



TESIS - RG142509

ANALISA TINGKAT KERENTANAN LONGSOR
MENGUNAKAN METODE WEIGHTED LINEAR
COMBINATION (WLC) - THE ANALYTIC
HIERARCHY PROCESS (AHP)
(STUDI KASUS KECAMATAN BONE PANTAI)

ROMANSAH WUMU
NRP 3514201013

DOSEN PEMBIMBING
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK GEOMATIKA
JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - RG142509

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS USING
WEIGHTED LINEAR COMBINATION (WLC)
COMBINED WITH THE ANALYTICAL HIERARCHY
PROCESS (AHP) METHODS IN BONE PANTAI
SUBDISTRICT

ROMANSAH WUMU
NRP 3514201013

SUPERVISOR
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.

MASTER PROGRAM
EXPERTISE STUDY OF GEOMATICS
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016




**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

oleh:

**Romansah Wumu
Nrp. 3514201013**

**Tanggal Ujian: 27 Juni 2016
Periode Wisuda: September 2016**

Disetujui oleh:

- 
1. **Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.** (Pembimbing)
NIP. 19590819 198502 1 001
 2. 
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA., DESS (Penguji)
NIP. 19530527 198303 1 001
 3. 
Dr. Widya Utama, DEA (Penguji)
NIP. 19611024 198803 1 001



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA TINGKAT KERENTANAN LONGSOR
MENGUNAKAN METODE
WEIGHTED LINEAR COMBINATION (WLC) –
THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)
(STUDI KASUS KECAMATAN BONE PANTAI)**

Nama Mahasiswa : Romansah Wumu

NRP : 3514201013

Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.

ABSTRAK

Kecamatan Bone Pantai merupakan daerah rawan longsor karena kondisi topografi dan perubahan tutupan lahan. Tahun 2001 karena hujan deras terjadi tanah longsor yang mengakibatkan kerusakan dan korban manusia di daerah ini. Analisa yang tepat dan pemodelan yang cocok dapat meminimalisir dampak bencana. Dalam penelitian ini digunakan metode *weighted linear combination (WLC)* yang dikombinasikan dengan *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dalam menganalisa tingkat kerentanan longsor. Parameter-parameter yang digunakan dalam penentuan daerah rentan bencana longsor dalam penelitian ini adalah elevasi, gradien kemiringan, aspek kemiringan, drainase, jalan, formasi batuan dan tutupan lahan. Hasil pemetaan diverifikasi menggunakan data lapangan, diperoleh total akurasi sebesar 80% dengan indeks statistik Kappa 0,7337.

Kata kunci; Akurasi, Longsor, Pemetaan, Kerentanan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Landslide Susceptibility Analysis Using Weighted Linear Combination (WLC) Combined with The Analytical Hierarchy Process (AHP) Methods in Bone Pantai Subdistrict

By : Romansah Wumu
Student Identity Number : 3514201013
Supervisor : Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.

ABSTRACT

Bone Pantai area is prone to landslides because of topography and land cover changes. In 2013 due to heavy rainfall there were landslides resulting in damage and human casualties. Proper analysis and suitable modeling of these dangers may reduce impact of disasters. In this study, weighted linear combination (WLC) combined with the analytical hierarchy process (AHP) methods were used to analysis the susceptibility maps. Elevation, slope angle, slope aspect, drainage, roads, rock formations and the land-cover of the study area are considered as the landslide-conditioning parameters. The result was verified by ground truth assessment of existing landslide location where the susceptibility mapping accuracy was 80% and overall Kappa statistics was 0,7337.

Keywords: Accuracy, Landslide, Mapping, Susceptibility

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Penelitian.....	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Longsor	5
2.1.1 Jenis dan Tipe Longsor.....	5
2.1.2 Faktor penyebab longsor	8
2.2 Metode Skoring	9
2.3 Parameter-parameter Longsor	12
2.4 Pengindraan Jauh	16
2.4.1 Koreksi Citra	17

2.4.2	Klasifikasi Citra	17
2.4.3	<i>Ground Truth</i>	18
2.5	Geologi Regional Bone Pantai	18
2.6	Digital Elevation Model (DEM)	20
2.6.1	SRTM.....	20
2.6.2	Alos Palsar DEM	21
2.7	LANDSAT 8	21
2.8	NDVI.....	21
2.9	Uji Akurasi.....	22
2.10	Penelitian Terdahulu	24
BAB 3	METODA PENELITIAN.....	27
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2	Data dan Peralatan.....	28
3.2.1	Data	28
3.2.2	Peralatan.....	28
3.3	Metodologi Penelitian	29
3.3.1	Proses WLC – AHP	30
3.3.2	Pengolahan data DEM	31
3.3.3	Pengolahan data Landsat 8.....	32
3.3.4	Pengolahan data jaringan jalan	33
3.3.5	Pengolahan data peta geologi.....	34
3.3.6	Pengolahan data Peta Jarigan Sungai.....	35
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Hasil	37
4.1.1	Pengolahan data DEM	37
4.1.2	Pengolahan data Landsat 8.....	41

4.1.3 Pengolahan data peta geologi	42
4.1.4 Pengolahan data peta jaringan sungai.....	45
4.1.5 Pengolahan data jaringan jalan	46
4.1.6 Pengolahan data WLC - AHP.....	47
4.1.7 Analisis Akurasi	49
4.2 Pembahasan	51
BAB 5 PENUTUP.....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	59
BIOGRAFI PENULIS	95

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Persentasi Kejadian Tiap Jenis Bencana Di Indonesia Dari Tahun 1815-2015	1
Gambar 2.1 Longsoran Translasi (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)	5
Gambar 2.2 Longsoran Translasi (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)	6
Gambar 2.3 Pergerakan Blok (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)	6
Gambar 2.4 Runtuhan Batu (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)	7
Gambar 2.5 Rayapan Tanah (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)	7
Gambar 2.6 Bahan Rombakan (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)	8
Gambar 2.7 Peta Geologi Kecamatan Bone Pantai.....	18
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	30
Gambar 3.3 Diagram alir proses WLC-AHP	30
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan data DEM	31
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data Landsat 8.....	32
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data Jaringan Jalan	33
Gambar 3.7 Diagram Alir Pengolahan Peta Geologi.....	34
Gambar 3.8 Diagram Alir Pengolahan Data Peta Jaringan Sungai.....	35
Gambar 4.1 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan elevasi	37
Gambar 4.2 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan kemiringan lereng	38
Gambar 4.3 Pengolahan data perubahan elevasi.....	39

Gambar 4.4 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan aspek kemiringan.....	41
Gambar 4.5 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan kelas NDVI.....	42
Gambar 4.6 Hasil koreksi geometrik Peta Geologi Lembar Kotamobagu RMS = 40,77	43
Gambar 4.7 Hasil interpretasi sesar dan formasi batuan Kec. Bone Pantai berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Citra satelit Landsat 8, dan SRTM-DEM	43
Gambar 4.8 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan formasi batuan	45
Gambar 4.9 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan jarak dari sungai	46
Gambar 4.10 Hasil penyekoran longsor berdasarkan jarak dari jalan	47
Gambar 4.11 Peta Kerentanan Longsor Kecamatan Bone Pantai	49
Gambar 4.12 Hasil Survei Lapangan (<i>ground truth</i>).....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skala Pilihan Antara Dua Parameter Dalam AHP	12
Tabel 2.2 <i>Random Consistency Indeks (RI)</i>	12
Tabel 2.3 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi	13
Tabel 2.4 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi	13
Tabel 2.5 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi	13
Tabel 2.6 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi	14
Tabel 2.7 Faktor-Faktor Penentuan Zona Rawan Longsor Oleh Beberapa Peneliti	14
Tabel 2.8 Panjang gelombang, Resolusi Spasial, <i>Signal-to-Noise Ratio</i> (SNR), dan Reflektan tiap kanal L8/OLI	21
Tabel 3.1 Data Dan Sumber Data	28
Tabel 3.2 Klasifikasi dan Skoring Variabel Penelitian	36
Tabel 4.1 Hasil Skoring Kemiringan Lereng	40
Tabel 4.2 Hasil Klasifikasi Formasi Batuan	44
Tabel 4.3 Nilai Perbandingan Berpasangan	48
Tabel 4.4 Tabel Kappa (<i>Confusion Matrix</i>)	50
Tabel 4.5 Tingkat Kerentanan Longsor Kecamatan Bone Pantai	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kuesioner AHP	59
Lampiran 2. Hasil Ground Truth	61
Lampiran 3. Profil Responden	67
Lampiran 4. Pengolahan Data Kuesioner AHP	69
Lampiran 5. Model Pengolahan Data Deformasi	79
Lampiran 6 Model Sistem Informasi Geografis Kecamatan Bone Pantai menggunakan metode WLC-AHP	81
Lampiran 7. Python Scripts	83
Lampiran 8. Hasil Peta Kerentanan Longsor	93

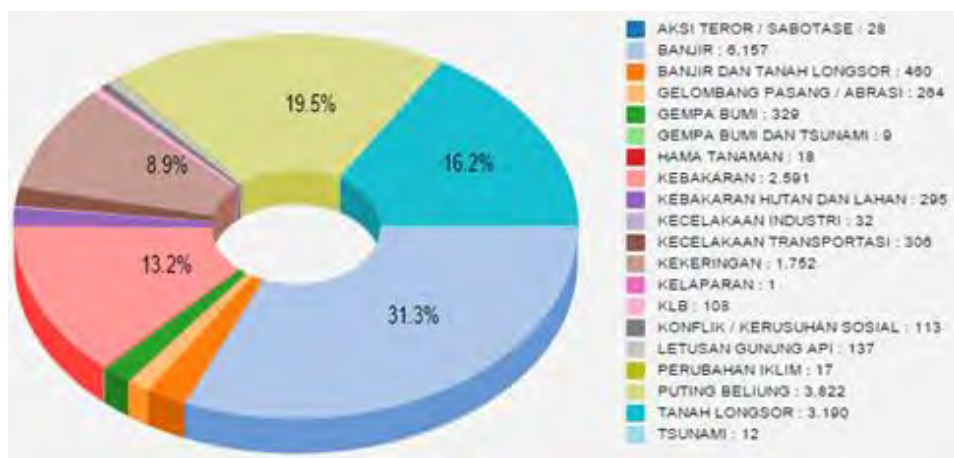
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada daerah beriklim tropis dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun dan berada pada daerah *ring of fire*. Berdasarkan kondisi geografis (alam) tersebut Indonesia menjadi negara yang rentan berbagai macam akan bencana alam. Selain faktor alami bencana dipicu oleh faktor manusia yang kurang memperhatikan lingkungan. Bencana alam tidak hanya menyebabkan kerugian materil, tapi juga sering menelan korban jiwa. Diantara bencana alam yang sering terjadi adalah bencana longsor.

BNPB mencatat selama tahun 1815-2015 persentasi terjadinya lonsor di Indonesia tercatat terbesar ke tiga setelah banjir (31%) dan puting beliung (19%) dengan persentasi sebesar (16%). BNPB juga mencatat selama tahun 1815-2015 longsor berada pada urutan ke-2 jumlah korban jiwa setelah bencana alam puting beliung dengan jumlah masing-masing 16.468,894 jiwa dan 13.507,016 jiwa. Selain korban jiwa bencana alam juga merusak rumah warga, data BNPB sepanjang tahun 1815-2015 tiga jenis bencana alam secara berturut-turut menyebabkan kerusakan rumah adalah terbesar adalah puting beliung (12.236,197), banjir (7.491.57), dan tanah longsor (5183.096).



Sumber: BNPB, 2015a

Gambar 1.1 Persentasi Kejadian Tiap Jenis Bencana Di Indonesia Dari Tahun 1815-2015

Kabupaten Bone Bolango merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Gorontalo. Kabupaten ini sebagian besar merupakan pegunungan, kondisi ini memicu terjadinya longsor. Kecamatan Bone Pantai khususnya dengan topografi beragam dari dataran rendah hingga pegunungan serta dialiri oleh DAS Tonggo pernah mengalami longsor pada 26 Juli 2013 (BNPB, 2013).

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cukup pesat mempermudah kita dalam mencegah atau meminimalisir dampak bencana. Penggunaan teknologi Sistem Informasi Geografi (SIG) dapat mempermudah kita dalam menganalisa berbagai masalah spasial diantara bencana alam berbasis spasial, memetakan daerah rawan bencana, memetakan alur evakuasi bencana, dan lain-lain.

Weighted Linear Combination (WLC) dan *The Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan metode yang digunakan dalam pemecahan masalah multivariabel dan dapat digunakan dalam SIG. Penelitian ini menggunakan kombinasi kedua metode tersebut untuk menganalisa tingkat kerentanan longsor di Kec. Bone Pantai. Hasil analisa berupa model SIG dan peta tingkat kerentanan longsor beserta tingkat ketelitiannya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pemodelan SIG dalam penentuan daerah rawan longsor Kecamatan Bone Pantai?
2. Bagaimanakah analisa hasil pemodelan SIG dalam penentuan daerah rawan longsor Kecamatan Bone Pantai?

1.3 Batasan Penelitian

1. Area studi penelitian ini adalah Kec. Bone Pantai Kab. Bone Bolango Provinsi Gorontalo
2. Parameter yang digunakan adalah; (i) aspek kemiringan, (ii) gradien kemiringan, (iii) formasi batuan, (iv) drainase, (v) elevasi, (vi) tutupan lahan dan (vii) jalan

3. Data yang digunakan adalah; (i) citra satelit; a) DEM-SRTM, b) ALOS Palsar DEM dan c) Landsat 8; (ii) data; a) Peta Admisnistrasi Kac. Bone Pantai, b) Peta jaringan jalan, c) Peta Geologi Lembar Kotamobagu, d) Peta Hidrografi, e) Peta Topografi

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah;

1. Membuat model SIG untuk penentuan wilayah rawan longsor Kec. Bone Pantai
2. Menguji hasil pemodelan SIG untuk penentuan wilayah rawan longsor Kec. Bone Pantai
3. Membuat peringatan dini berupa peta kerentanan longsor Kec. Bone Pantai yang dapat di perbaharui setiap memasuki musim hujan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah menghasilkan model builder sebagai tools tambahan pada arcGIS untuk penentuan daerah rawan longsor.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Longsor

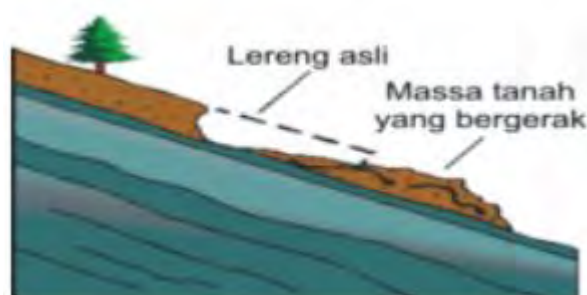
Longsor merupakan salah satu gejala alam yang berperan dalam evolusi bentuk lahan (Malamud et al., 2004). Tanah longsor adalah gerakan massa batuan, puing-puing batuan atau tanah pada bagian bawah lereng yang dipengaruhi oleh gravitasi (Wang et al., 2015). longsor adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah miring dari kedudukan semula, sehingga terpisah dari massa yang mantap, karena pengaruh gravitasi (Permen PU No. 22 /prt/m/2007).

2.1.1 Jenis dan Tipe Longsor

Berdasarkan Permen Pekerjaan Umum 22/prt/m/2007 menjelaskan bahwa ada 6 jenis tanah longsor, yakni: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan.

1. Longsor translasi

Longsor translasi memiliki karakteristik (L. M. Highland & Bobrowsky, 2008); (i) bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai, (ii) material longsor berupa tanah yang kurang solid, (iii) dipicu oleh curah hujan, air tanah, proses mencairnya lapisan es, banjir, dan penambangan di kaki gunung.



Gambar 2.1 Longsor Translasi (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)

2. Longsor rotasi

Longsor rotasi memiliki karakteristik (L. M. Highland & Bobrowsky, 2008); (i) bidang gelincir berbentuk cekung, (ii) material longsor bersifat

homogeny (sebagian besar berupa tanah dan kerikil), (iii) dipicu oleh curah hujan, pencairan salju, air tanah, banjir, luapan air sungai dan danau.



Gambar 2.2 Longsor Translasi (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)

3. Pergerakan blok

Pergerakan blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsor ini disebut juga longsor translasi blok batu. Longsor tipe ini memiliki karakteristik (L. M. Highland & Bobrowsky, 2008); (i) berpindahnya batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata, (ii) material bergerak secara translasi, (iii) material longsor berupa lembaran tanah, batuan, maupun keduanya yang kurang solid terhadap bidang gelincir.



Gambar 2.3 Pergerakan Blok (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)

4. Runtuhan batu

Runtuhan batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Longsor jenis ini memiliki karakteristik (L. M. Highland & Bobrowsky, 2008); (i) umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai, (ii) pemicu longsor berupa

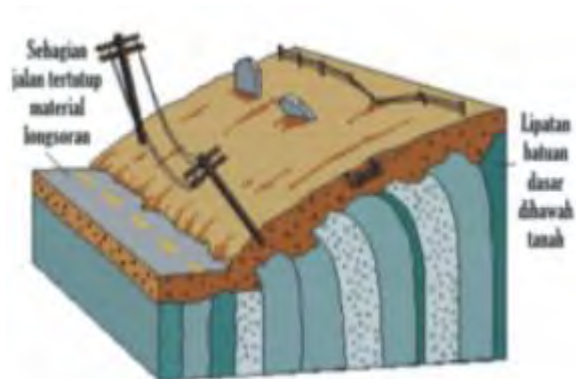
pengerukan/pemotongan lereng secara alami (erosi dan gempa bumi) dan oleh manusia (pembuatan jalan dan pembangunan)



Gambar 2.4 Runtuhan Batu (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)

5. Rayapan tanah

Rayapan tanah adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Longsor rayapan tanah memiliki karakteristik (L. M. Highland & Bobrowsky, 2008); (i) pergerakan longsor sangat lambat (0,3 kaki/dekade), (ii) jenis material berupa tanah yang memiliki butiran kasar dan halus, (iii) longsor dipicu oleh hujan, pelapukan kimia maupun fisika, bocornya pipa air, drainase yang buruk, pembangunan yang kurang memperhatikan kondisi alam.



Gambar 2.5 Rayapan Tanah (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)

6. Longsor aliran bahan rombakan

Aliran bahan rombakan terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakan terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di DAS sekitar gunung api. Longsor tipe ini memiliki karakteristik (L. M. Highland & Bobrowsky, 2008) ; (i) material longsor berupa tanah, batuan, dan material organik, (ii) pemicu longsor berupa aliran air permukaan, erosi dan mobilisasi tanah dan batuan pada kaki gunung.



Gambar 2.6 Bahan Rombakan (Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor)

2.1.2 Faktor penyebab longsor

Longsor disebabkan oleh (L. Highland, 2004);

1. Faktor Geologi
 - a. Material yang tidak kuat/sensitif
 - b. Material yang mudah lapuk
 - c. Struktur patahan, lipatan, rekahan permukaan bumi
 - d. Diskontinuitas yang bersifat merusak (lapisan tidak selaras)
 - e. Daya serap dan kekerasan bahan
2. Faktor Morfologi
 - a. Faktor tektonik/vulkanik
 - b. Pengaruh sungai, erosi pada lereng, kaki lereng

- c. Erosi/pelapukan bawah tanah
 - d. Posisi lereng atau puncaknya
 - e. Penebangan hutan (Vegetasi)
 - f. Pelapukan
3. Faktor Manusia
- a. Pengerukan lereng/kakinya
 - b. Pembebanan lereng/Puncaknya
 - c. Penggunaan air bawah tanah secara berlebihan
 - d. Penggundulan hutan
 - e. Pengairan
 - f. Pertambangan
 - g. Getaran oleh aktifitas manusia
 - h. Bocornya air bendungan

Sedangkan menurut Permen 22 No tahun 2007 faktor-faktor makro dalam penetapan kawasan rawan bencana longsor sebagai berikut:

- a) kondisi kemiringan lereng dari 15% hingga 70%;
- b) tingkat curah hujan rata-rata tinggi (di atas 2500 mm per tahun);
- c) kondisi tanah, lereng tersusun oleh tanah penutup tebal (lebih dari 2 meter);
- d) formasi batuan tersusun dengan bidang diskontinuitas atau struktur retakan;
- e) daerah yang dilalui struktur patahan (sesar);
- f) adanya gerakan tanah; dan/atau
- g) jenis tutupan lahan/vegetasi (jenis tumbuhan, bentuk tajuk, dan sifat perakaran).

2.2 Metode Skoring

Metode skoring atau metode atau *weighted linear combination (WLC)* merupakan metode yang sering digunakan untuk pengambilan keputusan menggunakan SIG (Malczewski, 2000). Metode ini memberikan beberapa alternatif hasil analisis sesuai dengan kriteria yang telah dijadikan pertimbangan (Falahnsia & Taufik, 2014). Metode Skoring (WLC) memecahkan masalah dengan cara menguraikan masalah menjadi parameter-parameternya. Parameter-parameternya ini

kemudian diberikan bobot (w) dengan cara metode indeks statistik (Wi), bobot parameter (Wf), dan AHP. Pengambilan keputusan dengan menggunakan WLC ditunjukkan oleh persamaan berikut (Hong at al., 2007).

$$Z(i, j, t) = \sum_{k=1}^n w_k y_k(i, j, t) \text{ dimana } \sum_{k=1}^n w_k = 1 \quad (2.1)$$

dengan;

- $Z(i, j, t)$ = nilai akhir untuk pixel i,j (nilai kerentanan longsor sebelum di klasifikasi)
- y_k = Nilai piksel i,j untuk masing-masing parameter longsor
- w_k = bobot kombinasi linier untuk faktor ke- k (ditentukan dengan salahsatu metode berikut; (i) indeks statistik (Wi), (ii) bobot parameter (Wf), dan (iii) AHP)

Penelitian ini menggunakan metode AHP dalam penentuan bobot (w). *The Analytic Hierarchy Process* (AHP) adalah teori pengukuran melalui perbandingan berpasangan dan bergantung pada penilaian ahli untuk menurunkan skala prioritas. AHP menghasilkan skala rasio relatif dalam pengukuran. Satu set pengukuran dikonversi kedalam skala relatif melalui normalisasi (Saaty, 1990; Saaty, 2008). Untuk membuat keputusan dengan cara yang terorganisir untuk menghasilkan prioritas kita perlu menguraikan keputusan dalam langkah-langkah berikut (Saaty, 2008).

