sub DAS ini merupakan bagian dalam DAS Krueng Aceh. Secara geografis Sub DAS Krueng Khea terletak pada koordinat 05°23'40.15" LU dan 95°32'08.36" BT yang melewati Kecamatan Seulimum, Kota Jantho dan Kecamatan Kuta Cot Glie kemudian terkait lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2. Waktu penelitian dilakukan selama 8 bulan, dimulai dari bulan Maret 2022 sampai dengan November 2022. Adapun waktu yang dipakai saat penelitian ini mencakup beberapa kegiatan, pada bulan Maret-April dilakukan tahap persiapan dan pengajuan proposal penelitian, bulan Juni-September sebagai kegiatan penelitian dan bulan Oktober-November sebagai tahap pembuatan laporan hasil penelitian.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

3.4 Analisis Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) untuk simulasi besaran laju erosi dan sedimentasi pada Sub DAS Krueng Khea. Proses menjalankan pemodelan SWAT dilakukan dalam beberapa tahap, dimulai dari deliniasi DAS, pembentukan *Hydrologic Response Units*, input data iklim, *running* model, simulasi model, serta kalibrasi dan validasi (Rahmad dkk., 2017).

3.4.1 Deliniasi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Tahap Pertama dalam menjalankan model SWAT yaitu dengan melakukan deliniasi DAS. Deliniasi batas DAS dijalankan otomatis dalam program *Watershed Delineation* dengan menggabungkan titik Stasiun Pengamatan Aliran Sungai (SPAS), Peta sungai Rupabumi (RBI) dan Peta *Digital Elevation Model* (DEM) sebagai variabel pembentuk *Watershed* tersebut sesudah terlebih dahulu terbentuk project Arc SWAT.

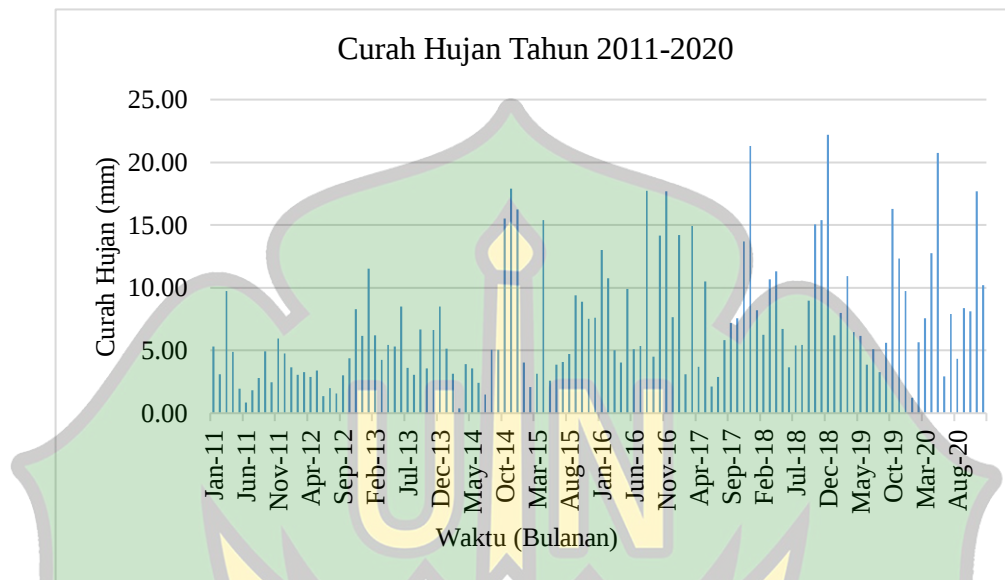
3.4.2 Pembentukan HRU (*Hydrologic Response Units*)

Hydrologic Response Units (HRU) merupakan unit analisis hidrologi yang menggambarkan suatu wilayah terhadap pengaruh faktor hidrologi yang terjadi pada wilayah Sub DAS Krueng Khea. Proses dalam pembentukan HRU pada Sub DAS Krueng Khea menggabungkan (*overlay*) 3 jenis data meliputi penggunaan lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng. HRU yang terbentuk dengan metode *threshold by percentage* (penggunaan lahan 10 %, jenis tanah 10%, dan kemiringan lereng 10%).

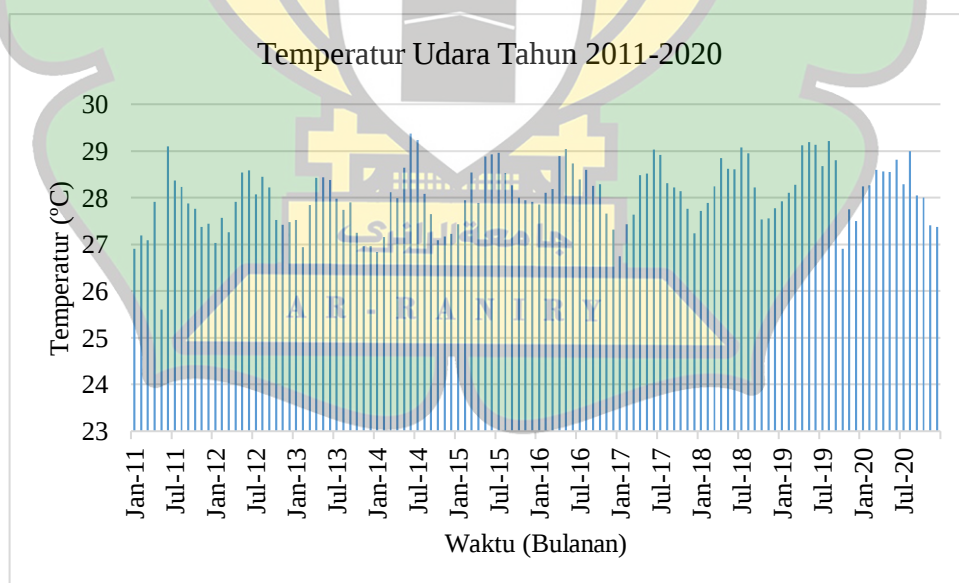
3.4.3 Input data Iklim

Tahap selanjutnya dalam model SWAT adalah *Input* data iklim/klimatologi yang merupakan tahap yang harus dilakukan sebelum dijalankan simulasi model. Data iklim yang digunakan pada Sub DAS Krueng Khea bersumber dari BMKG Aceh pada stasiun Sultan Iskandar Muda (SIM). Data klimatologi yang dimasukkan pada model SWAT dimulai dari tahun 2010-2020 yang terdiri dari curah hujan

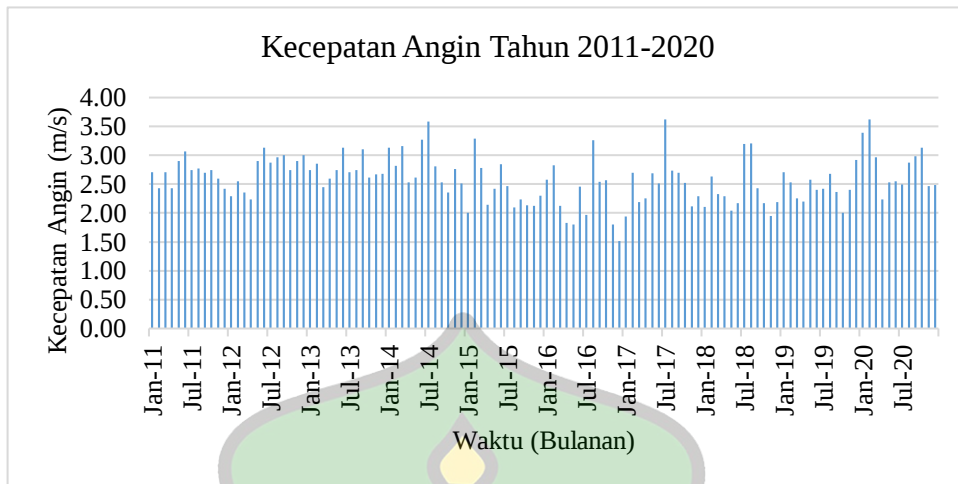
harian (mm), temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$), kecepatan angin (m/s), radiasi matahari ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{hari}$), dan kelembaban relatif udara (%). Data klimatologi yang digunakan pada model SWAT Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada beberapa gambar berikut.



