

**DAMPAK PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP
SEDIMENTASI DAERAH TANGKAPAN AIR RENCANA PEMBANGUNAN
BENDUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR BUTTU BATU
*THE IMPACT OF CHANGES IN LAND USE ON THE SEDIMENTATION OF THE
WATERSHED DAM DEVELOPMENT PLAN FOR THE BUTTU BATU
HYDROELECTRIC POWER PLANT***

Armin Ridha

P022182003



**SEKOLAH PASCASARJANA
PROGRAM STUDI
PERENCANAAN PEMBANGUNAN WILAYAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

PERNYATAAN PENGAJUAN

DAMPAK PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP SEDIMENTASI DAERAH TANGKAPAN AIR RENCANA PEMBANGUNAN BENDUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR BUTTU BATU

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah

Disusun dan diajukan oleh

ARMIN RIDHA

P022182003

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**DAMPAK PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP SEDIMENTASI
DAERAH TANGKAPAN AIR RENCANA PEMBANGUNAN BENDUNGAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR BUTTU BATU**

Disusun dan diajukan oleh

Armin Ridha

P022182003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 10 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi Syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

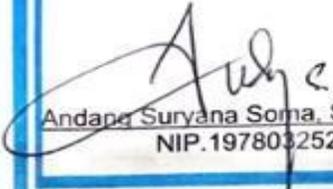
Pembimbing Pendamping

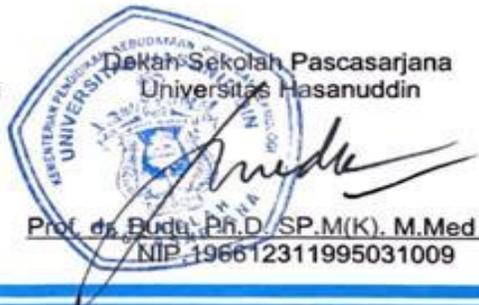

Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP
NIP.19700603 199403 1 003


Dr. Ir. Roland Alexander Barkey
NIDK.8842723420

Ketua Program Studi,
Perencanaan dan Pengembangan Wilayah

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin


Andang Suryana Soma, S.Hut., M.P., Ph.D
NIP.197803252008121002


Prof. dr. Budi, Ph.D., SP.M(K), M.Med Ed
NIP.196612311995031009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Armin Ridha

Nomor Mahasiswa : P022182003

Program Studi : Perencanaan dan Pengembangan Wilayah

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2023



Armin Ridha

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbilalamin. Segala puji hanya layak untuk Allah SWT, Tuhan seru sekalian alam atas segala berkah, rahmat, taufik, serta hidayahNya yang tiada terkira besarnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai syarat untuk mencapai gelar magister pada Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah, Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita, manusia agung nabiullah Muhammad SAW beserta keluarga, dan para sahabatnya.

Adapun judul penelitian ini adalah: " Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Sedimentasi Daerah Tangkapan Air Rencana Pembangunan Bendungan Pembangkit Listrik Tenaga Air Buttu Batu". Penulis berharap mampu memberikan kontribusi terhadap kemajuan daerah melalui penelitian ini. Oleh karena itu hasilnya bisa dijadikan referensi bagi pemerintah terkait dalam mengarahkan pembangunan di masa yang akan datang.

Dalam menyelesaikan Tesis ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik berupa pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada yang terhormat para pembimbing: Dr. Ir. Mahmud Achmad dan Dr. Ir. Roland A.Barkey. Dimana di tengah-tengah kesibukannya masih tetap meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, petunjuk, dan mendorong semangat penulis untuk menyelesaikan penulisan tesis ini.

Perkenankanlah juga, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian studi ini, kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin, Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc, atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan.

2. Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Prof. dr. Budu, Ph.D.,Sp.M(K),M. MedEd. atas kesempatan yang diberikan menjadi mahasiswa Program Magister Perencanaan dan Pengembangan Wilayah di Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
3. Ketua Program Studi Magister Perencanaan dan Pengembangan Wilayah, Universitas Hasanuddin. Andang Suryana Soma, S.Hut., M.P.,Ph.D.
4. Prof.Dr.Ir Hazairin Subair, Prof.Dr.ir. Ahmad Munir M.eng dan Dr. Samsu Arif, selaku penguji yang telah banyak memberikan kritik, masukan dan saran yang sangat konstruktif selama penyusunan tesis.
5. Orang Tua tercinta, Ayahanda Drs Zainuddin Hamjah dan Ibunda St Rubaeni atas kasih sayang, cinta, perhatian, pengorbanan, limpahan materi, dan doa yang tiada henti-hentinya dipanjatkan untuk mengiringi langkah penulis demi kesehatan dan keselamatan dalam menempuh jenjang pendidikan hingga penyelesaian tugas akhir.
6. Mertua tercinta, Ayahanda Muhammad Hatta dan Ibunda Supiati Saleh yang penuh rasa kasih sayang memberi semangat dan dorongan kepada penulis.
7. Istri tercinta Inda Wahyuni, S,hut yang menjadi spirit penyemangat. Terimakasih atas perhatian, pengorbanan, dan doa dalam setiap akhir sujudnya yang tiada henti-hentinya dipanjatkan untuk mengiringi langkah penulis menyelesaikan tugas akhir.
8. Kepada Kakak Ir. Muthmainnah Zainuddin, S.Hut.,M.Hut.,IPP dan Nurfaidah Zainuddin, SKm., M.Kes yang memberikan doa dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tesis.
9. Rekan-rekan Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Spasial Kehutanan atas pengertian, doa dan dorongan semangat kepada penulis dalam penulisan Tesis ini.
10. Kepada Pak Munajat Nursaputra dan Pak Chairil A atas arahan dan sharing keilmuan terkait masukan dalam penulisan Tesis ini.
11. Kepada seluruh senior, junior, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang turut mendukung selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian ucapan terima kasih yang penulis sampaikan, Mohon maaf jika seandainya dalam penulisan ini terdapat kekurangan dan kekeliruan. penulis juga menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi menyempurnakan penulisan tesis ini. semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan tentunya berharap apa yang kita lakukan senantiasa mendapat Ridho dari-Nya, Amin, Ya Rabbalalamin.

Makassar, Agustus 2023

Armin Ridha

ABSTRAK

Armin Ridha. *Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Sedimentasi Daerah Tangkapan Air Rencana Pembangunan Bendungan Pembangkit Listrik Tenaga Air Buttu Batu* (dibimbing oleh Mahmud Achmad dan Roland A. Barkey)

Penelitian ini bertujuan (1) melakukan skenario perubahan penggunaan lahan tahun 2020 hingga tahun 2120 kedepan pada Daerah Tangkapan Air (DTA) Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Buttu Batu, (2) mengidentifikasi luasan kelas sedimen berdasarkan Sub Das Rencana Pembangunan PLTA Buttu Batu dimasa akan datang, (3) menyusun arahan penggunaan lahan yang tepat dalam menurunkan besaran hasil sedimen DTA Bendungan Buttu Batu. Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2021 di wilayah Daerah Tangkapan Air (DTA) Buttu Batu pada rencana pembangunan Bendungan PLTA Desa Buttu Batu, Kecamatan Enrekang, Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan. Data di analisis dengan menggunakan analisis model *Cellular Automata* dalam prediksi penggunaan lahan dan analisis model Hidrologi model SWAT untuk mengeluarkan data kelas sedimen.

Hasil penelitian menunjukkan (1) terjadi dinamika perubahan penggunaan lahan dimasa yang akan datang tahun 2120 di DTA Buttu Batu berupa peningkatan luasan pemukiman, sawah dan pertanian lahan kering, (2) hasil sedimen dari tahun 2020 hingga tahun 2120 mengalami peningkatan luasan kelas sedimen tinggi dan sangat tinggi pada 180 Sub Das dan (3) arahan penggunaan lahan yang direncanakan untuk menanggulangi kelas sedimen tinggi dan sangat tinggi dengan memaksimalkan penggunaan lahan berupa lahan terbuka dilakukan penanaman pohon dan penerapan kombinasi lahan kehutanan dan pertanian musiman. Penerapan tersebut mampu menekan kelas sedimen tinggi dan sangat tinggi tahun 2120 dan menjadi berkurang menjadi 145 Sub Das dari kelas tinggi, sangat tinggi ke kelas rendah dan sangat rendah.

Kata Kunci : *Cellular Automata, Hidrologi, DTA Buttu Batu, Bendungan*

ABSTRACT

Armin Ridha. *The Impact of Changes in Land Use on the Sedimentation of the Watershed Dam Development Plan for the Buttu Batu Hydroelectric Power Plant (supervised by Mahmud Achmad and Roland A. Barkey)*

This study aims to (1) carry out scenarios of changes in land use from 2020 to 2120 in the future in the Water Catchment Area (DTA) of the Buttu Batu Hydroelectric Power Plant (PLTA) Development Plan, (2) identify the area of sediment class based on the Buttu Hydropower Development Plan Sub-Das Batu in the future, (3) develop appropriate land use directions in reducing the amount of sediment yield from the Buttu Batu Dam catchment area. This research was carried out in 2021 in the Buttu Batu Catchment Area (DTA) in the planned construction of the Buttu Batu Hydropower Dam, Enrekang District, Enrekang Regency, South Sulawesi Province. The data were analyzed using the Cellular Automata model analysis in predicting land use and the SWAT Hydrological model analysis to extract sediment class data.

The results showed (1) the dynamics of land use change in the future in 2120 in the Buttu Batu catchment in the form of an increase in the area of settlements, paddy fields and dry land agriculture, (2) sediment yields from 2020 to 2120 experienced an increase in the area of high sediment class and very high in 180 sub-watersheds and (3) land use directives planned to tackle high and very high sediment classes by maximizing land use in the form of open land by planting trees and applying a combination of forestry land and seasonal agriculture. This application was able to suppress high and very high sediment classes in 2120 and was reduced to 145 sub-watersheds from high, very high to low and very low classes.

Keywords: *Cellular Automata, Hidrology Buttu Batu DTA, Dam*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN PENGAJUAN	2
LEMBAR PENGESAHAN	3
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	3
UCAPAN TERIMA KASIH	4
ABSTRAK	8
ABSTRACT	9
DAFTAR ISI	10
DAFTAR TABEL	13
DAFTAR GAMBAR	14
BAB I. PENDAHULUAN	16
1.1. Latar Belakang	16
1.2. Rumusan Masalah	18
1.3 Tujuan Penelitian	18
1.4. Kegunaan Penelitian.....	18
BAB II. Metode Penelitian	19
2.1. Waktu dan Tempat.....	19
2.2. Alat dan Bahan	19
2.3. Sumber Data dan <i>Variabel</i> Penelitian.....	20
2.4. Prosedur Penelitian	21
2.4.1. Pengumpulan Data	21
1. Data Elevation Model	21
2. Data Penggunaan Lahan dan Kawasan Hutan	21
3. Data Fisik dan Kimia Tanah	22
4. Data Kelerengan	22
5. Data Iklim.....	22
2.4.2. Model dan Simulasi Prediksi Penggunaan Lahan	23
2.4.3. Proyeksi Curah Hujan dan Suhu Tahun 2100-an.....	34

2.4.4. Prosedur Simulasi SWAT	35
2.4.5. Analisis Hasil Sedimentasi	43
2.4.6. Arahan Penggunaan Lahan	43
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
3.1. Keadaan Umum Wilayah Penelitian	45
3.1.1. Keadaan Umum Wilayah Sub Das DTA Buttu Batu	45
3.1.2. Penggunaan Lahan dalam Kawasan Hutan	47
3.1.3. Kelas Kemampuan Lahan.....	49
3.2. Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan DTA Buttu Batu .	51
3.2.1. Perbandingan Penggunaan Lahan	51
3.2.2. Proyeksi Penggunaan Lahan Tahun 2120 M.....	52
3.2.3. Faktor Akses Jalan	57
3.2.4. Faktor Keberadaan Sungai	58
3.2.5. Faktor Pemukiman.....	60
3.3. Model SWAT dalam Analisis Hidrologi	61
3.3.1. Proyeksi Iklim Tahun 2100-an	61
3.3.2 Simulasi Model SWAT	65
3.3.3. Proses pembentukan Sub DAS	65
3.3.4. Proses pembentukan <i>Hydrological Respones Unit</i>	66
3.3.5. Proses Simulasi dan Validasi	67
3.4. Besaran Sedimentasi aktual dan proyeksi l.....	68
3.4.1. Sedimen Tahun 2020	70
3.4.2. Sedimen Tahun 2120	71
3.5. Pengendalian Kelas Sedimen	73
3.5.1 Arahan Penggunaan Lahan	73
3.5.2. Keterlibatan Pemerintah Daerah	77
3.5.3. Kondisi Sedimen Setelah Diarahkan	79
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	82
4.1. Kesimpulan	82

