

**ARAHAN PENGGUNAAN LAHAN SEBAGAI UPAYA MITIGASI EROSI  
DAN SEDIMENTASI PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI RONGKONG  
TAHUN 2031**

*LAND USE DIRECTIONS FOR EROSION AND SEDIMENTATION  
MITIGATION EFFORTS IN THE RONGKONG WATERSHED IN 2031*

**ABKAR  
M012171002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KEHUTANAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**ARAHAN PENGGUNAAN LAHAN SEBAGAI UPAYA MITIGASI EROSI  
DAN SEDIMENTASI PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI RONGKONG  
TAHUN 2031**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi  
Magister Ilmu Kehutanan

Disusun dan Diajukan oleh

**ABKAR**

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

TESIS  
ARAHAN PENGGUNAAN LAHAN SEBAGAI UPAYA MITIGASI EROSI  
DAN SEDIMENTASI PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI RONGKONG  
TAHUN 2031

Disusun dan Diajukan Oleh:

ABKAR  
Nomor Pokok: M012171002

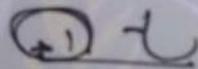
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada Tanggal 27 Juli 2021

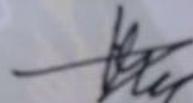
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Komisi Penasihat



Dr. Ir. Usman Arsyad, MS  
Ketua



Dr. Ir. Roland A Barkey  
Anggota

Ketua Program Studi S2  
Ilmu Kehutanan



Prof. Dr. Ir. Muhammad Dassir, M.Si

Dekan Fakultas Kehutanan  
Universitas Hasanuddin



Dr. A. Mujetahid, S.Hut., MP

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Abkar

Nomor Mahasiswa : M012171002

Program Studi : Magister Ilmu Kehutanan

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

Makassar, Juli 2021

Yang Menyatakan

  
Abkar

## **PRAKATA**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa dengan selesainya penulisan tesis ini. Topik penelitian ini dilatar belakangi oleh beberapa penelitian-penelitian, hasil pengamatan dan keadaan yang dirasakan langsung oleh penulis terkait dampak perubahan penggunaan lahan dan pengaruhnya terhadap kondisi erosi dan sedimentasi yang akan berdampak luas terhadap kehidupan manusia. Maka dari itu penulis bermaksud menyumbangkan ide dan gagasan dalam rangka mengaji dampak perubahan penggunaan lahan terhadap kondisi hidrologi utamanya tingkat erosi dan sedimentasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Rongkong pada tahun 2031. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi terkait mitigasi erosi dan sedimentasi di DAS Rongkong.

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis juga menghadapi berbagai kendala. Namun dengan bantuan berbagai pihak, maka tesis ini dapat selesai. Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Usman Arsyad, MS dan Dr. Ir. Roland A Barkey selaku Komisi Penasihat yang telah memberikan saran dan arahan hingga selesainya tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Syamsu Rijal S.Hut., M.Si., IPU., Dr. Ir. Anwar Umar, MS dan Andang Suryana Soma, S.Hut., MP., Ph.D selaku Komisi Penguji yang telah memberikan masukan dalam penulisan tesis ini. Terima kasih juga kepada Keluarga Besar Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi

Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan arahan dan diskusi dalam proses penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari penulisan tesis ini masih memiliki berbagai kekurangan, sehingga saran, kritik, dan penelitian lanjutan penulis harapkan mampu menyempurnakan tesis ini.

Makassar, Juli 2021

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters, positioned above a horizontal line.

Abkar

## ABSTRAK

### **Abkar.** Arahan Penggunaan Lahan Sebagai Upaya Mitigasi Erosi dan Sedimentasi Pada Daerah Aliran Sungai Rongkong Tahun 2031

Penggunaan lahan yang mengalami perubahan dari tahun ke tahun dan rata-rata curah hujan yang tinggi setiap bulannya mempengaruhi peningkatan erosi dan sedimentasi pada DAS Rongkong. Kejadian banjir bandang di Masamba pada tahun 2020 juga menjadi tolak ukur bahwa curah hujan di DAS Rongkong dapat sewaktu waktu berada pada kondisi ekstrem. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perubahan penggunaan lahan dan menganalisis tingkat erosi dan sedimentasi tahun 2007, 2019 dan 2031 serta merumuskan arahan penggunaan lahan di DAS Rongkong tahun 2031. Penggunaan lahan tahun 2007 dan tahun 2019 diperoleh dengan interpretasi citra landsat 7 dan 8. Perubahan penggunaan lahan tahun 2031 menggunakan *Cellular Automata Markov Model*. Tingkat erosi dan sedimentasi dianalisis dengan menggunakan model *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT). Erosi dan sedimentasi tahun 2007 dan 2019 diperoleh dengan menggunakan data penggunaan lahan tahun 2007 dan 2019 serta curah hujan bulanan periode 2009-2018. Erosi dan sedimentasi tahun 2031 diperoleh dengan menggunakan data penggunaan lahan tahun 2031 dan delta perubahan curah hujan dari model Iklim Global SCIRO MK 3.5. Penggunaan lahan pada DAS Rongkong dari tahun 2019 ke tahun 2031 mengalami perubahan yang didominasi oleh penambahan luasan perkebunan (142,56%), pertanian lahan kering campur (48,40%) dan pemukiman (19,24%). Tingkat erosi tahun 2031 pada kelas berat dan sangat berat meningkat 6.330,72 Ha (7,62%) dari erosi tahun 2019 dengan laju erosi meningkat sebesar 31.433,05 ton/ha/tahun (5,37%) dari tahun 2019. Muatan sedimentasi pada tahun 2031 pada kelas tinggi dan sangat tinggi meningkat 9.830,89 Ha (9,88%) dari sedimentasi tahun 2019 dengan laju sedimen mengalami penambahan 8,17 ton/ha/tahun (3,56%) dari tahun 2019. Arahan penggunaan lahan yang direncanakan untuk menanggulangi erosi berat dan sangat berat pada tahun 2031 antara lain: (1) *agroforestry*, (2) hutan lahan kering sekunder (reboisasi), (3) hutan mangrove sekunder (reboisasi), (4) hutan rakyat *agroforestry*, (5) hutan rakyat campuran, (6) hutan tanaman, (7) pemukiman, (8) perkebunan, (9) pertanian lahan kering, (10) sawah, (11) *silvofishery* dan (12) tubuh air. Erosi dan sedimentasi dengan penerapan arahan penggunaan lahan mengalami penurunan masing-masing sebesar 265.040,61 ton/ha/tahun (42,96%) dan 73,90 ton/ha/tahun (31,13%) dari proyeksi 2031.

Kata Kunci: Penggunaan lahan, *Cellular Automata Markov Model*, Model SWAT, Erosi, Sedimentasi

## ABSTRACT

### **Abkar.** Land Use Directions for Erosion and Sedimentation Mitigation Efforts in the Rongkong Watershed in 2031

Land use changes from year to year and high average monthly rainfall affects the increase in erosion and sedimentation in the Rongkong watershed. The flash flood incident in Masamba in 2020 is also a benchmark that rainfall in the Rongkong watershed can be at any time in extreme conditions. This research aims to look at land use changes and analyze erosion and sedimentation rates in 2007, 2019 and 2031 as well as formulate land use directions in the Rongkong watershed in 2031. Land use in 2007 and 2019 was obtained by interpreting Landsat imagery 7 and 8. Land use change in 2031 using the Cellular Automata Markov Model. Erosion and sedimentation rates were analyzed using model Soil and Water Assessment Tools (SWAT). Erosion and sedimentation in 2007 and 2019 were obtained using 2019 land use data and monthly rainfall for the 2009-2018 period. Erosion and sedimentation in 2031 were obtained using land use data in 2031 and delta changes in rainfall from the CSIRO MK 3.5 Global Climate model. Land use in the Rongkong watershed from 2019 to 2031 experienced changes which were dominated by the addition of plantation area (142,56%), mixed dry land agriculture (48,40%) and settlements (19,24%). The erosion rate in 2031 in the heavy and very heavy classes increased by 6.330,72 Ha (7,62%) from the erosion in 2019 with the erosion rate increasing by 31.433,05 tons/ha/year (5,37%) from 2019. Sedimentation load in 2031 in the high and very high class increased 9.830,89 Ha (9,88%) from the sedimentation in 2019 with the sediment rate increasing by 8,17 tons/ha/year (3,56%) from 2019. The planned land use directions to tackle heavy and very heavy erosion in 2031 include: (1) agroforestry, (2) secondary dryland forest (reforestation), (3) secondary mangrove forest (reforestation), (4) community forest agroforestry, (5) mixed community forest, (6) plantation forest, (7) settlements, (8) plantations, (9) dry land agriculture, (10) rice fields, (11) silvofishery and (12) water bodies. Erosion and sedimentation with the application of land use directions decreased by 265.040,61 tons/ha/year (42,96%) and 73,90 tons/ha/year (31,13%) from the 2031 projection.

**Keywords:** Land use; Cellular Automata Markov Model; SWAT Model; Erosion; Sedimentation

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	<b>iv</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	6
1.3. Tujuan .....	7
1.4. Kegunaan .....	7
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Penggunaan/Penutupan lahan.....	8
2.1.1. Penggunaan/Penutupan Lahan.....	8
2.1.2. Arahkan Penggunaan Lahan.....	11
2.2. Erosi dan Sedimentasi .....	14
2.2.1. Erosi.....	14
2.2.2. Sedimentasi .....	18

2.3.	Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	23
2.3.1.	Batasan DAS .....	23
2.3.2.	Pengelolaan DAS .....	25
2.4.	Perubahan Iklim .....	28
2.4.1.	Iklim dan Faktor-Faktor Iklim .....	28
2.4.2.	Perubahan Iklim .....	30
2.5.	Mitigasi Bencana .....	32
2.5.1.	Mitigasi Bencana .....	32
2.5.2.	Upaya Mitigasi Erosi dan Sedimentasi .....	36
2.6.	Metode Analisis Penggunaan/penutupan lahan .....	38
2.6.1.	Sistem Informasi Geografis (SIG) .....	38
2.6.2.	Penginderaan Jauh .....	41
2.6.3.	<i>Land Satellite</i> (landsat) .....	46
2.6.4.	Interpretasi Citra .....	49
2.6.5.	<i>Cellular Automata-Markov Chain</i> (CA-MC) .....	52
2.7.	<i>Soil and Water Assessment Tool</i> (SWAT) .....	54
2.8.	Kerangka Pikir .....	59
<b>BAB III.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>61</b>
3.1.	Waktu dan Tempat .....	61
3.2.	Alat dan Bahan .....	63
3.3.	Sumber Data dan Variabel Penelitian .....	63
3.4.	Prosedur Penelitian .....	65
3.5.	Analisis Data .....	73
<b>BAB IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>84</b>
4.1.	Proyeksi Penggunaan Lahan Tahun 2031 .....	84
4.1.1.	Penggunaan/Penutupan Lahan Tahun 2007 dan 2019 .....	84
4.1.2.	Proyeksi Penggunaan/penutupan Lahan Tahun 2031 .....	95
4.1.3.	Validasi Data .....	101
4.2.	Erosi dan Sedimentasi Tahun 2031 .....	104

4.2.1. Curah Hujan Daerah Aliran Sungai Rongkong hingga Tahun 2030-an.....	104
4.2.2. Erosi dan Sedimentasi Tahun 2007.....	111
4.2.3. Erosi dan Sedimentasi Tahun 2019.....	121
4.2.4. Erosi dan Sedimentasi Proyeksi 2031 .....	131
4.2.5. Erosi dan Sedimentasi Pola Ruang 2031 .....	143
4.3. Arahan Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai Rongkong ..	155
4.3.1. Arahan Penggunaan Lahan.....	155
4.3.2. Erosi dan Sedimentasi Berdasarkan Arahan Penggunaan Lahan	162
<b>BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>174</b>
5.1. Simpulan.....	174
5.2. Saran.....	176
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>177</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>183</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Jenis-jenis sedimen berdasarkan ukuran partikel .....	21
<b>Tabel 2.</b> Daftar kebutuhan data dan sumbernya .....	64
<b>Tabel 3.</b> Confusion matriks .....	72
<b>Tabel 4.</b> Ilustrasi transitional/probability area matriks .....	74
<b>Tabel 5.</b> Penggunaan/Penutupan lahan dalam model SWAT .....	79
<b>Tabel 6.</b> Kelerengan dalam inputan model SWAT .....	79
<b>Tabel 7.</b> Pola ruang dalam model SWAT .....	80
<b>Tabel 8.</b> Jenis tanah dalam inputan model SWAT .....	80
<b>Tabel 9.</b> Klasifikasi tingkat erosi tanah.....	82
<b>Tabel 10.</b> Klasifikasi muatan sedimen .....	83
<b>Tabel 11.</b> Penggunaan/penutupan lahan Tahun 2007 dan 2019 di DAS Rongkong .....	84
<b>Tabel 12.</b> Confusion matriks titik pengecekan masing-masing kelas penggunaan/penutupan lahan tahun 2019 .....	92
<b>Tabel 13.</b> Matriks transisi perubahan penutupan/penggunaan lahan periode tahun 2007–2019 .....	96
<b>Tabel 14.</b> Penggunaan/penutupan lahan tahun 2019 dan hasil proyeksi tahun 2031 .....	97
<b>Tabel 15.</b> Rata-Rata curah hujan DAS Rongkong Tahun 2009–2018....	104
<b>Tabel 16.</b> Trend perubahan curah hujan pada stasiun Rongkong.....	108
<b>Tabel 17.</b> Trend perubahan curah hujan pada stasiun Sabbang .....	108
<b>Tabel 18.</b> Klasifikasi besaran erosi tahun 2007 berdasarkan tingkat erosi .....	111
<b>Tabel 19.</b> Rata-rata luasan erosi tahun 2007 berdasarkan penggunaan/penutupan lahan pada kelas sangat berat dan berat .....	115

