

**DAMPAK PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN TERHADAP  
KETERSEDIAAN AIR PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI  
AWANGPONE**

*IMPACT OF LAND COVER CHANGE ON WATER  
AVAILABILITY IN AWANGPONE RIVER BASIN*

**ZULQADRI RAMLY**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KEHUTANAN  
FAKULTAS KEHUTANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**DAMPAK PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN TERHADAP  
KETERSEDIAAN AIR PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI  
AWANGPONE**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister

Program Studi Ilmu Kehutanan

Disusun dan Diajukan Oleh

ZULQADRI RAMLY

M012191011

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KEHUTANAN  
FAKULTAS KEHUTANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**TESIS**  
**DAMPAK PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN TERHADAP**  
**KETERSEDIAAN AIR PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI**  
**AWANGPONE**

**ZULQADRI RAMLY**

**NIM : M012191011**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
 Studi Program Magister Ilmu Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 27 Desember 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
 Andang Suryana Soma, S.Hut, MP, Ph.D.

  
 Dr. Ir. Roland A. Barkey

NIP. 19780325 2008121 002

NIP. 19540614 198103 1 007

Ketua Program Studi  
 Ilmu Kehutanan S2

Dekan Fakultas Kehutanan  
 Universitas Hasanuddin

  
 Ir. Mukrimin, S.Hut, MP, Ph.D, IPU

  
 Dr. A. Mujahid M., S.Hut, MP

NIP. 19780209 200812 1 001

NIP. 19690208 199702 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Dampak Perubahan Penutupan Lahan Terhadap Ketersediaan Air Pada Daerah Aliran Sungai Awangpone" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Andang Suryana Soma, S.Hut, MP, Ph.D sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Roland A. Barkey sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka Tesis ini. Sebagian isi tesis ini telah *Publish Accepted* di *IOP Conference Series : 4th International Conference of Food Security and Sustainable Agricultur in the Tropics (FSSAT 4)* sebagai artikel dengan judul "Projected land cover changes in 2031 in Awangpone watershed, South Sulawesi, Indonesia.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 24 januari 2024



ZULQADRI RAMLY

NIM : M012191011

## KATA PENGANTAR

### *Alhamdulillahirabbil 'Aalamiin*

Pujian dan dan rasa syukur hanya kepada Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan anugerah, rahmat, karunia dan izin-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Shalawat dan salam juga penulis panjatkan kepada Baginda Rasulullah Shallallahu'alaihi wa Sallam yang selalu menjadi suri tauladan bagi kita semua.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, yang hanya berkat bantuan berbagai pihak, maka tesis ini dapat terselesaikan. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan rasa terima kasih khususnya kepada :

1. Andang Suryana Soma, S.hut., M.P., Ph.D sebagai Ketua Komisi Penasihat dan Dr. Ir. Roland A. Barkey. sebagai Anggota Komisi Penasihat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan terhadap penulisan tesis ini.
2. Dr. Ir. H. Usman Arsyad, M.Si, Dr.Ir. Syamsu Rijal, S.Hut., M.Si., IPU, dan Dr. Ir. Baharuddin., MP selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
3. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang diberikan selama menimba ilmu di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.
4. Teman-teman Pascasarjana Ilmu Kehutanan Angkatan 2019 (1) yang telah memberikan dukungan dan semangat selama di kampus hingga penyelesaian tesis ini.
5. Teman-teman Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai yang tidak berhenti memberikan semangat, dukungan dan bantuan yang luar biasa selama penyelesaian tesis ini.

Penghormatan yang setinggi-tingginya dan ucapan terima kasih dengan penuh ketulusan hati penulis persembahkan tesis ini kepada Istri lin

Suraeni, S.Hut., M.Hut dan anak tercinta Nabilah Nur qadri serta kedua orang tua tercinta, Ayahanda Ramli Ahmad dan Ibu Juliati atas segala doa, kerja keras, kasih sayang, motivasi dan semangat serta didikannya dalam membesarkan penulis. Tak lupa pula saudara Zamhari Ramly S.Pd atas segala semangat dan dukungan yang diberikan untuk penulis selama ini.

Penulis sangat menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu semua saran dan kritik dalam penyempurnaannya akan penulis terima dengan segala kerendahan hati. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat dan kiranya Allah SWT senantiasa melindungi dan meridhoi setiap langkah kita. Aamiin.

Makassar, Januari 2024

**Zulqadri Ramly**

## ABSTRAK

Zulqadri Ramly. **Dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air pada daerah aliran sungai Awangpone** (dibimbing oleh Andang Suryana Soma dan Roland A. Barkey).

**Latar belakang.** Jumlah penduduk yang tinggi, alih fungsi lahan, dan berkurangnya kawasan hutan serta daerah resapan air sangat mempengaruhi ketersediaan air. Kondisi DAS Awangpone sangat berperan dalam menopang ketersediaan air yang saling berkaitan satu sama lain baik daerah hulu dan hilir. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan penutupan lahan dan dampaknya pada tahun 2020 dan proyeksi penutupan lahan tahun 2031 serta melakukan simulasi intervensi penerapan pola ruang terhadap ketersediaan air di DAS Awangpone. **Metode.** Penelitian terdiri dari 5 tahap analisis yakni: 1) Proyeksi penutupan lahan tahun 2031 menggunakan peta penutupan lahan tahun 2009, tahun 2015 dan tahun 2020. Proyeksi tahun 2031 diperoleh dari *Artificial Neural Network* (ANN) dan model Cellular Automata (CA); 2) Proyeksi perubahan iklim menggunakan *software Statistical Downscaling Corretion for Climate Scenarios* (SiBiaS) versi 1.1.; 3) Analisis proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode matematik (artimatik, geometric, atau eksponensial) dengan di dasari pada dinamika pertumbuhan penduduk tahun 2009 sampai tahun 2020; 4) Simulasi Model SWAT untuk menghasilkan kondisi hidrologi; dan 5) Prediksi kebutuhan air menggunakan proyeksi jumlah penduduk dan data proyeksi penutupan lahan tahun 2031. **Hasil.** Perubahan yang besar terjadi pada tutupan lahan pertanian lahan kering campur semak dan sawah yang terkonsversi menjadi pemukiman. Sedangkan rata-rata curah hujan yang tinggi pada empat stasiun adalah pada bulan januari-april dan november-desember. Berdasarkan hasil analisis SWAT, perubahan penutupan lahan mempengaruhi kondisi hidrologi pada DAS dimana pada tahun 2031 terjadi peningkatan aliran permukaan, menurunnya aliran leteral dan aliran air tanah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total ketersediaan air pada wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Awangpone pada tahun proyeksi 2031 mencapai 1.6 miliar m<sup>3</sup>. Terjadi penurunan sebesar 115.720.987,02 m<sup>3</sup> dari kondisi aktual. Proyeksi ketersediaan air tahun 2031 pada bulan januari memiliki ketersediaan yang terbesar dan bulan agustus memiliki ketersediaan air terkecil. Proyeksi kebutuhan air di tahun 2031, menunjukkan peningkatan signifikan lebih dari 130 juta m<sup>3</sup> dari kebutuhan air domestik, industri, hingga pertanian. **Kesimpulan.** Perubahan penutupan lahan menyebabkan terjadinya penurunan ketersediaan air

sekitar 6,5%, hasil simulasi menggunakan intervensi pola ruang RTRW nilai Ketersediaan air yang diperoleh mengalami penambahan sekitar 69,79%. Penerapan pola ruang dapat meningkatkan ketersediaan air untuk mengimbangi kebutuhan yang semakin meningkat tiap tahunnya.

Keywords: ketersediaan air; perubahan penutupan lahan; *Artificial Neural Network*; *Cellular Automata*; SWAT

## **ABSTRACT**

Zulqadri Ramly. **Impact of land cover change on water availability in Awangpone river basin.** (supervised by Andang Suryana Soma and Roland A. Barkey).

**Background.** High population numbers, land conversion, and reduced forest cover and watersheds have a major impact on water availability. The condition of the Awangpone watershed plays a very important role in the availability of water connected in both upstream and downstream areas. **Aim.** The aim of this research is to analyze land cover changes and their impacts in 2020 and projected land cover in 2031, as well as simulate interventions to implement spatial patterns on water availability in Awangpone watershed. **Method.** The research consists of 5 analysis phases, namely: 1) land cover forecasts in 2031 using land cover maps from 2009, 2015 and 2020. Predictions in 2031 were obtained from artificial neural network (ANN) and cellular automata (CA) models; 2) Climate change projection using Statistical Downscaling Corretion for Climate Scenarios (SiBiaS) software, version 1.1; 3) Analysis of population forecasts using mathematical methods (arithmatic, geometric or exponential) based on the dynamics of population growth from 2009 to 2020; 4) SWAT model simulation to generate hydrological conditions; and 5) predicting water demand using population projections and land cover forecast data for 2031. **Results.** Major changes occurred in agricultural land cover, dry land mixed with bushes and rice fields converted into residential areas. Meanwhile, the highest average rainfall at the four stations occurs in January-April and November-December. Based on the results of the SWAT analysis, changes in land cover affect the hydrological conditions in the watershed, where there will be an increase in surface flow, a decrease in lateral flow and groundwater flow in 2031. The simulation results show that the total water availability in the Awangpone Watershed (DAS) area will reach 1.6 billion m<sup>3</sup> in the forecast year 2031. Compared to the actual conditions, there was a decrease of 115,720,987.02 m<sup>3</sup>. The projected water availability in 2031 is for January to have the greatest water availability and August to have the lowest water availability. Forecasts for water demand in 2031 show a significant increase in water demand for households, industry and agriculture by more than 130 million m<sup>3</sup>. **Conclusion.** Changes in land cover resulted in a decrease in water availability of about 6.5%. Simulation results using RTRW spatial pattern

intervention revealed an increase in water availability value of about 69.79%. Applying spatial patterns can increase water availability to meet increasing demand each year.