4.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Daftar Data Spasial dan Sumbernya	20
Tabel 2. Klasifikasi Penamaan Penggunaan Lahan untuk Model SWAT	21
Tabel 3. Bobot Penentuan driving factors dan constraint	28
Tabel 4. Klasifikasi Muatan Sedimen	43
Tabel 5. Kriteria klasifikasi kemampuan lahan.....	44
Tabel 6. Administrasi Kabupaten dan Sub DAS DTA Buttu Batu	46
Tabel 7. Luas Penutupan Lahan dalam Kawasan Hutan Pada DTA Buttu Batu	48
Tabel 8. Luas Kemampuan Lahan Pada DTA Buttu Batu	50
Tabel 9. Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2010 hingga 2020	51
Tabel 10. Luas Perbandingan Penggunaan Lahan Tahun 2020 dan 2120	55
Tabel 11. Perubahan penggunaan lahan tahun 2020 dan 2120 (jalan).....	57
Tabel 12. Perubahan penggunaan lahan tahun 2020 dan 2120 (Sungai)	59
Tabel 13. Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Berdasarkan Stasiun 2001-2020 (mm).	62
Tabel 14. Delta perubahan kondisi Curah hujan.....	64
Tabel 15. Luas Kelas Sedimen DTA Buttu Batu Tahun 2020.....	70
Tabel 16. Luas Kelas Sedimen DTA Buttu Batu Tahun 2120.....	72
Tabel 17. Arah penggunaan Lahan DTA Buttu Batu.....	76
Tabel 18. Total Penumpukan Sedimen	79
Tabel 19. Kondisi Kelas Sedimen Tahun 2020,2120 dan berdasarkan Arah.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian	19
Gambar 2. Algoritma <i>Cellular Automata</i> pada landuseSim	25
Gambar 3. Kerangka Simulasi Proyeksi Penggunaan Lahan Menggunakan	26
Gambar 4. Proses Import Data ASCII ke Aplikasi LanduseSim	27
Gambar 5. Proses <i>Fuzzy</i> pada Aplikasi LanduseSim	29
Gambar 6. <i>Fuzzy</i> Pada Aplikasi LanduseSim	29
Gambar 7. Proses Penentuan Bobot Faktor Pendorong	30
Gambar 8. Proses <i>Transition Potential Zoning (Import data Constrain)</i>	30
Gambar 9. Proses LUCC CA	31
Gambar 10. Validasi Nilai Data Penggunaan lahan aktual dan Proyeksi	32
Gambar 11. Kerangka Simulasi Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2120	33
Gambar 12. <i>A Statistical Bias Correction Tool for Generating</i>	35
Gambar 13. Proses Penentuan <i>Treshold</i>	36
Gambar 14. Proses <i>Create streams and outlets</i>	37
Gambar 15. Proses <i>outlet definition</i>	37
Gambar 16. Proses <i>calculate subbasin parameter</i>	38
Gambar 17. Proses Penginputan Nilai HRU	39
Gambar 18. Proses <i>Reclassify</i> Penggunaan Lahan	39
Gambar 19. Proses <i>Reclassify</i> Jenis Tanah	40
Gambar 20. Proses <i>Reclassify</i> Kelas Lereng	40
Gambar 21. Proses <i>Overlay</i> HRU	41
Gambar 22. Proses HRU <i>Definition</i>	41
Gambar 23. Proses Input Data Iklim	42
Gambar 24. Peta Administrasi Kabupaten dan Sub DAS DTA Buttu Batu	46
Gambar 25. Peta Kawasan Hutan DTA Buttu Batu	47
Gambar 26. Peta Kelas Kemampuan DTA Buttu Batu	50
Gambar 27. Hasil tahap penyediaan data menggunakan LanduseSim	53

Gambar 28. <i>Output Fuzzy Pada Software LanduseSim</i>	54
Gambar 29. Peta <i>Constrain</i> DTA Buttu Batu	54
Gambar 30. Peta Proyeksi Penggunaan Lahan Tahun 2120	56
Gambar 31. Kondisi penggunaan lahan Sekitar Sungai Utama DTA Buttu Batu	59
Gambar 32. Peta Stasiun Curah Hujan.....	61
Gambar 33. Grafik Persentase Delta Perubahan Curah Hujan	64
Gambar 34. Peta Sub Das DTA Buttu Batu.....	66
Gambar 35. Grafik Hubungan Antara Debit Observasi dan Debit Simulasi	67
Gambar 36. Peta Kelas Sedimen DTA Buttu Batu Tahun 2020.....	71
Gambar 37. Peta Kelas Sedimen DTA Buttu Batu Tahun 2120.....	72
Gambar 38. Peta Arah Penggunaan Lahan DTA Buttu Batu	76
Gambar 39. Grafik Kelas Sedimen Berdasarkan Sub Das pada Tahun 2120	78
Gambar 39. Peta Sedimen Arah Penggunaan Lahan.....	81

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber daya air merupakan informasi yang sangat penting bagi perencanaan wilayah jangka panjang karena diperlukan guna terwujudnya segala aspek kehidupan (Abbaspour dkk., 2009). Salah satu sumber daya air yang memiliki peranan besar adalah sungai, sebagaimana dipahami sebagai aliran air dalam skala besar yang mengalir terus-menerus secara gravitasi dari tempat tinggi (hulu) menuju ke tempat yang lebih rendah (hilir). Sungai memiliki peran yang sangat penting bagi pemenuhan kebutuhan dasar manusia dan pertumbuhan ekonomi suatu wilayah (Bharati dkk., 2014). Khusus di Indonesia, sungai di manfaatkan untuk pemenuhan air lahan pertanian, budidaya ikan serta pada beberapa wilayah digunakan sebagai sarana transportasi (Rijal.S dkk.,2021). Bahkan saat ini, air sungai bukan hanya semata pemenuhan hal-hal tersebut tapi telah menjadi sumber energi terbarukan seperti generator listrik (Muis dkk., 2020).

Sumber energi terbarukan saat ini terus didorong karena kebutuhan energi semakin meningkat yang searah dengan pertambahan jumlah penduduk. Nawa cita pemerintah Indonesia yang tertuang dalam target RPJMN Periode 2020-2024 ingin mewujudkan pencapaian target rasio elektrifikasi secara nasional dari 86,74 persen yang saat ini menjadi 97,35 persen diakhir periode RPJMN. Dalam mendukung nawa cita tersebut tentunya banyak hal yang perlu diperhatikan terkhusus dalam merencanakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebagai sumber energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang memiliki potensi cukup besar di Indonesia karena banyaknya sungai dan danau yang deras airnya (Muis dkk., 2020).

Akan tetapi terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dari pembangunan pembangkit tenaga listrik dari tenaga air yang menggunakan sungai adalah faktor sedimen. Sedimen yang terjadi setiap saat dapat mempengaruhi umur bendungan yang

menyuplai tenaga air ke turbin. Proses sedimen apabila berlangsung terus menerus tanpa adanya kendali yang memadai akan mengakibatkan kerusakan lingkungan yang sangat luas sehingga berpengaruh terhadap pengelolaan DAS (Febrianingrum dkk, 2011).

Saat ini pemerintah sedang merencanakan pembangunan bendungan PLTA Berkapasitas 2x100 MW berada pada Daerah Tangkapan Air Buttu Batu. Mengantisipasi perencanaan strategis dimasa akan datang, kajian terkait dinamika penggunaan lahan guna menjaga kesetimbangan kondisi hidrologi sangat penting dilakukan. Buttu Batu yang merupakan Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Saddang saat ini terus mengalami ancaman terhadap peningkatan erosi dan sedimen. Hal yang wajar terjadi, mengingat bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) Saddang masuk dalam kategori DAS prioritas atau harus dipulihkan (Hunggul, 2015).

Kondisi masyarakat sangat berkaitan langsung dengan aktifitas penggunaan lahan pada suatu wilayah hingga perubahan penggunaan lahan dapat terjadi setiap saat, baik dari alam maupun dari aktivitas manusia. Selain itu penggunaan lahan disuatu area dengan pertumbuhan kependudukan yang tinggi dengan segala aktifitasnya, dapat memberikan pengaruh meningkatnya dampak negatif terhadap lahan (Chairil, Barkey, dkk., 2021). Pertumbuhan penduduk aktifitasnya yang lebih intens hingga dapat menjadi pemicu perubahan penggunaan lahan (Khawaldah, dkk., 2020).

Diperlukan kajian faktor-faktor penyebab (*Driving Faktor*) terjadinya perubahan penggunaan lahan, faktor penghambat (*Counstrain*) untuk melihat sejauh mana perubahan lahan yang dapat mengancam fungsi hidrologi pada bendungan pasca dibangun. Melihat besaran sedimen yang terjadi akibat perubahan penggunaan lahan menggunakan *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) yakni program berbasis GIS. Program ini yang dapat menyelesaikan permasalahan pada DAS, salah satu kemampuannya untuk memprediksi sedimen pada badan sungai. sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam memberikan rekomendasi arahan penggunaan lahan untuk menjaga kesetimbangan kondisi hidrologi.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana dinamika perubahan lahan yang terjadi pada DTA Bendungan Buttu Batu
2. Bagaimana luasan kelas sedimen yang terjadi pada DTA Bendungan Buttu Batu dimasa mendatang.
3. Bagaimana Strategi penanggulangan sedimentasi keluaran pada DTA Bendungan Buttu Batu.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Melakukan skenario perubahan penggunaan lahan 100 tahun (Tahun 2120) kedepan pada DTA Rencana Pembangunan PLTA Buttu Batu.
2. Menganalisis luasan kelas sedimen DTA Rencana Pembangunan PLTA Buttu Batu dimasa akan datang.
3. Menyusun arahan penggunaan lahan yang tepat dalam menurunkan besaran hasil sedimen DTA Bendungan Buttu Batu.

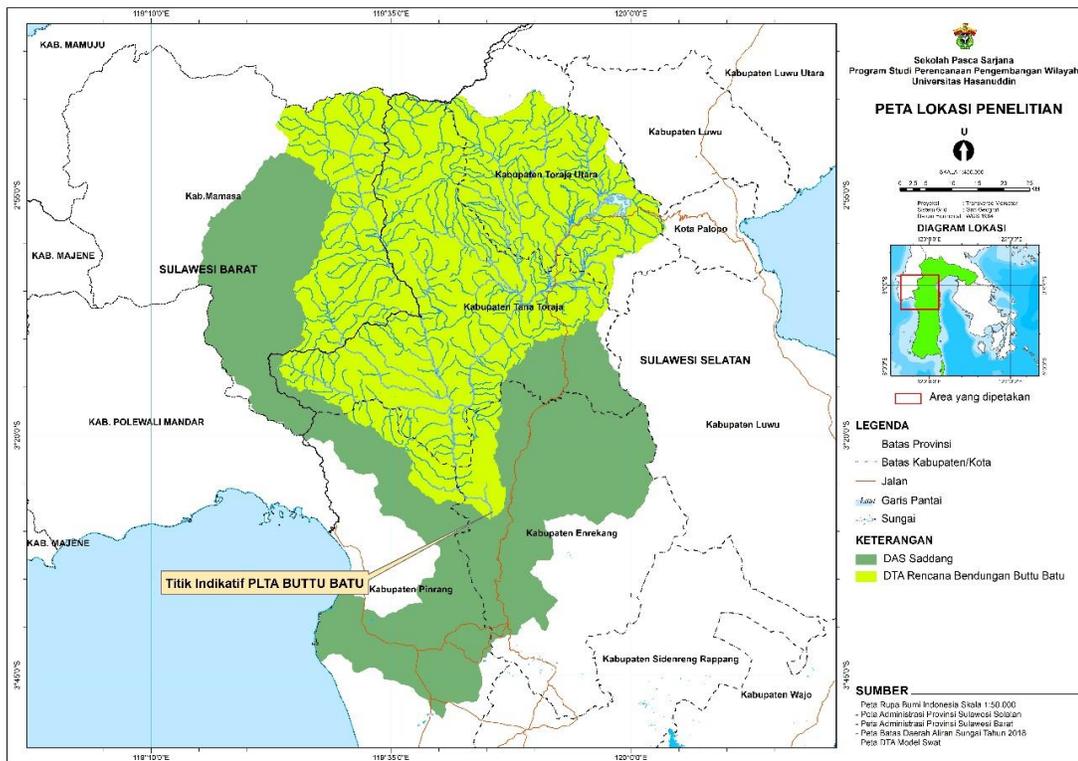
1.4. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai kondisi perubahan penggunaan lahan dan besaran sedimentasi DTA Bendungan Buttu Batu. Serta menghasilkan desain rekomendasi arahan penggunaan lahan, dari hasil penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai *policy intervention* bagi pemerintah setempat, guna pengamanan infrastruktur PLTA Buttu Batu nantinya.