<b>Tabel 20.</b> Muatan sedimen berdasarkan penggunaan/penutupan lahan 2007.....	117
<b>Tabel 21.</b> Klasifikasi besaran erosi tahun 2019 berdasarkan tingkat erosi .....	122
<b>Tabel 22.</b> Rata-rata luasan erosi tahun 2019 berdasarkan penggunaan/penutupan lahan pada kelas sangat berat dan berat .....	126
<b>Tabel 23.</b> Muatan sedimen berdasarkan penggunaan/penutupan lahan 2019.....	127
<b>Tabel 24.</b> Klasifikasi besaran erosi tahun 2031 berdasarkan tingkat erosi .....	132
<b>Tabel 25.</b> Rata-rata luasan erosi proyeksi 2031 berdasarkan penggunaan/penutupan lahan pada kelas berat dan sangat berat .....	136
<b>Tabel 26.</b> Muatan sedimen berdasarkan penggunaan/penutupan lahan 2031 .....	138
<b>Tabel 27.</b> Arahannya pola ruang Kabupaten Luwu dan Luwu Utara pada wilayah DAS Rongkong.....	144
<b>Tabel 28.</b> Klasifikasi besaran erosi pola ruang 2031 berdasarkan tingkat erosi .....	146
<b>Tabel 29.</b> Muatan sedimen berdasarkan pola ruang 2031 .....	150
<b>Tabel 30.</b> Arahannya penggunaan lahan berdasarkan wilayah dengan tingkat erosi berat dan sangat berat pada proyeksi 2031 .....	157
<b>Tabel 31.</b> Arahannya penggunaan lahan berdasarkan tingkat erosi berat dan sangat berat pada masing-masing sub-DAS dalam wilayah DAS Rongkong .....	159
<b>Tabel 32.</b> Klasifikasi besaran erosi berdasarkan arahan penggunaan lahan .....	163
<b>Tabel 33.</b> Muatan sedimen berdasarkan arahan penggunaan lahan .....	168

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Proses pembentukan atau terjadinya sedimentasi.....	22
<b>Gambar 2.</b> Penginderaan jauh elektromagnetik untuk sumber daya bumi .....	44
<b>Gambar 3.</b> Berbagai sumber data rujukan dalam penginderaan jauh.....	46
<b>Gambar 4.</b> Kerangka pikir penelitian .....	60
<b>Gambar 5.</b> Peta situasi lokasi penelitian.....	62
<b>Gambar 6.</b> Prosedur penelitian.....	66
<b>Gambar 7.</b> Peta penggunaan/penutupan lahan tahun 2007 di DAS Rongkong.....	86
<b>Gambar 8.</b> Peta penggunaan/penutupan lahan tahun 2019 di DAS Rongkong.....	87
<b>Gambar 9.</b> Diagram penambahan dan penurunan luasan pada setiap kelas penggunaan/penutupan lahan dari tahun 2007–2019 ..	88
<b>Gambar 10.</b> Matriks transisi markov periode tahun 2007–2019.....	95
<b>Gambar 11.</b> Diagram persentase penambahan dan penurunan luasan setiap kelas penggunaan/penutupan lahan Tahun 2007–2031 .....	99
<b>Gambar 12.</b> Peta proyeksi penggunaan/penutupan lahan tahun 2031 dengan pemodelan CA-Markov .....	100
<b>Gambar 13.</b> Peta proyeksi penggunaan/penutupan lahan tahun 2019 dengan pemodelan CA-Markov .....	103
<b>Gambar 14.</b> Peta titik stasiun curah hujan BBWS Pompengan-Jeneberang dan Model Iklim CSIRO MK3.5.....	106
<b>Gambar 15.</b> Grafik persentase delta perubahan curah hujan DAS Rongkong pada Tahun 2030-an.....	109
<b>Gambar 16.</b> Peta sebaran erosi tahun 2007 berdasarkan klasifikasi tingkat erosi .....	114

<b>Gambar 17.</b> Peta sebaran sedimen tahun 2007 berdasarkan klasifikasi muatan sedimen.....	119
<b>Gambar 18.</b> Besaran erosi dan sedimen pada penggunaan lahan tahun 2007 berdasarkan pembagian Sub-DAS pada DAS Rongkong .....	120
<b>Gambar 19.</b> Skema hidrologi pada penggunaan lahan tahun 2007 .....	120
<b>Gambar 20.</b> Skema sedimen pada penggunaan lahan tahun 2007 .....	121
<b>Gambar 21.</b> Peta sebaran erosi tahun 2019 berdasarkan klasifikasi tingkat erosi .....	123
<b>Gambar 22.</b> Perbandingan persentase luasan erosi berat dan sangat berat pada tahun 2007 dan 2019 berdasarkan sub-DAS.....	125
<b>Gambar 23.</b> Perbandingan persentase luasan muatan sedimen tinggi dan sangat tinggi pada tahun 2007 dan 2019 berdasarkan sub-DAS .....	128
<b>Gambar 24.</b> Peta sebaran sedimen tahun 2019 berdasarkan klasifikasi muatan sedimen.....	129
<b>Gambar 25.</b> Besaran erosi dan sedimen pada penggunaan lahan tahun 2007 dan 2019 berdasarkan pembagian Sub-DAS pada DAS Rongkong.....	130
<b>Gambar 26.</b> Skema hidrologi pada penggunaan lahan tahun 2019 .....	130
<b>Gambar 27.</b> Skema sedimen pada penggunaan lahan tahun 2019 .....	131
<b>Gambar 28.</b> Perbandingan persentase luasan erosi berat dan sangat berat pada tahun 2007, 2019 dan proyeksi 2031 berdasarkan sub-DAS.....	134
<b>Gambar 29.</b> Peta sebaran erosi proyeksi 2031 berdasarkan klasifikasi tingkat erosi.....	135
<b>Gambar 30.</b> Perbandingan persentase luasan muatan sedimen dengan kelas tinggi dan sangat tinggi pada tahun 2007, 2019 dan proyeksi 2031 berdasarkan sub-DAS .....	139
<b>Gambar 31.</b> Peta sebaran sedimen proyeksi 2031 berdasarkan klasifikasi muatan sedimen.....	140

<b>Gambar 32.</b> Besaran erosi dan sedimen pada penggunaan lahan tahun 2007, 2019 dan 2031 berdasarkan pembagian Sub-DAS pada DAS Rongkong .....	141
<b>Gambar 33.</b> Skema hidrologi pada penggunaan lahan tahun 2031 .....	142
<b>Gambar 34.</b> Skema sedimen pada penggunaan lahan tahun 2031 .....	143
<b>Gambar 35.</b> Peta pola ruang Kabupaten Luwu dan Luwu Utara pada wilayah DAS Rongkong.....	145
<b>Gambar 36.</b> Peta sebaran erosi pola ruang 2031 berdasarkan klasifikasi tingkat erosi.....	148
<b>Gambar 37.</b> Perbandingan persentase luasan erosi berat dan sangat berat pada tahun 2007, 2019, proyeksi 2031 dan pola ruang 2031 berdasarkan sub-DAS .....	149
<b>Gambar 38.</b> Perbandingan persentase luasan muatan sedimen tinggi dan sangat tinggi pada tahun 2007, 2019, proyeksi 2031 dan pola ruang 2031 berdasarkan sub-DAS .....	152
<b>Gambar 39.</b> Peta sebaran sedimen pola ruang 2031 berdasarkan klasifikasi muatan sedimen .....	153
<b>Gambar 40.</b> Besaran erosi dan sedimen pada penggunaan lahan tahun 2007, 2019, 2031 dan pola ruang 2031 berdasarkan pembagian Sub-DAS pada DAS Rongkong .....	154
<b>Gambar 41.</b> Skema hidrologi pada pola ruang tahun 2031.....	154
<b>Gambar 42.</b> Skema sedimen pada pola ruang tahun 2031.....	155
<b>Gambar 43.</b> Peta arahan penggunaan lahan berdasarkan tingkat erosi berat dan sangat berat pada proyeksi 2031 .....	158
<b>Gambar 44.</b> Peta sebaran erosi berdasarkan penerapan arahan penggunaan lahan .....	165
<b>Gambar 45.</b> Perbandingan persentase luasan erosi berat dan sangat berat pada tahun 2007, 2019, proyeksi 2031, pola ruang 2031 dan arahan penggunaan lahan berdasarkan sub-DAS .....	166
<b>Gambar 46.</b> Perbandingan persentase luasan muatan sedimen tinggi dan sangat tinggi pada tahun 2007, 2019, proyeksi 2031, pola ruang 2031 dan sedimen arahan berdasarkan sub-DAS .....	169

<b>Gambar 47.</b> Peta sebaran sedimen arahan penggunaan lahan berdasarkan klasifikasi muatan sedimen .....	170
<b>Gambar 48.</b> Besaran erosi dan sedimen pada penggunaan lahan tahun 2007, 2019, 2031, pola ruang 2031 dan arahan penggunaan lahan berdasarkan pembagian Sub-DAS pada DAS Rongkong .....	171
<b>Gambar 49.</b> Skema hidrologi pada arahan penggunaan lahan.....	171
<b>Gambar 50.</b> Skema sedimen pada arahan penggunaan lahan.....	172

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Kelas penggunaan/penutupan lahan berdasarkan Badan Standarisasi Nasional Indonesia (BSNI) 7645:2010 .....	183
<b>Lampiran 2.</b> Kondisi penggunaan/penutupan lahan di lapangan tahun 2019 dan kunci interpretasi citra .....	188
<b>Lampiran 3.</b> Peta penyebaran titik pengecekan lapangan berdasarkan penggunaan/penutupan lahan tahun 2019 .....	191
<b>Lampiran 4.</b> Hasil titik pengecekan lapangan berdasarkan penggunaan/penutupan lahan tahun 2019 .....	192
<b>Lampiran 5.</b> Penggunaan/ Penutupan lahan berdasarkan klasifikasi model SWAT .....	208
<b>Lampiran 6.</b> Peta Jenis Tanah .....	211
<b>Lampiran 7.</b> Klasifikasi jenis tanah RePPPProt dengan parameter fisik dan kimia tanah dari Web Soil USDA Natural Resource Conservation Service berdasarkan klasifikasi model SWAT .....	212
<b>Lampiran 8.</b> Peta Kelas Kelerengan .....	219
<b>Lampiran 9.</b> Peta Penggunaan/ Penutupan Lahan Tahun 2013 .....	220
<b>Lampiran 10.</b> Hasil perhitungan Uji akurasi Proyeksi Penggunaan/ Penutuapan Lahan .....	221
<b>Lampiran 11.</b> Matriks perumusan arahan penggunaan lahan .....	223

# **BAB I. PENDAHULUAN**

## **1.1. Latar Belakang**

Perubahan penggunaan lahan merupakan suatu rentetan peristiwa yang dialami oleh penggunaan lahan tertentu sehingga menghasilkan penggunaan lahan yang berbeda. Perubahan penggunaan lahan berlangsung secara kompleks dan dinamis yang menghubungkan alam dan manusia (Prabowo *dkk.*, 2017). Perubahan yang terjadi pada akhirnya akan turut mempengaruhi kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) dimana penggunaan lahan itu dibuat (Marwah, 2014).

Kondisi penggunaan lahan di Daerah Aliran Sungai Rongkong yang masuk dalam wilayah kerja BPDASHL Jeneberang Saddang dengan luas area  $\pm$  168.159 ha mengalami perubahan yang signifikan. Berdasarkan data dari BPKH Wilayah VII Makassar penggunaan lahan di DAS Rongkong pada tahun 1990 terdiri atas tutupan hutan sebesar 96.231,41 ha (57,22%) dan tutupan tidak berhutan sebesar 71.927,59 ha (42,78%). Pada tahun 2003 terjadi perubahan luasan yang meliputi tutupan hutan berkurang sebesar 2.620,61 ha menjadi 93.610,81 ha (55,67%) dan tutupan tidak berhutan menjadi 74.548,19 ha (44,33%). Kemudian pada tahun 2017 tutupan hutan berkurang sebesar 1.352,25 ha sehingga menjadi 92.258, 56 (54,87%) ha dan tutupan tidak berhutan sebesar 75.900,44 ha (45,13%).

Hasil investigasi Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Luwu Utara tahun 2017 menunjukkan terjadinya pengrusakan hutan berupa pembakaran lahan di hulu DAS Rongkong untuk pembukaan lahan perkebunan. Kegiatan tersebut menyebabkan terjadinya ancaman erosi saat hujan yang mempengaruhi kondisi fisik air sungai yang berubah menjadi warna coklat kekuning-kuningan sampai abu-abu kehitaman yang mengandung endapan lumpur berpasir halus. Perubahan penggunaan lahan dari tahun ke tahun telah mempengaruhi kondisi DAS, terutama erosi dan sedimentasi yang cenderung meningkat dalam wilayah DAS Rongkong.

Sungai rongkong pada bulan Juni tahun 2018 meluap dan menyebabkan banjir yang menggenangi kecamatan yang masuk dalam wilayah DAS Rongkong yaitu Kecamatan Baebunta, Malangke Barat, Lamasi dan Lamasi Timur. Kejadian ini menyebabkan kerugian yang sangat besar dan mempengaruhi aktivitas sosial ekonomi masyarakat terutama pada bidang pertanian, perikanan dan peternakan. Berselang dua tahun setelah kejadian banjir tersebut, pada tahun 2020 juga terjadi banjir bandang dan tanah longsor yang melanda Kawasan Masamba, Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan, Senin 13 Juli 2020. Banjir bandang yang terjadi diakibatkan curah hujan tinggi yang dipicu oleh adanya pertumbuhan awan *Comulonimbus* (Cb) (Syarifullah, 2020). Peristiwa tersebut, juga berdampak pada meluapnya sungai rongkong dan menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan lahan di DAS Rongkong.

Permasalahan lain yang mempengaruhi tingkat erosi di DAS Rongkong adalah terjadinya perubahan iklim yang sebelumnya sudah memiliki rata-rata curah hujan bulanan tinggi. Perubahan iklim beserta dampaknya memiliki dinamika yang sangat tinggi. Suhu udara di wilayah Indonesia yang telah terjadi dalam kurun waktu 100 tahun terakhir ini berkisar  $0,76^{\circ}\text{C}$  serta senantiasa disertai kejadian-kejadian ekstrem yang menjadi pemicu terjadinya bencana hidro meteorologi. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sebanyak 87% bencana yang terjadi di Indonesia pada tahun 2013 adalah bencana hidro meteorologi seperti banjir, longsor, kekeringan, dan lain-lain (*Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013*).