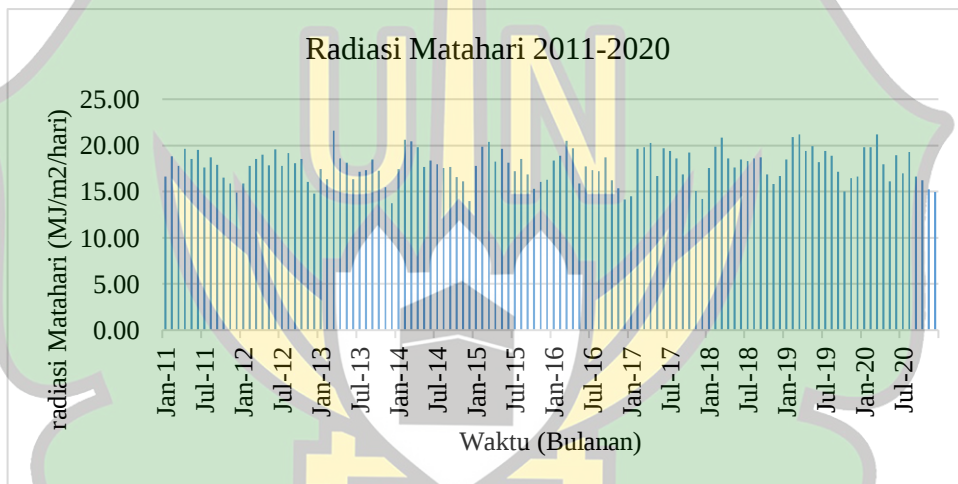
Gambar 3.3 Curah Hujan Stasiun SIM



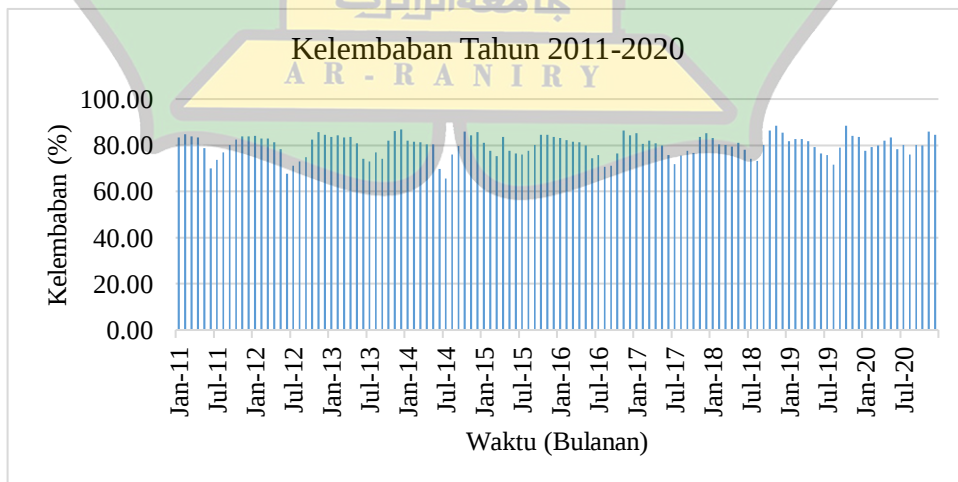
Gambar 3.4 Temperatur Udara Stasiun SIM



Gambar 3.5 Kecepatan Angin Stasiun SIM



Gambar 3.6 Radiasi Matahari Stasiun SIM



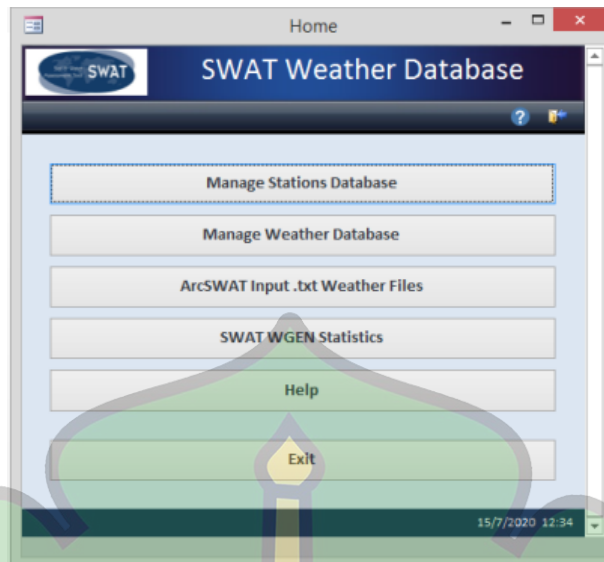
Gambar 3.7 Kelembaban Udara Stasiun SIM

Data klimatologi ini tidak langsung dapat digunakan tetapi harus melewati pengolahan sehingga menghasilkan data dengan format yang terdapat pada *weather generator* SWAT. *weather generator* (WGN) merupakan sebuah *weather tools* untuk membentuk data klimatologi stasiun SIM menjadi *database* yang dapat dibaca dalam program SWAT. Format data dapat diperoleh dengan mengunduh *WGN Parameter Estimation Tool* pada situs SWAT seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *WGN Parameters Estimation Tool*

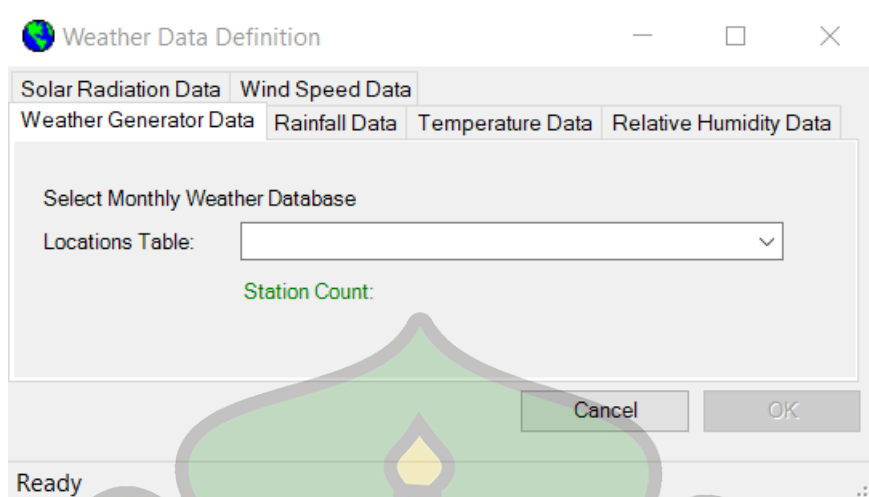
Data klimatologi dikelompokkan menjadi lima kategori yaitu curah hujan (PCP), temperatur (TMP), kelembaban relatif (HMD), radiasi sinar matahari (SLR), dan kecepatan angin (WND) dengan membentuk satu stasiun yaitu Sultan Iskandar Muda (SIM). Seluruh data klimatologi yang akan diolah harus dalam bentuk CSV (*comma separated value*) file. Setelah data dikelompokkan, selanjutnya data diolah dengan menggunakan *Weather Database*. Database ini bisa ditemukan pada folder yang merupakan hasil unduhan *WGN Parameter Estimation Tool* sebelumnya. Berikut merupakan *SWAT Weather Database* yang dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 SWAT Weather Database

Tahap *SWAT Weather Database* dimulai dengan memperbarui data stasiun pada *Manage Stations Database* dan memasukkan *stasion.csv file*. Kemudian dilanjutkan dengan membuka *Manage Weather Database* dan memasukkan data klimatologi yang sudah dikelompokkan dalam bentuk *csv file*. Pada *ArcSWAT Input.txt Weather Files* digunakan versi SWAT 2012. Hasil data *WGEN* diperoleh dengan membuka *SWAT WGEN Statistics* dan memasukkan informasi *WGEN Name File* dan *Output File Type* yang akan digunakan.

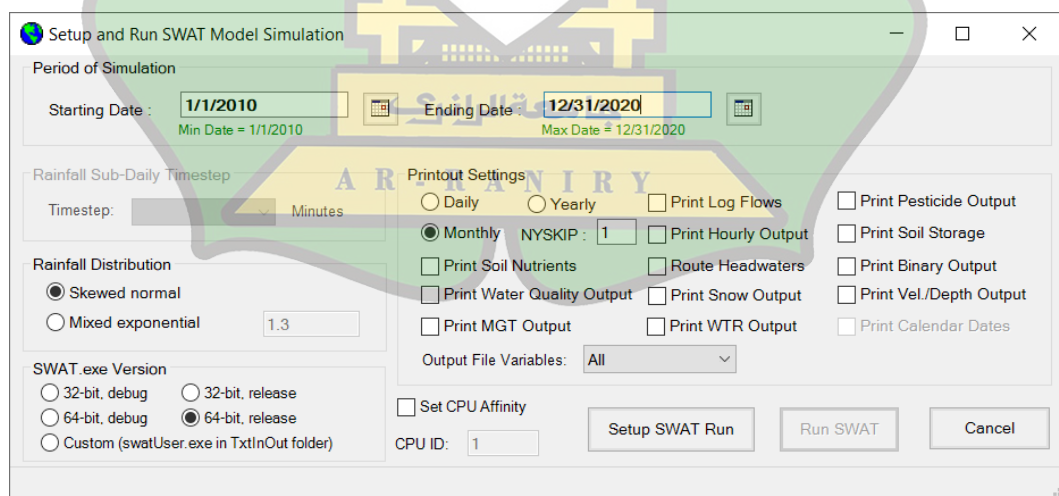
Selanjutnya, Setelah dilakukan pengolahan data klimatologi pada *SWAT Weather Database*, hasil data di input dalam proses *write input table weather station* untuk terealisasinya karakteristik hidrologi Sub DAS Krueng Khea pada Model SWAT guna mengetahui hasil kondisi Sub DAS Krueng Khea dalam proses *Running* di tahap selanjutnya. Berikut merupakan gambaran proses penginputan data klimatologi pada model SWAT yang dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Weather Data definition* Model SWAT

3.4.4 Simulasi Model

Simulasi model SWAT dapat dimulai setelah dilakukannya pengisian pada *setup and run model simulation*. Simulasi model SWAT pada Sub DAS Krueng Khea dilaksanakan pada periode simulasi tahun 2011-2020 dengan tahun 2010 sebagai tahun pemanasan model. Selanjutnya, *Skewed normal* ditentukan sebagai distribusi curah hujan dengan versi SWAT yang dijalankan yaitu 64-bit *release*. Hasil keluaran model nantinya yaitu dengan waktu bulanan. Berikut dapat dilihat mengenai penginputan jalannya simulasi pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Setup and run SWAT model simulation*

Setelah semua data telah dimasukkan, selanjutnya program model SWAT dijalankan. Pada menu *toolbar* SWAT *simulation* dipilih *run* SWAT untuk menjalankan simulasi model. Selesai tahap *run* SWAT kemudian *output* model yang tersimpan dalam folder SWAT Output File yang berisikan file BSB, SBS dan RCH. File BSB isinya informasi Sub DAS, file SBS isinya informasi setiap HRU dan RCH isinya informasi di setiap *Sub Basins* pada Sub DAS Krueng Khea dapat dibuka. Hasil dari *running* model SWAT yang ingin diteliti yaitu perhitungan laju erosi seluruh HRU dengan periode simulasi 10 tahun.

3.4.5 Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi dan validasi model SWAT dilakukan menggunakan Program SWAT-CUP dengan metode SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*). SWAT-CUP dijalankan dengan langkah pertama membuat *project file* kemudian dilakukan input data *TxtInOut* yang merupakan hasil simulasi model. Kalibrasi dan validasi yaitu menguji model supaya mampu menghasilkan kondisi yang sebenarnya, Adapun kalibrasi dan validasi merupakan perbandingan secara visual antara kurva debit hasil simulasi dan kurva hasil pengukuran Stasiun Pengamatan Aliran Sungai (SPAS) atau data debit observasi dengan tahun yang berbeda. Tahap ini dibutuhkan dalam pengujian kesesuaian model pada analisa hidrologi DAS. Kalibrasi dan validasi bertujuan dalam mendapatkan hasil simulasi menyerupai kondisi Alamiah (Sujarwo dkk, 2020). Tahap kalibrasi dan validasi menggunakan uji parameter statistik koefisien *Nash Sutcliffe* (NS), dan koefisien *determinasi* (R^2). Koefisien *Nash Sutcliffe* (NS) dihitung menggunakan persamaan:

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_i (Q_{si} - Q_{mi})^2}{\sum_i (Q_{si} - \bar{Q})^2} \right] \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan,

Q_{si} = variabel pengamatan (debit actual)

Q_{mi} = variabel hasil simulasi (debit hasil model)

$\bar{Q}$ = variabel rata-rata debit terukur

Koefisien *Nash Sutcliffe* (NS) terdiri atas 4 kategori yakni seperti dalam Tabel 3.2.