BAB II. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2021 di wilayah Daerah Tangkapan Air (DTA) Buttu Batu pada rencana pembangunan Bendungan PLTA Buttu Batu. lokasi bendungan nantinya berada di Desa Buttu Batu, Kecamatan Enrekang, Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara administrasi DTA PLTA Buttu Batu mencakup kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan yakni Toraja Utara, Tana Toraja, Enrekang dan Pinrang, sedangkan di Provinsi Sulawesi Barat hanya mencakup Kabupaten Mamasa.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang sesuai dengan keperluan pengambilan dan analisis data. Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu

receiver GPS (*Geographic Positioning System*), kamera digital, drone dan *personal computer* (PC)/laptop yang memiliki *software* SIG dan *Software landuseSim*. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya data berbasis spasial meliputi batas DAS, administrasi wilayah, sungai utama, anak sungai, jalan, kontur, data penggunaan lahan, jenis tanah, data iklim, kawasan pemukiman dan kawasan hutan.

2.3. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data penelitian ini dibedakan berdasarkan sumbernya yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh melalui: data DEM yang diolah secara *Interpolation Topo to Raster*, sungai, dan batas DAS,

Data sekunder adalah data yang menyangkut keadaan umum lokasi penelitian yang diperoleh dari studi literatur beserta data dan informasi lainnya yang terkait langsung ataupun tidak langsung dengan penelitian. Data sekunder meliputi data spasial administrasi, Data DEM (*Digital Elevation Model*), jenis tanah, Kawasan hutan, Penggunaan lahan dan data iklim harian 10 tahun terakhir serta data harian curah hujan dan temperatur harian maksimum dan minimum.

Tabel 1. Daftar Data Spasial dan Sumbernya

No.	Judul	Sumber
1.	Batas DAS Saddang	Dirjen Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Hutan Lindung, Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan tahun 2018
2.	Data Akses jalan	Portal Geospasial Indonesia (http://tanahair.indonesia.go.id)
3.	Data Digital Elevation Model	DEMNAS 8 M (tides.big.go.id)
4.	Penggunaan lahan Tahun 2010,2015 dan 2020 dan Peta Kawasan Hutan	Balai Pemantapan Kawasan Hutan Kementerian lingkungan Hidup dan Kehutanan
5.	Jenis tanah	<i>Landsystem 1987, Regional Physical Planning Project For Transmigration (RePPPProT)</i>
6.	Data Iklim	Data satelit merra 2 melalui Website: Power.larc.nasa.gov/data-acces-viewer
7.	Data Debit Air	<i>Automatic Water Level Recorder (AWLR) PT Malea</i>

2.4. Prosedur Penelitian

2.4.1. Pengumpulan Data

1. Data Elevation Model

Data *digital elevation model* (DEM) dibuat menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis dengan tools “*Interpolation Topo to Raster*” dengan menggunakan data *shapefile* batas wilayah kajian (Batas DTA Indikatif Pembangunan PLTA Buttu Batu), dan data *shapefile* jaringan sungai.

2. Data Penggunaan Lahan dan Kawasan Hutan

Peta history penggunaan lahan dan Peta Kawasan Hutan bersumber dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH). Data penggunaan lahan BPKH biasanya dapat diakses melalui publikasi dan laporan yang dikeluarkan oleh BPKH. Laporan tersebut dapat berisi informasi tentang penggunaan lahan hutan, perubahan tata guna lahan, serta rencana pengelolaan kawasan hutan di masa yang akan datang. Data penggunaan lahan dapat diperoleh dengan format (.shp).

Klasifikasi penggunaan lahan yang telah diperoleh dari data BPKH lalu diterjemahkan kedalam klasifikasi SWAT. Adapun penyesuaian atribut SWAT dengan kondisi penggunaan lahan hasil interpretasi citra dapat dilihat pada Tabel 2 berikut;

Tabel 2. Klasifikasi Penamaan Penggunaan Lahan untuk Model SWAT

No	Penggunaan lahan	Klasifikasi SWAT	Kode SWAT
1	Hutan	<i>Forest-Mixed</i>	FRST
2	Semak Belukar	<i>Range-Brush</i>	RRGB
3	Savana/Padang Rumput	<i>Pasture</i>	PAST
4	Pertanian Lahan Kering	<i>Agriculture Land-Generic</i>	AGRL
5	Sawah	<i>Rice</i>	RICE
6	Tambak	<i>Water</i>	WATR
7	Perkebunan	<i>Orchard</i>	ORCD
8	Pemukiman	<i>Residential</i>	URBN
9	Bandara/Pelabuhan	<i>Transportation</i>	UTRN
10	Lahan Terbuka	<i>Oak</i>	OAK
11	Tubuh Air	<i>Water</i>	WATR
12	Rawa	<i>Wetlands-Mixed</i>	WETL

Sumber: APPENDIX (2005).

3. Data Fisik dan Kimia Tanah

Data jenis tanah berupa klasifikasi jenis tanah dan parameter sifat fisik dan kimia tanah. Data tersebut diperoleh dari Peta RePPPProt (*Regional Physical Planning Project for Transmigration*), yang dilengkapi dengan parameter fisik dan kimia tanah yang diperoleh dari *Model Hidrologi Soil And Water Assessment Tools (SWAT) Berbasis Data Spasial di Pulau Sulawesi* (Nursaputra, 2022), selanjutnya ditransformasikan kedalam bentuk database klasifikasi jenis tanah kedalam model SWAT.

4. Data Kelerengan

Data kelerengan yang digunakan sebagai input data SWAT merupakan hasil dari ekstraksi data DEM menggunakan model SWAT. Penentuan klasifikasi kelas lereng mengacu pada Perdirjen BPDASPS Nomor P.4/V-SET/2013 yang membagi kedalam 5 kelas lereng sesuai dengan kelas lereng kebutuhan input data SWAT yaitu 0-8 persen (datar), 8-15 persen (landai), 15-25 persen (agak curam), dan >40 persen (sangat curam).

5. Data Iklim

Data iklim harian diperoleh dari satelit *Merra-2 National Aeronautics and Space Administration (NASA)* melalui [website power.larc.nasa.gov/data-access-viewer](http://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer), Adapun cara memperoleh data iklim sebagai berikut;

1. Menentukan batasan pengambilan data menggunakan batas wilayah kajian (batas DTA Buttu Batu),
2. Membuat grid menggunakan titik stasiun CSIRO dengan interval 5 km dan menentukan titik stasiun yang mempengaruhi wilayah kajian,
3. Membuka website pada link power.larc.nasa.gov kemudian memilih menu *Power Data Access Viewer*. Selanjutnya lakukan penyesuaian data pada menu *Power Single Point Data Access*,
4. Memilih jenis data yang akan diunduh pada menu *Chose a User Community* pada penelitian ini menggunakan *Agroclimatology*,

5. Input titik koordinat stasiun pada poin *latitude/longitude* kemudian melakukan penyesuaian data sesuai kebutuhan meliputi data iklim periode tahun 2011–2020 menggunakan format CSV, setelah itu klik Submit→CSV→Download.

Data yang digunakan berupa data curah hujan (*pcp*), temperatur maksimum (*tmp_max*), temperatur minimum (*tmp_min*), kelembaban (*rh*), kecepatan angin (*wind*) dan radiasi matahari (*solar*). Data yang telah di download kemudian dikonversi ke format txt agar dapat dilakukan input data pada model SWAT. Data curah hujan, dilakukan perhitungan rata-rata curah hujan sebagai bahan dalam melakukan proyeksi perubahan iklim berdasarkan titik station ke model RCP 4.5 CSIRO MK 3.6.0 menggunakan *software* SiBiaS.

2.4.2. Model dan Simulasi Prediksi Penggunaan Lahan

a. Pengumpulan Data

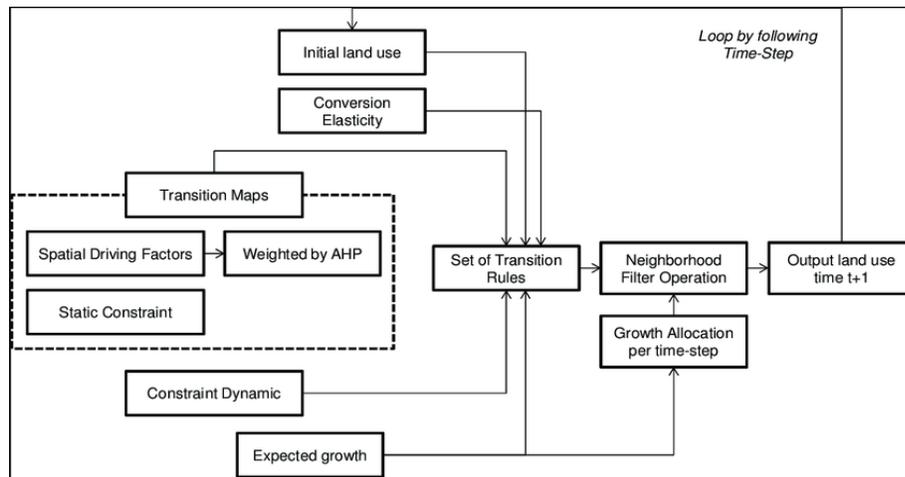
Proses Penyiapan data dilakukan dengan menggunakan aplikasi SIG. Semua data awal yang berupa format *shapefile* atau dalam bentuk *vector* selanjutnya akan dikonversi menjadi data raster. Kemudian data raster yang telah diperoleh diubah kedalam format ASCII agar bisa digunakan dalam aplikasi *LanduseSim*. Proses ini terdapat tiga jenis data yang masing-masing memiliki bagian yaitu data penggunaan lahan, data *constrain* (pembatas) dan data *driving factor* (faktor pendorong). Langkah pertama yang dilakukan adalah data penggunaan lahan dan data *constraint* diberi kode berupa angka. Angka selain nol untuk merepresentasikan klasifikasi penggunaan lahan. Sedangkan untuk data *constrain* terdiri atas dua angka yakni 0 dan 1. Angka 0 yang dimasukkan akan dianggap pembatas dan angka 1 bukan pembatas dalam *merunning* model dan simulasi di *LanduseSim*. Sebelum diberi angka data-data *constrain* tersebut terlebih dahulu dilakukan proses *identity* atau ditumpang susun dengan tools *overlay-identity*. Sedangkan untuk proses penyiapan data *driving faktor* proses ini sedikit berbeda dengan penyiapan data yang dilakukan sebelumnya.

Data *driving faktor* harus memperhatikan tingkat kedekatan terhadap *variable* atau faktor pendorong berupa analisis tingkat kedekatan dengan Kawasan maupun area

terbangung yang terjadi dilapangan, analisis tingkat kedekatan dengan jalan. proses ini menggunakan *tools Euclidean distance*. Hasil akhir dari proses ini dilakukan secara otomatis yang terkonversi dalam bentuk raster dan berupa nilai jarak *Floating-point* dengan angka yang berbeda tergantung dari keterkaitan antara *variable* satu dengan yang lainnya. Selanjutnya adalah menetapkan ukuran *Cell* sebelum di *eksport* menjadi data raster dengan menggunakan *tools polygon to raster* khususnya pada data penggunaan lahan dan *Constrain*. Ukuran *cell* yang dipilih adalah 30 x 30 (300m³). Dimana ukuran *pixel* sesuai dengan ukuran *pixel* citra Landsat yang digunakan sebagai data dasar dalam pembuatan data penggunaan lahan tahun 2010 dan 2020 bersumber dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) dan juga salah satu sumber data referensi yang digunakan. Selanjutnya untuk mengubah data raster menjadi data ASCII menggunakan *tools raster to ASCII*.