Keywords: water availability; land cover change; *Artificial Neural Network*; *Cellular Automata*; SWAT

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	5
I.3. Tujuan dan Kegunaan .....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
II.1. Perubahan Penutupan Lahan .....	7
II.1.1 Interpretasi Citra .....	9
II.1.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perubahan Penutupan Lahan.....	11
II.1.3. Identifikasi Faktor Pendorong .....	12
II.1.4. Model Perubahan Penutupan Lahan .....	13
II.2. Data Iklim .....	17
II.3. Ketersediaan Air .....	20
II.3.1. Metode Pemodelan Hidrologi .....	21

II.4. Arahan Penutupan Lahan .....	23
II.5. Kerangka Konsep Penelitian .....	25
<b>BAB III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
III.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
III.2. Alat dan Bahan .....	27
III.3. Sumber Data .....	28
III.4. Prosedur Penelitian .....	29
III.5. Tahapan Pengumpulan Data .....	30
III.5.1. Digital Elevation Model .....	30
III.5.2. Data Penutupan Lahan.....	31
III.6. Analisis Data.....	35
III.6.1. Proyeksi Penutupan Lahan 2031.....	35
III.6.2. Proyeksi Curah Hujan Tahun 2031.....	38
III.6.3. Proyeksi Jumlah Penduduk Tahun 2031 .....	39
III.6.4. Prosedur Simulasi Model SWAT .....	39
III.6.5. Prediksi Kebutuhan Air .....	44
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>47</b>
IV.1. Kondisi Umum Penelitian .....	47
IV.1.2. Jenis Tanah .....	50
IV.1.3. Kelerengan.....	51
IV.2. Proyeksi dan Perubahan Penutupan Lahan Tahun 2020 - 2031 ..	53
IV.2.1. Faktor Pendorong Penutupan Lahan.....	60
IV.2.2. Validasi Model Cellular Automata (CA) Simulation .....	62
IV.2.3. Proyeksi Berubahan Penutupan Lahan Tahun 2031 .....	64

IV.3. Proyeksi Iklim Tahun 2031 .....	67
IV.4. Simulasi Model SWAT.....	69
IV.4.1. Deliniasi Batas Sub DAS.....	69
IV.4.2. Pembentukan <i>Hydrologycal Respones Unit</i> HRU.....	71
IV.4.3. Simulasi SWAT .....	72
IV.5. Ketersediaan Air Tahun 2020 dan Ketersediaan Air Proyeksi Tahun 2031.....	74
IV.5.1. Ketersediaan Air Berdasarkan Penutupan Lahan Aktual Tahun 2020.....	74
IV.5.2. Ketersediaan Air Berdasarkan Proyeksi Penutupan Lahan Tahun 2031.....	75
IV.6. Kebutuhan Air .....	77
IV.7. Neraca Air .....	82
IV.8. Intervensi Pola Ruang .....	84
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	89
V.1. KESIMPULAN .....	89
V.2. SARAN.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	90
LAMPIRAN.....	95

## DAFTAR TABEL

No. Urut	Halaman
Tabel 1. Model Output GCM yang Tersedia dalam Software SiBiaS v1.1	19
Tabel 2. Alat Penelitian .....	27
Tabel 3. Bahan Penelitian .....	28
Tabel 4. Jenis dan Sumber Data pada Masing-masing Tahapan Penelitian .....	28
Tabel 5. Tabel <i>Confusion Matrix</i> .....	32
Tabel 6. Kebutuhan Air Rumah Tangga Perorangan menurut Kategori Orang .....	45
Tabel 7. Luas DAS Awangpone Berdasarkan Administrasi .....	47
Tabel 8. Jumlah Penduduk Tahun 2009, 2015, dan 2020 di DAS Awangpone .....	48
Tabel 9. Proyeksi Jumlah Penduduk, dan Kepdatan Peduduk Tahun 2031 .....	49
Tabel 10. Great Group Tanah Berdasarkan Hasil Uji Lab .....	50
Tabel 11. Luas DAS Awangpone berdasarkan kelas lereng .....	52
Tabel 12. Penutupan lahan tahun 2020 di das awangpone .....	53
Tabel 13. Luas DAS Awangpone Berdasarkan Penutupan Lahan Tahun 2009, 2015 dan 2020 .....	56
Tabel 14. Matriks Perubahan Penutupan Lahan DAS Awangpone Tahun 2009-2020 .....	58
Tabel 15. <i>Confusion Matrix</i> Titik Pengecekan Kelas Penutupan Lahan Tahun 2020 .....	59
Tabel 16. Uji Korelasi Faktor Pendorong <i>Pearson's Correlation</i> .....	60
Tabel 17. Luas Penutupan Lahan Tahun 2009 dan Tahun 2015 .....	62
Tabel 18. Perbandingan Penutupan Lahan Tahun 2020 dan Penutupan Tahun 2020 .....	63

Tabel 19. Matriks Transisi Perubahan ( <i>Transition Matrix</i> ) Penutupan Lahan Tahun 2009-2020 .....	64
Tabel 20. Luas Perubahan Penutupan Lahan Tahun 2009, Tahun 2020, dan Proyeksi Tahun 2031 .....	65
Tabel 21. Matriks Perubahan Penutupan Lahan DAS Awangpone Tahun 2020-2031.....	66
Tabel 22. Rata-Rata Curah Hujan di DAS Awangpone .....	67
Tabel 23. Rata-Rata Curah Hujan Aktual dan Proyeksi .....	68
Tabel 24. Luas Sub DAS pada DAS Awangpone.....	70
Tabel 25. Ketersediaan Air DAS Awangpone Tahun 2020.....	74
Tabel 26. Ketersediaan Air DAS Awangpone Tahun 2031.....	76
Tabel 27. Kebutuhan Air DAS Awangpone Tahun 2020 .....	78
Tabel 28. Kebutuhan Air DAS Awangpone Tahun 2031 .....	80
Tabel 29. Neracar Air DAS Awangpone Tahun 2020 .....	82
Tabel 30. Neracar Air DAS Awangpone Tahun 2031 .....	83
Tabel 31. Intervensi Pola Ruang Terhadap Penutupan Lahan DAS Awangpone .....	84
Tabel 32. Ketersediaan Air Pada Berbagai Kondisi Penutupan Lahan di DAS Awangpone.....	87

## DAFTAR GAMBAR

<b>No. Urut</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Ilustrasi Layar Perseptron Berlapis (Multilayer Perceptron)....	15
Gambar 2. Cellular Automata .....	16
Gambar 3. Skema Siklus Hidrologi Dalam Model SWAT .....	22
Gambar 5. Kerangka Konsep Penelitian .....	26
Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian.....	27
Gambar 6. Peta Administrasi DAS Awangpone .....	
Gambar 7. Peta Jenis Tanah DAS Awangpone .....	51
Gambar 8. Peta Topografi di DAS Awangpone.....	52
Gambar 9. Peta Penutupan Lahan Tahun 2009.....	54
Gambar 10. Peta Penutupan Lahan Tahun 2015.....	54
Gambar 11. Peta Penutupan Lahan Tahun 2020.....	55
Gambar 12. Grafik Perubahan Penutupan Lahan Tahun 2009-2021 .....	56
Gambar 13. Peta Sub DAS.....	71
Gambar 14. Hasil simulasi kondisi hidrologi DAS Awangpone Tahun 2020 .....	72
Gambar 15. Hasil simulasi kondisi hidrologi DAS Awangpone Tahun 2031. .....	73
Gambar 16. Perbandingan ketersediaan air bulanan pada tahun 2020 dan 2031 Pada DAS Awangpone .....	76
Gambar 17. Perbandingan kebutuhan air bulanan pada tahun 2020 dan dan proyeksi tahun 2031 Pada DAS Awangpone.....	83
Gambar 18. Neraca Air DAS Awangpone Tahun 2018.....	84
Gambar 19. Neraca Air DAS Awangpone Tahun 2031.....	85
Gambar 20. Peta Intervensi Pola Ruang Terhadap Penutupan Lahan pada DAS Awangpone.....	85

## DAFTAR LAMPIRAN

No. Urut	Halaman
Lampiran 1. Kondisi Penutupan di Lapangan dan Kenampakan pada Citra Landsat 7 ETM Kombinasi band 543 dan Citra Landsat 8 OLI Kombinasi Band 654.....	96
Lampiran 2. Peta Unit Lahan dan Pengambilan Titik Sampel Tanah .....	98
Lampiran 3. Hasil Uji Laboratorium Sifat Fisik dan Kimia Tanah .....	99
Lampiran 4. Peta Perubahan Penutupan Lahan Tahun 2009 ke Tahun 2020.....	103
Lampiran 5. Peta Penyebaran Titik Lokasi <i>Ground Check</i> .....	104
Lampiran 6. Hasil Pengecekan Lapangan (Ground Check) pada Setiap Kelas Penutupan Lahan Tahun 2020. ....	105
Lampiran 7. Faktor Pendorong Jarak dari Jalan Terhadap Perubahan Penutupan Lahan .....	124
Lampiran 8. Faktor Pendorong Jarak dari Pemukiman Terhadap Perubahan Penutupan Lahan .....	125
Lampiran 9 . Faktor Pendorong Jarak dari Sungai Terhadap Perubahan Penutupan Lahan .....	126
Lampiran 10. Peta Perubahan Penutupan Lahan Tahun 2020 ke Tahun 2031 .....	127
Lampiran 11. Peta Ketersediaan Air Tahun 2020 .....	128
Lampiran 12. Peta Ketersediaan Air Tahun 2031 .....	129
Lampiran 13. Peta Selisih Ketersediaan Air Tahun 2020 dan Tahun 2031 .....	130
Lampiran 14. Peta Ketersediaan Air Berdasarkan Arah Penutupan Lahan .....	131

