

**SKRIPSI**

**PENGARUH POLA RUANG DAN PERUBAHAN IKLIM  
TERHADAP HASIL AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI  
BIALO**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUH. NURSHOLIHEN**

**M11115018**



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN  
FAKULTAS KEHUTANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH POLA RUANG DAN PERUBAHAN IKLIM TERHADAP HASIL AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BIALO

Disusun dan diajukan oleh :

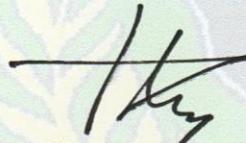
**MUH. NURSHOLIHEN**  
**M11115018**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Srajana Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



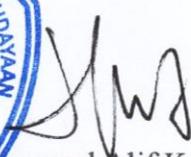
Dr. Ir. Roland A. Barkey  
NIP. 19540614 198103 1 007



Munajat Nursaputra, S.Hut., M.Sc.  
NIP. 19900721 2018015 001

Ketua Program Studi,



  
Dr. Forest Muhammad Alif K.S., S.Hut., M.Si.  
NIP. 19790831 200812 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Nursholihien

NIM : M11115018

Prodi : KEHUTANAN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **Pengaruh Pola Ruang dan Perubahan Iklim Terhadap Hasil Air di Daerah Aliran Sungai Bialo**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Februari 2021

Yang menyatakan,



**Muh. Nursholihien**

## ABSTRAK

**Muh. Nursholihien (M11115018). Pengaruh Pola Ruang dan Perubahan Iklim Terhadap Hasil Air di Daerah Aliran Sungai Bialo dibawah bimbingan Roland A. Barkey dan Munajat Nursaputra**

Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan. Penyediaan air disuatu wilayah salah satunya ditentukan oleh kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS). Perubahan penutupan lahan dapat mempengaruhi kesetimbangan air dan lingkungan disekitarnya. Selain itu, air juga dipengaruhi oleh tanah yang meliputi sifat fisik dan kimia tanah, kelerengan dan iklim. Di Sulawesi Selatan penanda perubahan iklim yang paling terasa adalah semakin besarnya potensi fenomena El Nino dan La Nina yang berdampak pada perubahan curah hujan. Salah satu DAS yang memiliki peran besar di Sulawesi Selatan bagian selatan adalah DAS Bialo, yang merupakan bagian dari 3 (tiga) wilayah kabupaten, yakni Kabupaten Bulukumba, Kabupaten Bantaeng dan Kabupaten Gowa. Keberadaan DAS Bialo menjadi penting perananannya dalam menjaga kesetimbangan air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air. Dengan demikian perlu dilakukan suatu kajian untuk mengetahui hasil air yang tersedia pada kondisi aktual dan bagaimana pengaruh penerapan rencana pola ruang serta kondisi terjadinya perubahan iklim tahun 30an yang diskenariokan menggunakan model CSIRO MK3.5. Metode dalam mengetahui hasil air pada DAS Bialo menggunakan pemodelan hidrologi Soil and Water Assesment Tool (SWAT) dan dilakukan 4 (empat) simulasi, dimana pada kondisi aktual (penutupan lahan dan iklim aktual) hasil simulasi yang didapatkan sebanyak 88.692.513,75 m<sup>3</sup>. Simulasi rencana pola ruang dengan data iklim aktual mengakibatkan penurunan hasil air sebanyak -852.794,5 m<sup>3</sup> (1%) sedangkan simulasi sekenario perubahan iklim tahun 2030an dengan penutupan lahan dan rencana pola ruang memberikan pengaruh terjadinya peningkatan hasil air masing-masing 5.005.468,6 m<sup>3</sup> (5,6%) dan 4.451.471,4 m<sup>3</sup> (5%) pada DAS Bialo.

Kata Kunci : daerah aliran sungai, hasil air, model hidrologi, penutupan lahan, perubahan iklim

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis memanjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, yang telah memberikan kekuatan serta kelancaran kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “**Pengaruh Pola Ruang dan Perubahan Iklim Terhadap Hasil Air di Daerah Aliran Sungai Bialo**”. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Kehutanan pada Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sejak duduk dibangku perkuliahan hingga pada penyusunan skripsi, akan sangat sulit untuk menyelesaikannya. Oleh karenanya, pada kesempatan ini secara khusus dan penuh kerendahan hati penulis menghaturkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Roland A. Barkey** dan Bapak **Munajat Nursaputra, S.Hut., M.Sc.** selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing serta memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Ir. A. Sadapotto, M.P.** dan **Chairil A, S.Hut., M.Hut.** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, bantuan, serta koreksi dalam penyusunan skripsi.

Dengan keterbatasan ilmu dan pengetahuan, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Harapannya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Wassalamu’alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Makassar, 19 Februari 2021



Muh. Nursholihieb

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji hanya kepada Tuhan Yang Maha Esa, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak yang sangat berperan dalam penyusunan skripsi. Oleh karena itu, dengan rasa penuh hormat serta tulus penulis haturkan terimakasih kepada:

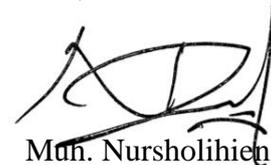
1. Ketua Program Studi Kehutanan Bapak **Dr. Forest., Muhammad Alif K.S. S.Hut., M.Si.** dan jajarannya beserta Bapak/Ibu Dosen dan seluruh Staf Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, terimakasih atas bantuannya.
2. Ibu **Dr. Ir. Siti Halimah Larekeng, M.P.** selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah memberikan masukan, saran serta motivasi selama penulis menempuh pendidikan di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.
3. Saudari **Audiyah Eka Wijaya, S.Hut.** yang tak henti-hentinya memberikan nasihat, motivasi dan juga dorongan kepada penulis dalam penyusunan skripsi hingga sampai pada penyelesaian studi.
4. Bapak **Dr. Ir. Syamsu Rijal, S.Hut., M.Si., IPU** selaku Kepala Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan beserta keluarga besar terkhusus kepada **Dini Albertin Mandy, S.Hut., Chaeria Anila, S.Hut., Armin Ridha, S.Hut., Try Ardiansah, S.Hut., Muh. Dahri Syahbani, S.Hut., Andi Asriyadi Pratama, S.Hut.,** dan **PSIK 2015** yang telah dan pernah membantu dalam proses penyusunan/penyelesaian skripsi.
5. Keluarga besar **VIRBIUS 2015** (Varietas Rimbawan Intelektual Universitas Hasanuddin) terkhusus kepada **Anugerah Achmad, S.Hut., Muh. Mimbar Maulana, S.Hut., Syaeful Rahmat, S.Hut., Sudirman, S.Hut., Nurhidayat Abbas, S.Hut., Nurul Muhliza Syaid, S.Hut., Muh. Syaiful, S.Hut., Wulandari Mutiara Dewi, S.Hut.,** saya ucapkan banyak terima kasih atas kebersamaannya selama menjadi mahasiswa Kehutanan dimulai dari P2MB, pengaderan, perkuliahan, pengabdian, penelitian, hingga masa akhir semester.
6. Teman seperjuangan **Kuliah Kerja Nyata (KKN) Gel. 99 Desa Siddo, Kecamatan Soppeng Riaja, Kabupaten Barru,** terimakasih atas kebersamaannya selama di posko hingga pasca KKN.

7. Saudara/Saudari **Keluarga Mahasiswa Kehutanan Sylva Indonesia (PC.) Universitas Hasanuddin, Unit Kegiatan Mahasiswa Fotografi Universitas Hasanuddin, Himpunan Mahasiswa Islam Komisariat Kehutanan Cabang Makassar Timur, Himpunan Pelajar Mahasiswa Turatea Komisariat Universitas Hasanuddin** yang selama ini menjadi wadah atau tempat belajar diluar bangku kuliah. Terimakasih untuk segala ilmu, kesempatan dan pengalaman berharganya. Terkhusus kepada teman **Pengurus**, terimakasih atas perjuangan dan kebersamaannya.
8. Teman-teman seperjuangan **ABS, Eyenfinite, FORBES, KEZO, (.0)** terkhusus kepada **Andi Setiawan Saputra, Amir Mahmud, M. Rezi Wahyudi, Muh. Agung Tomasina, Abdurrahman Abdullah, Ade Kristian Radeng, S.Hut., Muh. Ichsan Ghiffary, S.Hut., Muh. Indra Dwi Saputra, S.Hut., Achmad Rangga Nur Pratama, S.Hut., Rizaldi Zainal, S.Hut., Abd. Aziz Jamal, S.Hut., Muh. Fatul Anshari, S.Hut., Muh. Bima Akzad, S.Hut., Ade Ilham, S. Hut., Wirawan Ilham Saputra, S.S.** serta yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu, terimakasih untuk segala bantuan, dukungan, dan kebersamaannya selama kuliah dan penyusunan/penyelesaian skripsi.

Terkhusus salam hormat dan kasih saya kepada kedua orangtua tercinta, Bapak **Djuddin Nur, B.A.** dan Mama **Siti Rosdianah, A.Ma.** serta kelima saudara saya, **M. Amal Bhakti, S.Pd., M. Rahmat, S.Pd., Nurtaufiq, S.Pd., dan Nurhidayat, S.Or.** serta para **Ipar** yang selalu memberikan motivasi, dukungan, doa, serta cinta kasih terhadap apa yang saya lakukan dan capai. Skripsi ini saya dedikasikan kepada keluarga tercinta.