1. Mendefinisikan masalah dan membaginya dalam faktor penyusunnya ($A_1, A_2, A_3 \dots A_n$) sesuai ilmu pengetahuan.
2. Membuat struktur hirarki alternatif pengambilan keputusan berurut dari alternatif terbaik.
3. Membuat matriks perbandingan berpasangan.

$$\begin{matrix}
 & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \left(\begin{matrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{matrix} \right) & \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} & = & n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}
 \end{matrix} \quad (2.2)$$

4. Menghitung *normalized principal eigenvector* untuk mendapatkan bobot prioritas (w) masing masing parameter.

Kelebihan menggunakan metode AHP dalam penentuan wilayah rawan longsor adalah(Kayastha, Dhital, & Smedt, 2013); (i) semua informasi terkait longsor dapat dimasukkan dalam proses pengambilan keputusan, (ii) pengambilan keputusan secara terstruktur sehingga semua informasi diperhitungkan, (iii) aturan dibuat berdasarkan pengetahuan dan pengalaman pakar/ahli/pengambil keputusan, (iv) bobot untuk masing-masing faktor yang relevan diperoleh secara otomatis oleh eigenvector melalui perhitungan matriks perbandingan, (v) inkonsistensi dalam proses pengambilan keputusan dapat dideteksi dengan menggunakan rasio antara Indeks konsistensi (CI) dengan Indeks Konsistensi Acak (RI) rasio ini disebut Rasio Konsistensi (CR). Pengolahan data dikatakan konsisten jika nilai $CR \leq 10\%$.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.3)$$

dimana:

CR = Rasio konsistensi

CI = Indeks konsistensi

RI = Indeks konsistensi acak

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.4)$$

dimana

λ = nilai eigen dari matriks

n = orde matriks

Tabel 2.1 Skala Pilihan Antara Dua Parameter Dalam AHP

Faktor Prefrensi	Derajat preferensi	Keterangan
1	Sama	Kedua elemen sama pentingnya, dua elemen mempunyai pengaruh yang sama besar
3	Moderat	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Kuat	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
7	Sangat Kuat	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
9	Ekstrim	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai tengah	Nilai di antara dua nilai yang berdekatan
<i>Reciprocals</i>	Nilai Oposit	Nilai infers

Sumber: Saaty, 1990; Saaty, 1977

Tabel 2.2 *Random Consistency Indeks (RI)*

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

Sumber: Saaty, 1977

2.3 Parameter-parameter Longsor

Penelitian ini menggunakan metode WLC dikombinasikan dengan AHP. Metode Skoring dipadukan dengan WLC merupakan metode yang umumnya digunakan dalam memecahkan masalah yang kompleks termasuk masalah pengambilan keputusan dengan menggunakan SIG. Berikut ini merupakan beberapa matriks tabel perbandingan parameter-parameter pada penelitian-penelitian sebelumnya tentang longsor/gerakan massa.

1. Akgun

Tabel 2.3 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi

PARAMETER	1	2	3	4	5	6	Bobot (w)
Kemiringan (1)	1						0,05
Jarak Drainase (2)	2	1					0,07
Litologi (3)	5	3	1				0,25
Tutupan Lahan (4)	5	5	2	1			0,36
Gradien Kemiringan (5)	3	3	1/2	1/2	1		0,18
Jarak Jalan (6)	3	2	1/4	1/6	1/4	1	0,09

Konsistensi rasio: $0,05 < 0,1$ (dapat diterima)

Sumber: Akgun et al., 2008

Tabel 2.4 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi

PARAMETER	1	2	3	4	5	Bobot (w)
Aspek Kemiringan (1)	1					0,086
Jarak Jalan (2)	2	1				0,169
Geoteknik (3)	5	2	1			0,416
Drainase (4)	1/2	1/3	1/7	1		0,056
Gradien Kemiringan (5)	4	2	1/2	4	1	0,272

Konsistensi rasio: $0,01 < 0,1$ (dapat diterima)

Sumber: Akgun, 2007

2. Paper

Tabel 2.5 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi

PARAMETER	1	2	3	4	5	6	Weight
Aspek Kemiringan (1)	1						0,0667
Elevasi (2)	3	1					0,1930
Litologi (3)	3	3	1				0,2510
<i>Plan Curvature</i> (4)	1	1/5	1/3	1			0,0727
<i>Profile Curvature</i> (5)	3	1	1	1	1		0,1504
Gradien Kemiringan (6)	3	1	1	5	3	1	0,2663

Konsistensi rasio: $0,07 < 0,1$ (dapat diterima)

Sumber: Paper, 2004

3. Kamp

Tabel 2.6 Matriks Perbandingan Berpasangan, Bobot Parameter, dan Nilai Rasio Konsistensi

PARAMETER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Bobot (w)
Aspek Kemiringan (1)	1									0,0286
Elevasi (2)	2	1								0,0388
Patahan (3)	6	5	1							0,1580
Litologi (4)	7	6	3	1						0,2762
Tutupan Lahan (5)	4	4	1/3	1/5	1					0,0814
Sungai (6)	4	4	1/3	1/5	1	1				0,0814
Jalan (7)	4	4	1/3	1/5	1	1	1			0,0814
Gradien Kemiringan (8)	7	5	2	1	4	4	4	1		0,2364
Anak Sungai (9)	1/3	1/4	1/7	1/8	1/6	1/6	1/6	1/8	1	0,0178

Konsistensi rasio: $0,05 < 0,1$ (dapat diterima)

Sumber: Kamp et al., 2008

Berdasarkan matriks tabel perbandingan penelitian sebelumnya tentang longsor/gerakan massa di atas dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor umum dalam penentuan zona rawan longsor adalah; (i) aspek kemiringan, (ii) gradien kemiringan, (iii) geologi, (iv) sungai, (v) elevasi, (vi) tutupan lahan dan (vii) jalan.

Tabel 2.7 Faktor-Faktor Penentuan Zona Rawan Longsor Oleh Beberapa Peneliti

Faktor		Peneliti				Frekuensi
Umum	Khusus	Akgun (2007)	Akgun (2008)	Paper (2004)	Kamp (2008)	
Morfologi	Slope gradient	1	0	1	1	3
	Slope aspect	1	1	1	1	4
	Elevation	0	0	1	1	2
Geologi	Litology	1	0	1	1	3
Land Cover	Land Cover	1	0	0	1	2
	Drainage	1	1	0	1	3
	Road	1	1	0	0	2
	Tributaries	0	0	0	1	1
Etc	Geothermal Unit	0	1	0	0	1
	Plan Curvature	0	0	1	0	1
	Provile Curvature	0	0	1	0	1
	Faults	0	0	0	1	1

Sumber: Akgun, 2007; Akgun et al., 2008; Paper, 2004; Kamp et al., 2008

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dan ketersediaan data, maka parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah;

1. Gradien Kemiringan

Gradien kemiringan merupakan aspek paling penting dalam pergerakan massa tanah/batuan, pergerakan massa batuan/tanah menjadi lebih besar ketika kemiringan lereng besar dan gaya kohesinya kecil untuk menghambat pergerakan batuan/tanah(Kamp et al., 2008). Sebagian besar longsor terjadi pada kemiringan lereng lebih besar dari 30°(Khezri, 2011).

2. Aspek Kemiringan

Aspek merupakan orientasi atau arah kemana suatu permukaan menghadap, biasanya berkaitan dengan arah kompas; utara, selatan, timur, barat (Atmadilaga, 2014). Berdasarkan pengertian aspek, maka aspek kemiringan dapat diartikan sebagai orientasi atau arah suatu lereng.

3. Geologi

Peta geologi merupakan komponen standar dalam menentukan nilai dan statistik longsor. Kebanyakan sejarah stratigrafi dari peta geologi dapat dijadikan acuan dalam melakukan klasifikasi geologi teknik yang memberikan informasi lebih lanjut tentang posisi, kekuatan, dan massa batuan (Carrara et al., 1999; Westen et al., 2008).

Batuan endapan gunung api dan batuan sedimen berukuran pasir dan merupakan campuran antara kerikil, pasir dan lempung umumnya merupakan batuan yang kurang kuat. Batuan tersebut mudah menjadi tanah bila mengalami pelapukan, sehingga umumnya rentan terhadap tanah longsor (KemenPU, 2012).

Banyaknya faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam peramalan membuat peramalan bencana geologi (banjir, longsor, gempa bumi, erupsi vulkanik) menjadi sulit. SIG dapat memecahkan peramalan tersebut dengan menggunakan data-data citra satelit, diintegrasikan dengan data geografi seperti morfologi cekungan, kondisi tanah, dan kelembaban tanah(Carrara et al., 1999).

4. Sungai

Sungai merupakan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dibatasi pada kanan kirinya sepanjang pengalirannya oleh sempadan dan mengalir sepanjang tahun (Atmadilaga, 2014). Sungai menjadi salah satu pemicu terjadinya longsor (Wang et al., 2015; Ayalew et al., 2004).

5. Elevasi

Elevasi merupakan altitude atau tinggi suatu tempat diatas muka laut/permukaan tanah (Atmadilaga, 2014).

6. Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan faktor statis dalam studi bencana, sebagian besar penelitian tentang bencana fokus pada perubahan tutupan lahan dan kaitannya dengan bencana (Westen, 2013). Tutupan lahan dapat dibagi atas beberapa kategori; (a) hutan; (b) semak belukar, (c) padang rumput, (c) rumput dan/atau lahan pertanian, (d) wilayah terbangun dan/atau jaringan jalan (Hong at al., 2007).

Data tutupan lahan diklasifikasikan menggunakan citra LANDSAT dengan metode klasifikasi tidak terbimbing (NDVI) dan survei lapangan. Klasifikasi pemukiman, air, hutan, area petanian, tambang timah, karet dan perkebunan sawit diekstraksi untuk pemetaan tutupan lahan (Pradhan at al., 2007).

7. Jalan

Jalan merupakan salah satu pemicu longsor karena pembukaan jalan baru memicu perubahan lingkungan alam (Gupta and Joshi, 1990).

2.4 Pengindraan Jauh

Pengindraan jauh merupakan teknik akuisisi informasi tentang suatu objek atau fenomena tanpa kontak fisik dengan objek tersebut (Westen, 2013). Informasi objek diperoleh dengan cara perekaman, pengukuran, dan interpretasi gelombang elektronik yang dipancarkan/dipantulkan kembali oleh objek tersebut (Atmadilaga, 2014).

2.4.1 Koreksi Citra

Pengkoreksian citra satelit termasuk dalam tahap pra pengolahan citra, dimana dalam prosesnya dikenal 2 koreksi, yaitu koreksi geometrik dan koreksi radiometrik.

1. Koreksi geometrik merupakan upaya untuk menghilangkan distorsi geometrik citra asli yang disebabkan oleh sifat-sifat sensor dan geometrik, sifat platform, dan topografis bumi (Atmadilaga, 2014).
2. Koreksi radiometrik merupakan prosedur untuk memperbaiki atau mengkalibrasi penyimpangan-penyimpangan dalam nilai-nilai data karena distorsi efek atmosfer atau kesalahan instrumentasi dalam data penginderaan jauh (Atmadilaga, 2014).

2.4.2 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan suatu set teknik pengolahan citra dengan menerapkan metode kuantitatif pada nilai-nilai objek untuk mengelompokkan piksel ke dalam nilai-nilai bilangan digital sehingga masuk dalam kelas digital (Atmadilaga, 2014). Klasifikasi citra terbagi atas tiga cara yaitu (Sukojo, 2012);

1. Klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*)

Klasifikasi nilai pixel didasarkan pada contoh daerah yang diketahui jenis objek nilai spektralnya. Objek dipermukaan bumi dikenal pengamat/penilai baik secara langsung di lapangan atau didapatkan dari data sekunder/statistik (peta, tabel, laporan dan sebagainya) (Sukojo, 2012).

2. Klasifikasi tak terbimbing (*Unpervised Classification*)

Klasifikasi tak terbimbing merupakan klasifikasi tanpa menggunakan daerah contoh yang diketahui jenis objek dan nilai spektralnya, jadi hanya didasarkan pada perkiraan atau asumsi saja (Sukojo, 2012). Klasifikasi tak terbimbing secara otomatis diputuskan oleh komputer, tanpa campur tangan operator (kalaupun ada, proses interaksi ini sangat terbatas) (Danoedoro, 2012).

3. Klasifikasi gabungan/hibrida (*Hybride Classification*)

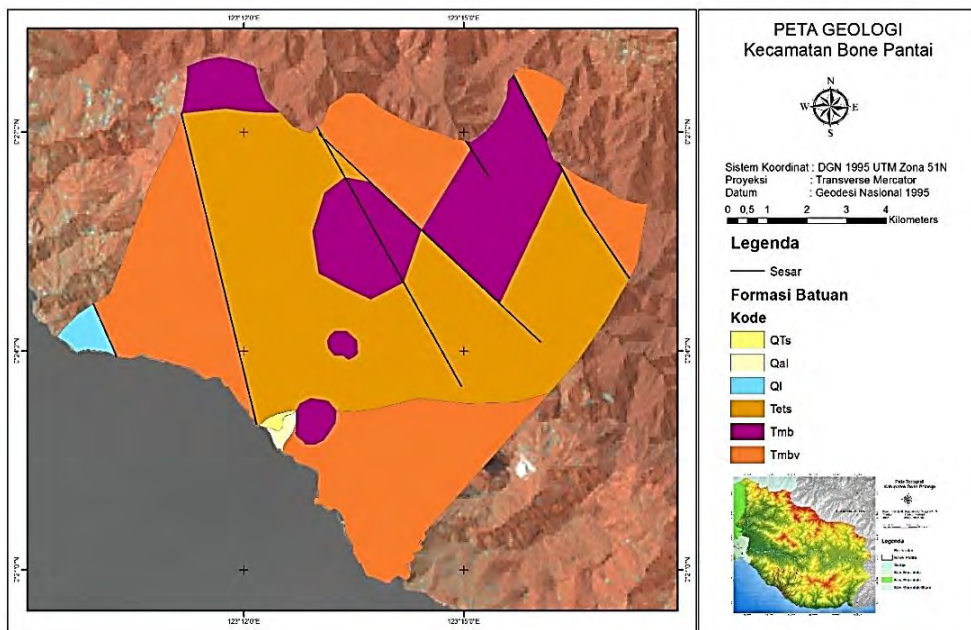
Klasifikasi jenis ini merupakan gabungan klasifikasi terbimbing dan tidak terbimbing.

2.4.3 Ground Truth

Ground truth merupakan pengukuran atau pengamatan langsung dipermukaan bumi. Data dikumpulkan melalui peralatan atau personil di lapangan dengan tujuan memferifikasi penafsiran data pengindraan jauh. Hasil analisis data tergantung pada informasi dari lapangan. *Ground truth* memberikan ketelitian antara citra dan keadaan sebenarnya di lapangan (Atmadilaga, 2014).

Schleier dkk, menggunakan data hasil pemetaan longsor dilapangan (*ground truth*) tingkat kerentanan longsor dalam menguji hasil pemodelan longsor di daerah Xiangxi (Schleier, Bi, Rohn, Ehret, & Xiang, 2014). Mondal dan Maiti juga menggunakan data *ground truth* posisi longsor menggunakan GPS dalam menilai kebenaran hasil pengolahan data tingkat kerentanan longsor di DAS Shivkhola (Mondal & Maiti, 2012). Data *ground truth* digunakan dalam menguji akurasi hasil pemetaan dengan menggunakan *confusion matrix* (Mancini et al., 2010; Schleier et al., 2014).

2.5 Geologi Regional Bone Pantai



Gambar 2.7 Peta Geologi Kecamatan Bone Pantai

Bone Pantai tersusun atas formasi(Apandi, T. Bacri, 1997) :

1. Molasa Selebes (QTs) (Sasrain & Sarsain, 1901): Merupakan endapan pasca orogen yang terbentuk di cekungan-cekungan kecil, terdiri atas konglomerat, breksi, serta batu pasir, umumnya termampatkan lemah. Konglomerat dan breksi tersusun oleh aneka bahan komponen berupa kepingan andesit, basal, granit, drandidiorit, batu gamping, batu pasir maupun kuarsa. Satuan ini menungkkukan kemiringan landai samapi 30°, tebalnya mencapai bebepa puluh meter.
2. Aluvium dan endapan pantai (Qal) : Pasir, lempung, lumpur, kerikul, dan kerakal
3. Batu gamping terumbu (Ql) : Batu gamping terumbu terangkat dan batugamping klastik dengan komponen utama koral berlapis.
4. Formasi Tinombo Fasies Sedimen (Tets) (Ahlburg, 1913) : Serpih dan batu pasir dengan sisipan batu gamping dan rijang. Serpih kelabu dan merah, getas, sebagian gamping; rijang mengandung radiolaria. Batu pasir berupa grewake dan batu pasir kuarsa, kelabu dan hijau, pejal, berbutir halus sampai sedang, sebagian mengandung pirit. Satian ini mempunyai hubungan menjemari dengan Formasi Tinombo fasies gunungapi. Tebal formasi diduga lebih dari 1000 meter.
5. Diorit Bone (Tmb) : Diorit kuarsa, diorit, granodiorit, granit. Diorit kuarsa banyak dijumpai di daerah S.Taludaa, degnan keragaman diorit, granodiorit dan granit. Sedang granit utamanya dijumpai di daerah S. Bone. Satuan ini menerobos Batuan Gunungapo Bilungala maupun Formasi Tinombo.
6. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv) : Breksi, tuf dan lava bersusunan andesit, dasit, dan riolit. Zeolit dan kalsit sering dijumpai pada kepingan batuan penyusun breksi. Tuf umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Di daerah pantai selatan dekat Bilungala, satuan ini dikuasai oleh lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit, dan dicirikan oleh warna alterasi kuning sampai coklat, mineralisasi pirit, perekahan yang intensif, serta banyak dijumpai batuan terobosan diorit. Propilitisasi, dan kloritisasi, dan epidotisasi banyak dijumpai pada lava. Tebal satuan diperkirakan lebih dari 1000 meter.

2.6 Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model (DEM) merupakan suatu model permukaan yang kontinyu seperti permukaan terrain (Atmadilaga, 2014). DEM digunakan untuk menginterpolasi ketinggian dari sembarang lokasi dengan menggunakan beberapa titik permukaan (x,y,z). DEM disebut geomofometri atau analisis digital terrain yang menggabungkan unsur ilmu bumi, teknik, matematika, statistik, dan ilmu komputer (Cees J van Westen et al., 2008).

Data DEM dapat digunakan untuk menurunkan faktor topografi, diantaranya elevasi, kemiringan lereng (*slope*), aspek kelerengan, bayangan bukit, kelengkungan kemiringan, kekasaran lereng, daerah lereng dan klasifikasi kualitatif bentang alam (Fernandez,2003 dalam Hong et al., 2007). Data DEM dapat juga digunakan untuk menurunkan parameter hidrologi (arah aliran, jalur aliran, dan cekungan dan jaringan cekungan sungai) (Hong et al., 2007).

DEM yang digunakan dalam penelitian ini adalah *the Nation Aeronautics and Space Administration* (SRTM) dan *the Advanced Land Observation Satellite* (ALOS). SRTM digunakan untuk menghasilkan peta topografi, ALOS digunakan untuk menghasilkan peta inventaris longsor.

2.6.1 SRTM

Pada tahun 2004 NASA (*the Nation Aeronautics and Space Administration*) merilis SRTM (*the Shuttle Radar Topography Mission*) untuk merekam data topografi beberapa daerah, dengan resolusi spasial 3' (90 meter) untuk dunia, dan 1' (30 meter) untuk AS. (Jarvis et al., 2004).

SRTM dapat digunakan dalam analisa bahaya dan resiko bencana. SRTM memiliki akurasi vertikal yang relatif rendah, sehingga tidak dapat digunakan dalam analisa bencana skala besar (peta skala besar) (Westen, 2013). Data SRTM digunakan dalam penelitian ini karena memiliki akurasi vertikal yang sedikit lebih baik dari ASTER GDEM dan ASTER GDEM2 (Suwandana et al. 2012; Frey and Paul 2012; Szabó et al., 2015). Hasil penelitian lainnya mencatat SRTM lebih digunakan dalam pemetaan rawan longsor dibandingkan dengan ASTER GDEM (Frey & Paul, 2012).

2.6.2 Alos Palsar DEM

The Advanced Land Observation Satellite (ALOS) merupakan satelit yang diluncurkan oleh lembaga antariksa Jepang (*The Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA)) pada tanggal 24 Januari 2016. ALOS membawa sensor radar dan optik (Hashimoto, at. al., 2010; Shimada, at. al., 2008). Semua sensor ALOS berfungsi pada bulan Mei 2006. Salah satu sensor *the phased-array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) dapat mendeteksi deformasi dengan baik (Shimada et al., 2008).

