

*Skripsi Geofisika*

**ANALISIS PERUBAHAN LAJU EROSI DAS JENEBERANG  
MENGUNAKAN METODE *CELLULAR AUTOMATA***



**Disusun dan diajukan oleh:**

**EVY SULFIANI**

**H061181015**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2022**

**HALAMAN JUDUL**

**Analisis Perubahan Laju Erosi Das Jeneberang Menggunakan Metode  
*Cellular Automata***

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*

*Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**OLEH:**

**EVY SULFIANI**

**H061181015**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

### **Analisis Perubahan Laju Erosi Das Jeneberang Menggunakan Metode *Cellular Automata***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**EVY SULFIANI**

**H061181015**

Telah di pertahakankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 26 Agustus 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Dr. Samsu Arif, M.Si**  
**NIP.196305181990031001**

Pembimbing Pertama,



**Dr. Sakka, M.Si**  
**NIP. 196410251991103001**

Ketua Departemen



**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**

**NIP. 196709291993031003**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evy Sulfiani  
NIM : H061181015  
Program Studi : Geofisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“Analisis Perubahan Laju Erosi Das Jeneberang Menggunakan Metode  
*Cellular Automata*”**

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

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

Agustus 2022

Yang menyatakan

  
METERAI  
TEMPEL  
FOEAJX96856176  
Evy Sulfiani

## SARI BACAAN

Kondisi hulu DAS Jeneberang semakin kritis, degradasi lahan disebabkan oleh alih fungsi lahan dan pembalakan liar. Hal tersebut menyebabkan laju erosi menuju bendungan bili-bili terus meningkat setiap tahun. Tujuan penelitian ini adalah memprediksi tutupan lahan di Hulu DAS Jeneberang Tahun 2029, menghitung besar erosi Tahun 2019 dan Tahun 2029 di Hulu DAS Jeneberang dan memetakan tingkat bahaya erosi berdasarkan besar indeks bahaya erosi Tahun 2019 dan Tahun 2029. Penelitian ini menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) dan *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Dari hasil penelitian menunjukkan prediksi luas tutupan lahan di Hulu DAS Jeneberang Tahun 2029, untuk kelas tutupan lahan hutan sebesar 4.068,4 Ha, permukiman sebesar 465,7 Ha, pertanian sebesar 14.288,3 Ha, semak sebesar 2.554,0 Ha, tanah terbuka sebesar 919,6 Ha, dan tubuh air sebesar 756,2 Ha. Sehingga didapatkan pendugaan erosi rata-rata di Hulu DAS Jeneberang Tahun 2019 sebesar 136.624,48 ton/ha/tahun dengan tingkat bahaya erosi sangat tinggi dan erosi Tahun 2029 sebesar 852.196,6 ton/ha/tahun dengan tingkat bahaya erosi sangat tinggi. Hal tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan pendugaan erosi Tahun 2019-2029 di Hulu DAS Jeneberang.

**Kata Kunci:** Tutupan Lahan, Erosi, *Cellular Automata*, USLE.

## **ABSTRACT**

The condition of the upstream Jeneberang watershed is increasingly critical, land degradation is caused by land conversion and illegal logging. This causes the rate of erosion towards the bili-bili dam to continue to increase every year. The purpose of this study is to predict land cover in the Upper Jeneberang watershed in 2029, calculate the amount of erosion in 2019 and 2029 in the Upper Jeneberang watershed and map the erosion hazard level based on the erosion hazard index in 2019 and 2029. This study uses the Cellular Automata (CA) method and Universal Soil Loss Equation (USLE). From the results of the study, the prediction of land cover area in the Upper Jeneberang watershed in 2029, for the forest land cover class of 4,068.4 Ha, settlements of 465.7 Ha, agriculture of 14,288.3 Ha, shrubs of 2,554.0 Ha, open land of 919.6 Ha, and a body of water of 756.2 Ha. So that the estimated average erosion in the Upper Jeneberang watershed in 2019 was 136,624.48 tons/ha/year with a very high level of erosion hazard and erosion in 2029 of 852,196.6 tons/ha/year with a very high level of erosion hazard. This shows an increase in the prediction of erosion in 2019-2029 in the Upper Jeneberang watershed.

**Keywords:** Land Cover, Erosion, Cellular Automata, USLE.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayahnya yang telah diberikan kepada penulis. Tidak ada kata yang paling layak penulis ucapkan selain kalimat syukur ini kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan segala nikmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Analisis Perubahan Laju Erosi DAS Jeneberang Menggunakan Metode CA (Cellular Automata)**”. Dalam penulisan skripsi ini, banyak sekali kendala yang dihadapi penulis, namun berkat bantuan, dorongan, pengetahuan, bimbingan dan do'a yang telah diberikan dari berbagai pihak yang tidak mungkin penulis lupakan begitu saja, sehingga skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kepada **Ibunda Suriati, S.Pd** beserta keluarga. Terima kasih telah memberikan kasih sayang, dukungan serta do'a sehingga penulis bisa melewati berbagai tantangan perkuliahan.
2. Kepada **Bapak Dr. Samsu Arif, M.Si** dan **Bapak Dr. Sakka, M.Si** selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas segala waktu, ilmu, nasehat dan segala hal yang diluangkan untuk penulis, sehingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi tugas akhir ini.
3. Kepada **Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** dan **Bapak Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** selaku dosen penguji. Terima kasih atas kritik dan saran yang akhirnya membantu lahirnya segala tulisan yang ada dalam skripsi ini.

4. Kepada **Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, serta seluruh **Staff Departemen Geofisika** dan **Staff Fakultas MIPA**. Terima kasih telah membantu pengurusan berkas penelitian ini.
5. Kepada **Bapak Dr. Sakka, M.Si** selaku Penasehat Akademik. Terima kasih atas nasehat serta motivasi yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan. Dan kepada seluruh **dosen departemen geofisika**, terima kasih atas seluruh ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
6. Kepada teman-teman **Geofisika 2018** yang telah membantu dan mendukung penulis dalam proses penyusunan skripsi.
7. Kepada teman-teman **HMGF FMIPA UNHAS** yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi.
8. Kepada teman-teman **cendol**, terima kasih telah memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi.
9. Kepada **sahabat-sahabat** penulis, terkhusus kepada **Nur Insani Rahmat, Fifiana Agustianingsih Malik** dan **Muh Akram Aflah**, terima kasih telah memberikan motivasi dan dukungan selama proses penyusunan skripsi.
10. Kepada **Diri Sendiri**. Terima kasih masih terus berjuang sampai di tahap ini. Terima kasih sudah bekerja keras melewati berbagai rintangan yang hadir. Terima kasih sudah menjaga sabar dan kesehatan dengan baik. Terima kasih sudah belajar lebih bersyukur atas rintangan yang Allah berikan. Semoga rasa syukur selalu hadir dan lebih besar dari keluh kesah.