Terakhir penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam semua proses baik dalam penyusunan tugas akhir dan juga selama penulis menempuh pendidikan di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Makassar, 19 Februari 2021



Mun. Nursholihien

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan dan Kegunaan.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Hidrologi dan Daerah Aliran Sungai.....	4
2.1.1. Air Permukaan .....	7
2.1.2. Air Tanah .....	8
2.2. Interpretasi Citra.....	8
2.3. Rencana Pola Ruang.....	12
2.4. Iklim .....	14
2.5. Model Analisis Hidrologi.....	20
2.5.1. Delineasi Daerah Aliran Sungai.....	22
2.5.2. Unit Respon Hidrologi .....	24
2.5.3. Penggabungan HRU dengan Data Iklim.....	27
2.5.4. Hasil Model Hidrologi .....	27
III. METODE PENELITIAN.....	29
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
3.2. Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	29
3.2.1. Hasil Air (Penutupan Lahan 2018 dan Iklim Aktual) .....	29
3.2.2. Hasil Air (Rencana Pola Ruang 2032 dan Iklim Aktual).....	30

3.2.3.	Hasil Air (Penutupan Lahan 2018 dan Iklim CSIRO Mk3.5).....	30
3.2.4.	Hasil Air (Rencana Pola Ruang 2032 dan Iklim CSIRO Mk3.5) ...	31
3.3.	Teknik Pengumpulan Data .....	34
3.3.1.	Delineasi Batas DAS (Lokasi Penelitian) .....	34
3.3.2.	Interpretasi Citra.....	34
3.3.3.	Input Parameter Pemodelan SWAT .....	35
3.3.4.	Pembuatan Unit Respon Hidrologi .....	39
3.3.5.	Input Data Iklim dengan Unit Respon Hidrologi.....	39
3.3.6.	Mengolah dan Membaca Hasil Model .....	39
3.4.	Analisis Data .....	40
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1.	Delineasi Batas DAS .....	42
4.2.	Penutupan Lahan .....	43
4.3.	Pola Ruang.....	46
4.4.	Kelerengan.....	48
4.5.	Fisik dan Kimia Tanah .....	49
4.6.	Iklim .....	50
4.7.	Hasil Air DAS Bialo.....	55
V.	PENUTUP.....	66
5.1.	Kesimpulan.....	66
5.2.	Saran.....	67
	DAFTAR PUSTAKA .....	68
	LAMPIRAN.....	71

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1.	Klasifikasi Pola Ruang Wilayah Kabupaten/Kota.....	12
Tabel 2.	Klasifikasi Penutupan Lahan Model SWAT .....	25
Tabel 3.	Parameter Jenis Tanah model SWAT.....	26
Tabel 4.	Confusion Matrix .....	35
Tabel 5.	Klasifikasi Penutupan Lahan .....	36
Tabel 6.	Klasifikasi Pola Ruang .....	36
Tabel 7.	Penutupan Lahan DAS Bialo.....	44
Tabel 8.	Jumlah titik tiap kelas penutupan lahan.....	44
Tabel 9.	Confusion Matrix.....	45
Tabel 10.	Klasifikasi Rencana Pola Ruang Model SWAT.....	46
Tabel 11.	Klasifikasi Kelas Lereng .....	48
Tabel 12.	Klasifikasi Jenis Tanah Model SWAT .....	49
Tabel 13.	Titik Stasiun Iklim DAS Bialo .....	50
Tabel 14.	Delta Perubahan Skenario Perubahan Iklim CSIRO MK3.5.....	54
Tabel 15.	Perbandingan Simulasi Hasil Air Model SWAT.....	56
Tabel 16.	Persentase Luas Wilayah Perubahan Hasil Air .....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1.	Siklus Hidrologi.....	7
Gambar 2.	Prosedur Penelitian Input Data Penutupan Lahan .....	32
Gambar 3.	Prosedur Penelitian Input Data Rencana Pola Ruang.....	33
Gambar 4.	Lokasi Penelitian .....	42
Gambar 5.	Peta Penutupan Lahan .....	43
Gambar 6.	Persebaran Titik Sampel.....	45
Gambar 7.	Peta Rencana Pola Ruang DAS Bialo .....	47
Gambar 8.	Kelerengan DAS Bialo .....	48
Gambar 9.	Peta Jenis Tanah .....	50
Gambar 10.	Peta Stasiun Iklim DAS Bialo .....	51
Gambar 11.	Rata-Rata Curah Hujan DAS Bialo Tahun 2006-2020 .....	52
Gambar 12.	Grid Stasiun Perwakilan DAS Bialo .....	53
Gambar 13.	Persentase Perubahan Curah Hujan CSIRO MK 3.5.....	54
Gambar 14.	Persentase delta perubahan curah hujan Input SWAT .....	55
Gambar 15.	Pebandingan Hasil Air pada Simulasi Model SWAT .....	56
Gambar 16.	Perubahan Hasil Air DAS Bialo.....	58
Gambar 17.	Aliran Permukaan DAS Bialo .....	59
Gambar 18.	Aliran Lateral DAS Bialo.....	59
Gambar 19.	Aliran Tanah DAS Bialo .....	60
Gambar 20.	Perubahan Hasil Air Setiap Simulasi Terhadap Kondisi Aktual...	65
Gambar 21.	Pengecekan Lapangan 1 - 4 Mei 2020 .....	72

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1.	Dokumentasi Pengecekan Lapangan .....	72
Lampiran 2.	Hasil Pengecekan Lapangan Penutupan Lahan .....	73
Lampiran 3.	Nilai Parameter Tanah (RePPPROT dan Web Soil USDA National Resource Conservation Service) .....	76
Lampiran 4.	Rata-rata curah hujan aktual DAS Bialo .....	79
Lampiran 5.	Delta Perubahan CSIRO Mk3.5 .....	80
Lampiran 6.	Delta Perubahan Curah Hujan DAS Bialo Input SWAT (Korelasi Aktual dan Model) .....	82
Lampiran 7.	Hasil Simulasi SWAT Berdasarkan Penutupan Lahan 2018 dan Iklim Aktual 2006-2020 .....	83
Lampiran 8.	Hasil Simulasi SWAT Berdasarkan Rencana Pola Ruang 2032 dan Iklim Aktual 2006-2020 .....	86
Lampiran 9.	Hasil Simulasi SWAT Berdasarkan Penutupan Lahan 2018 dan Skenario Perubahan Iklim Model CSIRO MK3.5 .....	89
Lampiran 10.	Hasil Simulasi SWAT Berdasarkan Rencana Pola Ruang 2032 dan Iklim CSIRO MK3.5 .....	92
Lampiran 11.	Hasil Aliran Permukaan DAS Bialo .....	95
Lampiran 12.	Hasil Aliran Lateral DAS Bialo .....	105
Lampiran 13.	Hasil Aliran Tanah DAS Bialo .....	115
Lampiran 14.	Persentase Perubahan Hasil Air DAS Bialo.....	125

# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan. Penyediaan air disuatu wilayah salah satunya ditentukan oleh kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS). Daerah aliran sungai merupakan satu kesatuan wilayah yang meliputi sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi untuk menampung, menyimpan dan mengalirkan air (Tanika *et al.*, 2016). Asdak (2007) dalam Kumalajati *et al.*, (2017) mengemukakan bahwa kerusakan DAS banyak disebabkan oleh faktor non-alami, yaitu perilaku manusia.

Kegiatan mengubah bentang lahan suatu DAS dapat mempengaruhi kondisi air yang mengakibatkan ketidakseimbangan sumber daya air dan siklus hidrologi menjadi tidak stabil. Perubahan penutupan lahan dalam skala masif (misalnya karena pembukaan kawasan perkebunan skala besar, pembukaan kawasan permukiman dan industri) dapat menyebabkan air hujan yang seharusnya meresap ke dalam tanah (dalam bentuk infiltrasi dan perkolasi), akan berubah menjadi limpasan aliran permukaan (*surface flow*) yang umumnya mengalir ke sungai, danau dan laut sehingga dapat mempengaruhi keseimbangan air dan lingkungan disekitarnya. Selain penutupan lahan, air juga dipengaruhi oleh tanah yang meliputi sifat fisik dan kimia tanah, kelerengan dan iklim.

Dalam laporan *Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) 2007* disebutkan beberapa kejadian perubahan iklim meliputi perubahan suhu permukaan bumi, perubahan curah hujan, perubahan pada kejadian cuaca ekstrim dan perubahan tinggi muka laut yang memiliki dampak besar terhadap kondisi sumberdaya alam (Metz, Meyer dan Bosch, 2007). Hidrologi menjadi semakin penting dalam kaitannya dengan perubahan iklim (*climate change*). Dampak paling umum dari perubahan iklim adalah kenaikan suhu udara, perubahan curah hujan dan kenaikan tinggi muka air laut. Di Indonesia penanda perubahan iklim yang paling terasa adalah semakin besarnya potensi fenomena El Nino dan La Nina yang berdampak pada perubahan curah hujan. Fenomena El Nino menyebabkan

kelangkaan air/fenomena kekeringan sedangkan La Nina menyebabkan kelebihan air akibat kenaikan curah hujan/fenomena banjir (Tanika *et al.*, 2016).

Salah satu DAS yang memiliki peran besar di Sulawesi Selatan bagian Selatan adalah DAS Bialo yang sebagian terletak di 3 (tiga) wilayah administrasi kabupaten yakni Kabupaten Bulukumba, Kabupaten Bantaeng dan Kabupaten Gowa. Daerah aliran sungai ini menjadi salah satu DAS yang menyuplai air untuk pengembangan wilayah di pesisir selatan Provinsi Sulawesi Selatan. Wilayah selatan dari Provinsi Sulawesi Selatan ini sangat rentan terhadap kekeringan dimasa yang akan datang, dimana dalam dokumen rencana pembangunan jangka menengah nasional Tahun 2020 diperkirakan luas wilayah kritis air meningkat dari 6 persen (2000) menjadi 9,6 persen (2045), yang mencakup wilayah Sumatera bagian selatan, Nusa Tenggara Barat, dan Sulawesi bagian selatan (RPJMN Bappenas, 2020).

Keberadaan DAS Bialo pada 3 (tiga) wilayah administrasi kabupaten menjadi penting peranannya dalam menjaga kesetimbangan air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air agar terdistribusikan secara maksimal. Distribusi hasil air pada DAS ini dimanfaatkan untuk beberapa keperluan seperti keperluan irigasi sawah, kebutuhan rumah tangga, pembangunan bendungan bayang-bayang di Bulukumba, pembangkit listrik tenaga minihidro dan suply air untuk Kawasan Industri Bantaeng di kabupaten Bantaeng. Keperluan tersebut dipengaruhi oleh tingkat penyediaan air, sehingga perlu dilakukan kajian untuk mengetahui hasil air yang tersedia pada kondisi aktual dan dalam penerapan rencana pola ruang serta kondisi dengan terjadinya perubahan iklim. Simulasi untuk mengetahui hasil air pada DAS Bialo dilakukan menggunakan analisis hidrologi *Soil and Water Assesment Tool* (SWAT) berdasarkan parameter penutupan lahan, kelerengan, jenis tanah, dan iklim, dimana kondisi perubahan iklim dilakukan dengan menggunakan skenario model CSIRO MK 3.5.

## **1.2. Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui hasil air Daerah Aliran Sungai Bialo berdasarkan 4 (empat) kategori simulasi, yakni simulasi berdasarkan penutupan lahan 2018 dengan

data iklim 2006-2020 dan data iklim CSIRO MK3.5, serta simulasi berdasarkan rencana pola ruang tahun 2032 dengan data iklim 2006-2020 dan data iklim CSIRO MK3.5.

2. Untuk mengetahui pengaruh intervensi rencana pola ruang tahun 2032 terhadap penutupan lahan tahun 2018 dan intervensi perubahan iklim model CSIRO Mk3.5 terhadap data iklim aktual berkaitan dengan hasil air di Daerah Aliran Sungai Bialo.