Setiawan dan Nandini (2006), melalui studi biofisik dan sosial ekonomi menunjukkan bahwa DAS Rongkong dari tahun ke tahun mengalami peningkatan tingkat erosi dan sedimentasi. Tingkat erosi di DAS Rongkong mencapai  $\pm 315$  ton/ha/tahun dengan muatan sedimentasi  $\pm 17$  ton/ha/tahun. Untuk mengantisipasi terjadinya peningkatan tersebut, diperlukan data perubahan penggunaan lahan untuk acuan pengelolaan perencanaan DAS khususnya pengendalian erosi dan sedimentasi.

Penggunaan lahan dari waktu ke waktu banyak dikelola tanpa memperhatikan kaidah-kaidah pengelolaan yang berbasis konservasi lingkungan. Sementara lahan yang tersedia relatif tidak bertambah, sehingga kondisi tersebut berakibat pada konversi lahan (Fajarini *dkk.*, 2015). Konversi lahan tersebut, meliputi konversi lahan hutan menjadi

pertanian dan pertanian menjadi permukiman atau lahan terbangun. Pola penggunaan lahan dari tahun ke tahun yang berubah dapat menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat yang berada di suatu lokasi.

Identifikasi perubahan penggunaan lahan pada DAS memerlukan suatu data spasial. Data-data spasial tersebut, diperoleh dengan pemanfaatan Penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) berupa citra satelit (Prabowo *dkk.*, 2017). Data yang digunakan untuk memprediksi penggunaan lahan, dibangun dari data penggunaan lahan tahun sebelumnya dengan pendekatan model berbasis spasial yang cenderung memiliki sifat dinamis dalam waktu berupa pendekatan *Cellular Automata-Markov (CA-M)* (Peruge *dkk.*, 2012).

Penggunaan lahan yang menjadi dasar untuk memperoleh penggunaan lahan tahun 2031 pada wilayah DAS Rongkong yaitu penggunaan lahan tahun 2019 dengan rentang waktu 12 tahun. Prediksi penggunaan lahan dengan *CA-Markov* dibutuhkan rentang waktu yang sama di masa lampau, sehingga untuk memprediksi dibutuhkan penggunaan lahan masa lampau dengan rentang waktu 12 tahun dari tahun 2019 yaitu penggunaan lahan tahun 2007.

Dampak perubahan penggunaan lahan, dapat mempengaruhi kondisi erosi dan sedimentasi pada suatu lokasi khususnya wilayah DAS (Rahmad *dkk.*, 2017). Pemodelan hidrologi suatu DAS merupakan salah satu cara yang paling efektif guna mempelajari dan memahami proses-proses yang terjadi dalam DAS dan juga memprediksikan respon DAS

terhadap perubahan-perubahan yang terjadi dalam DAS itu sendiri (Ferijal, 2012). Salah satu pemodelan hidrologi yang dapat digunakan yaitu pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

Pemodelan SWAT dioperasikan pada interval waktu harian dan dirancang untuk memprediksi dampak jangka panjang dari praktik penggunaan lahan terhadap sumber daya air, erosi, dan sedimen pada DAS besar dan kompleks dengan berbagai skenario tanah, penggunaan lahan dan pengelolaan berbeda (Junaidi dan Tarigan, 2012). Penggunaan model SWAT penting dilakukan mengingat terbatasnya ketersediaan data erosi dan sedimen di DAS (Asmaranto *dkk.*, 2011).

Penggunaan lahan dari masa ke masa dapat dijadikan salah satu variabel analisis yang berpengaruh untuk melihat dinamika pola erosi dan sedimentasi di waktu tersebut. Untuk penelitian ini digunakan penggunaan lahan tahun 2019 dan prediksi penggunaan lahan tahun 2031. Hasil dari analisis, dapat dijadikan dasar dalam upaya penataan penggunaan lahan secara proporsional, sehingga dapat membuat arahan kebijakan penggunaan lahan untuk mitigasi erosi dan sedimentasi pada tahun 2031 sesuai dengan Rencana Pola Ruang Kabupaten Luwu Utara dan Luwu yang masuk dalam wilayah administrasi DAS Rongkong.

Dalam konteks pengelolaan DAS, kegiatan pengelolaan yang dilakukan umumnya bertujuan mengendalikan atau menurunkan laju erosi dan sedimentasi karena kerugian yang ditimbulkan oleh adanya proses erosi dan sedimentasi jauh lebih besar dari pada manfaat yang diperoleh

(Apriliyana, 2015). Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu penelitian berupa “Arahan Penggunaan Lahan Sebagai Upaya Mitigasi Erosi dan Sedimentasi Pada Daerah Aliran Sungai Rongkong Tahun 2031”.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Penggunaan lahan yang berubah dari waktu ke waktu, mempengaruhi erosi dan sedimentasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Rongkong. Kondisi ini berdampak pada mendangkalnya sungai sehingga mengakibatkan semakin seringnya terjadi banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, pencemaran air sungai, serta tidak berfungsinya sarana pengairan sebagai akibat sedimentasi yang berlebihan. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan penggunaan lahan di DAS Rongkong tahun 2007, 2019 dan 2031;
2. Bagaimana tingkat erosi dan sedimentasi di DAS Rongkong tahun 2007, 2019, dan 2031;
3. Bagaimana arahan penggunaan lahan sebagai upaya mitigasi erosi dan sedimentasi tahun 2031.

### **1.3. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Melihat perubahan penggunaan lahan di DAS Rongkong tahun 2007, 2019 dan 2031;
2. Menganalisis tingkat erosi dan sedimentasi di DAS Rongkong tahun 2007, 2019 dan 2031; dan
3. Merumuskan arahan penggunaan lahan sebagai upaya mitigasi erosi dan sedimentasi di DAS Rongkong tahun 2031.

### **1.4. Kegunaan**

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai kondisi erosi dan sedimentasi pada wilayah Kabupaten Luwu Utara dan Luwu. Serta menghasilkan *data Base* berupa pola perubahan penggunaan lahan, kondisi erosi dan sedimentasi yang bermanfaat bagi perencanaan pengelolaan DAS yang mendukung kualitas dan keberlangsungan DAS Rongkong.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Penggunaan/Penutupan lahan**

#### 2.1.1. Penggunaan/Penutupan Lahan

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. Menurut Baja (2012), penggunaan lahan adalah segala aktivitas sosial ekonomi manusia yang secara langsung terhadap lahan, dimana terjadi penggunaan dan pemanfaatan lahan dan sumber daya yang ada serta menyebabkan dampak pada lahan. Produksi tanaman pertanian, tanaman kehutanan, pemukiman, bangunan adalah bentuk dari penggunaan lahan. Penggunaan lahan telah dikaji dari berbagai sudut pandang yang berlainan, sehingga tidak ada satu definisi yang benar-benar tepat di dalam keseluruhan konteks yang berbeda.

Penggunaan lahan yang sifatnya dinamis, mengikuti perkembangan kehidupan manusia dan budayanya. Masyarakat menghadapi beberapa tantangan khusus dalam mengelola sumber daya lahan. Lahan sebagai tempat bagi pertumbuhan tanaman atau tumbuh-tumbuhan maupun kehidupan hewan, aliran air, bangunan, transportasi dan sebagainya (Sutrisno, 2011).

Hal ini memungkinkan melihat penggunaan lahan dari sudut pandang kemampuan lahan dengan jalan mengevaluasi lahan dalam hubungannya dengan bermacam-macam karakteristik alami. Dari hal ini,

kita pindah ke penutup lahan yang menggambarkan konstruksi vegetasi dan buatan yang menutup permukaan lahan. Konstruksi tersebut seluruhnya tampak secara langsung dari citra Penginderaan jauh. Tiga kelas data secara umum yang tercakup dalam penutup lahan: (1) struktur fisik yang dibangun oleh manusia; (2) fenomena biotik seperti vegetasi alami, tanaman pertanian, dan kehidupan binatang; (3) tipe pembangunan (Lo, 1996).

Penutupan dan penggunaan lahan sangat berhubungan satu sama lain. Namun istilah penggunaan lahan (*land use*), berbeda dengan istilah penutupan lahan (*land cover*). Penggunaan lahan biasanya meliputi segala jenis ketampakan dan sudah dikaitkan dengan aktivitas manusia dalam memanfaatkan lahan, sedangkan penutupan lahan mencakup segala jenis ketampakan yang ada di permukaan bumi yang ada pada lahan tertentu. Penggunaan lahan merupakan aspek penting karena penggunaan lahan mencerminkan tingkat peradaban manusia yang menghuninya (Diana, 2008).

Dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk yang pesat dapat berimplikasi pada konversi penggunaan lahan terutama pada wilayah perkotaan. Konversi lahan dapat dibedakan atas dua, yaitu yang bersifat musiman dan yang permanen (Sutrisno, 2011). Perubahan dapat ditandai dengan adanya proses deforestasi, dimana banyaknya terjadi pengalih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian dan pengalihan lahan pertanian menjadi bangunan industri dan pemukiman. Faktor-faktor yang

mempengaruhi perubahan penggunaan lahan yaitu pertumbuhan populasi penduduk, pertumbuhan ekonomi, harga produk pertanian dan kehutanan serta perencanaan wilayah lokal serta kebijakan yang terkait. Beberapa pendekatan yang digunakan dalam rancangan skema penutupan lahan diantaranya pendekatan fungsional yang berorientasi pada kegiatan pertanian, kehutanan, perkotaan serta pendekatan morfologi yang menjelaskan tentang penutupan lahan dengan memakai beberapa istilah seperti lahan rumput, lahan hutan dan areal di bangun (Diana, 2008).

Ritohardoyo (2013), menyatakan bahwa kenyataan penggunaan lahan baik di pedesaan maupun di perkotaan, menunjukkan suatu kompleksitas, walaupun derajat kompleksitas keduanya berbeda. Perbedaan kompleksitas tersebut ter dukung oleh objek-objek bentang alam, bentang budaya, ekosistem, sistem produksi dan sebagainya. Perbedaan ini lebih terlihat jelas ketika disajikan dalam bentuk peta.

Pemetaan penutupan lahan dan penggunaan lahan sangat berhubungan dengan studi vegetasi, tanaman pertanian dan tanah dari biosfer. Data tentang penggunaan lahan dan penutupan lahan biasanya dipresentasikan dalam bentuk peta disertai data statistik areal setiap kategori penggunaan lahan dan penutupan lahan. Penggunaan citra penginderaan jauh sesuai khususnya untuk produksi peta-peta tersebut (Lo, 1996).

Lo (1996), selanjutnya menyatakan bahwa satu faktor penting untuk menentukan kesuksesan pemetaan penggunaan lahan dan penutupan lahan terletak pada pemilihan skema klasifikasi yang tepat dirancang untuk suatu tujuan tertentu. Skema klasifikasi yang baik harus sederhana di dalam menjelaskan setiap kategori penggunaan dan penutupan lahan. Anderson (1971 *dalam* Lo, 1996), menganggap bahwa pendekatan fungsional atau pendekatan berorientasi kegiatan akan lebih sesuai digunakan untuk citra satelit ruang angkasa, sebagai skema klasifikasi tujuan umum.

Klasifikasi penutupan lahan dan penggunaan lahan merupakan upaya pengelompokan berbagai jenis penutupan lahan atau penggunaan lahan kedalam suatu kesamaan sesuai dengan sistem tertentu. Klasifikasi tutupan lahan dan klasifikasi penggunaan lahan digunakan sebagai pedoman atau acuan dalam proses interpretasi citra penginderaan jauh untuk tujuan pembuatan peta tutupan lahan maupun peta penggunaan lahan (Lillesand dan Kiefer, 1994). Menurut badan standarisasi nasional Indonesia (BSNI) 7645:2010, Kelas penggunaan/penutupan lahan terdiri dari 24 kategori. Ke-24 kategori kelas penggunaan/penutupan lahan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 2.1.2. Arahana Penggunaan Lahan

Arahana/perencanaan tata guna lahan adalah aktivitas penilaian secara sistematis terhadap potensi lahan (termasuk air), dalam rangka untuk memilih, mengadopsi, dan menentukan pilihan penggunaan lahan terbaik dalam ruang berdasarkan potensi dan kondisi biofisik ekonomi, dan

sosial untuk meningkatkan produktivitas dan ekuitas, dan menjaga kelestarian lingkungan (Baja, 2012). Tujuan perencanaan tata guna lahan adalah untuk mendapatkan penggunaan terbaik dari lahan melalui pencapaian efisiensi, kesetaraan dan penerimaan, dan keberlanjutan. Suatu penggunaan lahan harus ekonomis dan produktif, jenis dan sebaran penggunaan lahan diterima secara sosial oleh masyarakat setempat, dan lestari (Ritohardoyo, 2013).

Pengembangan lahan merupakan proses penting dalam perubahan suatu penggunaan lahan ke penggunaan lainnya. Batasan pengembangan lahan sangat luas karena termasuk di dalamnya beberapa kegiatan seperti konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian intensif dan pemukiman (Nasution, 2005).

Keberlanjutan (Sustainable) dalam penggunaan lahan berupa terpenuhinya kebutuhan saat ini, dan pada saat yang sama, dapat mengkonservasi sumber daya 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).

Beberapa penelitian terkait dengan arahan penggunaan lahan telah dilakukan. Dassir (2000) telah melakukan penelitian tentang tingkat kesesuaian penggunaan lahan di Sub DAS Jeneberang Hulu Kabupaten

Gowa. Penelitian ini mencoba menganalisis arahan penggunaan lahan berdasarkan tingkat bahaya erosi yang terjadi.

Suryaningsih (2014) melakukan penelitian tentang arahan penggunaan lahan untuk pengendalian erosi dan rendah emisi karbon di DAS Tangnga, Kabupaten Bantaeng. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa terjadi erosi sangat ringan, ringan, sedang, berat dan sangat berat pada lokasi penelitian. Berdasarkan hal ini, maka disusunlah arahan penggunaan lahan yang sesuai untuk mengurangi besarnya erosi yang terjadi.