Semoga Allah SWT selalu merahmati kita semua. Semoga skripsi ini dapat memberi banyak manfaat bagi banyak orang, baik kepada pembaca maupun kepada penulis. Mengingat penulis mempunyai berbagai keterbatasan sebagai manusia biasa, sehingga kritik dan saran akan sangat membantu dalam mengembangkan kemampuan penulis dalam menyusun hasil penelitian di kemudian hari.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.***

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Penampang Melintang Daerah Aliran Sungai .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Empat tipe erosi tanah pada lereng yang terbuka .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Susunan sel <i>cellular automata</i> .....	18
<b>Gambar 2.4</b> Gambar 2.4 Aturan 1 Simulasi PPL .....	20
<b>Gambar 2.5</b> Aturan 2 Simulasi PPL .....	21
<b>Gambar 2.6</b> Aturan 3 Simulasi PPL .....	21
<b>Gambar 2.7</b> Aturan 4 Simulasi PPL .....	21
<b>Gambar 3. 1</b> Peta Lokasi Penelitian .....	26
<b>Gambar 3. 3</b> Bagan Alir Keseluruhan .....	34
<b>Gambar 3. 4</b> Bagan Alir Bagian Tutupan Lahan .....	35
<b>Gambar 3. 5</b> Bagan Alir Bagian Laju Erosi .....	36
<b>Gambar 4.1</b> Tutupan Lahan di Hulu DAS Jeneberang: (a) Tahun 2009; (b) Tahun 2014; (c) Tahun 2019, kode 1= hutan; 2= permukiman; 3= pertanian; 4= semak campur savana; 5= tanah terbuka; 6= tubuh air. ....	37
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2009-2014 Menggunakan <i>Crosstab</i> di Hulu DAS Jeneberang .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2014-2019 Menggunakan <i>Crosstab</i> di Hulu DAS Jeneberang: kode 1= hutan; 2= permukiman; 3= pertanian; 4= semak campur savana; 5= tanah terbuka; 6= tubuh air. ....	40
<b>Gambar 4.4</b> Matriks Probabilitas Transisi <i>Markov</i> Tahun 2009-2014.....	42
<b>Gambar 4.5</b> Hasil <i>Stochastic Markov</i> Tahun 2009-2014 .....	42

<b>Gambar 4.6</b> Validasi Model.....	43
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Standarisasi Faktor Pendorong ( <i>driving factor</i> ): (a) jarak ke jalan; (b) jarak ke pemukiman; (c) kemiringan lereng; Faktor Pembatas ( <i>constraint factor</i> ): (d) tubuh air .....	44
<b>Gambar 4.8</b> Penentuan Kepentingan Faktor Pendorong ( <i>driving factor</i> ) Menggunakan <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).....	45
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Kalkulasi modul <i>Weight Derivation</i> – AHP untuk faktor pendorong ( <i>driving factor</i> ) tutupan lahan .....	45
<b>Gambar 4.10</b> Hasil <i>Multi Criteria Evaluation</i> (MCE) parameter tutupan lahan..	46
<b>Gambar 4.11</b> Hasil <i>overlay</i> MCE dengan tutupan lahan: (a) Tahun 2009; (b) Tahun 2014.....	47
<b>Gambar 4.12</b> Hasil <i>reclass overlay Multi Criteria Evaluation</i> (MCE) dengan tutupan lahan: (a) Tahun 2009; (b) Tahun 2014 .....	47
<b>Gambar 4.13</b> Model Simulasi Tutupan Lahan Tahun 2029 Menggunakan <i>Cellular Automata – Markov</i> .....	48
<b>Gambar 4.14</b> Peta Erosivitas Hujan (R) di Hulu DAS Jeneberang .....	50
<b>Gambar 4.15</b> Peta Erodibilitas Tanah (K) .....	52
<b>Gambar 4.16</b> Peta Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS).....	54
<b>Gambar 4.17</b> Peta Faktor Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah (CP) ....	55
<b>Gambar 4.18</b> Peta Laju Erosi Hulu DAS Jeneberang Tahun 2019 .....	59
<b>Gambar 4.19</b> Peta Laju Erosi Hulu DAS Jeneberang Tahun 2029 .....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Luas Tutupan Lahan Hulu DAS Jeneberang Tahun 2009, 2014 dan 2019.....	38
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2009-2014 Menggunakan <i>Crosstab</i> di Hulu DAS Jeneberang .....	39
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2014-2019 Menggunakan <i>Crosstab</i> di Hulu DAS Jeneberang .....	41
<b>Tabel 4.4</b> Luas Tutupan Lahan Hulu DAS Jeneberang Tahun 2009, 2014, 2019, dan 2029 .....	48
<b>Tabel 4.5</b> Persentase Luas Tutupan Lahan Hulu DAS Jeneberang Tahun 2009, 2014, 2019, dan 2029 .....	49
<b>Tabel 4.6</b> Curah Hujan dan Nilai Indeks Erosivitas Hujan di Hulu DAS Jeneberang.....	51
<b>Tabel 4.7</b> Nilai Indeks Erodibilitas Tanah (K) di Hulu DAS Jeneberang .....	52
<b>Tabel 4.8</b> Nilai Indeks Faktor (LS) di Hulu DAS Jeneberang .....	54
<b>Tabel 4.9</b> Nilai Indeks Faktor (C) dan Nilai Faktor (P) di Hulu DAS Jeneberang	55
<b>Tabel 4.10</b> Hasil pendugaan erosi <i>Universal Soil Loss Equation</i> (USLE) dan Erosi yang diperbolehkan (TSL) Tahun 2019 .....	59
<b>Tabel 4.11</b> Hasil pendugaan erosi <i>Universal Soil Loss Equation</i> (USLE) dan Erosi yang diperbolehkan (TSL) Tahun 2029 .....	60
<b>Tabel 4.12</b> Pendugaan Sedimen Tahun 2019 .....	61
<b>Tabel 4.13</b> Pendugaan Sedimen Tahun 2029 .....	62

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>SARI BACAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
I.4 Tujuan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
II.1 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	5
II.2 Erosi dan Sedimentasi.....	7
II.3 Penggunaan Lahan.....	11
II.4 Prediksi Erosi USLE ( <i>Universal Soil Loss Equation</i> ) .....	11
II.5 Laju Erosi yang Diperbolehkan (TSL) .....	16
II.6 Tingkat Bahaya Erosi (TBE) .....	16
II.7 Pemodelan Prediksi Tutupan Lahan .....	17
II.7.1 Rantai Markov ( <i>Markov Chain</i> ).....	17
II.7.2 Model CA ( <i>Cellular Automata</i> ) .....	18
II.7.3 Integrasi <i>Cellular Automata-Markov</i> (CA-Markov).....	22

II.8 Validasi Model.....	22
II.9 Sistem Informasi Geografis (SIG) .....	23
II.10 Idrisi Selva .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	26
III.2 Alat dan Bahan .....	27
III.2.1 Alat.....	27
III.2.2 Bahan .....	27
III.3 Tahapan Penelitian .....	27
III.3.1 Persiapan.....	27
III.3.2 Pengumpulan Data.....	27
III.3.3 Analisis Tutupan Lahan .....	27
III.3.4 Mengolah Faktor Pendorong dan Penghambat Tutupan Lahan.....	28
III.3.5 Prediksi Tutupan Lahan .....	30
III.3.6 Pendugaan Laju Erosi USLE ( <i>Universal Soil Loss Equation</i> ) .....	31
III.3.7 Perhitungan Pendugaan Sedimen.....	33
III.3.8 Penetapan Erosi yang Diperbolehkan (TSL) .....	33
III.3.9 Klasifikasi Laju Erosi .....	33
III.3.10 Bagan Alir.....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
IV.1 Hasil Pengolahan Tutupan Lahan .....	37
IV.1.1 Klasifikasi Tutupan Lahan.....	37
IV.1.2 Analisis Perubahan Tutupan Lahan dengan <i>Cross Classification</i> .....	38
IV.1.3 Analisis Perubahan Tutupan Lahan dengan Probabilitas <i>Markov Chain</i> dan Stokastik.....	41