Koefisien *determinasi* (R^2) dihitung menggunakan persamaan:

$$R^2 =$$

$$\frac{[\sum_i (Q_{mi} - \bar{Q}_m)(Q_{si} - \bar{Q}_s)]^2}{[(Q_{mi} - \bar{Q}_m)^2 (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2]} \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan,

Q_{mi} = variabel pengamatan (debit aktual) yang terukur (mm)

Q_m = variabel rata-rata debit aktual pengamatan yang terukur (mm)

Q_{si} = rata-rata perhitungan model (debit hasil simulasi) (mm)

Koefisien *determinasi* (R^2) terdiri atas 4 kategori yakni seperti dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Koefisien Nash Sutcliffe (NS)

NO	Nilai NS	Kategori
1	$0,75 < NS \leq 1,00$	Sangat baik
2	$NS < 0,75$	Baik
3	$0,36 \leq NS < 0,75$	Memenuhi
4	$NS < 0,36$	Tidak memenuhi

(Sumber: Suhartanto dkk., 2019)

Tabel 3.3 Koefisien determinasi (R^2)

NO	Nilai R^2	Kategori
1	0,8 - 1,00	Sangat baik
2	0,60 - 0,79	Baik
3	0,40 - 0,59	Memuaskan
4	0,20 - 0,39	Kurang baik
5	0 - 0,19	Sangat tidak baik

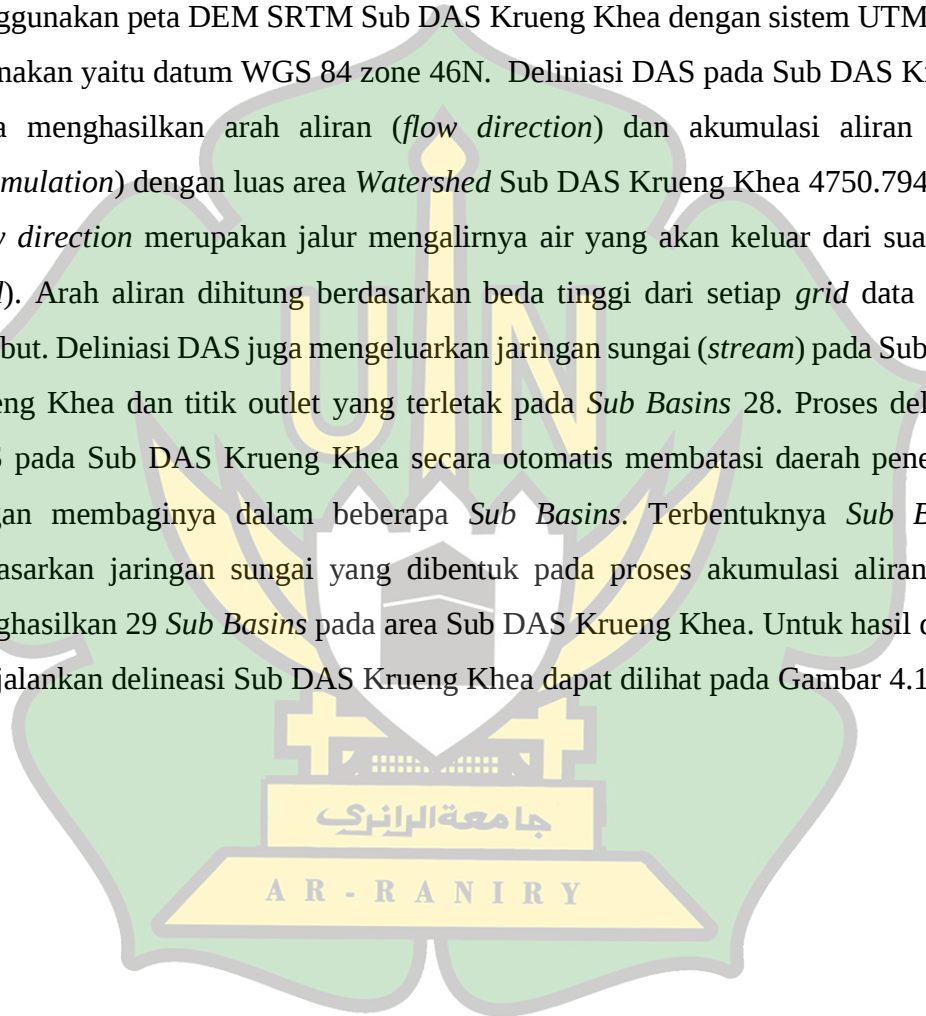
(Sumber: Suhartanto dkk., 2019)

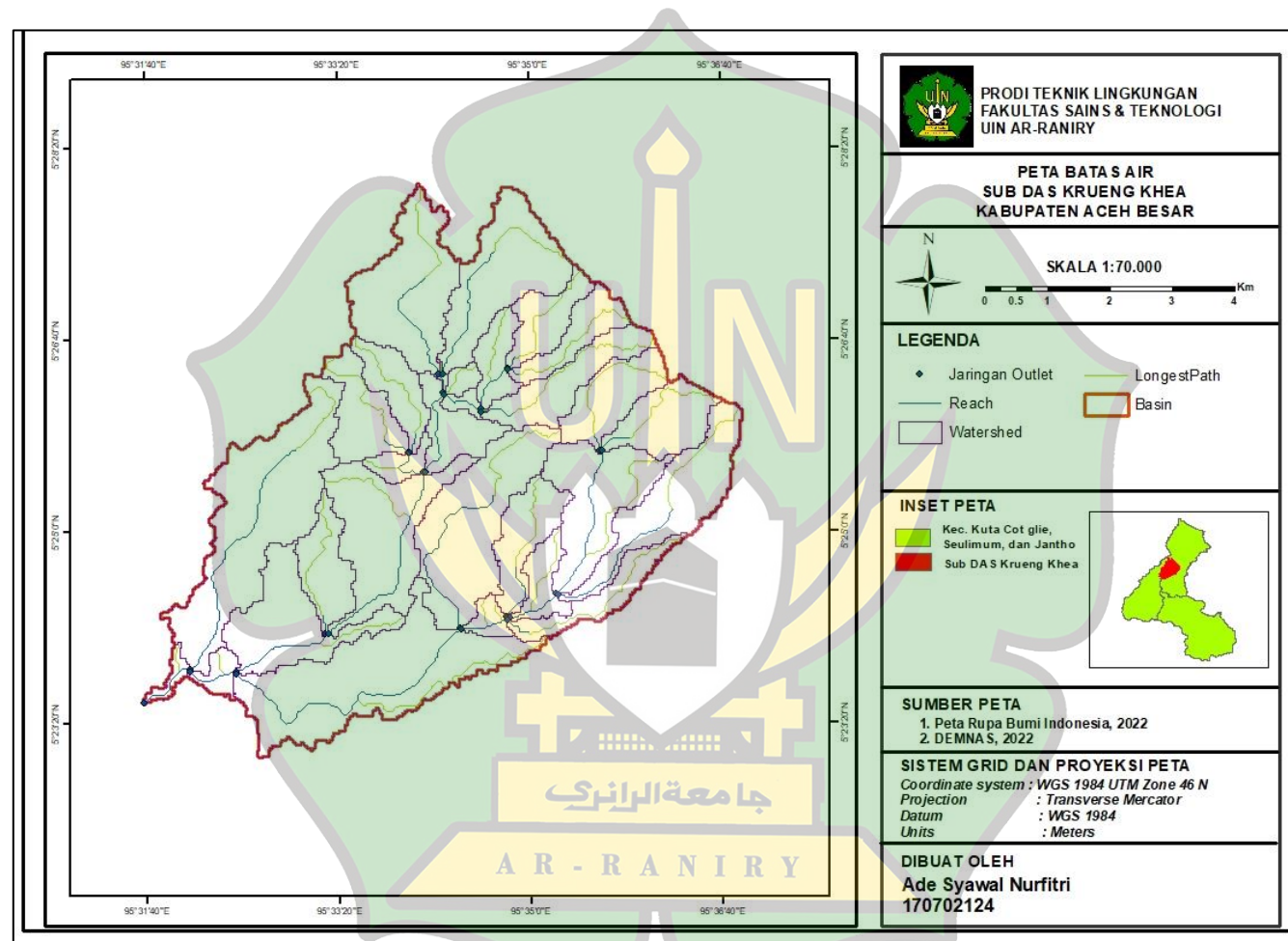
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deliniasi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Delineate Watershed atau deliniasi DAS pada Sub DAS Krueng Khea menggunakan peta DEM SRTM Sub DAS Krueng Khea dengan sistem UTM yang digunakan yaitu datum WGS 84 zone 46N. Deliniasi DAS pada Sub DAS Krueng Khea menghasilkan arah aliran (*flow direction*) dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) dengan luas area *Watershed* Sub DAS Krueng Khea 4750.7947 Ha. *Flow direction* merupakan jalur mengalirnya air yang akan keluar dari suatu sel (*grid*). Arah aliran dihitung berdasarkan beda tinggi dari setiap *grid* data DEM tersebut. Deliniasi DAS juga mengeluarkan jaringan sungai (*stream*) pada Sub DAS Krueng Khea dan titik outlet yang terletak pada *Sub Basins* 28. Proses deliniasi DAS pada Sub DAS Krueng Khea secara otomatis membatasi daerah penelitian dengan membaginya dalam beberapa *Sub Basins*. Terbentuknya *Sub Basins* berdasarkan jaringan sungai yang dibentuk pada proses akumulasi aliran, dan menghasilkan 29 *Sub Basins* pada area Sub DAS Krueng Khea. Untuk hasil dalam menjalankan delineasi Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Peta Deliniasi Sub DAS Krueng Khea

4.2 Pembentukan *Hydrologic Response Units* (HRU)

Proses pembentukan HRU pada Sub DAS Krueng Khea dengan menggabungkan (*overlay*) 3 jenis data meliputi penggunaan lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng pada Sub DAS Krueng Khea menghasilkan 211 HRU dan klasifikasi penggunaan lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng.