2.7 LANDSAT 8

Landsat 8 (L8) diluncurkan pada 11 Februari 2013 dan mulai beroperasi pada 30 Mei 2013. L8 memiliki resolusi temporal 16 hari dan melewati katulistiwa pada jam 10.00. L8 OLI (*The Operational Land Imager*) memiliki 8 kanal dengan spesifikasi seperti pada tabel 2.8 (Vanhellemont and Ruddick, 2014).

Tabel 2.8 Panjang gelombang, Resolusi Spasial, *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan Reflektan tiap kanal L8/OLI

Kanal	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)	SNR tiap Reflektan L	Reflektan L ($W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$)
1 (Koastal/Aerosol)	433 – 453	30	232	40
2 (Biru)	450 – 515	30	355	40
3 (Hijau)	525 – 600	30	296	30
4 (Merah)	630 – 680	30	222	22
5 (NIR)	845 – 885	30	199	14
6 (SWIR 1)	1560 – 1660	30	261	4
7 (SWIR 2)	2100 – 2300	30	326	1,7
8 (PAN)	500 – 680	15	146	23
9 (CIRRUS)	1360 – 1390	30	162	6

Sumber: Irons et al. 2012; Vanhellemont & Ruddick, 2014

2.8 NDVI

Normal Differential Vegetation Indeks (NDVI) adalah algoritma sederhana yang dapat digunakan untuk menganalisa pengukuran menggunakan pengindraan jauh dan menilai objek yang diamati mengandung vegetasi hijau atau tidak (Westen, 2013). Nilai NDVI dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5 berikut (Hong at al., 2015; Pirotti et al., 2014; Pradhan & Lee, 2007, 2010).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (2.5)$$

dimana:

ρ_{NIR} = Reflektan gelombang inframerah dekat (*near infrared*)

ρ_R = Reflektan gelombang merah

Daerah yang memiliki vegetasi rapat dinyatakan dengan nilai NDVI yang tinggi, hal ini dikarenakan konsentrasi klorofil yang tinggi menyebabkan reflektan kanal merah lebih kecil dibandingkan reflektan kanal inframerah dekat (NIR)(Pradhan & Lee, 2007, 2010).

Terdapat korelasi yang tinggi antara nilai NDVI dengan terjadinya longsor (H. Hong et al. 2015; Chou at al, 2009; Yang at al. 2013; Falahnsia and Taufik, 2014). Salah satu fitur penting lainnya yang dapat diamati di tanah setelah terjadinya tanah longsor adalah hilangnya vegetasi, dan paparan batuan segar dan tanah. Perubahan tutupan lahan menyebabkan peningkatan kecerahan lokal pada piksel, dan dapat sangat baik direpresentasikan oleh NDVI, yang sensitif terhadap rendahnya tingkat perubahan vegetasi (Falahnsia & Taufik, 2014).

2.9 Uji Akurasi

Peta tingkat kerentanan longsor dapat diuji akurasinya dengan menggunakan indeks kappa (Akgun et al., 2008). Kappa merupakan metode statistik yang bertujuan mengevaluasi tingkat perbedaan/persamaan antara dua buah peta tematik maupun peta tematik dengan data lapangan (*ground truth*) (Foody, 2004; Mondal & Maiti, 2012). Indeks kappa \hat{k} (dinyatakan oleh persamaan 2.6 berikut (Foody, 2004).

$$\hat{k} = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \quad (2.6)$$

dengan

p_o = Persentase jumlah pengukuran yang konsisten antar rater

p_c = Persentasi jumlah perubahan pengukuran antar rater

indeks kappa sama dengan 1 menunjukkan kesamaan yang sempurna antara dua buah peta tematik maupun peta tematik dengan data *ground truth* (Carstensen, 1987).

Selain kappa, juga terdapat indeks akurasi lainnya yaitu (Wicaksono, 2010); (i) *overall accuracy* (A), (ii) *producer accuracy* (PA), (iii) *Error omission* (O), (iv) *User accuracy* (UA), dan (v) *Error commission* (C).

1. *Overall accuracy* (A) merupakan total akurasi dari hasil pengolahan data (Persamaan).

$$A(\%) = \frac{P}{n} \times 100\% \quad (2.7)$$

dengan;

p = jumlah sampel piksel yang terklasifikasi secara benar

n = jumlah sampel piksel yang di uji akurasi

2. *Producer accuracy* (PA) merupakan pengujian akurasi kelas hasil *grond truth*.

$$PA(\%) = \frac{P_c}{n_c} \times 100\% \quad (2.8)$$

dengan;

p_g = jumlah sampel *ground truth* pada satu kelas yang terklasifikasi secara benar

3. *Error omission* (O) merupakan persen kesalahan hasil *ground truth* pada tiap kelas.

$$O(\%) = 100\% - PA \quad (2.9)$$

4. *User accuracy* (UA) merupakan pengujian akurasi setiap kelas hasil pengolahan data.

$$UA(\%) = \frac{P_o}{n_-} \times 100\% \quad (2.10)$$

dengan;

p_g = jumlah sampel piksel hasil pengolahan data pada satu kelas yang terklasifikasi secara benar

5. *Error commission* (C) merupakan persen kesalahan hasil pengolahan data pada tiap kelas

$$O(\%) = 100\% - UA \quad (2.11)$$

2.10 Penelitian Terdahulu

Yalcin (2008) melakukan studi perbandingan metode penentuan zona rentan longor di Ardesen (Turki) menggunakan metode AHP, *statistical index* (Wi), dan *weighting factor* (Wf). Hasil analisa menunjukkan kesesuaian zona rentan longor menggunakan metode AHP, Wi, dan Wf secara berturut-turut adalah 81,3%, 62,5%, dan 68,8%.

Khezri (2011) menganalisa kerentanan longor pada cekungan Zab menggunakan metode AHP dan GIS. Data lokal yang digunakan meliputi: kemiringan, aspek kemiringan, jarak ke jalan, jarak ke jaringan drainase, penggunaan lahan dan tutupan lahan, faktor geologi, geomorfologi dan karakteristik kondisi iklim daerah. Berdasarkan analisa cekungan selatan yang paling rentan terhadap tanah longor.

Akgun dkk (2008) melakukan studi perbandingan *metode likelihood frequency ratio model* (LRM) dan *weighted linear combination* (WLC) dalam menganalisa zona kerentanan longor di Findikli Turki. Data yang digunakan sebagai parameter pemicu longor meliputi; sudut kemiringan, aspek kemiringan, litologi, jarak dari saluran drainase, jarak dari jalan dan tutupan lahan.

Yoshimatsu, dkk (2006) menggunakan metode AHP dalam penentuan topografi yang rawan longor. Metode ini memberikan skor untuk masing-masing mikro topografi daerah rawan longor menggunakan foto udara serta menilai kerentanan longor dari skor total. Metode ini juga dikombinasikan dengan simulasi *sliding mass runout* untuk peringatan dini bencana longor. Hasil penelitian menunjukkan metode AHP dikombinasikan dengan simulasi *sliding mass runout* dapat digunakan untuk menentukan daerah rawan longor dan panjang gelincir, sehingga dapat memaksimalkan mitigasi bencana longor.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu;

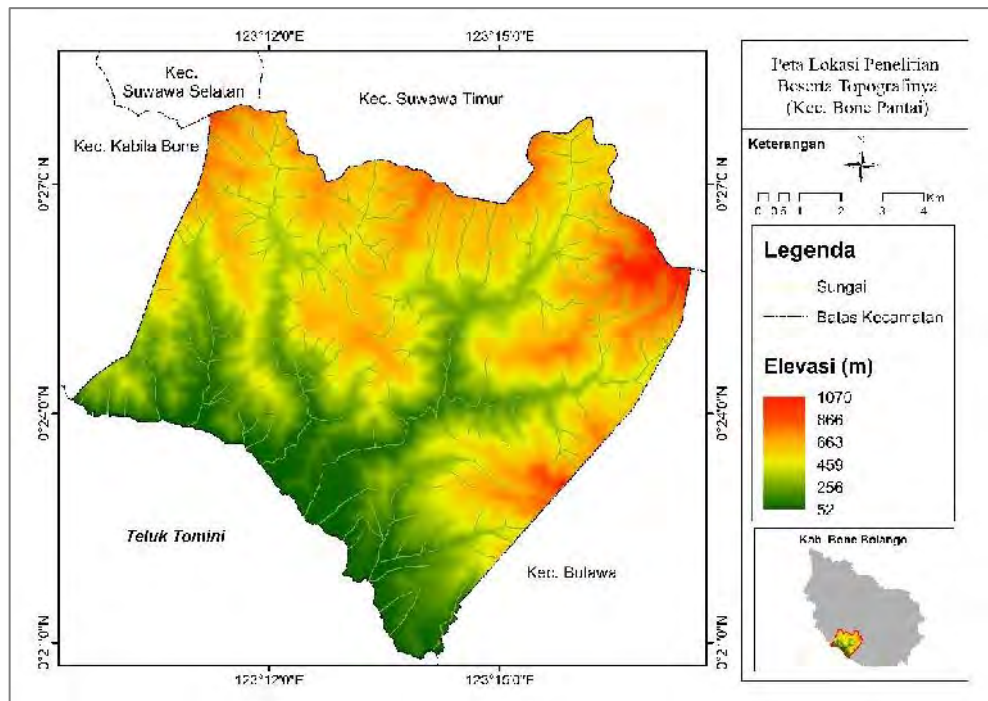
1. Menggunakan kombinasi metode WLC dan AHP
2. Variabel penelitian menggunakan; elevasi, kemiringan lereng, aspek kemiringan lereng, NDVI, jarak dari jalan, jarak dari sungai, dan formasi batuan
3. Lokasi penelitian di Kec. Bone Pantai, dimana belum pernah dilakukan penelitian serupa pada Kecamatan tersebut.
4. Data yang digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODA PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Bone Pantai Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo ($0^{\circ}21'0''$ - $0^{\circ}28'0''$ LU dan $123^{\circ}9'30''$ - $123^{\circ}17'30''$ BT). Kecamatan ini memiliki topografi beragam dari dataran rendah hingga pegunungan.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama 5 bulan setelah proposal penelitian di setujui (Mei - Juni 2016).

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Tabel 3.1 Data Dan Sumber Data

No	Jenis Data	Sumber	Keterangan
1	Administrasi Kecamatan Bone Pantai	Pemerintah daerah Kab. Bone Bolango	Format SHP Skala 1:50.000
2	DEM	- SRTM : http://earthexplorer.usgs.gov/ - Alos Palsar DEM : https://vertex.daac.asf.alaska.edu/	- SRTM : Akusisi data 11 Februari tahun 2000 - Alos Palsar DEM: akuisisi data 22 Januari 2007 dan 25 Januari 2008
3	Citra satelit Landsat 8	http://earthexplorer.usgs.gov/	File : LC81130602015084LGN00
4	Peta Geologi lembar Kotamobagu	Pusat penelitian dan pengembangan geologi	Format JPG Skala 1:250.000 Sistem koordinat UTM zona 51 M Bessel Spheroid
5	Peta Jaringan Sungai	Hidrografi - RBI http://portal.ina-sdi.or.id/	Skala 1:50.000

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah;

1. Perangkat Keras

a. Kamera digital

Kamera digital digunakan untuk dokumentasi pengambilan data lapangan yang kemudian akan dibandingkan dengan data yang telah diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan SIG.

b. Seperangkat Komputer/Laptop

Komputer/Laptop digunakan sebagai perangkat pengolah data

2. Perangkat Lunak

a. arcGIS 10.3

Software arcGIS 10.3 digunakan dalam pengolahan data-data spasial.

b. Ms. Office

Ms. Office digunakan dalam pengolahan data nonspasial (ms.Excell) dan penulisan laporan akhir.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dibagi atas empat tahap yaitu; 1) tahap persiapan, 2) pengolahan data, 3) analisa, dan 4) tahap penyusunan laporan.

1. Tahap Persiapan

Tahapan persiapan terdiri dari identifikasi dan perumusan masalah, studi literatur serta pengumpulan data. Identifikasi masalah bertujuan mencari pokok permasalahan, sedangkan studi literatur bertujuan untuk mengetahui metode-metode yang pernah digunakan dalam pemecahan masalah. Dari hasil studi literatur dapat diketahui data-data yang dibutuhkan dan kemudian mengumpulkannya.

2. Tahap Pengolahan data

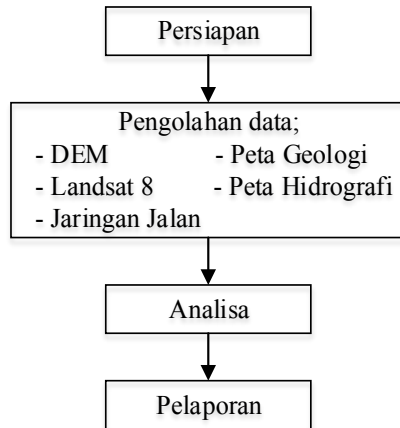
Pada tahapan ini, data-data yang telah dikumpulkan dari tahap persiapan (DEM, Landsat 8, Jaringan Jalan, Peta Geologi, Hidrografi) selanjutnya diolah dengan menggunakan metode WLC-AHP sehingga mendapatkan hasil sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian.

3. Tahapan analisa

Pada tahapan analisa ini, hasil yang diperoleh dari tahapan pengolahan data dianalisa dengan membandingkan data yang diperoleh dari lapangan, sehingga diperoleh keakuratan hasil pengolahan data.

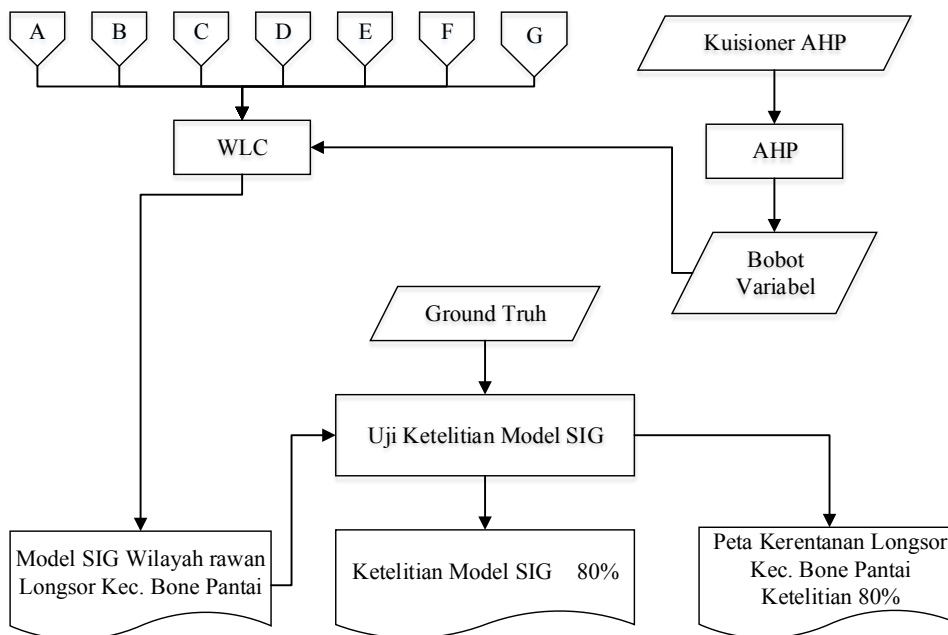
4. Tahap penyusunan laporan

Pada tahap ini semua kegiatan penelitian disusun dalam bentuk laporan.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Proses WLC – AHP



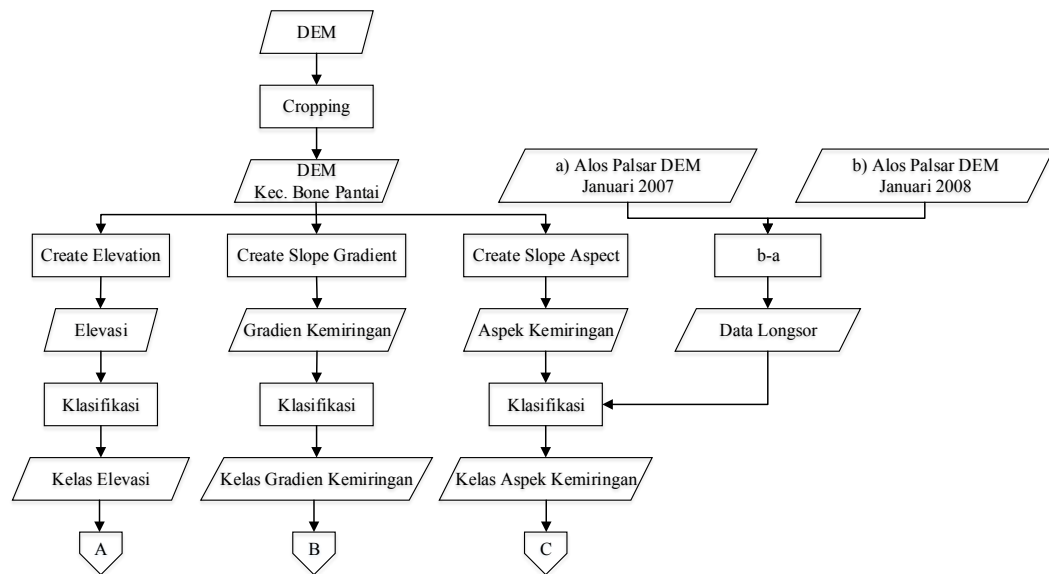
Gambar 3.3 Diagram alir proses WLC-AHP

Berikut ini penjelasan diagram alir proses pengolahan data menggunakan metode WLC-AHP;

1. Melakukan pengambilan data kuesioner AHP ke berbagai bidang keilmuan/keahlian yang kompeten dalam mengamati longsor.
2. Melakukan pembobotan dari setiap variabel penelitian menggunakan metode AHP.

3. Mengolah semua variabel penelitian dengan menggunakan metode WLC menghasilkan model SIG tingkat kerentanan longsor.
4. Melakukan uji ketelitian dengan membandingkan hasil pengolahan data dengan data lapangan (*ground truth*).
5. Hasil akhir dari pengolahan dan analisa data berupa model SIG, peta kerentanan longsor kecamatan bone pantai, dan tingkat ketelitian keduanya.

3.3.2 Pengolahan data DEM



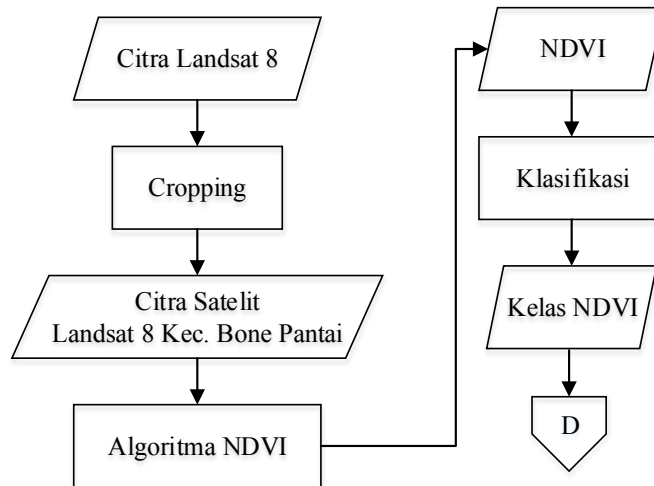
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan data DEM

Data SRTM-DEM diolah menjadi variabel kelas elevasi, kelas kemiringan, dan kelas aspek kemiringan seperti tampak pada gambar 3.4. Berikut ini uraian pengolahan data DEM;

1. DEM awalnya dipotong (*cropping*) sesuai daerah penelitian (Kec. Bone Pantai)
2. Hasil pemotongan citra diolah menjadi elevasi, kemudian dilakukan klasifikasi ketinggian sesuai tabel 3.2
3. Hasil pemotongan citra diolah menjadi gradien kelerengan, kemudian dilakukan klasifikasi gradien kelerengan sesuai tabel 3.2
4. Hasil pemotongan citra diolah menjadi aspek kelerengan, kemudian dilakukan klasifikasi aspek kelerengan sesuai tabel 3.2

5. Melakukan perhitungan perubahan elevasi menggunakan data DEM sentinel 1B dengan cara mengurangkan data Alos Palsar DEM Januari 2007 dan Januari 2008.
6. Mereklasifikasi aspek kelerengan menggunakan data perubahan elevasi.

3.3.3 Pengolahan data Landsat 8

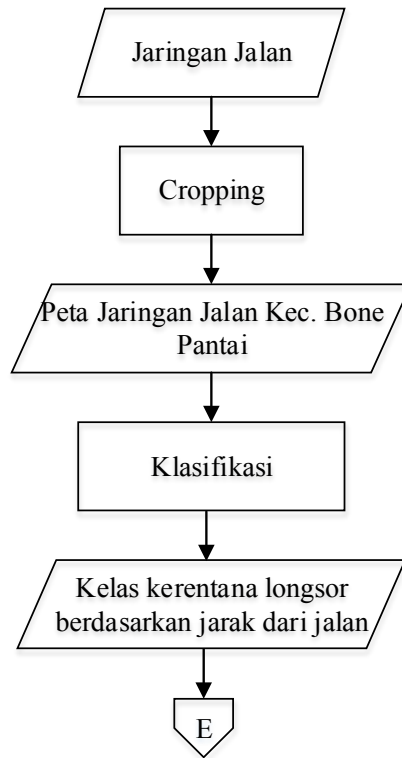


Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data Landsat 8

Berikut ini penjelasan diagram alir pengolahan data landsat menjadi kelas tutupan lahan;

1. Citra satelit landsat yang digunakan adalah citra satelit landsat 8 terkoreksi geometric dan radiometrik
2. Citra yang telah terkoreksi dipotong sesuai area penelitian (*cropping*)
3. Hasil pemotongan citra kemudian dilakukan perhitungan algoritma NDVI menggunakan Persamaan 2.5
4. Hasil perhitungan NDVI kemudian diklasifikasi sesuai dengan tabel 3.2 sehingga menjadi kelas tutupan lahan.