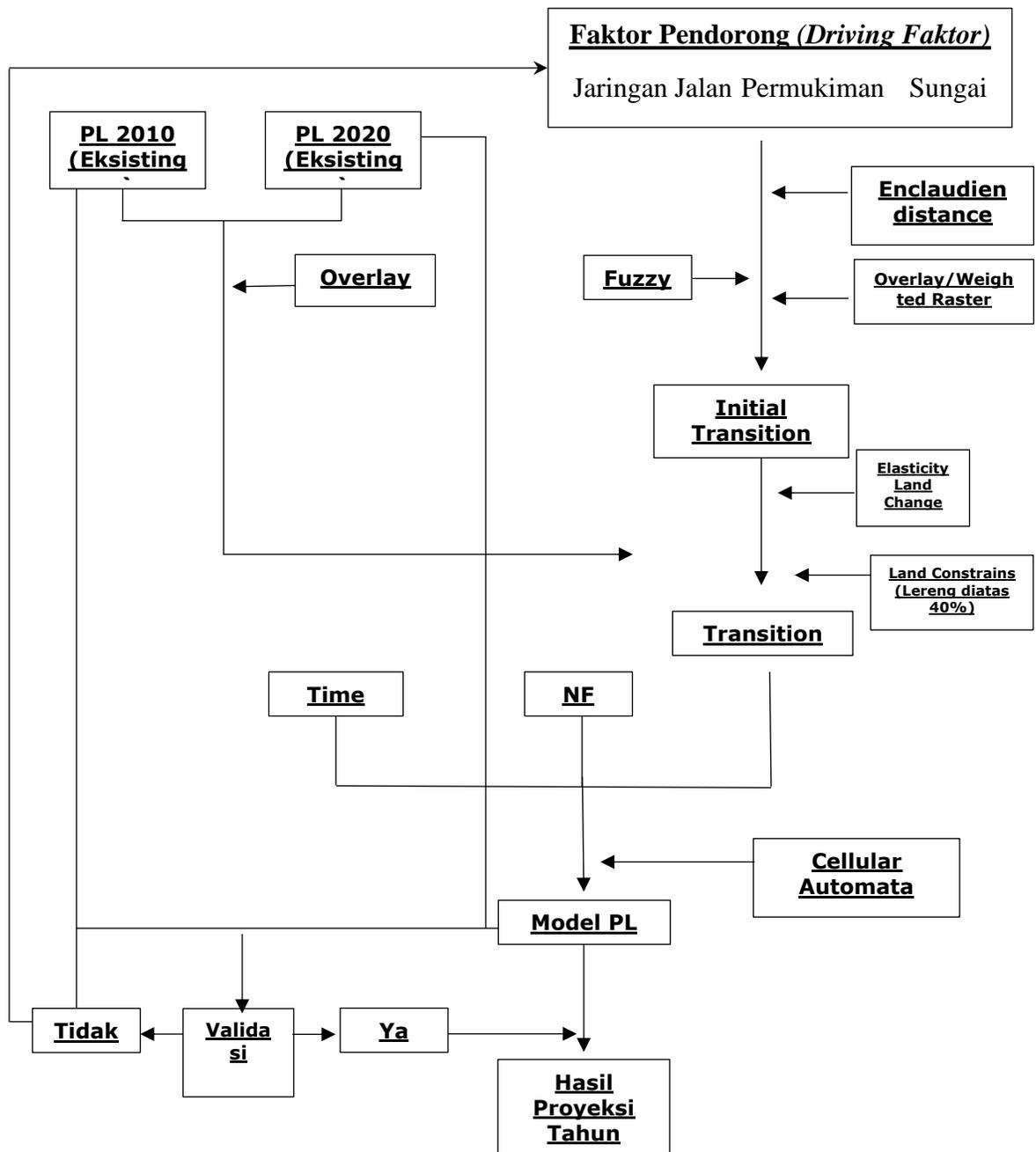
b. Membangun Model

Simulasi proyeksi penggunaan lahan pada DTA Buttu Batu dilakukan dengan mendesain model penggunaan lahan terlebih dahulu. Data penggunaan lahan tahun 2010 akan dilakukan proses simulasi hingga tahun 2020. *Output* dari hasil tersebut dilakukan untuk memperoleh data tahun proyeksi lalu disandingkan dengan tahun aktual untuk memperoleh angka validasi sebagai bahan untuk mengetahui tingkat akurasi desain model yang dibangun. Model perubahan lahan menggunakan *cellular automata (CA)*. Metode ini cukup efektif dilakukan dibeberapa peneliti seperti penelitian *landuseSim* sebagai Aplikasi Pemodelan dan Simulasi Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Pratomoatmojo (2014), dan Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan Jalan Tol Di Kabupaten Siduarjo Menggunakan Citra Satelit Multitemporal Suprastyo dkk (2010). Salah satu aplikasi yang menggunakan algoritma CA dalam Simulasi dan Permodelan spasial adalah *landuseSim*.



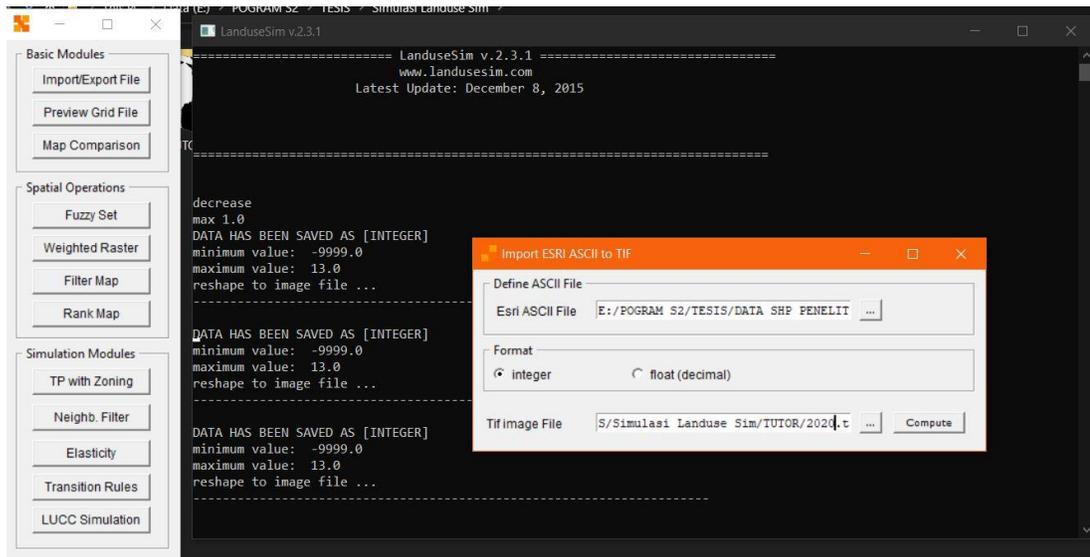
Gambar 2. Algoritma *Cellular Automata* pada landuseSim (Pratomoatmojo, 2018)

Menurut Pratomoatmojo (2014) landuseSim merupakan *software* simulasi dan pemodelan spasial berbasis *grid/cell* dengan menggunakan data raster penggunaan lahan sebagai atribut spasial. Selain itu Pengguna dapat mengontrol atau mengintervensi semua faktor dalam prosedur simulasi seperti target pertumbuhan, penentuan faktor pendorong, membuat skenario perencanaan, zonasi, simulasi *multi-landuse* dan kemampuan untuk menciptakan status sel baru selama simulasi. Penggunaan *landuseSim* dalam beberapa studi pemodelan spasial sebelumnya pun dianggap berhasil dengan tingkat validasi model di atas 70 persen selain itu, penelitian lain juga melakukan model dengan penggunaan model *Cellular automata* dapat memprediksi pertumbuhan kota dengan akurasi hingga 75 persen (Arifah, 2018).



Gambar 3. Kerangka Simulasi Proyeksi Penggunaan Lahan Menggunakan LanduseSim

Proses Import dari ASCII ke aplikasi Landusesim menggunakan peta penggunaan lahan dan peta *constrain* diimport sebagai bilangan *integer* (bilangan bulat), sedangkan untuk peta-peta *driving factors* diimport sebagai bilangan *float* (desimal).



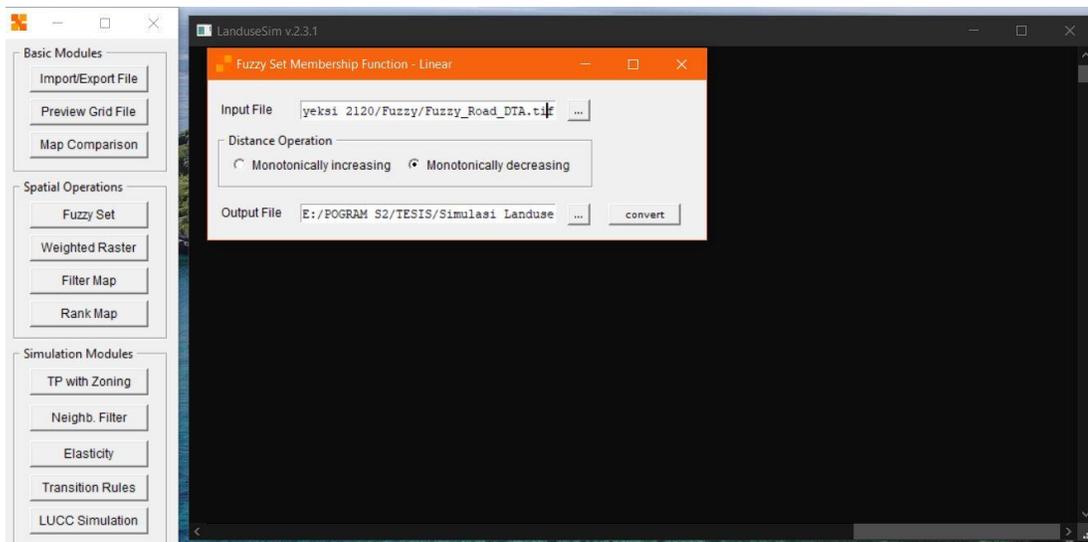
Gambar 4. Proses Import Data ASCII ke Aplikasi LanduseSim

Tools fuzzy set dalam *LanduseSim* terbagi menjadi dua operasi, yaitu *monotonically increasing* dan *monotonically decreasing* khusus pada penelitian ini menggunakan *variabel* aksesibilitas (data jalan) dan jaringan sungai yang bersumber dari Portal Geospasial Indonesia, sedangkan keberadaan pemukiman diperoleh dari data penggunaan lahan BPKH. Selanjutnya data-data tersebut diberikan bobot sejauh mana pengaruh faktor tersebut dalam perubahan penggunaan lahan suatu wilayah. Penentuan bobot ini berdasarkan studi literatur yang diperoleh pada penelitian yang telah dilakukan.

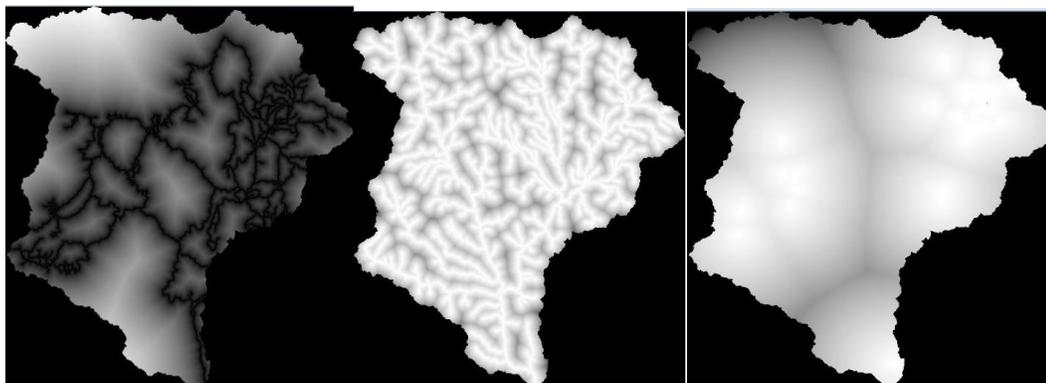
Tabel 3. Bobot Penentuan *driving factors* dan *constraint*

Faktor <i>driving factors</i>	Bobot	Dasar Teori
Luas Permukiman	4.0	Penelitian yang dilakukan oleh Pratomoatmojo (2018)
Jalan	4.0	Penelitian yang dilakukan oleh Pratomoatmojo (2018)
Sungai	2.0	Penelitian yang dilakukan oleh Abkar, (2020)
Faktor <i>constraint</i>		Dasar Teori
Kelerengan 40 Persen		Undang-undang No.5/1990 tentang Sumber Daya Alam dan Ekosistemnya maupun No.32/1991 dan Undang-Undang Tata Ruang No.24/1992

Ketiga data *driving factors* akan menjadi faktor pendorong berdasarkan penelitian Pratomoatmojo (2018) pemukiman memberikan faktor yang dapat merubah penggunaan lahan suatu wilayah maka diberikan bobot 4.0. selain itu berdasarkan penelitian Abkar, (2020) yang berjudul Penggunaan Lahan dan Pengaruh Pertumbuhan Penduduk Tahun 2030 di daerah aliran sungai Kelara memasukkan jarak sungai kedalam faktor yang dapat mempengaruhi perubahan lahan didukung dengan pengamatan dilapangan yang memiliki potensi dalam perubahan lahan dengan bobot 2.0. peta transisi yang memiliki batasan wilayah pertumbuhan maka dilakukan proses *overlay* dengan peta *constraint* berupa lereng diatas 40 persen,. Perhitungan faktor tersebut dilakukan dengan menstandarisasi peta jarak menggunakan *Fuzzy Set* untuk menghasilkan nilai riil antara 0 – 1. *Monotonically increasing* menghasilkan data raster yang memiliki potensi perkembangan terbaik jika semakin jauh dengan *driving factors*. Sedangkan *monotonically decreasing* menghasilkan data raster yang memiliki potensi perkembangan terbaik atau berpengaruh cepat terhadap perubahan jika semakin dekat dengan *driving factors* (Septawicaksono dan Pratomoatmojo, 2020). Berikut adalah proses standarisasi dari *tools fuzzy*.