4.2.1 Penggunaan Lahan

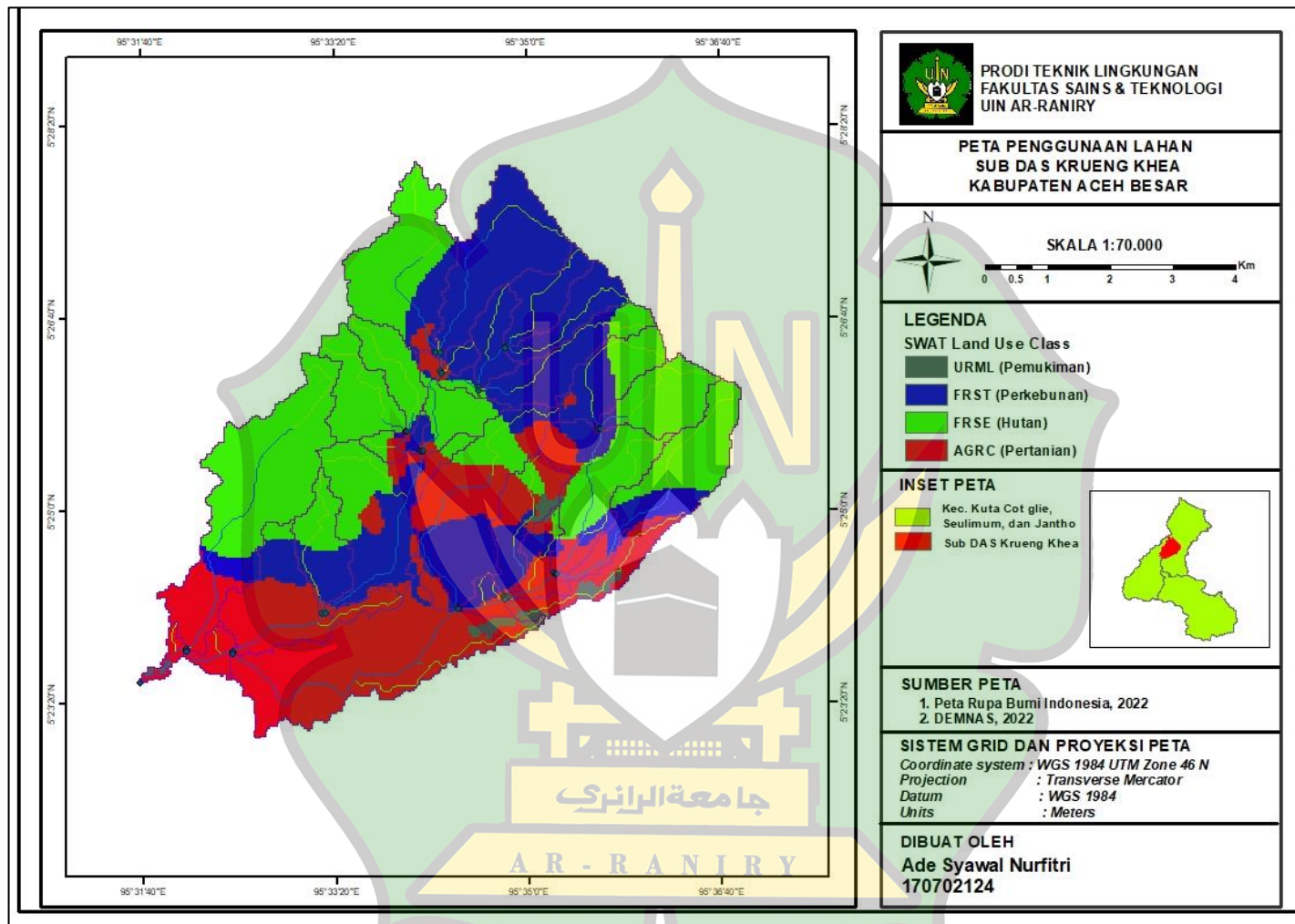
Pembentukan HRU dengan menginput data *Land Use* pada Sub DAS Krueng Khea menghasilkan data jenis penggunaan lahan pada Sub DAS Krueng Khea. Berikut merupakan hasil jenis penggunaan lahan pada Sub DAS Krueng Khea yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jenis Penggunaan Lahan Sub DAS Krueng Khea

Jenis Penggunaan Lahan	Area (Ha)	Presentase (%)
URML (Pemukiman)	26,0674	0,55
AGRC (Pertanian)	1415,8076	29,80
FRST (Perkebunan)	1494,6543	31,46
FRSE (Hutan)	1814,2655	38,19

(Sumber: Analisis SWAT, 2022)

Penggunaan lahan pada Sub DAS Krueng Khea terdiri dari 4 jenis penggunaan lahan. Pertama, lahan pemukiman yang memiliki luas 0,55 % dari total luas *watershed*. Kedua, lahan pertanian dengan luas 29.80 %, ketiga perkebunan dengan luas 31.46 %. Kemudian, keempat jenis penggunaan lahan hutan yang mendominasi pada area Sub DAS Krueng Khea dengan 38.19 % dari total luas *Watershed* seluas 4750.7947 Ha. Terkait jenis penggunaan lahan pada Sub DAS Krueng Khea dapat lihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Peta Penggunaan Lahan Sub DAS Krueng Khea

4.2.2 Jenis Tanah

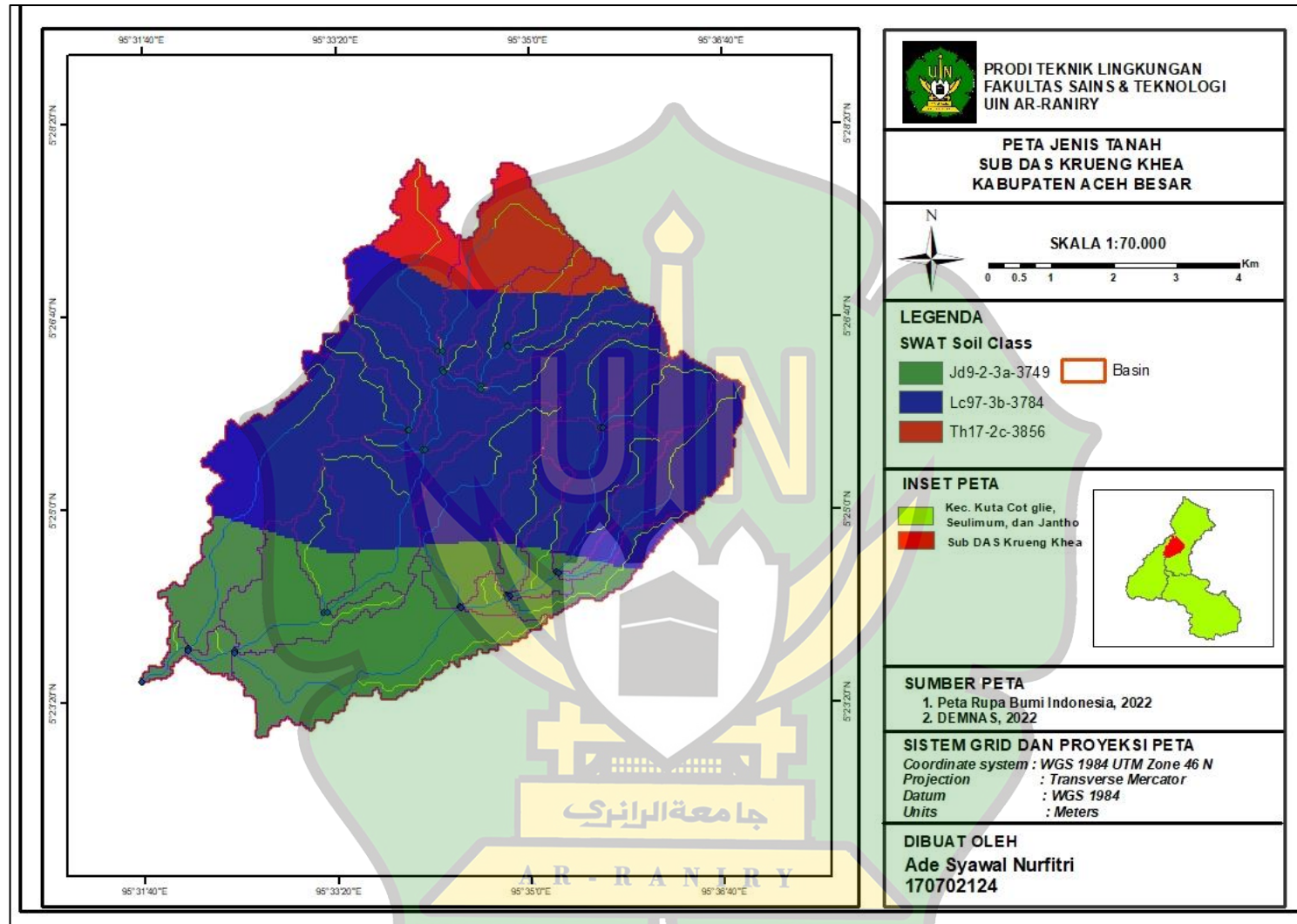
Proses kedua dalam pembentukan HRU pada Sub DAS Krueng Khea dengan menginput peta jenis tanah Sub DAS Krueng Khea menghasilkan Klasifikasi jenis tanah seperti keterangan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jenis Tanah Sub DAS Krueng Khea

Jenis Tanah	Area (Ha)	Presentase (%)
Th17-2c-3856 (<i>Loam</i>)	457,6572	9,63
Jd9-2-3a-3749 (<i>Loam</i>)	1409,4872	29,67
Lc97-3b-3784 (<i>Clay</i>)	2883,6503	60,70

(Sumer: Analisis SWAT, 2022)

Hasil klasifikasi jenis tanah pada Sub DAS Krueng Khea ditampilkan dalam bentuk kode jenis tanah berdasarkan *Food and Agriculture Organization* (FAO) yang terdapat dalam database model SWAT. Terkait penyebaran jenis tanah pada Sub DAS Krueng Khea dapat lihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Peta Jenis Tanah Sub DAS Krueng Khea