IV.1.4 Validasi Model Stokastik.....	43
IV.1.5 Evaluasi Kriteria Parameter Tutupan Lahan <i>Cellular Automata-Markov</i> .....	43
IV.1.6 Hasil Simulasi Tutupan Lahan Menggunakan <i>Cellular Automata-Markov</i> .....	48
IV.1.7 Evaluasi Perubahan Tutupan Lahan Hasil Simulasi <i>Cellular Automata (CA) – Markov</i> .....	48
IV.2 Hasil Analisis Parameter <i>Universal Soil Loss Equation (USLE)</i> .....	50
IV.2.1 Nilai Indeks Erosivitas Hujan (R) .....	50
IV.2.2 Nilai Indeks Erodibilitas Tanah (K) .....	51
IV.2.3 Nilai Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS) .....	53
IV.2.4 Nilai Faktor Pengelolaan Tanaman (C) dan Nilai Faktor Konservasi Tanah (P).....	54
IV.3 Hasil Pendugaan Erosi USLE dan Erosi Yang Diperbolehkan (TSL).....	57
IV.4 Pendugaan Sedimen .....	60
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>63</b>
V.1 Kesimpulan.....	63
V.2 Saran .....	64

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I.1 Latar Belakang**

Erosi tanah merupakan kejadian alam yang pasti terjadi di permukaan bumi. Erosi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan fenomena yang dapat mengakibatkan perubahan kualitas sumber daya lahan, baik secara alami maupun karena adanya pengaruh kegiatan aktivitas manusia (Prayitno., dkk, 2013). Erosi alamiah dapat terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami, sedangkan erosi karena kegiatan aktivitas manusia biasanya disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas karena tidak sesuai dengan kaidah-kaidah konservasi tanah (Alie, 2015).

Kondisi hulu DAS Jeneberang semakin kritis, degradasi lahan disebabkan oleh alih fungsi lahan dan pembalakan liar. Kondisi hutan di lereng Gunung Bawakaraeng kini tinggal 8.259 hektar atau hanya 13,3 persen dari total luas wilayah daerah aliran sungai (DAS) Jeneberang yang mencapai 61.733 hektar. Ketimpangan itu menyebabkan laju erosi menuju bendungan bili-bili terus meningkat setiap tahun. Hilangnya vegetasi (hutan) pada suatu daerah aliran sungai, selain menyebabkan limpasan juga sekaligus meningkatkan laju erosi (Faisal dan Djamal, 2017). Ada empat faktor utama yang dianggap terlibat dalam proses erosi, antara lain adalah iklim, topografi, sifat tanah dan vegetasi penutup tanah (Alie, 2015).

Besarnya erosi sangat tergantung dari faktor-faktor alam di tempat terjadinya erosi tersebut, akan tetapi saat ini manusia juga berperan penting atas

terjadinya erosi (As-syakur, 2008). Erosi yang berlangsung secara terus menerus pada musim hujan dapat menyebabkan hilangnya lapisan atas (*top soil*), yang kemudian terbawa aliran sungai yang akan menyebabkan sedimentasi di daerah hilir (Faisal dan Djamal, 2017). Langkah yang dapat dilakukan dalam mengurangi laju erosi dan aliran permukaan yaitu melalui penggunaan lahan secara optimal dapat mengurangi dampak laju erosi dan aliran permukaan. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan kajian mengenai perubahan penggunaan lahan sebagai upaya untuk mengurangi laju erosi yang terjadi di DAS Jeneberang.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam memprediksi perubahan penggunaan lahan adalah metode CA (*Cellular Automata*). CA awalnya diperkenalkan oleh von Neumann dan Ulam pada tahun 1948 sebagai model sederhana untuk menyelidiki perilaku sistem kompleks secara luas. Metode CA merupakan model komputasi dari suatu sistem dinamik yang bersifat diskrit dalam ruang dan waktu. Suatu CA tersusun dari sebuah larik (*Array*), dengan sel yang identik dan saling berinteraksi satu sama lain (Paharuddin, 2012).

Penelitian yang berkaitan dengan pendugaan erosi tanah DAS Jeneberang dilakukan Amal, dkk., menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan *Modified Universal Soil Lost Equation* (MUSLE) Tahun 2009-2018 di DAS Jeneberang, dari penelitian tersebut diperoleh besar laju erosi sebesar 15,92 ton/ha/tahun sedangkan MUSLE sebesar 6,56 ton/ha/tahun dan termasuk dalam kategori ringan, akan tetapi pada beberapa titik masih terdapat erosi yang tergolong sangat tinggi.

Aisyah (2021) juga melakukan penelitian yang berkaitan dengan pendugaan erosi tanah menggunakan metode *universal soil loss equation* (USLE) berdasarkan parameter tutupan lahan Tahun 2018 di Hulu DAS Jeneberang, didapatkan rata-rata erosi sebesar 813,1 ton/ha/tahun dengan erosi yang ditoleransi sebesar 28,9 ton/ha/tahun. Banuwa (2013) menyatakan bahwa laju erosi yang lebih besar dari erosi erosi yang diperbolehkan menunjukkan adanya potensi ketidakseimbangan kelestarian lingkungan.

Berdasarkan permasalahan-permasalahan di atas, penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian tentang analisis perubahan laju erosi di DAS Jeneberang menggunakan metode CA (*Cellular Automata*) periode tahun 2019-2021.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar laju erosi di DAS Jeneberang berdasarkan analisis data pendugaan erosi menggunakan pendekatan USLE (*Universal Soil Loss Equation*)?
2. Bagaimana tingkat bahaya erosi (TBE) pada DAS Jeneberang berdasarkan pendekatan USLE (*Universal Soil Loss Equation*)?
3. Bagaimana hasil prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) periode tahun 2019 – 2029?

## **I.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini adalah menghitung besarnya laju erosi dan tingkat bahaya erosi (TBE) pada DAS Jeneberang, kemudian melakukan prediksi

besarnya laju erosi berdasarkan analisis perubahan penggunaan lahan menggunakan metode CA (*Cellular Automata*) periode Tahun 2019-2029.