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1. Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumberdaya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi hidup dan kehidupan seluruh makhluk hidup, termasuk manusia. Tanpa air, berbagai proses kehidupan tidak dapat berlangsung, sehingga penyediaan air baku secara berurutan untuk kebutuhan domestik, irigasi dan industri menjadi perhatian dan skala prioritas utama (Darwis, 2017). Pengaturan dan perlindungan air terutama di daerah tangkapan air atau daerah resapan air pada bagian hulu/hilir suatu daerah aliran sungai (DAS) memerlukan perhatian khusus. Fungsi dari daerah resapan air sendiri adalah untuk menampung debit air hujan yang turun di daerah tersebut. Daerah resapan air adalah bagian penting dalam penataan kota. Bagian ini merupakan hal yang tidak boleh salah dalam pembuatan dan perencanaannya. Kawasan yang sudah ditetapkan menjadi daerah resapan air, harus tetap dipertahankan jika tidak ingin terjadi hal-hal yang tidak diinginkan saat intensitas dan kuantitas air hujan menjadi limpasan dalam jumlah yang besar (Syahrudin, 2016).

Pertumbuhan penduduk yang signifikan di wilayah perkotaan berdampak pada perubahan penggunaan lahan. Baik di wilayah perkotaan maupun di daerah hulu DAS terjadi peningkatan area pemukiman (Yang dkk, 2015; Rahimi, 2016). Perubahan penggunaan lahan akan sangat memengaruhi kondisi hidrologi, termasuk ketersediaan air, aliran permukaan, dan banyaknya air yang akan masuk ke tanah hingga ketersediaan air (Zhang dkk, 2015). Bertambahnya lahan pertanian dan urbanisasi akan menyebabkan permintaan atau kebutuhan air yang meningkat (Wilson dkk, 2017).

Hutan memiliki peran penting dalam siklus hidrologi. Proses evapotranspirasi dan infiltrasi air merupakan dua parameter dalam mengamati siklus air di alam, yang dalam hal ini dipengaruhi oleh tipe tutupan lahan. Dengan terjadinya perubahan penutupan lahan,

evapotranspirasi menurun, yang dapat mengakibatkan berkurangnya penguapan air dari permukaan tanah dan meningkatkan aliran permukaan, sehingga mengurangi penyediaan air dalam ekosistem daerah aliran sungai (Ngaji, 2009).

Perubahan penutupan lahan merupakan peralihan pada satu jenis penutupan lahan tertentu menjadi jenis penutupan lainnya. Perubahan tersebut sejalan dengan berkembangnya pembangunan pada suatu wilayah dan meningkatnya kebutuhan manusia, sehingga dianggap hal tersebut yang menyebabkan konversi lahan akan terus terjadi. Peningkatan kemajuan pembangunan yang dipicu oleh laju pertumbuhan jumlah penduduk mendorong terjadinya perubahan penutupan lahan dari hutan menjadi lahan pertanian atau perkebunan dan dari lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman dan industri (Verbist et al., 2010).

Suatu permodelan hidrologi digunakan untuk mengevaluasi dampak perubahan penutupan lahan terhadap sumber daya air (Abbasa dkk., 2016). Dalam system hidrologi untuk menganalisis ketersediaan air ad beberapa inputannya yaitu penutupan lahan, dan curah hujan, khususnya dampak penutupan dan penggunaan lahan tersebut cenderung meningkat. (Fadil dkk., 2011). Pengelolaan penggunaan lahan pada suatu DAS merupakan salah satu bentuk upaya untuk meningkatkan ketersediaan air.

Pengembangan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah memungkinkan permodelan hidrologi untuk mensimulasikan system pada Daerah Aliran sungai (DAS) (Fadil dkk., 2011 dalam Chairil A., 2019). Permodelan untuk ketersediaan air dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi menggunakan model Soil and Water Assessment Tools (SWAT) (Famarzi dkk., 2009). Penerapan model SWAT memberikan informasi yang baik tentang DAS dan termasuk data kuantitatif air (Ahnoh dkk., 2017).

Ketersediaan dan kebutuhan air di Sulawesi Selatan mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring dengan penambahan jumlah penduduk serta pola tata guna lahan yang di dominasi oleh kegiatan

pertanian dan laju pemukiman. Sulawesi Selatan merupakan wilayah penghasil pangan terbesar ke-4 di Indonesia. Salah satu daerah yang menjadi lumbung pangan di Sulawesi Selatan ialah Kabupaten Bone. Daerah pertanian di kabupaten Bone sudah berupa hamparan yang sangat luas sehingga kondisi ketersediaan air menjadi terbatas (Indriyanti, dkk. 2023).

Upaya menjaga keberlanjutan pemanfaatan sumberdaya alam, maka DAS sebagai unit perencanaan sumberdaya alam menjadi sangat penting (Ardiansyah, 2021). Daerah Aliran Sungai (DAS) Awangpone dengan luas 12.840 ha adalah salah satu DAS yang aliran air sungainya dimanfaatkan oleh warga Bone, khususnya ibu kota Kabupaten Bone. Kondisi DAS Awangpone sangat berperan dalam menopang ketersediaan air yang saling berkaitan satu sama lain baik daerah hulu dan hilir, khususnya 5 kecamatan yang berada di wilayah DAS Awangpone. DAS Awangpone bagian hulu merupakan salah satu wilayah yang cukup penting peranannya dalam sistem DAS secara keseluruhan. Dikutip dari *bone.go.id* bulan desember 2019, kekurangan air bersih di Kabupaten Bone selama 10 tahun terakhir menjadi ancaman krisis air bersih dan krisis pangan. Jumlah penduduk yang tinggi, alih fungsi lahan, dan berkurangnya kawasan hutan serta daerah resapan air sangat mempengaruhi ketersediaan air.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian terkait dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air di DAS Awangpone, dilihat dari dampak perubahan penutupan lahan, maka perlu dilakukan skenario penerapan pola ruang untuk memperoleh ketersediaan air. Bahwa penutupan lahan sangat mempengaruhi ketersediaan air. Pola ruang di DAS Awangpone didasarkan pada Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kab Bone tahun 2031.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian dilakukan untuk menganalisis dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air di DAS Awangpone. Dalam konteks ini, pemahaman terhadap dampak perubahan penutupan lahan menjadi landasan untuk merancang skenario

penerapan pola ruang guna memperoleh ketersediaan air yang optimal. Diketahui bahwa penutupan lahan memiliki pengaruh signifikan terhadap ketersediaan air, sehingga penerapan pola ruang menjadi strategi kunci. Pola ruang di DAS Awangpone merujuk pada Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Bone tahun 2031.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Kabupaten Bone telah mengalami permasalahan krisis air terutama pada musim kemarau. Kabupaten Bone terutama pada wilayah penelitian berada pada pusat Kota Kabupaten Bone. Sumber air PDAM pada DAS tersebut mengambil dari mata air Wollangi yang berada pada wilayah DAS Awangpone. Kabupaten Bone terutama pada wilayah perkotaan sebagai pusat kegiatan aktivitas masyarakat akan menyebabkan peningkatan jumlah penduduk yang akan berdampak pada penggunaan lahan disekitarnya termasuk DAS Awangpone. Perubahan penutupan lahan di DAS akan sangat mempengaruhi ketersediaan air, maka perlu dilakukan mitigasi ataupun adaptasi perubahan penutupan lahan terkait ketersediaan air. Langkah awal dengan melakukan identifikasi ketersediaan air, dalam hal ini ketersediaan air di analisis dengan menggunakan pemodelan hidrologi yang merupakan bagian dari DAS. Informasi tentang ketersediaan air menjadi dasar dalam pengambilah langkah mitigasi ataupun adaptasi yang akan dilakukan. Berdasarkan hal tersebut dilakukan simulasi penerapan pola ruang kondisi penutupan lahan yang telah direncanakan maka dirumuskan sebagai berikut:

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perubahan penutupan lahan tahun 2020 hingga tahun 2031 di DAS Awangpone ?
2. Bagaimana dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air tahun 2020 dan proyeksi tahun 2031 di DAS Awangpone ?
3. Bagaimana intervensi penerapan pola ruang terhadap ketersediaan air DAS Awangpone ?.