Munibah (2008) juga telah melakukan penelitian dengan judul Model Spasial Perubahan Penggunaan Lahan dan Arahan Penggunaan Lahan Berwawasan Lingkungan (Studi Kasus DAS Cisadane, Provinsi Banten). Penelitian ini telah memprediksi perubahan penggunaan lahan pada tahun 2018 dan 2030 serta merencanakan arahan penggunaan lahan pada lokasi penelitiannya. Akan tetapi masih terdapat gap yang belum terpecahkan dengan memadukan variabel perubahan iklim, perubahan penggunaan lahan, kesesuaian lahan dan rencana tata ruang wilayah. Untuk itu penelitian yang akan saya lakukan mencoba memadukan keseluruhan variabel tersebut sehingga menghasilkan arahan penggunaan lahan yang lebih mendetail dan akurat demi mendukung perencanaan penggunaan lahan di masa yang akan datang.

## **2.2. Erosi dan Sedimentasi**

### **2.2.1. Erosi**

Erosi adalah hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat tertentu ke tempat yang lain yang disebabkan oleh air atau angin. Erosi menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air. Pada dasarnya erosi juga dapat disimpulkan, bahwa sebagai akibat interaksi kerja antara faktor-faktor iklim, topografi, tumbuhan dan manusia terhadap tanah (Arsyad, 2010).

Hardjowigeno (1989), menyatakan bahwa erosi merupakan suatu proses dimana tanah dihancurkan (*detached*) dan kemudian dipindahkan ke tempat lain oleh kekuatan air, angin dan gravitasi. Dua penyebab utama terjadinya erosi adalah erosi karena sebab alamiah dan erosi karena aktivitas manusia. Menurut Asdak (2012), bahwa erosi alamiah dapat terjadi karena proses pembentukan tanah dan proses erosi yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami. Erosi karena faktor alamiah umumnya masih memberikan media yang memadai untuk berlangsungnya pertumbuhan kebanyakan tanaman. Sedangkan erosi karena kegiatan manusia kebanyakan disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi tanah atau kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah, antara lain, pembuatan jalan di daerah dengan kemiringan lereng besar. Proses erosi

terdiri dari tiga bagian yang berurutan yaitu pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation*).

Pada kondisi di atas, erosi yang terjadi merupakan erosi permukaan tanah. Selain disebabkan oleh air hujan, erosi juga dapat terjadi karena angin dan salju. Berdasarkan bentuknya erosi dibedakan menjadi tujuh tipe erosi diantaranya (Arsyad, 2010):

- a. Erosi percikan (*splash erosion*) adalah terlepas dan terlemparnya partikel-partikel tanah dari massa tanah akibat pukulan butiran air hujan secara langsung.
- b. Erosi aliran permukaan (*overland flow erosion*) akan terjadi hanya dan jika intensitas dan/atau lamanya hujan melebihi kapasitas infiltrasi atau kapasitas simpan air tanah.
- c. Erosi alur (*rill erosion*) adalah pengelupasan yang diikuti dengan pengangkutan partikel-partikel tanah oleh aliran air larian yang terkonsentrasi di dalam saluran-saluran air.
- d. Erosi parit/selokan (*gully erosion*) membentuk jajaran parit yang lebih dalam dan lebar dan merupakan tingkat lanjutan dari erosi alur.
- e. Erosi tebing sungai (*streambank erosion*) adalah erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari bagian atas tebing atau oleh terjangan arus sungai yang kuat terutama pada tikungan-tikungan.

- f. Erosi internal (*internal or subsurface erosion*) adalah proses terangkutnya partikel-partikel tanah ke bawah masuk ke celah-celah atau pori-pori akibat adanya aliran bawah permukaan.
- g. Tanah longsor (*landslide*) merupakan bentuk erosi dimana pengangkutan atau gerakan massa tanah yang terjadi pada suatu saat dalam volume yang relative besar.

Pada bentang lahan yang tidak datar, berapa pun persen atau derajat kemiringan lerengnya, erosi pasti akan terjadi. Hanya saja pada kondisi alami, erosi yang terjadi sangat rendah dan berada dibawah batas erosi yang diperbolehkan atau di toleransi. Artinya banyaknya atau tebalnya erosi alami yang terjadi jauh lebih kecil daripada banyaknya atau tebalnya tanah yang terbentuk dari proses pelapukan. Erosi yang terjadi pada kondisi alami ini dikenal dengan erosi alami, erosi normal, atau erosi geologi (Banuwa, 2013).

Selanjutnya pada saat ada campur tangan manusia terhadap kondisi alami yang telah seimbang antara proses pembentukan dan pengangkutan tanah, maka erosi alami, erosi normal atau erosi geologi, berubah menjadi erosi yang dipercepat. Jadi, erosi yang dipercepat merupakan proses pengangkutan tanah yang menimbulkan kerusakan akibat tindakan manusia yang mengganggu 10 keseimbangan antara pembentukan dan pengangkutan tanah. Pada lahan yang miring, umumnya lebih dari 8%, erosi yang terjadi umumnya melebihi erosi yang dapat di toleransi. Oleh

karena itu, erosi dipercepat menjadi para ahli konservasi tanah dan air (Banuwa, 2013).

Prediksi erosi adalah metode untuk memperkirakan laju erosi yang akan terjadi dari tanah yang digunakan untuk penggunaan lahan dan pengelolaan tertentu. Prediksi erosi umumnya digunakan pada saat ini adalah model parametrik, terutama tipe kotak kelabu (Banuwa, 2013). Menurut Arsyad (2010), metode prediksi merupakan alat untuk menilai apakah suatu program atau tindakan konservasi tanah telah berhasil mengurangi erosi dari suatu bidang tanah atau suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Di samping itu, prediksi erosi juga sebagai alat bantu untuk mengambil keputusan dalam perencanaan konservasi tanah pada suatu areal.

Model parametrik yang digunakan dalam penelitian ini untuk memprediksi erosi menerapkan konsep dari *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) yang dikembangkan oleh Snyder (1980 dalam Asdak, 2012). Metode MUSLE yang diterapkan dalam analisis menggunakan *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Arsyad (2010), menyatakan MUSLE merupakan metode memprediksi erosi yang dapat digunakan bukan hanya pada daerah pertanian dengan intensitas hujan tidak terlalu tinggi tetapi juga pada daerah bukan pertanian dan intensitas hujan tinggi.

Selanjutnya Metode MUSLE menurut Suripin (2002 *dalam* Krisnayanti 2018) merupakan modifikasi dari Metode USLE yaitu dengan mengganti faktor erosivitas hujan (R) dengan faktor aliran atau limpasan permukaan (*run off*). Metode MUSLE sudah memperhitungkan baik erosi maupun pergerakan sedimen pada daerah aliran sungai (DAS) berdasarkan kejadian hujan tunggal.

Laju tingkat erosi dihitung dengan menggunakan model prediksi erosi MUSLE dengan persamaan empiris berikut (Suripin 2002 *dalam* Krisnayanti 2018):

$$EA = SY / SDR$$
$$SY = R \times K \times LS \times C \times P$$

Keterangan:

EA : banyaknya tanah yang tererosi (ton/ha/tahun)

SY : hasil sedimen (*sediment yield*) (ton)

SDR : *sediment delivery ratio*

R : limpasan permukaan (*run off*)

K : faktor erodibilitas tanah

LS : faktor panjang dan kemiringan lereng

C : faktor penutupan vegetasi

P : faktor pengelolaan tanah/tindakan konservasi tanah

### 2.2.2. Sedimentasi

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang

berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut dalam sungai (*suspended sediment*) atau dengan pengukuran langsung di dalam waduk (Bunganaen, 2011).

Tanah dan bagian-bagian tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat yang mengalami erosi pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dan masuk ke dalam suatu badan air secara umum disebut sedimen. Sedimen yang terbawa masuk ke dalam sungai hanya sebagian saja dari tanah yang tererosi dari tempat asalnya (Rantung *dkk.*, 2013).

Tatipata *dkk* (2015), menyatakan bahwa sedimen adalah suatu kepingan atau potongan yang terbentuk oleh proses fisik dan kimia dari batuan atau tanah. Bentuk dari material beraneka ragam dan tidak terbatas dari mulai yang berbentuk bulat sampai berbentuk tajam. Juga bervariasi dalam kerapatan dan komposisi material nya dengan kuarsa yang dominan dimana sedimen tersebut terbawa hanyut oleh aliran air yang dapat dibedakan sebagai endapan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*). Muatan dasar bergerak dalam aliran sungai dengan cara bergulir, meluncur dan meloncat-loncat di atas permukaan dasar sungai. Sedangkan muatan melayang terdiri dari butir-butir halus yang ukuran lebih kecil dari 0,1 mm dan senantiasa melayang di dalam aliran air, lebih-lebih butiran yang sangat halus walaupun air tidak mengalir, tetapi butiran tersebut tetap tidak mengendap serta airnya tetap tidak keruh dan sedimen semacam ini disebut muatan kikisan (*wash load*).

Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan airnya me lambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan proses sedimentasi. Sedimentasi yaitu proses pengendapan material-material tanah hasil dari erosi yang terbawah aliran air membentuk dataran-dataran alluvial (Rantung *dkk.*, 2013).

Proses sedimentasi yang terjadi dapat memberikan dampak yang menguntungkan dan merugikan. Dikatakan menguntungkan karena pada tingkat tertentu adanya aliran sedimen ke daerah hilir dapat menambah kesuburan tanah serta terbentuknya tanah garapan baru di daerah hilir. Tetapi, pada saat bersamaan aliran sedimen juga dapat menurunkan kualitas perairan dan pendangkalan badan perairan (Bunganaen, 2011). Dalam konteks pengelolaan DAS, kegiatan pengelolaan dilakukan umumnya bertujuan mengendalikan atau menurunkan laju sedimentasi karena kerugian yang ditimbulkan oleh adanya proses sedimentasi jauh lebih besar dari pada manfaat yang diperoleh (Asdak, 2012).

Hasil sedimen tersebut dinyatakan dalam satuan berat (ton) atau satuan volume ( $m^3$  atau *acre-feet*) dan merupakan fungsi luas dari daerah pengaliran. Perbandingan data hasil sedimentasi, pada umumnya didasarkan atas hasil per satuan luas daerah pengaliran yang dinamakan laju produksi sedimen (*sediment production rate*) yang dinyatakan dalam ton/ha, ton/km<sup>2</sup> atau *acre-feet/sq* (Tatipata *dkk.*, 2015). Jenis-jenis sedimen berdasarkan ukuran partikel dapat dilihat pada Tabel 1 (Asdak, 2012):

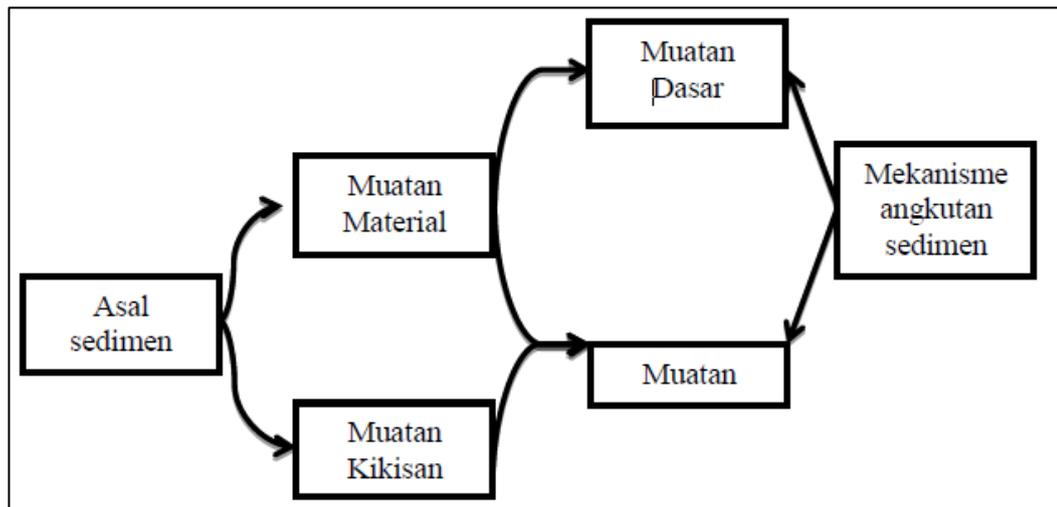
**Tabel 1.** Jenis-jenis sedimen berdasarkan ukuran partikel

Jenis Sedimen	Ukuran Partikel (mm)
Liat	< 0,0039
Debu	0,0039–0,0625
Pasir	0,0625–2,0
Pasir Besar	2,0–64,0

Sumber: *Asdak, 2012.*

Sedimentasi merupakan proses pengendapan bahan yang terangkut oleh air di alur sungai pada waduk sebagai akibat terjadinya erosi. Kepadatan sedimen setelah mengendap akan berubah dari waktu ke waktu. Untuk waduk besar hampir seluruh sedimen mengendap setelah proses sedimentasi, sehingga kapasitas waduk berkurang, maka sebahagian sedimen akan terbuang melalui *spillway* (Tatipata *dkk.*, 2015). Proses pembentukan atau terjadinya sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil sedimen dan hasil erosi kotor (*gross erosion*) yang dihasilkan oleh erosi lempeng ditambah erosi alur atau oleh sebab lain adalah saling bergantung. Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai rasio hasil sedimen terhadap erosi kotor, rasio ini dinamakan rasio pengangkutan sedimen (*Sedimen Delivery Ratio*, SDR). Cara memperkirakan hasil sedimen dari suatu DAS adalah melalui perhitungan Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sedimen Delivery Ratio*, SDR).