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memberikan data dan informasi tentang hasil air di Daerah Aliran Sungai Bialo berdasarkan Rencana Pola Ruang tahun 2032 dan proyeksi perubahan iklim model CSIRO Mk3.5 sekaligus sebagai sumber informasi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berlokasi di Daerah Aliran Sungai Bialo.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Hidrologi dan Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam Undang-Undang Nomor 17 tahun 2019 tentang sumber daya air (SDA) merupakan suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan sungai dan anak-anaknya yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Perpres RI, 2019). Secara ekologis, DAS sebagai suatu sistem kompleks besar peranannya dalam hal pengaturan tata air dimulai dari terjadinya presipitasi sebagai input, selanjutnya berlangsung proses-proses dalam sistem DAS sampai kepada terbentuknya aliran sungai (*stream flow*) sebagai outputnya. Fenomena tersebut ditentukan baik oleh faktor alam DAS meliputi tanah, iklim, vegetasi (*natural factor*), maupun kegiatan manusia (*anthropogenic factor*). Keseluruhan karakteristik dan proses dalam sistem tersebut akan mempengaruhi kondisi keberlanjutan (*sustainability*) DAS keseluruhan. Karakteristik yang berhubungan dengan alam dan manusia yang paling berpengaruh adalah perubahan tutupan lahan. Semakin meluasnya lahan-lahan kritis, banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, erosi dan sedimentasi, pencemaran air, dan pendangkalan danau, pada dasarnya disebabkan antara lain karena perubahan penutupan lahan yang tidak sesuai dengan potensi peruntukan dan daya dukungnya, minimnya upaya pengelolaan yang sesuai, dan usaha-usaha konservasi tanah dan air yang memadai (Baja, S. *et al.*, 2012).

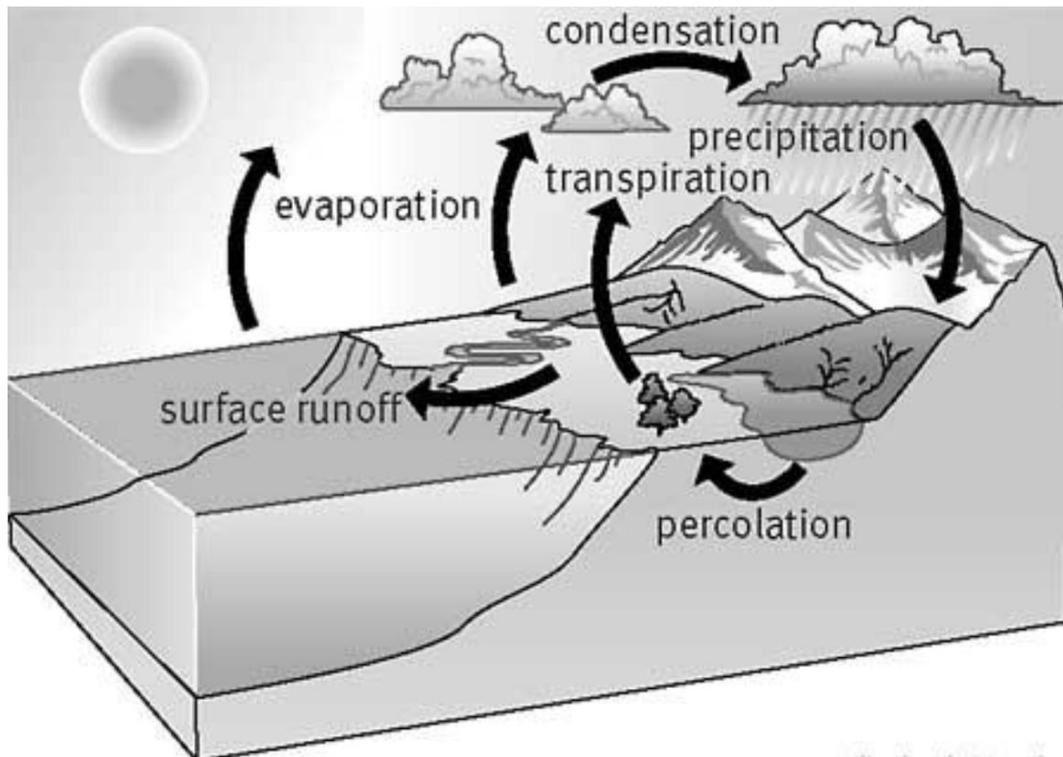
Daerah aliran sungai biasanya dibagi menjadi 3 (tiga) daerah berdasarkan ekosistemnya yaitu daerah hulu, tengah, dan hilir. Daerah hulu merupakan daerah konservasi yang mempunyai kerapatan drainase yang lebih tinggi dan memiliki kemiringan lahan yang besar. Sementara daerah hilir merupakan daerah pemanfaatan, kerapatan drainase lebih kecil dan memiliki kemiringan lahan yang kecil sampai dengan sangat kecil. Bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua bagian DAS (Asdak, 2010). Aktivitas dalam DAS yang menyebabkan perubahan penutupan lahan khususnya di daerah hulu, dapat memberi dampak pada

daerah hilir berupa perubahan fluktuasi debit air dan kandungan sedimen serta material terlarut lainnya. Fungsi hidrologi suatu DAS dikategorikan sehat apabila mampu mengalirkan air secara horizontal berupa aliran permukaan tanah, aliran bawah permukaan, dan aliran dasar maupun secara vertikal berupa aliran batang, infiltrasi, dan perkolasi serta mampu melepaskan air secara bertahap dari air tanah terutama pada saat musim kemarau sehingga terhindar dari kekeringan. Fungsi hidrologi DAS mencakup tiga hal yaitu (Tanika *et al.*, 2016):

1. Mempertahankan kuantitas air, dalam bentuk:
  - a. Mengalirkan air. DAS dikatakan memiliki fungsi hidrologi yang baik apabila mampu mengalirkan air secara horizontal berupa aliran permukaan tanah, aliran bawah permukaan, dan aliran dasar; maupun secara vertikal berupa aliran batang, infiltrasi, dan perkolasi. DAS mampu mengalirkan air dalam bentuk aliran bawah permukaan dan aliran dasar apabila terjadi peresapan air ke dalam tanah dalam bentuk infiltrasi. Infiltrasi dapat terjadi pada tanah-tanah berpori yang terbentuk karena adanya perakaran tumbuhan, humus, dan fauna tanah, misalnya cacing tanah. Pada tanah-tanah yang padat, proporsi aliran permukaan akan lebih besar, sedangkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar menjadi sedikit. Aliran batang memiliki peran dalam menahan laju aliran permukaan tanah, karena air yang mengalir melalui batang secara perlahan akan meresap ke dalam tanah. Aliran batang hanya terjadi pada tanah-tanah yang tertutup oleh tumbuhan, khususnya pohon.
  - b. Menyangga kejadian puncak hujan. DAS dikatakan memiliki fungsi hidrologi yang baik apabila memiliki kemampuan dalam menyangga kejadian hujan yang sangat lebat sehingga tidak menyebabkan banjir atau intensitas dan frekuensi kejadian banjir dapat berkurang. DAS mampu berperan sebagai penyangga kejadian puncak hujan apabila memiliki kemampuan dalam menahan laju aliran permukaan. Tekstur tanah yang gembur dengan kandungan bahan organik tinggi yang berasal dari seresah yang lapuk dan tutupan tumbuhan yang rapat merupakan kondisi yang mampu menahan aliran permukaan.

- c. Melepas air secara bertahap. DAS memiliki fungsi hidrologi yang baik apabila mampu melepaskan air secara bertahap dari air tanah, terutama pada musim kemarau, sehingga terhindar dari kekurangan air. Air tanah dapat tersedia dan dilepaskan secara perlahan pada musim kemarau apabila terjadi infiltrasi dan perkolasi air dalam jumlah yang cukup pada musim hujan.
2. Mempertahankan kualitas air. DAS memiliki fungsi hidrologi yang baik apabila mampu menyediakan air dengan kualitas yang baik sehingga dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Kualitas air mengacu pada bahan pencemar yang ada di dalam air yang menyebabkan air tidak layak untuk dikonsumsi, misalnya pencemaran oleh bahan-bahan kimia seperti pupuk, pestisida, dan limbah industri maupun pencemaran oleh tanah-tanah yang terlarut sehingga menyebabkan air menjadi keruh.
3. Mempertahankan kestabilan tanah. DAS memiliki fungsi hidrologi yang baik apabila memiliki kemampuan dalam mempertahankan kestabilan tanah dari kejadian erosi, longsor, dan abrasi.

Sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer melalui proses kondensasi, presipitasi, evaporasi, dan transpirasi. Pemanasan air samudera oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi dapat berjalan secara berkelanjutan. Air berevaporasi kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan es, hujan salju bercampur es (*sleet*), hujan gerimis, atau kabut. Siklus hidrologi memegang peran penting bagi kelangsungan hidup organisme di bumi. Melalui siklus hidrologi, ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga, sehingga keteraturan suhu lingkungan, cuaca, hujan, dan keseimbangan ekosistem bumi dapat tercipta karena adanya proses siklus hidrologi (Darwis, 2018). Penjelasan *The American Heritage* menyebutkan bahwa siklus hidrologi adalah proses berkelanjutan dimana air disirkulasikan ke seluruh bumi dan atmosfernya. Air bumi memasuki atmosfer melalui penguapan dari badan air dan dari permukaan tanah serta tanaman dan hewan juga mengalami penguapan air ke udara melalui proses transpirasi. Siklus hidrologi juga disebut sebagai siklus air.