## **I.3. Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis perubahan penutupan lahan tahun 2009, 2020 dan 2031 di DAS Awangpone:

2. Menganalisis dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air tahun 2020 dan proyeksi tahun 2031 di DAS Awangpone:
3. Melakukan simulasi intervensi penerapan pola ruang terhadap ketersediaan air di DAS Awangpone

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai informasi dampak perubahan penutupan lahan pada tahun 2031, melihat proyeksi perubahan penutupan tahun 2031 terhadap daerah resapan air dalam menunjang ketersediaan air di daerah lokasi penelitian, salah satu bahan rekomendasi arahan oleh instansi pemerintah atau masyarakat terkait dalam merencanakan pengelolaan DAS Awangpone, baik berupa program rehabilitasi, reboisasi, maupun program-program lainnya yang mendukung ketersediaan air pada DAS Awangpone, serta melihat bagaimana kondisi ketersediaan air tahun 2031 berdasarkan arahan penutupan lahan.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1. Perubahan Penutupan Lahan

Penutupan lahan merupakan perwujudan secara fisik objek-objek yang menutupi lahan tanpa mempersoalkan kegiatan manusia terhadap objek-objek tersebut. Penggunaan lahan untuk pemukiman memiliki penutupan terdiri dari atap, permukaan yang diperkeras, rumput dan pepohonan. Arsyad (2010) menyatakan bahwa lahan merupakan lingkungan fisik yang terdiri atas iklim, relief, tanah, air dan vegetasi serta benda yang ada di atasnya sepanjang ada pengaruhnya terhadap penutupan dan penggunaan lahan.

Pengetahuan tentang penutupan lahan dan penggunaan lahan penting untuk berbagai kegiatan perencanaan dan pengelolaan yang berhubungan dengan permukaan bumi. Penutupan lahan berkaitan dengan jenis kenampakan yang ada dipermukaan bumi. Contoh jenis penutupan seperti bangunan perkotaan, danau, pohon maple dan es glasial merupakan contoh penutupan lahan. Istilah penggunaan lahan berkaitan dengan kegiatan manusia pada bidang lahan tertentu. Sebagai contoh, sebidang lahan di daerah pinggiran kota mungkin digunakan untuk perumahan satu keluarga. Sebidang lahan tersebut mempunyai penutupan lahan yang terdiri dari atap, permukaan yang diperkeras, rumput dan pepohonan ((Lillesand & Kiefer, 1994) dalam Ardiansyah, 2017).

Perubahan fungsi dan tutupan lahan memegang peran penting dalam perubahan global. Perubahan tutupan lahan umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia yang berdampak negatif pada pola iklim, bencana alam dan dinamika sosial ekonomi baik skala lokal maupun global. Penggunaan lahan perubahan penggunaan lahan dan kehutanan atau yang dikenal dengan *land use, land-use changes and forestry (LULUCF)* adalah pengalih fungsian penggunaan lahan untuk berbagai macam sektor seperti pertanian, perkebunan, dan pertambangan. Selain itu LULUCF juga menjadi hal yang esensial dalam berbagai bidang seperti longsor,

perencanaan pengelolaan lahan dan pemanasan global. Populasi yang terus bertambah dan kebutuhan sosial ekonomi yang meningkat berdampak pada tekanan penggunaan dan perubahan lahan yang begitu cepat. Kurangnya manajemen dan perencanaan dalam perubahan fungsi lahan menyebabkan berbagai macam bencana alam seperti banjir, longsor, dan erosi (Reis S, 2008)

Faktor fisik yang mempengaruhi penggunaan dan penutupan lahan yakni topografi atau perbedaan tinggi, bentuk wilayah suatu daerah, termasuk didalamnya adalah perbedaan kecuraman dan bentuk lereng. Peranan topografi terhadap penggunaan lahan dibedakan berdasarkan unsur-unsurnya adalah elevasi dan kemiringan lereng. Peranan elevasi terkait dengan iklim, terutama suhu dan curah hujan. Elevasi juga berpengaruh terhadap peluang untuk pengairan. Peranan lereng terkait dengan kemudahan pengelolaan dan kelestarian lingkungan. Daerah yang berlereng curam mengalami erosi yang terus-menerus sehingga tanah-tanah ditempat ini bersolum dangkal, kandungan bahan organik rendah dan perkembangan horison lambat dibandingkan dengan tanah-tanah di daerah datar yang air tanahnya dalam. Perbedaan lereng juga menyebabkan perbedaan air tersedia bagi tumbuh-tumbuhan sehingga mempengaruhi pertumbuhan vegetasi di tempat tersebut dan seterusnya juga mempengaruhi pembentukan tanah (Hardjowigeno 1993).

Iklim merupakan faktor fisik yang sulit dimodifikasi dan paling menentukan keragaman penggunaan lahan. Unsur-unsur iklim seperti hujan, penyinaran matahari, suhu, angin, kelembaban dan evaporasi, menentukan ketersediaan air dan energi, sehingga secara langsung akan mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman. Penyebaran dari unsur-unsur iklim ini bervariasi menurut ruang dan waktu, sehingga penggunaan lahan juga beragam sesuai dengan penyebaran iklimnya (Mather 1986 dalam Gandasasmita 2001).

### II.1.1 Interpretasi Citra

Citra satelit adalah salah satu wujud dari data penginderaan jauh hasil dari perekaman atau pemotretan sensor penginderaan jauh. Penggunaan citra penginderaan jauh satelit disukai oleh para pengguna terutama pengelola wilayah, karena citra penginderaan jauh mempunyai beberapa kelebihan seperti yang diungkapkan Sutanto (1994) dalam Purwadhi and Sanjoto (2008), yaitu:

- a. Citra menggambarkan objek, daerah, dan gejala permukaan bumi dengan wujud dan letak obyek mirip dengan wujud dan letak objek di bumi, relatif lengkap, meliputi daerah yang luas, dan permanen.
- b. Jenis citra tertentu dapat diwujudkan dalam tiga dimensi, sehingga memperjelas kondisi relief, dan memungkinkan pengukuran tinggi.
- c. Karakteristik objek yang tidak tampak mata dapat diwujudkan dalam bentuk citra, seperti perbedaan suhu, kebocoran pipa gas bawah tanah, kebakaran tambang di bawah tanah, mudah dikenali dengan menggunakan citra inframerah termal.
- d. Citra dapat dibuat cepat meskipun daerahnya secara terestrial sulit dijelajahi.
- e. Citra dapat dibuat dengan periode pendek, misalnya NOAA setiap hari, Landsat setiap 16 hari, SPOT setiap 24 hari
- f. Citra merupakan alat yang baik untuk memantau perubahan wilayah yang relatif cepat, seperti pembukaan daerah hutan, pemekaran kota, perluasan lahan garapan, dan perubahan kualitas lingkungan.

Satelit Landsat (*Land satellite*) merupakan suatu hasil program satelit sumberdaya bumi yang dikembangkan oleh NASA (*The National Aeronautical and Space Administration*) Amerika Serikat pertama kali diluncurkan pada 1972 dengan nama ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*). Dengan kesuksesan peluncuran pertama, dilanjutkan dengan peluncuran selanjutnya seri kedua yang dengan nama Landsat 1. Perkembangan citra landsat bertahan dari citra landsat 1 sampai dengan citra landsat 8.

Seri Landsat hingga saat ini telah sampai pada Landsat-8. Dari

Landsat-1 hingga Landsat-8 telah terjadi perubahan desain sensor sehingga kedelapan satelit tersebut dapat dikelompokkan menjadi 4 generasi, yaitu generasi pertama (Landsat 1-3), generasi kedua (Landsat 4 dan 5), generasi ketiga (Landsat- 6 dan 7), serta generasi keempat (Landsat 8). Landsat 7 yang diluncurkan pada tanggal 15 April 1999 membawa sensor dengan multispectral dengan resolusi 15 meter pada citra pankromatik dan 30 meter untuk citra multispectral pada spectra pantulan (berkisar dari spectrum biru hingga inframerah tengah), serta resolusi spasial 60 meter untuk citra inframerah termal (Danoedoro, 2012).

NASA meluncurkan Misi Kontinuitas Data Landsat (LDCM) untuk Landsat 8 pada 11 Februari 2013. Menandai perkembangan baru dalam dunia antariksa, satelit ini mulai menyediakan produk foto yang dapat diakses sejak 30 Mei 2013. Pada tanggal 30 Mei, NASA kemudian menyerahkan satelit LDCM kepada USGS untuk digunakan sebagai sumber data. Lebih lanjut, satelit ini diberi nama Landsat 8. Center for Earth Resources Observation and Science (EROS) masih bertanggung jawab atas pengelolaan arsip data citra. Untuk mengorbit Bumi, Landsat 8 hanya memerlukan waktu 99 menit dan melakukan liputan di wilayah yang sama setiap 16 hari sekali. Versi landsat sebelumnya tidak mengubah resolusi temporal ini.

Dua sensor, Multi Spectral Scanner (MSS) dan Thematic Mapper (TM), ditemukan di satelit Landsat 8. Sensor TM memiliki resolusi hingga 30 x 30 m dan bekerja untuk mengumpulkan data permukaan bumi dengan luas sapuan 185 km x 185 km. Selain itu, memiliki resolusi radiometrik 8 bit, yang berarti bahwa jangkauan data setiap pixel adalah 0-225. Sensor TM adalah sistem yang sangat kompleks dan memerlukan toleransi pembuatan yang sangat kecil. Akibatnya, penyempurnaan yang bertujuan untuk memperkecil resolusi spasial sampai di bawah 20 M tidak dapat dilakukan di masa mendatang.