**Gambar 1.** Proses pembentukan atau terjadinya sedimentasi

Perhitungan besarnya SDR dianggap penting dalam menentukan besarnya prakiraan realistis besarnya hasil sedimen total berdasarkan perhitungan erosi yang berlangsung pada suatu DAS. Variabilitas angka SDR dari suatu DAS/Sub-DAS akan ditentukan oleh pengaruh. Menurut *SCS National Engineering Handbook* dalam Tatipata dkk (2015), besarnya perkiraan hasil sedimen dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$Y = E \times SDR \times Ws$$

Keterangan:

Y : Hasil sedimen per satuan luas (ton/tahun)

E : Erosi total (ton/ha/tahun)

SDR : *Sedimen Delivery Ratio*

Ws : Luas daerah tangkapan air (ha)

Pada skala DAS penentuan kandungan sedimen dari aliran permukaan yang menimbulkan erosi, sedikit berbeda dengan skala lahan. Pengambilan sampel sedimen dilakukan di outlet DAS/Sub-DAS yang diteliti. Biasanya penelitian ini dilakukan pada DAS yang kecil, sehingga pemisahan unit hidrograf dapat dilakukan dengan cepat, dan diketahui

peningkatan aliran permukaan yang ada, melalui pemisahan aliran dasar dan aliran langsung. Selain penakar hujan otomatis, alat yang harus tersedia adalah pencatat tinggi muka air otomatis (*Automatic Water Level Recorder*) AWLR (Banuwa, 2013). Menurut Brakensiek *dkk* (1979 dalam Banuwa, 2013), jumlah sedimen untuk suatu kejadian aliran permukaan ditentukan berdasarkan konsentrasi sedimen dalam contoh air yang diambil dan volume aliran permukaan seperti diuraikan sebagai berikut:

$$Sy = (Q \times C) / (A \times 10^3)$$

Keterangan:

- Sy : Jumlah sedimen (kg/ha)
- Q : Volume aliran permukaan (m<sup>3</sup>)
- C : Konsentrasi Sedimen (g/l)
- A : Luas wilayah (ha)

### **2.3. Daerah Aliran Sungai (DAS)**

#### **2.3.1. Batasan DAS**

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan wilayah yang dikelilingi dan dibatasi oleh topografi alami berupa punggung bukit atau pegunungan, dimana presipitasi yang jatuh di atasnya mengalir melalui titik keluar tertentu (outlet) yang akhirnya bermuara ke danau atau ke laut. Batas-batas alami DAS dapat dijadikan sebagai batas ekosistem alam, yang dimungkinkan bertumpang tindih dengan ekosistem buatan, seperti wilayah administratif dan wilayah ekonomi. Namun seringkali batas DAS melintasi batas kabupaten, provinsi, bahkan lintas negara. Suatu DAS data terdiri dari

beberapa sub DAS, daerah sub DAS kemudian dibagi-bagi lagi menjadi sub-sub DAS (Ramdan, 2006).

Baja (2012), mengemukakan daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu kesatuan sistem wilayah daratan yang dipisahkan dari wilayah lain di sekitarnya oleh pemisah alam topografi yang secara alami berfungsi menerima, menampung dan mengalirkan air melalui sungai utama ke laut atau ke danau. DAS diartikan sebagai suatu ekosistem, karena di dalamnya terdapat berbagai interaksi ekologi, ekonomi dan sosial. Interaksi itu membentuk suatu unit pengelolaan dalam proses pemanfaatannya.

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air, Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Hal yang sama juga diungkapkan oleh Asdak (2012), bahwa daerah aliran sungai merupakan suatu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggung bukit gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air (*catchment area*).

Batasan DAS Rongkong yang dimaksudkan di sini sebagaimana diuraikan dalam pengertian-pengertian sebelumnya adalah batas-batas topografi yang memisahkannya dengan wilayah lain dimana air hujan yang jatuh di atasnya akan mengalir dan tertampung pada wilayah DAS Rongkong.

### 2.3.2. Pengelolaan DAS

Secara ekologis, DAS sebagai suatu sistem kompleks sangat besar peranannya dalam hal pengaturan tata air dimulai dari terjadinya presipitasi sebagai input, selanjutnya berlangsung proses-proses dalam sistem DAS sampai kepada terbentuknya debit sungai sebagai output Nya (Baja, 2012).

Ditinjau dari segi pengelolaan air dan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik yang spesifik serta berkaitan erat dengan unsur utamanya seperti jenis tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik biofisik DAS tersebut dalam merespons curah hujan yang jatuh di dalam wilayah DAS tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar-kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, air larian, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan aliran sungai (Asdak, 2012).

DAS dipahami sebagai suatu wilayah yang merupakan kesatuan ekosistem, dengan berbagai komponen di dalamnya yaitu Morfometri, tanah, geologi, vegetasi, tata guna lahan dan manusia. Perubahan yang terjadi pada suatu lingkungan DAS akan berpengaruh pada kondisi alam serta lingkungan sosial dan budaya masyarakatnya. Sebagai contoh

perkembangan jumlah penduduk, perubahan pola pemanfaatan lahan untuk industri dan perumahan, kegiatan pertanian intensif, pemilihan jenis tanaman yang ditanam serta berbagai intervensi kegiatan manusia terhadap lahan mengakibatkan perubahan keadaan ekosistem dan mempengaruhi kondisi sosial masyarakatnya (Haryanti dan Sukresno, 2003).

Londongsalu (2008), berpendapat bahwa DAS dapat dipandang sebagai suatu sistem hidrologi yang dipengaruhi oleh presipitasi (hujan) sebagai masukan kedalam sistem. DAS mempunyai karakteristik yang spesifik yang berkaitan erat dengan unsur-unsur utamanya seperti: jenis tanah, topografi, geologi, geomorfologi, vegetasi, dan tata guna lahan. Fungsi Daerah Aliran Sungai adalah sebagai areal penangkapan air (*catchment area*), penyimpan air (*water storage*) dan penyalur air (*distribution water*) (Halim, 2014).

Departemen Kehutanan (2009) membagi DAS dalam suatu ekosistem yaitu:

- a. Daerah Hulu DAS merupakan daerah konservasi, kerapatan drainase lebih tinggi, daerah dengan kemiringan lereng besar (>15%), bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase dan vegetasi nya merupakan tegakan hutan. Daerah hulu DAS merupakan bagian yang penting karena berfungsi sebagai perlindungan terhadap seluruh bagian DAS

seperti perlindungan dari segi fungsi tata air. Oleh karena itu, DAS hulu selalu menjadi fokus perencanaan pengelolaan DAS.

- b. DAS bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda.
- c. Daerah Hilir DAS merupakan daerah pemanfaatan, memiliki kerapatan drainase yang lebih kecil, berada pada daerah dengan kemiringan lereng yang kecil (<8%), sebagian dari tempatnya merupakan daerah banjir atau genangan, dalam pemakaian air pengaturannya ditentukan oleh bangunan irigasi, vegetasi nya didominasi oleh tanaman pertanian dan pada daerah estuari yang didominasi hutan bakau/gambut.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumber daya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumber daya alam bagi manusia secara berkelanjutan. Pengelolaan DAS secara utuh sebagaimana dimaksud pada ayat (1) diselenggarakan melalui tahapan:

- a. Perencanaan;
- b. Pelaksanaan;
- c. Monitoring dan evaluasi; dan
- d. Pembinaan dan pengawasan.

Pengelolaan DAS sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan ayat (2) dilaksanakan sesuai dengan rencana tata ruang dan pola pengelolaan sumber daya air sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang penataan ruang dan sumber daya air.

Pengelolaan DAS dalam pelaksanaannya melibatkan banyak *stakeholders* (para pihak) dan pengambil keputusan, khususnya dalam pemanfaatan sumber daya alam dengan berbagai tujuannya, sehingga pendekatan multidisiplin merupakan keharusan esensial. Kegiatan dalam pengelolaan DAS harus melibatkan institusi pemerintah dari berbagai bidang atau sektor serta berbagai kelompok masyarakat. Akan tetapi terlalu banyak pelibatan unsur atau elemen dalam perencanaan dan pengambilan keputusan menjadikan hasil akhir yang kurang efisien/optimal dan kurang memuaskan (Halim, 2014).

## **2.4. Perubahan Iklim**

### **2.4.1. Iklim dan Faktor-Faktor Iklim**

Iklim adalah kebiasaan cuaca yang terjadi di suatu tempat atau daerah. Kriteria cuaca suatu daerah ditetapkan berdasarkan kriteria keseringan atau probabilitas nilai-nilai suatu atau lebih unsur iklim yang ditetapkan, seperti hujan, suhu dan angin. Atau bisa juga hanya terdiri hujan, suhu atau penguapan. Setiap daerah memiliki iklim yang berbeda (Aldrian, 2011).

Charles (2012) mengemukakan ada beberapa unsur yang mempengaruhi keadaan cuaca dan iklim suatu daerah atau wilayah, yaitu: suhu atau temperatur udara, tekanan udara, angin, kelembaban udara, dan curah hujan.

a. Suhu dan Temperatur Udara

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 biasanya dinyatakan dalam skala Celcius (C), Reamur (R), dan Fahrenheit (F). Udara timbul karena adanya radiasi panas matahari yang diterima bumi.

b. Tekanan Udara

Selain suhu atau temperatur udara, unsur cuaca dan iklim yang lain adalah tekanan udara. Tekanan udara adalah suatu gaya yang timbul akibat adanya berat dari lapisan udara. Besarnya tekanan udara di setiap tempat pada suatu saat berubah-ubah. Makin tinggi suatu tempat dari permukaan laut, makin rendah tekanan udaranya. Hal ini disebabkan karena makin berkurangnya udara yang menekan.

c. Angin

Angin merupakan salah satu unsur cuaca dan iklim. Apa yang dimaksud dengan angin? Angin adalah udara yang bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke daerah bertekanan udara rendah.

#### d. Kelembaban Udara

Unsur keempat yang dapat berpengaruh terhadap cuaca dan iklim di suatu tempat adalah kelembaban udara. Kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam massa udara pada saat dan tempat tertentu. Alat untuk mengukur kelembaban udara disebut *psychrometer* atau *hygrometer*.

#### e. Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Alat untuk mengukur banyaknya curah hujan disebut Rain Gauge. Curah hujan diukur dalam harian, bulanan, dan tahunan.

### 2.4.2. Perubahan Iklim

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 pace*) dan berubah secara lambat (*slow onset*). Perubahan berbagai parameter iklim yang berlangsung perlahan tersebut dikarenakan berbagai peristiwa ekstrem yang terjadi pada variabilitas iklim yang berlangsung secara terus-menerus (Aldrian, 2011).

Ada bukti ilmiah kuat yang menunjukkan adanya pemanasan global beserta potensi perubahan sistem iklim di berbagai wilayah di masa depan. Iklim mempengaruhi semua aspek kehidupan, termasuk ketersediaan air,

sehingga sangatlah perlu kita memahami keragaman iklim saat ini dan di masa depan serta dampaknya pada sumber daya air. Dengan demikian pemerintah dan masyarakat dapat mengantisipasi perubahan tersebut (CSIRO, 2012).

Perubahan iklim berdampak pada masyarakat dan wilayah di seluruh dunia. Naiknya permukaan air laut mempengaruhi negara-negara di Pasifik, banjir yang lebih sering terjadi di dataran rendah, dan daerah kering mengalami kekeringan yang lebih panjang (UN-HABITAT, 2013).

Untuk mengantisipasi perubahan iklim yang terjadi, Kirono *dkk.*, (2010) telah melakukan skenario perubahan iklim di masa yang akan datang hingga tahun 2100. Skenario ini dibangun dengan melakukan proyeksi terhadap data iklim global (Global Climate Model/GCM) dari berbagai negara di dunia. Proyeksi dilakukan dengan menggunakan model Conformal Cubil Atmospheric Model (CCAM). CCAM adalah salah satu model atmosfer global yang dikembangkan secara efektif dimulai pada tahun 1994 oleh Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia. CCAM telah banyak dikembangkan di berbagai negara untuk memudahkan forecaster dalam melakukan prediksi cuaca yang cepat dan tepat. Lebih khusus, model ini telah digunakan pada sejumlah proyek di wilayah tropis.

## **2.5. Mitigasi Bencana**

### 2.5.1. Mitigasi Bencana

Pengertian bencana menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 yang juga dijabarkan pada PP Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penanggulangan Bencana merupakan peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Lebih lanjut dijelaskan bahwa mitigasi bencana merupakan sebuah rangkaian upaya guna mengurangi risiko bencana, baik lewat pembangunan fisik atau penyadaran dan peningkatan kemampuan dalam menghadapi ancaman bencana. Jadi, secara sederhana, mitigasi adalah upaya untuk mengurangi risiko bencana (baik bencana alam alias *natural disaster* maupun bencana ulah manusia alias *man-made disaster*), sehingga jumlah korban dan kerugian bisa diperkecil. Caranya yakni dengan membuat persiapan sebelum bencana terjadi.

Definisi lain menurut International Strategi for Disaster Reduction (UN-ISDR) (2002) dalam Nurjanah dkk., (2013) adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh alam atau karena ulah manusia, terjadi secara tiba-tiba atau perlahan-lahan, sehingga menyebabkan hilangnya jiwa manusia, harta benda dan kerusakan lingkungan, kejadian ini di luar kemampuan

masyarakat dengan sumber dayanya. secara umum faktor penyebab terjadinya bencana adalah karena adanya interaksi antara ancaman (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*).

Manajemen bencana (*disaster management*) adalah seluruh kegiatan yang meliputi aspek perencanaan dan penanganan bencana, pada sebelum, saat dan sesudah terjadi bencana, mencakup pencegahan, mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat dan pemulihan. Manajemen Bencana (*disaster Management*) adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari bencana serta segala aspek yang berkaitan dengan bencana, terutama risiko bencana dan bagaimana menghindari risiko bencana (Nurjanah, *dkk.*, 2013).

Kegiatan-kegiatan manajemen bencana meliputi (Coburn, *dkk.*, 1994) :

- a. Pencegahan (*prevention*);
- b. Mitigasi (*mitigation*);
- c. Kesiapan (*preparedness*);
- d. Peringatan dini (*early warning*);
- e. Tanggap darurat (*response*);
- f. Bantuan darurat (*relief*);
- g. Pemulihan (*recovery*);
- h. Rehabilitasi (*rehabilitation*); dan
- i. Rekonstruksi (*reconstruction*).