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

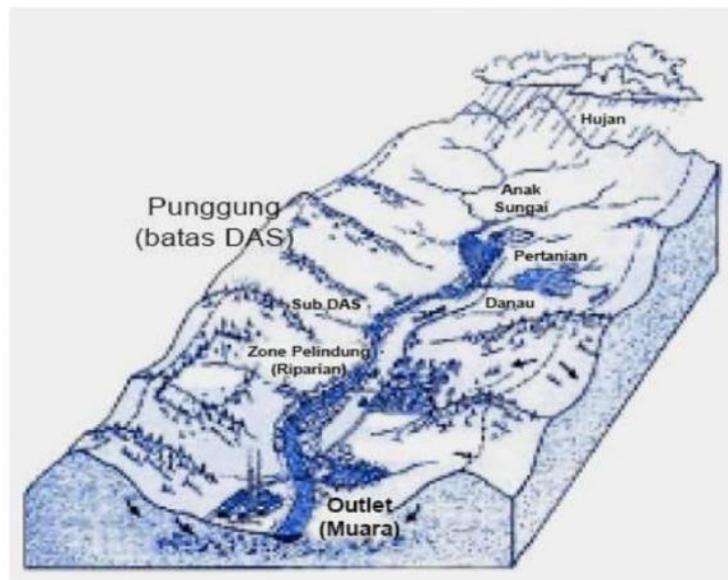
1. Mengetahui besar laju erosi di DAS Jeneberang berdasarkan pendekatan USLE (*Universal Soil Loss Equation*).
2. Memetakan tingkat bahaya erosi (TBE) pada DAS Jeneberang dengan pendekatan USLE (*Universal Soil Loss Equation*).
3. Mengetahui besar perubahan penggunaan lahan menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) periode tahun 2019 - 2029.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Daerah Aliran Sungai (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 laut. Suatu DAS dapat terdiri dari beberapa sub DAS, daerah sub DAS kemudian dibagi-bagi lagi menjadi sub-sub DAS (Ramdan, 2006).



Gambar 2. 1 Penampang Melintang Daerah Aliran Sungai (Hutagaol, 2019).

Karakteristik fisik sungai yang memiliki percabangan yang disebut dengan anak sungai, dan anak sungai juga memiliki anak sungai lagi, menyebabkan DAS memiliki Sub DAS dan Sub-sub DAS. Sub DAS adalah bagian dari DAS yang menerima air hujan dan mengalirkannya melalui anak sungai ke sungai utama. Sub-sub DAS adalah bagian Sub DAS yang menerima air hujan dan

mengalirkannya melalui anak-anak sungai, ke anak sungai, ke sungai utama (Hutagaol, 2019).

DAS seringkali disamakan dengan sungai, padahal DAS lebih luas dan kompleks dari sekedar sungai. Sungai merupakan salah satu komponen yang membentuk DAS. Jika melihat peta DAS, maka sepintas akan terlihat mirip dengan peta administratif suatu daerah. Air yang keluar dari suatu DAS dapat melalui berbagai bentuk yaitu (Hutagaol, 2019):

1. Aliran air permukaan (*surface run off*) yaitu air yang mengalir di atas permukaan tanah.
2. Aliran bawah permukaan (*sub surface run off*) air yang masuk ke dalam tanah tapi tidak dapat masuk lebih dalam lagi karena adanya lapisan kedap air.
3. Aliran air bawah tanah (*ground water*) yaitu air yang masuk jauh ke dalam tanah dan tidak mengandung bahan tersuspensi.
4. Aliran air sungai yaitu air yang mengalir di dalam badan sungai. Dibanding dengan air bawah permukaan dan air tanah umumnya air sungai lebih keruh karena lumpur yang dikandungnya.

Berdasarkan posisinya dalam suatu bentang lahan, DAS dibagi menjadi tiga, yaitu (Tanika, 2016):

1. Bagian hulu yang berada pada wilayah dengan kemiringan lebih dari 15% dengan tingkat kerapatan drainase (sistem tata air) tinggi. Sungai di daerah hulu biasanya tidak terlalu lebar, berbatu dan mempunyai banyak cabang. Bagian hulu DAS merupakan wilayah konservasi.

2. Bagian tengah yang berada pada kemiringan antara 8-15% dengan tingkat kerapatan drainase sedang. Bagian tengah DAS merupakan wilayah pengangkutan sedimen dan unsur hara bila terjadi perubahan pada bagian hulu. Sungai pada bagian tengah DAS umumnya lebih lebar bila dibandingkan dengan bagian hulu, tetapi lebih sempit dari bagian hilir.
3. Bagian hilir yang berada pada kemiringan kurang dari 8% dengan tingkat kerapatan drainase rendah, merupakan wilayah pengendapan dan pemanfaatan. Sungai di daerah hilir lebih lebar dan dalam dibandingkan dengan sungai di daerah hulu dan tengah.

## **II.2 Erosi dan Sedimentasi**

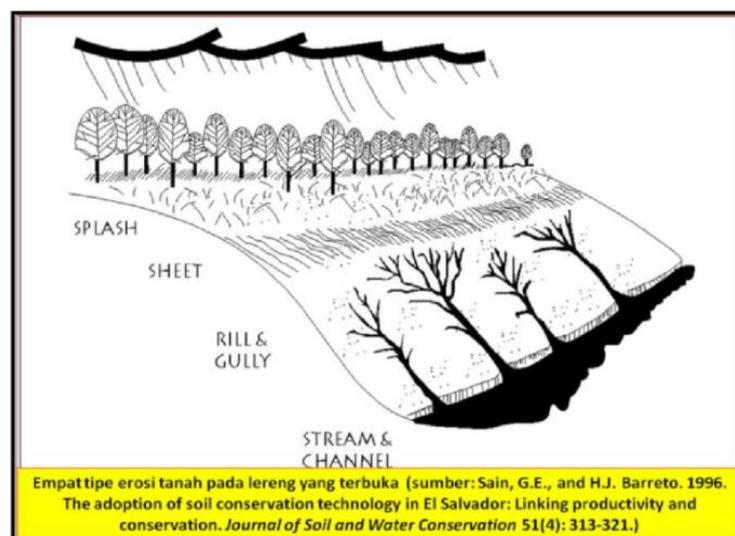
Erosi berasal dari bahasa latin *erodere* yang berarti menggeroti atau untuk menggali. Istilah erosi ini pertama kali digunakan dalam istilah geologi untuk menggambarkan pembentukan alur yang disebabkan oleh air dan terbawanya material padat yang disebabkan oleh air dan terbawanya material padat yang disebabkan oleh aliran sungai ((Zachar (1982) dalam Pratiwi(2014)).

Erosi adalah hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat oleh air atau angin. Erosi oleh angin disebabkan oleh kekuatan angin, sedangkan erosi oleh air ditimbulkan oleh kekuatan air. Erosi sering terjadi di daerah beriklim basah, sedangkan erosi angin merupakan peristiwa yang terjadi di daerah beriklim kering, sedangkan Indonesia adalah daerah tropis yang umumnya beriklim basah atau agak basah (Arsyad dalam Widodo., dkk, 2015). Erosi menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan

menahan air (Arsyad, 2006). Pada dasarnya kerusakan yang ditimbulkan oleh erosi terjadi di dua tempat, yaitu pada tempat terjadinya erosi dan tempat terendapkannya sedimen hasil erosi (tempat sedimentasi berlangsung) (Satriawan dan Fuady, 2014).

Secara umum, erosi ada dua jenis yaitu erosi geologi dan erosi dipercepat. Erosi geologi merupakan proses pengangkutan tanah yang terjadi secara alami. Sedangkan erosi dipercepat adalah erosi yang terjadi karena pengaruh interaksi alam dan manusia sebagai pengguna sumber daya alam (Satriawan dan Fuady, 2014).