Landsat 8 (OLI) ini dapat diunduh (*download*) secara gratis di link ini [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov), namun sebelum dapat mengunduh citra

ini, harus melakukan registrasi terlebih dahulu untuk keperluan pendataan dari pihak USGS (*United States Geological Survey*). Interpretasi citra adalah proses pengkajian citra melalui proses identifikasi dan penilaian mengenai objek yang tampak pada citra. Dengan kata lain, interpretasi citra merupakan suatu proses pengenalan objek yang berupa gambar (citra) untuk digunakan dalam disiplin ilmu tertentu seperti Geologi, Geografi, Ekologi, Geodesi dan disiplin ilmu lainnya (Sutanto, 1994)

Interpretasi citra adalah salah satu bagian dari pengolahan citra penginderaan jauh yang paling sering dibahas, digunakan, dan dalam praktik dipandang mapan. Lebih dari itu, hasil utama dari klasifikasi citra adalah peta tematik (yang pada umumnya merupakan peta penutup atau penggunaan lahan), yang kemudian biasanya dijadikan masukan dalam permodelan spasial dalam lingkungan sistem informasi geografis (SIG) (Danoedoro, 2012).

Tingkat otomatisasi proses interpretasi gambar komputer membedakan mereka menjadi dua kategori. Kedua kategori tersebut adalah klasifikasi terbimbing (*supervised*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised*). Klasifikasi terbimbing mencakup kumpulan algoritma yang didasarkan pada operator yang memasukkan contoh objek, yang memiliki nilai spektral. Tempat kelompok piksel sampel disebut daerah contoh (*training area*). Tidak seperti klasifikasi tidak terbimbing, klasifikasi tidak terbimbing secara otomatis diputuskan oleh komputer tanpa campur tangan operator, jika ada. Menurut Dannoedoro (2012), proses ini berulang kali sampai menghasilkan pengelompokan akhir dari gugus-gugus spektral.

### **II.1.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perubahan Penutupan Lahan**

Perubahan penutupan lahan terjadi karena adanya peningkatan kebutuhan akan ruang yang dihadapkan pada ketersediaan lahan yang terbatas. Penggunaan lahan non-terbangun seperti tanaman pangan lahan basah, tanaman pangan lahan kering, kebun campuran, lahan

kosong merupakan lahan yang mudah dikonversikan menjadi penggunaan lahan terbangun seperti permukiman teratur, permukiman tidak teratur, kawasan industri, dan fasilitas pendidikan (Sitorus et al., 2012). Contoh-contoh kasus diatas merupakan sebagian kecil dari banyaknya faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan penutupan/penggunaan lahan, atau sering juga disebut dengan faktor pendorong dari perubahan suatu lahan. Beberapa kajian dan penelitian juga telah dilakukan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya perubahan penutupan/penggunaan lahan yang selanjutnya biasa disebut variabel pendorong.

Salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan penutupan lahan yaitu pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk yang tinggi berakibat kebutuhan lahan yang tinggi pula. Pertambahan jumlah penduduk mendorong kepadatan penduduk dalam suatu wilayah yang berarti juga peningkatan kebutuhan akan suatu lahan. Karena lahan tidak dapat bertambah, maka yang terjadi adalah perubahan penggunaan lahan yang cenderung menurunkan proporsi lahan-lahan yang sebelumnya merupakan penggunaan lahan pertanian menjadi lahan non pertanian (Rahmah, 2019).

Terlepas dari potensi pariwisata tersebut Dipayana (2015) berpendapat bahwa terdapat dampak yang ditimbulkan dalam hal ini adalah efek atau pengaruh dari sebuah fenomena yang mengakibatkan perubahan-perubahan terhadap tata-guna lahan dan sosial-budaya masyarakat.

### **II.1.3. Identifikasi Faktor Pendorong**

Dengan menggunakan analisis deskriptif, temukan faktor pendorong dengan memilih beberapa variabel yang memengaruhi perubahan dalam penutupan dan penggunaan lahan. Di antara banyak variabel yang dapat memengaruhi penggunaan lahan sebuah daerah, beberapa di antaranya memiliki karakteristik yang berbeda. Kubangun (2016) menemukan bahwa banyak faktor yang memengaruhi perubahan penggunaan lahan, termasuk lereng, jarak ke jalan, jarak ke sungai, jarak

ke pemukiman, kepadatan penduduk, tanah, dan iklim, dan bahwa semakin dekat jarak perubahan lahan dari permukiman, jalan, dan sungai, semakin banyak perubahan lahan yang terjadi di wilayah tersebut. Sungai dan pemukiman berfungsi sebagai katalisator budaya untuk perubahan penggunaan lahan: semakin dekat penggunaan lahan terhadap jalan, sungai, dan pemukiman, semakin cepat perubahan penggunaan lahan terjadi. Faktor sosial ekonomi yang mendorong perubahan termasuk kepadatan penduduk dan pendapatan, yang masing-masing menunjukkan jumlah permintaan lahan permukiman (Tasha, 2012).

Santoso (2009) menyatakan bahwa Pearson's Correlation, juga dikenal sebagai koefisien Correlation, adalah salah satu cara untuk mengukur tingkat asosiasi (hubungan) atau korelasi antara dua kelompok variabel atau atribut. Koefisien Correlation adalah koefisien korelasi antara dua variabel—variabel independen dan variabel dependen—yang berskala nominal dan dihitung menggunakan tabel kontingensi. Ini digunakan jika data atau informasi berskala nominal atau kategorik. Nilai harapan untuk setiap sel dalam tabel kontingensi akan ditemukan. Semakin besar perbedaan antara nilai harapan dan nilai observasi, semakin besar derajat hubungan dua variabel, yang berarti nilai koefisien cramer meningkat. Nilai koefisien cramer tidak pernah negatif, hanya berkisar antara 0 dan 1. hal ini dikarenakan antara variabel tidak memperhatikan urutan (order) di antara kedua variabel tersebut (Purnomo, 2014).

Semua parameter perubahan lahan atau variabel pendorong dalam perubahan penutupan atau penggunaan lahan memiliki kontribusi yang berbeda. Ini ditunjukkan oleh koefisien variabel: semakin besar nilai koefisien, semakin besar pengaruh variabel tersebut terhadap perubahan penutupan atau penggunaan lahan (Parasdyo and Susilo, 2012).

#### **II.1.4. Model Perubahan Penutupan Lahan**

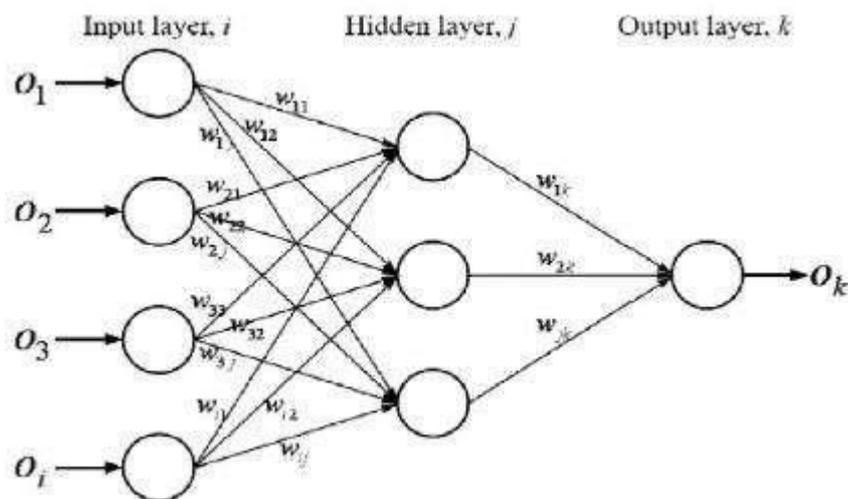
Pemodelan dapat digunakan untuk mengetahui luas perubahan, menganalisis pola perubahan termasuk untuk memprediksikan perubahan

penggunaan lahan di masa datang. *Cellular Automata* (CA) adalah salah satu model yang dapat diterapkan dalam memprediksikan penggunaan lahan yang akan datang berdasarkan pola perubahan penggunaan lahan ada tahun sebelumnya. Model tersebut merupakan model yang bersifat dinamis yang mengintegrasikan dimensi ruang dan waktu (Susilo B, 2011). *Cellular Automata* (CA) adalah system dinamika diskrit dimana ruang dibagi ke dalam bentuk spasial sel teratur dan waktu proses pada setiap tahapan yang berbeda. Setiap sel pada system ini memiliki satu kondisi, dimana kondisi ini akan selalu diupdate mengikuti aturan local, waktu yang diberikan, keadaan sendiri, dan keadaan tetangganya pada saat sebelumnya (Wolfram 1984 dalam (Awal, 2019)).

Pendekatan *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Cellular Automata* (CA) dapat digunakan untuk memprediksi penutupan atau penggunaan lahan serta perkembangan suatu wilayah di masa depan. Pemodelan ANN dan CA dapat menentukan kemungkinan perubahan penutupan atau penggunaan lahan menjadi penutupan atau penggunaan lahan yang berbeda (Rahmah, 2019). *Artificial Neural Network* (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah pengolah informasi yang didasarkan pada cara sistem saraf biologis, seperti otak, bekerja untuk memproses data. Komponen utama ANN adalah struktur sistem, yaitu komponen pemrosesan yang saling terkoneksi (*neuron*) dalam jumlah besar yang bekerja sama untuk menyelesaikan masalah tertentu. JST dianggap cocok untuk pengenalan dan klasifikasi. ANN bertujuan untuk mengadopsi mekanisme berpikir sistem yang mirip dengan otak manusia. ANN dapat digunakan untuk memodelkan perubahan penggunaan lahan. Ini memerlukan beberapa langkah: menentukan input dan arsitektur jaringan, melatih jaringan, menguji jaringan, dan menggunakan data yang dihasilkan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan (Tasha, 2012).