Mitigasi bencana menurut PP nomor 21 Tahun 2008 dibagi atas dua jenis yaitu mitigasi struktural (aktif) dan mitigasi non struktural (pasif):

a. Mitigasi struktural (aktif)

Mitigasi ini adalah upaya untuk meminimalkan bencana yang dilakukan dengan cara membangun berbagai prasarana fisik dan menggunakan teknologi. Misalnya dengan membuat waduk untuk mencegah banjir, membuat alat pendeteksi aktivitas gunung berapi, membuat bangunan yang tahan gempa, atau menciptakan *early warning system* untuk memprediksi gelombang tsunami.

b. Mitigasi non struktural

Mitigasi ini adalah upaya untuk mengurangi dampak bencana selain dari mitigasi struktural, seperti membuat kebijakan dan peraturan. Contohnya, Undang-Undang Penanggulangan Bencana sebagai upaya non struktural dalam bidang kebijakan, pembuatan tata ruang kota, atau aktivitas lain yang berguna bagi penguatan kapasitas warga.

Dalam buku saku Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) (2017), menjelaskan tentang tujuan, kegiatan dan prinsip dalam mitigasi bencana, yang dijelaskan sebagai berikut:

a. Tujuan Mitigasi

- Meminimalisir risiko korban jiwa;
- Meminimalisir kerugian ekonomi;
- Meminimalisir kerusakan sumber daya alam;

- Pedoman bagi pemerintah untuk membuat rencana pembangunan di masa depan;
  - Meningkatkan *public awareness* atau kesadaran masyarakat dalam menghadapi risiko & dampak bencana; dan
  - Membuat masyarakat merasa aman dan nyaman.
- b. Kegiatan dalam Mitigasi
- Mengenal dan memantau risiko bencana;
  - Membuat perencanaan partisipasi penanggulangan bencana;
  - Memberi *awareness* bencana bagi warga sekitar;
  - Mengidentifikasi dan mengenal sumber ancaman bencana;
  - Memantau penggunaan teknologi tinggi dan pengelolaan SDA;
  - Mengawasi pelaksanaan tata ruang; dan
  - Mengawasi pengelolaan lingkungan hidup.
- c. Prinsip-Prinsip dalam Mitigasi
- Bencana yang terjadi adalah pelajaran saat terjadi bencana berikutnya;
  - Butuh kerja sama berbagai pihak;
  - Dilaksanakan secara aktif;
  - Harus lebih mendahulukan kelompok rentan supaya menghindari lebih banyak korban jatuh; dan
  - Harus selalu dipantau dan dievaluasi supaya hasilnya efektif.

### 2.5.2. Upaya Mitigasi Erosi dan Sedimentasi

Diantara faktor-faktor yang menyebabkan erosi, faktor yang dapat dikendalikan untuk pencegahan erosi adalah faktor pengelolaan tanaman (C) dan faktor konservasi tanah (P). Mempertahankan keberadaan vegetasi tanah adalah cara yang paling efektif dan ekonomis dalam usaha mencegah meluasnya erosi permukaan (Asdak, 2012).

Salah satu usaha untuk melakukan pengelolaan tanaman adalah dengan penanaman kembali daerah-daerah terbuka, melakukan reboisasi dan mengurangi penebangan liar atau pembukaan lahan baru. Alternatif lainnya adalah dengan melakukan penanaman sela pada kebun-kebun sehingga tajuk semakin rapat dan akan mengurangi dampak erosi yang terjadi. Selain faktor pengelolaan tanaman yang harus dilakukan adalah dengan usaha lain yaitu melakukan teknik konservasi tanah yaitu dengan membuat terasering, penutupan dengan mulsa dan melakukan pengolahan tanah dengan garis kontur (Sucipto, 2008).

Purwanto (2013) menjelaskan beberapa prinsip perlindungan dan rehabilitasi lahan secara vegetatif, dalam rangka mencegah dan mengurangi dampak erosi sebagai berikut:

- a. Perlindungan hutan alam yang masih tersisa;
- b. Pengelolaan lahan pada kemiringan kurang dari 40 % dengan pola agroforestry/wanatani;
- c. Pengelolaan lahan pada kemiringan di atas kelereng 40 % dengan vegetasi permanen;

- d. Setiap jengkal pengelolaan lahan harus memberikan perlindungan tanah secara maksimal dengan tanaman penutup tanah, baik berupa tumbuhan bawah maupun tanaman penutup tanah: (a) rendah (misalnya rerumputan, *Centrocema* sp, dsb.), (b) sedang (misalnya kaliandra, gamal), (c) tinggi (misalnya sengon);
- e. Tidak melakukan pembukaan lahan (*land-clearing*) secara penuh;
- f. Perlindungan vegetatif sempadan sungai;
- g. Merehabilitasi lahan terbuka (lahan kritis/bare land) dengan tanaman unggulan lokal atau jenis pioner yang sesuai dengan kondisi ekologi dan aspirasi masyarakat setempat;
- h. Apabila tidak memungkinkan dilakukannya rehabilitasi jenis pepohonan karena alasan tertentu (misalnya biaya, ketersediaan bibit, kendala musim), maka dapat dilakukan penanaman tanaman penutup tanah;
- i. Melakukan upaya mempertahankan kesuburan tanah dan menjaga pencemaran air permukaan dan tanah melalui penggunaan pupuk organik dan pertanian semi-organik;
- j. Perlu penciptaan aneka usaha ramah lingkungan untuk mengurangi tekanan penduduk terhadap sumber daya lahan; dan
- k. Penerapan teknologi budidaya tanaman untuk meningkatkan keberhasilan rehabilitasi lahan.

## **2.6. Metode Analisis Penggunaan/penutupan lahan**

### **2.6.1. Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Sistem Informasi Geografi (SIG) merupakan suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis, dan sumber daya manusia yang bekerja secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (GIS Konsorsium Aceh Nias, 2007).

Sistem informasi geografis (SIG) adalah sistem yang berbasis komputer (CBIS) yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografis. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis objek-objek dan fenomena di mana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis (Prahasta, 2009). Sehingga, sistem informasi geografis diperlukan dalam analisis sumber daya wilayah karena memiliki kemampuan dalam menyimpan, menganalisis, dan memanipulasi informasi-informasi geografi dan kemampuan untuk melakukan tumpang susun antar beberapa parameter, serta mampu memvisualisasikan hasil pengolahan spasial citra penginderaan jauh (Sari dan Sudaryatno, 2013).

Secara umum, sistem informasi geografis dapat memberikan informasi yang mendekati, kondisi dunia nyata, memprediksi suatu hasil dan perencanaan strategis. Sumber informasi geografi selalu mengalami perubahan dari waktu ke waktu (bersifat dinamis), sejalan dengan

perubahan gejala alam dan gejala sosial. Setidaknya informasi yang diperlukan harus memiliki ciri-ciri yang dimiliki ilmu lain, yaitu (Romenah, 2005):

- a. Merupakan pengetahuan (*knowledge*) hasil pengalaman;
- b. Tersusun secara sistematis, artinya merupakan satu kesatuan yang tersusun secara berurut dan teratur;
- c. Logis, artinya masuk akal dan menunjukkan sebab akibat; dan
- d. Objektif, artinya berlaku umum dan mempunyai sasaran yang jelas dan teruji.

Sistem Informasi Geografis (SIG) terdiri dari sub sistem pemrosesan, sub sistem analisis data dan sub sistem yang menggunakan informasi. Sub sistem pemrosesan data mencakup pengambilan data, input dan penyimpanan. Sub sistem analisis data mencakup perbaikan, analisis dan keluaran informasi dalam berbagai bentuk. Sub sistem yang memakai informasi memungkinkan informasi relevan diterapkan pada suatu masalah (Lo, 1996).

Sistem Informasi Geografis (SIG) dipergunakan untuk membentuk basis data kehutanan yang mantap sebagai bahan pengambilan keputusan perencanaan yang berkaitan dengan areal atau kawasan hutan. Karena data yang dikelola dalam basis data ini berkaitan dengan ruang atau posisi geografis data dimaksud, maka data ini disebut data spasial. Dengan adanya SIG, maka data dan informasi kehutanan baik yang bersifat deskriptif, maupun numerik/angka akan tertata dengan baik dan terpetakan

secara rapi menggunakan teknologi digital, sehingga memudahkan kita untuk memperbarui dan mengaktualkan datanya (*editing*), serta mempergunakannya secara akurat dan cepat untuk keperluan analisis (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Banyak perangkat lunak yang telah digunakan untuk mendukung kemudahan pengolahan data seperti ER Mapper, Map Info, Arc Info, ER DAS, Arc View dan Arc GIS. Arc View merupakan sebuah perangkat lunak pengolah data spasial yang memiliki berbagai keunggulan yang dapat dimanfaatkan oleh kalangan pengolah data spasial. Budiyanto (2002), menyatakan bahwa Arc Map memiliki kelebihan pada fasilitas pengolah data spasial seperti penajaman, penghalusan, penyaringan dan klasifikasi. Selain itu perangkat lunak ini sangat berperan dalam editing data digital berformat vektor, yang berkemampuan mengolah data digital dan editing serta layout hasil olahan data digital tersebut.

Manfaat utama penggunaan sistem informasi spasial dengan komputer dibandingkan dengan metode pembuatan peta tradisional dan masukan data manual atau informasi manual, adalah memperkecil kesalahan manusia, kemampuan memanggil kembali peta tumpang susun dari data SIG secara cepat, menggabungkan tumpang susun tersebut, tetapi penggabungan batas agak sulit, dan untuk memperbaharui dengan memperhatikan perubahan lingkungan, data statistik dan batas-batas dan area yang tampak pada peta. Pelabelan perubahan dapat dicek secara cepat pada layer video dari sistem tersebut (Howard, 1996).

Sistem Informasi Geografis dapat mempermudah proses visualisasi dan eksplorasi geografis dari data sekunder yang diperoleh khususnya dalam mengidentifikasi tingkat bahaya erosi (Giyanti, 2014). Dengan SIG akan dimudahkan dalam melihat fenomena kebumihan dengan perspektif yang lebih baik. SIG mampu mengakomodasi penyimpanan, pemrosesan, dan penayangan data spasial digital bahkan integrasi data yang beragam, mulai dari citra satelit, foto udara, peta bahkan data statistik. Dengan tersedianya komputer dengan kecepatan dan kapasitas ruang penyimpanan besar seperti saat ini, SIG akan mampu memproses data dengan cepat dan akurat dan menampilkannya. SIG juga mengakomodasi dinamika data, pemutakhiran data yang akan menjadi lebih mudah (Wibowo *dkk.*, 2015).

Data penggunaan/penutupan lahan dalam bentuk spasial dapat diolah dengan mudah pada pemrosesan SIG mulai dari inputan data, analisis, dan penyimpanan. Penggunaan/Penutupan lahan dari beberapa tahun pengamatan dilakukan tumpang susun untuk memperoleh data perubahan yang menjadi basis data nantinya untuk melakukan analisis lanjutan berupa prediksi penggunaan/penutupan lahan dan inputan untuk erosi dan sedimentasi.

#### 2.6.2. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu teknik untuk mengumpulkan informasi mengenai objek dan lingkungannya dari jarak jauh tanpa sentuhan fisik. Pada penginderaan jauh dapat dihasilkan beberapa bentuk

citra yang selanjutnya diproses dan diinterpretasi guna mendapatkan data yang bermanfaat untuk aplikasi di bidang pertanian, arkeologi, kehutanan, geografi, geologi, perencanaan dan bidang-bidang lainnya. Tujuan utama penginderaan jauh adalah mengumpulkan data sumber daya alam dan lingkungan (Lo, 1996).

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji. Pada berbagai hal, penginderaan jauh dapat diartikan sebagai suatu proses membaca. Dengan menggunakan berbagai sensor mengumpulkan data dari jarak jauh yang dapat dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang objek, daerah atau fenomena yang diteliti (Lillesand dan Kiefer, 1994).

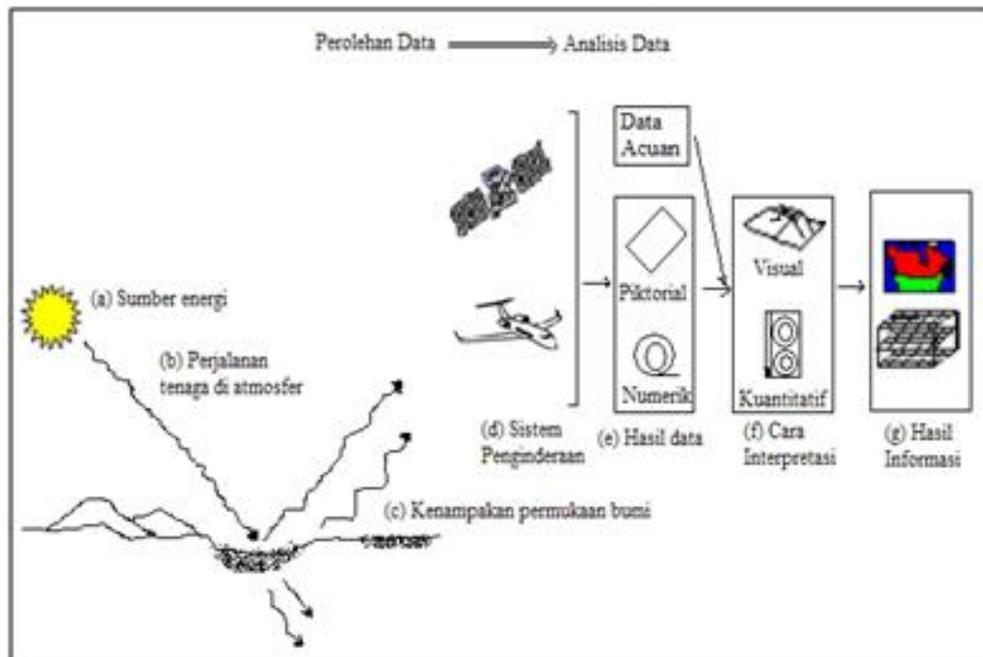
Dalam panduan sistem informasi yang dibuat oleh *Cifor* (2011), menjelaskan bahwa penginderaan jauh yaitu pengambilan atau pengukuran data/ mengenai sifat dari sebuah fenomena, objek atau benda dengan menggunakan sebuah alat perekam tanpa berhubungan langsung dengan bahan studi.