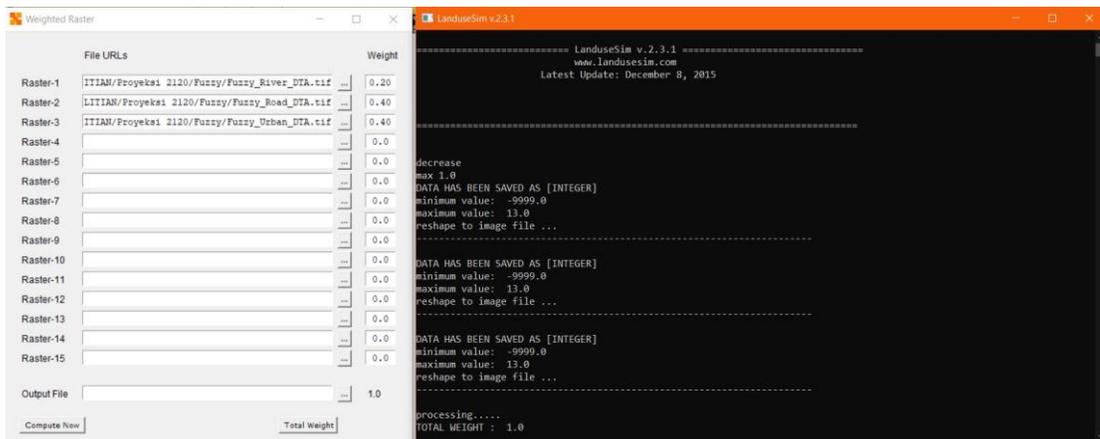


Gambar 5. Proses *Fuzzy* pada Aplikasi LanduseSim



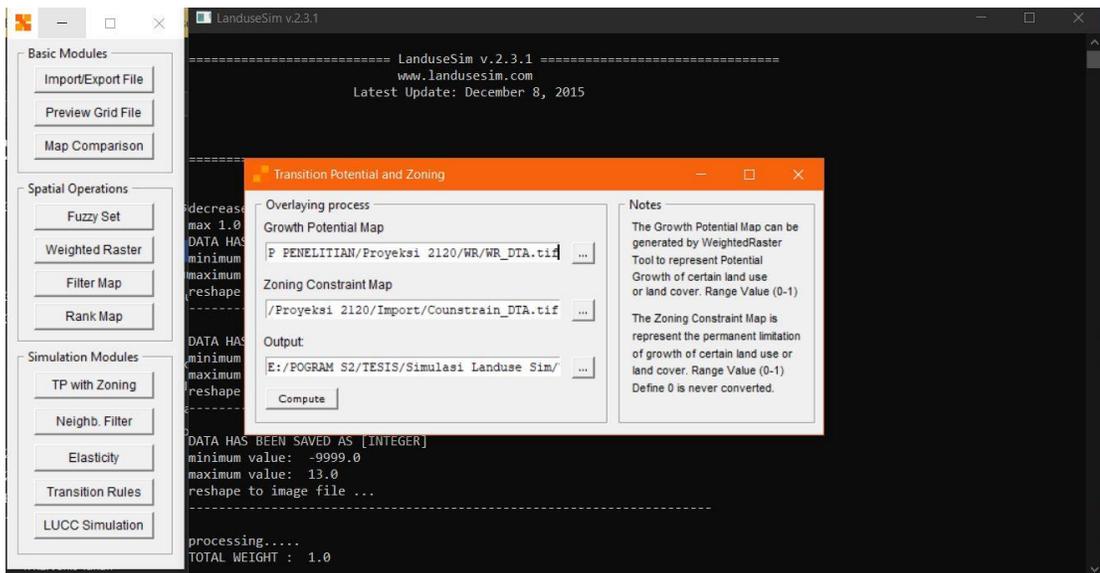
Gambar 6. *Fuzzy* Pada Aplikasi LanduseSim

Tahap pembuatan Peta *Transisi/ initial transition potensial map* dilakukan dengan *overlay* peta-peta yang dihasilkan dari proses *fuzzy set* menggunakan modul *Weighted raster*. Peta-peta tersebut akan diberi bobot berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap perubahan penggunaan lahan. Dimana peta jarak terhadap jaringan jalan diberi bobot dengan pertimbangan bobot tersebut diputuskan berdasarkan literatur yang ada dan melihat kondisi lapangan yang memungkinkan akan memberikan pengaruh terhadap perubahan penggunaan lahan suatu lokasi.



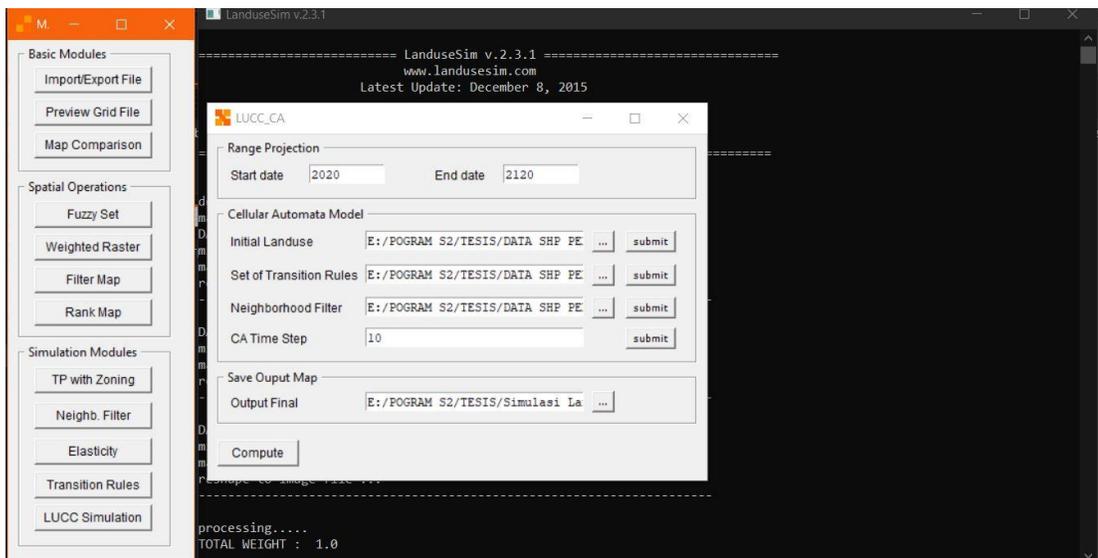
Gambar 7. Proses Penentuan Bobot Faktor Pendorong

Model dengan skenario menggunakan *constrain* dilakukan mengoverlay dengan peta *constraint* untuk mendapatkan peta transisi yang memiliki informasi terkait wilayah mana yang tidak terkonversi ketika simulasi atau wilayah mana yang dibatasi terjadi perubahan lahan. Pada penelitian ini menggunakan data kelerengan yang berada diatas 40 persen akan menjadi faktor yang akan dibatasi jika dilakukan simulasi.



Gambar 8. Proses *Transition Potential Zoning (Import data Constrain)*

Aturan transisi (*transition rules*) merupakan dasar transformasi setiap sel penggunaan lahan dari keadaan sekarang menjadi sel penggunaan lahan yang baru dimasa depan. Oleh sebab itu, ada beberapa item yang perlu diperhatikan dalam menentukan aturan transisi meliputi jenis penggunaan lahan yang disimulasikan akan berubah atau bertambah, *initial transition potensial map*, hambatan penggunaan lahan (*Land constrain*) dan elastisitas perubahan penggunaan lahan (*elasticity of change*). Selain aturan transisi tersebut (*transition rules*), tahun proyeksi, penentuan *initial landuse*, *time step*, dan *neighborhood filter* (NF) juga merupakan syarat untuk menjalankan perintah simulasi dalam *LanduseSim*. Perintah simulasi dalam *LanduseSim* menggunakan modul LUCC CA. Tampilan modul ini dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Proses LUCC CA

Dalam modul simulasi LUCC CA, *start date* (2020 Tahun) dan *end date* (2120 Tahun) merupakan tahun awal dan tahun akhir dilakukan simulasi. Pada penelitian ini menggunakan literasi hingga 100 tahun kedepan. Dasar literasi ini mengikuti rancangan ketahanan bendungan Bili-Bili Sulawesi Selatan yang secara konstruksinya dapat bertahan hingga 70-100 Tahun setelah dibangun (Ma'waledha, 2021). Selanjutnya dilakukan *Initial landuse* merupakan data penggunaan lahan tahun awal yang akan disimulasi, *set of transition rule* merupakan aturan transisi yang menentukan

perubahan atau perkembangan lahan, *time step* merupakan banyaknya literasi (pengulangan) yang dilakukan selama periode simulasi dan *neighborhood filter* (NF) merupakan proses perhitungan ketetangaan yang bekerja pada *sistem grid*. Pada umumnya yang paling populer digunakan adalah NF 3x3. Sebagaimana dilakukan oleh (Pratomoatmojo, 2018); (Rahmawati dan Pratomoatmojo, 2019) yang memilih menggunakan NF 3x3 agar model yang dihasilkan lebih kompak.

Model perubahan penggunaan lahan selanjutnya akan divalidasi sebagai prasyarat untuk memprediksi atau mensimulasikan perubahan lahan DTA Buttu Batu kedepannya. Validasi bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari model yang dihasilkan. Salah satu teknik yang digunakan untuk memvalidasi model adalah teknik *overall accuracy*, Teknik ini merupakan rasio antara jumlah piksel benar dengan jumlah keseluruhan piksel dalam bentuk persentase. Validasi dalam kategori Baik berada pada angk 0,70 atau 70 persen yang berarti penggunaan lahan hasil simulasi cocok secara fungsi dan lokasi dengan penggunaan lahan eksisting (Arifah, 2018).

```

validasi_2020_ACT_Phy_2020 - Notepad
File Edit Format View Help
5_13 : 1
5_2 : 85
5_3 : 248
5_8 : 126
5_9 : 394
6_11 : 476
6_12 : 1808
6_8 : 3029
6_9 : 7617
8_10 : 2353
8_11 : 10
8_12 : 17088
8_13 : 8
8_3 : 640
8_6 : 570
8_9 : 188319
9_10 : 1002
9_11 : 304
9_12 : 312315
9_13 : 95
9_2 : 81
9_3 : 463
9_4 : 1
9_6 : 2817
9_8 : 86600

Unchanged
-9999 : 2912480
1 : 673
2 : 303701
3 : 728368
4 : 15144
6 : 6886
8 : 91090
9 : 683695
10 : 397043
11 : 123566
12 : 543133
13 : 8506

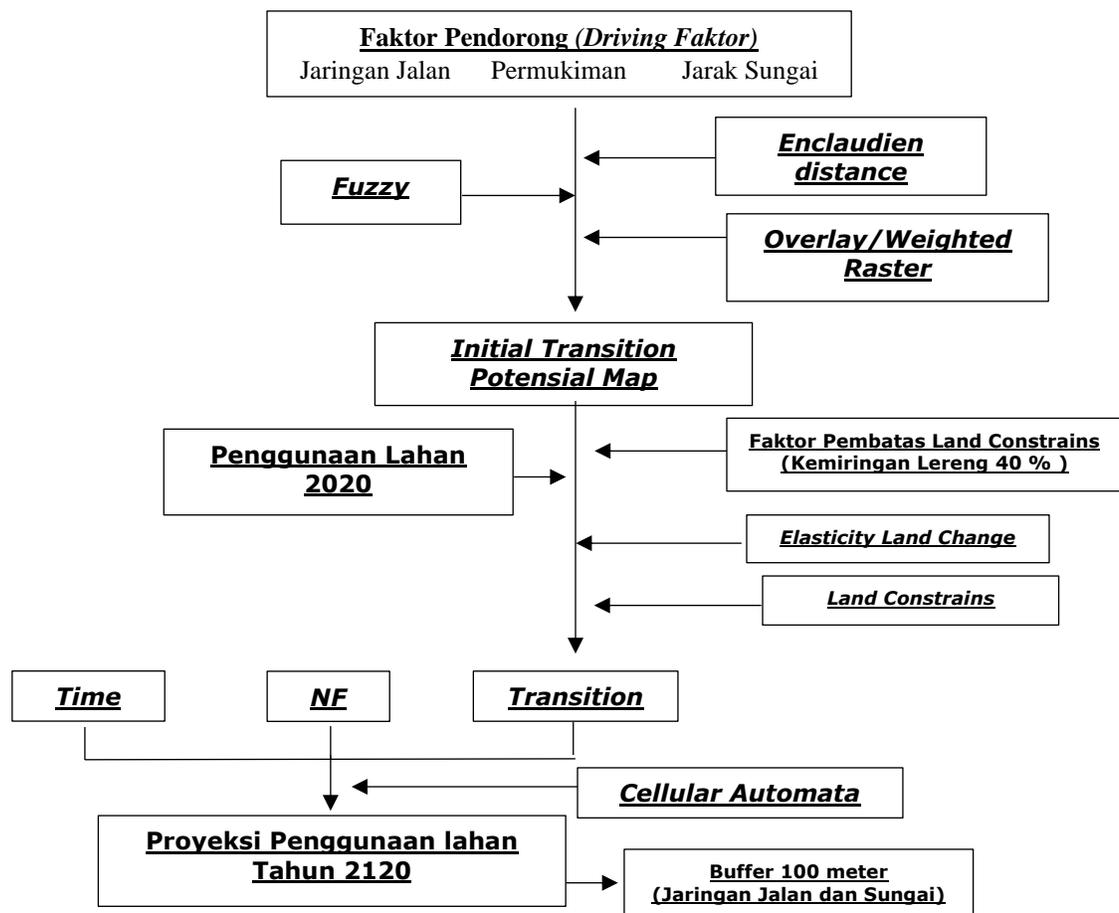
Similarity : 70.36 percent
Map Validation is Good