Salah satu jenis metode pemodelan yang muncul sebagai hasil dari kemajuan dalam ilmu komputasi adalah *Multi-layer Perceptron* (MLP). yang merupakan salah satu bentuk arsitektur dari Artificial Neural

Networkk (ANN). MLP dapat digunakan dalam analisis diskriminan non-linear (untuk klasifikasi) dan menunjukkan hubungan yang ada antara variabel input dan output tanpa sebelumnya mengetahui hubungan antara variable-variabel itu sendiri (Wardani, 2016.). *Multi-layer Perceptron* (MLP) menerapkan teknik *supervised learning* yang disebut Backpropagation sebagai metode pembelajaran jaringan. Pada dasarnya MLP terdiri dari suatu input layer, satu atau lebih hidden layer, dan satu output layer (Rahardiani, 2018). Lapisan input terdiri dari beberapa unit yang menerima masukan dari dunia nyata (variabel pendorong), sementara output layer mengembalikan hasil kembali ke dunia nyata. Sisa dari unit tersebut diatur dalam satu atau lebih lapisan tersembunyi, yang bertanggung jawab untuk mengekstraksi pola yang mendasari dari input (Yassin et al., 2017).

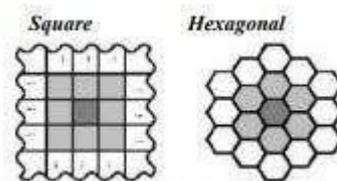


Gambar 1. Ilustrasi Layar Perseptron Berlapis (Multilayer Perceptron) (Popescu, et al, 2009; Rahmah, 2019).

Hasil komparasi akurasi menunjukkan bahwa Model CA-MLP memiliki akurasi yang paling baik dibandingkan dengan model lain, seperti CA-SMCE *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan CA-Logistik Biner. MLP *neural network* memiliki kemampuan untuk mengenali dan menjelaskan pola proses pembelajaran. Ini dapat menghasilkan model yang lebih baik daripada hubungan yang bersifat *no linier*. Selain itu, MLP *neural network* memiliki kemampuan untuk beroperasi pada data yang

memiliki korelasi antar variabel dan data yang memiliki banyak kesalahan (Parasdyo and Susilo, 2012).

*Cellular Automata* (CA) adalah sistem dinamika diskrit dengan ruang dibagi kedalam bentuk spasial sel teratur dan waktu diproses pada setiap tahapan yang berbeda terdiri dari lima unsur yaitu sel, kondisi, ketetanggan, aturan transisi, dan waktu. CA menggunakan aturan sederhana untuk memprediksi perubahan sistem dinamika dan berkembang secara bertahap sesuai dengan aturan tersebut. Sel, kondisi, ketetanggaaan, aturan transisi, dan waktu. CA telah banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi, seperti prediksi sedimentasi, pemodelan aliran granular, pemodelan arus lalu lintas, dan prediksi pertumbuhan pemukiman serta perubahan penggunaan lahan. CA adalah pendekatan komputasi berbasis keruangan yang memiliki keunggulan dalam mengakomodasi dimensi ruang, waktu, dan atributnya. CA juga lebih realistis untuk menemukan rumus transisi yang merepresentasikan tenaga dorongan dan tarikan (Ukto, 2013). Jumlah dari sel tetangga sangat dipengaruhi oleh lattice dari sel tersebut. Bentuk pixel cellular automata (CA) dapat dilihat pada gambar 1. (Paramita, 2010).



Gambar 2. Cellular Automata

Pusat cell ditandai dengan warna hitam sedangkan neighborhoods ditandai dengan warna abu-abu. *Lattice* yang akan digunakan dalam sistem ini adalah berbentuk *Square* dengan cell pusatnya yang berbentuk segiempat, maka sel-sel tetangganya akan semakin banyak. Sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem yang dinamis (Paramita, 2010).

Validasi model dilakukan untuk menguji kinerja pemodelan *Cellular Automata* (CA) pada *software* SIG dalam nantinya untuk memproyeksikan penutupan. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa proyeksi data yang dibuat benar dan data yang dihasilkan dapat diterima.

Selanjutnya dilakukan validasi model. Untuk penelitian perubahan tutupan lahan dianjurkan menggunakan akurasi Kappa, karena akurasi Kappa digunakan semua elemen dalam matriks. Secara matematik, akurasi Kappa dapat dihitung dengan persamaan (Lillesand dan Kiefer, 1994).

$$K = \frac{N \times \sigma_{i=1}^z X_{ii} - \sigma_{i=1}^z (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sigma_{i=1}^z (X_{i+} \times X_{+i})} \times 100\%$$

Keterangan :

- K : nilai Kappa
- X<sub>ii</sub> : luas tipe penggunaan lahan ke-i hasil simulasi yang bersesuaian dengan luas tipe penggunaan lahan ke-I hasil observasi
- X<sub>i+</sub> : luas tipe penggunaan lahan ke-i hasil simulasi
- X<sub>+i</sub> : luas tipe penggunaan lahan ke-i hasil observasi
- N : jumlah luas semua tipe penggunaan lahan
- Z : jumlah tipe penggunaan lahan

## II.2. Data Iklim

Saat ini, umat manusia telah mengalami banyak dampak dari fenomena alam yang dikenal sebagai perubahan iklim. Kenampakan tersebut mulai dari yang kecil hingga yang besar. Adanya suhu ekstrim, gelombang panas, dan perubahan curah hujan adalah beberapa contoh fenomena perubahan iklim.

Menurut Pasal 1 Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, perubahan iklim adalah perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia, yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer dan perubahan variabilitas iklim alamiah secara global dalam jangka waktu yang dapat dibandingkan. Namun, menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), perubahan iklim didefinisikan sebagai perubahan keadaan iklim yang terjadi dalam jangka waktu yang lama, biasanya antara sepuluh tahun atau lebih (Dirjen Perubahan Iklim, 2018).

Perubahan iklim tidak dapat dihindari dan akan terus terjadi setiap tahun. Proyeksi perubahan iklim adalah salah satu cara kita dapat mengetahui bagaimana perubahan iklim akan berubah di masa depan. Beberapa program komputer telah dikembangkan untuk membantu para peneliti memproyeksikan perubahan iklim. SiBiaS (*Statistical Downscaling Corretion for Climate Scenarios*) adalah program komputer yang dikembangkan sebagai bagian dari aktivitas proyek *Third National Communication Indonesia* (TNC) untuk meningkatkan kapasitas pemodelan iklim di Indonesia.

*Software* yang disebut Sibias membantu proses koreksi bias dan penggunaan data luaran GCM CMIP5. Program ini menyediakan dua metode koreksi bias statistik: metode koreksi distribusi dan metode Delta. Dalam penyusunan skenario perubahan iklim untuk kajian dalam skala lokal, metode delta adalah metode downscaling yang paling sederhana dan umum digunakan. Selain itu, metode koreksi bias berbasis distribusi data dengan pendekatan distribusi Gamma juga dapat digunakan dalam program ini (Piani et al., 2010). Metode delta merupakan proses koreksi bias melalui pendekatan “penambahan” atau “perkalian” nilai dari  $\Delta\mu$  dengan nilai observasi pada periode baseline, sebagaimana terdapat dalam model persamaan berikut:

$$X_{cor,i} = X_{o,i} \times \frac{\mu_p}{\mu_b}$$

Nilai  $X_{cor,i}$  merupakan nilai model terkoreksi dan  $X_{o,i}$  merupakan nilai observasi pada periode baseline.  $\mu$  merupakan nilai rata-rata dimana  $b$  dan  $p$  masing-masing mengindikasikan data simulasi periode baseline dan proyeksi dari model.

Pada proses koreksi bias menggunakan metode yang digunakan Piani et al. (2010) dalam (Barkey, et al., 2016)., data observasi dan simulasi diasumsikan memiliki pola distribusi tertentu, dimana untuk data curah hujan umumnya memiliki pola distribusi Gamma.

$$pdf(x) = \frac{e^{(-\frac{x}{\theta})} x^{(k-1)}}{\Gamma(k)\theta^k}$$

Dimana  $x$  merupakan data curah hujan dan  $k$  merupakan parameter bentuk serta  $\theta$  merupakan parameter skala. Proses koreksi yang dilakukan yaitu dengan melakukan perhitungan nilai invers dari kurva Cumulative Distribution Function (CDF) untuk data observasi ( $y$ ) dan simulasi ( $x$ ). Data hasil invers CDF tersebut kemudian digunakan untuk menyusun persamaan regresi dimana  $y=f(x)$ . Data simulasi untuk periode baseline dikoreksi dengan persamaan yang dihasilkan, dan data simulasi untuk periode proyeksi juga dapat dikoreksi dengan persamaan ini. Karena pola distribusi normal cenderung berbentuk gaussian, suhu data biasanya berbeda dengan data curah hujan. Oleh karena itu, pola distribusi data harus diubah dan disesuaikan (Barkey, et al., 2016).

Penggunaan SiBias untuk data luaran GCM CMIP5 dan proses koreksi biasanya dengan teknik bias statistik metode delta dan metode koreksi distribusi dibuat lebih mudah. Perangkat lunak ini dirancang khusus untuk peroyeksi iklim di wilayah Indonesia. Ada empat skenario tersedia untuk perangkat lunak ini: RCP 2,6, RCP 4,5, RCP 6,0, dan RCP 8,5. Senario RCP 4,5 digunakan dalam penelitian ini. CSIRO Mk3.6.0 adalah model yang paling umum digunakan di Indonesia, terutama di Sulawesi. Adapun output GCM yang tersedia dalam *software* SiBias disajikan pada table berikut.