Penginderaan jauh merupakan ilmu untuk memperoleh informasi tentang objek, lokasi atau fenomena-fenomena alam dengan cara menganalisis data yang diperoleh menggunakan alat tanpa mengunjungi atau kontak langsung terhadap objek, lokasi atau fenomena yang dikaji (Wikantika dan Fajri, 2012).

Penginderaan jauh, memiliki kemampuan memberi gambaran muka bumi, dapat memberi informasi akurat mengenai fenomena-fenomena spasial yang terjadi di permukaan bumi. Analisis yang dilakukan terhadap data penginderaan jauh telah banyak dimanfaatkan untuk mengatasi berbagai permasalahan, mulai dari permasalahan lingkungan, pemantauan cuaca, hingga perkembangan ekonomi (Wikantika dan Fajri, 2012).

Pada berbagai hal, penginderaan jauh dapat diartikan sebagai suatu proses membaca. Dengan menggunakan berbagai sensor kita mengumpulkan data dari jarak jauh yang dapat dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang objek, daerah atau fenomena yang diteliti. Pengumpulan data dari jarak jauh dapat dilakukan dalam berbagai bentuk, termasuk variasi aliran daya, aliran gelombang bunyi atau aliran energi elektromagnetik (Howard, 1996).

Empat komponen dasar dari sistem penginderaan jauh adalah target, sumber energi, alur transmisi, dan sensor. Komponen dalam sistem ini berkerja bersama untuk mengukur dan mencatat informasi mengenai target tanpa menyentuh objek tersebut. Secara skematis Gambar 2. menunjukkan secara umum proses dan elemen yang terkait di dalam sistem penginderaan jauh dengan energi elektromagnetik untuk sumber daya alam (Lillesand dan Kiefer, 1994).



**Gambar 2.** Penginderaan jauh elektromagnetik untuk sumber daya bumi

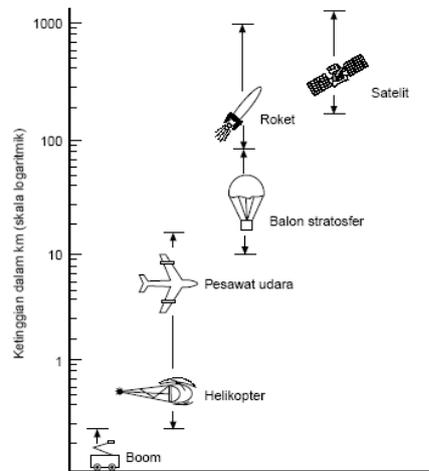
Tahapan penideraan jauh pada Gambar 2 mencakup dua tahapan utama yaitu pengumpulan data dan analisis data. Elemen proses pengumpulan data meliputi: (a) sumber energi, (b) perjalanan energi melalui atmosfer, (c) interaksi antara energi dengan ketampakan di muka bumi, (d) sensor wahana pesawat terbang dan satelit, dan (e) hasil pembentukan data dalam bentuk pictorial dan/atau bentuk numerik. Singkatnya, kita menggunakan sensor untuk merekam berbagai variasi pancaran dan pantulan energi elektromagnetik oleh ketampakan di muka bumi. Proses analisis data (f) meliputi pengujian data dengan menggunakan alat interpretasi dan alat pengamatan untuk menganalisis data pictorial, dan/atau komputer untuk menganalisis data sensor numerik. Informasi ini kemudian disajikan dalam bentuk peta, tabel, dan suatu bahasan tertulis atau laporan. Hasil informasi yang khusus misalnya peta penggunaan lahan

dan data statistik tentang luasan tanaman. Akhirnya, informasi tersebut diperuntukkan bagi para pengguna (h) yang memanfaatkannya untuk proses pengambilan keputusan (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Secara umum penginderaan jauh menunjukkan pada aktivitas perekaman, pengamatan dan penangkapan objek atau peristiwa dari jarak jauh. Dalam penginderaan jauh, sensor tidak langsung kontak dengan objek yang diamati. Informasi tersebut membutuhkan alat penghantar secara fisik untuk perjalanan dari objek ke sensor melalui medium. Dalam hal ini penginderaan jauh lebih dibatasi pada suatu teknologi perolehan informasi permukaan bumi (laut dan daratan) dan atmosfer dengan menggunakan sensor diatas platform airborne (pesawat udara, balon udara) dan spaceborne (satelit, pesawat ruang angkasa) (Barkey *dkk.*, 2009).

Penginderaan jauh jarang diterapkan tanpa menggunakan data rujukan meliputi (1) Untuk membantu di dalam analisis dan interpretasi data penginderaan jauh, (2) Untuk membantu kalibrasi sensor, (3) Untuk menguji informasi yang diperoleh dari data penginderaan jauh. Perolehan data rujukan meliputi pengumpulan hasil pengukuran atau pengamatan atas objek, daerah, dan fenomena yang diindera dari jarak jauh. Data tersebut dapat berupa satu di antara berbagai bentuk yang berbeda-beda dan dapat diperoleh dari berbagai sumber (Gambar 3). Sebagai contoh, data yang diperlukan untuk analisis tertentu dapat diperoleh dari peta tanah hasil survei, uji medan (*field check*) tentang identitas, bentangan, kondisi

tanaman pertanian, penggunaan lahan, spesies pohon atau masalah pencemaran air (Lillesand dan Kiefer, 1994).



**Gambar 3.** Berbagai sumber data rujukan dalam penginderaan jauh

Produk dari penginderaan jauh berupa citra merupakan salah satu sumber untuk memperoleh informasi penggunaan/penutupan lahan pada suatu areal lokasi penelitian. Data citra tersebut nantinya dapat diklasifikasi berbagai kelas penggunaan/penutupan lahan yang akan dijadikan objek analisis dalam penelitian. Pengeluaran informasi penggunaan/penutupan lahan dari data citra tersebut dilakukan dengan cara interpretasi citra.

### 2.6.3. *Land Satellite* (landsat)

Landsat (*land satellite*) adalah satelit sumber daya bumi Amerika Serikat yang telah digunakan dalam bidang kehutanan sejak tahun 1972. Peluncuran satelit Landsat pertama dengan nama ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite – 1*) pada tanggal 23 Juli 1972 merupakan proyek eksperimental yang sukses dan dilanjutkan dengan peluncuran

selanjutnya, seri kedua, tetapi berganti nama menjadi Landsat. ERTS-1 pun berganti nama menjadi Landsat-1 (Danoedoro, 2012).

Keuntungan utama program landsat bagi bidang kehutanan yaitu: (1) adanya pasokan (suplai) data satelit secara kontinyu sampai dengan hampir 20 tahun; (2) dimungkinkannya melakukan perencanaan karena wilayah yang sama di permukaan bumi dapat diliput beberapa kali berturut-turut, meskipun liputan awan merupakan kendala serius; (3) resolusi data satelit telah memadai untuk pengembangan terapan praktis di bidang kehutanan; dan (4) data satelit semakin banyak digunakan secara terkomposisi dengan data yang diperoleh melalui survey udara, sebagai bagian dari pengambilan sampel multi tingkat (Howard, 1996).

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).

Landsat 8 diorbitkan pada tanggal 11 Februari 2013, NASA melakukan peluncuran satelit *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM). Satelit ini mulai menyediakan produk citra *open access* sejak tanggal 30 Mei 2013, menandai perkembangan baru dunia antariksa. NASA lalu menyerahkan satelit LDCM kepada USGS sebagai pengguna data terhitung 30 Mei tersebut. Satelit ini kemudian lebih dikenal sebagai Landsat 8. Pengelolaan arsip data citra masih ditangani oleh *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS). Landsat 8 hanya memerlukan waktu 99 menit untuk mengorbit bumi dan melakukan liputan pada area yang sama setiap 16 hari sekali. Resolusi temporal ini tidak berbeda dengan landsat versi sebelumnya (Butler, 1988).

Satelit landsat 8 memiliki dua buah sensor yaitu *Multi Spectral Scanner* (MSS) dan *Thematic Mapper* (TM). Sensor TM mempunyai resolusi sampai 30 m x 30 m, dan bekerja mengumpulkan data permukaan bumi dan luas sapuan 185 km x 185 km. sedangkan resolusi radiometri nya 8 bit, yang berarti setiap pixel mempunyai nilai jangkauan data dari 0-225. Sensor TM merupakan sistem yang sangat kompleks yang memerlukan toleransi (kelonggaran) pembuatan yang sangat kecil, sehingga tidak memungkinkan dibuat penyempurnaan di masa mendatang untuk memperkecil resolusi spasial sampai dibawah 20 m (Butler, 1988).

#### 2.6.4. Interpretasi Citra

Interpretasi citra adalah proses pengkajian citra melalui 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 pemodelan spasial dalam lingkungan sistem informasi geografis (SIG) (Danoedoro, 2012).

Proses interpretasi citra dengan bantuan komputer dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tingkat otomatisnya. Keduanya ialah klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*Unsupervised Classification*). Klasifikasi terbimbing meliputi sekumpulan logaritma yang didasari pemasukan contoh objek (berupa nilai *spectral*) oleh operator. Contoh ini disebut sampel, dan lokasi geografis kelompok piksel sampel ini disebut sebagai daerah contoh (*training area*). Berbeda halnya dengan klasifikasi tidak terbimbing (*Unsupervised Classification*), secara otomatis diputuskan oleh komputer, tanpa campur tangan operator (kalaupun ada, proses interaksi ini sangat terbatas). Proses

ini sendiri adalah suatu proses iterasi, sampai menghasilkan pengelompokan akhir gugus-gugus *spectral* (Danoedoro, 2012).

Tahapan kegiatan yang diperlukan dalam pengenalan objek yang tergambar pada citra (Sutanto, 1994), yaitu:

- a. Deteksi yaitu pengenalan objek yang mempunyai karakteristik tertentu oleh sensor.
- b. Identifikasi yaitu mencirikan objek dengan menggunakan data rujukan.
- c. Analisis yaitu mengumpulkan keterangan lebih lanjut secara terperinci.

Pengenalan objek merupakan bagian penting dalam interpretasi citra. Untuk itu, identitas dan jenis objek pada citra sangat diperlukan dalam analisis pemecahan masalah. Karakteristik objek pada citra dapat digunakan untuk mengenali objek yang dimaksud dengan unsur interpretasi. Menurut Lillesand dan Kiefer (1994), unsur interpretasi yang dimaksud dalam hal ini adalah:

- a. Rona dan Warna

Rona dan warna merupakan unsur pengenal utama atau primer terhadap suatu objek pada citra penginderaan jauh. Rona ialah tingkat kegelapan atau tingkat kecerahan objek pada citra, sedangkan warna ialah wujud yang tampak oleh mata dengan menggunakan spektrum sempit, lebih sempit dari spektrum tampak.

b. Bentuk

Bentuk merupakan variabel kualitatif yang memberikan konfigurasi atau kerangka suatu objek sebagaimana terekam pada citra penginderaan jauh.

c. Ukuran

Ukuran merupakan ciri objek yang antara lain berupa jarak, luas, tinggi lereng dan volume. Ukuran objek citra berupa skala.

d. Tekstur

Tekstur adalah frekuensi perubahan rona pada citra. Tekstur dinyatakan dengan kasar, halus atau sedang. Contoh: hutan bertekstur kasar, belukar bertekstur sedang, semak bertekstur halus.

e. Pola

Pola atau susunan keruangan merupakan ciri yang menandai bagi banyak objek bentukan manusia dan beberapa objek alamiah. Contoh: perkebunan karet atau kelapa sawit akan mudah dibedakan dengan hutan dengan pola dan jarak tanam yang seragam.

f. Bayangan

Bayangan sering menjadi kunci pengenalan yang penting bagi beberapa objek dengan karakteristik tertentu. Sebagai contoh, jika objek menara diambil tepat dari atas, objek tersebut tersebut tidak dapat diidentifikasi secara langsung. Maka untuk mengenali objek tersebut adalah menara yaitu dengan melihat bayangannya.

g. Situs

Situs adalah letak suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya. Situs bukan ciri objek secara langsung, tetapi kaitannya dengan faktor lingkungan.

h. Asosiasi

Asosiasi merupakan keterkaitan antara objek satu dengan objek yang lain. Karena adanya keterkaitan ini maka terlihatnya suatu objek pada citra sering merupakan petunjuk adanya objek lain. Sekolah biasanya ditandai dengan adanya lapangan olahraga.

Hasil dari interpretasi citra berdasarkan analisis dan pengamatan yang dilakukan akan diperoleh data penggunaan/penutupan lahan seperti hutan, pertanian, semak belukar, perkebunan, sawah, padang rumput, lahan terbuka, pemukiman, sungai dan tutupan yang lebih detil lagi.

#### 2.6.5. *Cellular Automata-Markov Chain (CA-MC)*

Rantai markov (*markov chain*) adalah suatu teknik matematika yang biasa digunakan untuk pembuatan model (*modelling*) bermacam-macam sistem dan proses bisnis. Rantai markov (*Markov chain*) dan proses *Markov* berasal dari nama matematikawan Rusia *Andrey Markov* (Baja, 2012). Markov merupakan suatu konsep yang menarik untuk menggambarkan dan menganalisa kealamian suatu perubahan diakibatkan oleh pergerakan. Terkadang markov juga dipergunakan untuk meramalkan perubahan pada masa depan. Kerangka dasar dari model Markov yaitu berupa segala informasi yang didapatkan dari pengamatan terhadap kecenderungan

suatu peluang di masa lampau, misalnya lebih dari sepuluh tahun terakhir, dapat dibuat menjadi matriks (Aidi, 2008).

Model *Cellular Automata-Markov* merupakan model dengan pendekatan sistem dinamis dalam waktu sehingga dapat memprediksi kondisi waktu yang akan datang. *Cellular Automata* adalah model sederhana dari proses terdistribusi spasial dalam SIG. Data terdiri dari susunan sel-sel (grid), dan masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya diperbolehkan berada di salah satu dari beberapa keadaan. *Cellular* sistem dapat didefinisikan sebagai suatu koleksi tersusun dari unsur-unsur serupa yang disebut cell (Peruge dkk., 2012).