3.3.4 Pengolahan data jaringan jalan

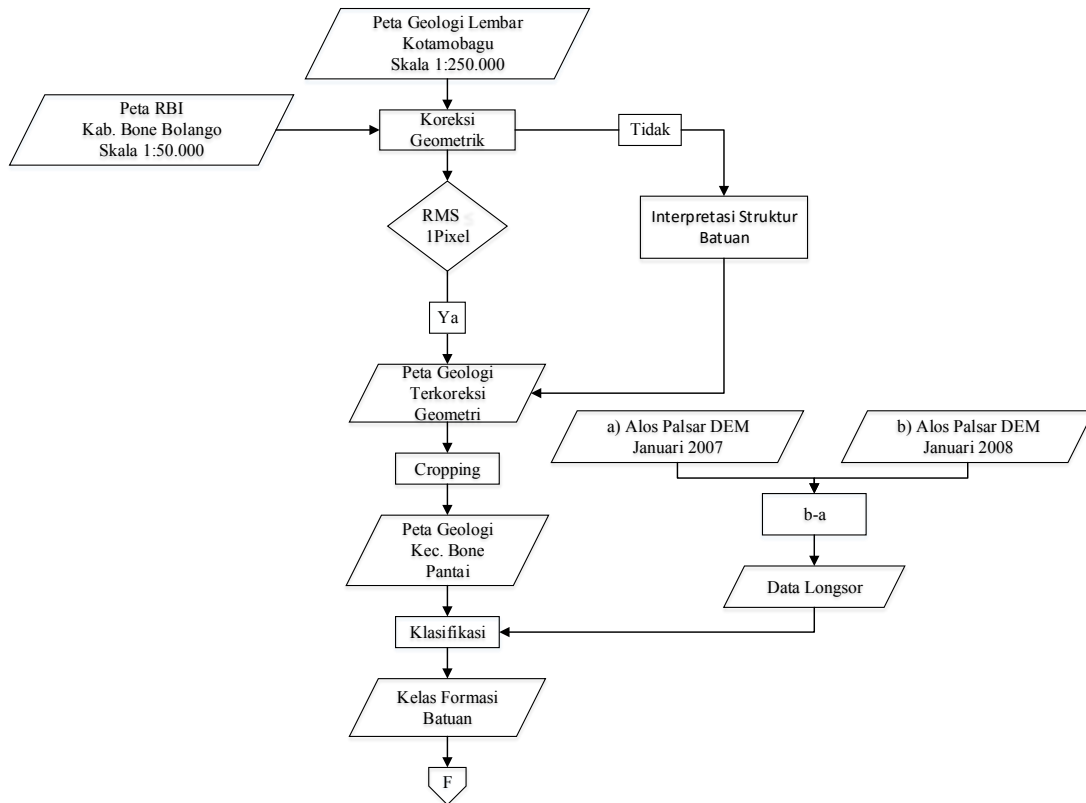


Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data Jaringan Jalan

Berikut ini penjelasan diagram alir pengolahan data jaringan jalan;

1. Data yang digunakan adalah peta jaringan jalan skala 1:50.000 Wilayah Provinsi Gorontalo. Data yang dibutuhkan hanya data Kecamatan Bone Pantai, sehingga perlu dilakukan pemotongan (*cropping*) data.
2. Data yang telah dipotong sesuai daerah penelitian (Kec. Bone Pantai), kemudian diklasifikasikan (*classify*) sesuai tabel 3.2

3.3.5 Pengolahan data peta geologi

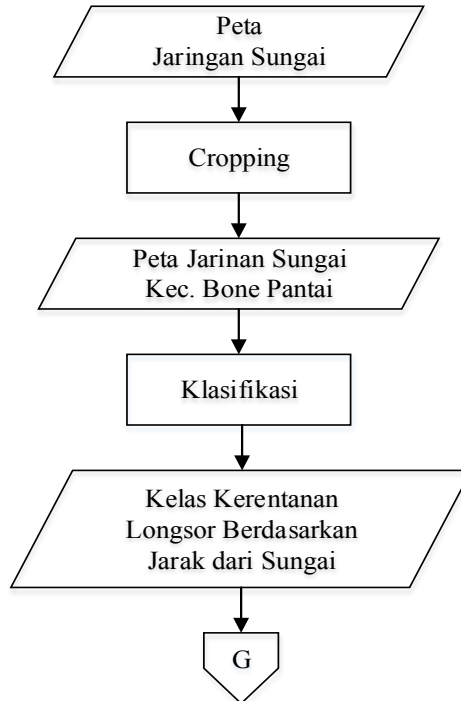


Gambar 3.7 Diagram Alir Pengolahan Peta Geologi

Berikut ini penjelasan diagram alir pengolahan data peta geologi;

1. Data yang digunakan adalah peta geologi lembar Kotamobagu dengan format raster (jpg) yang belum memiliki koordinat dalam lembar kerja, sehingga perlu dilakukan koreksi geometri. Syarat koreksi geometri adalah $RMSE \leq 1$ Pixel, jika tidak memenuhi maka dilakukan interpretasi formasi batuan menggunakan citra satelit landsat dan SRTM DEM.
2. Setelah proses georeferencing selesai maka peta geologi dipotong (*cropping*) sesuai daerah penelitian (Kec. Bone Pantai).
3. Pengklasifikasian peta geologi berdasarkan formasi batumannya.
4. Melakukan perhitungan perubahan elevasi menggunakan data DEM sentinel 1B dengan cara mengurangkan data Alos Palsar DEM Januari 2007 dan Januari 2008.
5. Melakukan reklasifikasi formasi batuan menggunakan data perubahan elevasi.

3.3.6 Pengolahan data Peta Jaringan Sungai



Gambar 3.8 Diagram Alir Pengolahan Data Peta Jaringan Sungai

Berikut ini penjelasan diagram alir pengolahan data peta jaringan sungai;

1. Data yang digunakan adalah peta jaringan sungai skala 1:50.000 Wilayah Provinsi Gorontalo. Data yang dibutuhkan hanya data Kecamatan Bone Pantai, sehingga perlu dilakukan pemotongan (*clipping*) data.
2. Data yang telah dipotong sesuai daerah penelitian (Kec. Bone Pantai), kemudian diklasifikasikan (*classify*) sesuai tabel 3.2

Tabel 3.2 Klasifikasi dan Skoring Variabel Penelitian

No	Variabel	Kriteria	Skoring
1	Ketinggian (m)	0 – 500	1
		500 – 1000	2
		1000 – 1500	3
		1500 – 2000	4
		> 2000	5
2	Gradien Kelerengan	0 ⁰ – 20 ⁰	1
		20 ⁰ – 40 ⁰	2
		40 ⁰ – 60 ⁰	3
		60 ⁰ – 80 ⁰	4
		80 ⁰ - 100 ⁰	5
3	Aspek Kelerengan	Datar	1
		0 ⁰ – 45 ⁰	2
		45 ⁰ – 90 ⁰	3
		90 ⁰ – 135 ⁰	4
		135 ⁰ – 180 ⁰	5
		180 ⁰ – 225 ⁰	6
		225 ⁰ – 270 ⁰	7
		270 ⁰ – 315 ⁰	8
		315 ⁰ – 359 ⁰	9
4	Jalan (m)	0 – 30	5
		30 – 60	4
		60 – 90	3
		90 – 120	2
		120 – 150	1
5	Sungai (m)	0 – 30	5
		30 – 60	4
		60 – 90	3
		90 – 120	2
		120 – 150	1
4	Vegetasi (NDVI)	-1 – 0	5
		0 – 0,25	4
		0,25 – 0,50	3
		0,50 – 0,75	2
		0,75 – 1,00	1

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

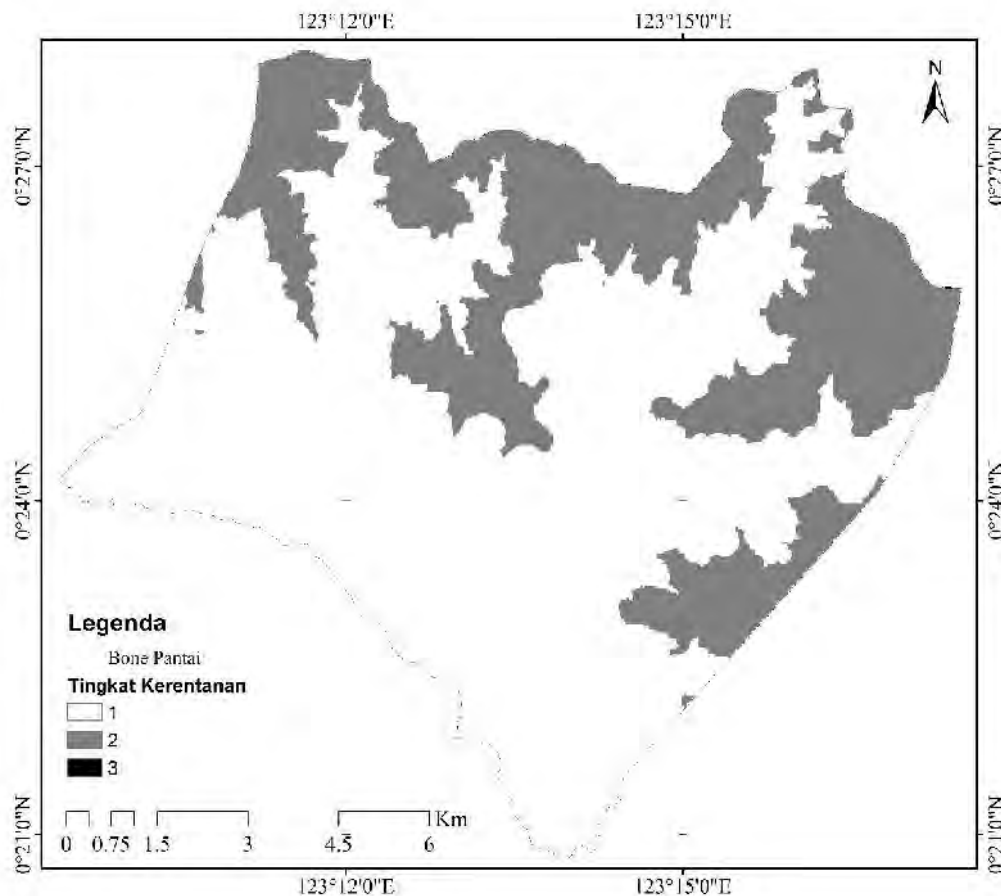
4.1 Hasil

4.1.1 Pengolahan data DEM

Data DEM digunakan untuk memperoleh kelas elevasi, kelas kelereng (*slope*), dan kelas aspek kemiringan.

a. Pengolahan data kelas elevasi

Elevasi merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya longsor. Elevasi dibagi menjadi lima kelas sesuai dengan tabel 3.2.



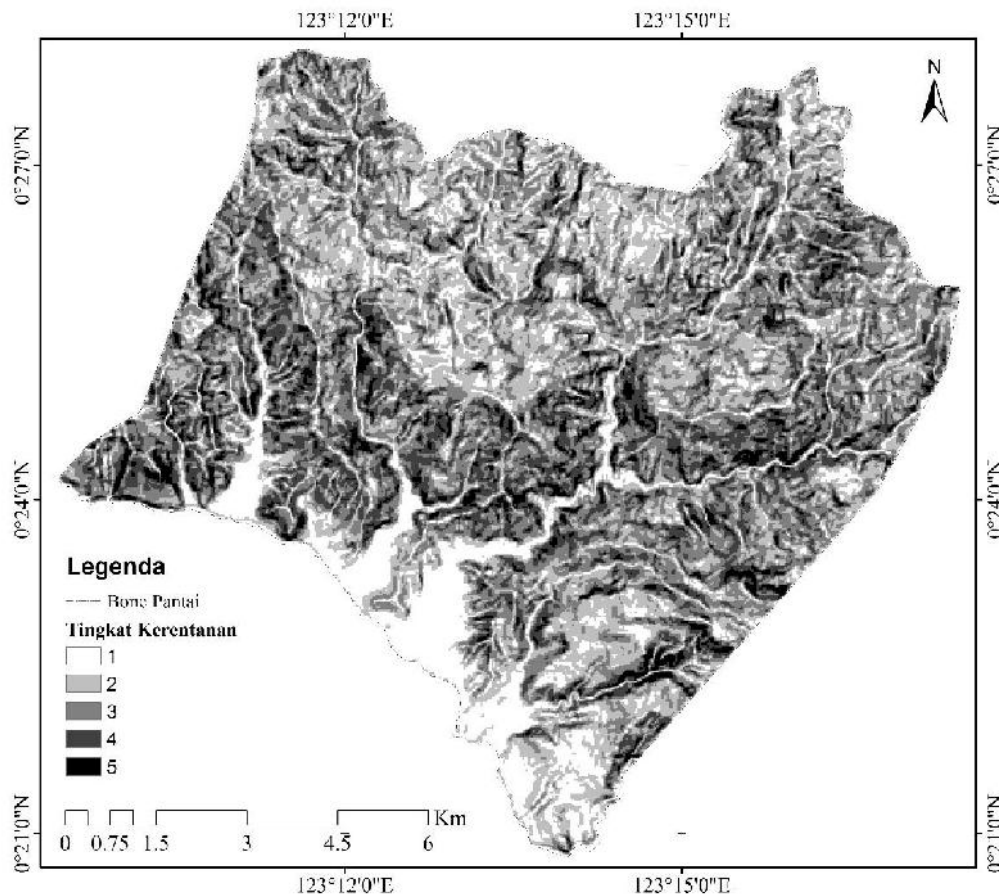
Gambar 4.1 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan elevasi

Berdasarkan hasil pengolahan ini diperoleh 3 kelas elevasi dari 5 pengklasifikasian, hal ini dikarenakan elevasi pada Kec. Bone Pantai tidak lebih

dari 1500 meter (Gambar 4.1). Hasil pengklasifikasian ini kurang baik dalam penentuan daerah rawan longsor dalam penelitian ini, karena hanya menghasilkan 3 kelas tingkat kerentanan longsor dan tingkat kerentanan longsor ke 3 (kerentanan longsor sedang) hanya diwakili oleh sebagian kecil piksel.

b. Pengolahan data kelas kelerengn

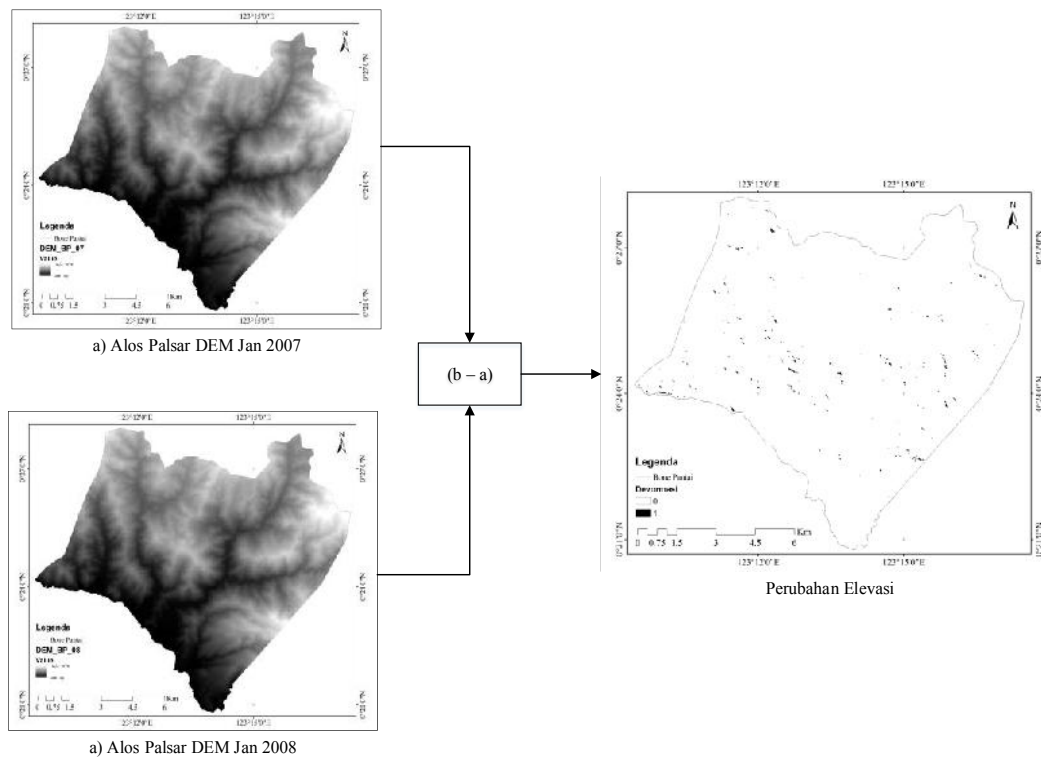
Longsor sering terjadi pada daerah dengan kelerengn lebih dari 30%, oleh karena itu kelerengn menjadi faktor yang harus diperhitungkan dalam penentuan tingkat kerentanan longsor suatu wilayah. Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengolahan data DEM menjadi kelas kelerengn seperti pada tabel 3.2.



Gambar 4.2 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan kemiringan lereng

c. Pengolahan data aspek kemiringan

Aspek kemiringan mempengaruhi besar terjadinya longsor. Data aspek kemiringan diperoleh dari pengolahan DEM. Kelas kemiringan lereng tidak ditinjau dari keselarasan antara kemiringan lereng dengan kemiringan batuan, hal ini dikarenakan area penelitian yang luas mencakup satu kecamatan. Penentuan kelas kemiringan diperoleh dari data perubahan elevasi menggunakan data Alos Palsar DEM Januari 2007 dan Januari 2008, karena dapat mencakup daerah yang luas, pengolahan data lebih cepat dan akurat (resolusi spasial ALOS Palsar DEM 10 meter).



Gambar 4.3 Pengolahan data perubahan elevasi

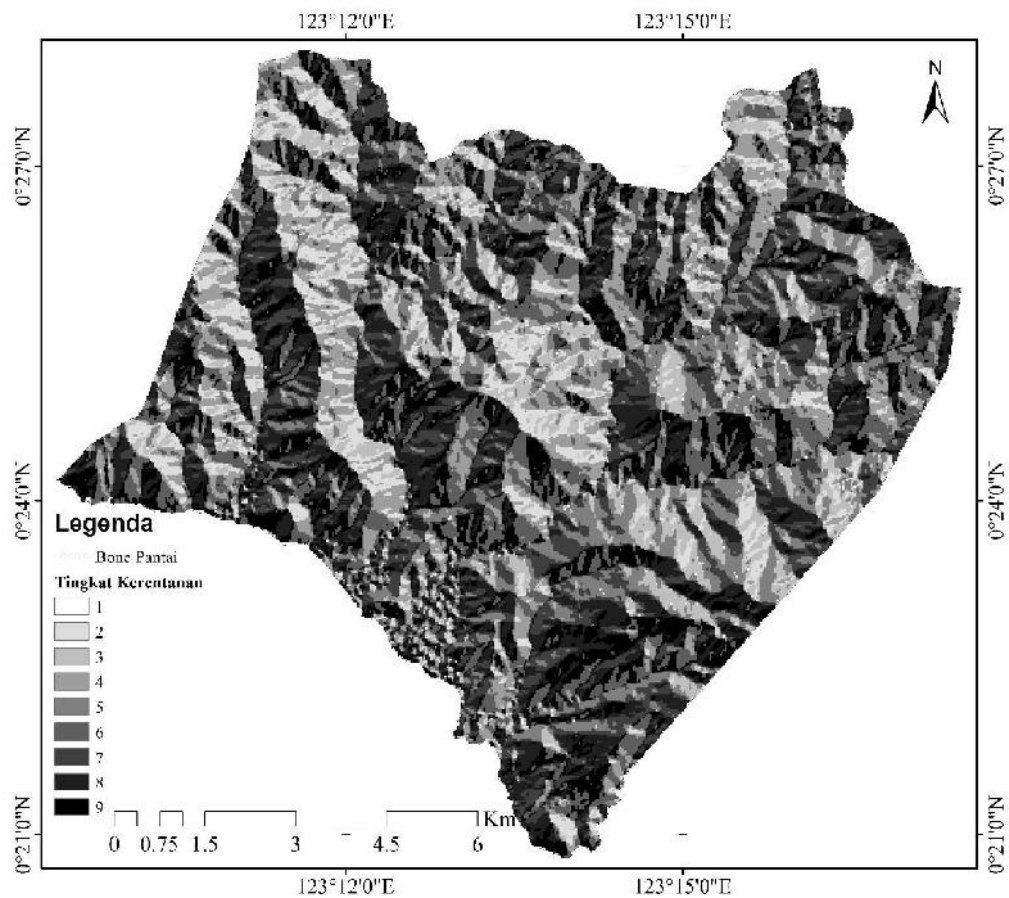
Data perubahan elevasi digunakan untuk mengetahui besar perubahan elevasi pada setiap aspek kemiringan lereng dan penyekoran longsor berdasarkan aspek kemiringan lereng. Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh seperti pada tabel 4.1. Data skor setiap aspek kemiringan lereng digunakan untuk pengklasifikasian aspek kemiringan lereng sesuai hasil pada Gambar 4.4.