4.2.3 Kemiringan Lereng

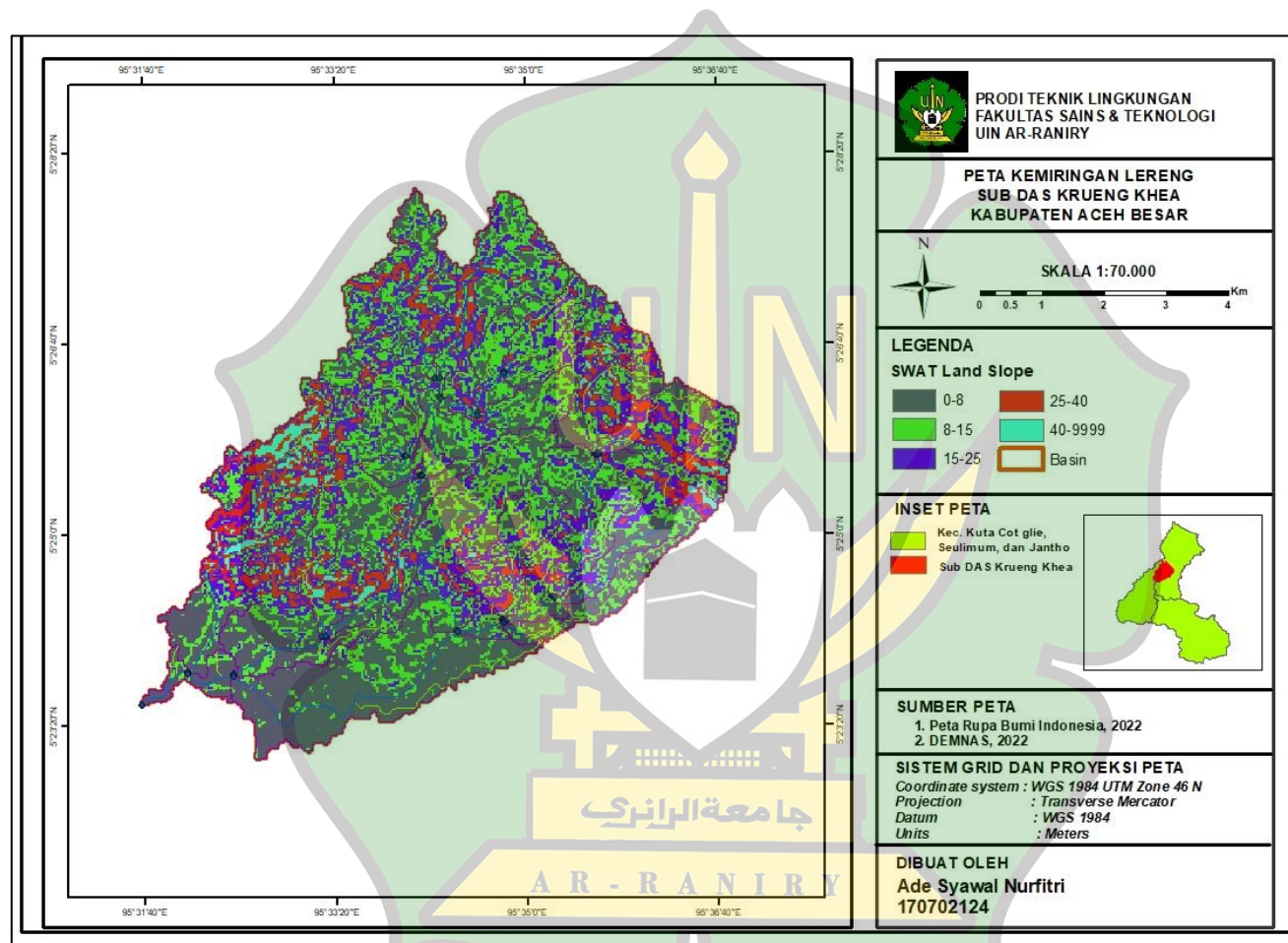
Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan dalam pemodelan SWAT, kondisi kemiringan lereng Sub DAS Krueng Khea terbagi menjadi 5 kategori, yaitu datar, landai, agak curam, curam, dan sangat curam. Klasifikasi kelerengan Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Klasifikasi kelerengan Sub DAS Krueng Khea

Kelerengan	Kategori	Luas (Ha)	Presentase (%)
0-8 %	Datar	1809,6060	38,09
8-15 %	Landai	1010,8825	21,28
15-25 %	Sedikit Curam	1494,3080	31,45
25-40 %	Curam	365,1606	7,69
>40 %	Sangat Curam	70,8376	1,49

(Sumber: Analisis SWAT, 2022)

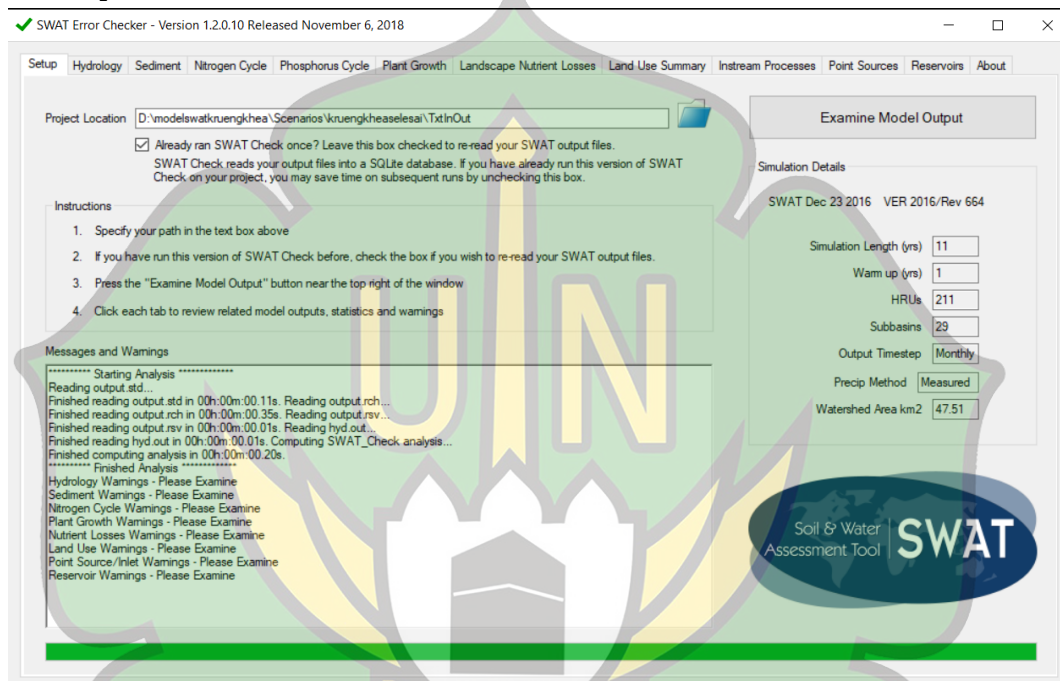
Secara umum kemiringan lereng di wilayah Sub DAS Krueng Khea didominasi oleh kelas lereng datar yang mencapai 38.09% dan kelas lereng sedikit curam 31,45 % dari luas keseluruhan Sub DAS Krueng Khea. Klasifikasi kemiringan lereng pada Sub DAS Krueng Khea dapat lihat pada Gambar IV.4.



Gambar 4.4 Peta Kelerengan Sub DAS Krueng Khea

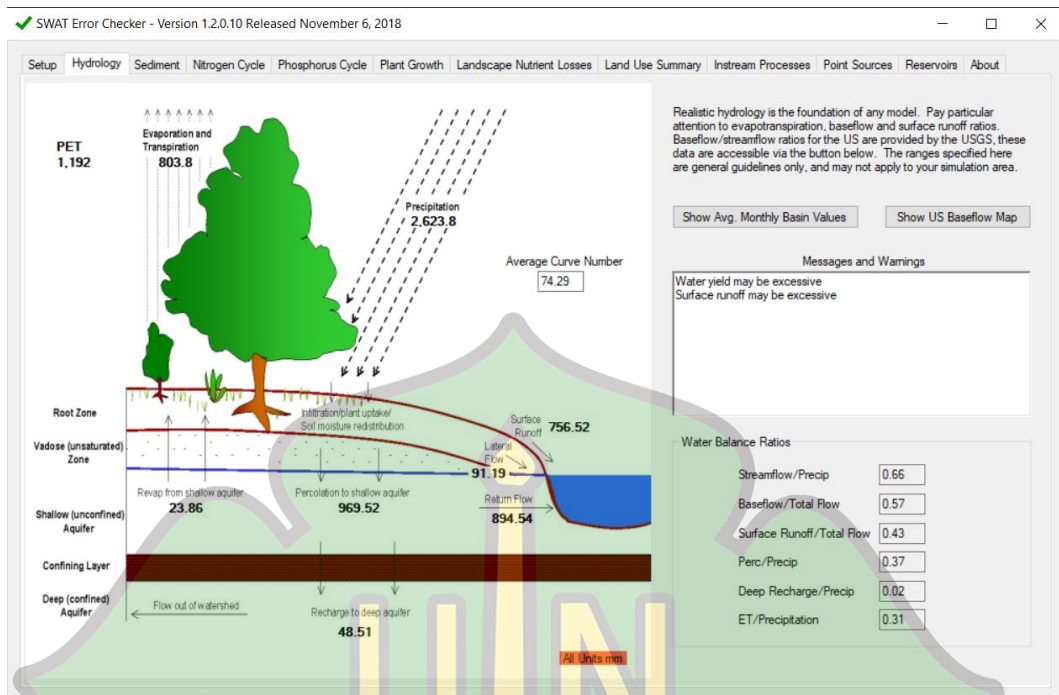
4.3 Simulasi Model *Soil Water Assessment Tools* (SWAT)

Simulasi model SWAT pada Sub DAS Krueng Khea dengan periode 2011-2020 menghasilkan beberapa skenario yang terjadi di Sub DAS Krueng Khea. Tetapi, dalam pembahasan ini hanya dibatasi mengenai hidrologi, sedimentasi dan erosi yang terjadi di Sub DAS Krueng Khea. Hasil simulasi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