Tabel 1. Model Output GCM yang Tersedia dalam Software SiBias v1.1

No	Nama Model GCM	Referensi
1	bcc-csm1-1	(Wu, 2012; Xin et al., 2012; Xin et al., 2013)
2	CCSM4	(Gent and Danabasoglu, 2011)
3	CESM1-CAM5	(Hurrell, 2013)
4	CSIRO-Mk3-6-0	(Rotstayn et al., 2012)
5	FIO-ESM	(Collins et al., 2006)
6	GFDL-CM3	(Delworth et al., 2006; Donner et al., 2011)
7	GFDL-ESM2G	(Dunne et al., 2012; Dunne et al., 2013)
8	GFDL-ESM2M	(Dunne et al., 2012; Dunne et al., 2013)
9	GISS-E2-H	(Schmidt et al., 2006)
10	GISS-E2-R	(Schmidt et al., 2006)

No	Nama Model GCM	Referensi
11	HadGEM2-AO	(Collins et al., 2011; Martin et al., 2011)
12	HadGEM2-ES	(Collins et al., 2011; Martin et al., 2011)
13	IPSL-CM5A-LR	(Dufresne et al., 2013)
14	IPSL-CM5A-MR	(Dufresne et al., 2013)
15	MIROC5	(Watanabe et al., 2010)
16	MIROC-ESM	(Watanabe et al., 2010)
17	MIROC-ESM-CHEM	(Watanabe et al., 2010)
18	MRI-CGCM3	(Yukimoto et al., 2012; yukimoto et al., 2011)
19	NorESM1-M	(Iversen et al., 2013)
20	NorESM1-MF	(Tjiptura et al., 2013)

### II.3. Ketersediaan Air

Ketersediaan air adalah jumlah air yang diperkirakan terus menerus ada disuatu lokasi dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Ketersediaan air dalam pengertian sumberdaya air pada dasarnya berasal dari air hujan, air permukaan dan air tanah. Hujan yang jatuh diatas permukaan pada suatu DAS atau wilayah sungai sebagian akan menguap kembali sesuai dengan proses iklimnya, sebagian akan mengalir melalui permukaan dan sub permukaan masuk ke dalam saluran, sungai atau danau dan sebagian lagi akan meresap jatuh ke tanah sebagai pengisian kembali pada kandungan air tanah yang ada (Bappenas, 2006).

Secara keseluruhan jumlah air di planet bumi ini relatif tetap dari masa ke masa (Suripin, 2002). Ketersediaan air yang merupakan bagian dari fenomena alam, sering sulit untuk diatur dan diprediksi dengan akurat. Hal ini karena ketersediaan air mengandung unsur variabilitas ruang (*spatial variability*) dan variabilitas waktu (*temporal variability*) yang sangat tinggi. Konsep siklus hidrologi adalah bahwa jumlah air disuatu luasan tertentu dihamparan bumi dipengaruhi oleh masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang terjadi. Kebutuhan air di kehidupan kita sangat luas dan selalu diinginkan dalam jumlah yang cukup pada saat yang tepat. Oleh karena itu, analisis kuantitatif dan kualitatif harus dilakukan secermat

mungkin agar dapat dihasilkan informasi yang akurat untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air (Sari dkk., 2010)

### **II.3.1. Metode Pemodelan Hidrologi**

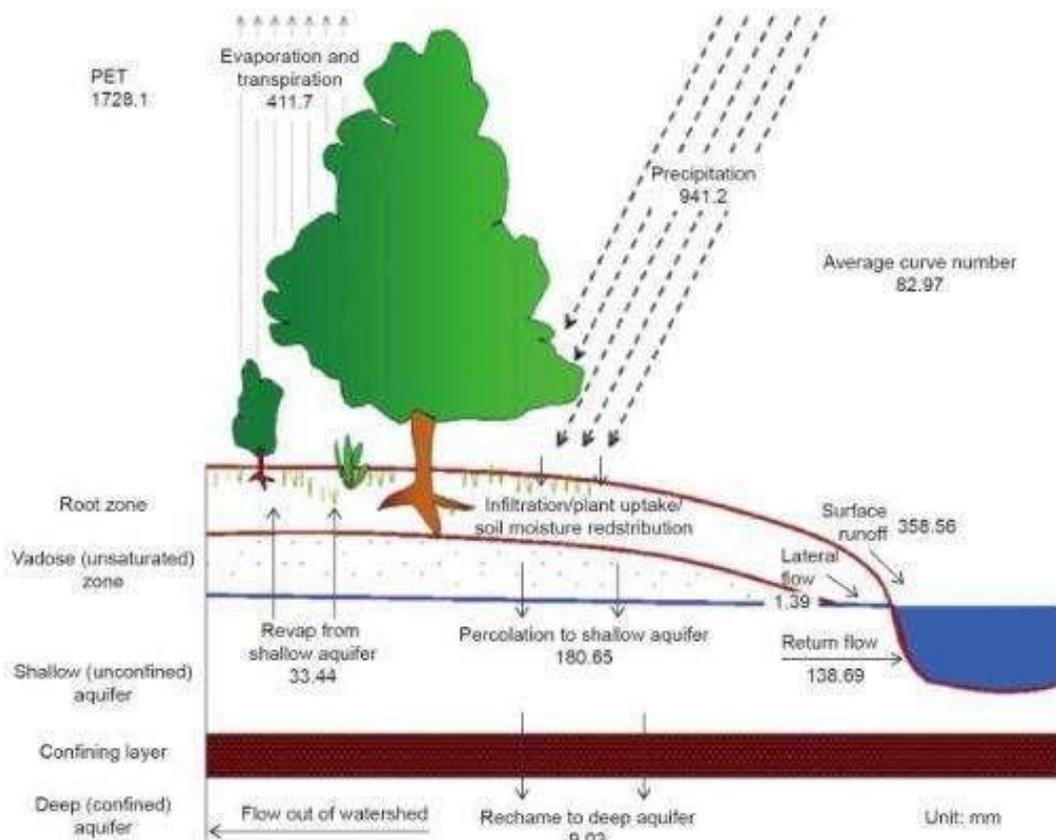
Model adalah representasi atau gambaran dari keadaan, objek, dan kejadian. Gambaran ini harus diungkapkan secara sederhana, yaitu dengan menghilangkan atau meminimalkan variabel lain yang rumit dan tidak terkait secara langsung dengan model. Gambaran ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan penelitian.

Model hidrologi yang sekarang dikenal sebagai SWAT (*Soil Water Assessment Tools*) dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold dan dibuat untuk *USDA Agriculture Research Service (ARS)* pada awal tahun 1990 an. Neitsch dkk (2005) menyatakan bahwa SWAT merupakan gabungan beberapa model seperti *SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)*, *Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System (CREAMS)*, *Groundwater Loading effect an Agricultural Management System (GREAMS)*, dan *Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC)*, (Neitsch, et al., 2002b). Model SWAT dikembangkan untuk mengetahui pengaruh dari manajemen lahan terhadap siklus hidrologi serta sedimen yang ditimbulkan dan daur dari bahan kimia pertanian yang diperoleh berdasarkan data jangka waktu tertentu. Simulasi dari beberapa proses fisik yang berbeda pada DAS dapat dimungkinkan dengan menggunakan SWAT. Neraca air di dalam SWAT adalah fenomena paling utama yang dijadikan dasar dari setiap kejadian dari suatu DAS. Siklus hidrologi yang dijalankan oleh SWAT dibagi menjadi dua bagian, yaitu pertama adalah fase lahan yang mengatur jumlah air, sedimen, unsur hara serta pestisida untuk mengisi saluran utama pada masing-masing sub-basin dan kedua adalah fase air yang berupa pergerakan air, sedimen dan yang lainnya melalui jaringan-jaringan sungai pada DAS menuju outlet.

Dalam proses simulasi SWAT, DAS dibagi menjadi beberapa sub-DAS berdasarkan penutupan lahan dan atribut lainnya yang memiliki

kesamaan dalam mempengaruhi siklus hidrologi. Setiap sub-DAS terbagi menjadi beberapa kategori informasi, yaitu (1) Unit Respon Hidrologi (HRU), (2) genangan, (3) iklim, (4) air bawah tanah, dan (5) jarak (saluran utama).

HRU merupakan kelompok lahan di suatu kawasan Sub-DAS yang memiliki elemen kombinasi tanaman penutup, karakteristik tanah dan factor pengelolaan yang khas. Skema siklus hidrologi di dalam SWAT dijelaskan pada Gambar 1 (Neitsch, et al., 2002b).



Gambar 3. Skema Siklus Hidrologi Dalam Model SWAT

Persamaan keseimbangan neraca air yang digunakan dalam SWAT adalah sebagai berikut (Neitsch et al. 2002a):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=i}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_{\alpha} - W_{seep} - Q_{gw})$$

Dimana  $SW_t$  = kandungan akhir air tanah (mm H<sub>2</sub>O);  $SW_0$  = kandungan air tanah awal pada hari ke-1 (mm H<sub>2</sub>O);  $R_{day}$  = jumlah presipitasi pada hari ke- $i$  (mm H<sub>2</sub>O);  $Q_{surf}$  = jumlah surface runoff pada hari ke- $i$  (mm H<sub>2</sub>O);  $E_a$  = jumlah evapotranspirasi pada hari ke- $i$  (mm H<sub>2</sub>O);  $W_{seep}$  = jumlah air yang memasuki vadose zone pada profil tanah hari ke- $i$  (mm H<sub>2</sub>O); dan  $Q_{gw}$  = jumlah air yang kembali pada hari ke- $i$  (mm H<sub>2</sub>O).