Tabel 4.1 Hasil Skoring Kemiringan Lereng

Aspek Kemiringan	Luas Aspek Kemiringan		Luas Longsor		Densitas* (%)	Skor
	m ²	%	m ²	%		
Datar	280039,96	0,27	0,00	0,00	0,000	1
Utara	8329722,35	7,91	760,42	0,28	0,009	3
Timur Laut	9191049,50	8,73	210,91	0,08	0,002	2
Timur	13523343,79	12,84	2120,60	0,77	0,016	4
Tenggara	15234552,95	14,47	23348,24	8,52	0,153	6
Selatan	16373718,01	15,55	118996,12	43,43	0,727	9
Barat Daya	17299136,72	16,43	104162,54	38,02	0,602	8
Barat	14411256,02	13,69	24390,37	8,90	0,169	7
Barat Laut	10642112,42	10,11	4601,03	1,68	0,043	5

* Densitas : rasio antara luas longsor masing-masing aspek kemiringan dengan luas setiap tiap aspek kemiringan.

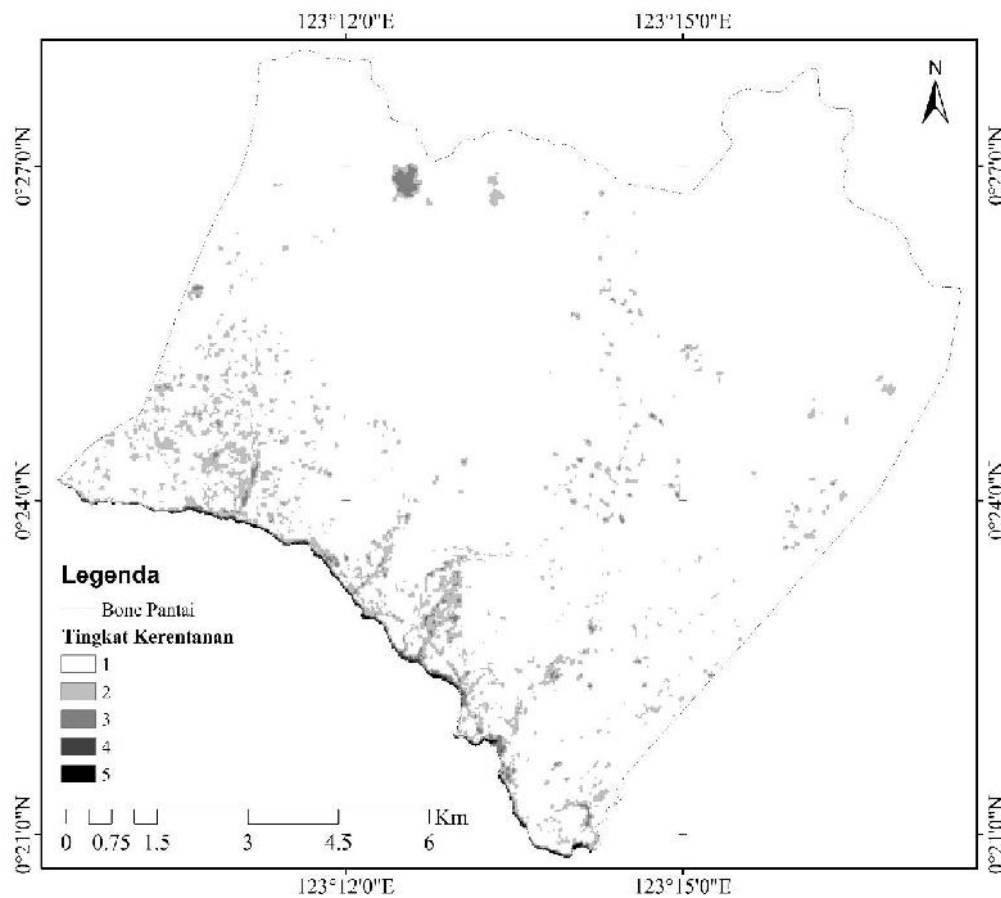
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa longsor sebagian besar terjadi pada lereng dengan aspek kemiringannya ke arah selatan, kemudian diikuti oleh arah barat daya dan barat dengan masing-masing densitas longsor sebesar 0,727%, 0,602%, dan 1,69%. Proses pemberian skor terhadap masing-masing didasarkan pada densitas longsor.



Gambar 4.4 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan aspek kemiringan

4.1.2 Pengolahan data Landsat 8

Citra satelit landsat 8 digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan berdasarkan kerapatan vegetasi. Semakin rapat vegetasi sebuah wilayah, semakin resisten terhadap terjadinya longsor. Kerapatan vegetasi diperoleh dengan menggunakan algoritma NDVI (Persamaan 2.5). Hasil algoritma NDVI diklasifikasikan sesuai Tabel 3.2.



Gambar 4.5 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan kelas NDVI

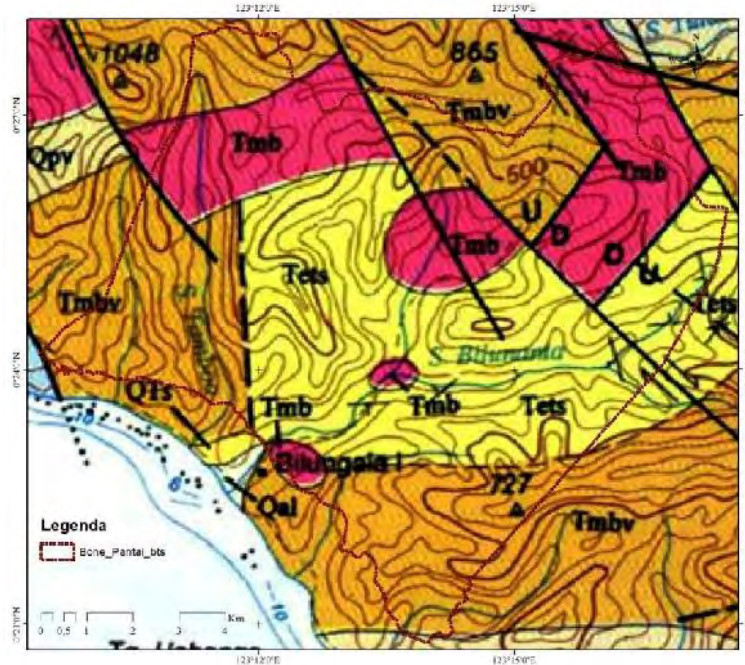
Nilai NDVI yang besar menggambarkan kepadatan vegetasi. Daerah yang memiliki vegetasi yang kurang rapat berpotensi longsor, sehingga klasifikasi NDVI menjadi parameter longsor merupakan inferens dari NDVI (Tabel 3.2, Gambar 4.5).

4.1.3 Pengolahan data peta geologi

Faktor geologi merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya longsor. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari peta Geologi lembar Kotamobagu.

Peta Geologi lembar Kotamobagu dikoreksi geometrik, hal ini bertujuan agar peta berada pada koordinat yang seharusnya. Pada proses ini tidak tercapai syarat koreksi geometrik yaitu $RMS \leq 1$ setelah dilakukan proses koreksi geometrik berulang-ulang. Hal ini dikarenakan peta geologi lembar Kotamobagu yang bersumber dari Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi memiliki geometri yang kurang baik. Koreksi geometrik tidak tercapai dengan baik maka dilakukan interpretasi

formasi batuan dan sesar menggunakan citra satelit landsat dan DEM-SRTM. Berdasarkan peta Geologi lembar Kotamobagu dan hasil interpretasi citra diperoleh hasil sesuai Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Hasil koreksi geometrik Peta Geologi Lembar Kotamobagu RMS = 40,77



Gambar 4.7 Hasil interpretasi sesar dan formasi batuan Kec. Bone Pantai berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Citra satelit Landsat 8, dan SRTM-DEM

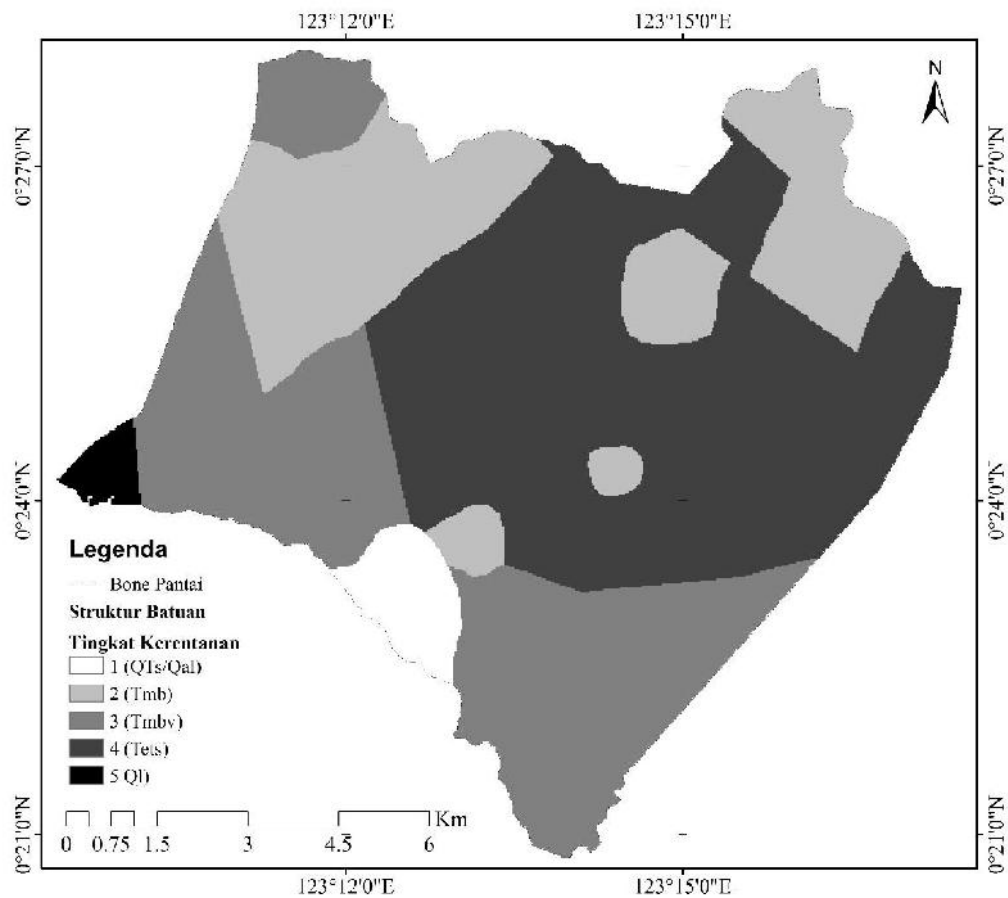
Data hasil interpretasi ini kemudian diberikan skor berdasarkan formasi batuan yang mudah mengalami longsor. Proses penyekoran formasi batuan sama dengan proses klasifikasi pada aspek kemiringan. Proses klasifikasi ini menggunakan data perubahan elevasi dari data Alos Palsar seperti pada gambar 4.3. Data perubahan elevasi digunakan untuk mengetahui penurunan permukaan tiap formasi batuan, dengan demikian formasi yang memiliki penurunan elevasi terbesar memiliki skor terbesar (mudah mengalami longsor). Hasil penyekoran dapat dilihat pada table 4.2 dan gambar 4.9.

Tabel 4.2 Hasil Klasifikasi Formasi Batuan

Struktur	Luas		Luas Longsor		Densitas* (%)	Skor
	m ²	%	m	%		
Ql	1187596,86	1,13	15218,65	5,46	1,28	5
Qts	1217837,02	1,16	0,00	0,00	0,00	1
Qal	2026406,63	1,92	0,00	0,00	0,00	1
Tmb	24191263,25	22,97	52068,67	18,68	0,22	2
Tmbv	32069220,97	30,45	79449,98	28,51	0,25	3
Tets	44639488,89	42,38	131980,76	52,65	0,30	4

* Densitas : rasio antara luas longsor masing-masing struktur batuan dengan luas setiap struktur batuan.

Tabel 4. 2 menunjukkan bahwa sebagian besar longsor terjadi pada formasi batuan Ql dengan densitas longsor sebesar 1,28% kemudian Tmb dan Tmbv masing masing dengan densitas sebesar 0,25% dan 0,22% Penyekoran formasi batuan didasarkan pada besar densitas longsor, semakin besar densitas longsor semakin besar peluang terjadinya longsor.



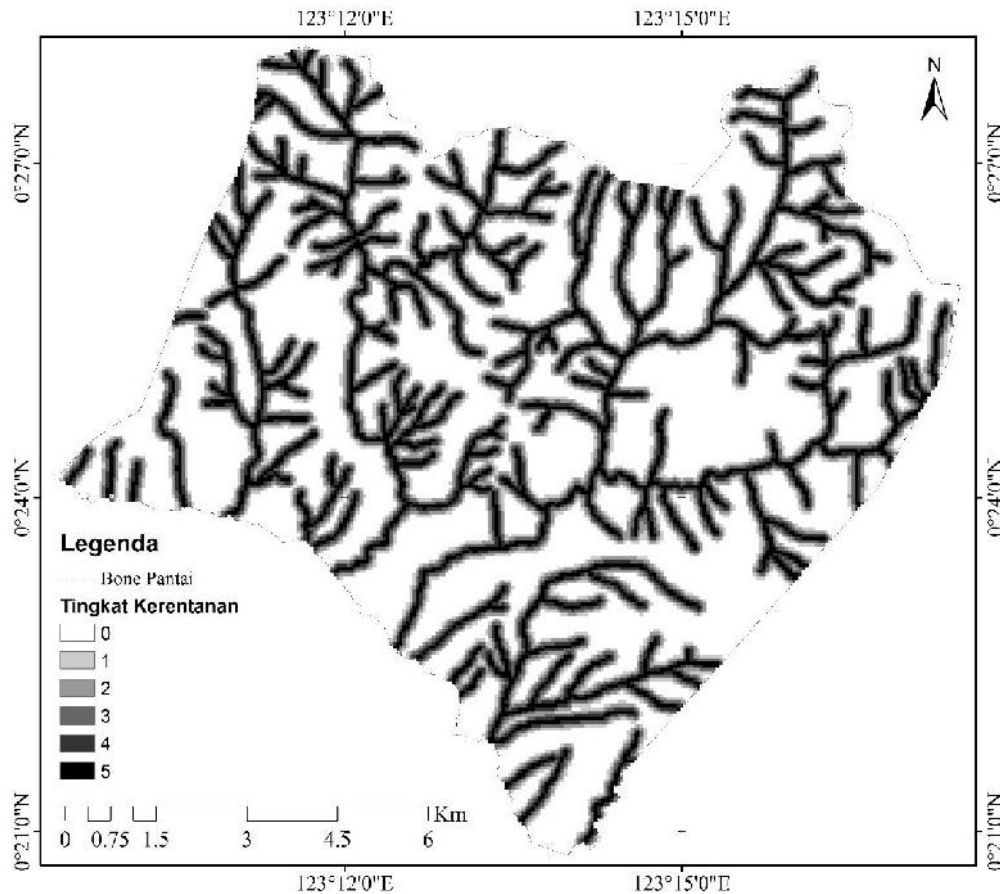
Gambar 4.8 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan formasi batuan

Hasil ini menunjukkan formasi batuan yang mudah mengalami longsor adalah formasi batuan Batu gamping terumbu (Q1), hal ini dikarenakan daerah tersebut merupakan pegunungan gamping-terumbu (*limestone mountains*) dan berada pada daerah sesar. Limestone mountains terbentuk karena terangkatnya daerah yang dahulunya daerah bawah laut. Proses pengangkatan ini terjadi perlahan, dan kemungkinan terjadi hingga saat ini. Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengukuran secara spesifik terhadap pergerakan lempeng, sehingga tidak diperoleh gambaran pengaruh besar pergerakan lempeng terhadap tingkat kerentanan longsor di daerah ini.

4.1.4 Pengolahan data peta jaringan sungai

Aliran air pada sungai merupakan salah satu pemicu terjadinya longsor, hal ini dikarenakan air yang mengerosi tanah dan batuan di tempat yang dilaluinya.

Data sungai diklasifikasikan sesuai jarak dari sungai (Tabel 3.2), hasilnya dapat terlihat pada Gambar 4.9.

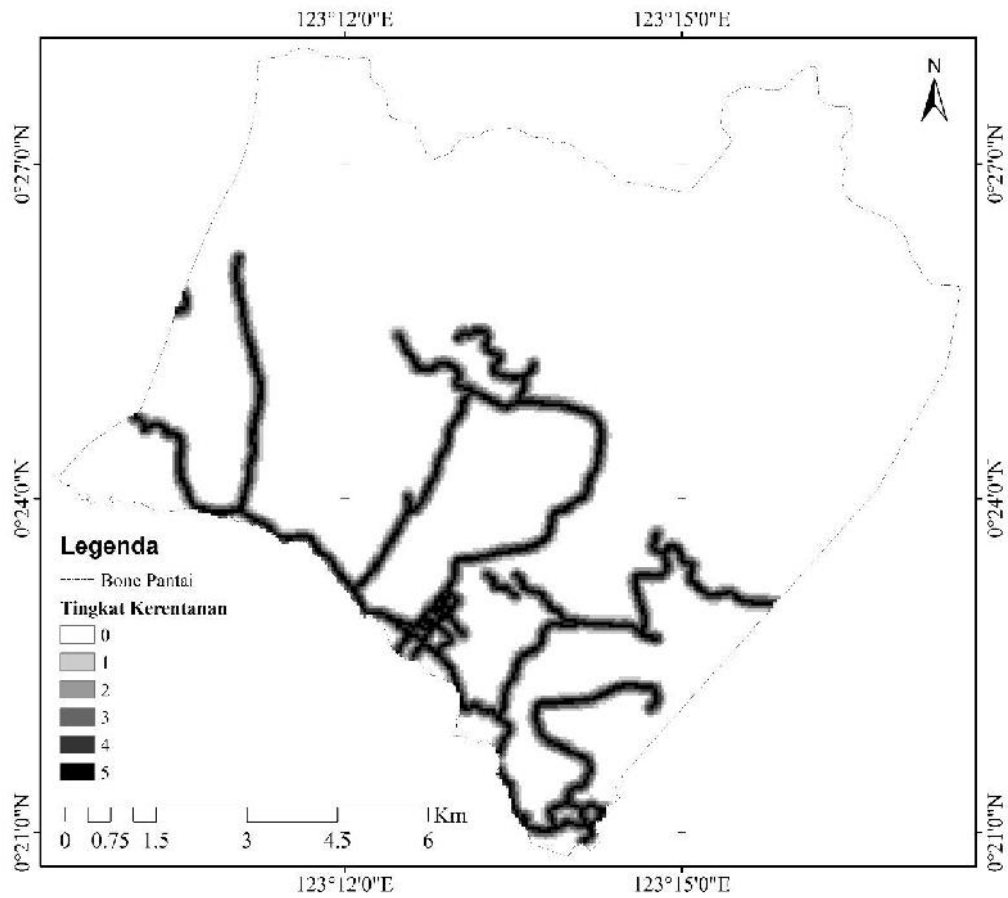


Gambar 4.9 Tingkat kerentanan longsor berdasarkan jarak dari sungai

Longsor biasanya terjadi didaerah sekitar sungai, semakin dekat dengan sungai semakin besar tingkat kerentanan longsor (Tabel 3.2, Gambar 4.9).