Gambar 1. Siklus Hidrologi (sumber: Darwis, 2018)

### 2.1.1. Air Permukaan

Air di permukaan (*surface water*) terdistribusi ke dalam beberapa tempat yaitu danau, sungai dan anak sungai, tambak, dan waduk. Volume keseluruhan tidak lebih dari 0,01% dari air di bumi. Air danau berkurang karena mengalir ke bawah melalui sungai, menguap oleh evaporasi dan transpirasi tanaman, merembes ke bawah (infiltrasi), pengambilan oleh manusia atau hewan, dan kombinasi dari proses tersebut. Pada daerah yang kedap air (*impereable*) jumlah *run-off* sama dengan jumlah hujan. Ketika tanah sudah menjadi jenuh, maka infiltrasi akan berkurang sehingga untuk jumlah air hujan yang sama, maka jumlah aliran akan bervariasi tergantung pada kondisi lengas tanah. Jumlah air yang terinfiltrasi pada saat terjadinya hujan akan menaikkan kadar lengas tanah. Hal ini berarti bahwa tanah tidak lagi mampu menyerap sebanyak sebelumnya, akibatnya terjadi penurunan laju infiltrasi dan konsekuensinya akan terjadi aliran permukaan (*surfacce run-off*). Menurut Indarto (2010), ada dua jenis aliran permukaan yang terjadi selama hujan yaitu:

1. Aliran permukaan yang berasal dari kelebihan infiltrasi
2. Air permukaan yang berasal dari kejenuhan tanah

### **2.1.2. Air Tanah**

Air tanah (*groundwater*) biasanya terdapat di *aquifer*, suatu daerah dibawah permukaan bumi yang terdiri dari bebatuan dan partikel tanah yang tidak terkonsolidasi yang mampu untuk menyalurkan dan menyimpan air. Jumlah air yang tersimpan sebagai air tanah tidak lebih dari 1% jumlah total air di bumi. Ada tiga proses fisik yang mengatur air di dalam tanah yaitu pemasukan, transmisi, dan penyimpanan. Masukan sebagai infiltrasi yang terjadi pada permukaan tanah. Transmisi adalah perkolasi vertikal dan horisontal yang terjadi pada seluruh bagian lapisan tanah. Penyimpanan dapat terjadi pada setiap profil tanah dan ditunjukkan dengan naiknya kadar lengas tanah. Mata air (*spring*) berasal dari air tanah pada lapisan kedap air yang relatif dangkal. Jika pengambilan air tanah cukup signifikan, maka lapisan kedap air akan bergerak turun. Demikian juga debit air minimal di sungai atau dikenal sebagai aliran dasar (*baseflow*), yang biasanya ada meskipun tidak ada hujan, akan menurun dan sumber air dapat hilang (Indarto, 2010).

## **2.2. Interpretasi Citra**

Sumber data untuk interpretasi citra dapat diperoleh dari hasil perekaman informasi permukaan bumi menggunakan wahana satelit. Terdapat berbagai jenis citra yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi permukaan bumi secara detail diantaranya Citra *SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre)*. Citra *SPOT 7* diluncurkan pada tanggal 9 September 2012 yang merupakan satelit observasi resolusi tinggi membawa sensor *NAOMI (New AstroSat Optical Modular Instrument)* dengan resolusi spasial 6 meter multispektral dan pankromatik 1,5 meter. Citra *SPOT 7* akan menjamin kelangsungan layanan citra *SPOT* dari satelit *SPOT 4* dan *SPOT 5* yang telah beroperasi masing-masing sejak tahun 1998 dan 2002. Melalui *SPOT 6* dan *SPOT 7* Airbus Defense and Space tidak hanya mengamankan kelangsungan misi seri *SPOT* yang telah mengumpulkan arsip lebih dari 30 juta perekaman sejak 1986, tetapi juga merupakan generasi baru satelit optik, dengan fitur perbaikan teknologi dan sistem kinerja yang canggih kinerja

untuk meningkatkan reaktivitas dan kapasitas akuisisi serta menyederhanakan akses data (Wastono, 2015).

Citra SPOT 6 memberikan produk resolusi tinggi 1,5 meter pankromatik dan 4-band multispektral (R/G/B/NIR) resolusi 6 meter yang terdiri dari kanal spektral *red* (0,625 - 0,695  $\mu\text{m}$ ), *green* (0,530 - 0,590  $\mu\text{m}$ ), *blue* (0,450 - 0,520  $\mu\text{m}$ ), dan *NIR* (0,760 - 0,890  $\mu\text{m}$ ). Pengguna bisa memanfaatkan citra arsip ataupun perekaman baru (*tasking*) disesuaikan dengan kebutuhannya. SPOT 6 secara khusus dirancang untuk secara efisien menyediakan cakupan daerah yang besar, yang sangat cocok untuk melayani aplikasi kartografi dan pemantauan. Sementara akuisisi nominal yang tersedia dalam strip 60 x 600km<sup>2</sup>. Spesifikasi Citra SPOT 7 (Wastono, 2015):

1. Resolusi: 1,5 m Panchromatic; 6 m Multispectral
2. Band: Panchromatic; 4 multispectral bands (Red, Green, Blue, NIR)
3. Proyeksi: UTM atau Lat/Long, Datum: WGS 1984
4. Format: GeoTIFF
5. Perekaman: 2013 – sekarang

Setiap warna dalam citra satelit memberikan makna tertentu. Warna hijau mengidentifikasi adanya vegetasi dan semakin hijau warnanya berarti vegetasinya semakin lebat (hutan). Warna biru menunjukkan adanya kenampakan air, dan semakin biru atau biru kehitaman berarti wilayah tersebut tergenang (*water body*). Bila warna biru ada kesan petak-petak yang ukurannya lebih besar dan lokasinya dekat dengan garis pantai berarti areal tersebut adalah areal tambak. Unsur pola dan site/lokasi dapat digunakan untuk membantu mengenali jenis penutupan lahan dan tanaman/vegetasi yang tumbuh di daerah tersebut (Somantri, 2009 *dalam* Pratama, 2018).

Pengolahan citra menjadi data penutupan lahan dilakukan dengan metode interpretasi citra. Interpretasi citra merupakan kegiatan perkiraan suatu objek berdasarkan bentuk tone, tekstur, lokasi, asosiasi yang tampak pada citra. Teknik interpretasi citra penutupan lahan dilakukan dengan digitasi yang merupakan suatu proses mengkonversi data analog menjadi data digital dimana dapat ditambahkan atribut yang berisikan informasi dari objek yang dimaksud. Untuk menampilkan citra dilakukan komposit band yang merupakan hasil penggabungan tiga band yang mampu menampilkan keunggulan dari band-band penyusunnya. *True color*

*composit* adalah paduan warna sebenarnya atau sama dengan yang dilihat mata manusia (band 3, band 2, band 1) (BIG, 2017). Informasi penutupan lahan dapat diinterpretasi berdasarkan warna, tekstur, ukuran, bentuk, asosiasi, bayangan, letak, dan pola pada citra satelit inderaja. Namun sebagaimana umumnya pada satelit inderaja sensor optik, penutup lahan diidentifikasi dari citra komposit warna asli dari kombinasi band merah, hijau, dan biru menggunakan metode klasifikasi digital maupun interpretasi visual. Proses interpretasi citra dengan bantuan komputer dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tingkat otomatisnya. Keduanya adalah klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*Unsupervised Classification*). Klasifikasi terbimbing meliputi sekumpulan algoritma yang didasari pemasukan contoh objek oleh operator. Berbeda halnya dengan klasifikasi tidak terbimbing (*Unsupervised Classification*), secara otomatis diputuskan oleh komputer dan tanpa campur tangan operator, walaupun ada proses interaksi ini sangat terbatas (Danoedoro, 2012 dalam Nasir, 2018). Untuk interpretasi citra diperlukan unsur-unsur interpretasi sehingga gambar citra dapat menjadi suatu data dan informasi. Berikut ini adalah unsur-unsur interpretasi citra, yaitu (Sutanto, 1986 dalam Nasir, 2018):

1. Rona/Warna, merupakan karakteristik spektral, karena rona/warna termasuk akibat besar kecilnya tenaga pantulan maupun pancaran. Unsur ini nampak pada citra dengan tingkat cerah dan gelapnya suatu objek. Umumnya rona/warna diklasifikasikan menjadi cerah, agak cerah, sedang, agak kelabu dan kelabu. Tingkatan rona/warna ini diukur secara kualitatif.
2. Ukuran, unsur ini menunjukkan ukuran dari suatu objek secara kualitatif maupun kuantitatif. Ukuran kualitatif ditunjukkan dengan besar, sedang dan kecil (seperti; objek hutan, perkebunan). Sedangkan ukuran dapat diukur secara kuantitatif yang ditunjukkan dengan ukuran objek dilapangan, karena itu skala harus diperhitungkan sebelum interpretasi citra maupun data digit.
3. Bentuk, unsur ini ditunjukkan dengan bentuk dari objek, karena setiap objek mempunyai bentuk seperti: Jalan = memanjang, lapangan bola = persegi dan sebagainya.
4. Tekstur, suatu objek ditunjukkan dengan kehalusan suatu rona, dimana perbedaan rona tidak terlalu menyolok, seperti: rona air jernih, sehingga air

jernih/kotor mempunyai tekstur halus, tetapi bila objek bervariasi seperti, objek hutan belukar, pantulan tenaga dari pohon bervariasi yang ditunjukkan dari tekstur yang kasar.

5. Pola, merupakan unsur keteraturan dari suatu objek dilapangan yang nampak pada citra. Objek buatan manusia umumnya memiliki suatu pola tertentu yang diklasifikasikan menjadi: teratur, kurang teratur dan tidak teratur.
6. Tinggi, unsur ini akan nampak bila objek itu mempunyai tinggi, dan tiap objek memiliki tinggi kecuali permukaan air, tetapi untuk citra skala kecil tinggi objek tidak nampak. Tinggi dapat diukur bila skalanya memungkinkan, terutama citra foto yang menunjukkan bentuk 3 dimensi.
7. Bayangan, objek yang mempunyai tinggi akan mempunyai bayangan dan bayangan dapat digunakan untuk mengukur tinggi suatu objek. Bayangan ditunjukkan dengan ukuran yang nampak pada citra maupun data digit. Pengukuran panjang bayangan dan mengetahui jam terbang dapat diketahui tinggi suatu objek.
8. Situs, unsur ini merupakan ciri khusus yang dimiliki suatu objek dan setiap objek mempunyai situs, seperti; lapangan bola mempunyai situs anak gawang dan podium, sawah mempunyai situs pematang atau galengan dan sebagainya. Sehingga tinggi objek diketahui.
9. Asosiasi, unsur ini digunakan untuk menghubungkan suatu objek dengan objek lain, karena kenyataan suatu objek akan berasosiasi dengan objek lain dan berkaitan seperti; sawah berasosiasi dengan aliran air (irigasi), pemukiman dan sebagainya.

Dalam Peraturan Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan nomor P.1/VII-IPSDH/2015 pada bab 4 bagian pengendalian dan penjaminan mutu dijelaskan bahwa dibutuhkan proses pengecekan lapangan untuk menilai kebenaran hasil penafsiran dibandingkan dengan keadaan sebenarnya dilapangan, kemudian selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat ketelitian untuk mengetahui besaran tingkat akurasi hasil penafsiran dibandingkan dengan keadaan sebenarnya dilapangan. Pemeriksaan atau *groundcheck* lapangan dilakukan sebagai bahan koreksi terhadap hasil klasifikasi penutupan lahan yang telah dibuat dengan melihat kondisi yang sebenarnya dilapangan. *Groundcheck* dilakukan dengan cara

menentukan titik *sampling* (sampel) pada hasil klasifikasi penutupan lahan (Perdirjen Planologi, 2015).