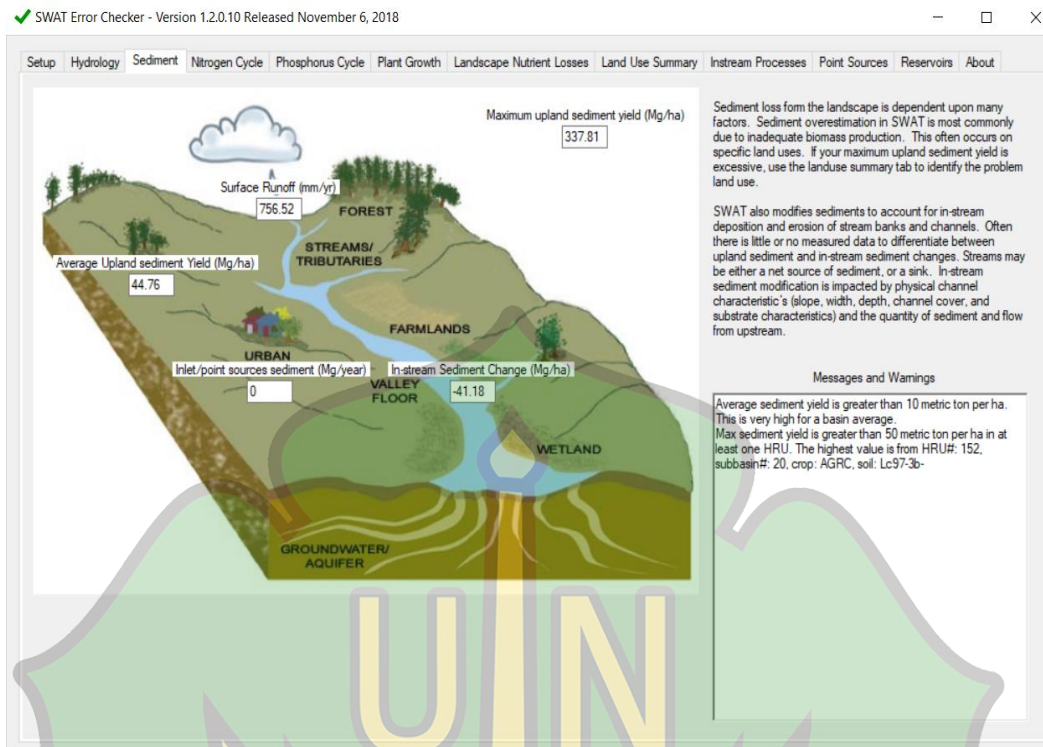
Gambar 4.5 Setup Model SWAT

Dapat dilihat pada Gambar IV.5 setup model SWAT pada Sub DAS Krueng Khea, simulasi model dilakukan selama 11 tahun (2010-2020) dengan 1 tahun (2010) sebagai tahun pemanasan dan hasil simulasi model yang dikeluarkan merupakan hasil waktu bulanan. Output SWAT pada Sub DAS Krueng Khea terbentuknya 211 HRU (*Hydrologic Response Units*) atau 29 Sub Basins dengan watershed area seluas 47,51 Km². Selanjutnya, terkait keadaan hidrologi pada Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Output SWAT Hidrologi Sub DAS Krueng Khea

Gambar IV.6 merupakan hasil analisis hidrologi SWAT yang menggunakan neraca air sebagai dasar pemodelan. Siklus hidrologi dalam model SWAT terbagi menjadi dua fase, yaitu fase lahan dan fase air. Fase lahan mengatur jumlah air, sedimen, unsur hara dan pestisida dalam pengisian saluran utama pada setiap *Sub Basins*. Sedangkan fase air berupa pergerakan air, sedimen, dan lainnya melalui jaringan sungai pada Sub DAS Krueng Khea menuju outlet. Hasil dari hidrologi yang terbentuk di model SWAT Sub DAS Krueng Khea pada Gambar IV.6 mengeluarkan *Message and Warnings* yang mana dikatakan hasil air dan limpasan permukaan mungkin berlebihan dan ini digambarkan dengan intensitas hujan yang turun melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Limpasan berlebihan merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya erosi yang terjadi di Sub DAS Krueng Khea. Besarnya nilai limpasan permukaan yang terjadi di daerah hilir Sub DAS Krueng Khea merupakan wilayah dengan penutup lahannya pertanian dan perkebunan. Limpasan permukaan yang terjadi pada Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada Gambar 4.7.



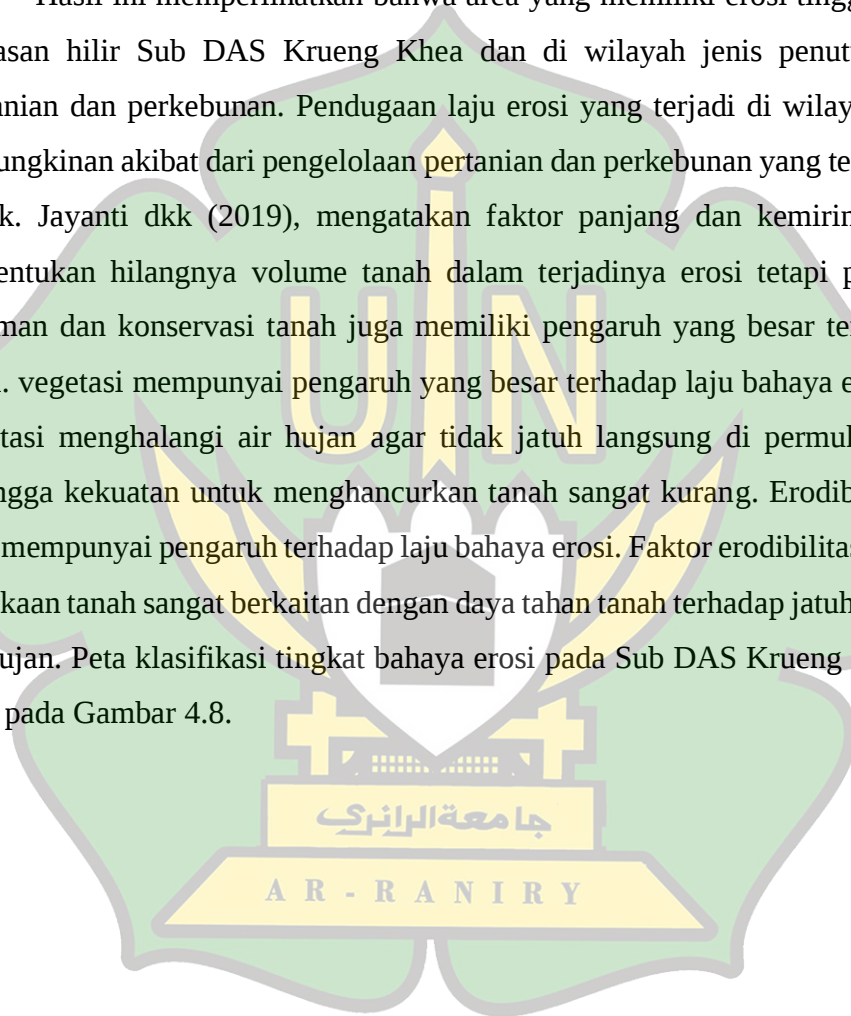
Gambar 4.7 Output SWAT Sedimentasi Sub DAS Krueng Khea

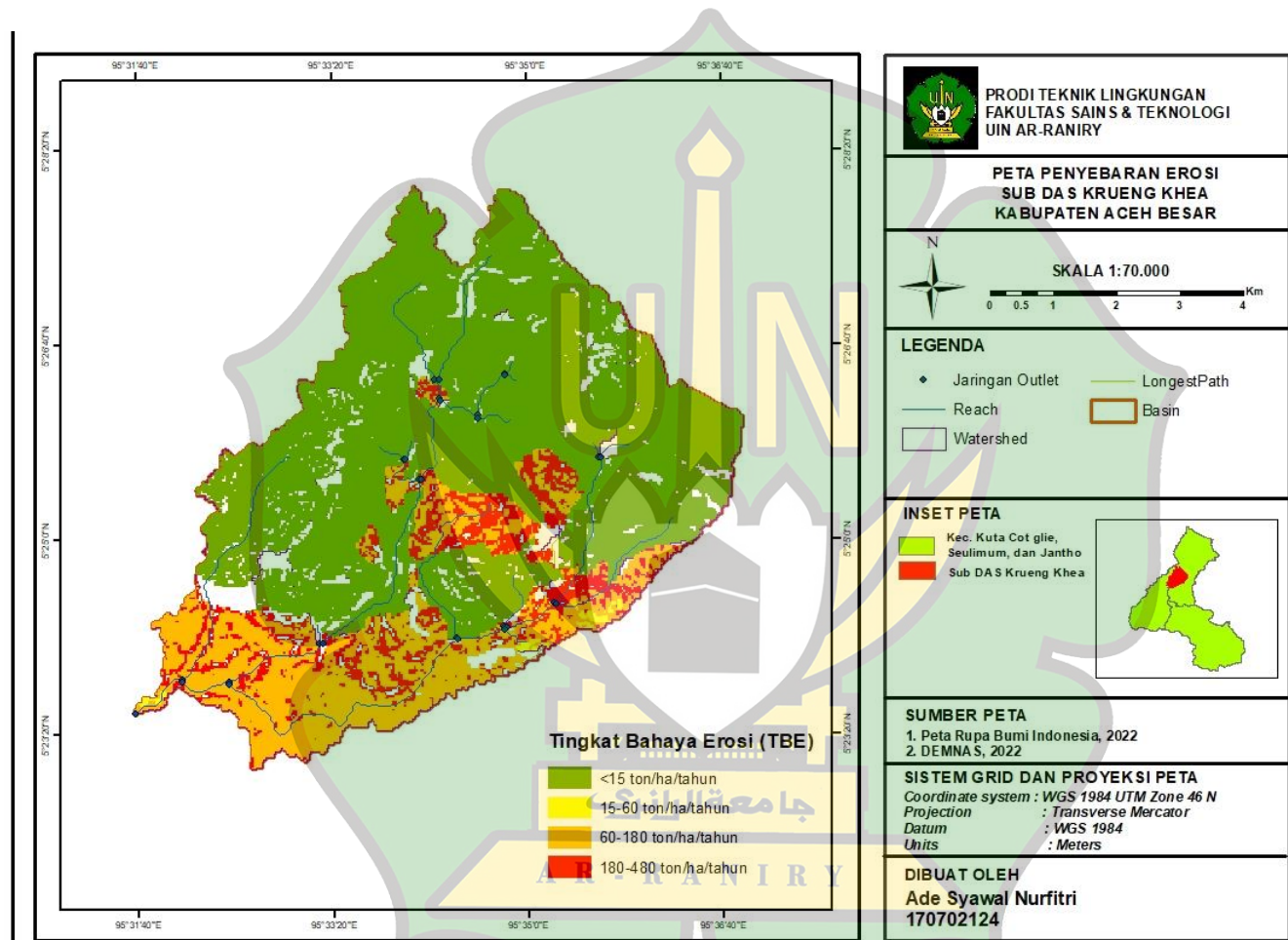
Gambar 4.7 merupakan hasil simulasi model SWAT pada Sub DAS Krueng Khea yang menggambarkan terjadinya sedimentasi. Limpasan permukaan yang terjadi menghasilkan 756,52 mm/tahun dengan hasil maksimum sedimen 337,81 Mg/ha dan hasil rata-rata sedimen 44,76 Mg/ha kemudian perubahan sedimen aliran yaitu 41,18 Mg/Ha. Pada *Messages and Warnings* model SWAT disebutkan hasil sedimen rata-rata lebih besar dari 10 metrik ton/ha ini sangat tinggi untuk rata-rata cekungan. Sedangkan, hasil sedimen maksimum lebih besar dari 50 metrik ton/ha di setiap HRU.