#### **II.4. Arahan Penutupan Lahan**

Pentingnya pengelolaan lahan dalam konteks Daerah Aliran Sungai (DAS) tidak dapat diabaikan, karena hampir setiap kegiatan terkait DAS sangat bergantung pada dukungan lahan. Perubahan dalam penutupan lahan, khususnya deforestasi, memiliki dampak yang signifikan terhadap fungsi hidrologi suatu wilayah, terutama dalam konteks DAS. Gangguan terhadap fungsi hidrologi DAS dapat berdampak pada aspek ekonomi dari hulu hingga hilir. Di kawasan hulu, perubahan penutupan lahan dapat mengakibatkan penurunan pendapatan akibat kehilangan hasil hutan non-kayu, kehilangan sumber energi dari kayu bakar, dan kehilangan spesies flora dan fauna yang berperan sebagai bahan makanan dan obat-obatan. Di kawasan hilir, dampaknya meliputi penurunan pasokan air baku, penurunan pasokan air untuk pembangkit listrik, penurunan produksi pertanian karena kurangnya pasokan air irigasi, peningkatan biaya pengolahan air bersih, tambahan biaya untuk mitigasi bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan kekeringan, serta penurunan potensi wisata alam. Oleh karena itu, perlindungan dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan di dalam DAS menjadi krusial untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung keberlanjutan ekonomi di wilayah tersebut, sebagaimana diungkapkan oleh La Baco (2012).

Perencanaan penggunaan lahan merupakan komponen integral dari perencanaan ruang yang bertujuan untuk menempatkan lahan sebagai fokus analisis, dengan harapan memberikan manfaat secara optimal, efisien, adil, dan berkelanjutan. Pentingnya perencanaan

penggunaan lahan tercermin dari keterbatasan lahan, baik dalam kapasitasnya untuk menyediakan faktor produksi maupun dalam pengelolaan sumber daya lainnya. Proses perencanaan ini berkaitan dengan identifikasi kebutuhan, tantangan, dan peluang yang dihadapi oleh berbagai pihak terkait, seperti yang diungkapkan oleh Johana (2014). Dengan mempertimbangkan aspek-aspek ini, perencanaan penggunaan lahan dapat menjadi instrumen yang efektif untuk mencapai pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan sejalan dengan kepentingan semua pemangku kepentingan terkait.

(Hardjowigeno & Widiatmaka, 2011) menyatakan ruang lingkup perencanaan tata guna lahan meliputi: (1) penilaian secara sistematis potensi tanah dan air (2) mencari alternatif-alternatif penggunaan lahan terbaik dan (3) menilai kondisi ekonomi, sosial dan lingkungan agar dapat memilih dan menetapkan tipe penggunaan lahan yang paling menguntungkan, memenuhi keinginan masyarakat dan dapat menjaga tanah agar tidak mengalami kerusakan dimasa mendatang. Keberlanjutan dalam penggunaan lahan berupa terpenuhinya kebutuhan saat ini, dan pada saat yang sama dapat mengkonservasi sumberdaya alam untuk generasi mendatang. Untuk mencapai itu, diperlukan kombinasi dari upaya produksi dan konservasi. Tindakan eksploitasi yang berlebihan terhadap lahan akan merugikan masa depan dan generasi mendatang. Sebagai contoh, dalam tata guna lahan DAS, keberlanjutan penggunaan lahan daerah hilir sangat ditentukan oleh jenis pemanfaatan dan pengelolaan lahan pada daerah hulu (Baja, 2012).

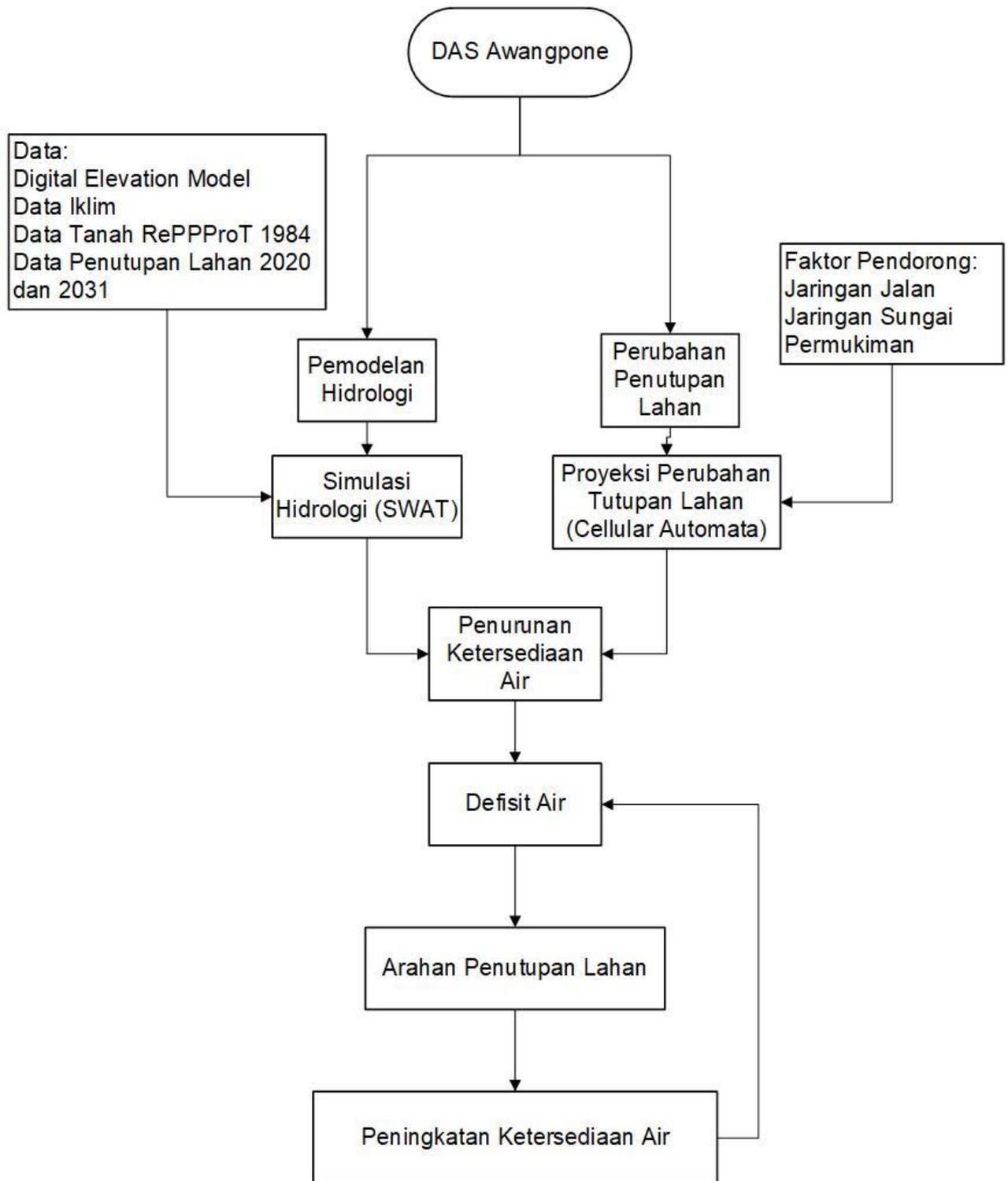
Hutan memiliki peran krusial sebagai penggunaan lahan yang optimal dalam mengatur hidrologi dan melindungi tanah. Kehadiran hutan memengaruhi proses infiltrasi dan aliran permukaan. Deforestasi atau pembukaan lahan hutan dapat meningkatkan aliran permukaan dan menyebabkan erosi tanah, mengubah karakteristik penyimpanan air tanah. Dampaknya tidak hanya terbatas pada perubahan hidrologi, tetapi juga mencakup peningkatan jumlah air yang mengalir keluar dari Daerah Aliran Sungai (DAS) dan perbedaan debit air yang signifikan antara musim

penghujan dan musim kemarau. Pemahaman terhadap konsekuensi ini penting dalam mengelola lahan secara berkelanjutan, sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Purwanto dan Ruijter (2004) sebagaimana dikutip dalam Notonagoro (2018).

## **II.5. Kerangka Konsep Penelitian**

Secara umum konsep dari penelitian ini adalah menganalisis dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air di DAS Awangpone. Dalam mengantisipasi dampak perubahan penutupan lahan terhadap ketersediaan air, maka perlu dilakukan kegiatan mitigasi ataupun adaptasi. Langkah awal mitigasi dengan melakukan identifikasi ketersediaan air. Informasi ketersediaan air menjadi dasar dalam menentukan langkah mitigasi ataupun adaptasi yang akan dilakukan selanjutnya. Salah satu bentuk mitigasi alamiah yang dilakukan yaitu mengatur penutupan lahan salah satu input dalam model hidrologi. Pengaturan penutupan lahan dengan melakukan intervensi penerapan pola ruang. Adapun kerangka pikir yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan Kerangka konsep penelitian dapat dilihat pada gambar 2.

## KERANGKA KONSEPTUAL



Gambar 4. Kerangka Konsep Penelitian