Perhitungan akurasi interpretasi citra secara keseluruhan (*overall accuracy*) dilakukan dengan menggunakan tabel *confusion matrix* kemudian data hasil interpretasi citra dan data hasil pengecekan lapangan disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase. *Confusion matrix* adalah teknik (berupa tabel kontingensi) yang digunakan untuk melakukan uji akurasi, pada umumnya adalah pengujian hasil interpretasi visual, klasifikasi digital, dan pengelompokan nilai-nilai hasil transformasi spektral. Tabel confusion matrix merupakan tabel matriks yang menghubungkan antara piksel hasil klasifikasi dan ground truth data yang informasinya dapat diambil dari data lapangan maupun peta yang sudah diverifikasi (BIG, 2017).

### 2.3. Rencana Pola Ruang

Ruang adalah wadah yang meliputi ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi sebagai satu kesatuan wilayah, tempat manusia dan makhluk lain hidup, melakukan kegiatan, dan memelihara kelangsungan hidupnya. Tata ruang adalah wujud struktur ruang dan pola ruang. Penataan ruang adalah suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang. Pola ruang adalah distribusi peruntukkan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukkan ruang untuk fungsi lindung dan peruntukkan ruang untuk fungsi budidaya (Perpres RI, 2008). Klasifikasi pola ruang diatur dalam Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang (ATR) Nomor 1 Tahun 2018 tentang Tata Ruang Wilayah Provinsi, Kabupaten dan Kota yang dibagi menjadi kawasan lindung dan kawasan budidaya. Rencana pola ruang untuk tingkat kabupaten/kota diatur dalam lampiran 2 Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang (ATR) Nomor 1 Tahun 2018 (Permen ATR/BPN, 2018). Pembagian klasifikasi pola ruang disajikan pada tabel 1:

Tabel 1. Klasifikasi Pola Ruang Wilayah Kabupaten/Kota (Permen ATR/BPN, 2018)

No.	Fungsi	Pola Ruang
1		Kawasan Hutan Lindung
2		Kawasan Lindung Gambut

No.	Fungsi	Pola Ruang	
3	Kawasan Peruntukkan Lindung	Kawasan Resapan Air	
4		Sempadan Pantai	
5		Sempadan Sungai	
6		Kawasan Sekitar Danau Atau Waduk	
7		Kawasan Lindung Spritual Dan Kearifan Lokal	
8		Kawasan Cagar Alam	
9		Kawasan Cagar Alam Laut	
10		Suaka Margasatwa	
11		Suaka Margasatwa Laut	
12		Taman Nasional	
13		Taman Hutan Raya	
14		Taman Wisata Alam	
15		Taman Wisata Alam Laut	
16		Kawasan Taman Buru	
17		Suaka Pesisir	
18		Suaka Pulau Kecil	
19		Taman Pesisir	
20		Taman Pulau Kecil	
21		Daerah Perlindungan Adat Maritim	
22		Daerah Perlindungan Budaya Maritim	
23		Kawasan Konservasi Perairan	
24		Kawasan Keunikan Batuan Dan Fosil	
25		Kawasan Keunikan Bentang Alam	
26		Kawasan Keunikan Proses Geologi	
27		Kawasan Imbuhan Air Tanah	
28		Sempadan Mata Air	
29		Kawasan Rawan Bencana Gerakan Tanah	
30		Kawasan Rawan Bencana Letusan Gunung Api	
31		Sempadan Patahan Aktif Pada Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi	
32		Kawasan Cagar Budaya	
33		Kawasan Ekosistem Mangrove	
34		Kawasan Peruntukkan Budi Daya	Kawasan Hutan Produksi Terbatas
35			Kawasan Hutan Produksi Tetap
36	Kawasan Hutan Produksi Dapat Dikonversi		
37	Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan		
38	Kawasan Tanaman Pangan		
39	Kawasan Hortikultura		
40	Kawasan Perkebunan		
41	Kawasan Peternakan		
42	Kawasan Perikanan Tangkap		
43	Kawasan Perikanan Budidaya		
44	Kawasan Pertambangan Mineral Radioaktif		
45	Kawasan Pertambangan Mineral Logam		
46	Kawasan Pertambangan Mineral Bukan Logam		
47	Kawasan Pertambangan Batuan		
48	Kawasan Pertambangan Batubara		
49	Kawasan Pertambangan Minyak Dan Gas Bumi		
50	Kawasan Pertambangan Minyak Dan Gas Bumi (Laut)		
51	Kawasan Panas Bumi		
52	Kawasan Pembangkit Tenaga Listrik		
53	Kawasan Industri		
54	Sentra Industri Kecil Dan Menengah		
55	Kawasan Pariwisata		
56	Kawasan Permukiman Perkotaan		

No.	Fungsi	Pola Ruang
57		Kawasan Permukiman Perdesaan
58		Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan
59		Rawan Bendana Dikawasan Peruntukkan Budidaya
60		Kawasan Hutan Rakyat
61		Kawasan Pertahanan Dan Keamanan

## 2.4. Iklim

Iklim mengandung pengertian kebiasaan cuaca yang terjadi di suatu tempat atau daerah, dan juga memberi pengertian bahwa iklim adalah ciri kecuacaan suatu tempat atau daerah. Ciri kecuacaan suatu tempat atau daerah ditetapkan berdasarkan kriteria keseringan atau probabilitas nilai-nilai satu atau lebih unsur iklim yang ditetapkan, misalnya hujan, suhu, suhu dan hujan, suhu dan angin, hujan dan penguapan. Iklim berkaitan dengan periode waktu panjang tidak menentu dan setiap daerah mempunyai iklim yang berbeda. Perbedaan tersebut disebabkan karena bumi berbentuk bulat sehingga sinar matahari tidak dapat diterima oleh setiap permukaan bumi. Selain itu, permukaan bumi yang beranekaragam jenisnya dan beranekaragam bentuk topografinya tidak sama caranya menanggapi sinaran matahari yang diterima. Dalam Konferensi Iklim Dunia (*World Climate Conference*) tahun 1979, definisi iklim ditetapkan sebagai sintesis peristiwa cuaca selama seluruh periode secara statistik cukup lama untuk menetapkan properti statistiknya (nilai rata-rata, varians, probabilitas peristiwa ekstrim) dan adalah sebagian besar tidak tergantung pada keadaan sesaat (Wirjohamidjojo dan Swarinoto, 2010).

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor P.33/Menlhk/Setjen/Kum.1/3/2016 tentang Pedoman Penyusunan Aksi Adaptasi Perubahan Iklim menjelaskan bahwa perubahan iklim merupakan berubahnya iklim yang diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan selain itu juga berupa perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan (Permen KLHK, 2016). Perubahan iklim dapat dilihat dari perubahan kondisi alam sekitar meliputi melelehnya salju musim semi dan puncak debit yang melebihi awal, melelehnya glasier gunung, penurunan gunung es di

kutub selama musim panas serta meningkatnya frekuensi iklim ekstrim. Field *et al* 2008 *dalam* (Syahbani, 2017) menjelaskan dinamika iklim dan siklus air di tanah, sungai dan danau, awan dan laut merupakan sistem yang terintegrasi dan saling berhubungan. Perubahan unsur-unsur iklim mempengaruhi sistem hidrologi. Perubahan iklim mengakibatkan dampak yang kompleks terhadap neraca, kebutuhan, ketersediaan dan kualitas air. Bahkan misalnya ketika curah hujan tidak berubah, peningkatan suhu mendorong peningkatan evaporasi sehingga kadar air di tanaman menurun. Interaksi yang kompleks antara suhu dan kebutuhan-ketersediaan air menunjukkan bahwa perubahan iklim memiliki dampak yang bervariasi pada ekosistem.

Perubahan iklim adalah berubahnya pola dan intensitas unsur iklim pada periode waktu yang dapat dibandingkan (biasanya terhadap rata-rata 30 tahun). Perubahan iklim dapat merupakan perubahan kondisi cuaca rata-rata atau perubahan dalam distribusi kejadian cuaca terhadap kondisi rata-ratanya. Secara umum, perubahan iklim berlangsung dalam waktu yang lama (*slow face*) dan berubah secara lambat (*slow onset*). Perubahan berbagai parameter iklim yang berlangsung perlahan tersebut dikarenakan berbagai peristiwa ekstrim yang terjadi pada variabilitas iklim yang berlangsung secara terus menerus (Aldrian, Karmini and Budiman, 2011). Pemanasan global beserta potensi perubahan iklim di berbagai wilayah di masa depan. Iklim mempengaruhi semua aspek kehidupan, termasuk ketersediaan air, sehingga perlu kita memahami keragaman iklim saat ini dan di masa depan serta dampaknya pada sumberdaya air dengan demikian pemerintah dan masyarakat dapat mengantisipasi perubahan tersebut.

Studi variabilitas iklim dan perubahan iklim telah berkembang selama dekade terakhir dari penggunaan model global yang relatif sederhana, yang terdiri dari model atmosfer digabungkan ke model laut lempengan (IPCC 1990), hingga model lautan-atmosfer-daratan-es gabungan global yang lebih realistis (IPCC 1995). Model global sistem iklim dunia adalah alat penting dalam penelitian iklim, dan mungkin satu-satunya cara untuk menyelidiki interaksi yang sangat non-linear antara empat komponen utama sistem iklim - atmosfer, biosfer, lautan, dan laut- Es. Masing-masing komponen ini memiliki respons dalam skala waktu yang sangat berbeda. Skala waktu ini berkisar dari sangat pendek (hari untuk pola cuaca

sinoptik), sedang (musiman untuk permukaan tanah), hingga panjang (multi-tahun untuk es kutub), hingga sangat lama (dekade / abad untuk perubahan jenis dan distribusi vegetasi) , hingga sangat lama (berabad-abad / milenia untuk perubahan di samudra dalam). CSIRO “Model Sistem Iklim Mk3” yang didokumentasikan dalam laporan teknis ini merupakan bagian dari jalur pengembangan menuju model yang dapat memungkinkan untuk skala waktu interaksi dari komponen di atas. Setiap komponen saat ini dalam model sistem iklim Mk3 dijelaskan secara rinci dalam laporan ini. Model Mk3 memang berisi representasi komprehensif dari empat komponen utama sistem iklim, meskipun beberapa elemen seperti memungkinkan jenis vegetasi berkembang, “biosfer pernapasan”, dan biogeokimia laut merupakan bagian dari perkembangan di masa depan. Dalam bentuknya saat ini, model Mk3 sama komprehensifnya dengan model gabungan global mana pun yang tersedia di seluruh dunia (Gordon, 2002).