```

Gambar 10. Validasi Nilai Data Penggunaan lahan aktual dan Proyeksi

c. Melakukan Simulasi Tahun 2120

Tahapan simulasi tidak jauh berbeda dengan proses pembuatan model sebelumnya. Secara proses tetap sama, Semua tahapan simulasi dilakukan dalam *LanduseSim*. mulai dari tahap *import* data dari *Software SIG*, standarisasi data dengan *fuzzy*, pembobotan *driving factor*, penyiapan peta transisi, penentuan aturan transisi dan simulasi. Namun secara fungsi letak perbedaannya adalah bagaimana model yang dihasilkan dapat diterima atau mendekati kondisi *real* yang dibuktikan dengan uji validasi sedangkan simulasi cenderung kepada prediksi masa depan. Hasil proyeksi yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan proses overlay untuk faktor-faktor yang menjadi pendorong dengan melakukan buffer 100 meter untuk melihat sejauh mana perubahan yang terjadi pada setiap penggunaan lahan.



Gambar 11. Kerangka Simulasi Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2120

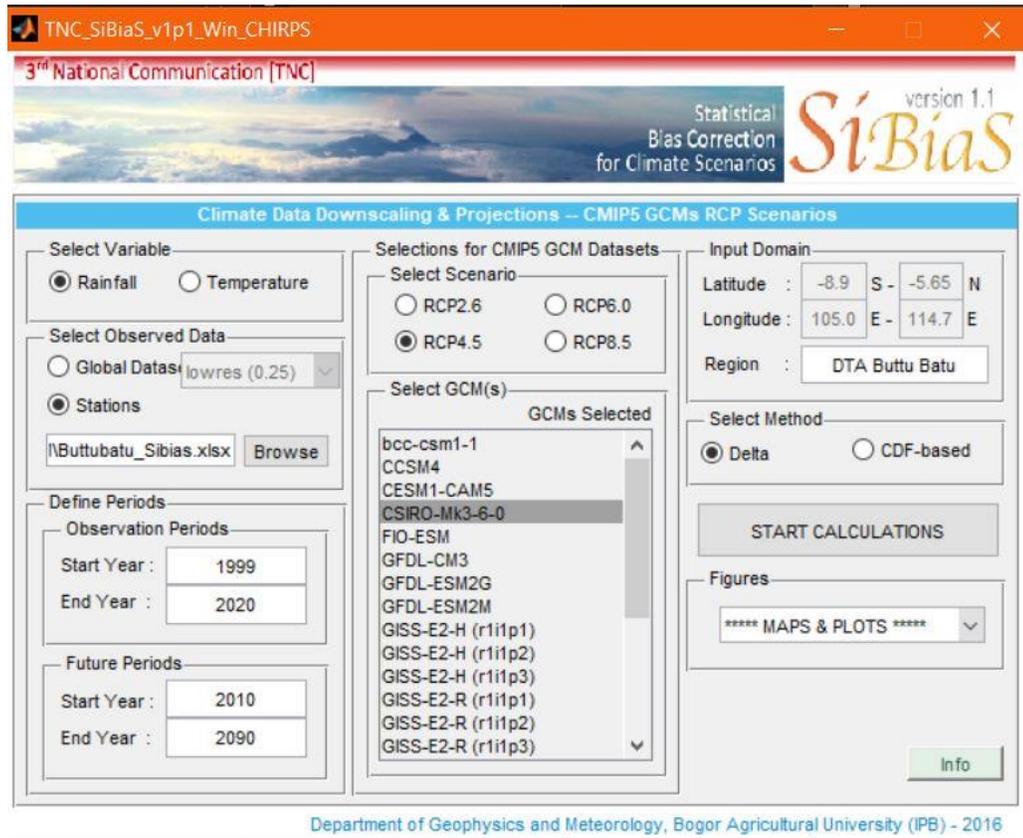
2.4.3. Proyeksi Curah Hujan dan Suhu Tahun 2100-an

Program SiBiaS v1.1 dibuat untuk membantu memudahkan perhitungan proyeksi atau skenario perubahan iklim berdasarkan *downscaling* data GCM CMIP5 khususnya untuk data curah hujan dan suhu bulanan. Program ini didesain untuk membantu menyiapkan data proyeksi iklim di daerah, dan grafik yang disediakan hanya bersifat untuk pengecekan hasil perhitungan. Proyeksi iklim tidak terlepas dari aspek ketidak pastian iklim masa depan, sehingga penggunaan beberapa model dapat meningkatkan kualitas proyeksi iklim. Namun demikian tidak semua model dapat digunakan, dibutuhkan studi literatur model GCM untuk menentukan model yang cocok di Indonesia. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model skenario RCP4.5 CSIRO-Mk3-6-0, model tersebut dianggap sesuai dengan kondisi di Pulau Sulawesi.

Proyeksi iklim dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan data curah hujan yang diperoleh melalui tahapan pengumpulan data pada Sub Bab Teknik Pengumpulan Data Iklim.
2. Melakukan penyesuaian terhadap inputan data berdasarkan format penyusunan data yang telah ditentukan.
3. Data curah hujan yang telah disesuaikan kemudian diinput masuk kedalam *software*. Selanjutnya, secara otomatis *software* akan membaca data observasi yang telah dimasukkan serta secara otomatis mengkalkulasikan tahun proyeksi yang akan dihasilkan
4. Memilih scenario yang akan digunakan, dalam penelitian ini menggunakan skenario RCP4.5 dan GCM CSIRO Mk3.6.0 dengan proyeksi menggunakan metode delta.

- Tahapan selanjutnya, melakukan simulasi dengan menekan *tools start calculation* pada menu. Hasil proyeksi kemudian dapat dilihat pada folder penyimpanan.



Gambar 12. A Statistical Bias Correction Tool for Generating Climate Change Scenarios in Indonesia based on CMIP5 Datasets

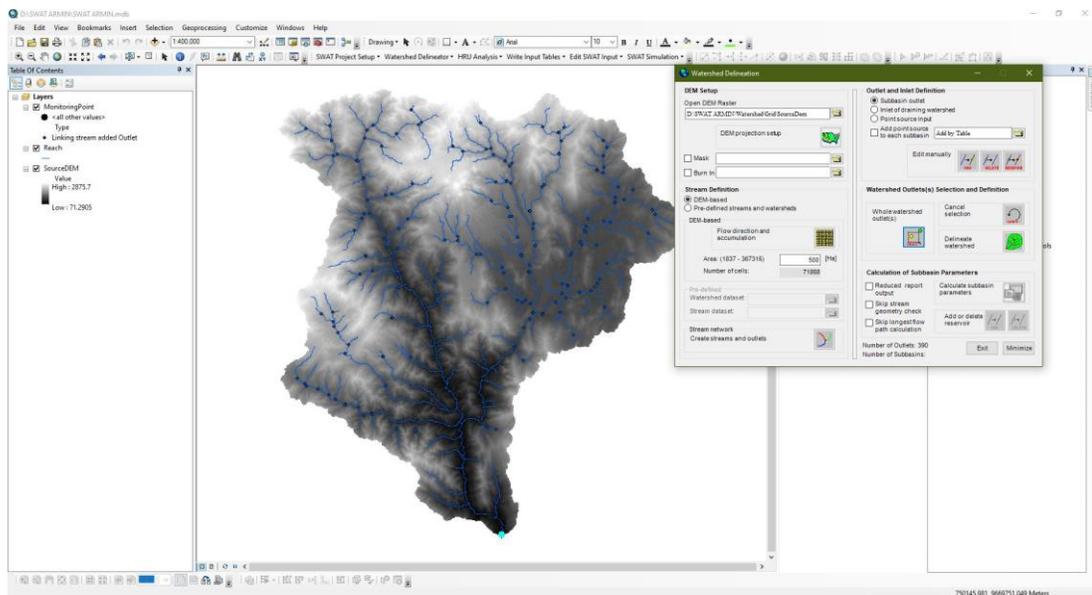
2.4.4. Prosedur Simulasi SWAT

a. Delinasi Batas

Tahap pertama dalam melakukan simulasi Model SWAT yaitu melakukan deliniasi DAS menggunakan data DEM yang telah dibuat sebelumnya. Deliniasi Batas DTA dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

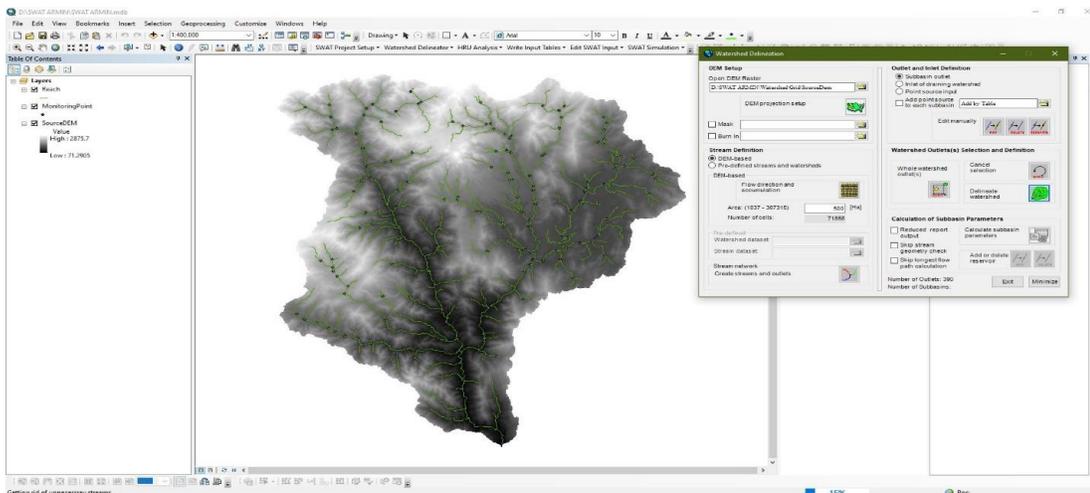
- Membuat *project SWAT* menggunakan menu *Swat Project* → *New Swat Project* → Menyimpan *file project* pada folder yang telah disiapkan;

- 2) Menginput Data DEM yang telah dibuat pada Sub Bab Pengumpulan *Data Digital Elevation Model* menggunakan menu *Watershed Deliniator* → *Automatic Watershed Deliniation* → Memilih data DEM yang akan digunakan;
- 3) Selanjutnya melakukan kalkulasi data pada menu *Watershed Deliniator* → *Flow direction and Accumulation*. Dalam penelitian ini *number of cell* yang disarankan kisaran 1837 – 367315 ha dan yang digunakan adalah 500 ha.