4.1.5 Pengolahan data jaringan jalan

Jalan menjadi pemicu terjadinya longsor, hal ini dikarenakan jalan menjadi salah satu sumber getaran dan pembukaan jalan biasanya diikuti oleh perubahan tutupan lahan berupa pembangunan di sisi-sisi jalan. Dalam penelitian ini jalan dilakukan penyekoran berdasarkan jarak dari jalan seperti pada Tabel 3.2, hasilnya tampak pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil penyekoran longsor berdasarkan jarak dari jalan

4.1.6 Pengolahan data WLC - AHP

a. Pengolahan data AHP

AHP digunakan untuk menentukan bobot dari setiap variabel yang mempengaruhi longsor. Berdasarkan hasil pengolahan data kuesioner AHP diperoleh hasil seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Perbandingan Berpasangan
dan Bobot Variabel Yang Mempengaruhi Longsor

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1,00							0,089
Kemiringan	2,44	1,00						0,176
Aspek Kemiringan	1,17	0,79	1,00					0,104
Sungai	1,19	0,87	1,43	1,00				0,114
Tutupan Lahan	2,03	0,87	2,69	2,47	1,00			0,210
Jalan	1,15	0,56	0,65	0,73	0,48	1,00		0,084
Formasi Batuan	1,94	1,10	2,10	2,50	0,97	3,65	1,00	0,224

Rasio Konsistensi (CR): $0.02 < 0.1$ (diterima)

Berdasarkan hasil pengolahan AHP (Tabel 4.3) diperoleh bahwa parameter yang paling mempengaruhi longsor di Kec. Bone Pantai adalah formasi batuan kemudian tutupan lahan. Hasil AHP dalam penelitian ini cenderung ke arah faktor geologi, hal ini dikarenakan sebaran kuesioner yang sebagian besar disebarkan ke responden dengan biang keahlian geologi (Lampiran 3).

b. Pengolahan data WLC

WLC merupakan proses pengambilan keputusan dari sebuah masalah dengan memperhatikan semua variabel-variabel yang mempengaruhinya. Setiap variabel diberikan bobot (w) sesuai dengan besar pengaruhnya terhadap masalah. Pada penelitian ini longsor dibagi menjadi variabel-variabel yang mempengaruhinya berupa kemiringan, geologi (formasi batuan), elevasi, tutupan lahan (kerapatan vegetasi), aspek kemiringan, sungai, dan jalan. Setiap variabel diatas diberikan bobot menggunakan metode AHP. Berdasarkan hasil perhitungan AHP pada tabel 4.2, maka persamaan WLC pada 2.1 menjadi;

$$Y = (0,089 X_1) + (0,176 X_2) + (0,104 X_3) + (0,114 X_4) + (0,210 X_5) + (0,084 X_6) + (0,224 X_7) \quad (4.1)$$

dengan;

Y = Longsor

X_4 = Sungai

X_1 = Elevasi

X_5 = Tutupan Lahan

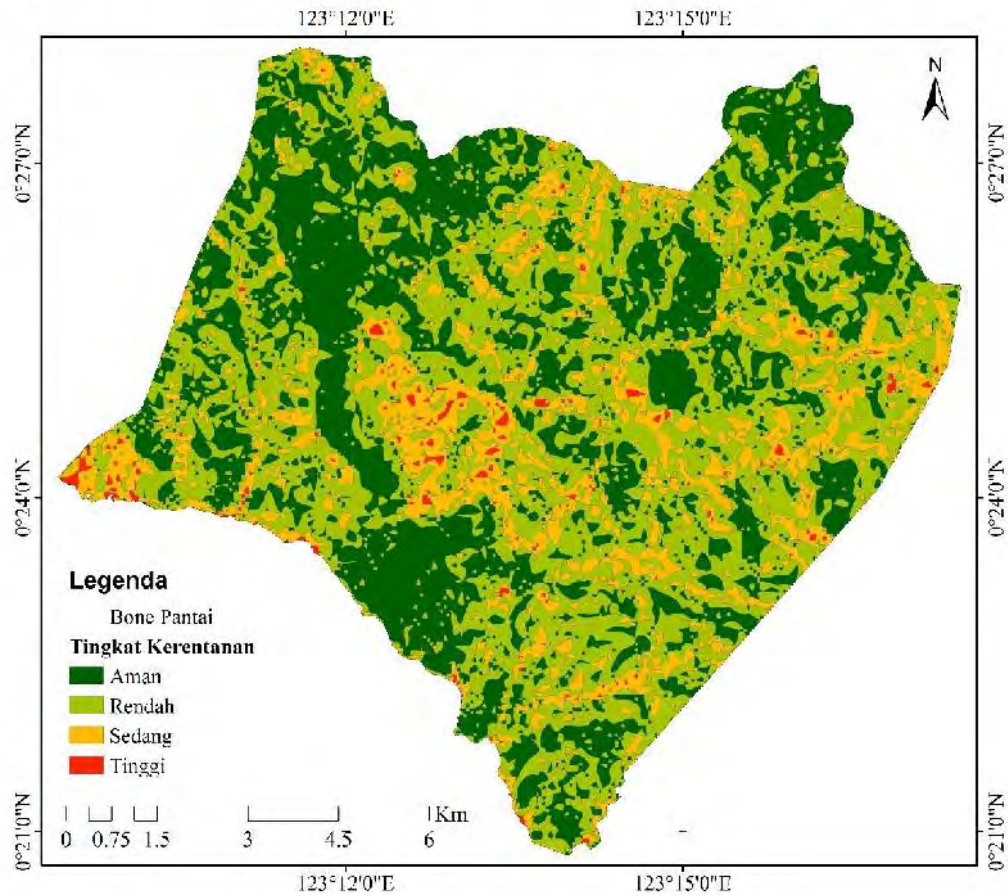
X_2 = Kemiringan

X_6 = Jalan

X_3 = Aspek Kemiringan

X_7 = Formasi Batuan

Berdasarkan persamaan 4.1 diperoleh zona tingkat kerentanan longsor seperti pada Gambar 4.11.



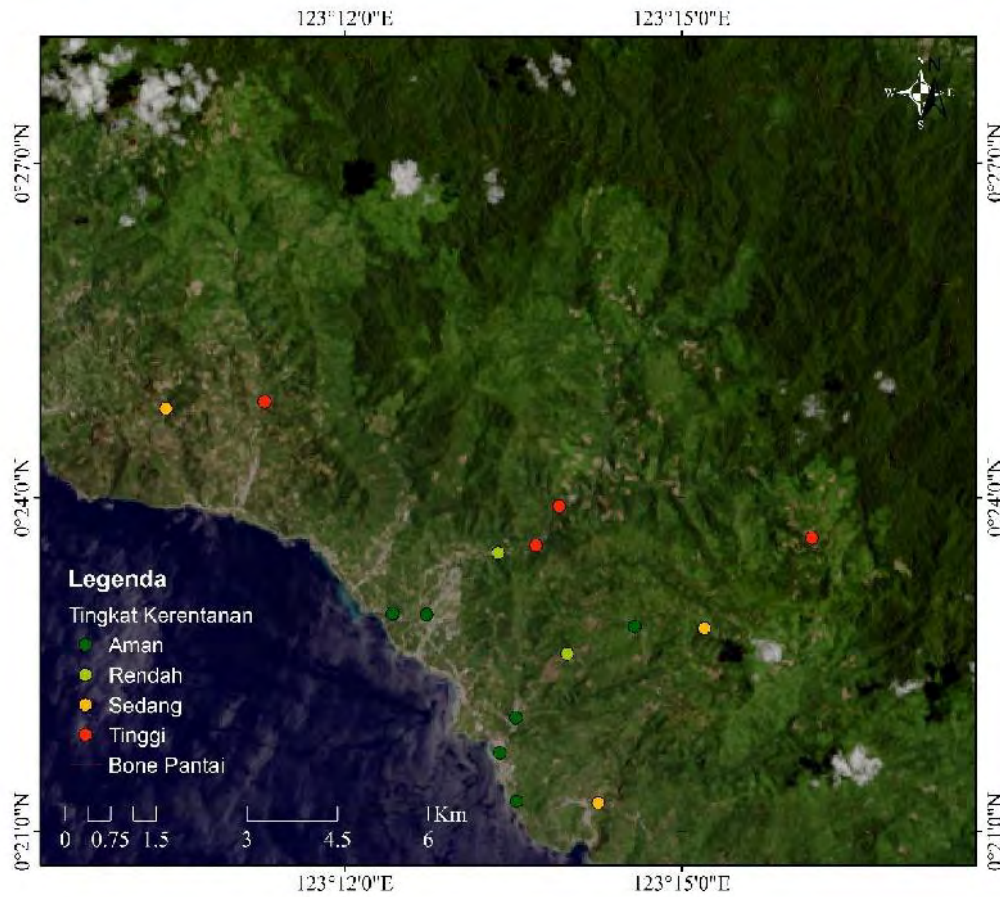
Gambar 4.11 Peta Kerentanan Longsor Kecamatan Bone Pantai Menggunakan Metode WLC-AHP

4.1.7 Analisis Akurasi

Analisis akurasi tingkat kerentanan longsor diperlukan untuk mengetahui akurasi hasil pemetaan dan pemodelan tingkat kerentanan longsor. Analisa ini menggunakan perbandingan data tingkat kerentanan longsor hasil survei lapangan (*ground truth*) dengan hasil pengolahan data menggunakan metode WLC-AHP.

Ground truth dilakukan sebanyak 15 titik seperti pada Gambar 4.12. Berdasarkan hasil *ground truth* diperoleh 6 titik aman dari longsor, 2 titik memiliki tingkat kerentanan longsor rendah, 3 titik memiliki tingkat kerentanan sedang dan

4 titik memiliki tingkat kerentanan tinggi (Gambar 4.12). Setiap kelas kerentanan hasil survei dibandingkan dengan hasil pengolahan data (Tabel 4.4)



Gambar 4.12 Hasil Survei Lapangan (*ground truth*)

Tabel 4.4 Tabel Kappa (*Confusion Matrix*)

Kelas	Olahan				Jumlah	O (%)
	1	2	3	4		
<i>Ground truth</i>	1	4	2	0	6	0,40
	2	0	2	0	2	0,13
	3	0	0	3	3	0,20
	4	0	0	1	3	0,27
Jumlah	4	4	4	3	15	
C (%)	0,27	0,27	0,27	0,20		

Total akurasi : 80%

Kappa : 0,7337

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh bahwa variabel yang sangat mempengaruhi terjadinya longsor adalah variabel geologi (formasi batuan) dan tutupan lahan. Variabel tutupan lahan menjadi faktor yang perlu menjadi perhatian dalam meminimalisir terjadinya longsor, hal ini dikarenakan perubahan tutupan lahan tiap tahun lebih cepat terjadi dibandingkan perubahan formasi batuan.

Hasil pemetaan menggunakan metode WLC-AHP menunjukkan luas daerah dengan tingkat kerentanan longsor tinggi sebesar 1,12%, sedang 16,97%, rendah 45,10%, dan aman 36,82%.

Tabel 4.5 Tingkat Kerentanan Longsor Kecamatan Bone Pantai

Kelas Kerentanan	Luas (m ²)	%
1 Aman	41725735,28	36,82
2 Rendah	51100087,34	45,10
3 Sedang	19225292,55	16,97
4 Tinggi	1263737,50	1,12
Jumlah	113314852,66	100,00

Berdasarkan Tabel 4.4 diperoleh *overall accuracy* hasil pengolahan data terhadap hasil survei sebesar 80% dengan indeks statistik kappa 0,7337 dan hasil pemetaan tampak pada Gambar 4.11. Kesalahan hasil klasifikasi tingkat kerentanan longsor hasil pengolahan (*Error commission (C)*) data adalah 0,27% untuk zona kerentanan longsor aman hingga sedang. Zona kerentanan longsor tinggi hanya memiliki kesalahan sebesar 0,20%.

Banyak parameter yang mempengaruhi terjadinya longsor, dalam penelitian ini dibatasi hanya pada tujuh parameter; i) aspek kemiringan, (ii) gradien kemiringan, (iii) formasi batuan, (iv) drainase, (v) elevasi, (vi) tutupan lahan dan (vii) jalan. Peningkatan akurasi hasil pemetaan diperlukan agar dapat memprediksi dan menjadi peringatan dini longsor.

Peta kerentanan longsor dalam penelitian ini bersifat dinamis, dapat berubah-ubah sesuai data terbaru yang diperoleh. Setiap pembaharuan data perlu dilakukan kembali pengujian tingkat akurasi hasil pemetaan. Pemetaan yang bersifat dinamis diharapkan mampu menjadi peringatan dini bencana longsor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kuesioner AHP

Kuesioner Tingkat Kerentanan Longsor Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Informan

Nama :

Pekerjaan :

Instansi :

Tujuan Kuesioner

Kuesioner ini bertujuan untuk mengetahui bobot dari tiap variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan longsor. Adapun nilai yaitu dengan menggunakan skala sebagai berikut.

Tabel skala banding secara berpasangan

Tingkat kepentingan	Definisi
1	Kedua elemen sama penting
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting dari yang lain
5	Elemen yang satu lebih penting dari yang lain
7	Satu elemen jelas lebih penting dari yang lainnya
9	Satu elemen mutlak lebih penting dari yang yang lainnya
2,4,6,8	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan






Cara Pengisian


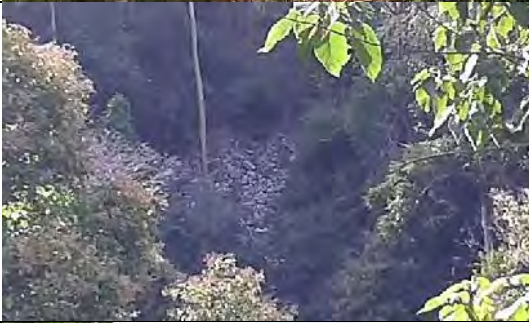



Variabel pada kolom kiri dibandingkan dengan variabel pada kolom kanan. Tingkat kepentingan 2-9 pada bagian kiri adalah milik kriteria pada kolom paling kiri, sedangkan tingkat kepentingan 2-9 pada bagian kanan adalah milik kriteria pada kolom paling kanan. Kemudian lingkariilah pada kolom yang sesuai untuk penilaian tingkat kepentingan antara masing-masing variabel (kolom kiri dibandingkan dengan kolom kanan).






Menurut bapak/ibu aspek/variabel manakah yang mendapat dampak/pengaruh paling besar terhadap terjadinya longsor

Elevasi	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Kemiringan
Elevasi	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Aspek Kemiringan
Elevasi	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sungai
Elevasi	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Tutupan Lahan
Elevasi	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Jalan
Elevasi	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Geologi
Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Aspek Kemiringan
Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sungai
Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Tutupan Lahan
Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Jalan
Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Geologi
Aspek Kemiringan*	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sungai
Aspek Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Tutupan Lahan
Aspek Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Jalan
Aspek Kemiringan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Geologi
Sungai	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Tutupan Lahan
Sungai	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Jalan
Sungai	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Geologi
Tutupan Lahan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Jalan
Tutupan Lahan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Geologi
Jalan	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Geologi

Lampiran 2. Hasil Ground Truth

Titik	Gambar	Skala Kerentanan	Keterangan
1		3	Tingkat kerentanan sedang (3), hal ini terlihat dari kemiringan lereng yang curam, dan vegeasi yang kurang rapat, namun belum terdapat longsor awal
2		4	Tingkat kerentanan tinggi, hal ini terlihat dari tingkat kemiringan lereng yang curam dan adanya longsor awal.
3		1	Tingkat kerentanan aman, hal ini terlihat dari tingkat keterenggan relatif datar dan ketinggian relatif rendah.
4		1	Tingkat kerentanan aman, hal ini terlihat dari tingkat keterenggan datar dan ketinggian relatif rendah
5		2	Tingkat kerentanan rendah, hal ini terlihat dari tingkat keterenggan relatif tinggi, ketinggian relatif rendah.

Titik	Gambar	Skala Kerentanan	Keterangan
6		4	Tingkat kerentanan tinggi, hal ini terlihat dari tingkat kemiringan lereng yang curam, kurangnya vegetasi, dan adanya longsoran awal.
7		4	Tingkat kerentanan tinggi, hal ini terlihat dari tingkat kemiringan lereng yang sangat curam dan adanya longsoran awal berupa <i>rock fall</i> .
8		1	Tingkat kerentanan aman, hal ini terlihat dari tingkat kerengan datar dan ketinggian relatif rendah
9		2	Tingkat kerentanan rendah, hal ini terlihat dari tingkat kelerengan relatif datar, ketinggian relatif lebih tinggi, dan kurang vegetasi.
10		1	Tingkat kerentanan aman, hal ini terlihat dari tingkat kelerengan relatif datar dan dengan tutupan vegetasi lebat.

Titik	Gambar	Skala Kerentanan	Keterangan
11		3	Tingkat kerentanan sedang, hal ini terlihat dari tingkat kemiringan lereng yang curam tapi masih memiliki vegetasi yang cukup dan tidak terdapat longsoran awal.
12		4	Tingkat kerentanan tinggi, hal ini terlihat dari tingkat kemiringan lereng yang curam, kurangnya vegetasi, dan adanya longsoran awal.
13		1	Tingkat kerentanan aman, hal ini terlihat dari tingkat kerengangan datar dan ketinggian relatif rendah
14		1	Tingkat kerentanan aman, hal ini terlihat dari tingkat kerengangan datar dan ketinggian relatif rendah
15		3	Tingkat kerentanan sedang, hal ini terlihat dari tingkat kemiringan lereng yang curam tapi memiliki struktur batuan yang relatif kompak (Tmbv).

Lampiran 3. Profil Responden

No	Nama	Pekerjaan	Keterangan
1	Dr.Eng. Sri Maryati, S.Si	Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK) Universitas Negeri Gorontalo (UNG)	Responden pernah meneliti salah satu aspek yang mempengaruhi tentan longsor: Analisa Perubahan Lahan Terbangun Menggunakan Citra Landsat Multitemporal (Studi Kasus Kota Gorontalo, Provinsi Gorontalo)
2	Dr. Fitryane Lihawa, M.Si	Dosen Jurusan ITK UNG	Responden pernah meneliti tentang longsor : Pemetaan Zona Kerentanan Longsoran Di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo Sebaran Aspek Keruangan Tipe Longsoran di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo, Pemetaan Kapasitas Bencana Longsor di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo,
3	Dr. Nawir N. Sune, M.Si	Dosen Jurusan ITK UNG	Responden pernah meneliti salah satu aspek longsor Kab. Bone Bolango Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Teknik Penginderaan Jauh di Kab. Bone Bolango, TA 2012

No	Nama	Pekerjaan	Keterangan
			Pemodelan Spasial Ekologis Pengelolaan Kawasan Hutan Berbasis Masyarakat di DAS Bone, TA 2013
4	Aang Panji Permana, S.T., M.T.	Dosen Jurusan ITK UNG	Responden pernah melakukan penulisan karya ilmiah tentang longsor: Mitigasi Bencana Longsor Jalan Sorong-Makbon Provinsi Papua Barat
5	Dewa Gede Eka Setiawan, S.Pd., M.Sc.	Dosen Jurusan ITK UNG	Bidang keahlian Geofisika
6	Muh. Kasim, S.T., M.T	Dosen Jurusan ITK UNG	Bidang keahlian Geologi
7	Meilan Demulawa, S.Pd, M.Si	Dosen Jurusan ITK UNG	Bidang Keahlian Geofisika
8	Dr. Dwa Desa Warnana S.Si. M.Si.	Dosen Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya (ITS)	Responden Pernah melakukan penelitian tentang longsor: "Dwa Desa Warnana, Widya Utama, A.Syaeful bahri, Makky S.J, 2004, Studi Geofisika dalam Penentuan Bidang Gelincir Pada Kawasan Longsor , Seminar Nasional Pascasarjana IV."
9	Dr A Syaeful Bahri, MT	Dosen Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya (ITS)	Responden Pernah melakukan penelitian tentang longsor: "Dwa Desa Warnana, Widya Utama, A.Syaeful bahri, Makky S.J, 2004, Studi Geofisika dalam

No	Nama	Pekerjaan	Keterangan
			Penentuan Bidang Gelincir Pada Kawasan Longsor , Seminar Nasional Pascasarjana IV."
10	Daud Yusuf, S.Kom, M.Si	Dosen Jurusan ITK UNG	Bidang keahlian Pengindraan Jauh
11	Ivan Taslim, S.Si., M.T.	Dosen Jurusan Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo	Bidang keahlian Geologi
12	Tisen, S.Pd., M.Si.	Dosen Jurusan Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo	Bidang keahlian Klimatologi
13	Ahmad Syamsu Rijal, S.Pd., M.Pd.	Dosen Jurusan Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo	Bidang keahlian Geografi
14	Arthur Gani Koto, S.TP., M.Sc.	Dosen Jurusan Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo	Bidang keahlian Penginderaan Jauh & SIG
15	Ismarti F. Lahai	BPBD Bone Bolango	Staf BPBD Bone Bolango
16	Taufan	BPBD Bone Bolango	Staf dan relawan bencana BPBD Bone Bolango
17	Hengky Bajuka	BPBD Bone Bolango	Staf dan relawan bencana BPBD Bone Bolango

Lampiran 4. Pengolahan Data Kuesioner AHP

Tabel Pengolahan Data Kuesioner Tiap Responden

Responden 1

Nama : Sri Mariaty

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1							0,1807
Kemiringan	3	1						0,3297
Aspek Kemiringan	2	1/2	1					0,2086
Sungai	1/3	1/3	1/2	1				0,1173
Tutupan Lahan	1/4	1/5	1/3	1/2	1			0,0728
Jalan	1/5	1/6	1/5	1/3	1/3	1		0,0344
Geologi	1/3	1/5	1/4	1/4	1/2	3	1	0,0565
Jumlah	7,12	2,73	4,78	10,08	15,83	26,00	19,33	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,05 < 0,1$ (diterima)

Responden 2

Nama : Fitriane Lihawa

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	2	3	5	5	3	0,2317
Kemiringan	2	1	2	4	5	6	4	0,3164
Aspek Kemiringan	1/2	1/2	1	2	3	4	3	0,1631
<i>Sungai</i>	1/3	1/4	1/2	1	3	5	1/2	0,0988
<i>Tutupan Lahan</i>	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	1/3	0,0543
Jalan	1/5	1/6	1/4	1/5	1/3	1	1/3	0,0340
Geologi	1/3	1/4	1/3	2	3	3	1	0,1018
Jumlah	4,57	2,87	6,42	12,53	20,33	27,00	12,17	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,05 < 0,1$ (diterima)

Responden 3

Nama : Nawir Sune

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	1	3	1/3	1/2	1/4	0,0959
Kemiringan	2	1	1	4	3	5	1	0,2433
Aspek Kemiringan	1	1	1	2	1	3	1	0,1590
<i>Sungai</i>	1/3	1/4	1/2	1	1/3	2	1/3	0,0649
<i>Tutupan Lahan</i>	3	1/3	1	3	1	3	1	0,1669
Jalan	2	1/5	1/3	1/2	1/3	1	1/4	0,0625
Geologi	4	1	1	3	1	4	1	0,2075
Jumlah	13,33	4,28	5,83	16,50	7,00	18,50	4,83	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,08 < 0.1$ (diterima)