Menurut bentuknya, erosi dibedakan dalam erosi lembar (*sheet erosion/interrill erosion*), erosi tebing sungai (*stream dan channel*), longsor (*landslide*) dan erosi internal.



Gambar 2. 2 Empat tipe erosi tanah pada lereng yang terbuka (Satriawan dan Fuady, 2014).

Menurut Alie (2015), proses erosi terdiri atas tiga bagian yang berurutan, yaitu pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan

pengendapan (*sedimentation*). Umumnya partikel yang mempunyai massa yang lebih berat mengalami sedimentasi lebih awal. Sedimentasi ini bisa terjadi di dalam sungai, waduk, danau, saluran irigasi, di atas tanah pertanian, dsb (Satriawan dan Fuady, 2014).

Tabel 2. 1 Pengaruh langsung dan tidak langsung erosi  
(Satriawan dan Fuady, 2014)

Bentuk pengaruh	Pengaruh di tempat terjadinya erosi	Pengaruh di tempat terjadinya sedimentasi
Langsung	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Hilangnya lapisan tanah subur</li> <li>→ Hilangnya unsur hara dan kerusakan struktur tanah</li> <li>→ Peningkatan penggunaan energi untuk produksi</li> <li>→ Menurunnya produktivitas tanah yang parah</li> <li>→ Kerusakan bangunan konservasi dan bangunan lainnya</li> <li>→ Pemiskinan petani/pemilik tanah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Pelumpuran dan pendangkalan waduk, sungai, saluran dan badan air lainnya.</li> <li>→ Tertimbunnya lahan pertanian, jalan dan bangunan lainnya.</li> <li>→ Hilangnya mata air dan menurunnya kualitas air.</li> <li>→ Kerusakan ekosistem perairan</li> <li>→ Kerugian material karena banjir</li> <li>→ Meningkatnya frekuensi dan lama kekeringan</li> </ul>
Tidak langsung	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Berkurangnya alternatif penggunaan lahan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Memendeknya umur pakai waduk atau bangunan sejenis</li> <li>→ Meningkatnya frekuensi dan</li> </ul>

	→ Timbulnya dorongan untuk membuka lahan baru → Timbulnya kebutuhan akan pengaruh di tempat terjadinya erosi → Perbaiki lahan dan bangunan yang rusak	besarnya banjir pengaruh di tempat terjadinya sedimentasi
--	---	---

Boardman et al. (2009) dalam (Naharuddin, 2020) berpendapat bahwa faktor utama penyebab erosi tanah dapat dibagi menjadi tiga kelompok: (1) faktor energi, misalnya erosivitas hujan; (2) faktor perlindungan, misalnya tutupan tanaman dan pengelolaan lahan; dan (3) faktor resistensi, misalnya erodibilitas tanah. (Faisal dan Djamil, 2017) menyatakan bahwa sebagian besar wilayah di Indonesia beriklim tropis lembab dengan curah hujan yang relatif tinggi, baik dalam hal jumlah maupun intensitasnya. Dengan demikian erosi yang terjadi adalah lebih banyak disebabkan oleh air hujan (Faisal dan Djamil, 2017).

Sedimentasi yaitu proses pengendapan dari suatu material yang berasal dari erosi, gelombang laut maupun gletser (Helmi (2013) dalam (Amir, 2021)). Tanah atau bagian-bagian tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat ke tempat lain pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dan masuk ke dalam suatu badan air disebut dengan sedimen (Arsyad (2010) dalam (Amir, 2021)). Proses

sedimentasi terjadi apabila suatu aliran kecepatan airnya melambat atau terhenti (Romario (2017) dalam (Amir, 2021)).

### **II.3 Penggunaan Lahan**

Secara umum penggunaan lahan di Indonesia merupakan akibat nyata dari suatu proses yang lama dari adanya interaksi yang tetap, adanya keseimbangan, serta keadaan dinamis antara aktivitas-aktivitas penduduk di atas lahan dan keterbatasan-keterbatasan di dalam lingkungan tempat mereka (As-syakur., dkk, 2010).

Menurut Arsyad dalam (As-syakur., dkk, 2010) menyatakan bahwa penggunaan lahan merupakan hasil akhir dari setiap bentuk campur tangan kegiatan (intervensi) manusia terhadap lahan di permukaan bumi yang bersifat dinamis dan berfungsi untuk memenuhi kebutuhan hidup baik material maupun spiritual. Perubahan penggunaan lahan yang terdapat pada DAS akan mempengaruhi kondisi hidrologi DAS tersebut.

Optimalisasi penggunaan lahan harus mengikuti kaidah konservasi tanah dan air yang memiliki arti luas: penempatan setiap bidang tanah pada cara penggunaan yang sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan agar tidak terjadi kerusakan tanah. Dalam arti sempit adalah upaya untuk mencegah kerusakan tanah oleh erosi dan memperbaiki tanah yang rusak oleh erosi (Arsyad, 2006).

### **II.4 Prediksi Erosi USLE (Universal Soil Loss Equation)**

USLE (*Universal Soil Loss Equation*) merupakan metode yang umum digunakan untuk memprediksi laju erosi. Selain sederhana, metode ini juga sangat baik diterapkan di daerah-daerah yang faktor utama penyebab erosinya adalah

hujan dan aliran permukaan (As-Syakur, 2008). Metode USLE memungkinkan perencana menduga laju rata-rata erosi suatu tanah tertentu pada suatu kecuraman lereng dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam pertanaman dan tindakan pengelolaan (tindakan konservasi tanah) yang mungkin dilakukan atau yang sedang dipergunakan (Arsyad dalam As-syukur, 2008).

Prediksi erosi dengan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) diperoleh dari hubungan antara faktor-faktor penyebab erosi itu sendiri yaitu (As-syakur, 2008):

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (2.1)$$

Dimana:

A = Banyaknya tanah tererosi (ton/ha/tahun)

R = Faktor curah hujan dan aliran permukaan (Erosivitas) (ton/ha)

K = Faktor erodibilitas tanah (ton ha hr MJ-1 mm-1 ha-1)

L = Faktor panjang lereng (m)

S = Faktor kemiringan lereng (%)

C = Faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman (*dimensionless*)

P = Faktor tindakan-tindakan khusus konservasi tanah (*dimensionless*)

(Arsyad dalam (Widodo., dkk, 2015)).

Arsyad dalam (Fitria., dkk, 2012) mengemukakan bahwa faktor erosivitas (R) hujan adalah kemampuan hujan dalam mengerosi tanah. Hujan menyebabkan erosi tanah melalui dua jalan yaitu pelepasan butiran tanah oleh pukulan air hujan pada permukaan tanah dan kontribusi hujan terhadap aliran. Persamaan yang

dapat digunakan dalam menentukan tingkat erosivitas hujan adalah ((Arsyad dalam (Fitria., dkk, 2012)):

$$R = 22,1 (P_b)^{1,36} \quad (2.2)$$

Dimana R adalah erosivitas curah hujan bulanan dan  $P_b$  adalah curah hujan bulanan.

Menurut Arsyad dalam (Fitria., dkk, 2012) faktor erodibilitas (K) tanah merupakan faktor kepekaan tanah terhadap erosi. Faktor erodibilitas tanah menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik hujan. Untuk nilai faktor erodibilitas tanah disajikan dalam berikut ini.