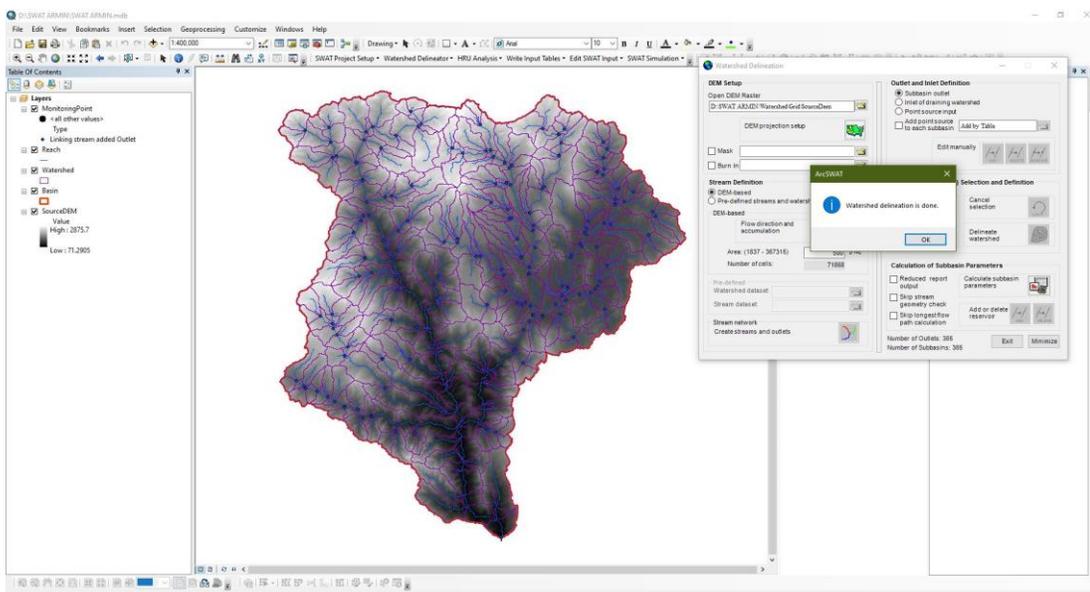
Gambar 13. Proses Penentuan *Threshold*

- 4) Menentukan jaringan sungai menggunakan menu *Stream network* → *Create streams and outlets*



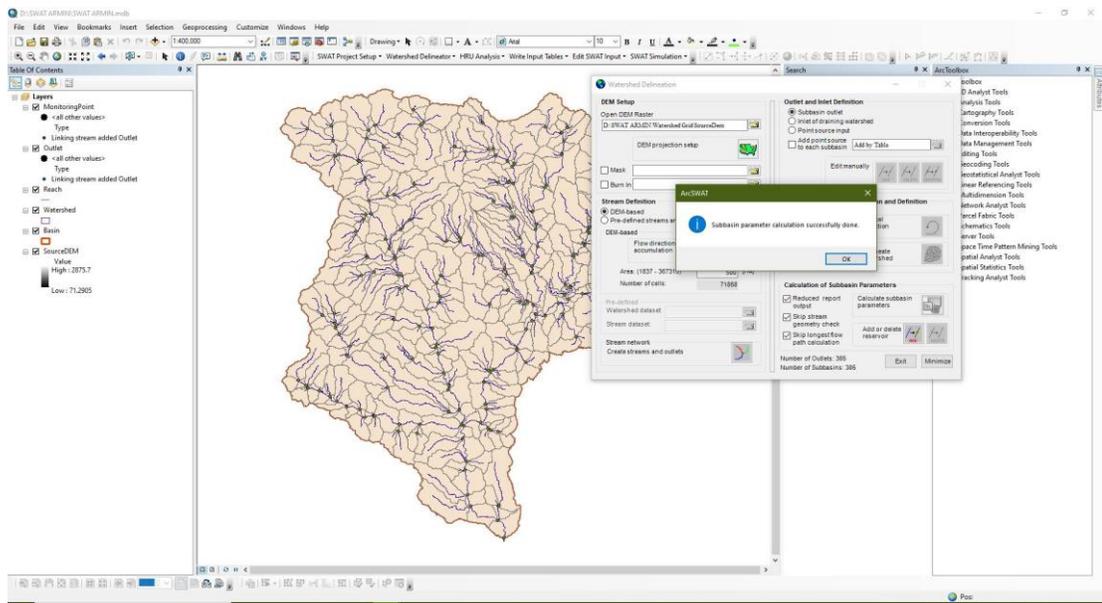
Gambar 14. Proses *Create streams and outlets*

- 5) Menentukan outlet (*outlet definition*) menggunakan menu *Wholewatershed outlet* → menyeleksi outlet sungai lokasi penelitian → *Deliniate watershed*



Gambar 15. Proses *outlet definition*

- 6) Melakukan perhitungan parameter Sub DAS (*calculate subbasin parameter*). Tahapan Deliniasi Sub Das selesai dilakukan.

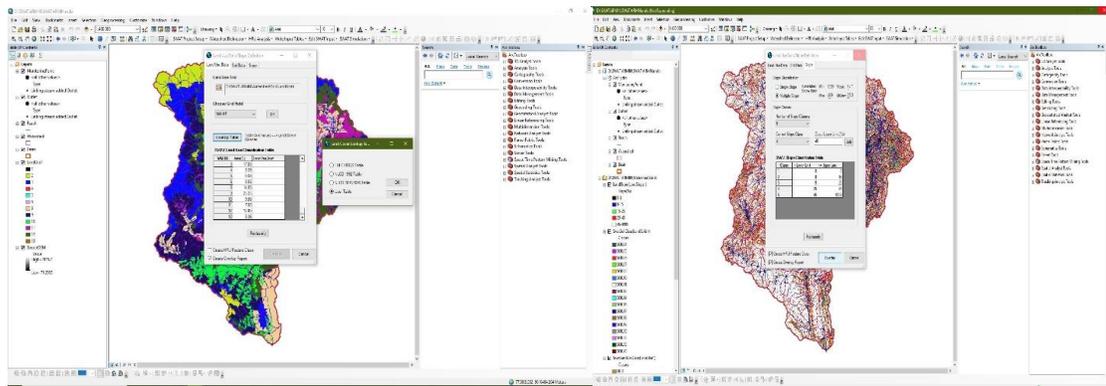


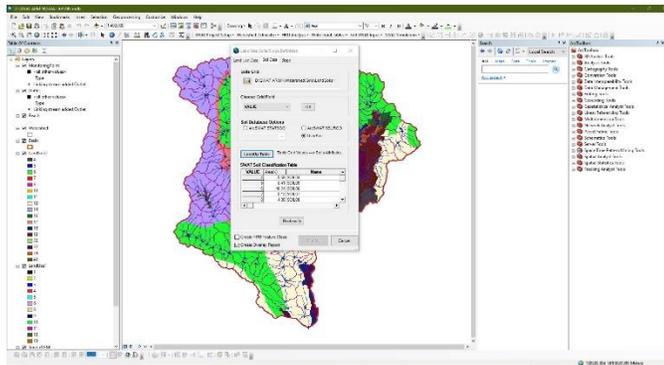
Gambar 16. Proses calculate subbasin parameter

b. Pembentukan *Hydrological Response Unit*

Hydrological Response Unit (HRU) atau Unit Respon Hidrologi merupakan satuan lahan dengan unsur karakteristik sub DAS didalamnya. Pembentukan HRU dilakukan dengan metode sebagai berikut:

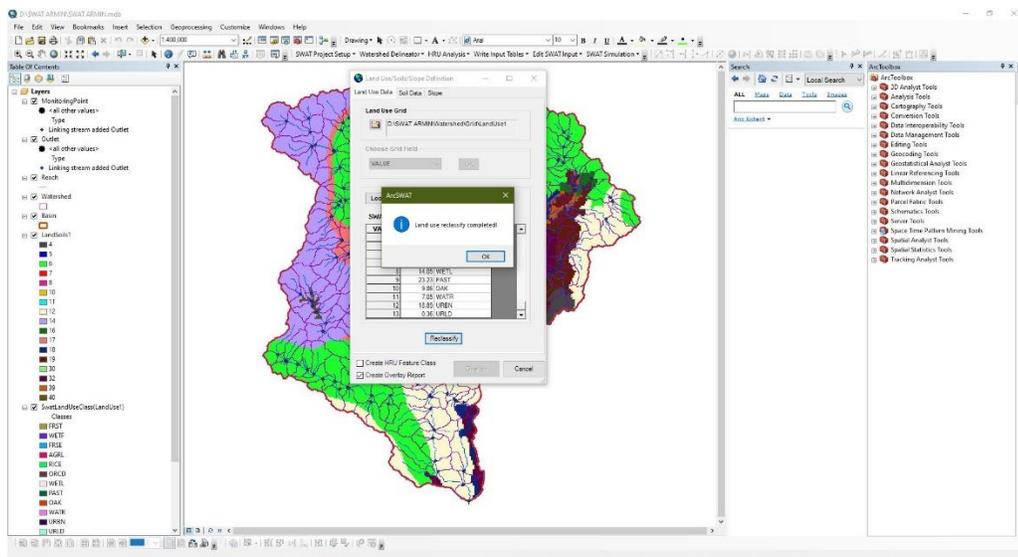
- 1) Menginput peta penggunaan lahan dan jenis tanah yang telah diatur ke dalam format raster dan menggunakan system koordinat UTM. Tahapan awal dalam membuat data HRU yakni menggunakan menu *HRU Analysis* → *Land Use/Soils/Slope Defenition*.





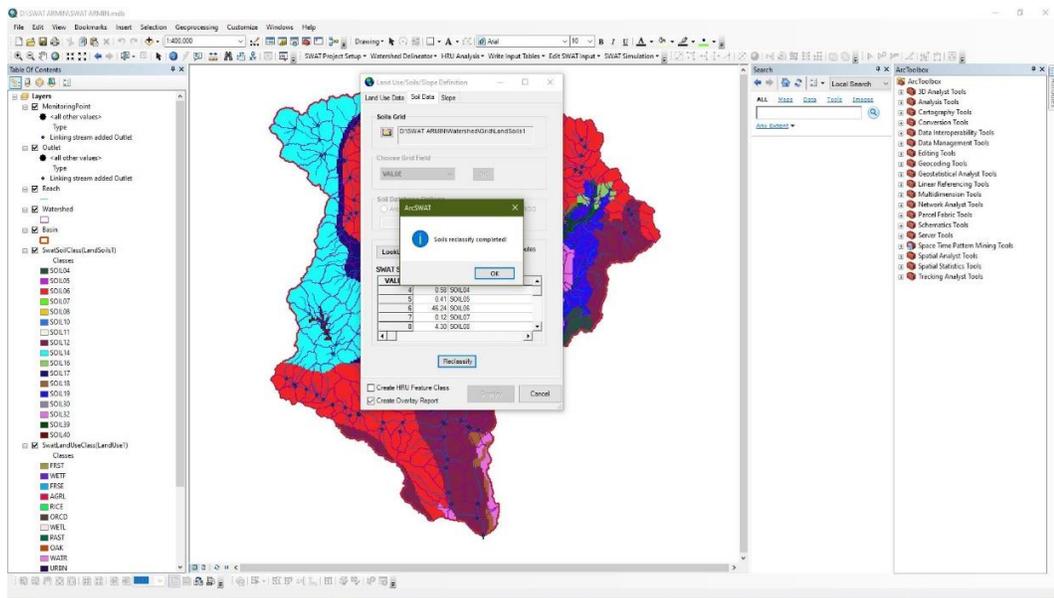
Gambar 17. Proses Penginputan Nilai HRU

- 2) Menginput peta penggunaan lahan menggunakan *tools Land Use Data*→memilih *data penggunaan lahan*→*Choose grid fields*→*value*→*Lookup table*→pilih data tabulasi penggunaan lahan yang telah dibuat dengan ekstensi *txt*→*reclassify*;



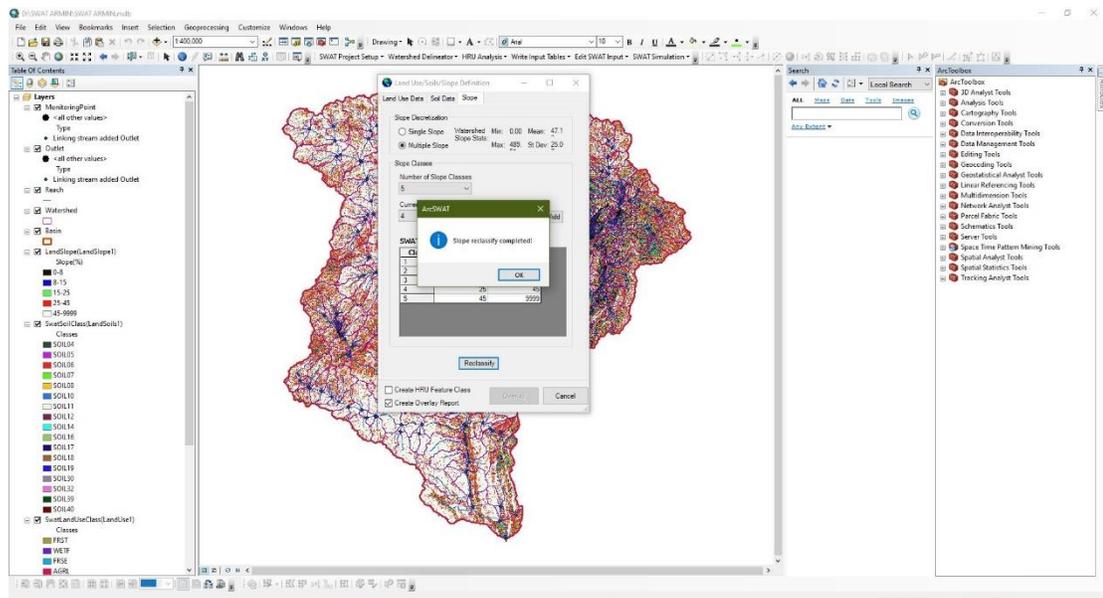
Gambar 18. Proses *Reclassify* Penggunaan Lahan