Responden 4

Nama : Aang Panji Pramana

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	4	5	1	6	3	0,2166
Kemiringan	2	1	6	7	3	8	5	0,3839
Aspek Kemiringan	1/4	1/6	1	1	1/3	2	1	0,0624
Sungai	1/5	1/7	1	1	1/4	1	1/2	0,0464
Tutupan Lahan	1	1/3	3	4	1	5	2	0,1750
Jalan	1/6	1/8	1/2	1	1/5	1	1	0,0443
Geologi	1/3	1/5	1	2	1/2	1	1	0,0714
Jumlah	4,95	2,47	16,50	21,00	6,28	24,00	13,50	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,02 < 0.1$ (diterima)

Responden 5

Nama : Dewa Gede Eka Setiawan

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	1/4	1/4	1/3	2	1/4	0,0531
Kemiringan	2	1	1/2	1/5	2	3	1/3	0,1090
Aspek Kemiringan	4	2	1	1/3	1/2	4	1/2	0,1310
<i>Sungai</i>	4	5	3	1	3	4	1	0,2852
<i>Tutupan Lahan</i>	3	1/2	2	1/3	1	4	3	0,1878
Jalan	1/2	1/3	1/4	1/4	1/4	1	1/4	0,0392
Geologi	4	3	2	1	1/3	4	1	0,1948
Jumlah	18,50	12,33	9,00	3,37	7,42	22,00	6,33	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,11 > 0,1$ (ditolak)

Responden 6

Nama : Muh. Kasim

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1	4	4	1	3	1/3	0,1630
Kemiringan	1	1	3	4	1	4	1/4	0,1610
Aspek Kemiringan	1/4	1/3	1	1/4	1/3	1	1/5	0,0474
<i>Sungai</i>	1/4	1/4	4	1	1/3	1/2	1/6	0,0652
<i>Tutupan Lahan</i>	1	1	3	3	1	2	1/2	0,1488
Jalan	1/3	1/4	1	2	1/2	1	1/4	0,0665
Geologi	3	4	5	6	2	4	1	0,3481
Jumlah	6,83	7,83	21,00	20,25	6,17	15,50	2,70	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,06 < 0,1$ (diterima)

Responden 7

Nama : Meilan Demulawa

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	2	1	1	4	3	0,1678
Kemiringan	2	1	4	3	1	6	5	0,2969
Aspek Kemiringan	1/2	1/4	1	1	1/3	2	1	0,0822
<i>Sungai</i>	1	1/3	1	1	1/2	3	2	0,1179
<i>Tutupan Lahan</i>	1	1	3	2	1	5	4	0,2310
Jalan	1/4	1/6	1/2	1/3	1/5	1	1	0,0454
Geologi	1/3	1/5	1	1/2	1/4	1	1	0,0589
Jumlah	6,08	3,45	12,50	8,83	4,28	22,00	17,00	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,06 < 0,1$ (diterima)

Responden 8

Nama : Dwa Desa Wardana

Instansi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Pekerjaan : Dosen Jurusan Geomatika Prodi Geotermal

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/8	1	1	1/8	1/4	1/8	0,0312
Kemiringan	8	1	8	8	2	7	1	0,3091
Aspek Kemiringan	1	1/8	1	3	1/7	1	1/8	0,0455
Sungai	1	1/8	1/3	1	1/8	1	1/8	0,0318
Tutupan Lahan	8	1/2	7	8	1	7	1	0,2485
Jalan	4	1/7	1	1	1/7	1	1/8	0,0506
Geologi	8	1	8	8	1	8	1	0,2833
Jumlah	31,00	3,02	26,33	30,00	4,54	25,25	3,50	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,05 < 0,1$ (diterima)

Responden 9

Nama : Saiful Bahri

Instansi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Pekerjaan : Dosen Jurusan Geomatika Prodi Geotermal

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	8	6	2	9	4	0,2509
Kemiringan	2	1	9	9	4	9	6	0,3966
Aspek Kemiringan	1/8	1/9	1	1/2	1/6	2	1/4	0,0320
Sungai	1/6	1/9	2	1	1/4	4	1/2	0,0527
Tutupan Lahan	1/2	1/4	6	4	1	8	2	0,1539
Jalan	1/9	1/9	1/2	1/4	1/8	1	1/6	0,0224
Geologi	1/4	1/6	4	2	1/2	6	1	0,0916
Jumlah	4,15	2,25	30,50	22,75	8,04	39,00	13,92	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,04 < 0.1$ (diterima)

Responden 10

Nama : Daud Yusuf

Instansi : Universitas Negeri Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian (ITK)

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1	5	3	2	6	1	0,2321
Kemiringan	1	1	6	4	3	7	2	0,2919
Aspek Kemiringan	1/5	1/6	1	1/2	1/3	1	2	0,0759
<i>Sungai</i>	1/3	1/4	2	1	1	3	1/3	0,0873
<i>Tutupan Lahan</i>	1/2	1/3	3	1	1	4	1	0,1221
Jalan	1/6	1/7	1	1/3	1/4	1	1/5	0,0364
Geologi	1	1/2	1/2	3	1	5	1	0,1544
Jumlah	4,20	3,39	18,50	12,83	8,58	27,00	7,53	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,09 < 0.1$ (diterima)

Responden 11

Nama : Ivan Taslim

Instansi : Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Geografi

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/3	1	2	1/2	1/3	1	0,0971
Kemiringan	3	1	4	5	1	6	2	0,2911
Aspek Kemiringan	1	1/4	1	1	1/3	2	1/2	0,0802
<i>Sungai</i>	1/2	1/5	1	1	1/4	1	1/3	0,0579
<i>Tutupan Lahan</i>	2	1	3	4	1	5	1	0,2279
Jalan	3	1/6	1/2	1	1/5	1	1/4	0,0782
Geologi	1	1/2	2	3	1	4	1	0,1676
Jumlah	11,50	3,45	12,50	17,00	4,28	19,33	6,08	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,08 < 0.1$ (diterima)

Responden 12

Nama : Tisen

Instansi : Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Pekerjaan : Dosen Jurusan Geografi

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	4	2	1	3	1	0,1689
Kemiringan	2	1	6	4	1	5	2	0,2830
Aspek Kemiringan	1/4	1/6	1	1/2	1/5	1	1/3	0,0458
Sungai	1/2	1/4	2	1	1/3	1	1	0,0838
Tutupan Lahan	1	1	5	3	1	4	2	0,2332
Jalan	1/3	1/5	1	1	1/4	1	1/2	0,0595
Geologi	1	1/2	3	1	1/2	2	1	0,1259
Jumlah	6,08	3,62	22,00	12,50	4,28	17,00	7,83	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,01 < 0.1$ (diterima)

Tabel Pengolahan Data Kuesioner

Responden 13

Nama : Ahmad Syamsu Rijal
 Instansi : Universitas Muhammadiyah Gorontalo
 Pekerjaan : Dosen Jurusan Geografi

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/2	3	4	1	5	2	0,1984
Kemiringan	2	1	5	6	3	7	4	0,3635
Aspek Kemiringan	1/3	1/5	1	1	1/2	2	1	0,0742
Sungai	1/4	1/6	1	1	3	1	1/2	0,0933
Tutupan Lahan	1	1/3	2	1/3	1	4	1	0,1237
Jalan	1/5	1/7	1/2	1	1/4	1	1/3	0,0426
Geologi	1/2	1/4	1	2	1	3	1	0,1043
Jumlah	5,28	2,59	13,50	15,33	9,75	23,00	9,83	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,08 < 0,1$ (diterima)

Tabel Pengolahan Data Kuesioner

Responden 14

Nama : Artkur Gani Koto
 Instansi : Universitas Muhammadiyah Gorontalo
 Pekerjaan : Dosen Jurusan Geografi

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1	1/4	1/3	1	1/5	1/2	0,0589
Kemiringan	1	1	1/5	1/4	1/2	1/6	1/3	0,0454
Aspek Kemiringan	4	5	1	1	3	1	2	0,2310
<i>Sungai</i>	3	4	1	1	2	1/2	1	0,1678
<i>Tutupan Lahan</i>	1	2	1/3	1/2	1	1/4	1	0,0822
Jalan	5	6	1	2	4	1	3	0,2969
Geologi	2	3	1/2	1	1	1/3	1	0,1179
Jumlah	17,00	22,00	4,28	6,08	12,50	3,45	8,83	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,01 < 0,1$ (diterima)

Responden 15

Nama : Ismarti F. Lahai
 Instansi : BPBD Bone Bolango
 Pekerjaan :

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/4	1/2	1/5	1/3	1	1	0,0589
Kemiringan	4	1	2	1	1	5	3	0,2310
Aspek Kemiringan	2	1/2	1	1/3	1	3	1	0,1179
<i>Sungai</i>	5	1	3	1	2	6	4	0,2969
<i>Tutupan Lahan</i>	3	1	1	1/2	1	4	2	0,1678
Jalan	1	1/5	1/3	1/6	1/4	1	1/2	0,0454
Geologi	1	1/3	1	1/4	1/2	2	1	0,0822
Jumlah	17,00	4,28	8,83	3,45	6,08	22,00	12,50	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,01 < 0,1$ (diterima)

Responden 16

Nama : Taufan
 Instansi : BPBD Bone Bolango
 Pekerjaan :

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1/3	1	1/2	1/5	1	1/4	0,0581
Kemiringan	3	1	2	1	1/2	4	1	0,1672
Aspek Kemiringan	1	1/2	1	1	1/4	1/2	1/3	0,0715
<i>Sungai</i>	2	1	1	1	1/3	3	1/2	0,1181
<i>Tutupan Lahan</i>	5	2	4	3	1	6	1	0,2949
Jalan	1	1/4	2	1/3	1/6	1	1/5	0,0606
Geologi	4	1	3	2	1	5	1	0,2297
Jumlah	17,00	6,08	14,00	8,83	3,45	20,50	4,28	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,03 < 0,1$ (diterima)

Responden 17

Nama : Hengky Bajuka

Instansi : BPBD Bone Bolango

Pekerjaan :

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1	1	2	3	1/2	4	1	0,1678
Kemiringan	1	1	1	2	1/3	3	1/2	0,1179
Aspek Kemiringan	1/2	1	1	1	1/4	2	1/3	0,0822
Sungai	1/3	1/2	1	1	1/5	1	1/4	0,0589
Tutupan Lahan	2	3	4	5	1	6	1	0,2969
Jalan	1/4	1/3	1/2	1	1/6	1	1/5	0,0454
Geologi	1	2	3	4	1	5	1	0,2310
Jumlah	6,08	8,83	12,50	17,00	3,45	22,00	4,28	1

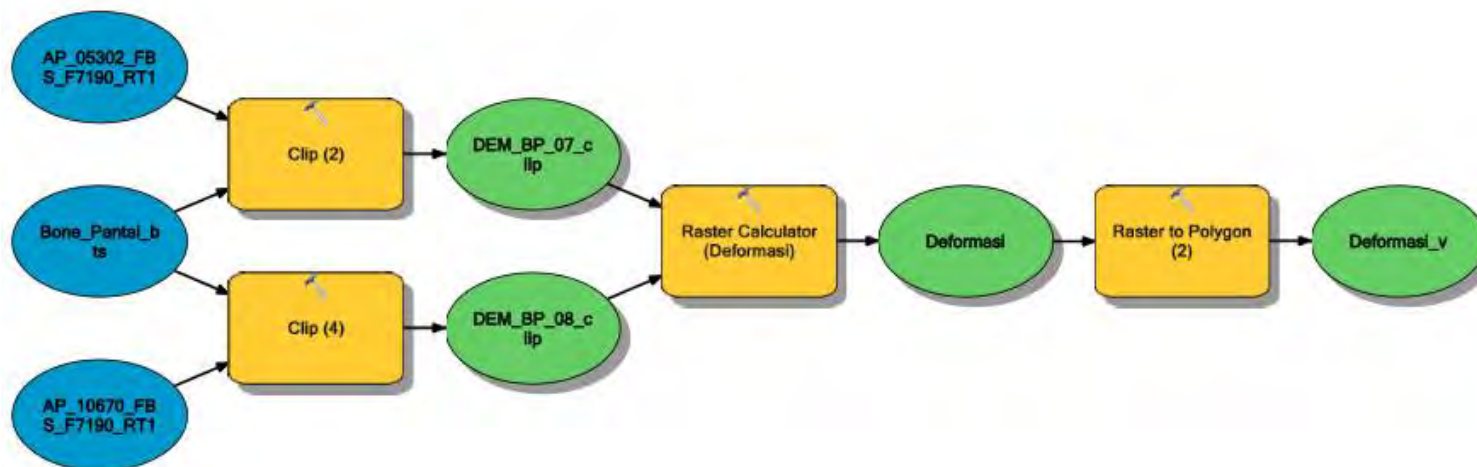
Rasio Konsistensi (CR): $0,01 < 0,1$ (diterima)

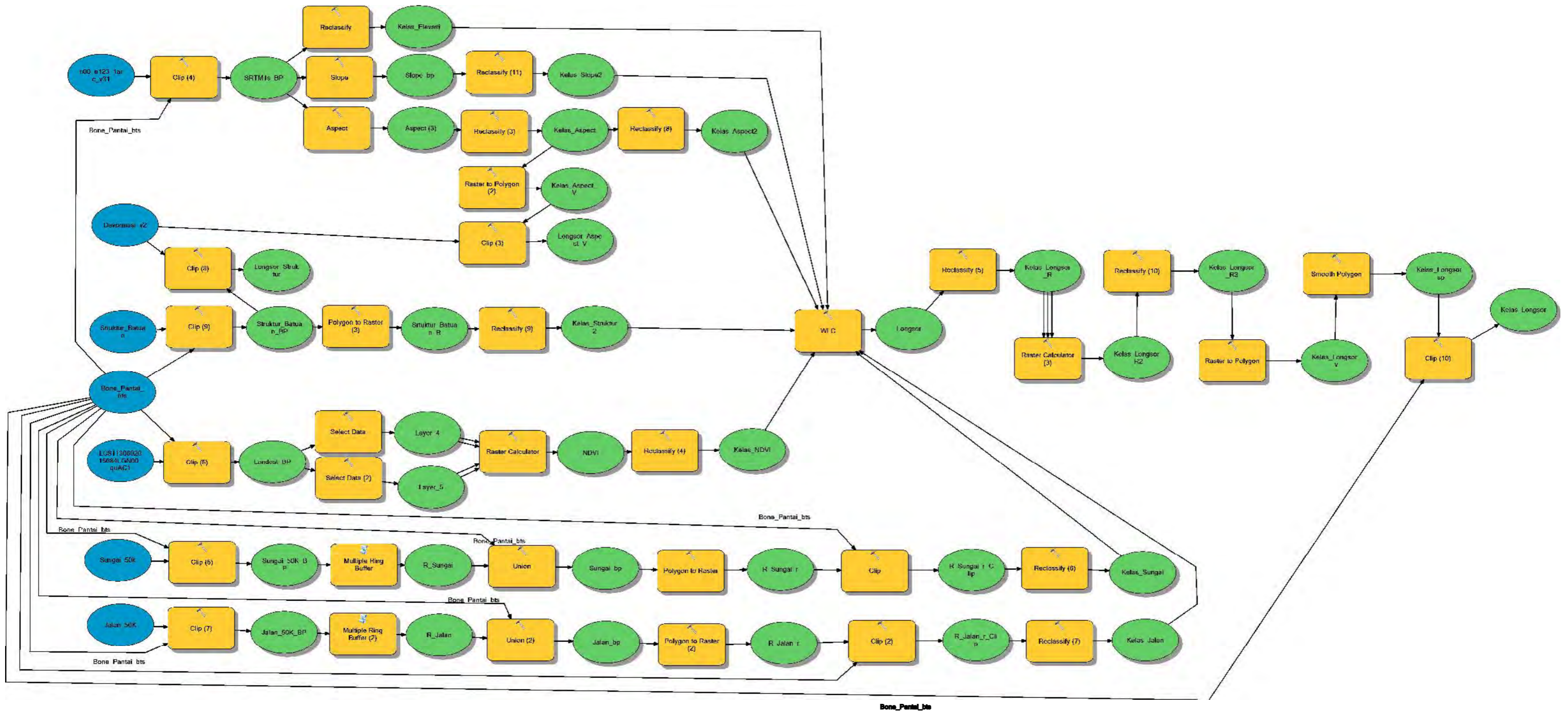
Tabel Pengolahan Data AHP

PARAMETER	Elevasi	Kemiringan	Aspek Kemiringan	Sungai	Tutupan Lahan	Jalan	Geologi	Weight
Elevasi	1,00							0,089
Kemiringan	2,44	1,00						0,176
Aspek Kemiringan	1,17	0,79	1,00					0,104
Sungai	1,19	0,87	1,43	1,00				0,114
Tutupan Lahan	2,03	0,87	2,69	2,47	1,00			0,210
Jalan	1,15	0,56	0,65	0,73	0,48	1,00		0,084
Geologi	1,94	1,10	2,10	2,50	0,97	3,65	1,00	0,224
Jumlah	10,91	5,60	9,99	9,39	4,87	12,30	4,60	1

Rasio Konsistensi (CR): $0,02 < 0,1$ (diterima)

Lampiran 5. Model Pengolahan Data Deformasi





Lampiran 7. Python Scripts

1. Deformasi

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# -----
# Deformasi.py
# Created on: 2016-06-22 04:12:09.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Description:
# -----

# Import arcpy module
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("spatial")

# Local variables:
AP_10670_FBS_F7190_RT1 =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\AP_10670_FBS_F7190_RT1"
AP_05302_FBS_F7190_RT1 =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\AP_05302_FBS_F7190_RT1"
Bone_Pantai_bts = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Bone_Pantai_bts"
Deformasi = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Deformasi"
Deformasi_v = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Deformasi_v"
DEM_BP_07_clip =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\DEM_BP_07_clip"
DEM_BP_08_clip =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\DEM_BP_08_clip"

# Process: Clip (4)
```



```
arcpy.Clip_management(AP_10670_FBS_F7190_RT1,  
"517482.263239368 10038300.3580517 532425.075908751  
10051659.1118525", DEM_BP_08_clip, Bone_Pantai_bts, "0",  
"ClippingGeometry", "NO_MAINTAIN_EXTENT")
```

```
# Process: Clip (2)
```

```
arcpy.Clip_management(AP_05302_FBS_F7190_RT1,  
"517482.263239368 10038300.3580517 532425.075908751  
10051659.1118525", DEM_BP_07_clip, Bone_Pantai_bts, "0",  
"ClippingGeometry", "NO_MAINTAIN_EXTENT")
```

```
# Process: Raster Calculator (3)
```

```
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(\\%DEM_BP_08_clip%" -  
\\%DEM_BP_07_clip%") < - 7", Deformasi)
```

```
# Process: Raster to Polygon (2)
```

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(Deformasi, Deformasi_v,  
"SIMPLIFY", "Value")
```

2. Longsor

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
# -----
```

```
# Longsor.py
```

```
# Created on: 2016-06-22 05:01:29.00000
```

```
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
```

```
# Description:
```

```
# -----
```

```
# Set the necessary product code
```

```
import arceditor
```

```

# Import arcpy module
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("spatial")

# Local variables:
n00_e123_1arc_v31 =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\n00_e123_1arc_v31"
Bone_Pantai_bts = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Bone_Pantai_bts"
Devormasi_v2 = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Devormasi_v2"
LC81130602015084LGN00_quAC1 =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\LC81130602015084LGN00_quAC1"
Sungai_50k = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Sungai_50k"
Jalan_50K = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Jalan_50K"
Struktur_Batuan = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Struktur_Batuan"
SRTM1s_BP = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\SRTM1s_BP"
Kelas_Elevasi = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Elevasi"
Slope_bp = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Slope_bp"
Aspect__3_ = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Aspect"
Kelas_Aspect = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Aspect"
NDVI = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\NDVI"
Landsat_BP = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Landsat_BP"
Kelas_NDVI = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_NDVI"
Longsor = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Longsor"
Kelas_Longsor_R =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Longsor_R"
Kelas_Longsor_R3 =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Longsor_R3"
Kelas_Longsor_v =
"E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Longsor_v"

```

Kelas_Longsor_sp =
 "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Longsor_sp"
 Sungai_50K_BP = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Sungai_50K_BP"
 R_Sungai = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\R_Sungai"
 Sungai_bp = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Sungai_bp"
 R_Sungai_r = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\R_Sungai_r"
 Jalan_bp = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Jalan_bp"
 R_Jalan_r = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\R_Jalan_r"
 Jalan_50K_BP = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Jalan_50K_BP"
 R_Jalan = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\R_Jalan"
 R_Sungai_r_Clip =
 "C:\\Users\\Omega\\Documents\\ArcGIS\\Default.gdb\\R_Sungai_r_Clip"
 R_Jalan_r_Clip =
 "C:\\Users\\Omega\\Documents\\ArcGIS\\Default.gdb\\R_Jalan_r_Clip"
 Kelas_Sungai = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Sungai"
 Kelas_Jalan = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Jalan"
 Kelas_Aspect2 = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Aspect2"
 Struktur_Batuan_BP =
 "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Struktur_Batuan_BP"
 Srtuktur_Batuan_R =
 "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Srtuktur_Batuan_R"
 Kelas_Aspect_V = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Aspect_V"
 Longsor_Aspect_V =
 "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Longsor_Aspect_V"
 Longsor_Struktur =
 "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Longsor_Struktur"
 Kelas_Struktur2 = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Struktur2"
 Kelas_Longsor_R2 =
 "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Longsor_R2"
 Kelas_Longsor = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Longsor"

```
Kelas_Slope2 = "E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Kelas_Slope2"
```

```
# Process: Clip (4)
```

```
arcpy.Clip_management(n00_e123_1arc_v31, "121.249215994107  
0.292875665187554 123.875392210857 1.25211704541327",  
SRTM1s_BP, Bone_Pantai_bts, "-32767", "ClippingGeometry",  
"NO_MAINTAIN_EXTENT")
```