Kemudian, terkait hasil simulasi model SWAT mengenai erosi di Sub DAS Krueng Khea menunjukkan bahwa laju erosi pada periode tahun 2011-2020 berada dalam kelas TBE I-IV sesuai yang tercantum pada Tabel II.1. Pada kawasan hulu Sub DAS Krueng Khea yang penutup lahannya didominasi oleh FRSE (Hutan) dan FRST (Perkebunan) dengan klasifikasi kemiringan lereng 0-8% sampai 8-15% terjadinya laju erosi dengan kelas I (sangat ringan) dan kelas II (ringan) yang mengalami kehilangan tanah <15 (ton/ha/tahun) sampai 15-60 (ton/ha/tahun).

Selanjutnya, laju erosi kelas III (Sedang) dan IV (Berat) dalam kelas TBE yang mengalami kehilangan tanah 60-180 (ton/ha/tahun) sampai 180-480 (ton/ha/tahun) terjadi di bagian hilir atau titik *outlet* dalam Sub DAS Krueng Khea dengan penutupan lahannya yaitu AGRC (pertanian) dan FRST (perkebunan) yang klasifikasi kemiringan lereng 0-8% (datar) sampai 8-15% (landai).

Hasil ini memperlihatkan bahwa area yang memiliki erosi tinggi terjadi di kawasan hilir Sub DAS Krueng Khea dan di wilayah jenis penutupan lahan pertanian dan perkebunan. Pendugaan laju erosi yang terjadi di wilayah tersebut kemungkinan akibat dari pengelolaan pertanian dan perkebunan yang terjadi sangat buruk. Jayanti dkk (2019), mengatakan faktor panjang dan kemiringan lereng menentukan hilangnya volume tanah dalam terjadinya erosi tetapi pengelolaan tanaman dan konservasi tanah juga memiliki pengaruh yang besar terhadap laju erosi. vegetasi mempunyai pengaruh yang besar terhadap laju bahaya erosi karena vegetasi menghalangi air hujan agar tidak jatuh langsung di permukaan tanah, sehingga kekuatan untuk menghancurkan tanah sangat kurang. Erodibilitas tanah juga mempunyai pengaruh terhadap laju bahaya erosi. Faktor erodibilitas tanah atau kepekaan tanah sangat berkaitan dengan daya tahan tanah terhadap jatuhnya butiran air hujan. Peta klasifikasi tingkat bahaya erosi pada Sub DAS Krueng Khea dapat lihat pada Gambar 4.8.

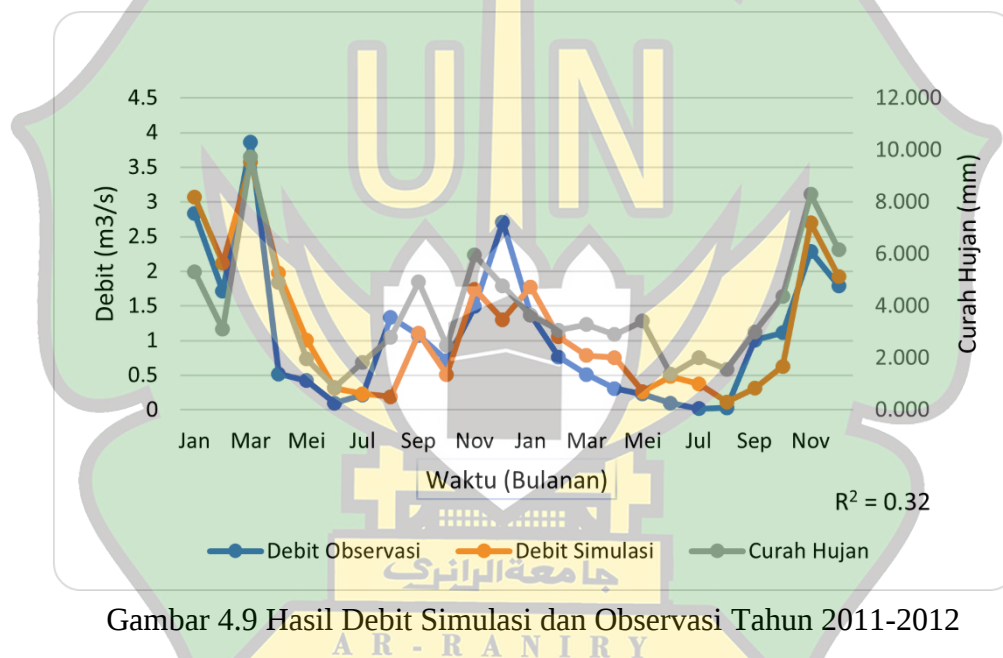




Gambar 4.8 Peta Penyebaran Erosi di Sub DAS Krueng Khea

4.4 Kalibrasi dan Validasi Model SWAT

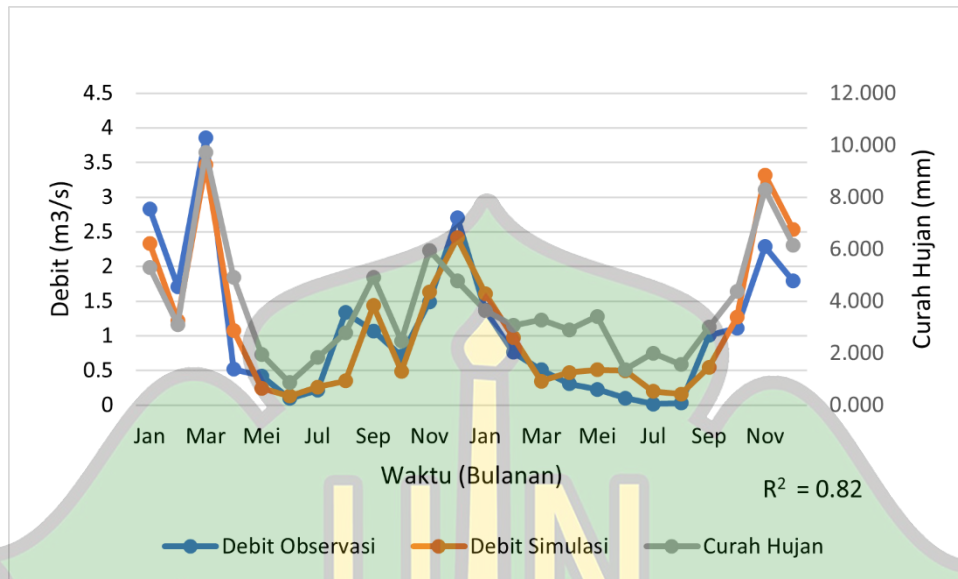
Simulasi model SWAT yang telah dilakukan pada Sub DAS Krueng Khea menunjukkan tidak terjadinya korelasi antara hasil debit simulasi dengan data debit observasi. Pada gambar 4.9 dapat dilihat perbedaan nilai debit simulasi model dengan data debit observasi pada tahun 2011 dan 2012 sebagai tahun perbandingan. Nilai R^2 yang dihasilkan sebelum dilakukan kalibrasi yaitu 0,32. Sesuai dengan kategori nilai koefisien *determinasi* pada Tabel 3.3 hasil ini dikelompokkan dalam kategori kurang baik. Sehingga, perlu dilakukan kalibrasi dalam mengoptimalkan korelasi hasil debit simulasi model dengan debit observasi di Sub DAS Krueng Khea.



Gambar 4.9 Hasil Debit Simulasi dan Observasi Tahun 2011-2012

Tahap kalibrasi model SWAT yang telah dilakukan dalam penelitian ini menggunakan program SWAT CUP dengan versi SWAT 2012 dan jenis program 64-bit *release* dengan metode yang digunakan yaitu SUFI2. Hasil kalibrasi yang didapatkan yaitu dengan nilai R^2 0,82 dan NS 0,8. Sesuai dengan keterangan yang terdapat pada Tabel 3.3 dan 3.4 maka hasil ini masuk dalam kategori sangat baik, tetapi perlu dilakukan validasi terhadap perbandingan tahun simulasi lainnya agar

dapat diambil kesimpulan. Berikut dapat dilihat hasil debit kalibrasi yang dijalankan program SWAT-CUP pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil Kalibrasi Model SWAT Sub DAS Krueng Khea Tahun 2011-2012

Pada penelitian ini digunakan 33 parameter pada kalibrasi Sub DAS Krueng Khea yang diperkirakan sangat mempengaruhi hasil simulasi secara signifikan. Hasil nilai parameter yang digunakan pada kalibrasi Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Parameter Terbaik Kalibrasi Sub DAS Krueng Khea

No	Parameter_Name	Definisi	Fitted_Value
1	r__CN2.mgt	Nomor kurva limpasan awal untuk kondisi kelembaban	69,39
2	v__ALPHA_BF.gw	Faktor aliran dasar (1/hari)	9,97
3	v__GW_DELAY.gw	Waktu tunda air tanah (hari)	493,17
4	v__GWQMN.gw	Ambang batas kedalaman air di akuifer dangkal yang dibutuhkan untuk aliran kembali terjadi (mm H ₂ O)	5867,44
5	r__SURLAG.bsn	Koefisien limpasan permukaan	77,46