- 3) Menginput peta jenis tanah menggunakan *tools Soil Data*→memilih data jenis tanah→*Choose grid fields*→*value*→*Soil Database Options*→*User Soil*→*Lookup table*→pilih data tabulasi jenis tanah yang telah dibuat dengan ekstensi *txt*→*reclassify*;



Gambar 19. Proses *Reclassify* Jenis Tanah

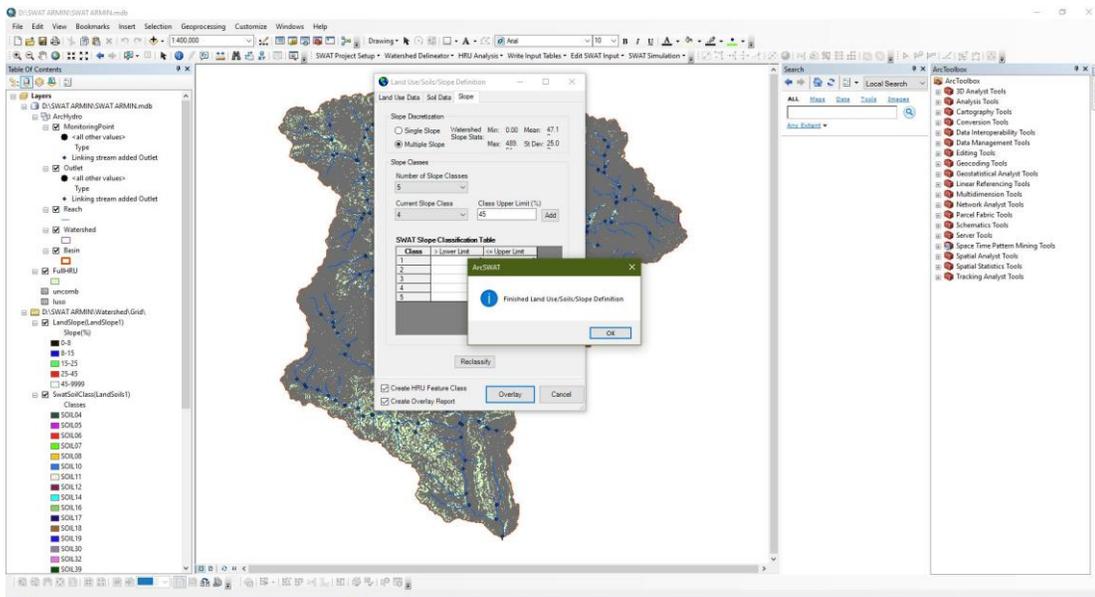
- 4) Melakukan parameterisasi kelas lereng menggunakan *tools Slope* → memasukkan 5 kelas lereng (0-8 persen, 8-15 persen, 15-25 persen, 25-40 persen, >40 persen) → *reclassify*;



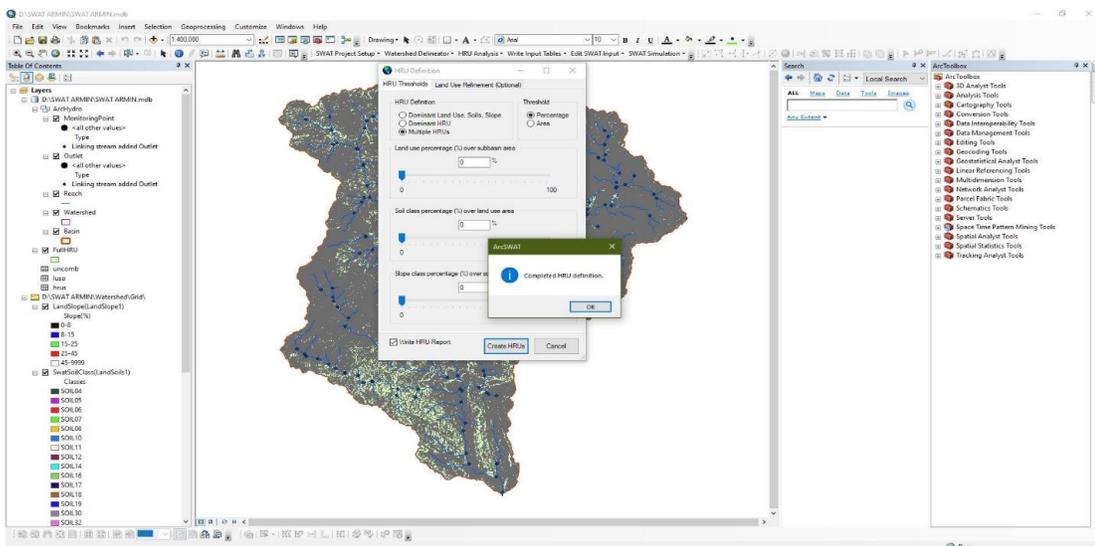
Gambar 20. Proses *Reclassify* Kelas Lereng

- 5) Ketiga data tersebut kemudian dilakukan proses *overlay* untuk membentuk kombinasi informasi dari setiap data yang menjadi karakteristik pada setiap

subDAS. HRUs yang terbentuk kemudian didefinisikan dengan batas nilai sebesar 0% untuk mendapatkan jumlah kombinasi HRU yang optimal.



Gambar 21. Proses *Overlay* HRU

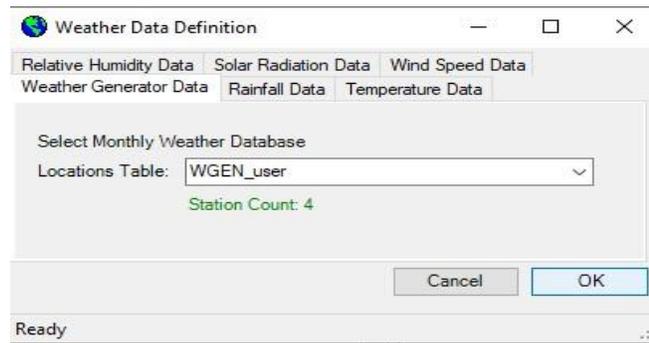


Gambar 22. Proses *HRU Definition*

c. Pembuatan Basis Data Iklim Harian

Input data iklim dilakukan dengan memilih menu *Write Input Tables* dengan cara pemanggilan file *WGN (Weather Generator Data)* yang telah ditransformasikan sebelumnya yakni curah hujan (pcp.txt), temperatur (tmp.txt), radiasi matahari

(solar.txt), kelembaban udara (rh.txt) dan kecepatan angin (wind.txt). Untuk input data CSIRO Mk3.5, setelah dilakukan input data iklim aktual tahun 2011-2020 selanjutnya adalah memilih menu *Edit SWAT Input* untuk memasukkan besaran persentase delta perubahan yang telah dianalisis sebelumnya.



Gambar 23. Proses Input Data Iklim

d. Menjalankan dan Membaca Hasil Model

Simulasi Model SWAT dilakukan menjalankan tools *Run SWAT* pada menu *SWAT simulation* dengan mengatur periode waktu, versi SWAT, dan besaran waktu keluaran data yaitu harian, bulanan, atau tahunan. Selanjutnya menjalankan model SWAT untuk menghasilkan kondisi hidrologi. Tahapan ini diulang sebanyak tiga kali, disesuaikan dengan kebutuhan peneliti. Sebelum melakukan simulasi terlebih dahulu pastikan bahwa tahapan *Watershed Delineation*, *HRU Analysis*, *Write Input Table* dan *Edit SWAT Input* (untuk input data model CSIRO Mk3.5) telah selesai dijalankan dengan sukses. Setelah proses *running* telah selesai dijalankan, maka selanjutnya adalah menampilkan *output* hasil simulasi menggunakan menu *read SWAT output*. Menyimpan hasil simulasi dengan memilih menu *Save Simulations*.

e. Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi bertujuan agar *output* dari model yang digunakan, hasilnya mendekati *output* dari DAS yang sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan cara merubah beberapa nilai parameter sensitif yang berpengaruh terhadap nilai hasil simulasi. Uji kalibrasi dilakukan dengan koefisien determinasi (R^2) dan *NashSutcliffe Index* (NSI).

Koefisien determinasi menunjukkan kedekatan antara nilai yang dihasilkan oleh model SWAT dengan hasil model SCS yang diasumsikan sebagai nilai terdekat dengan kondisi sesungguhnya di lapangan. Koefisien yang mendekati 1 menandakan nilai hasil simulasi memiliki nilai yang cukup dekat dengan nilai sesungguhnya. Data yang digunakan untuk proses validasi ini adalah data debit aktual AWLR PT Malea Energy dan data debit keluaran SWAT.

2.4.5. Analisis Hasil Sedimentasi

Analisis hasil sedimentasi dilakukan sebanyak tiga kali berdasarkan jumlah simulasi yang dilakukan. Berdasarkan hasil sedimen yang diperoleh melalui tahapan analisis maka dapat ditentukan kelas sedimen dengan mengacu pada klasifikasi muatan sedimen berdasarkan kelas yang tertera.

Tabel 4. Klasifikasi Muatan Sedimen

NO	Muatan Sedimen (ton/ha/Tahun)	Warna	Keterangan
1	≤ 5		Sangat Rendah
2	$> 5 - \leq 10$		Rendah
3	$> 10 - \leq 15$		Sedang
4	$> 15 - \leq 20$		Tinggi
5	> 20		Sangat Tinggi

Sumber: P.61/Menhut-II/2014

2.4.6. Arahan Penggunaan Lahan

Arahan penggunaan lahan dalam penelitian ini didasarkan pada informasi tingkat sedimentasi dari keluaran model SWAT. Hasil analisis tingkat sedimentasi berdasarkan kondisi aktual (tahun 2020) digunakan untuk memberikan gambaran kondisi sedimentasi yang dihasilkan DTA Perencanaan Pembangunan Bendungan PLTA Buttu Batu. Sementara Sub DAS dengan tingkat sedimentasi yang meningkat dari kondisi aktual penggunaan lahan ke kondisi proyeksi akan dilakukan arahan penggunaan lahan. Sub DAS dengan tingkat sedimentasi yang meningkat (Kelas Sangat Tinggi dan Tinggi), dilakukan arahan penggunaan lahan dengan mempertimbangkan kelas kemampuan lahan dan keberadaan kawasan hutan pada lokasi penelitian. Setelah dilakukan arahan, maka akan dilakukan kembali simulasi hidrologi menggunakan hasil arahan untuk melihat kondisi sedimen yang akan

dihasilkan. Kriteria kelas kemampuan lahan yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

Tabel 5. Kriteria klasifikasi kemampuan lahan

Faktor Penghambat/ Penghambat	Kelas Kemampuan Lahan							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Lereng Permukaan	A	B	C	D	A	E	F	G
Kepekaan Erosi (KE)	KE ₁ , KE ₂	KE ₃	KE ₄ , KE ₅	KE ₆	(1)	(1)	(1)	(1)
Tingkat Erosi (e)	e ₀	e ₁	e ₂	e ₃	(2)	e ₄	e ₅	(1)
Kedalam Tanah (k)	k ₀	k ₁	k ₂	k ₃	(1)	(1)	(1)	(1)
Permeabilitas (P)	P ₂ , P ₃	P ₂ , P ₃	P ₂ , P ₃	P ₂ , P ₃	P ₁	(1)	(1)	P ₅
Drainase (d)	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	(2)	(2)	d ₀
Kerikil/batuan (b)	b ₀	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	(1)	(1)	b ₄
Ancaman Banjir (O)	O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	(2)	(2)	(1)

Sumber: Klingebiel dan Montgomery (1993) dalam Arsyad (2010)

Keterangan:

- (1) = dapat mempunyai sembarang sifat
- (2) = tidak berlaku
- (3) = umumnya terdapat di daerah beriklim kering