*Markov Chain* merupakan proses acak dimana semua informasi tentang masa depan terkandung di dalam keadaan sekarang (yaitu orang tidak perlu memeriksa masa lalu untuk menentukan masa depan). Dalam teori probabilitas statistik, yang dianalisis dalam proses Markov adalah fenomena yang berubah terhadap waktu secara acak untuk keadaan tertentu (Baja, 2012).

$$M_{LC} \cdot M_t = M_{t+1}$$

$$\begin{pmatrix} LC_{uu} & LC_{ua} & LC_{uw} \\ LC_{au} & LC_{an} & LC_{aw} \\ LC_{wu} & LC_{wa} & LC_{ww} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_t \\ A_t \\ W_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{t+1} \\ A_{t+1} \\ W_{t+1} \end{pmatrix}$$

Dimana  $U_t$  mempresentasikan peluang setiap titik terklasifikasikan sebagai kelas U pada waktu t.  $LC_{ua}$  menunjukkan peluang suatu kelas U menjadi kelas lainnya pada rentang waktu tertentu (Lillesand dan Kiefer, 1994).

## **2.7. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)**

*Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) merupakan model hidrologi berbasis fisik (*physics based*) untuk kejadian kontinyu (*continuous event*) yang dikembangkan untuk memprediksi dampak praktek pengelolaan lahan terhadap air, sedimen dan kimia pertanian dalam skala yang besar, yaitu Daerah Aliran Sungai (DAS) yang kompleks dengan mempertimbangkan variasi jenis tanah, penggunaan lahan, dan kondisi pengelolaan yang bervariasi untuk jangka waktu yang lama. Model ini dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold pada awal tahun 1990-an dari hasil Kerjasama antara Universitas Purdue, Universitas A & M, Texas dan *United States Department of Agriculture* (USDA)-*Agricultural Research Service* (ARS) dari gabungan berbagai model seperti *Simulator for Water Resources in Rural Basin* (SWWRRB), *Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System* (CREAMS), *Groundwater Loading Effects on Agricultural Management System* (GREAMS) dan *Erosion Productivity Impact Calculator* (EPIC) (Neitsch dkk., 2011). Model SWAT terus berkembang dan menggabungkan model kinematik untuk distribusi aliran dan kualitas air dengan model QUAL2K (Mulyana, 2012).

Pemodelan SWAT membagi analisis menjadi lokasi yang lebih kecil berupa unit perhitungan dimana variasi spasial sifat fisik utama terbatas, dan proses hidrologi dapat diperlakukan dalam pola yang sama. Perilaku tangkapan total adalah analisis dari sub-sub DAS penyusun DAS. Dalam analisis salah satu data yang digunakan yaitu peta tanah dan peta tutupan

lahan di dalam batas sub-DAS yang akan menghasilkan kombinasi unik. Setiap kombinasi akan dianggap homogen dalam bentuk fisik, yaitu Unit Respon Hidrologi (HRU). Total air untuk HRU dihitung berdasarkan data harian. Oleh karena itu, SWAT akan membagi wilayah sungai menjadi satuan yang memiliki karakteristik serupa di tanah dan tutupan lahan dan berada di sub-basin yang sama (Droogers dan Loon, 2007).

Simulasi hidrologi pada daerah aliran sungai dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Fase lahan pada daur hidrologi yang mengatur jumlah air, sedimen, unsur hara dan pestisida pada pengisian saluran utama pada tiap sub das.
- b. Fase air pada daur hidrologi yang berupa pergerakan air, sedimen dan lainnya melalui saluran sungai pada DAS menuju outlet.

Pada studi DAS umumnya akan dilakukan klasifikasi berdasarkan tipe penutupan lahan dominan dan jenis tanah dominan. Perhitungan limpasan menggunakan dengan metode *Soil Conservation Services (SCS)* dan modifikasi nilai *curve number (CN)* yang telah berhasil digunakan pada berbagai tipe grup hidrologi. Model SWAT berbasis DAS, kontinyu dengan step waktu harian, yang didesain untuk mengatur sumber daya air, sedimen, dan limbah kimiawi dari pertanian dalam suatu DAS. Pemodelan SWAT dapat menyimulasikan dalam jangka waktu lama, efisien, dengan komponen model yang terdiri dari parameter cuaca, hidrologi, tanah, nutrient, pestisida, bakteri patogen dan sistem pengolahan tanah.

Neitsch *dkk* (2011), menyatakan bahwa SWAT memungkinkan untuk diterapkan dalam berbagai analisis serta simulasi dalam suatu DAS. Informasi data masukan pada tiap sub das kemudian dilakukan pengelompokan atau disusun dalam kategori: iklim, unit respon hidrologi (HRU), tubuh air, air tanah, dan sungai utama sampai pada drainase pada sub das. Unit respon hidrologi pada tiap sub das terdiri dari variasi penutup lahan, tanah dan manajemen pengelolaan. Siklus hidrologi, proses yang diperhitungkan dalam model SWAT yang terjadi di dalam DAS didasarkan kepada neraca air. Persamaan matematis, komponen hidrologi neraca air yang berlaku pada model SWAT yaitu:

$$SW_t = SW_0 + \sum^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{sep} - Q_{gw})$$

Keterangan:

- $SW_t$  : Kandungan lengas tanah pada akhir waktu t (mm)
  - $SW_0$  : Kandungan lengas tanah pada awal waktu i (mm)
  - $R_{day}$  : Presipitasi/hujan harian pada waktu/hari i (mm)
  - $Q_{surf}$  : Jumlah limpasan permukaan pada waktu/hari i (mm)
  - $E_a$  : Jumlah evapotranspirasi pada waktu/hari i (mm)
  - $W_{sep}$  : Jumlah air yang memasuki zona vadose pada profil tanah (perkolasi) pada waktu/hari i (mm)
  - $Q_{gw}$  : Jumlah air, aliran balik/kembali (mm)
- i dan t : i = 1, t = menunjukkan waktu (hari)

Hasil utama model SWAT adalah kondisi hidrologi berupa nilai debit, erosi, dan sedimen terangkut. Nilai-nilai tersebut mencerminkan kondisi hidrologi terkait kinerja DAS seperti Koefisien Regim Sungai (KRS), *Sediment Delivery Ratio* (SDR), dan nilai *coefficient runoff* (C) (Anwar *dkk.*, 2011). Kinerja model diukur dengan cara validasi, yaitu kalibrasi dan verifikasi menggunakan kriteria statistik  $R^2$  (*Coefficient of Determination*),

Ef atau NSE (*Nash-Sutcliffe model Efficiency*) dan PBIAS (*percent bias*) (Hidayat dkk., 2016).

Dalam memprediksi erosi oleh hujan dan aliran permukaan, model SWAT menggunakan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE), yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Berbeda dengan USLE yang menggunakan energi kinetik hujan untuk dasar perhitungan erosi, MUSLE menggunakan faktor aliran untuk prediksi hasil sedimen, sehingga *Sediment Delivery Ratio* (SDR) tidak diperlukan lagi karena faktor aliran sudah mempresentasikan penggunaan energi untuk pemecahan dan pengangkutan sedimen (Neitsch dkk., 2011).

Hasil sedimen pada model SWAT dihitung menggunakan persamaan:

$$Sed = 11,8(Q_{surf} \cdot Q_{peak} \cdot Area_{hru})^{0.56} \cdot K_{musle} C_{musle} P_{musle} LS_{musle} \cdot CFRG$$

Keterangan:

Sed	: Hasil sedimen perhari (ton)
$Q_{surf}$	: Volume aliran limpasan permukaan (mm/hari)
$Q_{peak}$	: Debit puncak limpasan (m <sup>3</sup> /dt)
$Area_{hru}$	: Luas HRU (ha)
$K_{musle}$	: Faktor erodibilitas tanah MUSLE
$C_{musle}$	: Faktor pengelolaan tanaman MUSLE
$LS_{musle}$	: Faktor topografi MUSLE
CRFG	: Faktor pecahan batuan kasar

Selain itu, persamaan MUSLE dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut (Suripin, 2002 dalam Rantung *dkk.*, 2013):

$$SY = 11,8 (Q_P \cdot V_Q)^{0,56} \cdot K.LS.C_{PT}.P_{PL}$$

Keterangan:

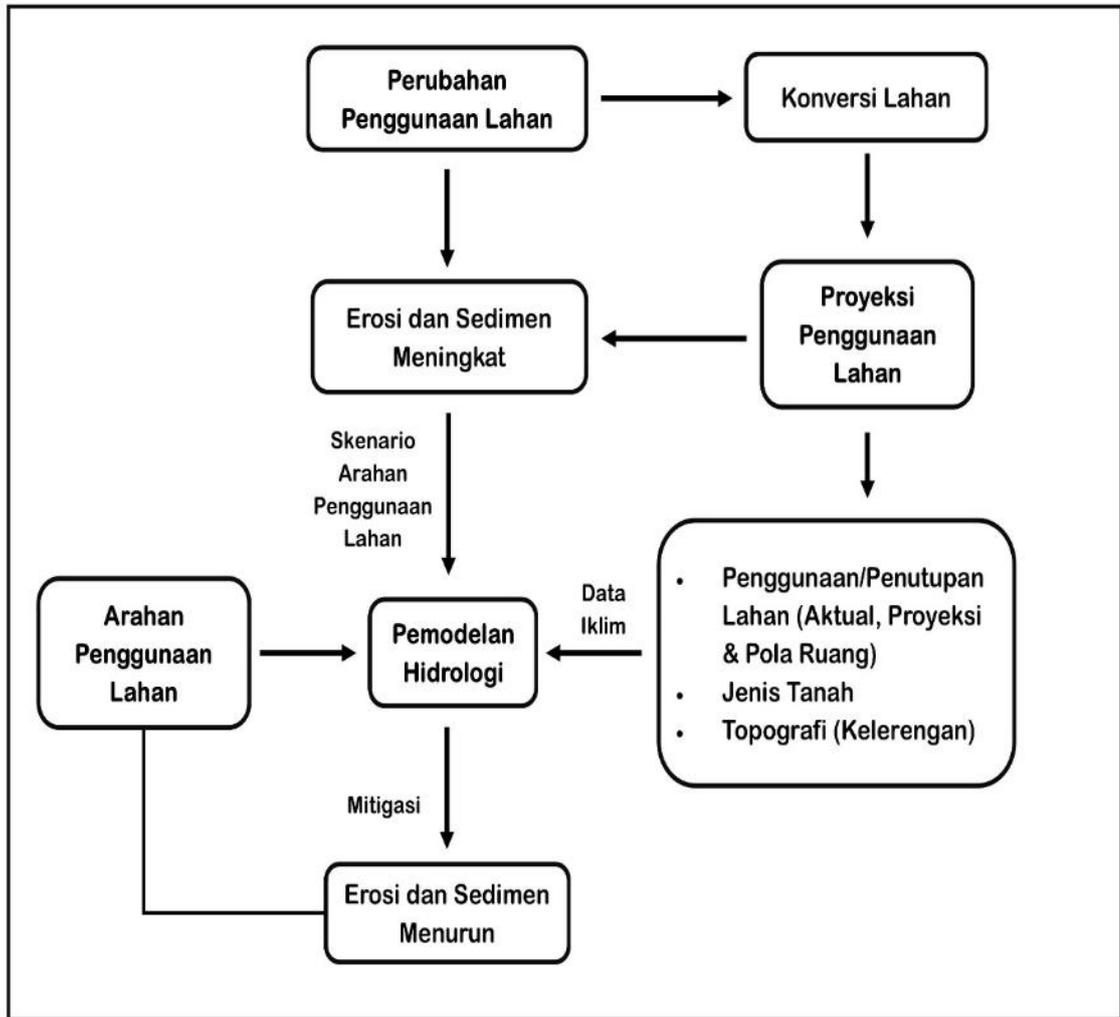
- SY : Hasil sedimen tiap kejadian hujan (ton)
- V<sub>Q</sub> : Volume aliran pada suatu kejadian hujan (m<sup>3</sup>)
- Q<sub>P</sub> : Debit puncak (m<sup>3</sup>/dtk)

Output SWAT terangkum dalam file-file yang terdiri dari file HRU, SUB dan RCH. File HRU berisikan output dari masing-masing HRU, sedangkan SUB berisikan output dari masing-masing sub-DAS dan RCH berisikan output dari masing-masing sungai utama pada setiap sub-DAS. Informasi output pada file SUB dan file HRU adalah luas area (AREA km<sup>2</sup>), jumlah curah hujan (PRECIP mm), evapotranspirasi aktual (ET mm H<sub>2</sub>O), kandungan air tanah (SW), aliran permukaan (SURQ mm), aliran lateral (LATQ), aliran dasar (GWQ mm), erosi (SYLDTA) dan hasil sedimen (SED ton/ha). Sedangkan informasi output yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah luas AREA (AREA km<sup>2</sup>), jumlah curah hujan (PRECP mm), erosi (SYLDTA) dan hasil sedimen (SED ton/ha) (Hidayat *dkk.*, 2016).

## **2.8. Kerangka Pikir**

Perubahan penggunaan lahan yang terjadi di DAS Rongkong dari tahun ke tahun disebabkan karena terjadinya konversi lahan secara cepat. Perubahan ini menimbulkan masalah-masalah hidrologi, diantaranya peningkatan laju erosi dan sedimentasi yang dapat menyebabkan terjadinya banjir. Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan data pola penggunaan lahan yang nantinya dapat dijadikan dasar untuk melakukan prediksi penggunaan lahan di tahun yang akan datang.

Penggunaan lahan pada setiap pengamatan waktu atau periode tertentu dapat dijadikan suatu inputan data dalam menganalisis pemodelan hidrologi untuk mengetahui dinamika laju erosi dan sedimentasi. Laju erosi dan sedimentasi yang meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan cepatnya konversi lahan di DAS Rongkong dapat menimbulkan kerugian bagi masyarakat. Sehingga, dibutuhkan suatu perencanaan pengelolaan DAS berupa arahan penggunaan lahan sebagai upaya mitigasi erosi dan sedimentasi di DAS Rongkong. Kerangka pikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Kerangka pikir penelitian