Model Mk3 digunakan untuk menyelidiki proses dinamis dan fisik yang mengendalikan sistem iklim, untuk prediksi multi-musim, dan untuk investigasi variabilitas iklim alam dan perubahan iklim. Model ini telah dikembangkan sebagai sistem atmosfer laut yang digabungkan sepenuhnya, tanpa perlu penyesuaian apa pun dari fluks interaktif dan bidang komponen (misalnya, suhu permukaan) yang menghubungkan atmosfer dengan lautan. Model gabungan sebenarnya dirakit dari dua modul utama yang dikembangkan secara independen. Ini akan dilambangkan sebagai AGCM (Model Sirkulasi Umum Atmosfer), yang berisi komponen atmosfer, permukaan tanah, dan es laut, dan OGCM (Model Sirkulasi Umum Laut). Komponen ini dapat digunakan secara terpisah, asalkan bidang pemaksaan batas yang sesuai disediakan. Jadi sebelum model gabungan Mk3 dirakit, modul AGCM dan OGCM yang terpisah menjalani pengembangan dan pengujian ekstensif, dan dokumentasi di sini menunjukkan upaya yang cukup besar dari tim pengembang model (Gordon, 2002).

Model sistem iklim CSIRO Mk3 berisi representasi komprehensif dari empat komponen utama sistem iklim (atmosfer, tanah permukaan, samudra, dan laut-es), dan dalam bentuknya saat ini sama komprehensifnya dengan model gabungan global mana pun yang tersedia di seluruh dunia. Dokumentasi di sini mewakili upaya tim yang cukup besar. Sejarah lengkap tentang jalur pengembangan model

Mk3 disediakan, dan perlu dicatat bahwa pelopor model ini (model Mk1 dan Mk2) telah digunakan dalam sejumlah besar eksperimen terkait iklim, dan untuk prediksi multi-musiman. Tujuan utama pengembangan model iklim Mk3 adalah untuk menyediakan sistem atmosfer-laut yang digabungkan yang memberikan representasi yang lebih baik secara signifikan dari iklim saat ini dibandingkan dengan generasi model sebelumnya. Hal ini juga sangat diinginkan bahwa hal ini dapat dicapai tanpa memerlukan koreksi buatan (yang disebut "penyesuaian fluks") pada kuantitas fluks yang menghubungkan sistem atmosfer dan samudera. Ini telah berhasil dicapai dengan model sistem iklim Mk3. Model Mk3 akan digunakan untuk menyelidiki proses dinamis dan fisik yang mengendalikan sistem iklim, untuk prediksi multi musim, dan untuk investigasi variabilitas iklim alam dan perubahan iklim (Gordon, 2002)

Deskripsi versi model iklim CSIRO yang ditunjuk Mk3.5, seperti yang digunakan dalam proyek intercomparison model internasional CMIP3, dengan penekanan khusus pada aspek yang diubah sejak versi model Mk3.0. Model Mk3.5 memiliki resolusi horizontal dan vertikal yang sama seperti yang digunakan di Mk3.0, tetapi ada beberapa perubahan signifikan pada model parameterisasi fisik dan dimasukkannya representasi proses fisik tambahan. Model Mk3.5 telah digunakan dalam jangka waktu lama (1300 tahun) dan untuk eksperimen perubahan iklim. Kerangka dinamis model atmosfer didasarkan pada metode spektral dengan persamaan yang dibuat dalam bentuk fluks yang melestarikan variabel yang diprediksi. Variabel kelembaban atmosfer (uap, air dan es) dikembangkan oleh algoritma Semi-Lagrangian Transport (SLT). Tidak ada perubahan antara Mk3.0 dan Mk3.5 dalam inti dinamis model atmosfer. Skema permukaan tanah Mk3.0 dan Mk3.5 pada dasarnya sama, kecuali untuk menyertakan representasi Danau Besar dan dua parameter perubahan (Gordon *et al.*, 2010).

Fisik yang digunakan dalam model atmosfer dimodifikasi sampai batas tertentu untuk versi model Mk3.5. Beberapa perubahan kecil dilakukan untuk membantu, misalnya, memperbaiki sifat konservasi atau representasi yang lebih tepat dari proses tertentu. Langkah waktu model Mk3 adalah 15 menit, dan kalkulasi radiasi dilakukan setiap 2 jam. Radiasi gelombang panjang permukaan dibiarkan bervariasi sesuai dengan suhu permukaan yang bervariasi pada langkah

waktu dengan basis langkah waktu. Dalam versi model Mk3.5, perhitungan penyerapan oleh atmosfer dari radiasi gelombang panjang permukaan antara langkah-langkah radiasi telah diperbaiki. Efeknya telah menghilangkan konsentrasi yang tidak realistis dari variasi gaya gelombang panjang (karena perubahan suhu permukaan antara langkah-langkah radiasi) di lapisan batas, terutama untuk langit yang cerah. Subrutin utama yang terlibat adalah *initfs*, *radh\_copy*, dan *radh\_old*. Perubahan kecil pada parameterisasi fisik atmosfer dan permukaan yang dijelaskan di atas mengubah keseimbangan energi AGCM secara keseluruhan. Beberapa perubahan kecil pada sifat mikrofisika awan dilakukan untuk mencapai keseimbangan energi rata-rata tahunan di bagian atas atmosfer (Gordon *et al.*, 2010).

Terdapat bukti ilmiah kuat yang menunjukkan adanya pemanasan global beserta potensi perubahan sistem iklim di berbagai wilayah di masa depan. Iklim pun akan mempengaruhi semua aspek kehidupan, termasuk ketersediaan air. Sehingga sangatlah perlu kita memahami keragaman iklim saat ini dan di masa depan serta dampaknya pada sumberdaya air. Dengan demikian, Semua kalangan terutama pemerintah dan masyarakat dapat mengantisipasi perubahan tersebut (Gordon *et al.*, 2010). Penjelasan secara ilmiah mengenai topik perubahan iklim yang telah diakui secara resmi di tingkat dunia internasional disusun oleh IPCC. Setiap lima tahun IPCC menyusun Laporan Kajian (*Assessment Reports*) yang komprehensif tentang dasar ilmiah, teknis dan aspek sosial-ekonomi, penyebabnya, potensi dampak dan strategi menghadapi perubahan iklim. *Intergovernmental Panel on Climate Change* juga menghasilkan Laporan Khusus yang mengkaji isu-isu tertentu dan Laporan Metodologi, yang memberikan panduan praktis untuk penghitungan gas rumah kaca.

Laporan Kajian Kelima IPCC (*Assessment Reports 5* atau disingkat dengan AR5) pada bagian pertama tahun 2013, membahas *The Physical Science Basis* menguraikan bukti-bukti bahwa perubahan iklim memang sudah terjadi. Suhu bumi meningkat sekitar 0,8°C selama abad terakhir. Tiga dekade terakhir ini secara berturut-turut kondisinya lebih hangat daripada dekade sebelumnya. Berdasarkan skenario pemodelan diperkirakan pada akhir 2100, suhu global akan lebih hangat 1,8-4°C

dibandingkan rata-rata suhu pada tahun 1980-1999. Jika dibandingkan periode pra-industri (1750), kenaikan suhu global ini setara dengan 2,5-4,7°C. Proses pemanasan global terutama disebabkan oleh masuknya energi panas ke lautan (kurang lebih 90% dari total pemanasan), dan terdapat bukti bahwa laut terus menghangat selama periode ini. Selain mengamati kenaikan kondisi suhu yang ada di suatu wilayah tapi juga terjadi perubahan pola curah hujan yang merupakan satu bagian kondisi iklim. Kenaikan suhu dan perubahan pola curah hujan tersebut akan sangat berdampak terhadap kondisi hidrologi. Pada kondisi cuaca yang cukup ekstrim dengan suhu dan curah hujan sangat tinggi akan menyebabkan bencana hidrometeorologi seperti banjir, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan serta tanah longsor. Hal tersebut terlihat dengan adanya gelombang panas (El Nino) yang menyebabkan kekeringan yang panjang bahkan menyebabkan terjadinya kebakaran pada lahan yang luas dan gelombang basah (La Nina) yang menyebabkan bencana banjir yang telah mengalami perubahan waktu terjadinya (Chairil A, 2019). Charles (2012) dalam (Syahbani, 2017) menyatakan ada beberapa unsur yang mempengaruhi keadaan cuaca dan iklim suatu daerah dan wilayah, yaitu:

1. Suhu atau temperatur udara adalah derajat panas dari aktivitas molekul dalam atmosfer. Alat untuk mengukur suhu atau temperatur udara atau derajat panas disebut *thermometer*. Pengukuran suhu atau temperatur udara dinyatakan dalam skala *celcius* (C), *reamur* (R) dan *fahrenheit* (F). Udara timbul karena adanya radiasi panas matahari yang diterima bumi.
2. Tekanan udara adalah suatu gaya yang timbul akibat adanya berat dari lapisan udara. Besarnya tekanan udara di setiap tempat pada suatu saat berubah-ubah. Semakin tinggi suatu tempat dari permukaan laut maka semakin rendah tekanan udaranya. Hal ini disebabkan karena berkurangnya udara yang menekan.
3. Angin merupakan udara yang bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke daerah bertekanan udara rendah.

4. Keembaban udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam massa udara pada saat dan tempat tertentu. Alat untuk mengukur kelembaban udara disebut *psychrometer* atau *hygrometer*.
5. Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Alat untuk mengukur banyaknya curah hujan disebut *rain gauge* yang pengukuran berdasarkan harian, bulanan, dan tahunan.
6. Penyinaran matahari dapat mengubah suhu dipermukaan bumi. Banyaknya jumlah panas yang dapat diterima oleh permukaan bumi tergantung pada lamanya penyinaran, kemiringan sudut datang sinar matahari ke bumi, keadaan awan, dan juga keadaan bumi itu sendiri.

## **2.5. Model Analisis Hidrologi**

Masalah air di Indonesia ditandai dengan kondisi lingkungan yang makin tidak kondusif sehingga makin mempercepat kelangkaan air. Kerusakan lingkungan antara lain disebabkan oleh terjadinya degradasi daya dukung daerah aliran sungai (DAS) hulu akibat kerusakan hutan yang tak terkendali sehingga luas lahan kritis semakin tinggi. Fenomena ini telah menyebabkan turunnya kemampuan DAS untuk menyimpan air di musim kemarau sehingga frekuensi dan besaran banjir makin meningkat, demikian juga sedimentasi makin tinggi yang menyakibatkan pendangkalan di waduk dan sungai sehingga menurunkan daya tampung dan pengalirannya. Secara biogeofisik, kondisi suatu DAS dianalisis menggunakan teknologi GIS dan memanfaatkan model hidrologi untuk menggambarkan kompleksitas suatu DAS dan salah satu model hidrologi yang dapat digunakan adalah model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT).

Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan model kejadian kontinyu untuk skala DAS yang beroperasi secara harian dan dirancang untuk memprediksi dampak pengelolaan terhadap air, sedimen, dan kimia pertanian pada DAS yang tidak memiliki alat pengukuran. Model SWAT berbasis fisik, efisien secara komputerisasi, dan mampu membuat simulasi untuk jangka waktu yang panjang. Komponen utama model adalah iklim, hidrologi, suhu dan karakteristik tanah, pertumbuhan tanaman, unsur hara, pestisida, patogen dan bakteri, dan pengelolaan lahan. Dalam SWAT, DAS dibagi menjadi beberapa SubDAS, yang

kemudian dibagi lagi ke dalam unit respon hidrologi (*Hydrologic Response Units* = HRU) yang memiliki karakteristik penutupan lahan, pengelolaannya, dan tanah yang homogen. Unit Repon Hidrologi (HRU) menunjukkan persentase SubDAS yang teridentifikasi dan tidak teridentifikasi secara spasial dalam simulasi SWAT. Alternatif lainnya, sebuah DAS dapat dibagi ke dalam SubDAS yang memiliki karakteristik penutupan lahan, jenis tanah dan pengelolaan yang dominan (Nathaniel, 2012).

Tidak menjadi masalah apapun studi kasus yang dipelajari dalam SWAT, neraca air tetap dihasilkan dari setiap hal yang terjadi dalam DAS. Untuk prediksi secara akurat terhadap pergerakan pestisida, sedimen atau unsur hara, siklus hidrologi yang disimulasikan oleh model harus dikonfirmasi dengan proses yang terjadi di dalam DAS. Simulasi hidrologi DAS dapat dipisahkan menjadi dua bagian utama. Bagian pertama adalah fase lahan dari siklus hidrologi. Fase lahan siklus hidrologi mengontrol jumlah air, sedimen, unsur hara dan pestisida yang bergerak menuju saluran utama pada masing-masing SubDAS. Bagian kedua adalah fase air atau penelusuran dari siklus hidrologi yang dapat didefinisikan sebagai pergerakan air, sedimen dan lainnya melalui jaringan sungai dalam DAS menuju ke outlet (Nathaniel, 2012).

Model SWAT adalah model komprehensif yang membutuhkan keragaman informasi dalam rangka untuk menjalankan. Pengguna pemula mungkin merasa sedikit kewalahan dengan variasi dan jumlah input saat mereka mulai menggunakan model ini. Namun, banyak masukan yang digunakan untuk mensimulasikan fitur-fitur khusus yang tidak umum untuk semua DAS (Arnold *et al.*, 2012). Model SWAT merupakan salah satu model yang dapat digunakan untuk memprediksi pengaruh pemanfaatan lahan terhadap aliran permukaan, aliran lateral, aliran air tanah, ketersediaan air, erosi, sedimen, muatan pestisida dan kimia hasil pertanian yang masuk ke sungai atau badan air pada suatu DAS yang kompleks dengan jenis tanah, penutupan lahan dan pengelolaannya yang bermacam-macam secara berkelanjutan dan dalam jangka waktu yang lama. Model SWAT berbasis fisik, efisien dalam perhitungan dan mampu membuat simulasi untuk jangka waktu yang panjang. Pada model SWAT, dihasilkan satuan tanggap/respon hidrologi atau HRU (*hydrologic response unit*) yang merupakan tumpang susun (*overlay*) peta tutupan

lahan (penutupan lahan), peta tanah yang didetailkan dengan informasi fisik dan kimia tanah, dan peta kelas lereng. Kumpulan HRU yang saling berdekatan membentuk sub-DAS, dan gabungan sub-DAS tersebut adalah DAS yang akan dianalisis. Simulasi neraca hidrologi DAS menggunakan Model SWAT memiliki kemampuan dalam menghasilkan data:

1. Perkiraan air tanah, *recharge*, *tile-flow*, dan tingkat air bawah tanah.
2. Kajian aliran permukaan, erosi dan sedimen.
3. Penilaian dampak perubahan iklim terhadap hidrologi.
4. Perencanaan musim kering (pilihan penyediaan air).
5. Analisis pengaruh kualitas air skala DAS terhadap penilaian siklus hidup kehutanan dan pertanian.
6. Penilaian perairan.
7. Evaluasi keuntungan ekonomi dan lingkungan pada pengukuran konservasi air dan tanah.

### **2.5.1. Delineasi Daerah Aliran Sungai**

Delineasi Batas DAS (*watershed/basin*) atau daerah tangkapan (*catchment*) sering dilakukan dalam analisis hidrologis. Delineasi tersebut ditujukan untuk membuat batas dari DAS atau daerah tangkapan dengan prinsip yang sama, yaitu seluruh air yang jatuh pada suatu DAS atau daerah tangkapan akan mengalir ke satu titik yang sama (*outlet*). Meskipun serupa, DAS dan daerah tangkapan memiliki sedikit perbedaan dalam tujuan pembuatannya. DAS dibuat sebagai batas geomorfologis yang membagi habis suatu wilayah. Dalam pembuatan batas-batas DAS tidak ada areal yang tidak memiliki DAS. *Outlet* dari batas DAS adalah percabangan atau muara sungai. Fragmen batas DAS yang kecil-kecil yang biasanya terdapat di sekitar garis pantai sering digabungkan dengan batas DAS yang lebih dominan. Oleh karena itu delineasi batas DAS lebih kepada tujuan pengelolaan. Sedangkan daerah tangkapan dibuat untuk suatu *point of interest* tertentu. Daerah tangkapan tidak membagi habis suatu wilayah. Keluaran dari analisis berupa dikotomi yaitu daerah tangkapan dan bukan. *Outlet* daerah tangkapan adalah titik interest yang dianalisis seperti bendungan, stasiun pengamatan, titik lokasi sampling dan sebagainya. Analisis yang dilakukan dalam tahapan delineasi batas DAS sebagai berikut (Ditjen BPDAS-PS, 2014):

1. Persiapan data berupa *Digital Elevation Model* (DEM).
2. Memilih menu *watershed delineator* pada program ArcSWAT kemudian pilih *automatic watershed delineation* kemudian input data DEM.
3. Atur sistem proyeksi DEM
4. Analisis hidrologi-topografi yaitu *Flow Direction* dan *Flow Accumulation*
5. Penentuan outlet untuk delineasi DAS, outlet ditentukan otomatis oleh analisis. Namun untuk delineasi daerah tangkapan, titik outlet harus ditentukan oleh pengguna.
6. Menjalankan delineasi dengan output berupa batas DAS atau batas daerah tangkapan dalam format raster
7. Analisis lanjutan (jika diperlukan) seperti konversi batas DAS/daerah tangkapan menjadi data vektor, analisis jejaring aliran (stream network), dsb.

#### ***Digital Elevation Model (DEM)***

Digital Elevation Model atau DEM merupakan suatu model digital yang merepresentasikan permukaan topografi bumi kita dalam bentuk tiga dimensi. Salah satu contoh pemanfaatan DEM adalah untuk menurunkan jaringan sungai dan karakteristik DAS terkait dengan aplikasi hidrologi dan manajemen sumberdaya air. Untuk mendapatkan karakteristik DAS (yang mencakup: topografi, geomorfologi, jaringan sungai). DEM sudah lama dikenal dan diaplikasikan pada berbagai belahan dunia. Sepanjang dasawarsa terakhir, penelitian dan aplikasi menunjukkan bahwa DEM telah memberikan hasil yang cukup signifikan dan dapat diterima secara ilmiah. Sehingga tidak dapat dipungkiri lagi perkembangan teknologi ini begitu pesat dan banyak dimanfaatkan orang untuk berbagai analisis keruangan. Saat ini DEM telah banyak dimanfaatkan untuk membantu analisis dalam berbagai bidang, seperti bidang: pertanian, erosi dan sedimentasi, kehutanan, manajemen sumber air dan pengelolaan DAS. Input utama adalah layer topografi yang berwujud kontur (garis ketinggian). Kualitas DEM yang dihasilkan tergantung pada ketelitian informasi kontur. Makin rapat interval kontur yang dimasukkan, makin baik proses pembuatan DEM. Layer jaringan sungai diperlukan untuk interpolasi lebih lanjut. Input lain diperlukan untuk menghasilkan DEM yang lebih realistis menggambarkan kondisi alam sebenarnya. Input data geografis tersebut selanjutnya digunakan untuk proses interpolasi DEM (Indarto *et al.*, 2008).

### ***Data Kontur***

Kontur Hal penting dalam melakukan pemetaan adalah tersedianya informasi mengenai ketinggian suatu wilayah. Dalam peta topografi, informasi tentang elevasi biasanya berupa garis kontur, yaitu garis yang menghubungkan titiktitik dengan ketinggian sama. Terdapat 2 istilah yang kaitannya dengan kontur yaitu indeks kontur dan interval kontur. Interval kontur merupakan perbedaan elevasi antar dua garis kontur yang berdekatan. Pada penampilan peta di satu halaman, interval kontur ini dibuat sama besar nilainya antara satu kontur dengan kontur lain. Dalam hal penyajian, semakin besar skala maka informasi pada peta akan semakin banyak (semakin detail), sehingga interval kontur akan semakin kecil. Indeks kontur merupakan garis kontur dengan kelipatan tertentu. Misalnya setiap kelipatan 1 meter, 5 meter, 10 meter, dan lain-lain. Selain menunjukkan bentuk ketinggian permukaan tanah, garis kontur juga dapat digunakan untuk:

1. Membuat potongan memanjang (*long-section*).
2. Menghitung luas dan volume suatu wilayah.
3. Menghitung tingkat kemiringan suatu wilayah.

Garis kontur dapat dibuat melalui ekstraksi data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan bantuan software sistem informasi geografis. Dalam membuat kontur suatu wilayah semakin besar derajat kerapatan titik maka semakin teliti informasi yang dibutuhkan sehingga hasil yang didapatkan juga semakin akurat.

### ***Jaringan Sungai***

Bentuk jaringan sungai dipengaruhi oleh kondisi muka bumi DAS dan waktu (sedimentasi, erosi/grusan, pelapukan permukaan DAS, pergerakan berupa tektonik, vulkanik, longsor lokal dll). Struktur jaringan sungai mempengaruhi faktor hidrologi, proses sedimentasi dalam sungai, dan perubahan bentuk saluran. Bentuk jaringan sungai erat kaitannya dengan bentuk batas DAS.