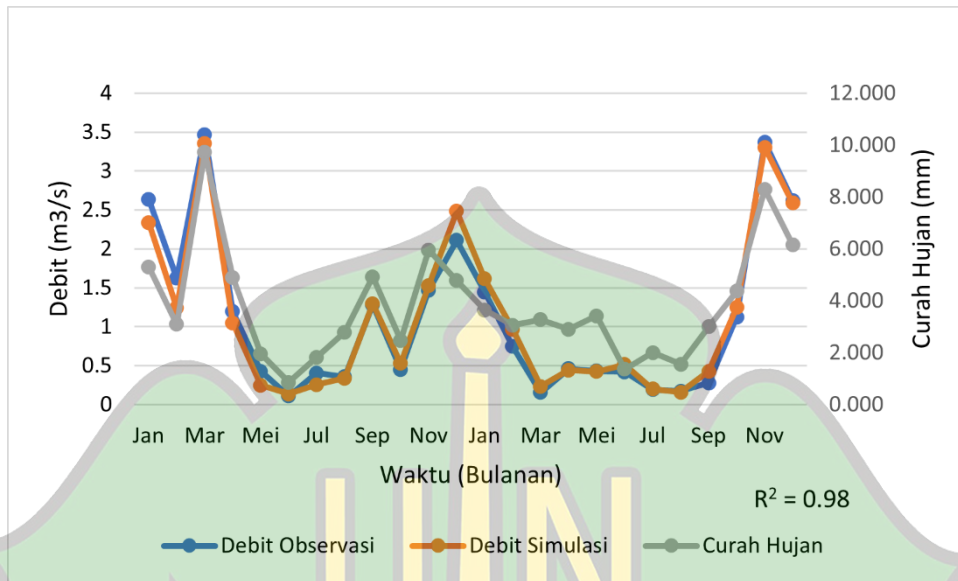
6	r__CH_L1.sub	Panjang saluran terpanjang di anak sungai (km)	169,07
7	r__CH_S1.sub	Kemiringan rata-rata saluran anak sungai (mm)	31,98
8	r__CH_K1.sub	Konduktivitas hidrolik yang efektif di saluran anak sungai alluvium (mm/jam)	41,21
9	r__CH_W1.sub	Lebar rata-rata saluran anak sungai (m)	170,31
10	r__SLSUBBSN.hru	Panjang lereng rata-rata (m)	144,13
11	r__OV_N.hru	Nilai "n" Manning untuk aliran darat	1,76
12	r__SLSOIL.hru	Panjang lereng untuk aliran bawah permukaan lateral (m)	0,16
13	r__LAT_TTIME.hru	Waktu tempuh aliran lateral (hari)	154,41
14	v__REVAPMN.gw	Batas kedalaman air di akuifer dangkal untuk "revap" atau perkolasi ke akuifer dalam akan terjadi (mm H ₂ O)	191,78
15	v__GW_REVAP.gw	Koefisien "revap" air tanah	3,15
16	v__RCHRG_DP.gw	Fraksi perkolasi akuifer dalam	11,87
17	v__GW_SPYLD.gw	Hasil spesifik akuifer dangkal (m ³)	5,86
18	v__SOL_K.sol	Konduktivitas hidrolik jenuh (mm/jam)	1206,33
19	r__SOL_BD.sol	Massa jenis lembab (Mg/m ³)	-2,92
20	r__SOL_AWC.sol	Kapasitas air tersedia lapisan tanah (mm H ₂ O/mm tanah)	-0,45
21	r__SOL_CRK.sol	Volume retak potensial atau maksimum dari profil tanah dinyatakan sebagai fraksi dari total volume tanah	5,29
22	r__CNOP.mgt	Nomor kurva limpasan untuk kondisi kelembaban	166,33

23	r__CH_N1.sub	Nilai "n" Manning untuk saluran anak sungai	16,06
24	v__ESCO.hru	Faktor kompensasi penguapan tanah	0,82
25	v__SFTMP.bsn	Suhu hujan salju (°C)	32,73
26	v__SMFMN.bsn	Faktor lelehan salju pada 21 Desember (mm H ₂ O/°C-hari)	29,62
27	v__SMFMX.bsn	Faktor leleh untuk salju pada 21 Juni (mm H ₂ O/°C-hari)	-0,01
28	v__TIMP.bsn	Faktor suhu salju	2,78
29	v__CH_N2.rte	Nilai "n" Manning untuk saluran utama	1,51
30	v__CH_K2.rte	Konduktivitas hidrolis yang efektif di alluvium saluran utama (mm/jam)	-0,73
31	r__CO2.sub	Konsentrasi karbon dioksida (ppmv)	1038,23
32	v__CANMX.hru	Penyimpanan kanopi maksimum (mm H ₂ O)	46,65
33	v__EPCO.hru	Faktor kompensasi serapan tanaman	6,78

(Sumber: SWAT-CUP, 2022)

FLOW OUT 28 merupakan variabel yang dipilih sebagai keluaran nilai kalibrasi. Variabel ini merupakan *Sub Basins* 28 dari jumlah 29 *Sub Basins* pada Sub DAS Krueng Khea. *Sub Basins* 28 merupakan *outlet* Sub DAS Krueng Khea. Dalam mencapai pemodelan SWAT yang sempurna perlu dilakukan validasi dengan parameter yang sama dan tahun yang berbeda. Data debit observasi Sub DAS Krueng Khea yang digunakan pada penelitian ini merupakan data debit

observasi tahun 2016-2017 Sub DAS Krueng Khea. Hasil Validasi model SWAT pada Sub DAS Krueng Khea dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Validasi Model SWAT Sub DAS Krueng Khea Tahun 2016-2017

Pada Gambar 4.11 hasil validasi yang telah dilakukan mengeluarkan nilai R^2 0,98 dan NS 0,98. Model SWAT yang telah dilakukan pada Sub DAS Krueng Khea dianggap sempurna dikarenakan sesuai dengan keterangan koefisien *Nash Sutcliffe* (NS) dan koefisien *determinasi* (R^2) yang terdapat pada Tabel 3.2 dan 3.3.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Laju erosi dan sedimentasi tertinggi pada Sub DAS Krueng Khea terjadi pada wilayah hilir dengan jenis penutupan lahan pertanian dan perkebunan. Laju erosi dan sedimentasi yang terjadi di wilayah tersebut diduga akibat dari pengelolaan tanaman dan konservasi yang terjadi sangat buruk. Pada wilayah hilir laju erosi yang terjadi yaitu kelas III (Sedang) dan IV (Berat) dalam kelas TBE dengan kehilangan tanah 60-180 (ton/ha/tahun) dan 180-480 (ton/ha/tahun).
2. Hasil Simulasi Model SWAT pada Sub DAS Krueng Khea sudah dikatakan berhasil karena setelah dilakukan kalibrasi nilai R^2 yaitu 0,82 dan NS 0,81 dan validasi dengan nilai R^2 0,98 dan NS 0,98. Hasil ini menunjukkan kesesuaian model dengan keadaan di Sub DAS Krueng Khea.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka saran yang diberikan yaitu:

1. Sub DAS Krueng Khea perlu dilakukan pengelolaan dan konservasi penggunaan lahan agar mampu meminimalisir terjadinya erosi dan sedimentasi
2. Parameter dalam kalibrasi model sangat mempengaruhi perubahan nilai debit di Sub DAS yang ingin diteliti dalam pemodelan SWAT. Sehingga, parameter yang dipilih harus sesuai dengan karakteristik DAS tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Auliyani, D., dan Wijaya, W. W. (2017). Perbandingan Prediksi Hasil Sedimen Menggunakan Pendekatan *Model Universal Soil Loss Equation* dengan Pengukuran Langsung (*Comparison of sediment yield from prediction using Universal Soil Loss Equation with direct measurement*). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 1(1), 61-71.
- Azmeri, S. T. (2020). *Erosi, Sedimentasi, dan Pengelolaannya*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press. ISBN: 978-623-264-099-3.
- Christanto, N., Setiawan, M. A., Nurkholis, A., Istiqomah, S., Sartohadi, J., dan Hadi, M. P. (2018). Analisis laju sedimen DAS Serayu Hulu dengan menggunakan model SWAT. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 50.
- Darwin, D., Syahrul, S., dan Basri, H. (2021). Analisis Karakteristik Hidrologi DAS Krueng Aceh, Provinsi Aceh (Studi Kasus Sub DAS Krueng Jreu dan Sub DAS Krueng Khea). *Rona Teknik Pertanian*, 14(1), 58-72.
- Hambali, R., dan Apriyanti, Y. (2016). Studi Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng Kabupaten Bangka Barat. *Jurnal FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 4(2), 165-174.
- Jabbar, F. K., dan Grote, K. (2020). Evaluation of the predictive reliability of a new watershed health assessment method using the SWAT model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 1-21.
- Jayanti, D. S., Maulidawati, M., dan Mahbahgie, M. (2019). Analisis Spasial dan Basis Data Tingkat Bahaya Erosi dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Visual Basic. *Rona Teknik Pertanian*, 12(2), 23-38.
- Kadir, Z. A., dan Bahagia, B. (2019). Analisis Keragaman Tanaman Sebagai Jasa Lingkungan Pada Lanskap Agroforestri di Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2). ISSN: 2528-3561
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No P. 61/MENHUT II/2014 *Tentang Monitoring Dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*.
- Putri, A., Chairani, S., & Ichwana, I. (2016). Analisis Neraca Air Permukaan Sub DAS Krueng Khee Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 1(1), 1002-1008.
- Kironoto, B. A., Yulistiyanto, B., dan Olii, M. R. (2021). *Erosi Dan Konservasi Lahan*. Yogyakarta: UGM press. ISBN: 978-602-386-942-8
- Lihawa, F. (2017). *Daerah Aliran Sungai Alo Erosi, Sedimentasi dan Longsor*. Deepublish.

- Palenga, M. F., Nasjono, J. K., dan Pah, J. J. (2020). Prediksi erosi di daerah aliran sungai dan sedimentasi pada bendungan Temef. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 241-254.
- Rahmad, R., Nurman, A., dan Wirda, M. A. (2017). Integrasi Model SWAT dan SIG dalam Upaya Menekan Laju Erosi DAS Deli, Sumatera Utara. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(1), 46-55.
- Salampessy, M., L. Pratiwi., L. Aisyah dan Panjaitan., P., PB. (2020). *Buku ajar pengelolaan daerah aliran sungai*. Bogor: IPB press. ISBN: 978-623-256-067-3
- Suhartanto, E. Cahaya, E, N. Maknun, L. (2019). Analisa Limpasan Berdasarkan Curah Hujan Menggunakan Model *Artificial Neural Network* (ANN) Di Sub DAS Brantas Hulu. 10(2). 134-144.
- Sujarwo, M. W., Indarto, I., dan Mandala, M. (2020). Pemodelan Erosi dan Sedimentasi di DAS Bajulmati: Aplikasi *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 218-227
- Syahputra, A., dan Arifitama, B. (2018). Pengembangan Alat Peraga Edukasi Proses Siklus Air (Hidrologi) Menggunakan Teknologi Augmented Reality. *Semnasteknomedia Online*, 6(1), 2-11.
- Tsabitah, S. D., Satriyo, P., dan Syahrul, S. (2022). Valuasi Ekonomi DAS Krueng Aceh Berdasarkan Metode Willingness to Accept (WTA). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(3), 315-321.
- Utomo, D. P., Suprayogi, I., dan Fauzi, M. (2020). Kalibrasi Model *Soil dan Water Assessment Tool* (SWAT) Untuk Pengelolaan Sub DAS Tapung Kiri. *Jurnal Aptek*, 12(2), 147-155. e-ISSN 2655-9897
- Yusuf, S. M., Murtalaksono, K., dan Lawaswati, D. M. (2020). Pemetaan sebaran erosi tanah prediksi melalui integrasi model USLE ke dalam Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(4), 594-606. E-ISSN: 2460-5824.