```
# Process: Aspect
```

```
arcpy.gp.Aspect_sa(SRTM1s_BP, Aspect__3_)
```

```
# Process: Reclassify (3)
```

```
arcpy.gp.Reclassify_sa(Aspect__3_, "Value", "-1 0 1;0 45 2;45 90  
3;90 135 4;135 180 5;180 225 6;225 270 7;270 315 8;315 360 9",  
Kelas_Aspect, "DATA")
```

```
# Process: Raster to Polygon (2)
```

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(Kelas_Aspect, Kelas_Aspect_V,  
"SIMPLIFY", "VALUE")
```

```
# Process: Clip (3)
```

```
arcpy.Clip_analysis(Kelas_Aspect_V, Devormasi_v2,  
Longsor_Aspect_V, "")
```

```
# Process: Clip (9)
```

```
arcpy.Clip_analysis(Struktur_Batuan, Bone_Pantai_bts,  
Struktur_Batuan_BP, "")
```

```
# Process: Clip (8)
```

```
arcpy.Clip_analysis(Struktur_Batuan_BP, Devormasi_v2,  
Longsor_Struktur, "")
```

```

# Process: Reclassify
arcpy.gp.Reclassify_sa(SRTM1s_BP, "Value", "-4 500 1;500 1000
2;1000 1500 3;1500 2000 4;2000 2500 5", Kelas_Elevasi, "DATA")

# Process: Slope
arcpy.gp.Slope_sa(SRTM1s_BP, Slope_bp, "PERCENT_RISE", "1")

# Process: Reclassify (11)
arcpy.gp.Reclassify_sa(Slope_bp, "Value", "0 2000000 1;2000000
4000000 2;4000000 6000000 3;6000000 8000000 4;8000000
18000000 5", Kelas_Slope2, "DATA")

# Process: Reclassify (8)
arcpy.gp.Reclassify_sa(Kelas_Aspect, "VALUE", "1 1;2 3;3 2;4 4;5
6;6 9;7 8;8 7;9 5", Kelas_Aspect2, "DATA")

# Process: Clip (6)
arcpy.Clip_analysis(Sungai_50k, Bone_Pantai_bts, Sungai_50K_BP,
"")

# Process: Multiple Ring Buffer
arcpy.MultipleRingBuffer_analysis(Sungai_50K_BP, R_Sungai,
"30;60;90;120;150", "Meters", "distance", "ALL", "FULL")

# Process: Union
arcpy.Union_analysis("E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Bone_Pantai_bt
s #;E:\\Landslide_Analysis.mdb\\R_Sungai #", Sungai_bp, "ALL",
"", "GAPS")

# Process: Polygon to Raster
arcpy.PolygonToRaster_conversion(Sungai_bp, "distance",
R_Sungai_r, "CELL_CENTER", "NONE", "0.0038")

```

```

# Process: Clip
arcpy.Clip_management(R_Sungai_r, "121.249215994107
0.292875665187554 123.875392210857 1.25211704541327",
R_Sungai_r_Clip, Bone_Pantai_bts, "255", "ClippingGeometry",
"NO_MAINTAIN_EXTENT")

# Process: Reclassify (6)
arcpy.gp.Reclassify_sa(R_Sungai_r_Clip, "Value", "0 0;0 30 5;30 60
4;60 90 3;90 120 2;120 150 1", Kelas_Sungai, "DATA")

# Process: Clip (5)
arcpy.Clip_management(LC81130602015084LGN00_quAC1,
"121.249215994107 0.292875665187554 123.875392210857
1.25211704541327", Landsat_BP, Bone_Pantai_bts, "-
3.402823e+038", "ClippingGeometry",
"NO_MAINTAIN_EXTENT")

# Process: Select Data (2)
arcpy.SelectData_management(Landsat_BP, "Layer_5")

# Process: Select Data
arcpy.SelectData_management(Landsat_BP, "Layer_4")

# Process: Raster Calculator
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(\"%Layer_5%\"-
\"%Layer_4%\")/(\"%Layer_5%\"+\"%Layer_4%\")", NDVI)

# Process: Reclassify (4)
arcpy.gp.Reclassify_sa(NDVI, "Value", "-1 0 5;0 0.25 4;0.25 0.5
3;0.5 0.75 2;0.75 1 1", Kelas_NDVI, "DATA")

```

```

# Process: Clip (7)
arcpy.Clip_analysis(Jalan_50K, Bone_Pantai_bts, Jalan_50K_BP, "")

# Process: Multiple Ring Buffer (2)
arcpy.MultipleRingBuffer_analysis(Jalan_50K_BP, R_Jalan,
"30;60;90;120;150", "Meters", "distance", "ALL", "FULL")

# Process: Union (2)
arcpy.Union_analysis("E:\\Landslide_Analysis.mdb\\Bone_Pantai_bt
s #;E:\\Landslide_Analysis.mdb\\R_Jalan #", Jalan_bp, "ALL", "",
"GAPS")

# Process: Polygon to Raster (2)
arcpy.PolygonToRaster_conversion(Jalan_bp, "distance", R_Jalan_r,
"CELL_CENTER", "NONE", "420")

# Process: Clip (2)
arcpy.Clip_management(R_Jalan_r, "121.249215994107
0.292875665187554 123.875392210857 1.25211704541327",
R_Jalan_r_Clip, Bone_Pantai_bts, "255", "ClippingGeometry",
"NO_MAINTAIN_EXTENT")

# Process: Reclassify (7)
arcpy.gp.Reclassify_sa(R_Jalan_r_Clip, "Value", "0 0;30 5;60 4;90
3;120 2;150 1", Kelas_Jalan, "DATA")

# Process: Polygon to Raster (3)
arcpy.PolygonToRaster_conversion(Struktur_Batuan_BP, "Struktur",
Srtuktur_Batuan_R, "CELL_CENTER", "NONE", "30")

# Process: Reclassify (9)

```

```
arcpy.gp.Reclassify_sa(Srtuktur_Batuan_R, "Struktur", "Q1 5;QTs  
1;Qal 1;Tmb 2;Tmbv 3;Tets 4", Kelas_Struktur2, "DATA")
```

```
# Process: Raster Calculator (2)
```

```
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(0.089*\"%Kelas_Elevasi%\") +  
(0.176*\"%Kelas_Slope2%\") + (0.104*\"%Kelas_Aspect2%\") +  
(0.114*\"%Kelas_Sungai%\") + (0.210*\"%Kelas_NDVI%\") +  
(0.084*\"%Kelas_Jalan%\") + (0.224*\"%Kelas_Struktur2%\")",  
Longsor)
```

```
# Process: Reclassify (5)
```

```
arcpy.gp.Reclassify_sa(Longsor, "Value", "0.80400000000000005  
2.25 1;2.25 2.75 2;2.75 3.25 3;3.25 4 4", Kelas_Longsor_R,  
"DATA")
```

```
# Process: Raster Calculator (3)
```

```
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("Con(IsNull(\"%Kelas_Longsor_R%\")  
, FocalStatistics(\"%Kelas_Longsor_R%\", NbrRectangle(5,5,  
\"CELL\"), \"MEAN\"), \"%Kelas_Longsor_R%\")",  
Kelas_Longsor_R2)
```

```
# Process: Reclassify (10)
```

```
arcpy.gp.Reclassify_sa(Kelas_Longsor_R2, "Value", "0 1 1;1 2 2;2 3  
3;3 4 4", Kelas_Longsor_R3, "DATA")
```

```
# Process: Raster to Polygon
```

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(Kelas_Longsor_R3,  
Kelas_Longsor_v, "SIMPLIFY", "VALUE")
```

```
# Process: Smooth Polygon
```

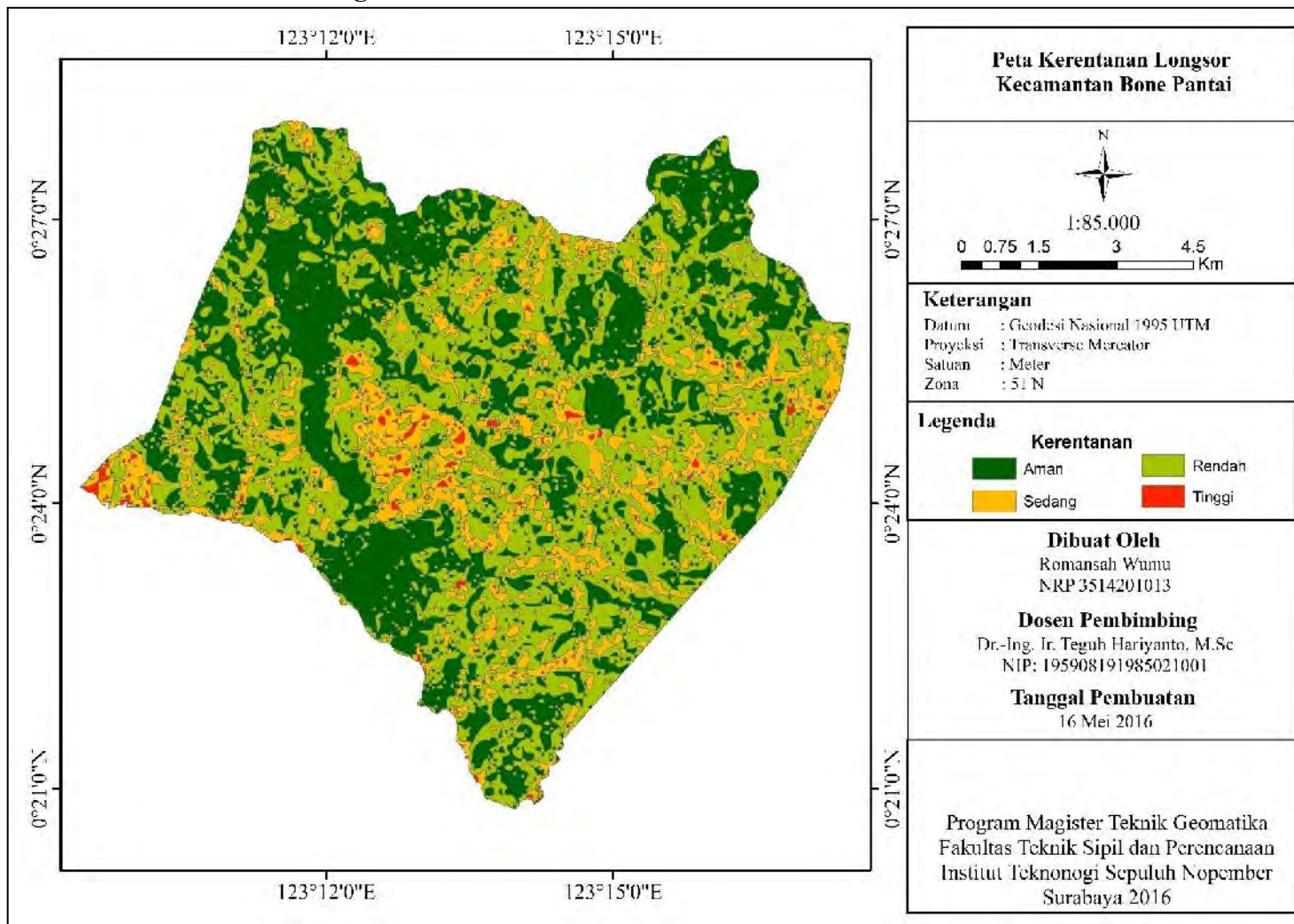


```
arcpy.SmoothPolygon_cartography(Kelas_Longsor_v,  
Kelas_Longsor_sp, "BEZIER_INTERPOLATION", "0  
DecimalDegrees", "FIXED_ENDPOINT", "NO_CHECK")
```

```
# Process: Clip (10)
```

```
arcpy.Clip_analysis(Kelas_Longsor_sp, Bone_Pantai_bts,  
Kelas_Longsor, "")
```

Lampiran 8. Hasil Peta Kerentanan Longsor



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa diperoleh kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengolahan data diperoleh model SIG peneltuan wilayah rawan longsor Kec. Bone Pantai (Lampiran 5)
2. Berdasarkan perbandingan survei lapangan (*ground truth*) dengan hasil pengolahan data secara WLC dan AHP diperoleh akurasi pemodelan SIG Kec. Bone Pantai adalah sebesar 80% dengan indeks statistik kappa 0,7337.
3. Berdasarkan model SIG diperoleh Peta Kerentanan Longsor Kec. Bone Pantai (Lampiran 7)

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, maka direkomendasikan beberapa hal berikut.

1. Pemetaan daerah rawan longsor dengan menggunakan parameter yang lebih kompleks dengan menambahkan variabel cuaca dan geodinamika.
2. Perlu dilakuan pembobotan kembali masing-masing paramer longsor dengan penyebaran responden kesioner AHP yang lebih beragam latar belakang bidang keilmuan/keahlian agar dapat mendapatkan penilaian yang lebih objektif.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Akgun, A. (2007). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon , North Turkey) region. *Environ Geol*, 51, 1377–1387. <http://doi.org/10.1007/s00254-006-0435-6>
- Akgun, A., Dag, A. S., & Bulut, A. F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli , NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environ Geol*, 54, 1127–1143. <http://doi.org/10.1007/s00254-007-0882-8>
- Apandi, T. Bacri, S. (1997). Peta geologi 250.000 lembar Kotamobagu.
- Atmadilaga, A. H. (2014). *Kamus Survei & Pemetaan Berilustrasi*. BSA ISI. Bandung.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination , the case in Tsugawa area of Agano River , Niigata Prefecture , Japan. *Landslide*, 1, 73–81. <http://doi.org/10.1007/s10346-003-0006-9>
- BNPB. (2013). 4 Tewas, 3 Hilang Akibat Banjir dan Tanah Longsor di Bone Bolango. Retrieved December 6, 2015, from <http://www.bnpb.go.id/berita>
- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. *Natural Hazards*, 20, 117–135.
- Carstensen, L. W. (1987). A Measure of Similarity for Cellular Maps. *The American Cartographer*, 14(4), 345–358. <http://doi.org/10.1559/152304087783875660>
- Chou, W., Lin, W., & Lin, C. (2009). Vegetation recovery patterns assessment at landslides caused by catastrophic earthquake : A case study in central Taiwan. *Environ Monit Assess*, 152, 245–257. <http://doi.org/10.1007/s10661-008-0312-8>
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Pengindraan Jauh Digital*. (B. R. W, Ed.), Penerbit ANDI.
- Falahnsia, A. R., & Taufik, M. (2014). Identifikasi Bencana Longsor Berdasarkan Metode Skoring Menggunakan Citra Satelit Di Sekitar Sungai Bedadung, Kabupaten Jember. In *Forum Ilmiah Tahunan ISI* (pp. 400–416).
- Foody, G. M. (2004). Thematic map comparison: evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* , 70(5), 627–633. [http://doi.org/10.1112/04/7005-0627/\\$3.00/0](http://doi.org/10.1112/04/7005-0627/$3.00/0)
- Frey, H., & Paul, F. (2012). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation On the suitability of the SRTM DEM and ASTER GDEM for the compilation of topographic parameters in glacier inventories. *International*

- Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 18, 480–490.
<http://doi.org/10.1016/j.jag.2011.09.020>
- Gupta, R. P., & Joshi, B. C. (1990). Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach A Case Study from the Ramganga Catchment , Himalayas. *Engineering Geology*, 28, 119–131.
- Hashimoto, M., Enomoto, M., & Fukushima, Y. (2010). Coseismic Deformation from the 2008 Wenchuan, China, Earthquake Derived from ALOS/PALSAR Images. *Tectonophysics*, 491(1-4), 59–71.
<http://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.08.034>
- Highland, L. (2004). Landslide Types and Processes. *USGS*, pp. 1–4.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook — A Guide to Understanding Landslides*. (M. Kidd, Ed.). Virginia: Circular 1325.
- Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., & Tien, D. (2015). Catena Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression , alternating decision tree and support vector machines. *Catena*, 133, 266–281. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.019>
- Hong, Y., Adler, R., & Huffman, G. (2007). Use of satellite remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility. *Nat Hazards*, 43, 245–256.
<http://doi.org/10.1007/s11069-006-9104-z>
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). Remote Sensing of Environment The next Landsat satellite : The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11–21. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., & Mulligan, M. (2004). *Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data* (No. 198). CIAT. Cali, Colombia.
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., & Owen, L. A. (2008). Geomorphology GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101, 631–642.
<http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.03.003>
- Kayastha, P., Dhital, M. R., & Smedt, F. De. (2013). Computers & Geosciences Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping : A case study from the Tinau watershed , west Nepal. *Computers and Geosciences*, 52, 398–408.
<http://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.003>
- KemenPU. (2012). *Pedoman Pembuatan Peta Rawan Longsor dan Banjir Bandang Akibat Runtuhnya Bendungan Alam*.
- Khezri, S. (2011). Landslide susceptibility in the Zab Basin , northwest of Iran. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 726–731.
<http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.191>
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2004). Landslide Inventories and Their Statistical Properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 687–711. <http://doi.org/10.1002/esp.1064>

- Malczewski, J. (2000). Review Article On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transaction in GIS*, 4(1), 5–22.
- Mancini, F., Ceppi, C., & Ritrovato, G. (2010). GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(9), 1851–1864. <http://doi.org/10.5194/nhess-10-1851-2010>
- Mondal, S., & Maiti, R. (2012). Landslide Susceptibility Analysis of Shiv-Khola Watershed, Darjiling: A Remote Sensing & GIS Based Analytical Hierarchy Process (AHP). *40*(September), 483–496. <http://doi.org/10.1007/s12524-011-0160-9>
- Pirotti, F., Parraga, A., Stuardo, E., Dubbini, M., Masiero, A., & Ramanzin, M. (2014). NDVI From Landsat 8 Vegetation Indices To Study Movement Dynamics of C. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7(October), 147–153. <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-147-2014>
- Pradhan, B., & Lee, S. (2007). Utilization of Optical Remote Sensing Data and GIS Tools for Regional Landslide Hazard Analysis Using an Artificial Neural Network Model. *Earth Science Frontiers*, 14(6), 143–152.
- Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Environmental Modelling & Software Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling and Software*, 25(6), 747–759. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.10.016>
- Saaty, L., T. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Mathematical Psychology*, 15, 234–281.
- Saaty, L., T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operation Research*, 48, 9–26.
- Saaty, L., T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1, 83–98.
- Schleier, M., Bi, R., Rohn, J., Ehret, D., & Xiang, W. (2014). Robust landslide susceptibility analysis by combination of frequency ratio, heuristic GIS-methods and ground truth evaluation for a mountainous study area with poor data availability in the Three Gorges Reservoir area, PR China. *Environmental Earth Sciences*, 71(7), 3007–3023. <http://doi.org/10.1007/s12665-013-2677-4>
- Shimada, M., Ozawa, T., Fukushima, Y., Furuya, M., & Rosenqvist, A. (2008). Japanese L-band Radar improves surface deformation monitoring. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 89(31), 277–278. <http://doi.org/10.1117/12.689363>.
- Sukojo, B. M. (2012). *Pengindraan Jauh (Dasar Teori dan Terapan)*. itspress. Surabaya: itspress.
- Suwandana, E., Kawamura, K., Sakuno, Y., Kustiyanto, E., & Rahajo, B. (2012). Evaluation of ASTER GDEM2 in Comparison with GDEM1, SRTM DEM

- and Topographic-Map-Derived DEM Using Inundation Area Analysis and RTK-dGPS Data. *Remote Sensing*, 4, 2419–2431. <http://doi.org/10.3390/rs4082419>
- Szabó, G., Kumar, S., & Szabó, S. (2015). Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases. *Physics and Chemistry of the Earth*, 83-84, 137–145. <http://doi.org/10.1016/j.pce.2015.06.003>
- Vanhellemont, Q., & Ruddick, K. (2014). Remote Sensing of Environment Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 145, 105–115. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.009>
- Wang, L., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., & Zhang, J. (2015). Catena Landslide susceptibility mapping in Mizunami City, Japan: A comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models. *Catena*, 135, 271–282. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.007>
- Westen, C. J. Van. (2013). 3.10 Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (Vol. 3, pp. 259–298). Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00051-8>
- Westen, C. J. van, Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3-4), 112–131. <http://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010>
- Wicaksono, P. (2010). Uji Akurasi Data Kategori.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1–12. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.003>
- Yang, W., Wang, M., & Shi, P. (2013). Using MODIS NDVI Time Series to Identify Geographic Patterns of Landslides in Vegetated Regions. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(4), 707–710.
- Yoshimatsu, H. Abe, S. (2006). A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method. *Landslide*, 2(March 2005), 149–158. <http://doi.org/10.1007/s10346-005-0031-y>

BIOGRAFI PENULIS



Romansah Wumu, lahir di Gorontalo 16 Mei 1988. Menyelesaikan studi di SDN 29 Kota Utara pada tahun 2000, SMP Negeri 3 Gorontalo pada tahun 2003, MAN Model Gorontalo pada tahun 2006. Penulis menyelesaikan sarjana di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Gorontalo pada tahun 2011. Bekerja di SMP Negeri 3 Gorontalo sebagai tenaga laboran IPA selama 1 tahun (2011), kemudian menjadi guru Fisika tidak tetap (GTT) di MAN Model Gorontalo selama 2 tahun (2012-2013). Penulis melanjutkan studi S2 melalui jalur beasiswa Pra S2 – S2 Saintek di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) jurusan Fisika (Pra S2) selama 1 (satu) tahun pada tahun 2013 dan melanjutkan studi S2 (Magister) di Jurusan Teknik Geomatika pada tahun 2014.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”