Tabel 2. 2 Nilai Faktor Erodilitas Tanah di Hulu DAS Jeneberang

No.	Jenis Tanah	Nilai K rataan
1	Aeric Epiaquepts	0,193
2	Alluvial	0,156
3	Andic Eutrudepts	0,158
4	Typic Epiaquands	0,271
5	Typic Eutrudepts	0,158
6	Typic Hapludands	0,278
7	Typic Udorthents	0,193

Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) adalah rasio antara besarnya erosi dari sebidang lahan dengan panjang lereng dan kecuraman lereng tertentu terhadap besarnya erosi dari lahan yang indentik (Pratwi, 2014).

Tabel 2. 3 Penilaian Kelas Lereng dan Faktor LS ((Kironoto dalam (Alie, 2015)).

Kelas Lereng	Kemiringan Lereng	Nilai LS
I	0 - 8	0,40
II	8 - 15	1,40
III	15 - 25	3,10
IV	25 - 40	6,80
V	> 40	9,50

Faktor pengelolaan tanaman (C) menunjukkan keseluruhan pengaruh dari vegetasi, kondisi permukaan tanah, dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). Faktor pengelolaan tanaman menggambarkan perbandingan antara besarnya erosi lahan yang ditanami dengan tanaman tertentu dengan pengelolaan tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih dalam keadaan identik ((Suripin dalam (Fitria., dkk, 2012)).

Tabel 2. 4 Nilai Faktor Pengelolaan Tanaman (C) (Arsyad dalam (Fitria dkk,2012)).

<b>Penggunaan Lahan</b>	<b>Nilai C</b>
Tanah terbuka, tanpa tanaman	1,0
Hutan	0,001
Permukiman	1,0
Sawah	0,01
Kentang	0,4
Kacang tanah	0,2
Kebun campuran, kerapatan tinggi	0,1

Kebun campuran, kerapatan sedang	0,2
Kebun campuran, kerapatan rendah	0,5
Semak belukar	0,3
Talas	0,85
Ubi kayu + Kacang tanah	0,195

Menurut Suripin dalam (Fitria., dkk,2012) nilai faktor tindakan konservasi tanah (P) adalah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi dalam keadaan identik.

Tabel 2. 5 Nilai Faktor Tindakan Konservasi Tanah (P)  
((Arsyad dalam (Fitria., dkk, 2012).

No.	Tindakan khusus konservasi tanah	Nilai P
1.	Teras Bangku:	
	- Kontruksi baik	0,04
	- Kontruksi sedang	0,15
	- Kontruksi kurang baik	0,35
	- Teras tradisional	0,40
2.	Strip tanaman rumput bahia	0,40
3.	Pengelolaan tanah dan penanaman menurut garis kontur:	
	- Kemiringan 0 – 8%	0,50
	- Kemiringan 9- 20%	0,75
	- Kemiringan lebih dari 20%	0,90
4.	Tanpa tindakan konservasi	1,00

## II.5 Laju Erosi yang Diperbolehkan (TSL)

Erosi yang diperbolehkan merupakan besarnya jumlah tanah yang diperbolehkan hilang pertahunnya agar produktivitas lahan tidak berkurang (Arsyad (2010) dalam (Fitria, 2012)). Untuk menghitung nilai TSL digunakan persamaan berikut.

$$TSL = \frac{De - Dmin}{UGT} + LPT \quad (2.3)$$

Dimana:

$TSL$  = Besarnya erosi yang ditoleransi dalam ( $tonha^{-1}thn^{-1}$ ).

$De$  = Kedalaman tanah ekuivalen, dari hasil perkalian kedalaman efektif tanah (mm) dengan nilai faktor kedalaman tanah (mm).

$Dmin$  = Kedalaman tanah minimum yang dipertahankan (mm).

$LPT$  = Laju pembentukan tanah ( $2 mm thn^{-1}$ ).

$UGT$  = Umur guna tanah (350 tahun).

## II.6 Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Tingkat bahaya erosi (TBE) merupakan tingkat ancaman kerusakan yang diakibatkan oleh erosi pada suatu lahan. Erosi tanah dapat berubah menjadi bencana apabila laju erosi lebih cepat daripada laju pembentukan tanah (Fitria., dkk, 2012).

Tingkat bahaya erosi (TBE) adalah perkiraan kehilangan tanah maksimum dibandingkan dengan tebal solum tanahnya pada unit lahan bila teknik pengelolaan tanaman dan konservasi tanah tidak mengalami perubahan. Dengan kata lain, tingkat bahaya erosi merupakan tingkat ancaman kerusakan yang diakibatkan oleh erosi pada suatu lahan. Semakin dangkal olum tanahnya berarti

semakin sedikit tanah yang boleh tererosi, sehingga tingkat bahaya erosinya sudah cukup besar meskipun tanah yang hilang belum terlalu besar (Pratiwi, 2014).

Tabel 2. 6 Kriteria Penetapan Indeks Bahaya  
((Arsyad, (2010) dalam Nurmani (2016)).

No	Nilai IBE	Harkat
1.	< 1,0	Rendah
2.	1,01 - 4,00	Sedang
3.	4,01 – 10,00	Tinggi
4.	>10,01	Sangat Tinggi

## II.7 Pemodelan Prediksi Tutupan Lahan

Dalam memprediksi tutupan lahan pada penelitian ini digunakan beberapa pemodelan yaitu *Markov Chain* dan CA Markov yang terdapat pada modul IDRISI.

### II.7.1 Rantai Markov (*Markov Chain*)

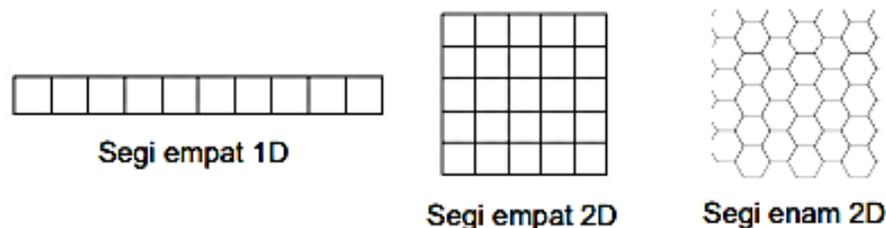
Rantai Markov (*Markov Chain*) dan proses markov (nama matematikawan Rusia Andrey Markov) adalah salah satu bidang yang paling mendasar dari studi tentang probabilitas, yang saat ini juga telah mulai berkembang dalam ilmu spasial, dan saat ini banyak diterapkan di bidang penelitian perubahan penggunaan lahan (*Land use change*). Dalam teori probabilitistik statistik, yang dianalisis dalam proses markov adalah fenomena yang berubah terhadap waktu secara acak untuk keadaan tertentu (Amani, 2017).

Menurut Baja (2012) dalam (Peruge, 2013) *Markov Chain* merupakan proses acak dimana semua informasi masa depan terkandung di dalam keadaan sekarang (orang tidak perlu memeriksa masa lalu untuk menentukan masa depan).