#### **2.5.2. Unit Respon Hidrologi**

Unit Respon Hidrologi atau HRU merupakan unit terkecil dalam skala analisis / perhitungan yang di lakukan oleh SWAT. Setiap lokasi HRU bersifat unik dalam respon terhadap kondisi hidrologinya, seperti kondisi *runoff*, erosi, penyimpanan air tanah, aliran bawah tanah, neraca air dan lain sebagainya Peta HRU tersusun atas kombinasi peta tutupan lahan, peta kelas lereng dan peta jenis

tanah yang selanjutnya dikelompokkan pada setiap wilayah DAS/SubDAS. Dataset peta tutupan lahan aktual, tutupan lahan proyeksi dan peta jenis tanah dalam format vektor *shapefile*, *Grid ESRI* ataupun *Feature Geodatabase* sedangkan klasifikasi kelas lereng berasal dari dataset DEM yang digunakan untuk membuat delienase batas DAS. Dataset yang digunakan ini harus menggunakan system proyeksi yang sama. Beberapa prosedur kunci dalam membuat peta HRU adalah sebagai berikut (Ditjen BPDAS-PS, 2014) :

1. Mendefinisikan dataset tutupan lahan dan mengklasifikasikan berdasarkan atribut tutupan lahan yang digunakan dalam SWAT
2. Mendefinisikan dataset jenis tanah dan mengklasifikasikan berdasarkan atribut tanah yang digunakan dalam SWAT
3. Mengklasifikasikan kelas lereng
4. Overlay dataset tutupan lahan, jenis tanah dan kelas lereng

#### ***Data Penutupan Lahan***

Data penutupan lahan yang di input merupakan data yang atributnya telah diklasifikasikan dengan dengan database klasifikasi penutupan lahan model SWAT. Data penutupan lahan didapatkan dari berbagai sumber, misalnya melalui kegiatan interpretasi citra atau instansi kementerian terkait yang membidangi tentang penutupan lahan. Database tutupan lahan / pertumbuhan tanaman berisi informasi yang dibutuhkan oleh SWAT untuk mensimulasikan pertumbuhan tutupan lahan. Bagian berikut menjelaskan secara singkat metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter pertumbuhan tanaman yang dibutuhkan oleh SWAT (Arnold *et al.*, 2012) :

Tabel 2. Klasifikasi Penutupan Lahan Model SWAT

<b>No.</b>	<b>Nama Umum</b>	<b>Klasifikasi SWAT</b>	<b>Kode SWAT</b>
<b>1.</b>	Hutan Campuran	Forest-Mixed	FRST
<b>2.</b>	Lahan Basah Berhutan	Wetlands-Forested	WETF
<b>3.</b>	Hutan Tanaman: Hutan Campur Hutan Daun Hijau Hutan Daun Gugur	Forest-Mixed Forest-Evergreen Forest-Decidious	FRST FRSE FRSD
<b>4.</b>	Semak	Range-Brush	RNGB
<b>5.</b>	Padang Rumput	Pasture	PAST
<b>6.</b>	Lahan Pertanian / Generik	Agriculture Land-Generic	AGRL
<b>7.</b>	Beras / Sawah	Rice	RICE
<b>8.</b>	Air	Water	WATR
<b>9.</b>	Kebun Buah-Buahan / Perkebunan	Orchard	ORCD
<b>10.</b>	Permukiman	Residential	URBN

No.	Nama Umum	Klasifikasi SWAT	Kode SWAT
11.	Bandara / Pelabuhan	Transportation	UTRN
12.	Lahan Terbuka	Oak	OAK
13.	Lahan Basah / Rawa	Wetlands-Mixed	WETL

### ***Data Fisik dan Kimia Tanah***

Kebutuhan input data tanah dalam model SWAT adalah data tanah berupa jenis tanah serta parameter fisik dan kimia tanah yang meliputi jumlah lapisan tanah, kelompok hidrologi tanah, ke dalaman perakaran maksimum tanaman, kelas tekstur tanah, ketebalan solum tanah, bobot isi tanah, kadar air tersedia. Kandungan bahan organik tanah, kandungan pasir, liat dan debu, kandungan batuan, nilai albedo tanah, nilai erodibilitas tanah, kalsium karbonat, dan pH tanah. Hasil data jenis tanah berupa format raster dengan input parameter jenis tanah model SWAT agar data tersebut dapat dianalisis dalam menjalankan program ArcSWAT yang disajikan dalam tabel 3:

Tabel 3. Parameter Jenis Tanah model SWAT

No.	Parameter Tanah	Kode SWAT
1.	Jumlah Lapisan Tanah	NLAYERS
2.	Kelompok Hidrologi Tanah	HYDGRP
3.	Ke dalaman Akar Tanaman (mm)	SOL_ZMX
4.	Porositas Tanah (fraction)	ANION_EXCL
5.	Volume Retak Tanah (m3/m3)	SOL_CRK
6.	Tekstur	TEXTURE
7.	Ke dalaman Tanah (mm)	SOL_Z
8.	Bulk Density (g/cm3)	SOL_BD
9.	Kapasitas air tersedia (mm/mm)	SOL_AWC
10.	Kadar C Organik (%)	SOL_CBN
11.	Konduktivitas Hidrolik Jenuh (mm/hari)	SOL_K
12..	Persentase Liat (%)	CLAY
13.	Persentase Debu (%)	SILT
14.	Persentase Pasir (%)	SAND
15.	Persentase Batu Permukaan (%)	ROCK
16.	Albedo Tanah (fraction)	SOL_ALB
17.	Erodibilitas Tanah	USLE_K
18.	Konduktivitas Listrik (ds/m)	SOL_EC
19.	Kalsium Karbonat (%)	SOL_CAL
20.	pH	SOL_PH

### ***Data Kelerengan***

Lereng adalah kenampakan permukaan alam disebabkan adanya beda tinggi apabila beda tinggi dua tempat tersebut di bandingkan dengan jarak lurus mendatar sehingga akan diperoleh besarnya kelerengan. Bentuk lereng bergantung pada proses erosi juga gerakan tanah dan pelapukan. Lereng merupakan parameter topografi yang terbagi dalam dua bagian yaitu kemiringan lereng dan beda tinggi relatif, dimana kedua bagian tersebut besar pengaruhnya terhadap penilaian suatu bahan kritis. Penentuan klasifikasi kelas lereng mengacu pada Perdirjen BPDASPS nomor P.4/V-SET/2013 yang terbagi ke dalam 5 kelas yang juga sesuai dengan jumlah kelas yang terdapat dalam model SWAT yakni, 0-8% (datar), 8-15% (landai), 15-25% (agak curam), 25-40% (curam) dan >40% (sangat curam).

### **2.5.3. Penggabungan HRU dengan Data Iklim**

Penggabungan HRU dengan data iklim dilakukan setelah analisis HRU telah selesai terbentuk. Data iklim dalam DAS menyajikan informasi mengenai tingkat kelembaban dan jumlah energi yang yang mengendalikan neraca air dan menentukan tingkat prioritas komponen-komponen neraca air yang lainnya. Data iklim yang dibutuhkan oleh SWAT terdiri data hujan harian, suhu udara maksimum dan minimum, radiasi matahari, kecepatan angin, dan kelembaban relatif. Data-data tersebut dapat diperoleh dari pencatatan data lapang atau dibangkitkan selama simulasi. Pembangkit Iklim (*Weather Generator*) nilai harian diperoleh dari rata-rata nilai bulanan. Model menghasilkan sebuah set data iklim untuk masing-masing SubDAS. Nilai untuk masing-masing SubDAS akan dihasilkan secara terpisah dan tidak ada korelasi spasial dari nilai-nilai tersebut antara SubDAS yang berbeda (Ditjen BPDAS-PS, 2014).

### **2.5.4. Hasil Model Hidrologi**

Model *Soil and Water Assesment Tool* (SWAT) mempunyai beberapa keunggulan yaitu dibangun berdasarkan proses yang terjadi dengan menghimpun informasi mengenai iklim, sifat tanah, topografi, tanaman dan pengelolaan lahan yang terdapat dalam DAS, mempunyai data input yang sudah tersedia, dapat dikerjakan secara efisien menggunakan komputer sehingga hemat waktu dan biaya serta memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dalam

suatu DAS. Dengan asumsi tidak ada hubungan antar HRU, model kemudian mensimulasikan proses hidrologi untuk setiap HRU menggunakan metode neraca air. Simulasi neraca air tersebut meliputi parameter-parameter seperti kandungan tanah, limpasan permukaan, evapotranspirasi, perkolasi, dan aliran bawah permukaan tanah yang kembali ke sungai (Neitsch *et al.*, 2005). Pembagian DAS mampu membuat model yang mencerminkan perbedaan evapotranspirasi untuk jenis tanaman dan tanah bervariasi. Aliran permukaan (*surface runoff*) diprediksi secara terpisah untuk masing-masing HRU dan dapat ditelusuri untuk memperoleh aliran permukaan total (*total runoff*) suatu DAS. Hal ini dapat meningkatkan keakuratan dan memberikan gambaran fisik yang lebih baik untuk neraca air (Ditjen BPDAS-PS, 2014).

Hasil (*output*) SWAT terangkum dalam file-file *output* yang terdiri dari HRU, SUB dan RCH. SUB berisikan informasi pada masing-masing Sub-DAS, HRU berisikan informasi pada masing-masing HRU sedangkan RCH berisikan informasi pada masing-masing sungai utama dalam Sub DAS. Informasi pada masing-masing Sub DAS dan HRU adalah jumlah curah hujan (PRECIP), evapotranspirasi potensial (PET) dan aktual (ET), kandungan air tanah (SW), perkolasi (PERC), aliran permukaan (SURQ), aliran lateral (LATQ), aliran dasar (GW\_Q) dan hasil air (WYLD) yang dihasilkan selama periode simulasi. Informasi pada masing-masing sungai utama di dalam RCH adalah jumlah aliran yang masuk ke sungai (FLOW\_IN) dan aliran yang keluar (FLOW\_OUT). Output yang diambil sebagai hasil debit aliran simulasi adalah jumlah aliran yang keluar ke sungai (FLOW\_OUT). Hasil dari simulasi dapat dilihat dengan jelas menggunakan SWAT Plot (Hutomo, 2017). (Nasir, 2018) menambahkan bahwa *water yield* dalam istilah SWAT merupakan ketersediaan air yang dipengaruhi oleh akumulasi limpasan atau aliran permukaan (*runoff* / Kode SWAT: SURQ), aliran lateral (*lateral flow* / kode SWAT: LATQ), dan aliran dasar atau aliran air tanah (*baseflow* / kode SWAT: GWQ) terhadap total kehilangan air (*Transmission losses* / Kode SWAT: Tloss).