### II.7.2 Model CA (*Cellular Automata*)

Von Neumann., dkk dalam (Paharuddin, 2012) mengemukakan *Cellular automata* awalnya diperkenalkan oleh Von Neumann dan Ulam pada tahun 1984 sebagai model sederhana untuk menyelidiki perilaku sistem kompleks secara luas dan mempelajari proses biologi seperti memperbanyak diri.

Menurut Weisstein dalam (Paharuddin, 2012) *cellular automata* merupakan model komputasi dari suatu sistem dinamik yang bersifat diskrit dalam ruang dan waktu. Sedangkan *cellular automaton* merupakan pemrosesan dari CA. Suatu CA tersusun dari sebuah larik (*Array*), dengan sel yang identik dan saling berinteraksi satu sama lain. *Array* tersebut dapat membentuk susunan sel 1 dimensi, 2 dimensi maupun 3 dimensi. Susunan sel-sel tersebut dapat membentuk grid segi empat sederhana maupun susunan lain seperti sarang lebah yang terdiri dari bagian-bagian berbentuk segi enam (heksagonal) seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. 3 Susunan sel *cellular automata* (Paharuddin, 2012).

Secara umum, persamaan *Cellular Automata* dapat dituliskan sebagai berikut ((Gidey et al., (2017) dalam (Mirnayani, 2021)).

$$S(t, t + 1) = f(S(t), N) \quad (2.4)$$

Dengan  $S$  merupakan himpunan terbatas dari keadaan diskrit cellular,  $N$  adalah bidang cellular,  $t$  dan  $t + 1$  merupakan waktu yang berbeda dan  $f$  adalah transformasi aturan keadaan dalam ruang lokal.

Sipper and Tomassini (1999) dalam (Paharuddin, 2012) berpendapat, formal *Cellular Automaton* terdiri dari empat komponen dirumuskan sebagai berikut:

$$A = (S, G, d, f) \quad (2.5)$$

Menurut Torrens, Paul. M (2009) dalam (Paharuddin, 2012) huruf  $S$  adalah kumpulan keadaan berhingga yaitu banyaknya sel yang tersusun secara *array*. Setiap sel mempunyai nilai tertentu yang dapat berupa biner, hexa, ataupun karakter yang selanjutnya disimbolkan dengan  $C$ ,  $G$  adalah kumpulan sel tetangga disimbolkan dengan  $n$ ,  $d$  adalah dimensi dari  $A$ , dan  $f$  adalah aturan interaksi lokal juga disebut sebagai aturan transisi disimbolkan dengan  $R$ .

Menurut Liu (2009) dalam (Mirnayani, 2021) *Cellular Automata* terdiri dari 5 unsur dasar:

1. Sel (*Cell*), merupakan unit spasial dasar dalam ruang selluler (*Cellular*). Sel ini diatur dalam *spatial terssellation* yakni sebuah grid dua dimensi dari sel merupakan bentuk umum dari CA ((Rahmadewi, 2019 dalam (Mirnayani, 2021)).
2. Keadaan dari sel-sel CA. Keadaan (*State*) adalah atribut sistem. Setiap sel hanya mengambil satu kondisi pada waktu tertentu. Dalam penelitian ini, keadaan mewakili jenis tutupan lahan.

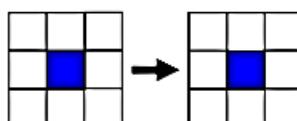
3. Ketetanggaan (*Neighborhood*) adalah serangkaian sel yang saling berinteraksi.
4. Aturan transisi (*Transition Rules*), didefinisikan sebagai respon perubahan suatu sel dalam menanggapi kondisi tiap sel dan tetangganya.
5. Waktu (*Time-step*) adalah variabel yang menentukan dimensi waktu yang digunakan pada proses Cellular Automata. Waktu (*time-step*) dalam penelitian ini didefinisikan sebagai periode iterasi ((Rahmadewi, 2019 dalam (Mirnayani, 2021)).

Secara umum, model CA bekerja dengan (Hedge et al., 2009):

- a. Melakukan simulasi masa kini berdasarkan kejadian di masa lalu dalam bentuk penggambaran deret waktu (*time series*).
- b. Melakukan validasi simulasi berdasarkan data citra penginderaan jauh di masa lalu dan berdasarkan hasil pengamatan lapangan yang tersedia.
- c. Memungkinkan model untuk beralih ke tahun pilihan di masa depan.
- d. Membandingkan keluaran model dengan pendekatan deret waktu (*time series*) autoregresif untuk kondisi setiap tahunan.

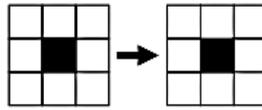
Gambaran aturan Cellular Automata yang digunakan pada simulasi perubahan penggunaan lahan (Paharuddin, 2012):

1. Jika sel yang diuji adalah sel air (warna biru) maka tidak ada perubahan penggunaan lahan (PPL) pada sel tersebut (Gambar 2.4).



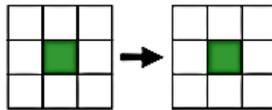
Gambar 2.4 Gambar 2.4 Aturan 1 Simulasi PPL

2. Jika sel yang diuji adalah sel jalan (warna hitam) maka tidak ada PPL ada sel tersebut (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Aturan 2 Simulasi PPL

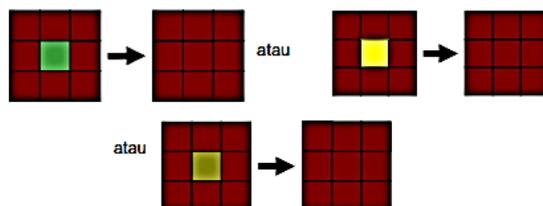
3. Jika sel yang diuji adalah sel hutan (warna hijau) maka tidak ada PPL pada sel tersebut (Gambar 2.6)



Gambar 2.6 Aturan 3 Simulasi PPL

Khusus untuk penggunaan lahan yang tidak dapat diubah seperti uraian di atas, maka digolongkan sebagai aturan tunggal, sementara yang dapat berubah digolongkan sebagai aturan jamak. Salah satu bentuk aturan jamak dapat digambarkan sebagai berikut.

4. Jika sel yang dites adalah salah satu dari ketiga sel (hutan (warna hijau) atau daerah kosong (warna olive) atau sawah (warna kuning)) dan dikelilingi 4 sel tetangga berupa pemukiman (warna maron), dan telah dipertimbangkan kesesuaian aturan penggunaan lahan pemukiman, maka sel yang dites menjadi permukiman (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Aturan 4 Simulasi PPL

### II.7.3 Integrasi *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov)

*Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) adalah integrasi dari *Cellular Automata* dengan konsep keadaan saat ini dipengaruhi oleh sel tetangganya yang pada aturan transisi terdapat ketergantungan antara sel tetangga. Aturan transisi diekspresikan oleh probabilitas yang hanya mempertimbangkan keadaan saat ini (Moser et al., 2013) dalam (Mirnayani, 2021). Integrasi antara CA-Markov lebih akurat dan logis untuk memprediksi penggunaan lahan. Model CA-Markov menghitung status piksel berdasarkan status awalnya, kondisi piksel sekitarnya dan aturan transisi. Fitur terpenting dari CA-Markov adalah memprediksi pola ruang dan temporal yang dinamis dan kompleks melalui serangkaian aturan transisi (Gidey et al., 2017) dalam (Mirnayani, 2021).

Menurut Susilo (2011) dalam (Mirnayani, 2021) aturan yang digunakan dalam CA-Markov ditulis dalam persamaan sebagai berikut.

$$S_{t+1} = f\{(S_t). (I). (P). (N)\} \quad (2.6)$$

Dimana:

$S_{t+1}$  = Keadaan dari sel yang berpotensi berubah pada  $t + 1$

$S_t$  = Keadaan sel pada saat  $t$

$I$  = Indeks kesesuaian sel pada saat  $t$

$P$  = Probabilitas sel

$N$  = Indeks sel tetangga

### II.8 Validasi Model

Validasi model dilakukan berdasarkan uji akurasi Kappa. Uji akurasi adalah sebuah metode yang digunakan untuk memperlihatkan nilai *error* dari

sebuah model yang dilakukakan, agar dapat ditentukan besarnya tingkat keakuratan sebuah model. Secara umum, indeks Kappa dibagi menjadi 5 kategori detail ditulis dalam tabel 2.7 (Fardani et al., 2020).

Tabel 2. 7 Indeks Kappa untuk penilaian akurasi model (Fardani et al., 2020).

<b>Indeks Kappa</b>	<b>Tingkat Akurasi</b>
< 0,2	Buruk
0,21 – 0,4	Cukup
0,41 – 0,6	Sedang
0,61 – 0,8	Bagus
0,81 – 1	Sangat Bagus

## **II.9 Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Sistem Informasi Geografis (SIG), atau dalam bahasa Inggris lebih dikenal dengan *Geographic Information System*. SIG secara umum diartikan sebagai suatu satuan/unit komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja bersama untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Barkey, dkk., 2009).

Ukuran pixel berbeda tergantung pada sistem yang dipakai, hal ini menunjukkan ketajaman atau ketelitian dari data penginderaan jauh, atau yang dikenal dengan resolusi spasial. Selain resolusi spasial data penginderaan jauh mengenal istilah resolusi sebagai berikut (Paharuddin, 2012):

- a. Resolusi temporal yaitu kemampuan sensor untuk merekam ulang objek yang sama. Semakin cepat suatu sensor merekam ulang objek yang sama, semakin baik resolusi temporalnya.
- b. Resolusi spektral merupakan ukuran kemampuan sensor dalam memisahkan objek pada beberapa kisaran panjang gelombang. Data penginderaan jauh menggunakan satu band pada sensornya hanya akan memberikan satu data intensitas pantul pada tiap pixel.
- c. Resolusi radiometrik yaitu ukuran kemampuan sensor dalam merekam atau mengindra perbedaan terkecil suatu objek dengan objek yang lain (ukuran kepekaan sensor).

Pemrosesan data secara digital dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) yang khusus diciptakan untuk keperluan analisis, klasifikasi, dan interpretasi. Beberapa *software* yang terkenal untuk keperluan ini antara lain ERMapper, ILWIS, IDRISI, ERDAS, PCI, dan ENVI (Paharuddin, 2012).

## **II.10 Idrisi Selva**

IDRISI merupakan salah satu *software* yang berfungsi dalam menganalisis data raster, yang mencakup kebutuhan penginderaan jauh, pemodelan spasial, hingga peningkatan dan klasifikasi citra. Kelebihan dari *software* ini adalah dapat melakukan pemantauan lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam, pemodelan perubahan lahan dan analisis deret waktu, pemodelan simulasi, interpolasi permukaan dan karakterisasi statistik. Selain itu, terlepas dari sifat yang sangat canggih, sistem ini juga sangat mudah digunakan.

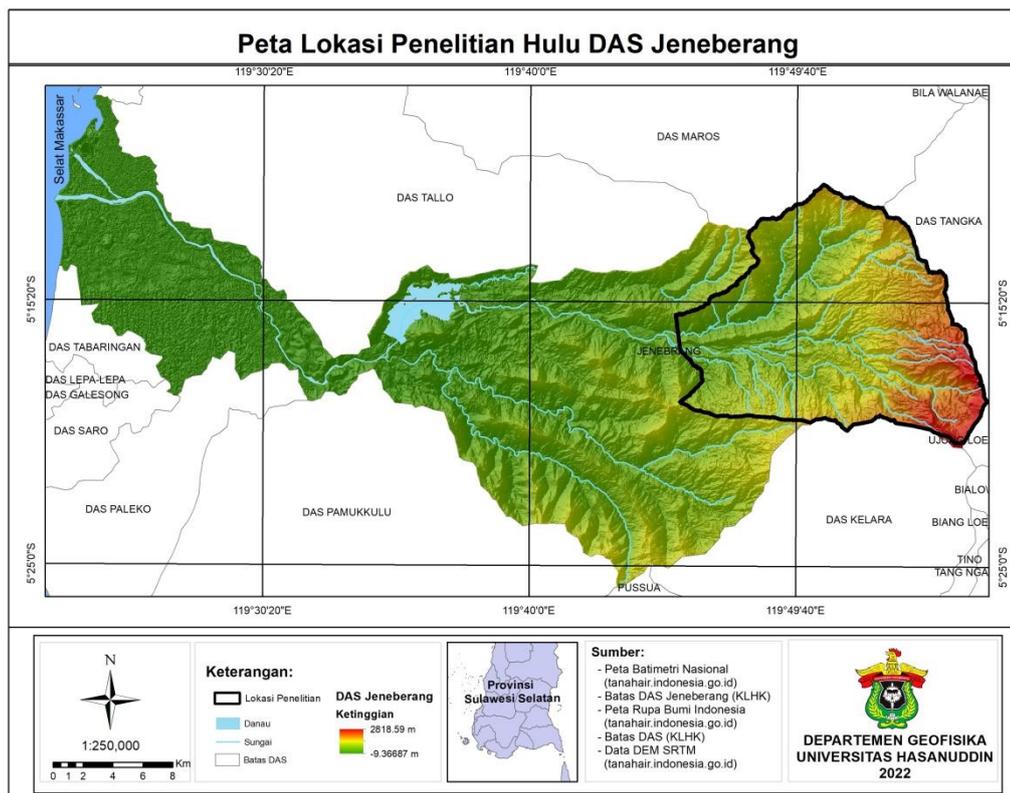
IDRISI terdiri dari kumpulan hampir 300 modul program yang menyediakan fasilitas untuk input, tampilan, dan analisis data geografis. Beberapa modul yang terdapat dalam IDRISI yaitu modul Markov, CA Markov yang terdapat pada *item modeling* yang dapat digunakan dalam menganalisis perubahan tutupan lahan.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### III.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di hulu DAS Jeneberang Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis daerah hulu DAS Jeneberang terletak pada  $119^{\circ}50'36.03''\text{BT}$  -  $119^{\circ}55'41.80''\text{BT}$  dan  $5^{\circ}11'2.19''\text{LS}$  -  $5^{\circ}20'39.13''\text{LS}$  (Gambar 3.1) dengan luas wilayah sebesar 23.107,534 ha yang terletak di empat kecamatan yaitu kecamatan bontolempangang, parigi, tinggi moncong dan tombolopao.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian