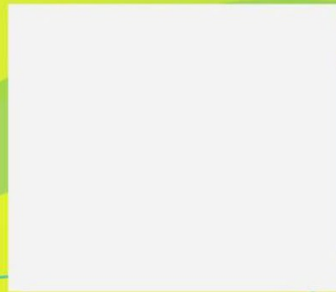


DAERAH ALIRAN SUNGAI ALO EROSI, SEDIMENTASI DAN LONGSORAN



Daerah Aliran Sungai Alo Erosi, Sedimentasi dan Longsoran

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Daerah Aliran Sungai Alo Erosi, Sedimentasi dan Longsoran

Fitryane Lihawa



DAERAH ALIRAN SUNGAI ALO EROSI, SEDIMENTASI DAN LONGSORAN

Fitryane Lihawa

Desain Cover : Dwi Nopi Diantoko
Tata Letak Isi : Haris Ari Susanto

Cetakan Pertama: Juli 2017

Hak Cipta 2017, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2017 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: deepublish@ymail.com

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

LIHAWA, Fitryane

Daerah Aliran Sungai Alo Erosi, Sedimentasi dan Longsor/oleh Fitryane
Lihawa.--Ed.1, Cet. 1--Yogyakarta: Deepublish, Juli 2017.

xii, 213 hlm.; Uk:17.5x25 cm

ISBN 978- 602-453-148-5

1. Bumi, Geografi Fisik

I. Judul

910.02

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkah dan rahmat Nya maka penulisan buku ini dapat diselesaikan. Materi dalam buku ini adalah hasil-hasil penelitian yang dilakukan penulis di Daerah Aliran Sungai Alo Kabupaten Gorontalo.

Dalam penulisan, penelusuran sumber referensi dalam buku ini, penulis dibantu oleh banyak pihak. Untuk itu diucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu yaitu Indriaty Martha Patuti, Ahmad Zainuri, Nurfaika, I Gusti Pradana, Jihad Septianto, Andi Trisatyo, Haspiah, Arland.

Buku ini dipersembahkan untuk:

- Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian FMIPA Universitas Negeri Gorontalo
- Suami tercinta : Farid Machmud
- Anak tercinta : Achmad Nur Fahry Machmud

Semoga Allah SWT meridhoi kita sekalian. Amin.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
BAB II. EKOSISTEM DAERAH ALIRAN SUNGAI.....	5
2.1 Pengertian Daerah Aliran Sungai	5
2.2 Pola Aliran Daerah Aliran Sungai	7
2.3 Morfometri DAS	9
BAB III. GAMBARAN UMUM DAERAH ALIRAN SUNGAI ALO.....	15
3.1 Letak Geografis	15
3.2 Iklim.....	17
3.3 Geomorfologi	18
3.4 Geologi	20
3.5 Lereng.....	35
3.6 Tanah	37
3.7 Karakteristik Sungai	39
3.8 Penggunaan Lahan.....	40
3.9 Vegetasi	41
3.10 Kependudukan.....	45
BAB IV. EROSI DAN SEDIMENTASI.....	47
4.1 Konsep Erosi dan Sedimentasi	47
4.2 Konsep sedimen dan transpor sedimen.....	50

4.2.1	Bentuk-bentuk sedimen.....	50
4.2.2	Transpor sedimen	51
4.2.3	Hasil sedimen	53
4.3	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Erosi dan Sedimen	54
4.4	Model-model Prediksi Erosi.....	57
4.4.1	Pengaruh tebal hujan terhadap erosi permukaan	57
4.4.2	Model pengaruh kondisi lingkungan DAS dan penggunaan lahan terhadap besarnya erosi permukaan.....	67
4.5	Sebaran erosi permukaan di DAS Alo-Pohu	69
4.6	Hasil Sedimen di DAS Alo-Pohu	73
4.6.1	Sedimen Melayang	73
4.6.2	Debit Aliran pada DAS Alo-Pohu	85
4.6.3	Sebaran temporal hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu	97
4.6.4	Model pengaruh lingkungan DAS dan penggunaan lahan terhadap hasil sedimen di DAS Alo-Pohu.....	98
4.6.5	Nisbah pelepasan sedimen	99
BAB V.	LONGSORAN	103
5.1	Konsep Longsor.....	103
5.2	Faktor-faktor Penyebab Longsor	105
5.3	Faktor Pengontrol Longsor.....	107
5.4	Jenis-jenis dan Tipe Longsor	112
5.5	Upaya-upaya Pencegahan Terjadinya Longsor	120
5.6	Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo	122
5.7	Bidang Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo	141
5.7.1	Metode Geolistrik	141
5.7.2	Bidang Longsor di DAS Alo	148
5.8	Kerawanan Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo	163

5.8.1	Metode dan Analisis Kerawanan Longsoran.....	163
5.8.2	Sebaran Tingkat Kerawanan Longsoran	170
5.8.3	Sebaran Tingkat Kerentanan Longsoran	173
5.8.4	Prioritas Penanganan Bencana Longsor	183
BAB VI.	KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT DALAM	
	PENGELOLAAN LAHAN DI DAS ALO	
	KABUPATEN GORONTALO.....	187
6.1	Kearifan Lokal.....	187
6.2	Praktek Pengelolaan Lahan Pertanian di DAS Alo	
	Kabupaten Gorontalo.....	189
6.2.1	Pembukaan Lahan.....	189
6.2.2	Penanaman	190
6.2.3	Pemeliharaan	191
6.2.4	Panen.....	192
6.2.5	Pasca-Panen.....	193
6.3	Bentuk Kearifan Lokal.....	194
6.3.1	Pemanfaatan Alat Tradisional.	194
6.3.2	Kepercayaan terhadap Panggoba, Ilmu	
	perbintangan dan Lowanga.	195
6.3.3	Praktek Huyula.	199
6.3.4	Praktek Bio-konservasi.	200
BAB VII.	PENUTUP.....	207
	DAFTAR PUSTAKA	208
	BIODATA PENULIS.....	213

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Data Curah Hujan pada Stasiun BMG Bandara Djalaludin Gorontalo Selang Tahun 2011 s/d 2015.....	17
Tabel 2.	Rata-rata Suhu Bulanan pada Stasiun BMG Bandara Djalaludin Gorontalo Selang Tahun 2011 s/d 2015.....	18
Tabel 3.	Geomorfologi DAS Alo.....	19
Tabel 4.	Kemiringan lereng DAS Alo Provinsi Gorontalo.....	35
Tabel 5.	Sifat fisik tanah pada lokasi longsoran di DAS Alo	38
Tabel 6.	Sungai-sungai yang bermuara ke Sungai Alo	40
Tabel 7.	Jenis penggunaan lahan berdasarkan luas pada DAS Alo	41
Tabel 8.	Jenis vegetasi pada DAS Alo Provinsi Gorontalo	42
Tabel 9.	Jumlah penduduk pada setiap desa Di DAS Alo Pada Tahun 2012	45
Tabel 10.	Model hubungan antara tebal hujan dengan erosi permukaan.....	57
Tabel 11.	Besarnya erosi permukaan pada DAS Alo-Pohu per bulan berdasarkan sub-sub DAS.....	71
Tabel 12.	Hasil analisis konsentrasi sedimen melayang pada DAS Alo-Pohu	73
Tabel 13.	Hasil uji beda dua rata-rata konsentrasi sedimen melayang antara hulu, tengah dan hilir sungai.	74
Tabel 14.	Ukuran butir sedimen melayang di DAS Alo-Pohu	76
Tabel 15.	Hasil analisis muatan sedimen dasar pada DAS Alo-Pohu	83
Tabel 16.	Hasil analisis muatan sedimen total pada DAS Alo-Pohu	84

Tabel 17. Hasil pengukuran tinggi muka air pada sungai-sungai di DAS Alo-Pohu.....	85
Tabel 18. Hasil pengukuran debit pada sungai-sungai di DAS Alo-Pohu	86
Tabel 19. Persamaan hubungan tinggi muka air dengan debit sungai pada DAS Alo-Pohu	87
Tabel 20. Hasil pengukuran debit sedimen melayang.....	90
Tabel 21. Persamaan regresi antara debit aliran dan debit sedimen melayang	90
Tabel 22. Hasil analisis debit sedimen total pada sungai-sungai di DAS Alo-Pohu	93
Tabel 23. Persamaan regresi antara debit aliran dan debit sedimen total pada DAS Alo-Pohu.....	94
Tabel 24. Besarnya hasil sedimen per bulan pada DAS Alo-Pohu	97
Tabel 25. Nisbah pelepasan sedimen pada DAS Alo-Pohu.....	99
Tabel 26. Faktor-faktor yang Berkontribusi Terhadap Kejadian Longsoran	107
Tabel 27. Klasifikasi dan karakteristik Tipe longsoran.....	115
Tabel 28. Nilai resistivitas material-material bumi.....	148
Tabel 29. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan 1	149
Tabel 30. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan B1-B2.....	152
Tabel 31. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan 3	155
Tabel 32. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan 4	158
Tabel 33. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan T1 – T2	161
Tabel 34. Skor dan Bobot Parameter Rawan Longsor	163

Tabel 35. Kriteria Zonasi Tingkat Bahaya Longsor.....	165
Tabel 36. Skor dan Bobot Parameter Penyebab Longsoran	166
Tabel 37. Analisis Indeks untuk Kajian Kerentanan.....	168
Tabel 38. Sebaran dan Luas Tingkat Kerawanan Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo.....	170
Tabel 39. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Sosial di DAS Alo Kabupaten Gorontalo.....	173
Tabel 40. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Fisik di DAS Alo Kabupaten Gorontalo	174
Tabel 41. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Ekonomi di DAS Alo Provinsi Gorontalo	175
Tabel 42. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Ekologi di DAS Alo Provinsi Gorontalo	176
Tabel 43. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo.....	177
Tabel 44. Wilayah Prioritas Pengelolaan Bencana Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo.....	184
Tabel 45. Jam yang baik memulai pekerjaan.....	195
Tabel 46. Hari Na'as setiap Bulan	196
Tabel 47. Perhitungan bulan di langit dan hari untuk dipakai pada semua pekerjaan	197

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Gambaran daerah aliran sungai (DAS)	7
Gambar 2.	Bentuk-bentuk pola aliran sungai	9
Gambar 3.	Sketsa Orde Sungai Menurut Strahler.....	11
Gambar 4.	Peta Administrasi DAS Alo Provinsi Gorontalo	16
Gambar 5.	Peta Geologi DAS Alo Provinsi Gorontalo.....	21
Gambar 6.	Jenis Batuan Sedimen Organik (Gamping Coral) yang ditemukan di Desa Alo Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo.....	23
Gambar 7.	Batuan Sedimen Organik (Gamping Coral) di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	23
Gambar 8.	Batuan beku yang ditemukan di Desa Buhu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	25
Gambar 9.	Batuan Beku di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.....	25
Gambar 10.	Batuan Beku Basalt yang ditemukan di Desa Labanu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	27
Gambar 11.	Batuan Beku Alterasi di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo	28
Gambar 12.	Batuan Vulknaik di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.....	29
Gambar 13.	Batuan Vulkanik di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	31
Gambar 14.	Batuan Vulkanik di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	32

Gambar 15.	Batuan Vulkanik di Desa Molamahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.....	32
Gambar 16.	Batuan Sedimen (batu gamping) di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo	34
Gambar 17.	Batuan Sedimen (Batu Gamping) di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	34
Gambar 18.	Peta Lereng di DAS Alo Provinsi Gorontalo	36
Gambar 19.	Ambang batas kecepatan aliran yang dapat menyebabkan terjadinya erosi, pengangkutan dan pengendapan sedimen berdasarkan ukuran partikelnya.....	52
Gambar 20.	Model umum perpindahan sedimen (Cook, 1990)	54
Gambar 21.	Grafik hubungan tebal hujan dan erosi permukaan pada masing-masing plot pengukuran.....	67
Gambar 22.	Grafik sebaran temporal erosi permukaan berdasarkan unit lahan per bulan pada DAS Alo-Pohu	70
Gambar 23.	Peta sebaran erosi permukaan di DAS Alo-Pohu Provinsi Gorontalo.....	72
Gambar 24.	Erosi tebing sungai di DAS Alo-Pohu	78
Gambar 25.	Pola distribusi ukuran butir sedimen melayang pada kondisi debit rendah yang masih terdeteksi ukuran butir	80
Gambar 26.	Pola distribusi ukuran butir sedimen melayang pada kondisi debit maksimum	82
Gambar 27.	Lengkung debit pada DAS Alo-Pohu	89
Gambar 28.	Grafik lengkung sedimen melayang pada DAS Alo-Pohu	92

Gambar 29.	Lengkung sedimen total di DAS Alo-Pohu.....	96
Gambar 30.	Penampang Longsor Alami	108
Gambar 31.	Sketsa Penampang Longsor.....	109
Gambar 32.	Standar Dimensi Longsor.....	111
Gambar 33.	Klasifikasi dan Karakteristik Gerakan Massa	118
Gambar 34.	Klasifikasi Longsor	119
Gambar 35.	Kenampakan Longsor di Desa Alo Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	126
Gambar 36.	Kenampakan Longsor di Desa Buhu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	127
Gambar 37.	Kondisi Longsor di Desa Labanu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	128
Gambar 38.	Kondisi Longsor di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.....	129
Gambar 39.	Kondisi Longsor di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.....	130
Gambar 40.	Kondisi Longsor pada Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo	131
Gambar 41.	Kondisi Longsor pada Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	132
Gambar 42.	<i>Rock Blok Slide</i> di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	133
Gambar 43.	Kondisi longsor lama di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	134
Gambar 44.	Longsor <i>Planar Slide</i> di Desa Isimu Utara.....	135
Gambar 45.	Kondisi Bekas Longsor di Desa Isimu Utara.....	136
Gambar 46.	Kondisi Longsor di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	137

Gambar 47.	Kondisi Longsoran di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo	138
Gambar 48.	Kondisi Longsoran di Desa Molamahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo	139
Gambar 49.	Kondisi Longsoran di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.....	140
Gambar 50.	Peta Tipe dan Sebaran Longsoran di DAS Alo Provinsi Gorontalo.....	140
Gambar 51.	Konfigurasi elektroda dalam eksplorasi geolistrik.	143
Gambar 52.	Model sintetik yang menunjukkan sensitifitas tiap konfigurasi elektroda dalam eksplorasi geolistrik.	147
Gambar 53.	Penampang 2D <i>resistivity imaging</i> pada lintasan A1-A2	149
Gambar 54.	Lima lapisan pada lintasan 1	151
Gambar 55.	Penampang 2D <i>resistivity imaging</i> pada lintasan B1-B2.....	152
Gambar 56.	Lima lapisan pada lintasan B1 – B2	154
Gambar 57.	Penampang 2D <i>resistivity imaging</i> pada lintasan Y1-Y2	155
Gambar 58.	Lima lapisan batuan pada lintasan 3	157
Gambar 59.	Penampang 2D <i>resistivity imaging</i> pada lintasan L1 – L2.....	158
Gambar 60.	Lima lapisan pada lintasan L1 – L2 Desa Isimu Utara	159
Gambar 61.	Penampang 2D <i>resistivity imaging</i> pada lintasan T1-T2.....	160
Gambar 62.	Lima lapisan pada lintasan T1 – T2.....	162
Gambar 63.	Komposisi Analisis Kerentanan	170

Gambar 64.	Peta Rawan Longsor di DAS Alo Provinsi Gorontalo	172
Gambar 65.	Peta Kerentanan Sosial DAS Alo Kabupaten Gorontalo	179
Gambar 66.	Peta Kerentanan Ekonomi DAS Alo Kabupaten Gorontalo	180
Gambar 67.	Peta Kerentanan Ekologi DAS Alo Kabupaten Gorontalo	181
Gambar 68.	Peta Kerentanan Fisik DAS Alo Kabupaten Gorontalo	182
Gambar 69.	Peta Kerentanan Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo	183
Gambar 70.	Peta Prioritas Pengelolaan Bencana Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo.....	184
Gambar 71.	Alat bajak <i>Popae'o</i>	195
Gambar 72.	Pemanfaatan tibo.	202
Gambar 73.	Pemanfaatan daun kelapa sebagai penahan erosi tebing	203
Gambar 74.	Pemanfaatan tanaman pisang sebagai penahan erosi	203
Gambar 75.	Saluran air darurat.....	204

BAB I. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah ekosistem yang dibatasi oleh igir-igir punggung bukit (*river divide*) dan berfungsi sebagai pengumpul, penyimpanan, dan penyalur air, sedimen serta unsur-unsur hara dalam sistem sungai, dan keluar dari wilayah tersebut melalui satu titik tunggal (*single outlet*). Daratan atau pulau hampir seluruhnya terbagi dalam satuan daerah aliran sungai (DAS). Dalam suatu daerah aliran sungai ada rangkaian proses pengumpulan, penyimpanan, penambatan dan penyaluran air, yang semuanya itu menjadi suatu sistem hidrologis dan memiliki peran yang sangat penting dalam pengaturan tata air.

Berdasarkan data Badan Pengelola DAS Bone Bolango Provinsi Gorontalo bahwa di Provinsi Gorontalo terdapat 10 (sepuluh) DAS besar. DAS Limboto adalah satu DAS besar yang ada di Provinsi Gorontalo dan merupakan daerah tangkapan air Danau Limboto. Masalah yang dihadapi di wilayah daerah tangkapan air Danau Limboto adalah terjadinya penurunan kualitas sumber daya alam baik hutan, tanah dan air, terjadinya erosi dan sedimentasi, terjadinya banjir yang hampir setiap tahun melanda wilayah hilir yaitu Kecamatan Tibawa, Kecamatan Limboto Barat, Kecamatan Batudaa, dan Kecamatan Limboto dalam tiga tahun terakhir, serta terjadinya pendangkalan Danau Limboto yang menjadi sumber mata pencaharian bagi masyarakat di sekitar Danau Limboto .

DAS Alo merupakan sub DAS yang berada dalam sistem DAS Limboto yang bermuara langsung ke Danau Limboto. Hasil penelitian JICA (2002) menunjukkan bahwa DAS Alo merupakan salah satu DAS penyumbang sedimen terbesar ke Danau Limboto yaitu 0,0342 kg/detik. Berdasarkan data survei terakhir yang

dilakukan JICA *Study Team*, volume sedimentasi tahunan diperkirakan sebesar $5,04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ (atau $5,500 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{tahun}$), sehingga apabila volume sedimen yang masuk tidak dapat dikendalikan maka diprediksikan dalam waktu 25 tahun Danau Limboto akan terisi sedimen. Lihawa & Sutikno (2009) menemukan bahwa DAS Alo memiliki sumbangan sedimen terbesar yaitu 947.187,87 ton dan SDR nya mencapai 0,59. Hal ini menunjukkan bahwa 59% sedimen yang tererosi akan masuk ke Danau Limboto. Akibatnya danau ini akan menjadi daratan akibat proses pendangkalan.

Degradasi lahan yang terjadi di DAS Alo disebabkan karena sistem pertanian yang tidak menerapkan teknik-teknik konservasi lahan seperti pembuatan teras dan guludan. Hal tersebut dapat memicu terjadinya bahaya erosi dan longsor. Fenomena longsor di DAS Alo telah sering terjadi pada setiap musim hujan. Data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Tahun 2011 menunjukkan kejadian longsor di Kabupaten Gorontalo yang merupakan sebagian dari wilayah DAS Alo telah menghancurkan 31 buah rumah, 190 rumah rusak, dan korban luka-luka sejumlah 628.

Tanah longsor adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan lereng yang menyebabkan bergeraknya massa tanah dan batuan ke tempat yang lebih rendah. Gerakan massa ini dapat terjadi pada lereng-lereng yang hambat geser tanah atau batumannya lebih kecil dari berat massa tanah atau batuan itu sendiri. Proses tersebut melalui empat tahapan, yaitu pelepasan, pengangkutan atau pergerakan, dan pengendapan. Perbedaan menonjol dari fenomena longsor dan erosi adalah volume tanah yang dipindahkan, waktu yang dibutuhkan, dan kerusakan yang ditimbulkan. Longsor memindahkan massa tanah dengan volume yang besar, adakalanya disertai oleh batuan dan pepohonan, dalam waktu yang relatif singkat, sedangkan erosi tanah adalah memindahkan partikel-partikel tanah dengan volume yang relatif lebih kecil pada setiap kali kejadian dan berlangsung dalam waktu yang relatif lama.

Proses longsor dapat menyebabkan kerusakan tatanan bentang lahan, sumber daya alam dan lingkungan, bahkan dapat menyebabkan terjadinya bencana alam yang merugikan bagi kehidupan manusia. Dalam buku ini akan diuraikan fenomena kejadian longsor di DAS Alo-Pohu Provinsi Gorontalo, dimana DAS ini merupakan salah satu DAS yang bermuara ke Danau Limboto.

BAB II. EKOSISTEM DAERAH ALIRAN SUNGAI

2.1 Pengertian Daerah Aliran Sungai

Ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terbentuk atas hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya (Odum, 1971; Asdak, 2002). Tingkatan organisasi antara makhluk hidup dan lingkungannya dikatakan sebagai suatu sistem karena memiliki komponen-komponen dengan fungsi yang berbeda, terkoordinasi secara baik sehingga masing-masing komponen terjadi hubungan timbal balik.

Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu daerah yang dibatasi oleh pemisah topografi, yang menerima hujan, menampung, menyimpan dan mengalirkan ke sungai seterusnya sampai ke danau atau laut (Seyhan, 1990; Summerfield, 1991; Ritter, 1995; Asdak, 2002; Suripin, 2004). Daerah aliran sungai merupakan suatu ekosistem dimana didalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, abiotik dan manusia. Sebagai suatu ekosistem, maka setiap masukan (*input*) dan proses yang terjadi dapat dievaluasi berdasarkan keluaran (*output*) dari ekosistem tersebut. Karakteristik biofisik DAS sebagai prosessor dalam merespons curah hujan yang jatuh dalam wilayah DAS tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, dan aliran permukaan.

Daerah aliran sungai dibagi dalam tiga zona yaitu:

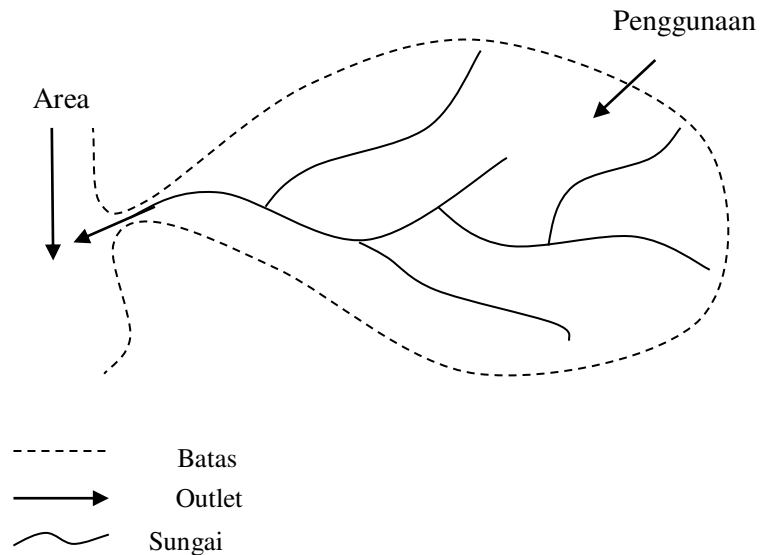
1. Zona Hulu, dengan ciri-ciri:
 - Merupakan daerah konservasi
 - Mempunyai kerapatan drainase lebih tinggi
 - Merupakan daerah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15%

- Bukan merupakan daerah genangan/banjir
- Jenis vegetasi umumnya merupakan tegakan hutan.

Daerah hulu DAS merupakan daerah yang mengendalikan aliran sungai dan menjadi satu kesatuan dengan daerah bagian hilir yang menerima aliran tersebut. Aliran sungai di bagian hulu memiliki kecepatan aliran yang lebih besar dari pada hilir.

2. Zona Tengah: merupakan transisi dari ciri zona hulu dan hilir.
 - Sebagian wilayahnya masih merupakan wilayah konservasi dan sebagian lainnya adalah daerah budidaya.
 - Kerapatan drainase beragam
 - Jenis vegetasi lebih beragam, sebagian merupakan vegetasi tinggi dan sebagian lagi merupakan vegetasi budi daya.
3. Zona Hilir, dengan ciri-ciri:
 - Merupakan daerah pemanfaatan
 - Kerapatan drainase lebih kecil
 - Daerah yang memiliki kemiringan lereng kecil (kurang dari 8%)
 - Pada beberapa tempat merupakan daerah genangan/banjir
 - Jenis vegetasi didominasi tanaman pertanian. (Seyhan, 1990; Asdak, 2002)

Gambar suatu daerah aliran sungai (DAS) ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambaran daerah aliran sungai (DAS)

Sebagaimana definisi dari suatu daerah aliran sungai yang merupakan penampung, penyimpan dan penyalur curah hujan, maka suatu DAS memiliki fungsi hidrologis. Kejadian banjir dan kekeringan merupakan suatu gejala rusaknya fungsi daerah aliran sungai. Ekosistem DAS hulu memiliki fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS, antara lain fungsi perlindungan terhadap tata air dalam ekosistem DAS tersebut. Daerah hulu dan hilir dalam suatu DAS memiliki keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi. Oleh karena itu, daerah hulu seringkali menjadi fokus dalam perencanaan pengelolaan DAS.

2.2 Pola Aliran Daerah Aliran Sungai

Sungai-sungai dalam suatu DAS membentuk suatu jaringan yang memiliki pola tertentu, dimana anak-anak sungai akan

mengalir ke dalam suatu sungai utama yang lebih besar. Pola aliran sungai tersebut dipengaruhi oleh kondisi topografi, geologi, iklim dan vegetasi yang terdapat di DAS tersebut.

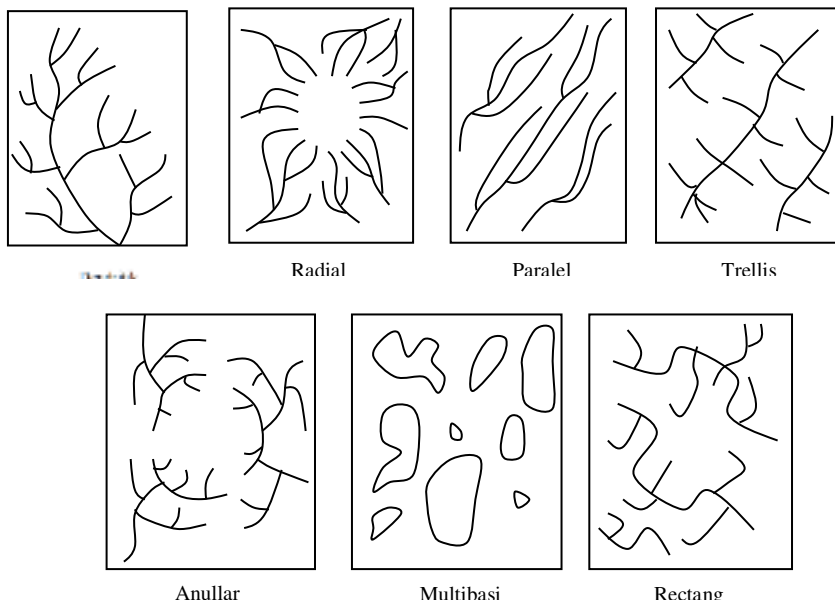
Pola-pola aliran sungai antara lain:

1. Radial
Pola aliran radial menggambarkan arah aliran sungai yang tersebar ke semua arah. Pola aliran sungai yang berbentuk radial dijumpai di daerah lereng gunung berapi, atau daerah dengan topografi berbentuk kubah. Pola aliran radial yang kompleks dalam suatu bidang vulkanik disebut multiradial.
2. Rektangular
Pola aliran rektanguler merupakan pola aliran sungai dimana sudut pertemuan dua anak sungai berbentuk siku. Pola ini berkembang pada batuan yang resistensi terhadap erosinya seragam. Pola rektangular terdapat di daerah batuan kapur.
3. Trellis
Pola aliran trellis biasanya dijumpai di daerah dengan lapisan sedimen di daerah pegunungan lipatan dengan kemiringan besar. Bentuknya panjang seperti pola trali pagar. Sungai trellis dicirikan oleh saluran-saluran air yang berpola sejajar, mengalir searah kemiringan lereng dan tegak lurus dengan sungai utamanya.
4. Paralel
Pola aliran paralel menunjukkan pola aliran sungai yang lurus, searah mengikuti arah lereng. Pola seperti ini terbentuk oleh lereng yang curam.
5. Dendritik
Pola dendritik berbentuk seperti cabang-cabang pohon. Pertemuan dua anak sungai membentuk sudut-sudut yang lancip cenderung siku. Pola ini umumnya terdapat di daerah dengan batuan sejenis dan penyebarannya luas.
6. Anular

Pola ini menunjukkan arah aliran sungai yang terpecah mulai dari suatu titik yang tinggi ke arah hilir dan menyatu di satu titik.

7. Multibasinal

Pola aliran multibasinal biasa disebut juga pola aliran sungai memusat. Pola aliran seperti ini biasanya ditemukan pada daerah cekungan. Pola aliran multibasinal dicirikan oleh bentuk yang memusat pada suatu lahan tertentu.



Gambar 2. Bentuk-bentuk pola aliran sungai

2.3 Morfometri DAS

Morfometri DAS adalah ukuran-ukuran kuantitatif dari suatu DAS, antara lain luas, panjang dan lebar, kemiringan, orde dan tingkat percabangan sungai dan kerapatan sungai.

1. Luas DAS

Luas DAS digambarkan oleh garis batas antar dua DAS. Garis batas antara dua DAS dalam hal ini adalah punggung bukit (igir) yang dapat memisahkan dan membagi air hujan ke masing-masing DAS. Garis batas tersebut ditentukan berdasarkan perubahan kontur dari Peta Topografi, sedangkan luas DAS dapat diukur dengan alat planimeter. Luas DAS dinyatakan dalam km^2 .

2. Panjang dan lebar

Panjang DAS sama dengan jarak datar antara muara sungai ke arah hulu sepanjang sungai induk. Lebar DAS dihitung berdasarkan luas DAS dibagi panjangnya.

3. Kemiringan

Kemiringan lereng antara dua lokasi ketinggian dapat dihitung dengan rumus :

$$I_d = \frac{i}{w}$$

(1)

Keterangan:

I_d = kemiringan lereng (m/km)

i = interval kontur (m)

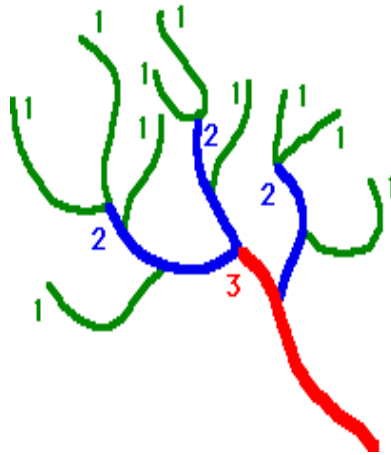
w = a/e

a = luas bidang diantara dua kontur (km^2)

e = panjang rata-rata dua kontur (km)

4. Orde sungai

Orde sungai adalah posisi percabangan alur sungai dalam urutannya terhadap induk sungai di dalam suatu DAS. Metode penentuan orde sungai yang sering digunakan adalah Metode Strahler. Metode Strahler dalam penentuan orde sungai ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Sketsa Orde Sungai Menurut Strahler

Alur sungai yang paling hulu yang tidak mempunyai cabang disebut orde 1. Pertemuan antara dua orde 1 disebut orde 2, dan pertemuan antara dua orde 2 disebut orde 3 dan seterusnya sampai pada sungai utama ditandai dengan nomor orde paling besar. Pemberian nomor harus menggunakan peta topografi skala besar agar semua sungai orde 1 dapat terbaca.

5. Rasio percabangan sungai (*Bifurcation Ratio*)

Berdasarkan atas penomoran orde sungai, maka dapat ditetapkan angka indeks yang menyatakan rasio percabangan sungai. Rasio percabangan sungai dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (2)$$

Keterangan:

R_b = Indeks tingkat percabangan sungai

N_u = Jumlah alur sungai orde ke-u

N_{u+1} = Jumlah alur sungai untuk orde ke u+1

Rata-rata rasio percabangan sungai dalam suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan:

$$WR_b = \frac{\sum_{u=1}^{u=k} R_{b_{u/u+1}} (N_u + N_{u+1})}{\sum_{u=1}^{u=k} N_u} \quad (3)$$

Keterangan:

WR_b = *Bifurcation Ratio*

k = orde sungai tertinggi dalam suatu DAS

$R_{b_{u/u+1}}$ = sungai orde ke u dan u+1

N_u = jumlah sungai orde ke u

N_{u+1} = jumlah sungai orde ke u+1

Berdasarkan pengkajian yang dilakukan oleh STRAHLER disimpulkan bahwa :

- Jika nilai $R_b < 3$ maka pada alur sungai tersebut akan mengalami kenaikan muka air banjir dengan cepat, sedangkan menurunnya berjalan dengan lambat.
 - Jika nilai $R_b > 5$ maka pada sungai tersebut akan mengalami kenaikan muka air banjir dengan cepat, dan penurunan muka air dengan cepat pula.
 - Jika nilai R_b diantara 3 dan 5 maka sungai tersebut akan mengalami kenaikan muka air yang tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat.
6. Kerapatan sungai

Kerapatan drainase yaitu total panjang sungai per satuan luas DAS dalam km/km^2 . Kerapatan sungai menunjukkan banyaknya anak sungai dalam suatu DAS. Kerapatan sungai dapat dihitung dengan persamaan:

$$D_d = L/A$$

(4)

Keterangan :

- D_d = kerapatan sungai
- L = total panjang alur sungai
- A = luas DAS

BAB III. GAMBARAN UMUM DAERAH ALIRAN SUNGAI ALO

3.1 Letak Geografis

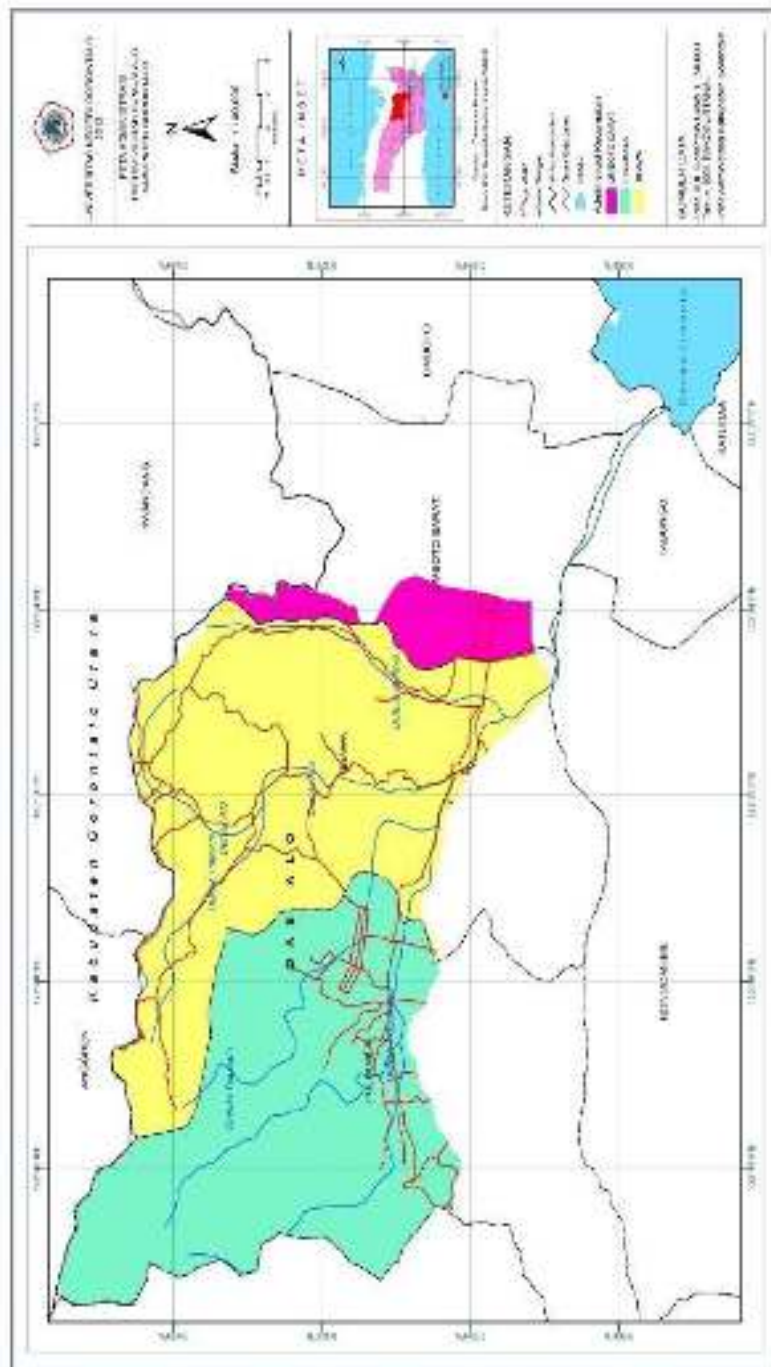
Daerah Aliran Sungai (DAS) Alo yang terletak di Kabupaten Gorontalo Provinsi Gorontalo. DAS Alo memiliki luas 24.221,41 ha yang terletak pada N 00⁰ 44' 52,715" dan E 122⁰ 49' 33,206' LU s/d N 0⁰ 39'59,192" dan E 122⁰ 49'12,778' LS . Batas DAS Alo adalah sebagai berikut.

- a. Sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Kwandang Kabupaten Gorontalo Utara
- b. Sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Limboto Kabupaten Gorontalo
- c. Sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Boliohuto Kabupaten Gorontalo
- d. Sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo.

Daerah aliran sungai Alo merupakan salah satu DAS yang bermuara ke Danau Limboto. DAS Alo terbagi atas beberapa sub DAS yaitu:

1. Sub DAS Alo Molamahu
2. Sub DAS Bolongga
3. Sub DAS Bohulo
4. Sub DAS Holongge
5. Sub DAS Buhiya
6. Sub DAS Botulopomalangga
7. Sub DAS Limboduo
8. Sub DAS Tolulodo

Lokasi daerah penelitian dan wilayah administrasi yang tercakup dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Administrasi DAS Alo Provinsi Gorontalo

3.2 Iklim

Iklim merupakan parameter yang bersifat aktif dan dinamis dalam proses pelapukan dan longsor. Proses pelapukan fisik, kimia dan biologi dipengaruhi oleh kondisi iklim yaitu suhu dan curah hujan. Uraian kondisi curah hujan dan suhu di lokasi penelitian diuraikan sebagai berikut.

a. Curah hujan

Pada daerah tropis, unsur cuaca yang sangat berpengaruh terhadap proses longsor adalah curah hujan. Hujan berperan dalam proses longsor melalui tenaga penglepasan dari pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah dan selanjutnya merupakan tenaga pengangkut material tanah longsor. Data curah hujan yang digunakan untuk menentukan tipe iklim diambil dari 2 (dua) stasiun curah hujan yang ada di lokasi penelitian maupun di sekitar lokasi penelitian yaitu Stasiun Meteorologi Bandara Djalaluddin Gorontalo, Stasiun ARR Alo. Data curah hujan dan hari hujan pada lokasi penelitian diperoleh melalui pengukuran curah hujan yang ada di lokasi penelitian yaitu pada Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika Bandara Djalaludin Gorontalo dan Stasiun Curah Hujan Alo. Data curah hujan selang Tahun 2009 s/d Tahun 2013 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Curah Hujan pada Stasiun BMG Bandara Djalaludin Gorontalo Selang Tahun 2011 s/d 2015

Bulan	Curah Hujan (mm)				
	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	59	90	144	146	120
Februari	322	129	150	15	68
Maret	302	76	110	107,5	15
April	113	244	187	124	23
Mei	116	262	257	135,8	188
Juni	205	118	99	112	176,5
Juli	27	221	244	45	-

Agustus	7	107	160	54	-
September	44	45	23	6	-
Oktober	182	147	131,6	72	45,4
November	91	403	406,7	321	154
Desember	186	152	135	266	55

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo, 2012; 2013; 2014; 2015; 2016.

b. Suhu

Suhu rata-rata di DAS Alo Provinsi Gorontalo berkisar 26⁰C – 28⁰C. Suhu udara maksimum rata-rata tahunan di lokasi penelitian berkisar 32⁰C , sedangkan suhu udara minimum rata-rata tahunan berkisar 23⁰C. Keadaan suhu udara rata-rata selama lima tahun terakhir ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Suhu Bulanan pada Stasiun BMG Bandara Djalaludin Gorontalo Selang Tahun 2011 s/d 2015

Bulan	Suhu				
	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	26,6	26,8	27,8	26,0	26,7
Februari	26,5	27,0	27,0	24,2	24,14
Maret	26,3	28,2	28,2	27,2	27,05
April	26,3	27,0	26,5	26,5	26,88
Mei	27,4	27,6	27,4	27,4	27,35
Juni	26,0	27,1	27,2	26,2	25,96
Juli	27,0	26,5	26,1	27	26,93
Agustus	27,4	27,0	27,0	26,5	26,76
September	27,5	27,6	27,0	27,1	26,53
Oktober	27,4	27,8	27,6	27,7	27,78
November	26,7	26,8	26,5	27,3	27,15
Desember	27,1	26,4	26,4	27,1	28,39

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo, 2012; 2013; 2014; 2015; 2016.

3.3 Geomorfologi

Keadaan geomorfologi DAS Alo berdasarkan peta Land Sistem Tahun 1988 dan Peta Geomorfologi DAS Limboto Skala 1:50.000 Tahun 2005 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Geomorfologi DAS Alo

No	Geomorfologi		Luas	
			Km ²	(%)
1	AWY Awaay = Napal	Dataran berombak di atas napal dan batu gamping	0,47	0,1
3	BBR Bukit Baringin	Deretan bukit yang sangat curam di atas batuan beku asam	29,02	5,9
4	DLU Danau Lindu	Dataran Lakustin	58,28	11,9
5	GBJ Gunung Bajo	Daratan Karstik berbukit kecil	0,89	0,2
6	GJO Gajo	Kipas Aluvial Vulkanik melereng sedang	9,75	1,99
7	KLK Kalung	Bukit kars diatas marmer dan batu gamping	24,8	5,1
8	KTT Katotinggi	Kipas aluvial non vulkanik yang melereng sedang	19,3	3,9
9	LBS Lubuk Sikeling	Kipas aluvial non vulkanik yang melereng landai	8,4	1,7
10	OKI Okki	Punggung bukit dan punggung-punggung bukit karstik yang tidak rata	30,8	6,3
11	TWI Telawi	Punggung-punggung granit terorientasi yang terjal	141,7	29,01
		Total	488,28	100

Sumber : BP DAS Bone Bolango, 2005.

3.4 Geologi

Salah satu aspek geologi yang berperan terhadap proses geomorfik adalah litologi. Litologi (batuan) menjadi dasar untuk memperoleh informasi dan karakteristik tanah dan hidrologi, seperti pola aliran sungai dan kerapatan aliran. Deskripsi formasi batuan penyusun pada DAS Alo berdasarkan pada Peta Geologi Tahun 1993 Skala 1:250.000 Lembar Tilamuta (S.Bachri, dkk. 1993) menunjukkan bahwa DAS Alo tersusun atas batuan yang berumur Tersier dan Kuartar. Formasi batuan penyusun pada DAS Alo adalah sebagai berikut.

a) Diorit Bone (Tmb)

Diorit Bone dapat dijumpai di sub DAS Molamahu dan sub DAS Alo yang tersusun atas diorit, diorit kuarsa, granodiorit. Umur satuan ini sekitar Miosen Akhir.

b) Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv)

Terdiri dari breksi, tuf dan lava bersusunan andesit, dasit dan riolit. Tebal satuan diperkirakan lebih dari 1000 m, sedang umurnya adalah Miosen Bawah- Miosen Akhir. Dapat dijumpai di sub DAS Alo.

c) Formasi Dolokapa (Tmd)

Formasi Dolokapa tersusun atas batulanau, batulumpur, konglomerat, tuf, tuflapili, aglomerat, breksi gunungapi, lava andesit sampai basal.

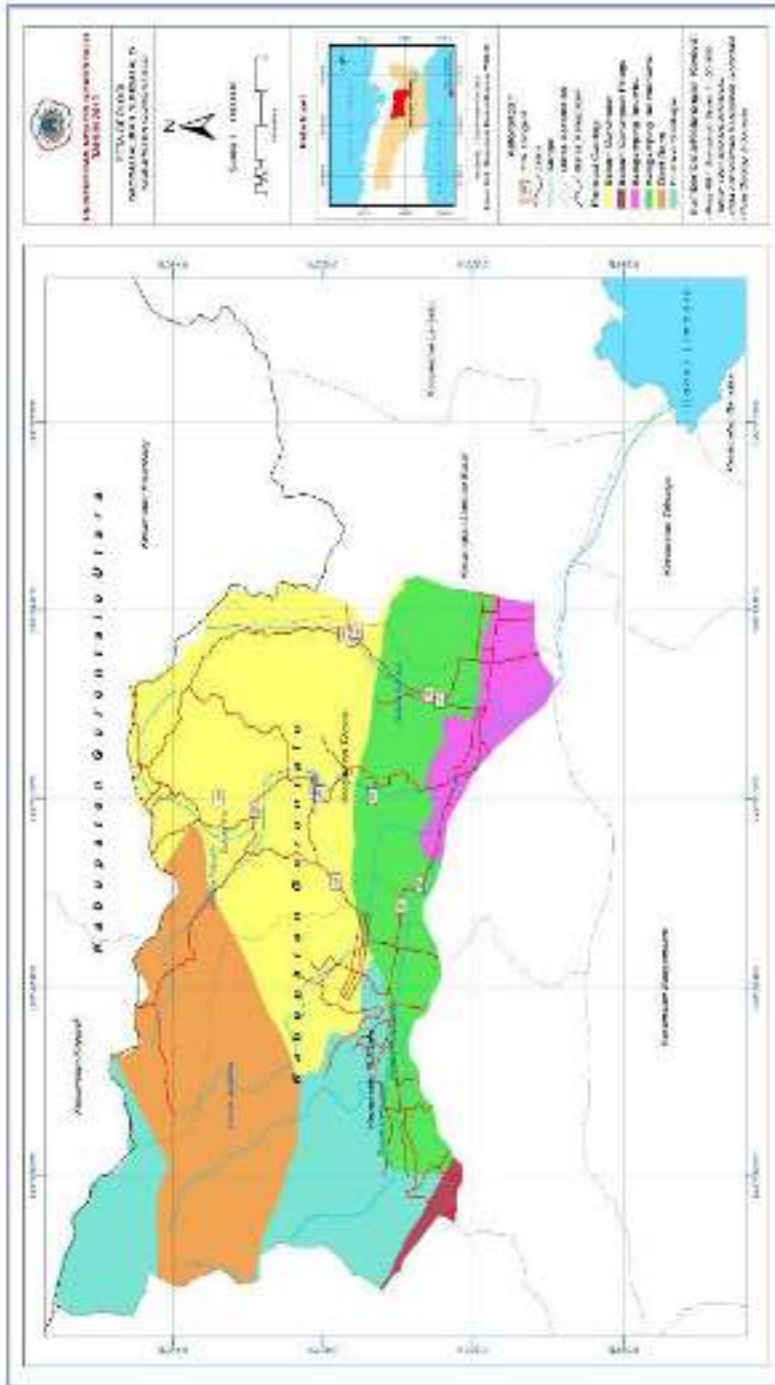
d) Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv)

Batuan gunungapi Pinogu berumur Tersier, tersusun atas aglomerat, tuf, lava andesit-basal. Umur geologinya adalah Pliosen.

e) Batu Gamping Terumbu (Ql)

Sebagian DAS Alo tersusun atas batu gamping terumbu berumur Kuartar yang terdiri dari batu gamping koral. Umur geologinya adalah Holosen.

Peta Formasi Geologi DAS Alo ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Geologi DAS Alo Provinsi Gorontalo

Jenis batuan yang terdapat di DAS Alo, khususnya pada lokasi-lokasi kejadian longsoran adalah sebagai berikut.

1. Batuan sedimen organik

Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk karena adanya proses sedimentasi dari batuan material lain. Batuan sedimen terbentuk dari batu-batuan yang telah ada sebelumnya oleh kekuatan-kekuatan yaitu pelapukan, hasil kerja air, pengikisan oleh angin, serta proses litifikasi (proses perubahan material sedimen menjadi sedimen kompak), diagenesis (proses perubahan unsur mineral selama terendapkan dan terlitifikasi) dan proses transportasi sehingga jenis batuan ini terendapkan di tempat atau wilayah yang relatif lebih rendah.

Batuan sedimen organik yaitu batuan sedimen yang terbentuk dari proses pengendapan organisme. Contohnya, batuan gamping koral tergolong sebagai batuan sedimen organik yang berasal dari organisme laut dangkal seperti terumbu karang (Coral).

Batuan sedimen ditemukan di Desa Alo Kecamatan Tibawa dan diperoleh pada wilayah tebing yaitu tepatnya pada tebing lereng bagian bawah, memiliki karakteristik warna keputih-putihan yang mengindikasikan bahwa jenis batuan tersebut memiliki kandungan CaCO_3 yang tinggi, merupakan akumulasi bahan sisa organisme laut dangkal yaitu berupa terumbu karang. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jenis batuan sedimen ini adalah batu gamping coral. Jenis batuan tersebut merupakan jenis batuan yang memiliki kandungan CaCO_3 yang tinggi sehingga mudah larut. Jenis batuan tersebut mudah lapuk dan tererosi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Jenis Batuan Sedimen Organik (Gamping Coral) yang ditemukan di Desa Alo Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Batuan sedimen (Gamping Coral) juga ditemukan di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo pada koordinat N: $00^{\circ} 40' 3,3''$ dan E: $122^{\circ} 52' 40,4''$, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Batuan Sedimen Organik (Gamping Coral) di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

2. Batuan Beku

Batuan beku merupakan bauan yang berasal dari hasil proses pembekuan magma. Magma merupakan material silikat yang panas dan pijar yang terdapat di dalam bumi. Mineral-mineral yang membentuk batuan beku di determinasi oleh komposisi kimia magma dari mana mineral-mineral tersebut mengkristal. Batuan beku mempunyai variasi yang sangat besar, dapat pula diasumsikan bahwa macam magmapun mempunyai variasi yang besar. Para ahli geologi telah mendapatkan bahwa satu gunung api mempunyai tingkat erupsi yang bervariasi dan terkadang mengeluarkan lava yang mempunyai mineral berbeda.

Batuan beku di temukan di Desa Buhu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo pada koordinat N : $00^{\circ}43,363'$ dan E : $122^{\circ} 50,835'$. Batuan ini diperoleh pada wilayah tebing lereng bagian bawah (lokasi longsoran), memiliki karakteristik batuan yang berwarna hitam keabu-abuan, setelah dianalisis lebih lanjut, terdapat banyak bercak-bercak putih yang mengindikasikan kandungan mineral silikat (Sillisum oksida) yang tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis batuan tersebut merupakan jenis batuan beku yang terbentuk dari hasil inturusi magma dan telah tersilifikasi atau telah mangalami proses peningkatan kandungan silica. Dengan demikian, kandungan mineral primer batuan tersebut telah terdekomposisi dengan mineral lain sehingga menyebabkan jenis batuan ini mudah pecah dan lapuk dan menjadi material longsoran., sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Batuan beku yang ditemukan di Desa Buhu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Batuan beku juga ditemukan di Desa Toyidito pada koordinat N: $0^{\circ} 41,695'$ dan E: $122^{\circ} 47,681'$, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Batuan Beku di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

3. Batuan Beku Basalt

Secara umum, ada dua bentuk batuan beku yaitu batuan beku bentuk ekstrusi dan intrusi. Bentuk ekstrusi adalah bentuk yang dibangun oleh magma ketika mencapai permukaan bumi yang disebut lava. Berdasarkan dari proses terbentuknya, batuan beku terdiri dari batuan beku intrusi yaitu pembekuan magma yang tidak sampai pada permukaan bumi dan batuan beku hasil ekstrusi yaitu pembekuan magma yang sampai pada permukaan bumi berupa batuan lelehan atau lava. Salah satu jenis batuan beku lelehan adalah batu beku basalt. Batu basalt merupakan batuan lelehan dari *gabbro* berbutir halus, bertekstur *hipokristalin* yang mengandung mineral *plagioklas (labradorit)* yang bersifat basa. Basalt umumnya berwarna hitam karena kaya akan unsure besi dan magnesium.

Batuan beku basalt di DAS Alo ditemukan di Desa Labanu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo, secara geografis berada pada koordinat N: $00^{\circ} 44,79'$ dan E: $122^{\circ} 51,026'$.

Batuan beku basalt tersebut memiliki karakteristik warna batuan yang didominasi oleh warna hitam yang mengindikasikan bahwa jenis batuan tersebut bersifat basa, serta memiliki tekstur porfiriya itu terdiri dari Kristal-kristal halus atau kaca. Selain itu, material tanah yang merupakan hasil dari pelapukan batuan yang ada pada lokasi tersebut didominasi oleh warna coklat kemerahan sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis batuan induknya memiliki kandungan besi dan magnesium yang tinggi.



Gambar 10. Batuan Beku Basalt yang ditemukan di Desa Labanu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Sifat jenis batuan beku merupakan jenis batuan yang tergolong batuan yang keras dan tidak mudah lapuk, akan tetapi oleh karena adanya beberapa faktor tenaga eksogen yang bekerja pada permukaan bumi seperti tenaga air, angin, gaya gravitasi, dan sebagainya maka tidak menutup kemungkinan jenis batuan ini akan mengalami translokasi atau berpindah tempat, sehingga akan menyebabkan proses pecahnya batuan yang memicu terbentuknya retakan-retakan pada bidang batuan yang akan mempermudah proses pelapukan batuan. Dengan demikian batuan tersebut akan menjadi batuan induk dan berubah menjadi bahan induk tanah dan menjadi material longsor.

Gambar batuan beku basalt ditunjukkan pada Gambar 10

4. Batuan Beku Alterasi

Alterasi adalah proses perubahan komposisi mineralogy batuan yang disebabkan oleh perubahan suhu dan tekanan yang tinggi. Batuan beku yang telah mengalami proses alterasi yaitu telah mengalami proses perubahan unsur mineral yang lebih signifikan disebut batuan beku alterasi.

Batuan beku alterasi ditemukan di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo. Secara geografis berada pada

koordinat N: $00^{\circ} 41,74'$ dan E: $122^{\circ} 49,68'$. Batuan ini diperoleh pada tebing lereng bagian bawah (wilayah longsor), memiliki karakteristik warna coklat kemerahan. Setelah dianalisis lebih lanjut, bagian permukaan batuan yang menjadi bidang belahan batuan terdapat karakteristik warna yang didominasi oleh warna kehijauan seperti lumut yang biasa disebut dengan mineral *serpentin*. Sebagai indikator jika ditinjau dari aspek geologis, wilayah tersebut merupakan wilayah patahan, dan secara geomorfologis merupakan bentuk lahan bentukan asal struktural, sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis batuan yang ada pada lokasi ini adalah jenis batuan beku alterasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Batuan Beku Alterasi di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

5. Batuan Vulkanik

Batuan vulkanik yang sering disebut batuan leleran atau batuan efusi atau batuan ekstrusi atau vulkanik adalah batuan yang berasal dari magma yang meleleh di permukaan bumi (lava). Batuan ini umumnya mempunyai tekstur porfiri (setengah kristalin) dan amorf. Tekstur porfiri dapat dilihat dengan adanya

kristal-kristal dalam matriks batuan, sedangkan tekstur amorf dapat dilihat dalam batu kaca atau obsidian dan dalam tanah yang banyak mengandung abu vulkan. Kaitannya dengan penelitian ini, sampel batuan memiliki karakteristik yang terdiri dari warna hitam sebagai warna dasar dan memiliki warna material yang menyelubungi (*coating* mineral) berwarna coklat kemerahan, hal tersebut mengindikasikan bahwa terdiri dari mineral besi. Pada matriks batuan tampak adanya kristal-kristal kecil dan material tanah yang merupakan hasil dari pelapukan memiliki tekstur yang sangat halus berupa abu vulkan.

Batuan Vulkanik ditemukan di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo. Koordinat geografis lokasi Sampel 5 adalah N: $00^{\circ} 40,062'$ dan E: $122^{\circ} 49,637'$. Di DAS Alo, jenis batuan ini berupa bongkahan-bongkahan atau fragmen-fragmen batuan kecil yang mudah dan telah mengalami pelapukan. Fragmen-fragmen batuan tersebut terakumulasi dengan material tanah yang telah menjadi material longsor, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Batuan Vulknaik di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Batuan Vulkanik juga ditemukan di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo. Lokasi tersebar pada koordinat N: $00^{\circ} 41' 25,169''$ dan E: $122^{\circ} 53' 33,404''$; N: $00^{\circ} 41' 21,4''$, E: $122^{\circ} 53' 42,1''$ dan koordinat N: $00^{\circ} 41' 17,949''$ dan E: $122^{\circ} 53' 40,624''$, seperti ditunjukkan pada Gambar 13

Beberapa perbedaan dengan batuan vulkanik yang ditemukan di Desa Molalahu adalah batuan pada ketiga lokasi ini termasuk kelompok jensi batuan vulkanik yang terbentuk oleh karena aktifitas vulkanisme yang menyebabkan magma meleleh sampai ke permukaan bumi (lava) dan mengalami pendinginan lalu membeku menjadi batuan vulkanik. Batuan pada lokasi ini memiliki karakteristik seperti yang tampak pada Gambar 13, yakni memiliki karakteristik warna abu kemerahan, bertekstur amorf yakni berupa debu yang sangat halus (abu vulkan), dan pada matriks bagian dalam batuan tampak adanya kandungan kristal-kristal (bercak-bercak putih).

Batuan vulkanik (tuff) juga ditemukan di wilayah administrasi Desa Iloponu. Secara geografis tersebar pada koordinat N: $0^{\circ} 42,1889'$ dan E: $122^{\circ} 51,213'$; dan berada pada koordinat N: $0^{\circ} 42,069'$ dan E: $122^{\circ} 51,090'$, seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Batuan Vulkanik di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Batuan Vulkanik juga ditemukan di Desa Molamahu, pada titik koordinat N: $0^{\circ} 40,850'$ dan E: $122^{\circ} 47,681'$, seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Batuan vulkanik pada lokasi ini memiliki karakteristik sifat tekstur amorf yaitu terasa seperti abu vulkan yang sangat halus. Selain itu, seperti yang terlihat pada Gambar 13 tampak bahwa sampel batuan tersebut berwarna abu keputihan, hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat unsur mineral karbonat (CaCO_3) pada batuan tersebut. Dengan demikian dapat diidentifikasi bahwa mineral primer pada batuan tersebut telah mengalami dekomposisi (perubahan mineral) yang berdekomposisi dengan mineral gampingan. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa jenis batuan pada lokasi ini tergolong sebagai batuan vulkanik yakni tufa gampingan. Oleh karena adanya dekomposisi mineral pada batuan induk (batuan asal) sehingga menyebabkan jenis batuan ini mengalami proses pelarutan dan pelapukan menjadi material bahan induk yakni berupa fragmen-fragmen batuan yang telah lapuk menjadi material tanah yang merupakan material longsor.



Gambar 14. Batuan Vulkanik di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo



Gambar 15. Batuan Vulkanik di Desa Molamahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

6. Batuan Sedimen (Batu Gamping)

Batuan Sedimen merupakan batuan yang terbentuk karena proses diagenesis dari batuan lain yang sudah mengalami sedimentasi atau pengendapan. Batuan sedimen klastik merupakan jenis batuan yang terdiri dari akumulasi partikel-partikel yang berasal dari pecahan batuan dan sisa-sisa kerangka organisme yang telah mati. Batu gamping merupakan jenis batuan sedimen yang secara kimia terdiri atas kalsium karbonat (CaCO_3) dan Magnesium. Kaitannya dengan penelitian ini, sampel batuan memiliki karakteristik warna keputih-putihan yang dapat dijadikan indikasi bahwa memiliki kandungan kalsium karbonat yang tinggi, hal tersebut dapat dibuktikan melalui penggunaan larutan HCl untuk pengujian ada tidaknya kandungan CaCO_3 . Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa jenis batuan tersebut memiliki kandungan kalsium karbonat CaCO_3 yang tinggi. Selain itu, pada sampel batuan tersebut tampak terlihat adanya tekstur batuan yang porous artinya memiliki tingkat pelarutan yang tinggi dan mudah lapuk. Batuan sedimen (batu gamping) ditemukan di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo. Letak geografis berada pada koordinat N: $00^{\circ} 40,062'$ dan E: $122^{\circ} 49,637'$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Batuan Sedimen (batu gamping) di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Batuan sedimen (Batu Gamping) juga ditemukan di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo. Letak geografis berada pada koordinat N: $00^{\circ} 39,663'$ dan E: $122^{\circ} 52,586'$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Batuan Sedimen (Batu Gamping) di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

3.5 Lereng

Hasil interpretasi *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) Tahun 2004 dan dibandingkan dengan Peta Digital Elevation Model serta pengecekan lapangan Tahun 2013 keadaan kemiringan lereng di DAS Alo ditunjukkan pada Tabel 4.

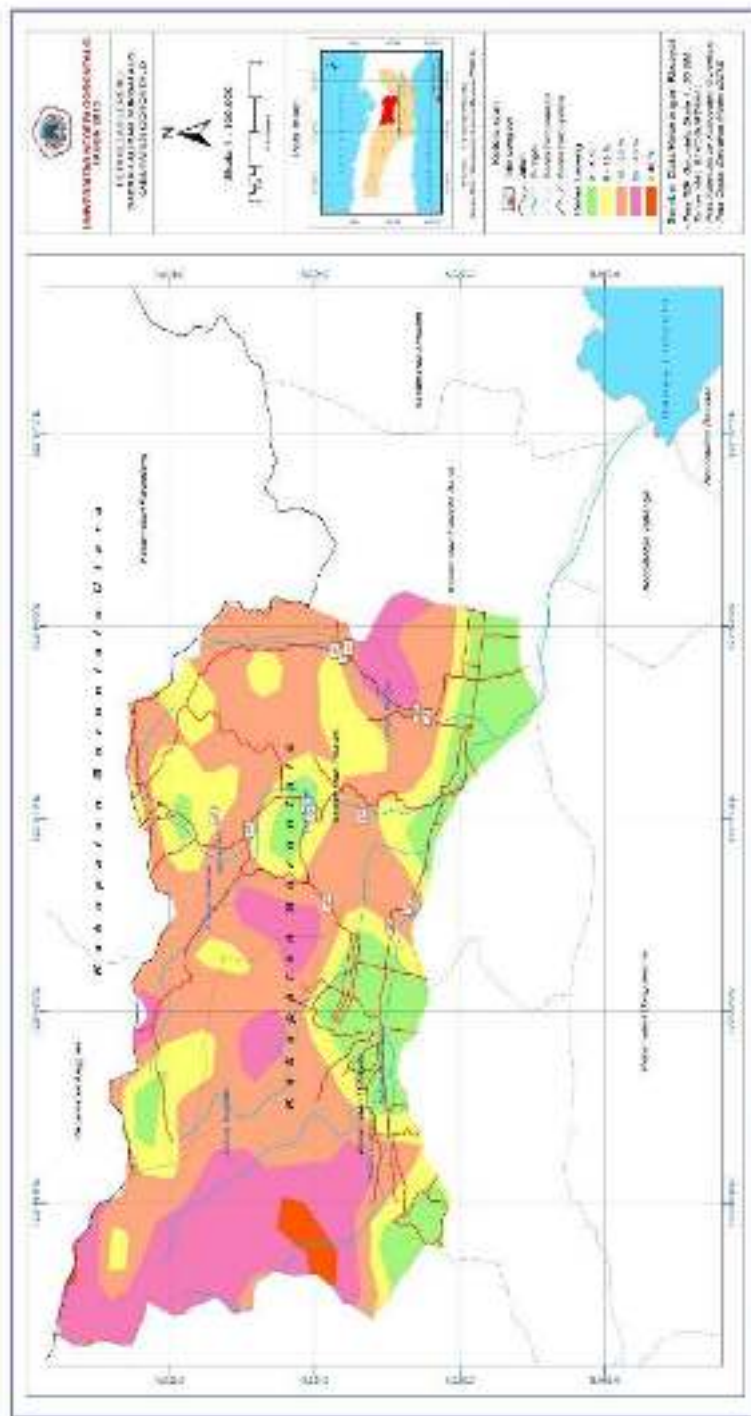
Tabel 4. Kemiringan lereng DAS Alo Provinsi Gorontalo

Kemiringan Lereng	Kriteria	Luas (ha)	Persentase (%)
0 -8 %	Datar	2.970,2	25,03
8 – 15%	Landai	4.050,2	34,13
15 – 25%	Agak Curam	3.054,1	25,74
25 – 45%	Curam	1.538,1	12,96
> 45%	Sangat Curam	254,7	2,15
Total		11.867,3	100

Sumber : Hasil interpretasi SRTM, Peta DEM dan cek lapangan Tahun 2013

Tabel 4 menunjukkan bahwa kemiringan lereng di DAS Alo didominasi oleh lereng landai dengan kemiringan berkisar 8 - 15% dengan persentase luasan 3,14%. dan kemiringan lereng 15 – 25% sebesar 25,74%.

Peta Lereng pada DAS Alo ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Peta Lereng di DAS Alo Provinsi Gorontalo

3.6 Tanah

Berdasarkan Peta Tanah Tinjau yang dibuat oleh Pusat Penelitian Tanah Agroklimat (1992) dan Peta Tanah DAS Limboto yang dibuat oleh BP DAS Bone-Bolango Tahun 2005, jenis-jenis tanah di wilayah DAS Alo adalah sebagai berikut.

a) Andosol

Tanah dengan epipedon mollik atau umbrik atau orchik dan horison kambik, serta mempunyai bulk density kurang dari 0,85 g/cc dan didominasi bahan amorf atau lebih dari 60% terdiri dari bahan vulkanik vitrik, cinder, atau piroklastik vitrik yang lain. Jenis tanah tersebar di Desa Labanu Kecamatan Tibawa, Desa Ayumolingu, sebagian Desa Molamahu Kecamatan Pulubala.

b) Grumusol

Tanah ini berkembang dari batuan tuf gamping, napal dan tuf napalan. Tanah ini mempunyai sifat susunan horison A, B, C, kedalaman tanah efektif dangkal – sedang, tekstur lempung berat, struktur granuler-pejal, konsistensi sangat teguh, bila basah sangat lekat dan sangat plastis, pada lahan yang tidak diolah tampak relief mikro gilgai, permeabilitas sangat lambat, warna tanah kelabu-hitam, KTK sangat tinggi, kejenuhan basa tinggi, kesuburan dan potensi tanah rendah hingga sedang. Grumusol merupakan tanah yang peka terhadap erosi. Sebaran tanah ini meliputi Desa Pulubala, Desa Molalahu, Desa Pongongaila Kecamatan Pulubala, dan Desa Datahu Kecamatan Tibawa.

c) Litosol

Jenis tanah ini berkembang dari asosiasi tanah Latosol dan Mediteran karena erosi sangat berat, solum tanah tinggal lapisan tanah yang tipis, kurang dari 25 cm, bahkan sebagian besar tinggal singkapan batuan induk. Sifat tanah ini adalah kedalaman efektif kurang dari 25 cm, tekstur geluh debu hingga geluh pasir, struktur remah hingga gumpal, konsistensi agak teguh, bila basah agak lekat, warna coklat hingga merah kekuningan,

KTK rendah, kejenuhan basa sedang, kesuburan dan potensi tanah sangat rendah. Jenis tanah Litosol termasuk tanah yang sangat peka terhadap erosi. Sebaran tanah ini meliputi sebagian kecil wilayah Kecamatan Tibawa.

d) Podsolik

Tanah dengan horison penimbunan liat (horison argilik), dan kejenuhan basa kurang dari 50%, tidak mempunyai horison albik. Jenis tanah ini termasuk tanah yang peka terhadap erosi. Jenis tanah ini tersebar di sekitar Kecamatan Tibawa.

Sifat fisik tanah merupakan faktor yang turut menentukan dalam suatu kejadian longsor. Sifat fisik tanah ditentukan melalui pengambilan sampel tanah pada setiap titik longsor. Sifat fisik tanah pada beberapa lokasi kejadian longsor di DAS Alo ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat fisik tanah pada lokasi longsor di DAS Alo

No	Deskripsi	Kedalaman (m)	Tekstur	Berat Jenis	Kadar Air (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastis (%)	Sifat
1.	Desa Alo	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,18	31,00	32,00	20,98	11,02	Plastisitas Sedang
2.	Desa Buhu	0 – 0,5	Lempung	2,40	14,58	34,20	13,08	21,12	Plastisitas Tinggi
3.	Desa Labanu	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,27	39,45	36,20	26,52	9,68	Plastisitas Sedang
4.	Desa Toyidito	0 – 0,5	Lempung	2,80	15,16	36,00	13,47	22,53	Plastisitas Tinggi
5.	Desa Isimu Utara	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,63	28,69	26,00	14,33	11,67	Plastisitas Sedang
6.	Desa Lalunga	0 – 0,5	Lanau Berlempung	2,48	24,93	26,00	20,94	5,06	Plastisitas Rendah
7.	Desa Lalunga	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,40	56,54	26,00	18,51	7,49	Plastisitas Sedang
8.	Desa Isimu Utara	0 – 0,5	Lempung Berlanau	-	-	-	-	-	-
9.	Desa Isimu Utara	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,11	15,57	23,30	14,16	9,04	Plastisitas Sedang
10.	Desa Isimu Utara	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,31	17,57	24,00	14,33	9,67	Plastisitas Sedang
11.	Desa Isimu Utara	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,18	19,20	22,00	12,03	9,25	Plastisitas Sedang
12.	Desa	0 – 0,5	Lempung	2,31	35,96	26,00	12,55	13,45	Plastisitas

No	Deskripsi	Kedalaman (m)	Tekstur	Berat Jenis	Kadar Air (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastis (%)	Sifat
	Iloponu		Berlanau						Sedang
13.	Desa Iloponu	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,08	14,23	36,20	13,57	22,63	Plastisitas Tinggi
14.	Desa Molamahu	0 – 0,5	Lempung Berlanau	1,93	33,97	30,00	18,62	11,39	Plastisitas Sedang
15.	Desa Toyidito	0 – 0,5	Lempung Berlanau	2,80	32,77	24,90	11,76	13,14	Plastisitas Sedang

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium

Data hasil analisis sifat fisik tanah pada Tabel 5 menunjukkan bahwa tekstur tanah pada setiap titik sampel kejadian longsoran adalah Lempung ber lanau dan Lempung. Bentuk butir-butir lempung biasanya seperti mika dan jika mengandung cukup air akan menjadi sangat liat. Tanah lempung akan mengembang dan menjadi lekat jika air yang dikandungnya cukup banyak. Daya absorpsi tanah lempung terhadap air sangat besar. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan tekanan air pori di sepanjang bidang longsor potensial, mereduksi tegangan efektif dan juga mengurangi kuat gesernya. Tanah dengan tekstur debu memiliki sifat kohesi dan daya absorpsi yang lebih rendah dibanding dengan tanah lempung. Sifat kohesi debu yang rendah menyebabkan tanah dengan tekstur debu mudah tererosi dibanding dengan tanah lempung.

Sifat plastisitas tanah di lokasi longsoran bervariasi. Plastisitas rendah terdapat pada tanah di Desa Lalunga. Tanah dengan plastisitas tinggi ada pada Desa Buhu dan Desa Toyidito. Tanah dengan palstisitas tinggi selalu menandakan karakteristik tanah yang kurang baik, karena sering mengakibatkan keruntuhan lereng.

3.7 Karakteristik Sungai

Air permukaan yang dijumpai di daerah penelitian merupakan sungai, rawa dan danau. Sungai-sungai yang ada merupakan suatu sistem Sungai Alo. Sungai-sungai yang bermuara ke Sungai Alo bersifat *perennial* yaitu sungai-sungai yang mengalirkan airnya sepanjang tahun, dan *intermittent* yaitu kondisi

air sungai dipengaruhi oleh musim hujan. Pada umumnya anak sungai pada DAS Alo bersifat *intermittent* yaitu sungai yang memiliki sifat aliran terputus. Sungai seperti ini mengalirkan air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau.

Sungai-sungai pada DAS Alo mengikuti suatu jaringan satu arah dimana cabang dan anak sungai mengalir ke dalam suatu sungai utama yang lebih besar dan membentuk suatu pola aliran tertentu. Pola aliran ini dipengaruhi oleh kondisi topografi, geologi, iklim dan vegetasi yang terdapat dalam suatu DAS. Pola aliran di DAS Alo pada umumnya membentuk suatu pola aliran dendritik. Pola ini pada umumnya terdapat pada daerah dengan batuan sejenis dan penyebarannya luas. Nama dan sifat sungai di DAS Alo ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Sungai-sungai yang bermuara ke Sungai Alo

No	Nama Sungai	Bermuara	Keterangan
1	Sungai Alo	S. Alo-Pohu	Landai berbatu, <i>Perennial</i>
2	Sungai Molamahu	Sungai Alo	Bagian hulu berbatu, bagian hilir berpasir, <i>Perennial</i>
3	Sungai Bolongga	Sungai Alo	<i>Intermittent</i>
4	Sungai Patente	Sungai Alo	<i>Intermittent</i>
5	Sungai Bohulo	Sungai Alo	<i>Intermittent</i>
6	Sungai Holongge	Sungai Alo	<i>Intermittent</i>
7	Sungai Buhiya	Sungai Alo	Landai berpasir <i>Intermittent</i>
8	Sungai Butulopomalangga	S. Buhiya	<i>Intermittent</i>
9	Sungai Limboduo	S. Molamahu	<i>Intermittent</i>
10	Sungai Tolulodo	S. Molamahu	<i>Intermittent</i>

Sumber: JICA (2002) & Observasi Lapangan Tahun 2013

3.8 Penggunaan Lahan

Kondisi penggunaan lahan di DAS Alo diperoleh melalui interpretasi Citra Aster. Rekaman Citra Aster untuk Tahun 2010, Tahun 2011 dan Tahun 2012 di DAS Alo sebagian besar tertutup

awan. Oleh sebab itu hasil interpretasi Citra dikomparasikan dengan beberapa laporan penggunaan lahan dari Dinas Kehutanan Provinsi Gorontalo dan BPDAS Bone Bolango Provinsi Gorontalo. Hasil analisis penggunaan lahan tersebut dilanjutkan dengan pengecekan lapangan untuk verifikasi dengan kondisi eksisting.

Bentuk penggunaan lahan di DAS Alo meliputi hutan, pertanian lahan kering, semak belukar, sawah, tanah terbuka (lahan berro dan lahan kosong) dan permukiman yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Jenis penggunaan lahan berdasarkan luas pada DAS Alo

No	Jenis Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	%
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	2526,3	21,29
2	Perkebunan	1.753,9	14,78
3	Permukiman	164	1,38
4	Pertanian Lahan Kering	1.761,7	14,84
5	Pertanian lahan kering campur semak	2.757,3	23,23
6	Sawah	494,5	4,17
7	Semak Belukar	2.409,6	20,30
	TOTAL	11.867,3	100

Sumber: Hasil interpretasi Citra Landsat 2008, Peta Penggunaan Lahan Tahun 2010 dan Pengecekan Lapangan

Proses konversi penggunaan lahan dari hutan menjadi lahan pertanian di DAS Alo masih cenderung terjadi. Hal ini terjadi karena petani merasa produktivitas lahan mulai menurun, sehingga petani cenderung mencari lahan baru untuk dibuka dan digarap menjadi lahan pertanian.

3.9 Vegetasi

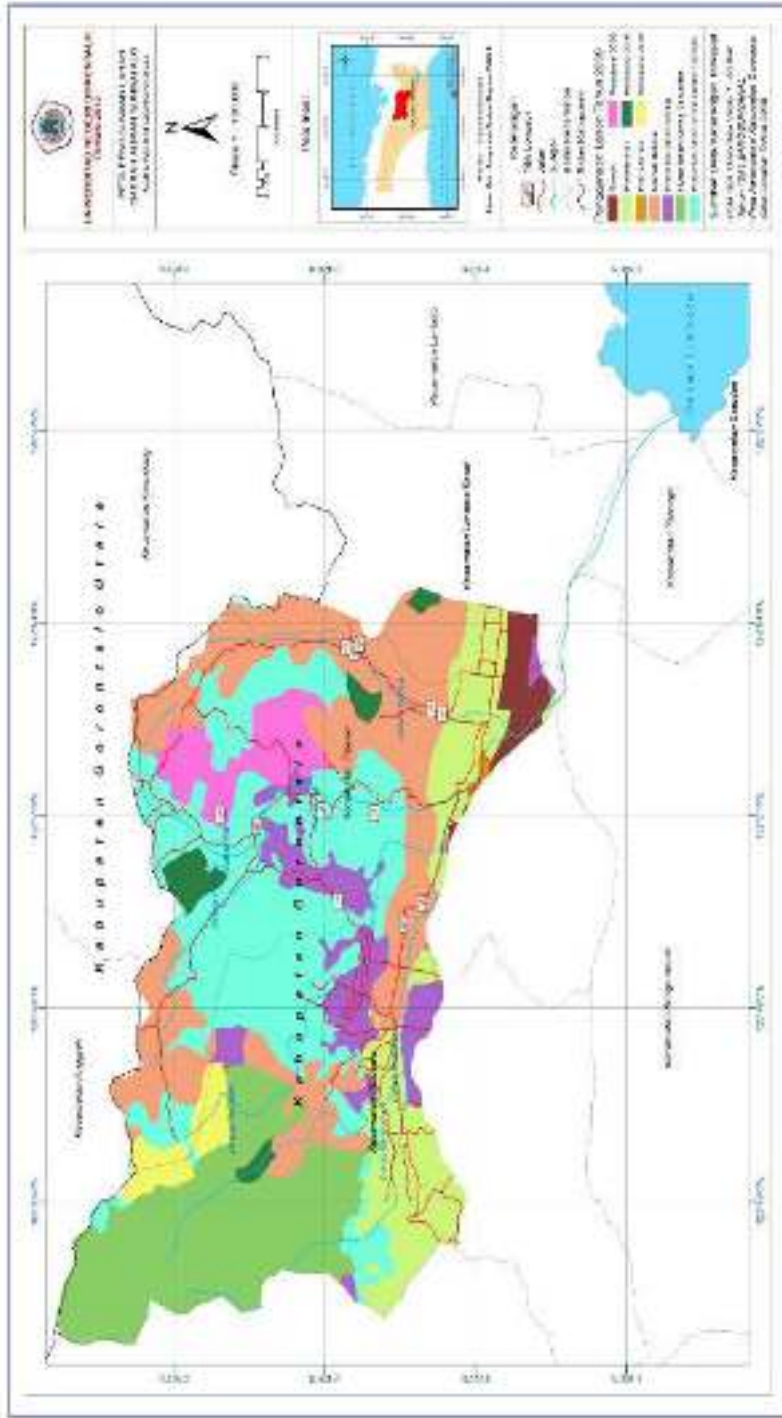
Vegetasi sangat berpengaruh terhadap kejadian erosi permukaan dengan kemampuannya menangkap butir air hujan sehingga energi kinetiknya terserap oleh tanaman dan tidak menghantam langsung pada tanah. Disamping itu juga, tanaman

mampu mengurangi energi aliran sehingga kecepatan aliran permukaan berkurang. Jenis vegetasi yang ada di DAS Alo ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Jenis vegetasi pada DAS Alo Provinsi Gorontalo

No	Nama Indonesia>Nama Lokal	Nama Latin
1	Akasia	<i>Acacia tomentosa</i>
2	Aras	<i>Duabanga moluccana</i>
3	Bambu	<i>Shizoztachyum sp</i>
4	Beringin	<i>Ficus spp</i>
5	Bintangar	<i>Kleinhovia hospita</i>
6	Bolangitan	<i>Tatrameles nudiflora</i>
7	Cemara	<i>Casuarina sp</i>
8	Cempaka	<i>Elmerrillia ovalis</i>
9	Coro	<i>Ficun variegatus</i>
10	Damar	<i>Shorea sp</i>
11	Gopara	<i>Langerstroemia ovalifolia</i>
12	Jagung	<i>Zea mays</i>
13	Jati	<i>Tectona grandis</i>
14	Kemiri	<i>Aleurites moluccana</i>
15	Kenanga	<i>Canangium odoratum</i>
16	Licola	<i>Licuala celebensis</i>
17	Linggua	<i>Pterocarpus indicus</i>
18	Mangga	<i>Mangifera indica</i>
19	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
20	Nantu	<i>Palaquin obsturifolium</i>
21	Nira	<i>Arenga pinnata</i>
22	Palem ekor ikan	<i>Caryota mitis</i>
23	Pangi	<i>Pangium edule</i>
24	Pinang	<i>Pinangan sp</i>
25	Pisang	<i>Musa paradisiaca</i>
26	Rotan	<i>Calamus spp</i>
27	Rao	<i>Dracontomelum dao</i>
28	Randu	<i>Ceiba petandra</i>
29	Walongo	<i>Macarangerhizinoides</i>
30	Wanga	<i>Pigafetta fillaria</i>
31	Wohu	<i>Casuarinaequisetifolia</i>
32	Woka	<i>Livistona torundifolia</i>
33	Wolato	<i>Vitexcelebica</i>

No	Nama Indonesia>Nama Lokal	Nama Latin
34	Wonthami	<i>Diospyros fasciculosa</i>
35	Wuloto	<i>Sterblusasper</i>



Gambar 19. Peta Penggunaan Lahan di DAS Alo Provinsi Gorontalo

3.10 Kependudukan

Pembahasan kependudukan dalam penelitian ini meliputi jumlah dan kepadatan penduduk. Relevansi pembahasan kependudukan dalam penelitian ini adalah untuk mengkaji karakteristik penduduk secara keruangan dalam kaitannya dengan kejadian longoran.

Secara administrasi DAS Alo meliputi wilayah 6 (enam) desa di Kecamatan Pulubala yaitu Desa Mulyonegoro, Desa Bakti, Desa Pongongaila, Desa Pulubala, Desa Molalahu, Desa Molamahu, Desa Ayumolingo dan Kecamatan Tibawa. Jumlah penduduk di lokasi penelitian terkonsentrasi di pusat-pusat kecamatan dan pusat desa. Data kependudukan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Jumlah penduduk pada setiap desa Di DAS Alo Pada Tahun 2012

No	Kecamatan/Desa	Luas (Km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)		Total (jiwa)	Kepadatan (jiwa/Km ²)
			Laki-laki	Perempuan		
	Kecamatan Pulubala					
1	Mulyonegoro	38,88	1.231	1.166	2.396	61,63
1	Bakti	38,88	1.489	1.443	2.932	75,41
2	Pongongaila	12,0	1.047	1.143	2.190	182,5
3	Pulubala	16,12	1.500	1.513	3.013	186,91
4	Molalahu	13,29	796	797	1.593	119,86
5	Molamahu	14,44	1.070	998	2.068	143,21
6	Ayumolingo	14,44	520	551	1.071	74,17
	JUMLAH	109,17	7.653	7.611	15.264	139,82
	Kecamatan Tibawa					
1	Ilomata	8,0	739	780	1.519	189,87
2	Molowahu	12,88	1.236	1.209	2.445	189,83
3	Dunggala	4,0	924	904	1.828	457
4	Reksonegoro	4,26	694	613	1.307	306,81
5	Tolito	3,79	1.286	1.288	2.574	679,16
6	Isimu Selatan	4,57	1.585	1.615	3.500	765,86

No	Kecamatan/Desa	Luas (Km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)		Total (jiwa)	Kepadatan (jiwa/Km ²)
			Laki-laki	Perempuan		
7	Datahu	9,60	2.174	2.238	4.412	459,58
8	Iloponu	21,62	1.393	1.555	2.948	136,35
9	Buhu	19,62	2.187	2.136	4.323	220,34
10	Isimu Utara	21,11	966	1.178	2.174	102,98
11	Labanu	35,33	1.011	1.119	2.130	60,29
12	Motilango	30,50	1.081	1.078	2.259	74,07
13	Balahu	4,33	1.222	1.336	2.558	590,76
14	Botumoputi	11,49	1.287	1.275	2.562	222,98
15	Isimu Raya	8,60	1.307	1.270	2.577	299,65
16	Ulobua	8,0	540	635	1.175	146,87
	JUMLAH	207,7	19.632	20.229	39,861	191,92

Sumber: DDA Kabupaten Gorontalo, 2012.

Data pada Tabel 9 menunjukkan bahwa kepadatan penduduk tertinggi terdapat pada pusat-pusat desa dan kecamatan. Pada Kecamatan Pulubala, kepadatan penduduk tertinggi (186,91 jiwa/km²) pada Desa Pulubala yang merupakan pusat kecamatan. Tingkat kepadatan penduduk tertinggi di Kecamatan Tibawa ada pada Desa Tolito dengan kepadatan penduduk 679,16 jiwa/km².

BAB IV. EROSI DAN SEDIMENTASI

4.1 Konsep Erosi dan Sedimentasi

Erosi adalah hasil pengikisan permukaan bumi oleh tenaga yang melibatkan pengangkatan benda-benda, seperti air mengalir, es, angin, dan gelombang atau arus. Secara umum, terjadinya erosi ditentukan oleh faktor-faktor iklim (terutama intensitas hujan), topografi, karakteristik tanah, vegetasi penutup tanah, dan penggunaan lahan (Zachar, 1982; Ritter, 1995; Asdak, 2002; Suripin, 2004)

Erosi atas dasar penyebab utamanya dibedakan menjadi erosi karena sebab alamiah, dan erosi karena aktivitas manusia. Erosi alamiah dapat terjadi karena proses pembentukan tanah dan proses erosi yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami. Erosi karena faktor alamiah umumnya masih memberikan media yang memadai untuk berlangsungnya pertumbuhan kebanyakan tanaman, sedangkan erosi karena kegiatan manusia kebanyakan disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi tanah atau kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah, antara lain pembuatan jalan di daerah kemiringan lereng besar.

Terkait dengan bentuk erosi yang disebabkan oleh air, Zachar (1982) membagi erosi dalam bentuk: 1) erosi lembar (*sheet washing*); 2) erosi parit (*gullyng*); 3) erosi sungai (*stream erosion*). Suripin mengklasifikasi erosi berdasarkan bentuknya menjadi : 1) erosi percikan (*flash erosion*); 2) erosi aliran permukaan (*overland flow erosion*); 3) erosi alur (*rill erosion*); 4) erosi parit/selokan (*gully erosion*); 5) erosi tebing sungai (*stream bank erosion*); 6) erosi internal (*internal or subsurface erosion*); 7) tanah longsor (*landslide*). Frevert, *et al* (1950) mengklasifikasi bentuk erosi berdasarkan bentuk asal lahan yang terkena kikisan air yaitu erosi permukaan (*sheet erosion*) dan erosi parit (*gully erosion*). Erosi

bawah permukaan (*underground erosion*) disebabkan oleh aliran air dalam tanah, yang dapat dibedakan menjadi *internal erosion*, *tunnel erosion* dan *karst erosion*. Oleh Bertrand (dalam Zachar, 1982) erosi dalam tubuh tanah disamakan dengan erosi geologi.

Erosi adalah perpindahan partikel tanah dari satu tempat ke tempat lain oleh suatu media pengangkut yaitu air yang mengalir, angin atau es. Erosi tanah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap pelepasan partikel tanah dan tahap pengangkutan oleh media yang erosif seperti aliran air dan angin. Pada kondisi dimana energi yang tersedia untuk mengangkut partikel tanah tersebut tidak mencukupi, maka terjadilah proses pengendapan.

Erosi yang disebabkan oleh air hujan dapat dibedakan dalam berbagai bentuk, yaitu erosi percik, erosi lembar, erosi alur dan erosi parit yang uraiannya sebagai berikut:

- a. Erosi percik (*splash erosion*) yang disebabkan oleh energi kinetik air hujan yang mengenai langsung pada permukaan tanah. Erosi percik terjadi secara alamiah diawali dengan adanya tetesan air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan menyebabkan penguraian partikel tanah, penghancuran ikatan partikel tanah, proses penguraian partikel tanah menjadi material lepas, kemudian terlempar dari letak agregat tanah semula. Suripin (2004) menyatakan bahwa proses erosi percikan terdiri dari tiga tahap, yaitu : (1) terjadinya penggemburan yang cepat pada permukaan tanah sehingga kohesinya menurun; (2) terjadinya pemadatan permukaan akibat pukulan butir air hujan sehingga terbentuk lapisan kerak tipis yang akan menurunkan jumlah partikel tanah yang terlempar ke udara dan meningkatkan akumulasi air permukaan; (3) terjadinya turbulensi aliran permukaan yang mampu mengangkat sebagian lapisan kerak pada permukaan tanah. Erosi percik intensif ditemukan pada tanah terbuka tanpa vegetasi penutup.
- b. Erosi lembar (*sheet erosion*) terjadi jika hujan terjadi terus menerus dan melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Apabila curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah melebihi kapasitas

infiltrasi tanah maka akan terjadi aliran permukaan (*overland flow*) yang kemudian mengangkut lapisan tanah dari suatu permukaan bidang tanah. Erosi lembar dapat berkembang menjadi erosi alur, konsentrasi aliran yang cepat merupakan energi yang kuat untuk mengerus lapisan tanah (Suratman, 2002).

- c. Erosi alur (*rill erosion*). Erosi alur terbentuk pada jarak tertentu ke arah bawah lereng sebagai akibat terkonsentrasinya aliran permukaan sehingga membentuk alur-alur kecil. Perkembangan lebih lanjut dari erosi alur akan membentuk alur yang lebih dalam. Morfometri erosi alur mempunyai kedalaman ± 30 cm yang ditandai oleh dinding vertikal (Suratman, 2002). Erosi alur dapat dikenal melalui bentuknya yaitu alur sangat dangkal berkembang melebar dari pada mendalam dan alur dangkal yang lebih sering terjadi pada material yang mudah tererosi (*erodible material*). Proses erosi alur dapat merupakan awal terbentuknya erosi parit (*gully erosion*).
- d. Erosi Parit (*gully erosion*).
Proses terbentuknya erosi parit sama dengan erosi alur, sehingga erosi parit dianggap sebagai perkembangan lanjut dari erosi alur. Proses pembentukan parit dimulai dengan pembentukan depresi (*depression*) pada lereng sebagai akibat adanya bagian lahan yang gundul. Aliran permukaan terkonsentrasi pada bagian ini sehingga depresi semakin besar dan beberapa depresi menyatu membentuk saluran baru. Erosi terkonsentrasi pada pusat depresi dimana dinding yang hampir tegak yang dilewati aliran kritis terbentuk. Partikel tanah mulai tererosi pada bagian ini dan terjadi penggerusan di bagian dasarnya. Kedalaman dapat bertambah dan dinding (*headwall*) mulai runtuh, akibatnya dinding makin bergeser ke bagian hulu.

4.2 Konsep sedimen dan transpor sedimen

Sedimen adalah partikel yang berasal dari pelapukan batuan, tanah, proses biologi, dan proses antropogenis yang kemudian mengendap di sungai, danau dan lautan. Karakteristik sedimen berdasarkan ukuran adalah kerikil (>256 mm), pasir ($0,063 - 0,2$ mm), lumpur ($0,2 - 0,063$ mm), dan lempung ($< 0,002$ mm). Mineral dalam sedimen terdiri dari kuarsa, feldspar, campuran mineral silikat, gips, kalsium karbonat, dan lain-lain (Ritter, 1995).

Summerfield (1991) mengemukakan bahwa sedimen merupakan material hasil pelapukan batuan yang diangkut oleh sungai baik dalam bentuk partikel padat (*solid load*) atau partikel terlarut (*solute load*). Partikel terlarut pada umumnya berasal dari hasil pelapukan batuan dan kemudian terbawa oleh aliran sungai. Transpor sedimen adalah proses pengangkutan sedimen dari sumber asalnya ke tempat yang lebih rendah dan kemudian masuk ke badan sungai dan mengalir ke muara.

Dengan demikian sedimen adalah hasil proses erosi dan longsoran baik yang berupa material padat maupun material terlarut dalam air yang diangkut oleh aliran sungai dan kemudian mengendap di sungai, laut dan danau. Hasil sedimen tergantung pada besarnya erosi di daerah tangkapan air dan tergantung pada proses transpor sedimen keluar dari daerah tangkapan air tersebut dan masuk ke badan-badan sungai. Tidak semua bagian tanah yang tererosi akan sampai ke muara sungai, sebagian akan mengendap di cekungan-cekungan permukaan tanah.

4.2.1 Bentuk-bentuk sedimen

Summerfield (1991) mengemukakan bahwa material yang terangkut oleh aliran sungai dapat berupa partikel padat (*solid particles*) atau terlarut (*solution*). Berdasarkan mekanisme pengangkutannya, partikel padat sedimen terbagi atas dua jenis yaitu:

- a) *Suspended load* yaitu butiran sedimen yang bergerak di atas dasar sungai secara melayang. Muatan sedimen melayang terutama terdiri dari butiran-butiran pasir halus yang senantiasa didukung oleh air dan hanya sedikit sekali interaksinya dengan dasar sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran.
- b) *Bed load* yaitu butiran sedimen yang bergerak di dasar sungai dengan cara menggelinding (*rolling*), menggeser (*sliding*), atau meloncat (*jumping*).

4.2.2 Transpor sedimen

Transpor sedimen adalah proses pengangkutan sedimen dari sumber asalnya ke tempat yang lebih rendah dan kemudian masuk ke badan sungai dan mengalir ke muara. Proses transpor sedimen merupakan suatu proses yang sangat kompleks karena dipengaruhi oleh banyak faktor.

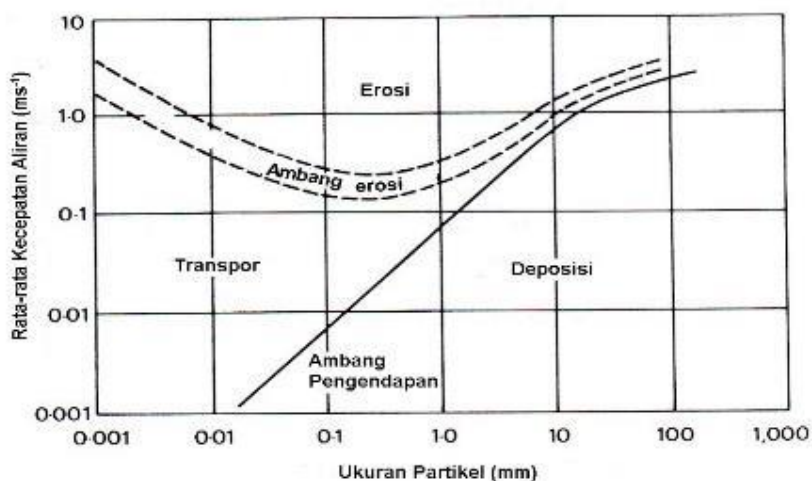
Besarnya sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut.

1. Besarnya sedimen yang masuk ke badan sungai.
Besarnya sedimen yang masuk ke badan sungai dipengaruhi oleh faktor iklim, topografi daerah aliran sungai, kondisi geologi, kondisi aliran permukaan, bentuk DAS, kerapatan aliran, vegetasi dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal sedimen (Arsyad, 1989; Cook & Dornkamp, 1990; Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995; Asdak, 2002; Suripin, 2004).
2. Karakteristik saluran dan kondisi aliran permukaan.
Aliran permukaan yaitu air yang mengalir di atas permukaan tanah. Bentuk aliran permukaan merupakan faktor yang penting sebagai penyebab erosi dan sebagai alat transpor sedimen. Sifat-sifat aliran permukaan yang menentukan kemampuannya dalam menimbulkan erosi dan daya angkut sedimen adalah jumlah,

laju, kecepatan, dan gejala aliran permukaan (Cooke & Doornkamp, 1990; Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995; Arsyad, 1989; Asdak, 2002).

3. Karakteristik fisik sedimen

Karakteristik fisik sedimen yang menentukan besarnya sedimen yang terangkut adalah jumlah dan ukuran butir sedimen. Hjulström (dalam Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995) mengembangkan hubungan antara ukuran partikel sedimen dan kecepatan aliran sungai seperti ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 19. Ambang batas kecepatan aliran yang dapat menyebabkan terjadinya erosi, pengangkutan dan pengendapan sedimen berdasarkan ukuran partikelnya.

(Hjulström dalam Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995)

Pada Gambar 20 ditunjukkan bahwa untuk partikel-partikel yang berukuran lebih besar dari 0,5 mm nilai kecepatan ambangnya meningkat sejalan dengan meningkatnya diameter partikel. Tetapi untuk partikel dengan diameter lebih kecil dari 0,5 mm kecepatan ambangnya meningkat sejalan dengan menurunnya ukuran diameter.

4.2.3 Hasil sedimen

Tiga konsep penting yang harus diperhatikan dalam suatu kajian sedimentasi (Chow, 1964; Vanoni, 1975 dan Janson, 1982 dalam Cook dan Doornkamp, 1990) adalah sebagai berikut.

1. *Groos erosion* adalah total erosi dalam suatu daerah aliran sungai yang meliputi erosi lembar, erosi alur, erosi parit dan erosi tebing sungai dan limbah sungai yang dinyatakan dalam berat per luas area DAS per unit waktu (ton/ha/tahun) atau jumlah kehilangan tanah per unit waktu.
2. *Sediment yield* adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu dinyatakan dalam berat per luas area DAS per unit waktu (ton/ha/tahun).
3. *Sediment Delivery Ratio* (SDR) yaitu rasio antara hasil sedimen dengan total erosi dalam suatu daerah aliran sungai, yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$SDR = Y/T$$

(5)

Keterangan:

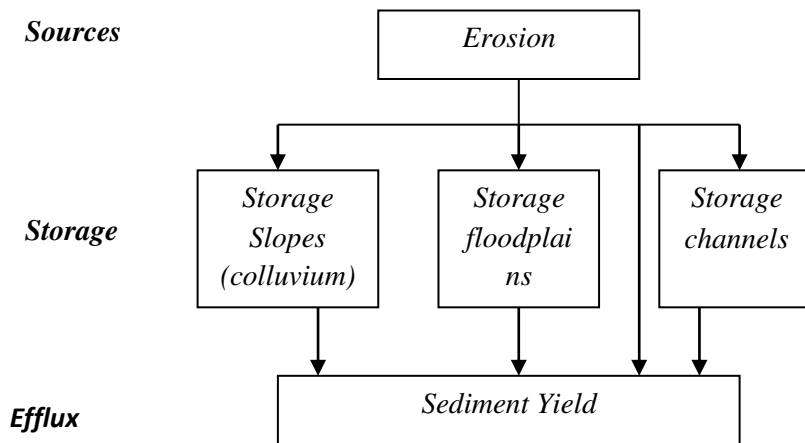
Y = hasil sedimen yang diperoleh pada outlet DAS (ton/ha/tahun)

T = erosi total yang berasal dari daerah tangkapan air
(ton/ha/tahun)

Partikel tanah yang tererosi, dalam perjalannya menuju *outlet* terjadi pengendapan/deposisi, baik pengendapan permanen ataupun sementara, terutama di cekungan-cekungan, daerah yang landai, dataran banjir dan di saluran air. Variabilitas angka *SDR* dari suatu DAS/sub DAS akan ditentukan oleh pengaruh salah satu atau kombinasi dari faktor-faktor: 1) sumber sedimen; 2) jumlah sedimen yang tersedia untuk proses transpor sedimen; 3) sistem transpor, umumnya dalam bentuk aliran permukaan (di daerah tangkapan air) dan kerapatan drainase; 4) tekstur partikel-partikel tanah yang tererosi; 5) lokasi deposisi sedimen; dan 6)

karakteristik DAS berupa luas daerah tangkapan air dan topografi (Asdak, 2002; Chaplot, 2003; Suripin, 2004)

Gambar 21 menunjukkan model umum perpindahan sedimen dalam suatu daerah aliran sungai.



Gambar 20. Model umum perpindahan sedimen (Cook, 1990)

4.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Erosi dan Sedimen

Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi dan sedimen adalah iklim, tanah, topografi, vegetasi, penggunaan lahan dan tindakan campur tangan manusia. (Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995; Asdak, 2002; Suripin 2004).

Faktor iklim yang sangat berpengaruh terhadap proses erosi permukaan dan sedimen adalah curah hujan. Hujan yang jatuh ke permukaan tanah, oleh tenaga kinetisnya mengakibatkan pelepasan butiran tanah dan melalui aliran permukaan, butiran tanah tersebut terangkut dan kemudian mengendap. Karakteristik hujan yang berpengaruh terhadap erosi permukaan dan sedimen adalah jumlah curah hujan, intensitas dan lamanya hujan (Ritter, *et al.*, 1995; Asdak, 2002; Suripin, 2004).

Tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi erosi dan sedimen. Sifat-sifat tanah yang penting dalam menentukan erodibilitas tanah (mudah tidaknya tanah tererosi) adalah tekstur tanah, unsur organik, struktur dan permeabilitas tanah (Arsyad, 1989; Asdak, 2002; Suripin, 2004).

Faktor topografi pada umumnya dinyatakan dalam kemiringan dan panjang lereng. Secara umum erosi akan meningkat dengan meningkatnya kemiringan dan panjang lereng, hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya kemiringan dan panjang lereng, maka kecepatan aliran permukaan akan semakin besar (Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995; Asdak, 2002; Suripin, 2004).

Vegetasi mempunyai pengaruh yang bersifat melawan terhadap faktor-faktor yang bersifat erosif (hujan, kemiringan lereng, panjang lereng, dan karakteristik tanah). Pengaruh vegetasi dalam memperkecil laju erosi permukaan adalah: 1) melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan, 2) menurunkan kecepatan dan volume aliran permukaan, 3) menahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem perakaran dan seresah yang dihasilkan, dan 4) mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air (Asdak, 2002; Suripin, 2004).

Perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap koefisien aliran permukaan. Semakin besar perubahan penggunaan lahan, misalnya perubahan dari hutan menjadi perladangan, semakin besar pula terhadap perubahan yang terjadi pada aliran permukaan. Bosch dan Hewlett, 1982 dalam Asdak (2002) mengemukakan bahwa setiap pengurangan 10% vegetasi pinus dan ekaliptus akan menaikkan aliran permukaan rata-rata sebesar 40 mm, pengurangan vegetasi daun lebar akan menaikkan aliran permukaan rata-rata sebesar 25 mm, dan pengurangan tanaman semak akan menaikkan aliran permukaan rata-rata sebesar 10 mm.

Tindakan campur tangan manusia merupakan faktor yang penting terhadap terjadinya erosi permukaan. Kegiatan-kegiatan masyarakat tersebut berkaitan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi, misalnya perubahan penutupan lahan akibat penebangan hutan untuk lahan pertanian dan pemukiman, teknik pengolahan lahan yang berpengaruh terhadap struktur tanah. Hasil penelitian Suratman (2002) menunjukkan

bahwa pada satuan medan perbukitan hingga pegunungan yang telah dimanfaatkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, berkembang erosi parit dan longsor aktif pada lereng-lereng yang curam, sedangkan pada lahan pertanian yang dibuat teras yang sesuai dengan kondisi medannya dapat mengurangi erosi parit dan longsor. Perilaku manusia terhadap pengelolaan lingkungan dipengaruhi oleh faktor sosial ekonomi masyarakat. Tingkat pendidikan yang rendah dapat menyebabkan rendahnya pemahaman masyarakat tentang teknik pengolahan lahan yang ramah lingkungan dan tingkat pendapatan yang rendah dapat memicu terjadinya pembukaan lahan guna meningkatkan pendapatan. Hasil penelitian Irianto (2007) diperoleh bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap perilaku penebangan hutan adalah tingkat pendidikan dan selanjutnya dipengaruhi oleh faktor tingkat pendapatan, kebutuhan, luas lahan dan harga kayu.

Besarnya sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut.

1. Besarnya muatan sedimen yang masuk ke badan sungai.

Besarnya muatan sedimen yang masuk ke badan sungai dipengaruhi oleh faktor iklim (curah hujan), topografi daerah aliran sungai, kondisi geologi, kondisi aliran permukaan, bentuk DAS, kerapatan aliran, vegetasi dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal sedimen (Arsyad, 1989; Cook & Dornkamp, 1990; Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995; Asdak, 2002; Suripin, 2004).

2. Karakteristik saluran dan kondisi aliran permukaan.

Aliran permukaan yaitu air yang mengalir di atas permukaan tanah. Bentuk aliran permukaan merupakan faktor yang penting sebagai penyebab erosi dan sebagai alat transpor sedimen. Sifat-sifat aliran permukaan yang menentukan kemampuannya dalam menimbulkan erosi dan daya angkut sedimen adalah jumlah, laju, kecepatan, dan gejolak aliran permukaan (Cooke & Doornkamp, 1990; Summerfield, 1991; Ritter, *et al.*, 1995; Arsyad, 1989; Asdak, 2002).

3. Karakteristik fisik sedimen

Ukuran butir partikel sedimen menentukan ambang batas pengendapan (*fall velocity*). Summerfield (1991) mengemukakan

bahwa ambang batas pengendapan merupakan fungsi dari kepadatan (*density*), ukuran (*size*), bentuk (*shape*), viskositas, dan kecepatan aliran. Pada saat kecepatan aliran berkurang, sedimen dengan ukuran yang lebih besar akan mengalami pengendapan dan sedimen yang lebih halus akan tertinggal dalam aliran sungai.

4.4 Model-model Prediksi Erosi

Model predikai erosi telah banyak dikembangkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Model prediksi erosi yang dikembangkan oleh Lihawa & Sutikno (2009) di DAS Alo Puhu berdasarkan atas karakteristik lahan berupa kemiringan lereng, penggunaan lahan, curah hujan dan faktor sosial ekonomi.

4.4.1 Pengaruh tebal hujan terhadap erosi permukaan

Salah satu faktor iklim yang paling berpengaruh terhadap kejadian erosi permukaan adalah curah hujan. Hujan menyebabkan erosi tanah melalui dua jalan yaitu pelepasan butiran tanah oleh pukulan air hujan pada permukaan tanah dan kontribusi curah hujan terhadap aliran permukaan. Dalam penelitian ini pengukuran erosi permukaan dilakukan selama 12 bulan yaitu dari Bulan Januari s/d Desember Tahun 2007. Persamaan regresi model hubungan antara tebal hujan dengan erosi permukaan ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Model hubungan antara tebal hujan dengan erosi permukaan

No	Lokasi	Persamaan Regresi	R	R ²	Sig
1	Plot Datahu 1	$\text{Log Y} = -3,49 + 3,44 \text{ Log X}$	0,93	0,86	0,000*
2	Plot Datahu 2	$\text{Log Y} = -2,73 + 3,74 \text{ Log X}$	0,94	0,88	0,000*
3	Plot Pulubala 1	$\text{Log Y} = 0,8 + 0,43 \text{ Log X}$	0,18	0,03	0,618
4	Plot Pulubala 2	$\text{Log Y} = -3,2 + 3,11 \text{ Log X}$	0,66	0,43	0,040
5	Plot Molamahu 1	$\text{Log Y} = -5,31 + 4,37 \text{ Log X}$	0,88	0,78	0,004*
6	Plot Molamahu 2	$\text{Log Y} = 1,12 + 0,72 \text{ Log X}$	0,42	0,18	0,090
7	Plot Labanu 1	$\text{Log Y} = 0,28 + 1,71 \text{ Log X}$	0,69	0,47	0,009*
8	Plot Labanu 2	$\text{Log Y} = -3,03 + 2,87 \text{ Log X}$	0,68	0,46	0,045
9	Plot Buihya 1	$\text{Log Y} = -4,24 + 3,34 \text{ Log X}$	0,58	0,34	0,100
10	Plot Buihya 2	$\text{Log Y} = -3,02 + 2,93 \text{ Log X}$	0,88	0,77	0,000*

Sumber : Hasil analisis.

**) signifikan pada tingkat kepercayaan 95%*

Uraian pengaruh tebal hujan terhadap besarnya erosi permukaan pada masing-masing plot diuraikan pada bagian berikut.

a) Plot Datahu 1

Kondisi lahan pada plot Datahu 1 adalah semak belukar dengan karakteristik vegetasi yang beragam, terdiri dari vegetasi tinggi, sedang dan vegetasi rendah (rumput-rumputan). Kondisi ini tidak berubah selama masa pengukuran.

Pada plot semak belukar curam erosi permukaan mulai terjadi pada tebal hujan 20,7 mm, besarnya limpasan permukaan yang dihasilkan adalah 2,2 liter atau 1.06% dari total air hujan yang masuk ke dalam plot dan besarnya erosi permukaan yang terjadi adalah 1,06 gram/m². Data hasil pengamatan menunjukkan bahwa persentase limpasan permukaan rendah (berkisar 0,89 – 6%) sehingga besar erosi permukaan yang terjadi pada plot semak belukar juga rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya vegetasi penutup lahan didominasi oleh tanaman bawah, sehingga air hujan yang langsung jatuh ke tanah masih tertahan oleh tanaman bawah. Keadaan ini ditunjang dengan tingkat permeabilitas pada plot ini sangat cepat (37,82 cm/jam), sehingga air hujan yang jatuh ke permukaan tanah mudah terserap ke dalam tanah. Erosi permukaan tertinggi selama masa pengukuran terjadi pada tabal hujan 60 mm. Volume limpasan permukaan yang terjadi pada kondisi ini sebesar 36 liter atau 6% dari total air hujan yang masuk plot, dan besarnya erosi permukaan yang terjadi adalah 61,10 gram/m².

b) Plot Datahu 2

Plot Datahu 2 merupakan plot pengukuran erosi pada pertanian lahan kering dengan vegetasi utama adalah tanaman jagung dan terletak pada kemiringan lereng agak curam (15 - 25%). Jenis tanah pada plot ini adalah Podsolik dengan tekstur lempung,

permeabilitas lambat (0,49 cm/jam) dan kandungan bahan organik 2,78%.

Kondisi vegetasi penutup lahan pada plot erosi ini berubah-ubah selama masa pengukuran sesuai dengan jadwal penanaman jagung di lokasi penelitian. Pada awal pengukuran (bulan Januari) kondisi vegetasi penutup lahan pada plot pengukuran adalah tanaman jagung dengan masa tanam 1 bulan. Pada kondisi ini limpasan permukaan mulai terjadi pada tebal hujan 18 mm. Pada kejadian hujan dengan tebal hujan 41,9 mm terjadi limpasan permukaan pada plot erosi sebesar 360 liter atau 85,92% dari keseluruhan air hujan yang masuk ke dalam plot dan besarnya erosi yang terjadi 302,31 gram/m². Kondisi ini terjadi pada saat lahan dengan vegetasi penutup tanaman jagung muda. Pada keadaan ini, tanah masih dalam keadaan gembur dan curah hujan langsung jatuh ke permukaan tanah sehingga mudah tererosi. Kondisi ini berubah seiring dengan perubahan kondisi permukaan plot. Pada kondisi vegetasi penutup lahan berkembang menjadi tanaman jagung tua yang disertai tumbuhnya rumput-rumputan maka besarnya erosi yang terjadi menurun. Pada kondisi ini, erosi yang terjadi pada kejadian hujan dengan tebal 55 mm, terjadi limpasan permukaan pada plot sebesar 208 liter atau 37,8% dari keseluruhan air hujan yang masuk ke dalam plot. Ini berarti 62,2% air hujan yang masuk ke dalam plot terinfiltrasi ke dalam tanah. Erosi yang terjadi pada kondisi ini sebesar 247,41 gram/m². Hal ini menggambarkan bahwa pada tebal hujan yang lebih besar, terjadi penurunan besarnya limpasan permukaan dan erosi permukaan. Hal ini disebabkan karena permukaan tanah tertutup oleh tanaman jagung dan rumput-rumputan. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan ditahan oleh tajuk vegetasi sehingga daya rusak tumbukan tetesan air hujan akan berkurang. Peran vegetasi terhadap penurunan besarnya erosi adalah melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan, mengurangi kecepatan aliran permukaan dan menahan partikel tanah tetap di tempat.

Pada kondisi lahan siap tanam, besarnya limpasan yang terjadi pada tebal hujan 30,5 mm adalah sebesar 268 liter atau 87,9% dari keseluruhan air hujan yang masuk plot, dan besarnya erosi permukaan yang terjadi adalah 1143,44 gram/m². Pada kondisi lahan siap tanam, permukaan tanah gembur sehingga rentan terhadap erosi.

Besarnya persentase limpasan permukaan pada plot ini disebabkan oleh permeabilitas tanah lambat (0,49 cm/jam) dan kandungan bahan organik yang rendah (2,78%). Permeabilitas tanah yang lambat mengakibatkan curah hujan yang jatuh ke tanah tidak mudah terserap ke dalam tanah. Kondisi ini diperkuat dengan keadaan vegetasi penutup tanah yang jarang.

c) Plot Pulubala 1

Plot Pulubala 1 merupakan plot pengukuran erosi pada lahan semak belukar dengan komposisi vegetasi tanaman rendah (rumput) yang lebat dan terletak pada kemiringan lereng agak curam.

Kondisi plot erosi selama masa pengukuran tidak berubah. Erosi permukaan pada lahan semak belukar dengan vegetasi penutup lahan yang dominan adalah tanaman bawah (rumput-rumputan) mulai terjadi pada tebal hujan diatas 26,2 mm. Limpasan permukaan yang terjadi adalah 6,2 liter atau 2,4% dari total air hujan yang masuk plot, besarnya erosi permukaan yang terjadi adalah 2,07 gram/m². Erosi permukaan tertinggi selama masa pengukuran terjadi pada tebal hujan 52,7 mm, volume limpasan permukaan sebesar 15 liter (2,85%) dan besarnya erosi permukaan yang terjadi adalah 6,7 gram/m². Semak belukar berperan sebagai penahan air hujan. Air hujan yang jatuh pada tumbuhan bawah akan tertahan oleh tumbuhan bawah tersebut dan dengan demikian memperkecil kemampuan air hujan untuk mengikis partikel-partikel tanah. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya koefisien determinasi yang rendah yaitu 0,03 atau

dengan kata lain 3% erosi yang terjadi dipengaruhi oleh curah hujan.

d) Plot Pulubala 2

Plot Pulubala 2 merupakan plot pengukuran erosi pada lahan pertanian datar yang dilakukan dengan sistem penanaman bergilir dengan komposisi vegetasi tanaman jagung, kacang-kacangan dan terletak pada daerah datar.

Kondisi lahan pada plot erosi ini berubah-ubah selama masa pengukuran. Pada Bulan Januari s/d Maret vegetasi penutup lahan adalah tanaman kacang hijau. Pada kondisi ini, limpasan dan erosi permukaan mulai terjadi pada kejadian hujan dengan tebal 19,3 mm, dengan volume limpasan permukaan sebesar 2,5 liter (1,30%) dan besar erosi permukaan yang terjadi 0,42 gram/m². Pada keadaan lahan ditanami kacang-kacangan dengan tebal hujan 45,2 mm menghasilkan volume limpasan sebesar 26 liter (5,75%) dan erosi permukaan sebesar 3,89 gram/m². Pada lahan pertanian yang datar, curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah masih tertahan di permukaan tanah sehingga persentase air hujan yang terinfiltrasi lebih besar dibanding dengan persentase limpasan.

e) Plot Molamahu 1

Plot Molamahu 1 merupakan plot pengukuran erosi pada lahan hutan primer curam. Kondisi lahan pada plot ini terdiri atas pepohonan dengan tajuk yang rapat, dan disertai adanya tanaman bawah (rumput-rumputan). Jenis tanah pada plot ini adalah Andosol, dengan tekstur lempung berdebu, permeabilitas sangat cepat (39,75), kandungan bahan organik 3,79 dan erodibilitas tanah 0,21.

Kondisi lahan pada plot erosi ini tidak berubah dari awal pengukuran sampai akhir pengukuran. Limpasan permukaan mulai terjadi pada tebal hujan 34 mm sebesar 7,6 liter atau 2,2%

dari total air hujan yang masuk ke dalam plot. Besar erosi permukaan yang terjadi pada kondisi tersebut adalah 4,26 gram/m². Pada hutan primer, keadaan alamiah ekosistem hutan masih terjaga. Butir-butir air hujan yang jatuh ditahan oleh tajuk pohon, sehingga tidak langsung menimpa tanah. Penahanan air hujan oleh tajuk pohon dan tanaman bawah mengurangi risiko gangguan terhadap pori-pori tanah, sehingga limpasan permukaan dapat dikendalikan.

f) Plot Molamahu 2

Plot Molamahu 2 merupakan plot pengukuran erosi pada tanah terbuka yang kemudian berkembang menjadi semak belukar dengan kemiringan lereng landai. Jenis tanah pada plot ini adalah Grumusol dengan tekstur lempung berpasir, permeabilitas lambat, kandungan bahan organik 4,72% dan erodibilitas tanah 0,36.

Erosi permukaan pada tanah terbuka (lahan bero) berubah seiring dengan perubahan vegetasi penutup pada lahan tersebut. Pada awal penelitian lokasi plot erosi masih merupakan tanah terbuka tanpa vegetasi penutup, dan kemudian berkembang menjadi semak belukar. Hasil pengukuran erosi menunjukkan bahwa besarnya erosi yang dihasilkan berubah seiring dengan adanya perubahan vegetasi penutup lahan di dalam lokasi plot. Pada kondisi tanpa vegetasi, erosi permukaan terjadi pada curah hujan yang rendah mulai dari 11,0 mm dengan besar limpasan permukaan yang dihasilkan adalah 13 liter atau 11,82% dari total air hujan yang masuk plot, besar erosi permukaan yang terjadi adalah 12,2 gram/m². Pada kondisi tanpa vegetasi, erosi yang terjadi pada curah hujan 40 mm menghasilkan erosi 352,7 gram/m². Akan tetapi setelah lahan berkembang dan ditumbuhi oleh tanaman bawah, maka erosi permukaan mulai terjadi pada tebal hujan > 16 mm. Pada curah hujan 50,5 mm erosi yang dihasilkan sebesar 9,18 gr/plot jauh lebih rendah dibanding erosi yang terjadi pada saat lahan kosong (belum ditumbuhi tanaman). Dengan demikian koefisien determinasi rendah yaitu 0,18.

g) Plot Labanu 1

Plot Labanu 1 merupakan plot pengukuran erosi pada lahan pertanian dengan kemiringan lereng curam dan vegetasi penutup lahan tanaman jagung dengan pola penanaman tidak bergilir. Jenis tanah pada plot ini adalah Andosol, tekstur lempung liat berpasir, permeabilitas sedang (2,18 cm/jam), kandungan bahan organik 2,23% dan erodibilitas 0,37.

Kondisi plot ini berubah-ubah selama masa pengukuran. Besarnya erosi permukaan yang terjadi pada plot ini juga berubah-ubah seiring dengan perubahan vegetasi penutup lahan. Pada saat tanah ditumbuhi oleh tanaman jagung yang berumur \pm 2 bulan dan disertai rumput-rumputan, erosi permukaan mulai terjadi pada tebal hujan 32,8 mm dengan besar limpasan 30 liter (15%) dan erosi yang dihasilkan adalah 11,65 gram/m². Pada saat lahan bero, dengan tebal hujan 22,7 mm, limpasan permukaan yang terjadi sebesar 53 liter atau 23,35% dari total air hujan yang masuk plot. Erosi permukaan yang terjadi pada kondisi tersebut adalah 19,89 gram/m². Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi lahan tanpa vegetasi, dengan tebal hujan dalam kisaran yang hampir sama menghasilkan erosi permukaan yang lebih besar.

Erosi permukaan yang terjadi pada lahan pertanian curam selain dipengaruhi oleh curah hujan, juga dipengaruhi oleh kondisi vegetasi penutup lahan. Pada saat tanah siap tanam hingga umur jagung 1 bulan, limpasan dan erosi permukaan yang terjadi besar. Hal ini disebabkan karena pada awal masa tanam, kondisi tanah dalam keadaan gembur, tanpa seresah dan tanaman bawah. Pada kondisi demikian, curah hujan yang jatuh langsung ke permukaan tanah, sehingga energi kinetik curah hujan untuk mengikis tanah menjadi besar.

h) Plot Labanu 2

Plot Labanu 2 merupakan plot pengukuran erosi pada hutan sekunder dengan kemiringan lereng curam. Jenis tanah pada plot

ini adalah Litosol, dengan tekstur lempung, permeabilitas sedang, kandungan bahan organik 4,97% dan erodibilitas 0,27.

Kondisi lahan pada plot ini tidak berubah selama masa pengukuran. Kondisi vegetasi penutup lahan terdiri dari pepohonan dengan tajuk yang rapat, terdapat tumbuhan paku-pakuan, serta ditumbuhi tanaman bawah (rumput-rumputan). Besar erosi permukaan yang terjadi pada plot hutan sekunder ini mulai terjadi pada tebal hujan >30 mm. Pada saat tebal hujan 32,7 mm, limpasan yang terjadi 2,5 liter (0,76%) dan erosi permukaan yang dihasilkan sebesar 0,47 gram/m². Angka ini meningkat pada saat kondisi tanah dalam keadaan jenuh. Hasil pengukuran pada bulan Desember, dimana curah hujan tinggi (427 mm/bulan) besar erosi permukaan yang terjadi meningkat tajam. Ini ditunjukkan dengan hasil pengukuran pada saat tebal hujan 36 mm, erosi yang terjadi sebesar 8,52 gram/m². Ini berarti terjadi peningkatan besar erosi permukaan pada saat kondisi tanah jenuh. Apabila tanah dalam keadaan jenuh, air hujan tidak dapat meresap lagi ke dalam tanah. Hal ini menyebabkan volume limpasan semakin besar. Limpasan permukaan yang terjadi pada lereng curam akan dengan cepat mengalir ke bagian bawah lereng sehingga energi kinetiknya untuk mengerosi tanah semakin besar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa erosi yang terjadi pada plot hutan rendah pada awal terjadinya hujan dan semakin besar seiring meningkatnya waktu dan tebal hujan.

i) Plot Buhiya 1

Plot Buhiya 1 merupakan plot pengukuran erosi pada lahan semak belukar dengan kemiringan lereng landai. Jenis tanah pada plot ini adalah Grumusol, dengan tekstur lempung berdebu, permeabilitas sedang (4,46 cm/jam), bahan organik 6,29.

Kondisi plot tidak berubah sejak awal pengukuran sampai akhir pengukuran. Vegetasi penutup lahan pada plot adalah semak belukar didominasi oleh tanaman bawah. Erosi permukaan pada lahan semak belukar dengan kemiringan lereng curam mulai

terjadi pada tebal hujan > 40 mm. Pada tebal hujan 41 mm, limpasan permukaan yang dihasilkan sebesar 3,8 liter (0,93) dan besar erosi permukaan yang terjadi adalah 0,87 gram/m². Erosi permukaan terbesar selama pengukuran terjadi pada tebal hujan 66 mm yaitu 10,19 gram/m² dengan besar limpasan permukaan 33,1 liter atau 5,02% dari total air hujan yang masuk plot. Rendahnya limpasan dan erosi permukaan pada plot ini juga dipengaruhi oleh kandungan bahan organik yang lebih besar dibanding dengan pada plot lainnya. Bahan organik dapat menambah kemampuan tanah untuk menahan air. Kandungan bahan organik pada lapisan tanah atas akan membuat struktur tanah, peredaran udara, pergerakan air, aktivitas mikroorganisme dan pertumbuhan akar yang lebih baik. Hal ini dapat memperbaiki aerasi tanah sehingga memperbaiki peresapan air ke dalam tanah.

j) Plot Buhiya 2

Plot Buhiya 2 merupakan plot pengukuran erosi pada lahan pertanian dengan vegetasi penutup lahan adalah tanaman jati (*Tectonagrandis L.f*) dengan kemiringan lereng datar. Jenis tanah pada plot ini adalah Grumusol, tekstur lempung berdebu, permeabilitas lambat (0,15 cm/jam), kandungan bahan organik 4,03%.

Erosi permukaan pada plot ini mulai terjadi pada tebal hujan 20 mm, limpasan permukaan yang terjadi sebesar 7 liter (3,5%), dan erosi permukaan yang dihasilkan sebesar 0,49 gram/m². Pada saat tebal hujan 44 mm, limpasan yang terjadi sebesar 29,7 liter (6,75%) dan erosi permukaan yang terjadi 6,04 gram/m². Erosi terbesar selama pengukuran adalah 18,02 gram/m² yang terjadi pada tebal hujan 66 mm.

Jati adalah sejenis pohon penghasil kayu yang berdaun besar dan lebar. Daun jati akan berguguran dimusim kemarau dan mengalami proses pelapukan yang sangat lambat, sehingga menyulitkan tanaman lain untuk berkembang. Oleh sebab itu

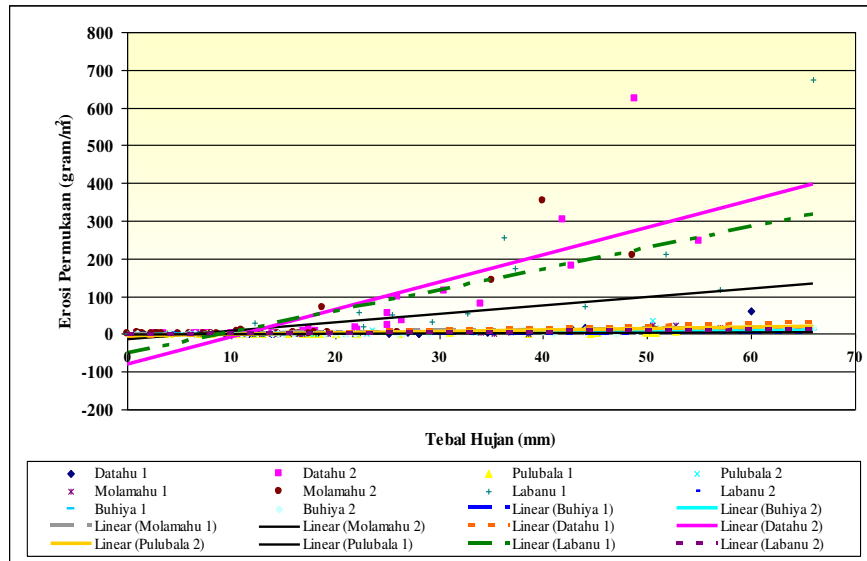
pada perkebunan jati tidak terdapat tanaman bawah (rumput-rumputan). Daun jati yang besar dan lebar dapat menahan air hujan. Air hujan yang jatuh akan tertahan pada tajuk tanaman, akan tetapi setelah lolos dari tajuk, air hujan akan langsung jatuh ke permukaan tanah dengan kecepatan yang besar, sehingga energi kinetik air hujan untuk memecah partikel tanah menjadi besar. Akan tetapi air hujan yang lolos ke tanah akan tertahan kembali oleh daun-daun jati yang berguguran. Oleh sebab itu erosi yang terjadi pada perkebunan jati lebih rendah dibandingkan dengan erosi yang terjadi pada pertanian dengan vegetasi jagung.

Grafik yang menggambarkan hubungan antara tebal hujan dengan besarnya erosi permukaan pada masing-masing plot erosi ditunjukkan pada Gambar 22.

Gambar 22 menunjukkan bahwa besarnya erosi permukaan yang terbesar terjadi pada plot lahan pertanian kering dengan kemiringan lereng curam dan agak curam. Pada lereng curam, volume dan kecepatan aliran permukaan semakin besar sehingga daya erosifnya juga semakin besar. Apabila kondisi ini disertai dengan kondisi lahan yang siap tanam, tanah dalam keadaan gembur sehingga rentan terhadap erosi.

Kemampuan air hujan sebagai penyebab terjadinya erosi adalah bersumber dari laju dan distribusi tetesan air hujan, dimana kedua indikator tersebut mempengaruhi besarnya energi kinetik air hujan. Energi kinetik air hujan yang menyebabkan terkelupasnya partikel-partikel tanah. Pada lahan dengan vegetasi penutupnya rapat dan disertai oleh tanaman bawah, maka air hujan yang jatuh akan tertahan oleh tajuk tanaman, sehingga kecepatan jatuhnya tetesan air hujan akan berkurang. Penurunan laju tetesan air hujan mengakibatkan energi kinetik hujan dalam mengerosi tanah menjadi berkurang. Namun demikian, seiring dengan meningkatnya intensitas dan penyebaran curah hujan, yang disertai dengan keterbatasan daya infiltrasi tanah mengakibatkan terjadinya

limpasan permukaan (*overland flow*). Limpasan permukaan ini dapat mengikis permukaan tanah. Ini ditunjukkan dari hasil pengukuran erosi pada plot yang berlokasi di hutan primer, hutan sekunder dan semak belukar.



Gambar 21. Grafik hubungan tebal hujan dan erosi permukaan pada masing-masing plot pengukuran

4.4.2 Model pengaruh kondisi lingkungan DAS dan penggunaan lahan terhadap besarnya erosi permukaan

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya erosi permukaan pada suatu daerah aliran sungai selain curah hujan adalah karakteristik lereng, jenis tanah dan penggunaan lahan. Untuk mengetahui pengaruh karakteristik fisik lahan tersebut terhadap besarnya erosi permukaan dilakukan analisis regresi dengan variabel Dummy. Hasil analisis regresi pengaruh kondisi lingkungan DAS dan penggunaan lahan terhadap besarnya erosi permukaan ditunjukkan pada Persamaan 6.

$$\text{Log } Y = -0,756 + 1,191 \text{ Log } H - 0,381 D_{\text{Pt}} - 0,982 D_{\text{B}} - 1,221 D_{\text{Hs}} - 1,036 D_{\text{Hp}} + 0,384 D_{\text{I}} + 0,636 D_{\text{ac}} + 0,691 D_{\text{c}}$$

(6)

Keterangan:

Y	= erosi permukaan (ton/km ²)
H	= tebal hujan (mm)
D _{Pt}	= pertanian kering
D _B	= semak belukar
D _{Hs}	= hutan sekunder
D _{Hp}	= hutan primer
D _I	= lereng landai (8-15%)
D _{ac}	= lereng agak curam (15-25%)
D _c	= lereng curam (25-45%)

Hasil analisis diperoleh bahwa terdapat pengaruh yang signifikan kondisi lingkungan DAS terhadap besarnya erosi permukaan dengan nilai koefisien korelasi $R = 0,633$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0,40$. Ini berarti bahwa besarnya erosi permukaan 40% secara bersama-sama ditentukan oleh kondisi lingkungan DAS dan penggunaan lahan. Nilai *Standard Error of Estimate* adalah 0,57. Angka ini lebih kecil dari nilai standar deviasi erosi permukaan 0,71. Dengan demikian model persamaan regresi (persamaan 6) dapat digunakan sebagai prediktor besarnya erosi permukaan. Hasil ini ditunjang oleh hasil uji ANOVA atau F test, diperoleh F hitung adalah 31,492 dengan tingkat signifikansi 0,000.

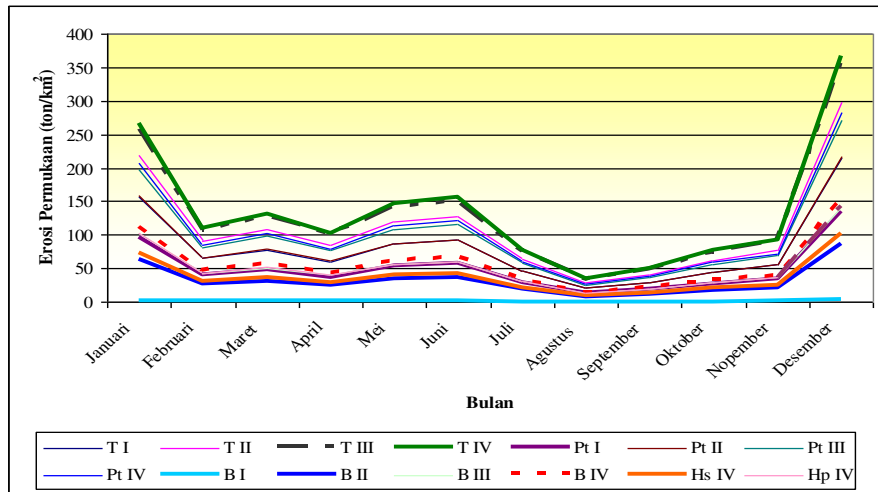
Dalam analisis regresi dengan variabel Dummy untuk variabel penggunaan lahan kategori tanah terbuka dan variabel lereng kategori lereng datar sebagai *excluded variable*, oleh karena itu dijadikan pembanding untuk kategori lainnya. Pada variabel penggunaan lahan untuk Pertanian Kering (*included variable*) memiliki nilai koefisien regresi sebesar -0,381. Dengan kata lain besarnya erosi permukaan pada lahan pertanian kering 38,1% lebih rendah dari erosi permukaan yang terjadi pada tanah terbuka

(*excluded variabel*). Pada lahan semak belukar nilai koefisien regresi -0,982 dengan demikian besarnya erosi permukaan yang terjadi pada lahan semak belukar 98,2% lebih rendah dibanding dengan erosi permukaan yang terjadi pada tanah terbuka. Demikian pula pada hutan sekunder besarnya erosi permukaan 122,1% lebih rendah dan pada hutan primer besarnya erosi permukaan 1,036% lebih rendah dibanding erosi permukaan yang terjadi pada tanah terbuka.

Untuk variabel lereng, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi pada variabel Dlandai (*included variable*) adalah 0,384, pada variabel Dagak curam sebesar 0,636 dan pada variabel Dcuram sebesar 0,691. Dengan kata lain besarnya erosi permukaan yang terjadi pada lahan dengan kemiringan lereng landai lebih tinggi 38,4% dibanding dengan besarnya erosi permukaan pada lahan datar, pada lereng agak curam lebih tinggi 63,6% dan pada lereng curam 69,1% lebih tinggi dibanding besarnya erosi permukaan yang terjadi pada lereng datar (*excluded variable*). Dalam persamaan regresi tersebut, variabel tanah tidak menjadi prediktor besarnya erosi permukaan pada DAS Alo-Pohu, sebab jika dilihat dari tingkat kepekaan terhadap erosi, jenis tanah pada DAS Alo-Pohu tidak beragam.

4.5 Sebaran erosi permukaan di DAS Alo-Pohu

Sebaran erosi permukaan pada suatu daerah aliran sungai dipengaruhi oleh karakteristik hujan pada daerah aliran sungai tersebut. Hasil analisis regresi telah diperoleh model hubungan antara tebal hujan, lereng dan penggunaan lahan dengan besarnya erosi permukaan hasil pengukuran pada plot erosi. Berdasarkan model hubungan tersebut, dapat diprediksi sebaran erosi permukaan secara temporal. Grafik sebaran temporal erosi per unit lahan ditunjukkan pada Gambar 23 dan besarnya erosi permukaan pada setiap sub DAS per bulan ditunjukkan pada Tabel 11.



Keterangan: T = Tanah terbuka; Pt = Pertanian kering; B = Belukar; Hp = Hutan Primer; Hs = Hutan Sekunder; I = Datar; II = Landai; III = Agak curam; IV = Curam

Gambar 22. Grafik sebaran temporal erosi permukaan berdasarkan unit lahan per bulan pada DAS Alo-Pohu

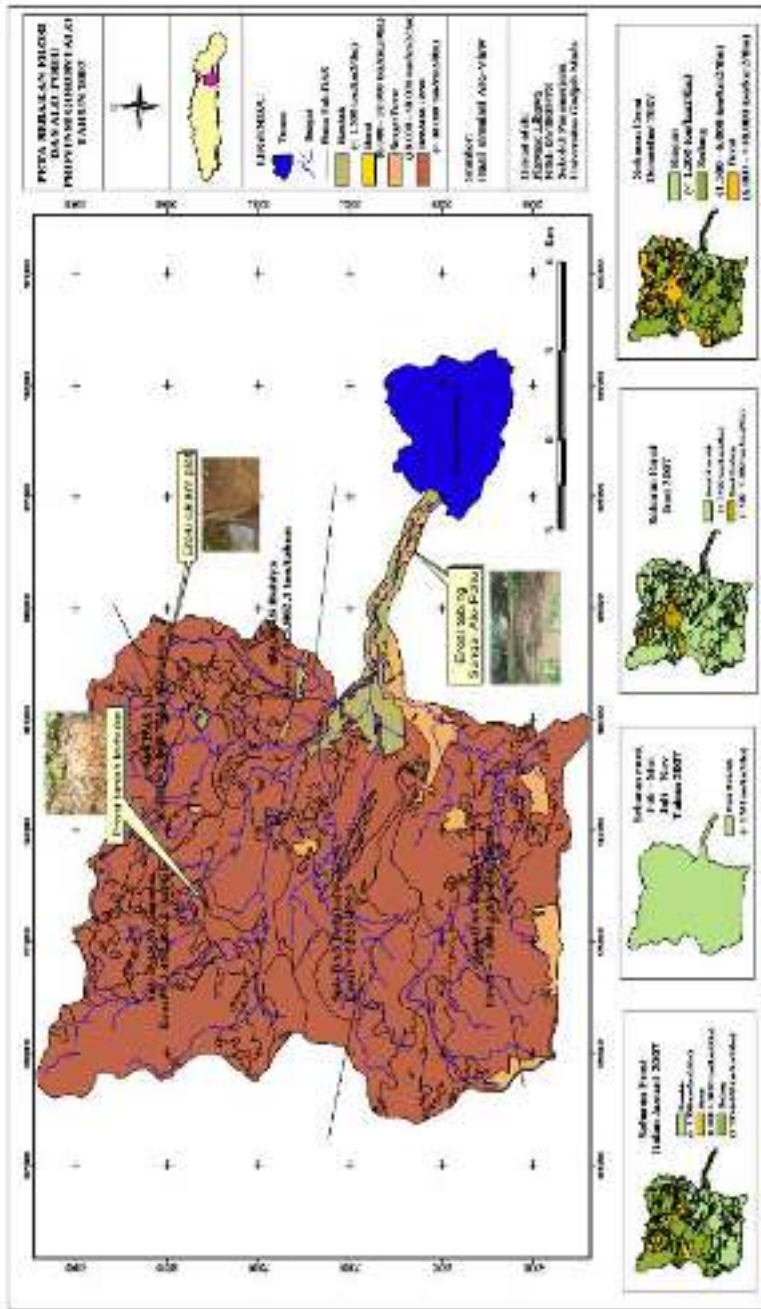
Gambar 23 menunjukkan bahwa tingkat erosi permukaan yang tertinggi terjadi pada unit lahan tanah terbuka curam, dan tingkat erosi permukaan terendah terjadi pada unit lahan semak belukar datar. Pada tanah terbuka (lahan bero), kondisi tanah tanpa vegetasi, dengan demikian air hujan langsung jatuh ke permukaan tanah. Air hujan yang langsung jatuh ke permukaan tanah tanpa vegetasi penutup lahan, kecepatan alirannya besar sehingga energi kinetiknya untuk memecahkan partikel tanah besar. Dengan demikian tanah mudah tererosi. Pada lahan semak belukar, kondisi lahan ditutupi oleh tumbuhan bawah dan seresah. Apabila air hujan jatuh di atas seresah dan tumbuhan bawah, energi kinetik air hujan akan tertahan oleh tumbuhan penutup tanah, dengan demikian menurunkan jumlah partikel tanah yang tererosi.

Tabel 11. Besarnya erosi permukaan pada DAS Alo-Pohu per bulan berdasarkan sub-sub DAS

Bulan	Erosi Permukaan (ton/ha)					
	Pohu	Pulubala	Molamahu	Alo	Buhiya	Alo-Pohu
Januari	12,38	18,56	30,70	21,87	15,28	20,15
Februari	5,89	7,77	12,11	7,05	5,10	8,32
Maret	4,86	9,04	9,69	9,80	6,66	10,02
April	4,07	7,52	11,65	9,39	8,09	7,79
Mei	3,36	10,37	21,80	11,19	8,07	11,12
Juni	8,39	11,45	18,32	10,01	7,34	11,83
Juli	3,72	5,64	7,12	8,34	9,25	5,91
Agustus	7,69	0,99	4,12	4,52	3,93	2,61
Sept	1,63	3,84	5,15	3,84	3,84	3,82
Oktober	5,49	5,99	6,36	6,09	5,82	5,80
Nop	1,70	5,37	12,44	12,02	10,14	7,07
Des	21,98	27,12	33,49	30,98	28,30	27,79
Total	112,93	176,02	269,33	210,96	174,53	190,36

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan besarnya erosi permukaan diperoleh besarnya erosi permukaan pada DAS Alo-Pohu adalah 190,36 ton/ha/tahun. Luas DAS Alo-Pohu adalah 48.828 ha maka total erosi yang dihasilkan adalah 9.294.659,62 ton/tahun. Peta Sebaran Erosi DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 23. Peta sebaran erosi permukaan di DAS Alo-Pohu Provinsi Gorontalo

4.6 Hasil Sedimen di DAS Alo-Pohu

4.6.1 Sedimen Melayang

Hasil analisis sedimen berupa konsentrasi dan ukuran butir sedimen pada lokasi penelitian diuraikan sebagai berikut.

a. Konsentrasi sedimen melayang

Konsentrasi sedimen selama 45 kali hasil pengukuran pada masing-masing lokasi ditunjukkan pada Tabel 12

Tabel 12. Hasil analisis konsentrasi sedimen melayang pada DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	CM _{min} (kg/m ³)	CM _{max} (kg/m ³)	Rata-rata (kg/m ³)	Sd (kg/m ³)
1	Sungai Pohu				
	- Hulu	0,0035	11,6540	1,81	2,71
	- Tengah	0,0039	11,4391	2,08	2,95
	- Hilir	0,0045	12,8661	2,44	3,32
2	Sungai Pulubala				
	- Hulu	0,0029	12,3746	3,57	3,60
	- Tengah	0,0000	12,9848	4,07	3,93
	- Hilir	0,0000	13,8675	4,64	4,38
3	Sungai Molamahu				
	- Hulu	0,0032	11,2329	1,97	2,61
	- Tengah	0,0048	11,7709	2,33	2,98
	- Hilir	0,0062	12,6451	2,56	3,25
4	Sungai Alo				
	- Hulu	0,0020	10,5796	2,07	2,56
	- Tengah	0,0016	10,7694	2,29	2,77
	- Hilir	0,0009	10,8024	2,72	3,02
5	Sungai Buihya				
	- Hulu	0,0050	6,0610	1,63	1,84
	- Tengah	0,0054	6,6810	1,85	2,19
	- Hilir	0,0044	7,6639	2,08	2,48
6	Sungai Alo-Pohu	0,0619	13,8931	4,19	4,24

Sumber: Hasil analisis

Keterangan : CM_{min} = konsentrasi terendah hasil pengukuran ;
 CM_{max} = konsentrasi tertinggi hasil pengukuran;
Rata-rata hasil pengukuran ($N=45$);
 Sd = standar deviasi; $N = 45$

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi sedimen pada bagian hulu, tengah dan hilir sungai dilakukan uji beda dua rata-rata T-test (*Paired Sample Test*). Hasil uji beda dua rata-rata ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil uji beda dua rata-rata konsentrasi sedimen melayang antara hulu, tengah dan hilir sungai.

No	Lokasi	N	Beda Rata-rata	Standar Deviasi	t	Sig
1.	S.Pohu					
	a. Hulu-Tengah	45	-0,35	0,89	-2,68	0,010*
	b. Tengah - Hilir	45	-0,36	0,57	-4,26	0,000*
2.	S. Pulubala					
	a. Hulu-Tengah	45	-0,50	0,76	-4,42	0,000*
	b. Tengah - Hilir	45	-0,58	0,67	-5,79	0,000*
3.	S. Molamahu					
	a. Hulu-Tengah	45	-0,36	0,58	-4,21	0,000*
	b. Tengah - Hilir	45	-0,22	0,44	-3,45	0,001*
4.	S. Alo					
	a. Hulu-Tengah	45	-0,22	0,46	-3,16	0,003*
	b. Tengah - Hilir	45	-0,432	0,86	-3,37	0,002*
5.	S. Buihya					
	a. Hulu-Tengah	45	-0,22	0,60	-2,40	0,021*
	b. Tengah - Hilir	45	-0,23	0,54	-2,88	0,006*

Sumber: Hasil analisis.

Keterangan: *) Signifikan pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil analisis uji beda dua rata-rata menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan rata-rata konsentrasi sedimen antara bagian hulu dan tengah, serta rata-rata sedimen bagian tengah dan hilir. Semakin ke hilir konsentrasi sedimen semakin besar. Ini menunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi sedimen dari bagian hulu sampai dengan

bagian hilir. Hal ini disebabkan karena terjadinya erosi tebing sungai sepanjang perjalanan aliran permukaan dari bagian hulu sampai ke hilir dan sumbangan sedimen dari anak-anak sungai.

b. Ukuran butir sedimen

Ukuran butir sedimen dibedakan atas bagian hulu sungai, bagian tengah sungai, dan bagian hilir sungai. Hal ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik ukuran butir sedimen pada ketiga lokasi tersebut, sekaligus untuk melacak sumber sedimen pada DAS Alo-Pohu. Analisis ukuran butir sedimen dilakukan pada waktu debit puncak dan pada waktu kondisi debit rendah. Hasil analisis ukuran butir sedimen ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Ukuran butir sedimen melayang di DAS Alo-Pohu

Lokasi	Θ_1			Θ_2		
	Lempung (%)	Debu (%)	Pasir (%)	Lempung (%)	Debu (%)	Pasir (%)
Sungai Pohu						
- Hulu	46,27	46,13	7,6	39,76	45,45	14,79
- Tengah	50,55	40,06	3,39	34,36	49,36	16,28
- Hilir	59,24	33,27	7,49	44,94	38,87	16,19
Sungai Pulubala						
- Hulu	39,67	35,92	24,41	34,88	37,28	27,84
- Tengah	50,72	37,19	12,09	38,09	46,2	15,56
- Hilir	53,89	36,1	10,01	44,49	34,2	21,14
Sungai Molamahu						
- Hulu	49,55	29,51	20,94	36,58	46,12	17,3
- Tengah	40,7	48,9	10,4	41,75	41,27	16,98
- Hilir	48,05	34,94	17,01	31,37	45,84	22,79
Sungai Alo						
- Hulu	70,65	27,05	2,3	51,35	31,01	17,64
- Tengah	86,62	12,88	0,5	47,38	37,25	15,25
- Hilir	64,9	30,2	4,9	43,50	37,64	18,79
Sungai Buihya						
- Hulu	57,1	41,1	1,8	42,83	38,34	18,83
- Tengah	55,75	29,05	15,2	38,35	43,8	17,85
- Hilir	69,9	30,08	0,02	37,9	47,2	14,9
Sungai Alo-Pohu	59,89	31,15	8,96	29,3	47,63	23,07

Sumber: Hasil analisis laboratorium

Keterangan: Θ_1 = persentase ukuran butir pada saat debit rendah yang masih terdeteksi.

Θ_2 = persentase ukuran butir pada saat debit tertinggi

Tabel 14 menunjukkan bahwa pada kondisi debit minimum konsentrasi ukuran butir sedimen melayang terbesar adalah kandungan lempung, dan kondisi ini tidak berubah hingga bagian hilir sungai. Kondisi ini menunjukkan bahwa partikel sedimen yang berukuran lebih besar akan mengalami pengendapan selama

perjalanannya dari hulu menuju ke hilir sungai. Pada kondisi debit maksimum, terjadi peningkatan kandungan debu dan pasir di bagian hilir Sungai Pohan, Molamahu, Alo dan Alo-Pohan. Pada Sungai Molamahu, persentase ukuran butir yang tergolong liat semakin menurun dari bagian hulu hingga ke hilir, dan persentase debu semakin meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa jarak sumber sedimen ke lokasi pengambilan sampel relatif dekat, sehingga sedimen melayang dengan ukuran butir yang lebih besar belum mengendap. Semakin jauh jarak sumber sedimen, maka ukuran butir sedimen akan semakin kecil. Akan tetapi hal ini tidak luput dari pengaruh media transport (debit, kondisi aliran), kondisi sungai serta bentuk awal dari sumber sedimen. Gambar erosi tebing sungai ditunjukkan pada Gambar 25, gambar distribusi ukuran butir sedimen pada saat debit rendah ditunjukkan pada Gambar 26 dan distribusi ukuran butir sedimen pada saat debit maksimum ditunjukkan pada Gambar 27.

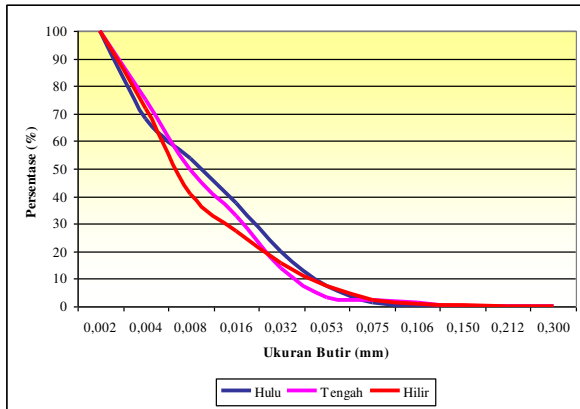


a. Erosi tebing Sungai Alo

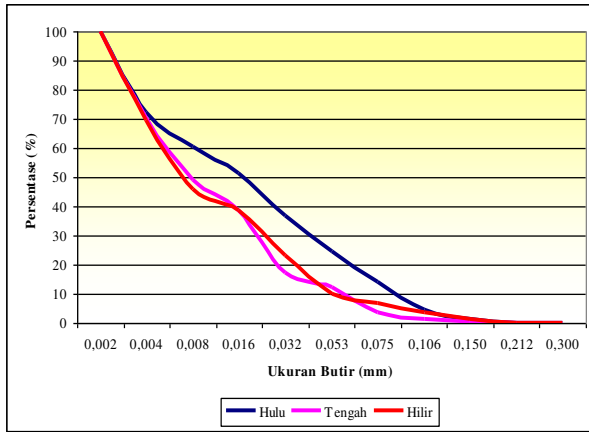


b. Erosi tebing Sungai Alo-Pohu

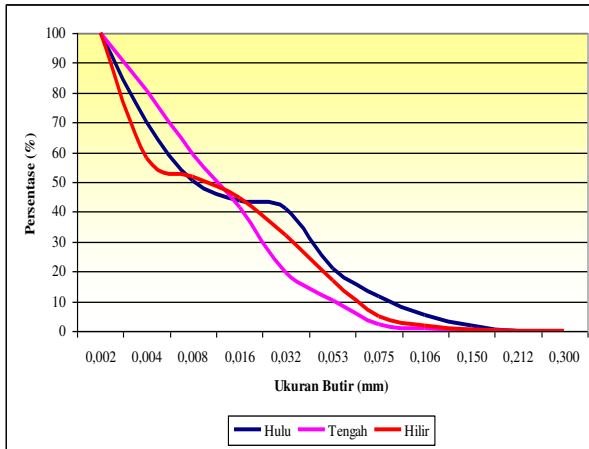
Gambar 24. Erosi tebing sungai di DAS Alo-Pohu



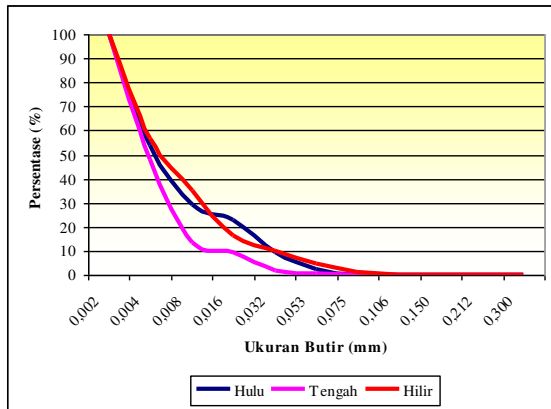
a. Sebaran ukuran butir sedimen S.Pohu



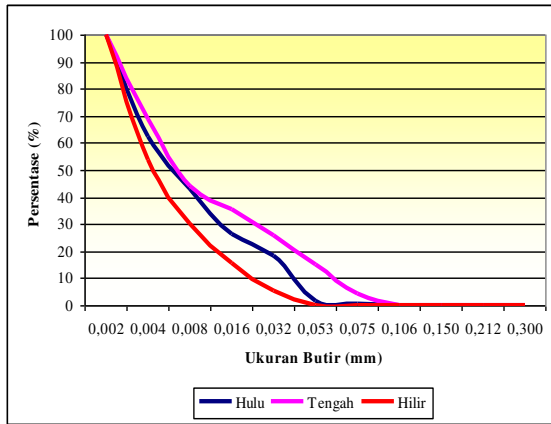
b. Sebaran ukuran butir sedimen S.Pulubala



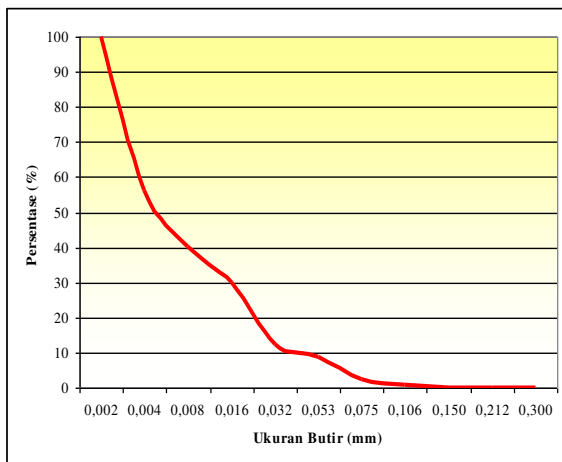
c. Sebaran ukuran butir sedimen S.Molamahu



d. Sebaran ukuran butir sedimen S. Alo

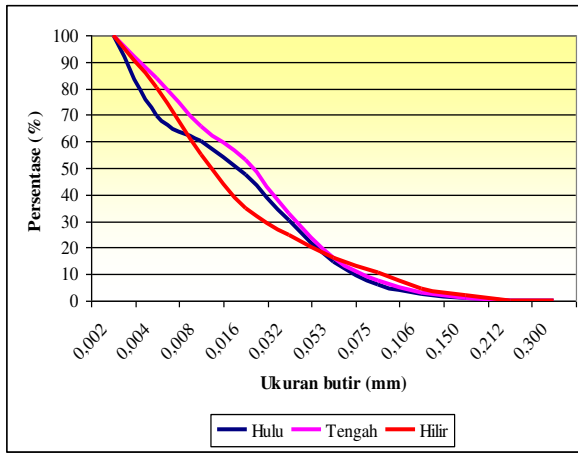


e. Sebaran ukuran butir sedimen S. Buhuya

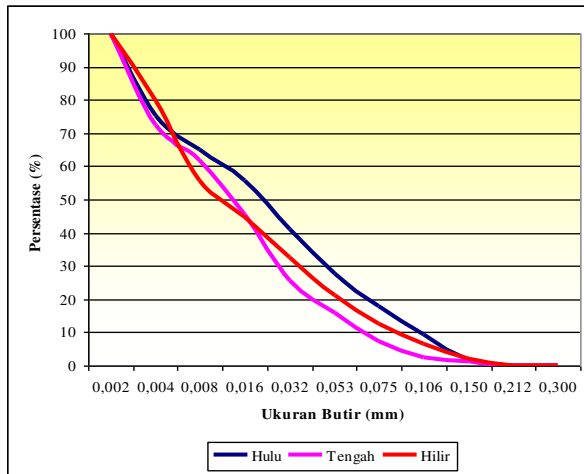


f. Sebaran ukuran butir sedimen S. Alo-Pohu

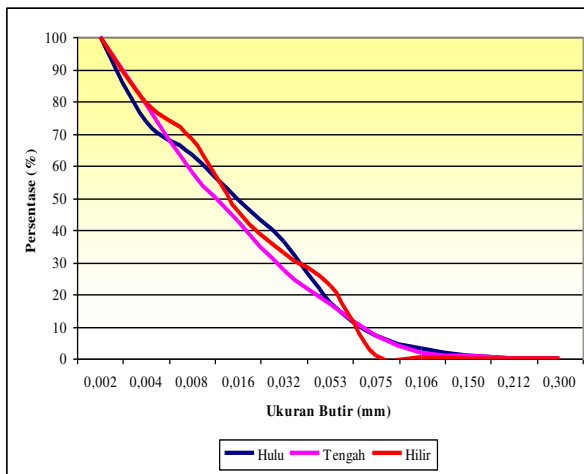
Gambar 25. Pola distribusi ukuran butir sedimen melayang pada kondisi debit rendah yang masih terdeteksi ukuran butir



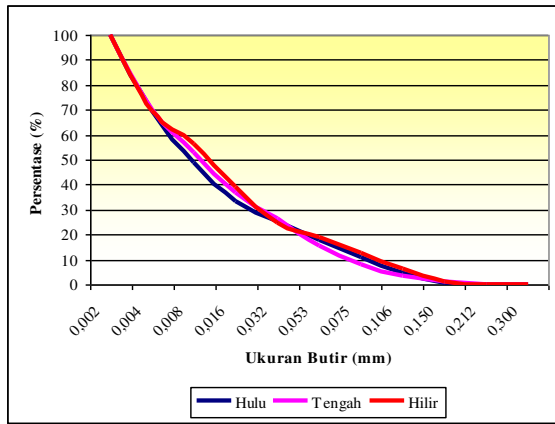
a. Sebaran ukuran butir sedimen S.Pohu



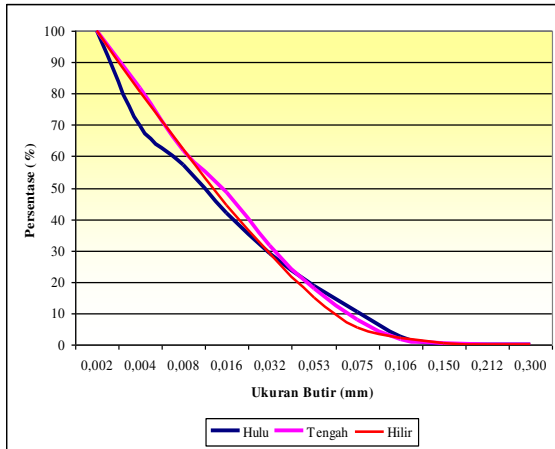
b. Sebaran ukuran butir sedimen S.Pulubala



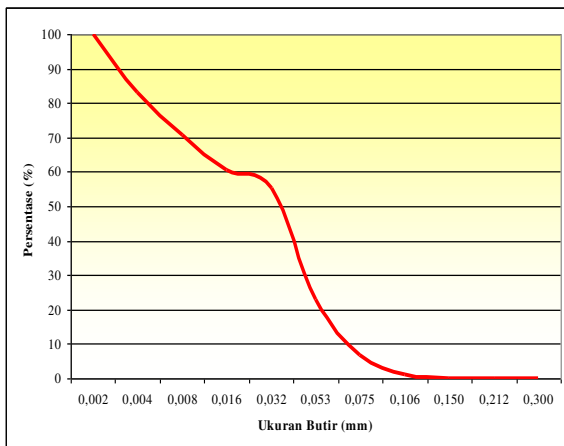
c. Sebaran ukuran butir sedimen S.Molamahu



d. Sebaran ukuran butir sedimen S. Alo



e. Sebaran ukuran butir sedimen S. Buihya



f. Sebaran ukuran butir sedimen S. Alo-Pohu

Gambar 26. Pola distribusi ukuran butir sedimen melayang pada kondisi debit maksimum

c. Muatan sedimen dasar

Data muatan sedimen dasar diperoleh melalui pendekatan dengan memperkirakan muatan sedimen dasar terhadap sedimen melayang dengan memperhatikan konsentrasi sedimen melayang, komposisi dasar sungai serta komposisi sedimen melayang. Untuk konsentrasi sedimen melayang kurang dari 1000 mg/liter, komposisi sedimen dasar sungai adalah pasir dan komposisi sedimen melayang sama dengan dasar sungai maka perbandingan sedimen dasar adalah 0,25 – 1,50, apabila komposisi sedimen melayang jumlah pasir sedikit perbandingan sedimen adalah 0,05 – 0,12 (WMO, 1989 dalam Soewarno, 1991)

Komposisi dasar sungai bagian hilir pada lokasi penelitian pada umumnya adalah pasir, akan tetapi komposisi sedimen melayang jumlah pasir lebih sedikit dibanding dengan lempung. Oleh sebab itu berdasarkan perbandingan yang dikembangkan oleh Borland dan Maddock (dalam Suwarno, 1991), serta besaran angka perbandingan yang umum dipakai oleh para ahli, maka dalam penelitian ini digunakan angka perbandingan antara muatan sedimen melayang dan muatan sedimen dasar 0,12. Hasil analisis konsentrasi sedimen dasar pada masing-masing lokasi ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil analisis muatan sedimen dasar pada DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	CDs _{min} (kg/m ³)	CDs _{max} (kg/m ³)	R (N=45)	SD
1	Sungai Pohu				
	- Hulu	0,0004	1,3985	0,2073	0,3599
	- Tengah	0,0005	1,3727	0,2499	0,3811
	- Hilir	0,0005	1,5439	0,2931	0,4291
2	Sungai Pulubala				
	- Hulu	0,0004	1,4850	0,4278	0,4493
	- Tengah	0,0000	1,5582	0,4879	0,4876
	- Hilir	0,0000	1,6641	0,5569	0,5400
3	Sungai Molamahu	0,0004	1,3480	0,2366	0,3449

No	Lokasi	CDs _{min} (kg/m ³)	CDs _{max} (kg/m ³)	R (N=45)	SD
	- Hulu - Tengah - Hilir	0,0006 0,0007	1,4125 1,5174	0,2803 0,3072	0,3847 0,4189
4	Sungai Alo - Hulu - Tengah - Hilir	0,0002 0,0002 0,0001	1,2696 1,2923 1,2962	0,2923 0,2963 0,3329	0,3322 0,3544 0,3853
5	Sungai Buihya - Hulu - Tengah - Hilir	0,0006 0,0007 0,0005	0,7273 0,8017 0,9197	0,1958 0,2218 0,2495	0,2290 0,2695 0,3059
6	Sungai Alo-Pohu	0,0070	1,6672	0,5023	0,5256

Sumber: Hasil analisis

Keterangan: CD_{min} = konsentrasi terendah sedimen dasar hasil perhitungan

CD_{max} = konsentrasiteringgi sedimen dasar hasil perhitungan

R = rata-rata (N=45); SD = standar deviasi

d. Muatan sedimen total

Muatan sedimen total adalah jumlah muatan sedimen melayang dengan sedimen dasar. Hasil analisis konsentrasi muatan sedimen total ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil analisis muatan sedimen total pada DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	C total _{min} (kg/m ³)	C total _{max} (kg/m ³)	Rata-rata (N=45)	Standar Deviasi
1	Sungai Pohu - Hulu - Tengah - Hilir	0,0039 0,0044 0,0050	13,0525 12,8118 14,4101	1,9353 2,3322 2,7360	3,3593 3,5570 4,0047
2	Sungai Pulubala - Hulu - Tengah - Hilir	0,0033 0,0000 0,0000	13,8596 14,5429 15,5316	3,9932 4,5533 5,1977	4,1934 4,5506 5,0401
3	Sungai Molamahu - Hulu - Tengah - Hilir	0,0035 0,0054 0,0070	12,5809 13,1834 14,1626	2,2078 2,6157 2,8675	3,2190 3,5908 3,9097
4	Sungai Alo - Hulu - Tengah	0,0022 0,0018	11,8492 12,0617	2,3861 2,6360	3,1002 3,3074

No	Lokasi	C total _{min} (kg/m ³)	C total _{max} (kg/m ³)	Rata-rata (N=45)	Standar Deviasi
	- Hilir	0,0010	12,0987	3,1072	3,5958
5	Sungai Buhiya				
	- Hulu	0,0057	6,7883	1,8277	2,1373
	- Tengah	0,0061	7,4827	2,0698	2,5149
	- Hilir	0,0050	8,5836	2,3284	2,8548
6	Sungai Alo-Pohu	0,0657	15,5602	4,6886	4,9055

Sumber: Hasil Analisis

4.6.2 Debit Aliran pada DAS Alo-Pohu

a. Tinggi muka air

Pengukuran tinggi muka air dilakukan pada lima lokasi yaitu pada Sungai Pohu, Sungai Pulubala, Sungai Molamahu, Sungai Alo, dan Sungai Buhiya. Hasil pengukuran tinggi muka air ditunjukkan pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil pengukuran tinggi muka air pada sungai-sungai di DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	Tinggi Muka Air (m)		
		Maksimum	Minimum	Rata-rata
1	Sungai Pohu	3,62	0,1	0,84
2	Sungai Pulubala	4,57	0,0	1,75
3	Sungai Molamahu	3,81	0,3	1,54
4	Sungai Alo	5,56	0,18	1,39
5	Sungai Buhiya	2,01	0,1	0,68
6	Sungai Alo-Pohu	5,83	0,58	3,018

Sumber : Hasil Pengukuran.

Keterangan: Maksimum = nilai tertinggi selama pengukuran

Minimum = nilai terendah selama pengukuran

Hasil pengukuran tinggi muka air pada Sungai Pulubala menunjukkan nilai minimumnya adalah nol. Ini menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa hujan (musim kemarau) Sungai Pulubala menjadi kering. Hal ini disebabkan karena kondisi dasar sungainya berpasir, sehingga air pada permukaan sungai cepat meresap ke dalam dasar sungai pada saat musim kemarau (*base flow* baik).

b. Debit aliran

Debit aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh tinggi muka air sungai. Data hasil pengukuran debit ditunjukkan pada Tabel 18 dan hasil analisis yang menggambarkan pola hubungan tersebut pada masing-masing sungai yang ada di DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Tabel 19.

Tabel 18. Hasil pengukuran debit pada sungai-sungai di DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	Debit (m ³ /detik)		
		Maksimum	Minimum	Rata-rata
1	Sungai Pohu	59,67	0,05	6,14
2	Sungai Pulubala	86,82	0,00	20,15
3	Sungai Molamahu	60,86	0,04	11,89
4	Sungai Alo	103,02	0,04	14,67
5	Sungai Buhiya	8,23	0,07	1,36
6	Sungai Alo-Pohu	170,57	0,91	54,01

Sumber : Hasil pengukuran.

Keterangan: Maksimum = nilai tertinggi selama pengukuran

Minimum = nilai terendah selama pengukuran

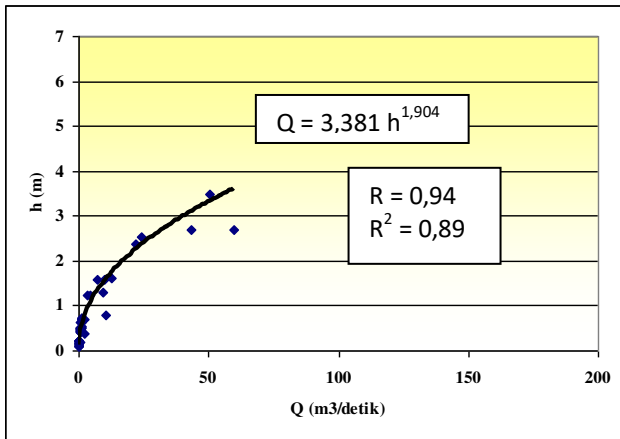
Tabel 19. Persamaan hubungan tinggi muka air dengan debit sungai pada DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	Persamaan	Koefisien Korelasi (R)	Koefisien Determinasi (R ²)
1	Sungai Pohu	$Q = 3,381 h^{1,904}$	0,94	0,89
2	Sungai Pulubala	$Q = 3,475 h^{2,109}$	0,97	0,95
3	Sungai Molamahu	$Q = 2,070 h^{2,607}$	0,98	0,96
4	Sungai Alo	$Q = 3,048 h^{2,267}$	0,99	0,97
5	Sungai Buhiya	$Q = 1,683 h^{1,793}$	0,89	0,79
6	Sungai Alo-Pohu	$Q = 3,133 h^{2,222}$	0,99	0,98

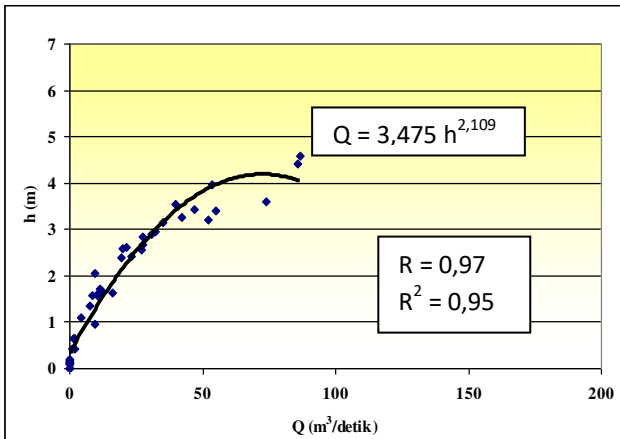
Sumber : Hasil analisis statistik dengan SPSS 16.

Q = debit ($m^3/detik$) ; h = tinggi muka air (m)

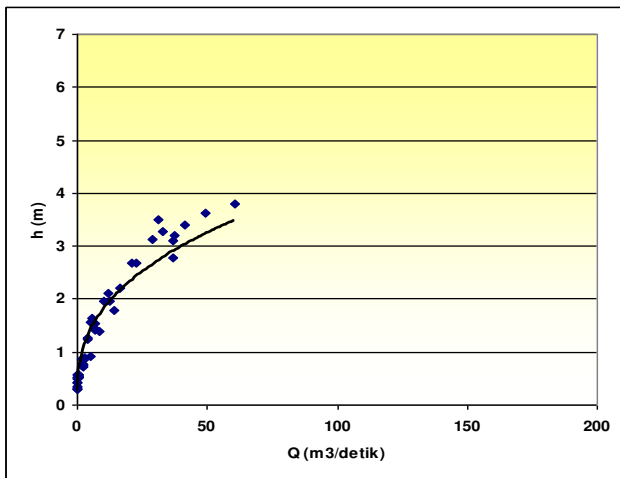
Grafik lengkung debit aliran sungai pada DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Gambar 28.



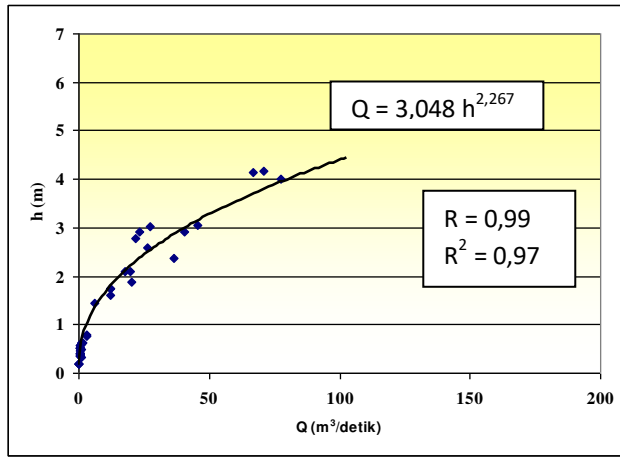
a. Lengkung debit Sungai
Pohu



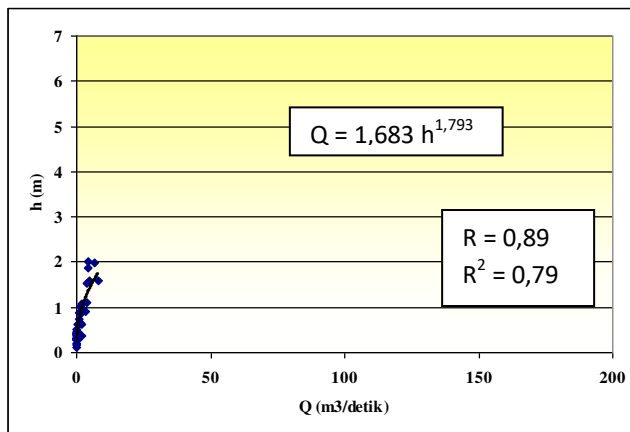
b. Lengkung debit Sungai
Pulubala



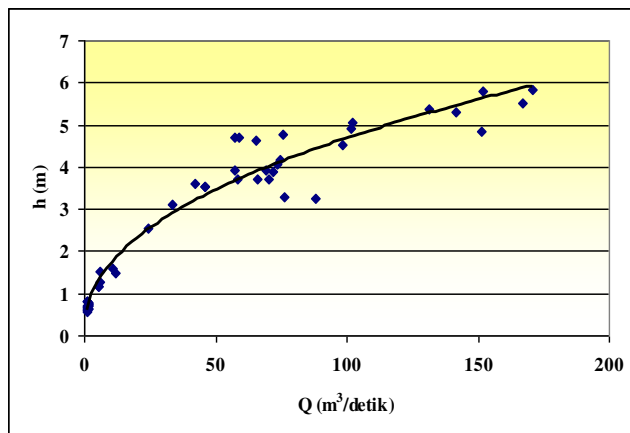
c. Lengkung debit Sungai
Molamahu



d. Lengkung debit Sungai Alo



e. Lengkung debit Sungai Buhiya



f. Lengkung debit Sungai Alo-Pohu

Gambar 27. Lengkung debit pada DAS Alo-Pohu

c. Hubungan antara debit aliran dan debit sedimen melayang

Data hasil pengukuran debit sedimen melayang ditunjukkan pada Tabel 20 dan hasil analisis yang menggambarkan pola hubungan antara debit aliran dengan debit sedimen melayang pada masing-masing sungai yang ada di DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Tabel 21

Tabel 20. Hasil pengukuran debit sedimen melayang

No	Lokasi	Debit sedimen melayang (m ³ /detik)		
		Maksimum	Minimum	Rata-rata
1	Sungai Pohu	764,4202	0,0004	52,5787
2	Sungai Pulubala	1204,0296	0,0000	171,2055
3	Sungai Molamahu	769,6103	0,0005	77,1454
4	Sungai Alo	1112,9074	0,0004	102,9236
5	Sungai Buhiya	49,6944	0,0003	6,6358
6	Sungai Alo-Pohu	2263,4834	0,0636	422,2123

Sumber : Hasil analisis..

Tabel 21. Persamaan regresi antara debit aliran dan debit sedimen melayang

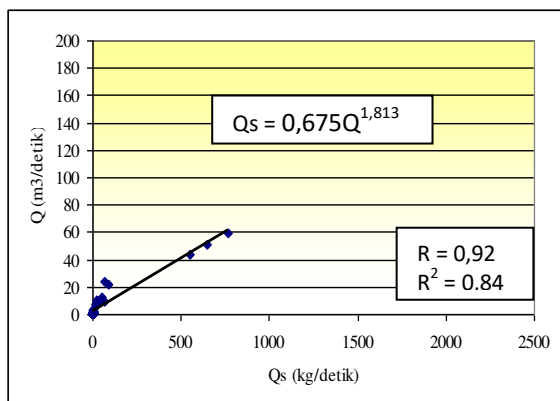
No	Lokasi	Persamaan	Koefisien Korelasi (R)	Koefisien Determinasi (R ²)
1	Sungai Pohu	$Q_s = 0,675 Q^{1,813}$	0,92	0,84
2	Sungai Pulubala	$Q_s = 0,508 Q^{1,746}$	0,98	0,96
3	Sungai Molamahu	$Q_s = 0,277 Q^{1,862}$	0,97	0,94
4	Sungai Alo	$Q_s = 0,333 Q^{1,846}$	0,94	0,89
5	Sungai Buhiya	$Q_s = 1,091 Q^{2,379}$	0,95	0,90
6	Sungai Alo-Pohu	$Q_s = 0,221 Q^{1,726}$	0,98	0,96

Sumber: Hasil analisis statistik dengan SPSS 16.0.

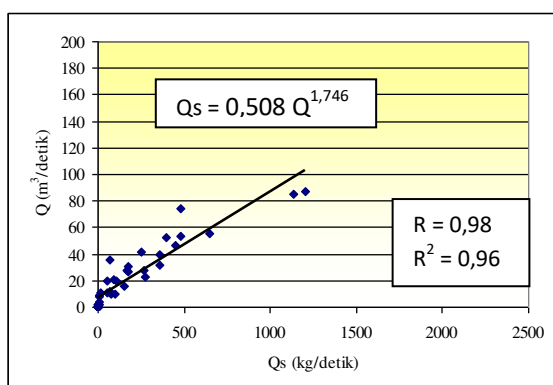
Keterangan : Q_s = debit sedimen melayang (kg/detik)

Q = debit aliran (m³/detik)

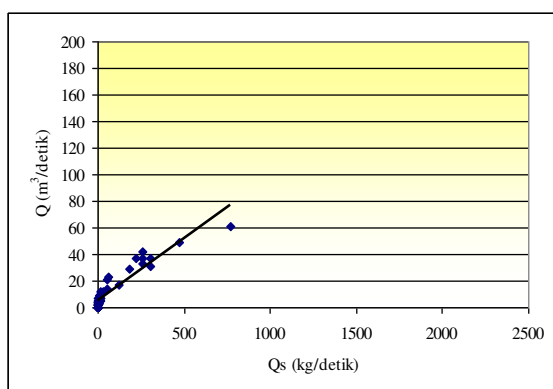
Grafik yang menggambarkan hubungan antara debit aliran dengan debit sedimen ditunjukkan pada Gambar 29.



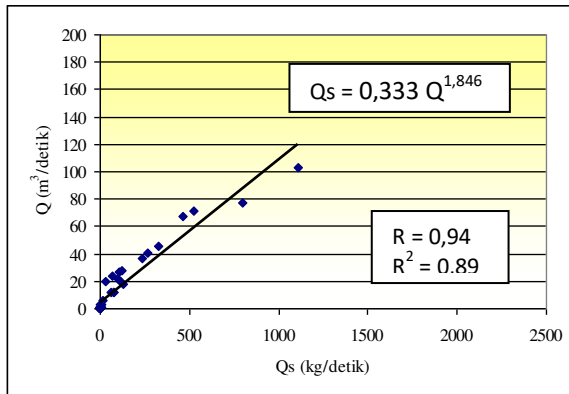
a. Grafik lengkung sediment pada Sungai Puhu



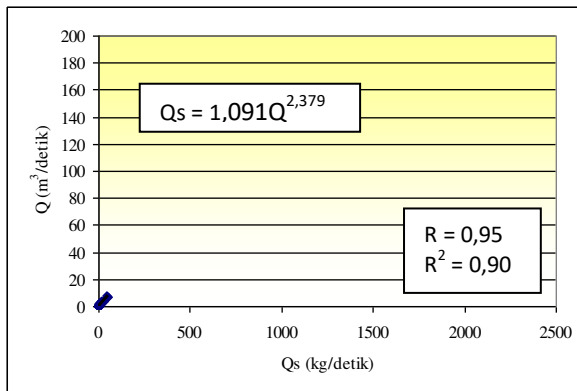
b. Grafik lengkung sediment pada Sungai Pulubala



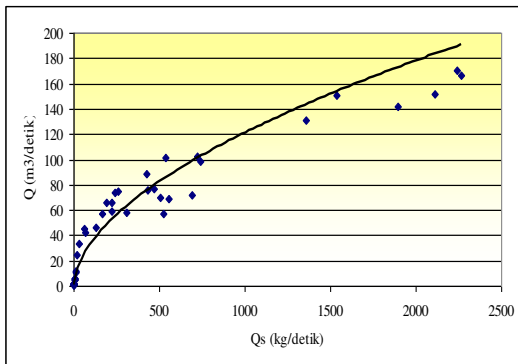
c. Grafik lengkung sediment pada Sungai Molamahu



d. Grafik lengkung sediment pada Sungai Alo



e. Grafik lengkung sediment pada Sungai Buhiya



f. Grafik lengkung sediment pada Sungai Alo-Pohu

Gambar 28. Grafik lengkung sedimen melayang pada DAS Alo-Pohu

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan debit aliran terhadap debit sedimen pada DAS Alo-Pohu. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya koefisien determinasi (R^2) 0,96. Hal ini berarti 96% debit sedimen pada Sungai Alo-Pohu dipengaruhi oleh besarnya debit aliran. Dengan demikian persamaan lengkung sedimen ini dapat digunakan untuk memprediksi besarnya debit sedimen pada Sungai Alo-Pohu.

d. Hubungan antara debit aliran dan debit sedimen total

Data hasil analisis debit sedimen total ditunjukkan pada Tabel 22 dan hasil analisis regresi yang menggambarkan pola hubungan antara debit aliran dengan debit sedimen total pada masing-masing sungai yang ada di DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Tabel 23.

Tabel 22. Hasil analisis debit sedimen total pada sungai-sungai di DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	Debit sedimen total ($m^3/detik$)		
		Maksimum	Minimum	Rata-rata
1	Sungai Pohu	856,1506	0,0004	58,8881
2	Sungai Pulubala	1348,5132	0,0000	191,7502
3	Sungai Molamahu	861,9635	0,0006	86,4029
4	Sungai Alo	1246,4562	0,0040	115,2745
5	Sungai Buihya	55,6577	0,0004	7,4321
6	Sungai Alo-Pohu	2535,1014	0,0711	472,8778

Sumber : Hasil Analisis..

Hasil analisis menunjukkan bahwa kontribusi debit aliran terhadap debit sedimen total sangat signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi yang tinggi dan koefisien determinasi yang besar ($> 0,5$).

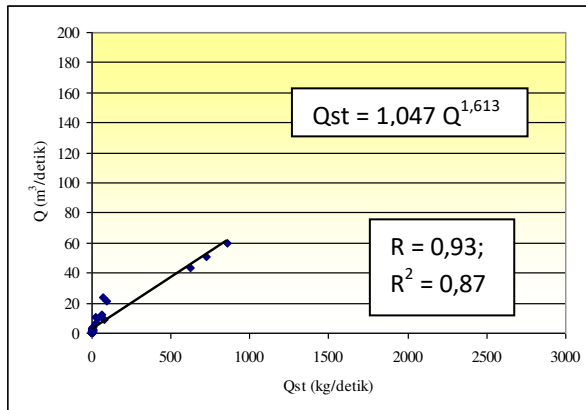
Tabel 23. Persamaan regresi antara debit aliran dan debit sedimen total pada DAS Alo-Pohu

No	Lokasi	Persamaan	Koefisien Korelasi (R)	Koefisien Determinasi (R ²)
1	Sungai Pohan	$Q_{st} = 1,047 Q^{1,613}$	0,93	0,87
2	Sungai Pulubala	$Q_{st} = 0,746 Q^{1,656}$	0,95	0,91
3	Sungai Molamahu	$Q_{st} = 0,427 Q^{1,752}$	0,98	0,95
4	Sungai Alo	$Q_{st} = 0,592 Q^{1,714}$	0,96	0,93
5	Sungai Buihya	$Q_{st} = 1,279 Q^{2,229}$	0,94	0,89
6	Sungai Alo-Pohu	$Q_{st} = 0,255 Q^{1,719}$	0,98	0,96

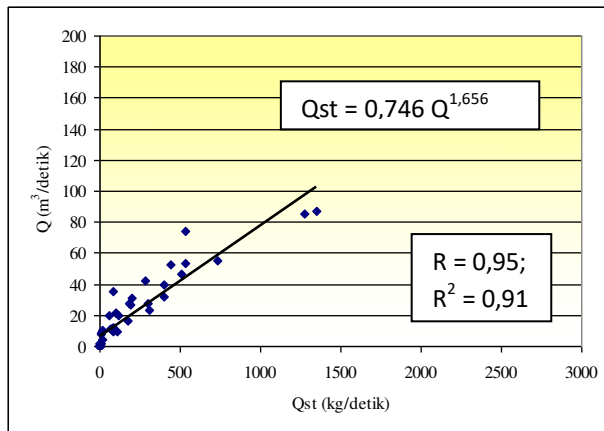
Sumber: Hasil analisis statistik dengan SPSS 16.0.

Keterangan : Q_{st} = debit sedimen total (kg/detik); Q = debit aliran ($m^3/detik$)

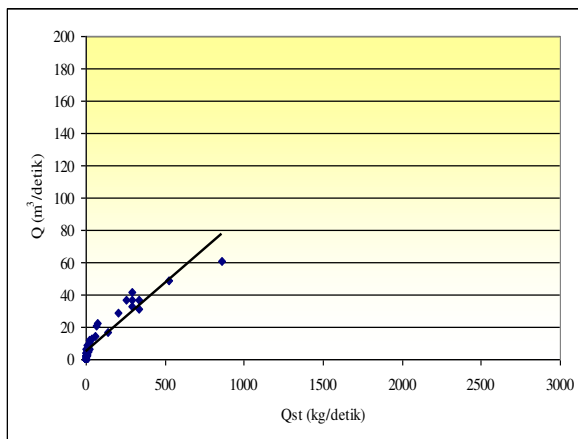
Dengan demikian persamaan regresi hubungan antara debit aliran dengan debit sedimen total dapat dipergunakan untuk memprediksi besarnya debit sedimen total pada DAS Alo-Pohu. Grafik hubungan antara debit aliran dengan debit sedimen total pada DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Gambar 30. Dari grafik lengkung sedimen terlihat bahwa penyumbang sedimen terbesar adalah Sungai Pulubala dan Sungai Alo, sedangkan penyumbang sedimen terkecil adalah Sungai Buihya. Hal ini lebih disebabkan oleh pola penggunaan lahan yang ada pada kedua sub DAS tersebut. Sub DAS Alo dan Pulubala merupakan sub DAS yang memiliki persentase luas lahan pertanian kering dan tanah terbuka yang lebih besar dibanding sub DAS lainnya, sehingga kemampuan DAS untuk mengurangi aliran permukaan juga menurun. Disamping itu juga disebabkan oleh erosi tebing sungai yang terjadi pada kedua sungai tersebut.



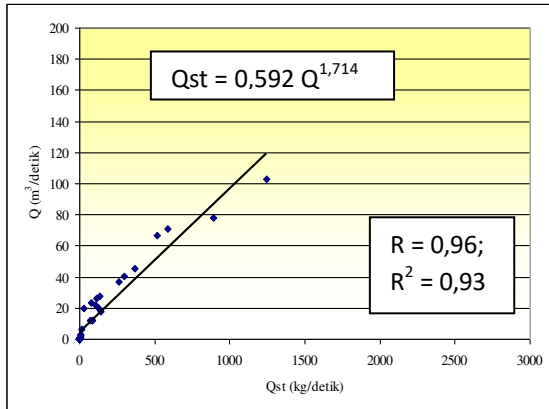
a. Lengkung sedimen total S.Puhu



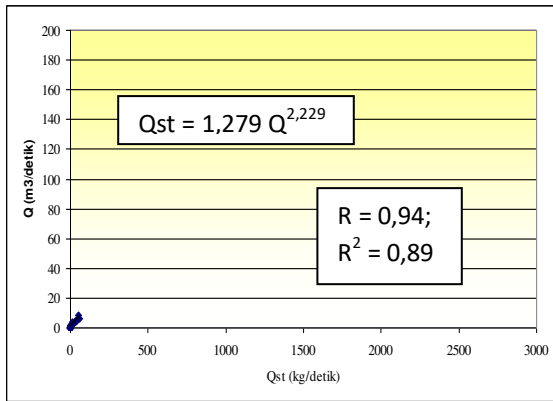
b. Lengkung sedimen total S.Pulubala



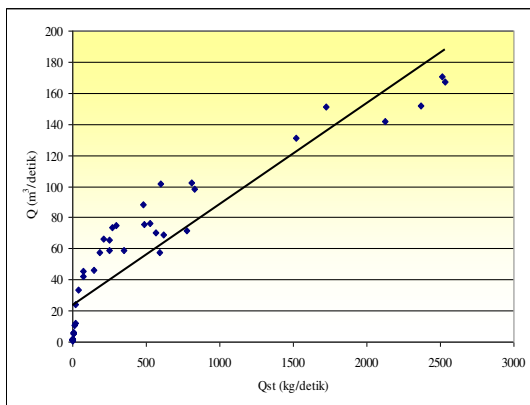
c. Lengkung sedimen total S.Molamahu



d. Lengkung sedimen total S.Alo



e. Lengkung sedimen total S.Buihya



e. Lengkung sedimen total S.Alo-Pohu

Gambar 29. Lengkung sedimen total di DAS Alo-Pohu

4.6.3 Sebaran temporal hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu

Berdasarkan hasil analisis regresi hubungan antara debit aliran dengan debit sedimen total pada DAS Alo-Pohu tersebut dapat diprediksi besarnya hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu. Besarnya hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu untuk setiap bulannya ditunjukkan pada Tabel 24.

Tabel 24. Besarnya hasil sedimen per bulan pada DAS Alo-Pohu

Bulan	Hasil Sedimen (ton/ha)					
	Pohu	Pulubala	Molamahu	Alo	Buhiya	Alo-Pohu
Januari	5,08	2,37	3,04	13,98	0,98	7,01
Februari	2,25	0,18	0,17	1,23	0,69	1,53
Maret	0,68	0,07	0,03	2,64	1,41	0,14
April	1,04	0,01	1,58	2,42	0,01	1,01
Mei	1,03	0,92	1,91	31,34	0,67	6,68
Juni	0,78	0,46	0,16	10,66	0,59	9,78
Juli	0,72	0,18	0,01	7,64	0,55	0,29
Agustus	0,43	0,06	0,01	1,52	0,04	0,05
Sept	0,84	0,42	1,59	0,19	0,003	0,40
Oktober	0,32	0,00	0,004	0,06	0,00	0,01
Nop	1,10	0,10	0,09	0,30	0,03	0,02
Des	5,18	9,93	5,25	52,83	1,36	6,72
Total	19,4	14,70	14,13	124,83	6,34	33,65

Sumber: Hasil analisis.

Rata-rata hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu sebesar 33,65 ton/ha/tahun. Luas DAS Alo-Pohu adalah 488,28 km², dengan demikian total hasil sedimen adalah 1.642.868,70 ton/tahun. Penyumbang sedimen terbesar adalah Sungai Alo dengan total sedimen yang dihasilkan sebesar 124,83 ton/ha dan penyumbang sedimen terkecil adalah Sungai Buhiya dengan besar sedimen 6,34 ton/ha. Hal ini disebabkan karena Sungai Alo memiliki debit aliran terbesar dan Sungai Buhiya memiliki debit aliran yang terkecil.

4.6.4 Model pengaruh lingkungan DAS dan penggunaan lahan terhadap hasil sedimen di DAS Alo-Pohu.

Hasil sedimen pada suatu DAS sangat bergantung pada besarnya erosi yang terjadi di DAS tersebut dan tergantung pada proses pengangkutan partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut. Tidak semua partikel tanah yang tererosi akan sampai pada titik pengamatan hasil sedimen. Sebagian tanah akan mengendap pada cekungan-cekungan permukaan tanah, di kaki-kaki lereng dan lokasi-lokasi penampungan sedimen lainnya. Oleh karena itu, hasil sedimen akan dipengaruhi oleh karakteristik fisik DAS.

Kondisi lingkungan DAS yang diperhitungkan dalam memprediksi hasil sedimen adalah luas DAS (km^2), bentuk DAS, kerapatan drainase (km/km^2), rasio percabangan, frekuensi sungai, persentase hutan primer, persentase hutan sekunder, persentase sawah, persentase pertanian kering, persentase semak belukar, persentase luasan lahan yang berlereng datar, landai, agak curam dan curam pada DAS Alo-Pohu. Hasil analisis regresi dengan metode *Stepwise* diperoleh model persamaan regresi sebagai berikut:

$$\text{Log Sy} = 0,217 + 1,781 \text{ Log Q} - 0,001 \text{ A} + 0,024 \text{ Tt} + 0,146 \text{ Dd}$$

..... (7)

Keterangan:

- Sy = hasil sedimen (ton)
- Q = rata-rata debit bulanan (m^3/detik)
- A = luas DAS (km^2)
- Dd = kerapatan drainase (km/km^2)
- Tt = persentase tanah terbuka (%)

Hasil analisis regresi dengan metode *stepwise* menunjukkan bahwa variabel debit, luas DAS (A), persentase tanah terbuka, dan kerapatan drainase secara bersama-sama berpengaruh terhadap hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu, dengan koefisien korelasi (R) sebesar

0,95 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,895. Hal ini berarti bahwa 89,5% hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu secara bersama-sama dipengaruhi oleh debit aliran, luas DAS, persentase tanah terbuka dan frekuensi sungai, dan 10,5% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Hasil uji ANOVA (F test) sebesar 119,921 dengan tingkat signifikansi 0,000. Hal ini menunjukkan bahwa model persamaan regresi tersebut dapat digunakan untuk memprediksi hasil sedimen pada DAS Alo-Pohu. Sebaran spasio-temporal hasil sedimen per bulan di tunjukkan pada Gambar 31.

4.6.5 Nisbah pelepasan sedimen

Material tanah yang tererosi di daerah aliran sungai tidak semuanya mencapai outlet atau sungai-sungai dari DAS tersebut. Dalam proses pengangkutannya, sebagian erosi akan mengendap baik secara permanen atau sementara di daerah-daerah cekungan, daerah landai dan daerah dataran banjir. Perbandingan antara sedimen yang terukur di outlet sungai dengan erosi di unit-unit lahan disebut nisbah pelepasan sedimen atau *Sediment Delivery Ratio (SDR)*.

Besarnya *SDR* dipengaruhi oleh faktor lingkungan daerah aliran sungai. Dalam penelitian ini dikaji pengaruh debit aliran, luas DAS, rasio percabangan sungai, frekuensi sungai, bentuk DAS, kerapatan drainase, persentase penggunaan lahan dan persentase luasan kemiringan lereng terhadap nilai *SDR*. Hasil perhitungan diperoleh besarnya *SDR* pada masing-masing sub DAS di DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Tabel 25.

Tabel 25. Nisbah pelepasan sedimen pada DAS Alo-Pohu

No	Sub DAS	Hasil Sedimen (ton)	Erosi (ton)	SDR
1	Sub DAS Pohu	289.520,77	1.680.129,66	0,17
2	Sub DAS Pulubala	161.023,70	1.928.499,29	0,08
3	Sub DAS Molamahu	183.278,94	3.492.366,24	0,05

4	Sub DAS Alo	947.187,87	1.600.753,15	0,59
5	Sub DAS Buhiya	15.459,65	425.862,11	0,04
6	DAS Alo-Pohu	1.642.868,7	9.294.659,62	0,18

Sumber : Hasil perhitungan.

Model persamaan regresi pengaruh kondisi lingkungan DAS dengan *SDR* :

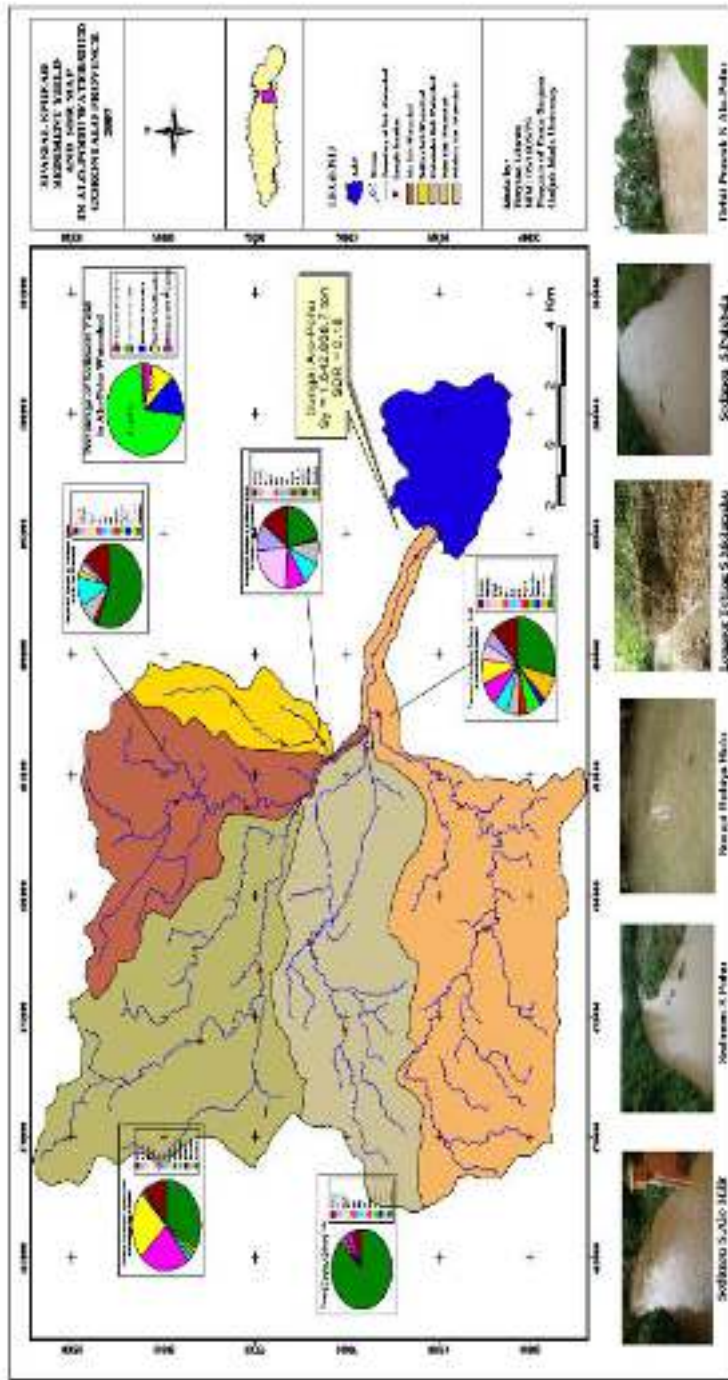
$$\text{Log } SDR = -2,385 + 1,104 \text{ Log } Q - 0,465 R_f + 0,686 D_d$$

..... (8)

Keterangan:

- SDR* = *Sediment Delivery Ratio*
- Q = rata-rata debit bulanan (m³/detik)
- R_f = bentuk DAS
- D_d = Kerapatan drainase (km/km²)

Koefisien korelasi (R) dari model persamaan di atas adalah 0,838 dan koefisien determinasi (R²) adalah 0,702. Dengan demikian 70,2% besarnya *SDR* di DAS Alo-Pohu secara bersama-sama dipengaruhi oleh debit, bentuk DAS, dan kerapatan drainase. Hasil uji ANOVA (F test) menunjukkan nilai 51,047 dengan tingkat signifikansi 0,000. Hal ini berarti bahwa variabel-variabel debit, bentuk DAS dan kerapatan drainase secara bersama-sama dapat digunakan untuk memprediksi nilai *SDR*. Sebaran spasial hasil sedimen dan nisbah pelepasan sedimen di DAS Alo-Pohu ditunjukkan pada Gambar 31.



Gambar 31. Sebaran spaasio-temporal hasil sedimen dan nisbah pelepasan sedimen di DAS Alo-Pohu

BAB V. LONGSORAN

5.1 Konsep Longsor

Longsor dan erosi adalah proses berpindahnya tanah atau batuan dari satu tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah akibat dorongan air, angin, atau gaya gravitasi. Tanah longsor adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan lereng yang menyebabkan bergeraknya massa tanah dan batuan ke tempat yang lebih rendah (Hardiyatmo, 2006; Suratman, 2002). Gerakan massa ini dapat terjadi pada lereng-lereng yang hambat geser tanah atau batumannya lebih kecil dari berat massa tanah atau batuan itu sendiri. Proses tersebut melalui empat tahapan, yaitu pelepasan, pengangkutan atau pergerakan, dan pengendapan. Perbedaan menonjol dari fenomena longsor dan erosi adalah volume tanah yang dipindahkan, waktu yang dibutuhkan, dan kerusakan yang ditimbulkan. Longsor memindahkan massa tanah dengan volume yang besar, adakalanya disertai oleh batuan dan pepohonan, dalam waktu yang singkat, sedangkan erosi tanah adalah memindahkan partikel-partikel tanah dengan volume yang lebih kecil pada setiap kali kejadian dan berlangsung dalam waktu yang lama.

Dibandingkan dengan erosi, kejadian longsor sering memberikan dampak yang bersifat langsung dalam waktu yang singkat dan menjadi bencana. Hal ini dikarenakan proses pelepasan, pengangkutan dan pergerakannya berlangsung dalam waktu yang cepat dengan material yang jauh lebih besar atau lebih banyak jika dibandingkan dengan kejadian erosi. Oleh karena itu pengetahuan, pengenalan dan identifikasi area-area yang berpotensi longsor menjadi sangat penting.

Upaya-upaya antisipasi kejadian longsor dapat dimulai dengan melakukan identifikasi daerah rawan longsor, melakukan pemetaan daerah-daerah rawan longsor, menyusun rencana tindak penanggulangan longsor dan implementasinya di daerah-daerah rawan longsor. Penanggulangan longsor pada

dasarnya adalah pengendalian tata ruang dan penggunaan lahan serta penguatan tebing pada kawasan-kawasan yang rentan terhadap bahaya longsor.

Menurut Suripin (2002) longsor adalah merupakan bentuk erosi dimana panjang kutan atau gerakan massa tanah terjadi pada suatu saat dan volume yang relatif besar. Ditinjau dari segi gerakannya, maka selain erosi longsor massa ada berapa erosi akibat gerakan massa tanah rayapan (*creep*), runtuh batuan (*Rock fall*), aliran lumpur (*mud flow*). Massa yang bergerak merupakan massa yang besar maka sering kejadian longsor akan membawa korban berupa kerusakan lingkungan yaitu lahan pertanian, pemukiman dan infrastruktur, serta hilangnya nyawa manusia. Proses terjadinya gerakan tanah melibatkan interaksi yang kompleks antara aspek geologi, geomorfologi, hidrologi, curah hujan, dan tata guna lahan.

Menurut Zuidam (1983) longsor merupakan indikator umum semua proses dimana masa dari material bumi bergerak oleh gravitasi baik lambat atau cepat dari suatu tempat ke tempat lain. Proses gerakan tanah dipengaruhi oleh faktor/parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng, ketebalan lapisan tanah, dan stratigrafi (geologi). Data-data dari setiap parameter tersebut dilakukan suatu analisis dan diberikan pengkelasan sesuai dengan kepekaan untuk terjadinya gerakan tanah.

Menurut Karnawati (2001) longsor dapat di defenisikan sebagai suatu gerakan menuruni lereng massa tanah atau batuan penyusun lereng, akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Longsor merupakan pergerakan masa tanah atau batuan menuruni lereng mengikuti gaya gravitasi akibat terganggunya kestabilan lereng. Apabila masa yang bergerak pada lereng ini di dominasi oleh tanah dan gerakannya melalui suatu bidang pada lereng, baik berupa bidang miring maupun lengkung, maka proses pergerakan tersebut disebut longsor tanah.

Jadi gerakan tanah atau longsor adalah suatu kosekuensi fenomena dinamis alam untuk mencapai kondisi baru akibat gangguan keseimbangan lereng yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat ulah manusia. Gerakan tanah akan terjadi pada suatu lereng, jika ada keadaan-keadaan keseimbangan yang menyebabkan terjadinya suatu proses mekanis, mengakibatkan sebagian dari

lereng tersebut bergerak mengikuti gaya gravitasi, dan selanjutnya setelah terjadi longsor lereng akan seimbang atau stabil kembali.

5.2 Faktor-faktor Penyebab Longsoran

Hardiyatmo (2006) mengemukakan sebab-sebab terjadinya longsoran adalah:

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban pada lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenangi di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan. Banyak kejadian longsoran diakibatkan atau dipicu oleh penggalian lereng untuk jalan raya, perumahan, praktek pertanian dan galian-galian pertambangan. (Anup, Gurung *et al*, 2013) mengemukakan bahwa kejadian bencana alam khususnya banjir dan tanah longsor lebih disebabkan oleh praktek pertanian yang kurang tepat, pembangunan perumahan dan gaya hidup. Longsoran dalam tanah lempung cair sering dipicu erosi tanah oleh aliran air di bagian kaki lereng. Pada kondisi tertentu, penggalian tanah berakibat longsornya lereng galian. Longsoran tersebut disebabkan oleh pekerjaan galian yang mengurangi tekanan sehingga tanah atau batuan mengembang dan kuat gesernya turun (Hardiyatmo, 2006).
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng. Penggalian atau pemotongan pada kaki lereng biasanya dilakukan jika akan dibangun pelebaran jalan. Kondisi ini banyak terjadi di DAS Alo Provinsi Gorontalo. Kejadian ini terlihat dari banyaknya titik longsoran pada tebing-tebing di pinggiran jalan dari hasil pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat pada bendungan, sungai, dan lain-lain. Perubahan posisi muka air dengan cepat terjadi pada musim pengalihan. Hal ini dapat menyebabkan longsoran pada tebing sungai.
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah kearah lateral)
6. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan

rembesan oleh genangan air dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

7. Getaran atau gempa bumi.

Tun Lee (2006) mengemukakan bahwa Chi Chi gempa yang berkekuatan 7,3 skala Richter di Taiwan mengakibatkan terjadinya longsor pada area yang sangat luas dan membentuk danau yang sangat besar dengan kemampuan menampung air 40 juta m³. (Sudmeler -Rieux *et al*, 2011) menemukan bahwa gempa bumi di Pakistan Tahun 2005 memicu terjadinya longsoran terutama pada saat hujan lebat.

Panizza (1996) mengemukakan bahwa penyebab terjadinya longsoran dapat bersumber dari faktor eksternal dan faktor internal. Faktor internal berupa ketidakmampuan lereng dalam menampung beban tanpa intervensi dari luar, sehingga mengakibatkan penurunan tahanan geser. Faktor eksternal adalah peningkatan tahanan geser akibat modifikasi lereng.

Suratman (2002) mengemukakan bahwa sebaran longsoran bervariasi tipe dan intensitasnya tergantung pada faktor kemiringan lereng, tebal lapukan, kemiringan perlapisan batuan, solum tanah, penggunaan lahan, kepadatan aliran dan intensitas hujan. Longsoran tipe jatuhan, longsoran dan aliran debris tanah dominan dijumpai pada zona *erogully-slide* aktif yang terdapat pada Pegunungan Struktural-Denudasional Latosol Oksik dan Lereng Bukit Koluvial Mediteran Kromik. Kemiringan lereng dan curah hujan merupakan faktor dominan yang mempengaruhi perkembangan erosi parit tipe *digitate* yang berasosiasi dengan longsoran.

Longsoran dan erosi merupakan satu kejadian yang tidak dapat dipandang secara terpisah. Perkembangan erosi mulai dari erosi lembar, erosi alur, erosi parit akan dapat mengakibatkan terjadinya longsoran. Lihawa (2010) dalam hasil penelitian di DAS Alo-Pohu menemukan bahwa tingkat perkembangan erosi yang paling cepat terjadi pada lahan kritis dan lereng-lereng agak terjal hingga curam. Tingkat erosi tinggi terjadi pada lahan-lahan pertanian jagung dengan kemiringan lereng besar 15%. Asdak (2006) yaitu aliran permukaan dan erosi permukaan meningkat dengan adanya pengurangan tanaman pada masing-masing plot

percobaan. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur tanaman penutup lahan merupakan faktor penting yang mempengaruhi besarnya erosi permukaan

Summerfield (1991) mengemukakan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kejadian longsoran ditunjukkan pada Tabel 26.

Tabel 26. Faktor-faktor yang Berkontribusi Terhadap Kejadian Longsoran

Faktor	Contoh
Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan tegangan geser	
Pemotong lereng bagian bawah	Erosi oleh aliran sungai dan es, gerakan gelombang, keretakan, batu yang jatuh atau menggelinding
Pengikisan material di bagian dasar	Pengikisan bagian bawah oleh air sungai atau gelombang, pelapukan bagian bawah permukaan, pengurangan kekuatan lereng bawah akibat ekstrusi sedimen dasar.
Beban kemiringan lereng	Beban oleh air, vegetasi, dan akumulasi aliran
Tekanan lateral	Air pada celah batuan/tanah, pembetulan pada pori
Tegangan transien	Gempa bumi, gerakan pohon oleh kekuatan angin
Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penurunan tegangan geser	
Faktor iklim	Pelapukan batuan
Perubahan tekanan air dalam pori	Saturasi, pelunakan bahan
Perubahan struktur	Terbentuknya retakan
Bahan organik	Pembusukan akar tanaman, bangkai hewan

Sumber: Summerfield, 1991.

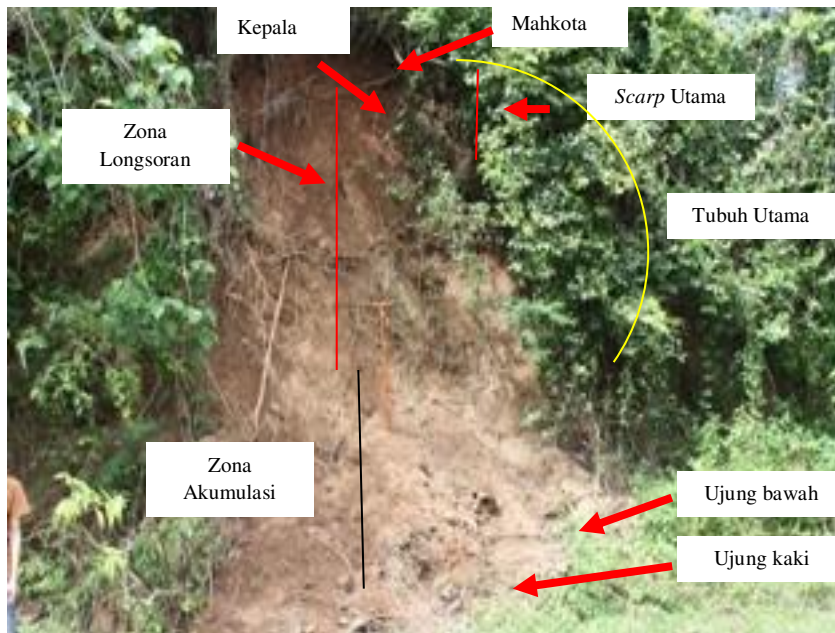
5.3 Faktor Pengontrol Longsoran

Secara umum faktor pengontrol terjadinya longsor pada suatu lereng di kelompokkan menjadi faktor internal dan eksternal. Faktor enternal terdiri dari kondisi geologi, batuan dan tanah penyusun lereng, kemiringan lereng (geomorfologi lereng), hidrologi dan struktur geologi. Sedangkan faktor eksternal yang disebut juga sebagai faktor pemicu yaitu curah hujan, vegetasi penutup, penggunaan lahan pada lereng, dan getaran gempa.

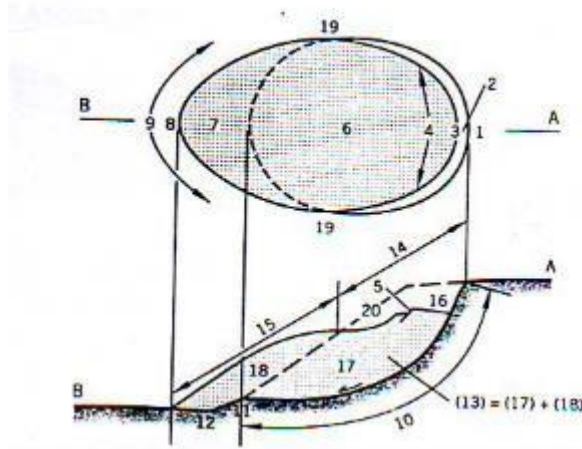
Potensi terjadinya gerakan tanah pada lereng tergantung pada kondisi tanah dan batuan penyusunnya, dimana salah satu proses

geologi yang menjadi penyebab utama terjadinya gerakan tanah adalah pelapukan batuan. Proses pelapukan batuan yang sangat intensif banyak dijumpai dengan negara yang memiliki iklim tropis seperti Indonesia. Tingginya curah hujan dan penyiraman matahari menjadikan tinggi pula proses pelapukan batuan, batuan yang banyak mengalami pelapukan akan menyebabkan berkurangnya kekuatan batuan yang pada akhirnya membentuk lapisan batuan lemah dan tanah residu yang tebal. Apabila hal ini terjadi pada daerah lereng, maka lereng akan menjadi kritis. Faktor geologi lainnya yang menjadi pemicu terjadinya gerakan tanah adalah aktivitas tektonik dan vulkanik, faktor geologi ini dapat di analisis melalui variabel tekstur tanah, dan jenis batuan. Tekstur tanah dan jenis batuan merupakan salah satu penyebab terjadinya gerakan tanah yang diukur berdasarkan sifat tanah dan kondisi fisik batuan (Hardiyatmo, 2006; Suratman, 2002; Lihawa, 2010).

Gambaran tentang penampang suatu longsoran ditunjukkan pada Gambar 32 berikut.



Gambar 30. Penampang Longsoran Alami



Gambar 31. Sketsa Penampang Longsoran
(UNESCO Working Party, 1993 dimodifikasi oleh Cornforth, 2005)

Keterangan :

1. Mahkota (*Crown*) adalah lokasi bagian atas dari suatu longsoran yang terletak di atas *scarp* utama (*main scarp*).
2. *Scarp* Utama (*Main Scarp*) adalah permukaan miring tajam pada zona tanah yang tidak terganggu oleh longsoran yang terletak di ujung atas longsoran.
3. Puncak (*Top*) adalah titik tertinggi pada bagian kontak antara material yang tidak bergerak dengan *scarp* utama.
4. Kepala (*Head*) adalah bagian atas longsoran diantara material yang bergerak dengan *scarp* utama.
5. *Minor scarp* adalah permukaan miring yang tajam pada material yang bergerak yang terbentuk oleh perbedaan gerakan.
6. Tubuh utama (*main body*) adalah bagian dari material yang bergerak yang menutupi permukaan bidang longsor.
7. Kaki (*foot*) adalah bagian longsoran yang bergerak melewati kaki lereng.
8. Ujung bawah (*Tip*) adalah titik pada bagian kaki longsoran yang letaknya paling jauh dari puncak longsoran.

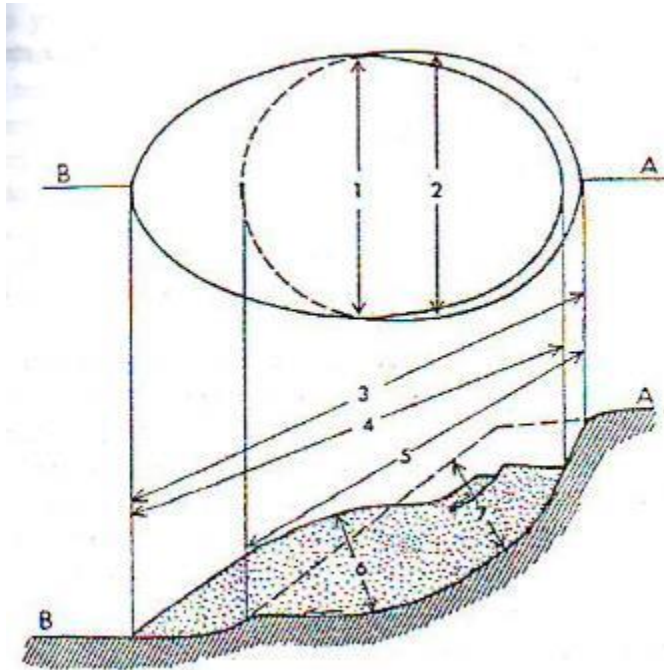
9. Ujung kaki (*Toe*) adalah batas bagian terbawah dari material yang bergerak.
10. Bidang longsor (*surface of rupture*) adalah permukaan bidang longsor yang merupakan bagian terbawah dari material yang bergerak atau batas dari permukaan yang bergerak dan diam.
11. Ujung kaki bidang longsor (*toe of surface rupture*) perpotongan antara bagian terbawah dari bidang longsor dan permukaan tanah asli.
12. Permukaan pemisah (*surface of separation*) adalah permukaan tanah asli yang sekarang tertutup kaki longsor.
13. Material longsor (*dispalced material*) adalah material yang berpindah dari tempat asalnya oleh gerakan.
14. Zona Longsor (*depletion zona*) adalah area yang turun oleh akibat material yang berpindah, dimana kedudukannya menjadi di bawah permukaan tanah asli.
15. Zona akumulasi (*zona of accumulation*) adalah area yang menjadi tempat menumpuknya material longsor di atas tanah asli.
16. *Depletion* adalah tanah yang dibatasi oleh *scarp* utama, zona longsor dan permukaan tanah asli.
17. Massa ambles (*depleted mass*) adalah volume dari massa yang berpindah yang menutup bidang longsor, dan berada di bawah permukaan tanah asli.
18. Tumpukan material (*accumulation*) adalah volume massa yang berpindah, yang menumpuk di atas tanah asli.
19. Sisi luar (*flank*) adalah zona yang berdekatan dengan sisi luar bidang longsor.
20. Permukaan tanah asli (*original ground surface*) permukaan dari lereng sebelum longsor terjadi.

Beberapa definisi yang digunakan dalam longsor yaitu :

- a. Panjang adalah jarak horisontal dari kepala sampai ke ujung kaki (lereng atas sampai lereng bawah). Jarak horisontal untuk panjang lereng adalah pilihan sebab ada beberapa metode cepat untuk menentukan ukuran dari garis rencana.
- b. Lebar adalah lebar dimensi terbesar pada lereng.
- c. Kedalaman biasanya menjelaskan sampai dengan kedalaman maksimum dibawah permukaan tanah asli.

- d. *Slope* adalah rata-rata derajat kemiringan lereng atau gradien dari horisontal : vertikal.

Sedangkan komisi longsoran IAEG (*International Association of Engineering Geologist*) dalam Hardiyatmo (2006) mengusulkan standar dimensi longsoran seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 34



Gambar 32. Standar Dimensi Longsor

Keterangan:

1. Lebar massa berpindah (W_d) (*Width of displaced massa*) adalah lebar maksimum dari massa yang berpindah, tegak lurus panjangnya (L_d).
2. Lebar bidang longsor (W_r) (*width of rupture surface*) adalah lebar maksimum dari sisi ke sisi luar bidang longsor, tegak lurus panjangnya (L_r).
3. Panjang total (L) (*total length*) adalah jarak minimum dari ujung bawah longsor ke mahkotanya.
4. Panjang massa berpindah (L_d) (*length of displaced mass*) adalah jarak minimum dari ujung kaki bawah ke puncak longsor.
5. Panjang bidang longsor (L_r) (*length of rupture surface*) adalah jarak minimum dari ujung kaki bidang longsor ke mahkota.
6. Kedalaman massa berpindah (D_d) (*depth of the displaced mass*) adalah kedalaman maksimum dari massa yang berpindah, diukur tegak lurus bidang yang berisi W_d dan L_d .
7. Kedalaman bidang longsor (D_r) (*depth of rupture surface*) adalah kedalaman maksimum bidang longsor di bawah permukaan tanah asli, diukur tegak lurus bidang yang berisi W_r dan L_r .

5.4 Jenis-jenis dan Tipe Longsor

Kriteria utama yang digunakan untuk mengidentifikasi tipe longsor adalah jenis gerakan longsor, sedangkan pembagian berikutnya adalah berdasarkan bahan material longsor. Aktivitas dan tipe-tipe gerakan massa tanah atau batuan dipengaruhi oleh faktor topografi, litologi, stratigrafi, struktur geologi, iklim, organik dan aktivitas manusia.

Secara umum longsor dikelompokkan menjadi 5 tipe longsor yaitu:

1. Jatuhan (*falls*)

Jatuhan adalah gerak jatuh material pembentuk lereng (tanah dan batuan) yang berasal dari lereng curam seperti bukit. Tipe ini memiliki asal kata “jatuh”, yang membedakan dengan tipe

lain adalah keadaan dimana material jatuh bebas dari lereng mengalami tumbukan berulang dengan lereng yang berada dibawahnya dengan kecepatan tinggi. Dengan kata lain bahwa jatuhnya terjadi tanpa adanya bidang longsor dan seringkali terjadi pada lereng-lereng sangat curam, seperti ditunjukkan pada Gambar 33.

Diantara tipe jatuhnya ini adalah dimana bukit curam tersusun oleh batuan bersipat getas yang mengalami erosi gelombang laut pada bagian bawahnya yang menyebabkan terjadinya jatuhnya. Perhatikan retakan pada permukaan atasnya yang merupakan gejala sebelum terjadi jatuhnya. Jatuhnya yang gerakannya sangat cepat secara bebas, meloncat dan menggelinding. Materi yang bergerak pada umumnya adalah batuan, fragmen dan bongkahan tanah.

2. Robohan (*topples*)

Robohan adalah gerakan material roboh dan akan terjadi pada lereng yang cenderung tegak lurus. Rubuhan adalah gerak rotasi ke depan dari massa batuan, runtuh atau tanah dengan sumbu yang berhimpit pada lereng bukit. Robohan merupakan gabungan dari gerak jatuhnya dengan gelinciran tetapi bergerak tanpa adanya tumbukan.

Gerakan ini terjadi akibat tekanan interaksi antar blok kolom. Blok-blok tersebut terjadi akibat adanya bidang perlapisan ireguler, belahan, kekar atau retakan tension dengan arah jurus relatif sejajar dengan arah jurus lereng. Rubuhan mungkin hanya terdiri dari satu fragmen dengan volume 1 m^3 hingga 109 m^3 . Perubahan umumnya terjadi di batuan schist dan gamping tetapi juga terdapat pada batuan sedimen tipis dan juga batuan beku dengan kekar kolom. Retakan pada batu gamping yang sejajar dengan jurus kemiringan lereng menyebabkan terjadinya robohan ini.

3. Longsoran Gelinciran

Longsoran gelinciran merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia dan intensif terjadi pada musim penghujan. Longsoran gelinciran ini dikenali dengan adanya retakan di permukaan.

Pergerakan ini dikenali dengan bentuk permukaan berupa lingkaran atau bentuk sendok. Setelah terjadi kerusakan massa dengan adanya gawir longsoran di permukaan pada bagian mahkota longsoran, longsoran gelincir ini mulai bergerak dan akan membagi dalam beberapa blok yang terpisahkan oleh retakan . Pada daerah kepala blok ini akan menggelincir ke bawah dan membentuk daerah datar. Bagian paling bawah akan bergerak muncul ke atas membentuk lidah di permukaan.

Gelinciran ini dapat terjadi dengan kecepatan beberapa centimeter per tahun hingga beberapa meter per bulan bahkan dapat terjadi tiga meter dalam satu detik. Rayapan tanah merupakan indicator adanya pergerakan longsoran gelinciran yang ditunjukkan dengan keadaan vegetasi yang membengkok. Daerah seperti ini semestinya tidak diperuntukkan sebagai kawasan pemukiman penduduk.

4. Sebaran Lateral

Sebaran lateral adalah perluasan lateral dari batuan kohesif atau masa tanah akibat deformasi massa yang dikontrol bagian dasar yang bersifat plastis. Sebaran ini adalah hasil dari deformasi plastis yang dalam massa batuan yang menyebabkan perluasan di permukaan. Gerakan ini disebabkan oleh tekanan gravitasi. Berbeda antara batuan dan tanah adalah dampak dan periode waktu. Umumnya morfologi sebaran lateral ini dicirikan dengan adanya pari-parit yang memisahkan massa batuan tersebut.

5. Aliran

Aliran dalam gerakan permukaan adalah berpindahnya partikel yang bergerak dalam pergerakan massa. Material tersebut mungkin merupakan batuan dengan retakan yang banyak dan menghasilkan runtunan yang tertanam dalam matrik atau materi yang berukuran halus. Longsoran ini terjadi pada tanah atau pasir yang memiliki kandungan air yang besar. Longsoran ini terjadi terus-menerus seperti air yang mengalir dalam jumlah besar dengan densitas cairan yang besar pula. Densitas yang tinggi inilah yang sangat berbahaya, karena dapat mengapungkan batu-batu besar dan tentunya bangunan beton

yang dilewatinya. Aliran lahar merupakan contoh pada tipe ini. Longsoran ini jarang terjadi, tetapi jika terjadi hal ini akan sangat merusakkan.

Klasifikasi dan karakteristik tipe longsoran ditunjukkan pada Tabel 27.

Tabel 27. Klasifikasi dan karakteristik Tipe longsoran

Mekanisme Utama		Tipe Gerakan Massa	Material yang berpindah	Kadar Air	Jenis regangan dan Sifat Gerakan	Laju Pergerakan
Sebaran Lateral	Creep (Rayapan)	Rock Creep	Batuan (khususnya hasil deformasi seperti remah dan liat)	Rendah	Deformasi batuan yang lambat, atau tanah yang menghasilkan sinkapan pada lereng	Sangat Lambat sampai sangat-sangat Lambat
		Continuous Creep	Tanah	Rendah		
	Aliran (Flow)	Dry Flow	Pasir atau tanah	Sangat Rendah	Material yang dialirkan menuruni lereng curam adalah sedimen non kohesif	Cepat hingga sangat cepat
		Solifluction	Tanah	Tinggi	Aliran tanah yang melebar pada lereng tengah sampai lereng bawah	Sangat lambat hingga sangat-sangat lambat
		Gelifluction	Tanah	Tinggi	Aliran tanah yang melebar pada saat tanah lapisan atas melewati batas jenuh	Sangat lambat hingga sangat-sangat lambat
		Semburan lumpur (Mud Flow)	>80% liat	Sangat-sangat Tinggi	Aliran terbatas memanjang	Lambat
		Slow Earthflow	>80% pasir	Lambat	Aliran terbatas memanjang	Lambat
		Rapid earthflow	Tanah liat yang sensitif	Sangat tinggi	Runtuhnya cepat dan tanah menyebar lateral, sering terjadi pada bidang geser awal	Sangat cepat
		Debris Flow	Campuran dari material longsoran	Tinggi	Aliran biasanya terfokus pada alur-alur drainase	Sangat Cepat

Mekanisme Utama		Tipe Gerakan Massa	Material yang berpindah	Kadar Air	Jenis regangan dan Sifat Gerakan	Laju Pergerakan
Longsor (Slide)			yang halus dan kasar (20 – 80%) partikel yang kasar dibanding pasir.			
		Debris (Rock) Longsor batuan	Debris batuan, dalam beberapa kasus dengan es dan salju	Rendah	Bencana longsor hingga beberapa kilometer, biasanya dipicu oleh jatuhnya batu besar dan mampu mengesampingkan bentuk lereng.	Sangat-sangat cepat
		Longsor salju	Salju dan es, dalam beberapa kasus debris batuan	Rendah	Bencana gesekan rendah yang dipicu oleh jatuhnya atau longsor	Sangat-sangat
		Longsor Lumpur	Air – salju jenuh	Sangat-sangat tinggi	Aliran disepanjang alur drainase	Sangat cepat
	Translasiional	Longsor batu (<i>Rock Slide</i>)	Massa batuan yang tidak retak	Rendah	Longsor dangkal dari batuan kira-kira sejajar dengan permukaan tanah	Sangat lambat sampai sangat-sangat cepat
		Longsor Blok Batuan (<i>Rock Block Slide</i>)	Batuan retak	Rendah	Longsor batuan yang retak kira-kira sejajar dengan permukaan tanah	Sedang
		Debris/Earth Slide	Debris batuan atau tanah	Rendah sampai sedang	Longsor dangkal dari deformasi massa tanah	Sangat lambat sampai cepat
		Debris/Earth Block Slide	Debris batuan atau tanah	Rendah sampai sedang	Longsor dangkal dari massa tanah yang utuh	Lambat
		Rotasiional	Rock slump	Batuan	Rendah	Perpindahan rotasiional disepanjang permukaan lereng cembung
	Debris/earth slump		Debris batuan atau tanah	Sedang	Perpindahan rotasiional disepanjang permukaan lereng cembung	Lambat
Bergelombang	Soil Creep	Tanah	Rendah	Penyebaran tanah atau partikel	Sungguh sangat lambat	
	Talus creep	Reruntuhan	Rendah			

Mekanisme Utama	Tipe Gerakan Massa	Material yang berpindah	Kadar Air	Jenis regangan dan Sifat Gerakan	Laju Pergerakan	
		batuan (<i>Rock debris</i>)		batuan pada bagian bawah lereng		
Komponen vertikal yang dominan	Jatuhan	Rock fall	Blok batuan yang terlepas	Rendah	Individual blok yang terjatuh dari permukaan vertikal	Sungguh Sangat Cepat
		Debris/Earth fall	Satu unit tanah yang terlepas	Rendah	Jatuhan dari suatu unit tanah dari permukaan vertikal seperti pada tebing sungai	Sangat cepat
	Subsiden/penurunan	Cavity Collapse	Batu atau tanah	Rendah	Runtuhan batuan atau tanah dalam rongga bawah seperti batu gamping atau tabung lava	Sangat cepat
		Pemukiman	Tanah	Rendah	Penurunan permukaan akibat pemadatan atau penggunaan air tanah oleh pemukiman	Lambat

Sumber: Varnes (1978) dalam Summerfield (1991)

Penetapan klasifikasi longsor dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran morfometri longsor untuk menentukan indeks klasifikasi. Rumus indeks klasifikasi adalah:

$$\text{Indeks Klasifikasi} = \frac{D}{L} \times 100\%$$

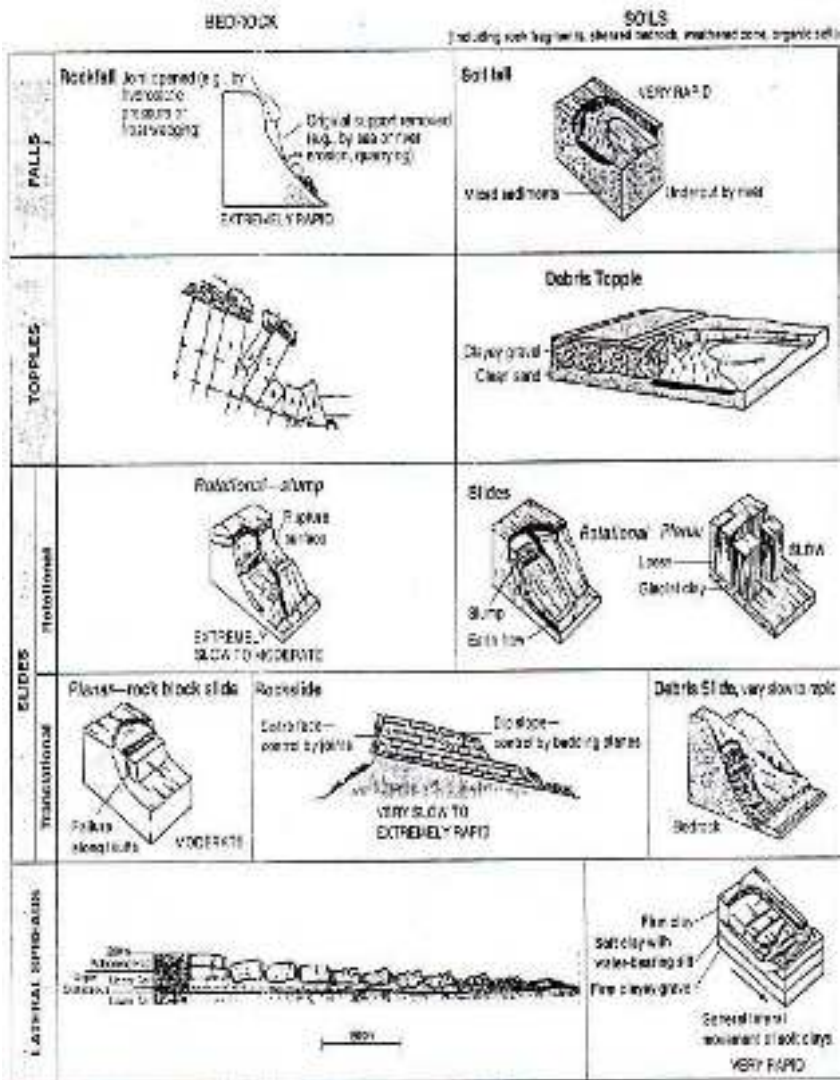
(8)

Keterangan:

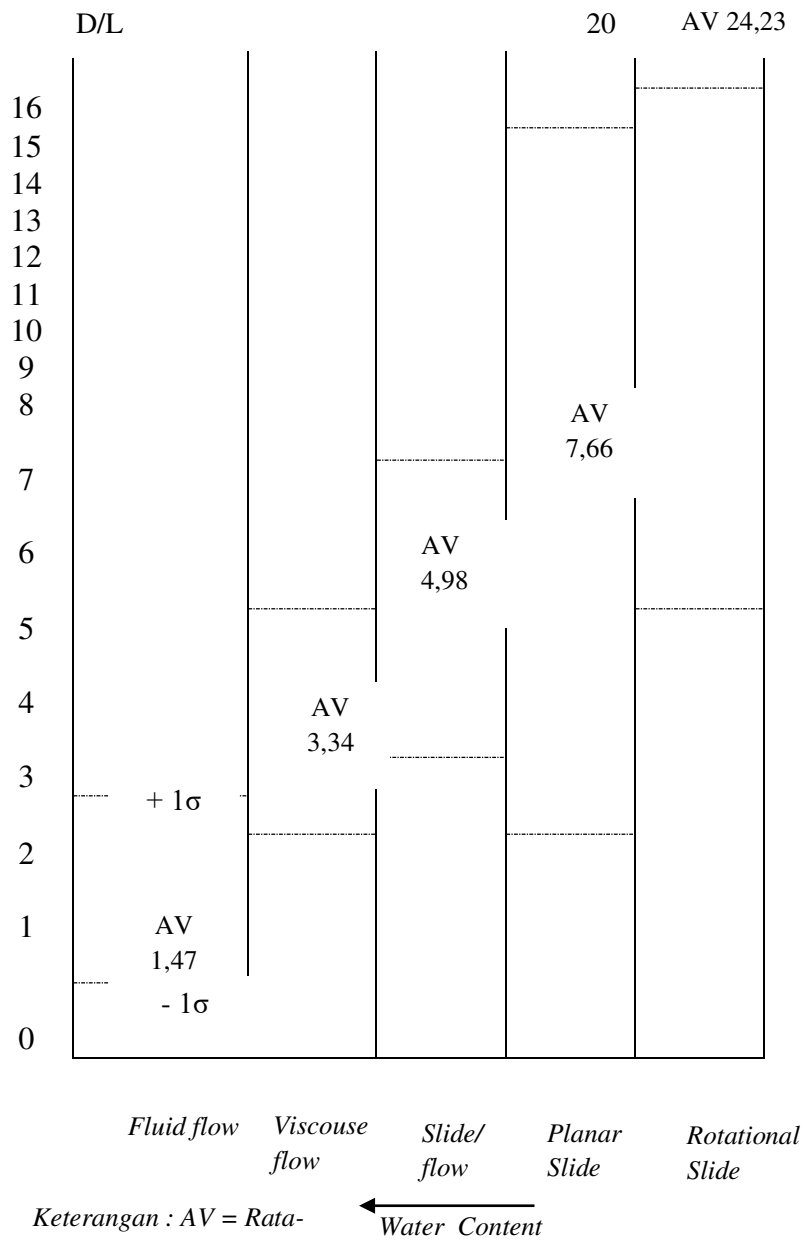
D = kedalaman longsor (m)

L = panjang longsor (m)

Selanjutnya hasil perhitungan indeks klasifikasi di bandingkan dengan matriks klasifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar



Gambar 33. Klasifikasi dan Karakteristik Gerakan Massa
(Sumber: Varnes, 1978 dalam Summerfield, 1991)



Gambar 34. Klasifikasi Longsoran
(Sumber: Worosuprodjo, 2002)

5.5 Upaya-upaya Pencegahan Terjadinya Longsoran

Dalam rangka pencegahan bencana longsor, upaya-upaya yang harus mendapat perhatian dalam tahap pengendalian pemanfaatan ruang adalah sebagai berikut:

- a. Penetapan dan penerapan peraturan zona (*zoning regulation*)
 - Sebagaimana telah disampaikan peraturan zona adalah ketentuan yang memuat hal-hal yang boleh dan tidak boleh dilakukan oleh pemanfaatan ruang pada setiap peruntukan (guna lahan) yang telah ditetapkan dalam rencana tata ruang. Untuk kawasan rawan bencana longsor, peraturan zonasi hendaknya memuat berbagai ketentuan yang dimaksudkan untuk mengurangi potensi kejadian longsor yang juga merupakan pedoman dalam mewujudkan baku mutu lingkungan. Beberapa ketentuan yang hendaknya diatur dalam peraturan zona antara lain adalah:
 - Koefisien Dasar Bangunan (KDB) yang rendah sehingga dapat diwujudkan ruang terbuka hijau yang memadai;
- b. Kewajiban untuk mengembangkan vegetasi dengan perakaran yang kuat dan tajuk yang rimbun sebagai kontrol terhadap faktor-faktor penyebab bencana longsor;
- c. Kewajiban untuk mengembangkan sistem drainase untuk mengurangi tingkat kejenuhan air dalam tanah;
- d. Kewajiban untuk membangun struktur (bangunan) yang berfungsi untuk menahan gerakan tanah (*retaining wall*).
- e. Kewajiban untuk mengembangkan piranti pemantauan gerakan tanah.
- f. Penerbitan izin pemanfaatan ruang secara selektif
Mekanisme perizinan pada kawasan rawan bencana longsor harus dilaksanakan secara hati-hati, mengingat tidak semua kegiatan pemanfaatan ruang dapat dikembangkan di kawasan rawan bencana longsor. Sementara itu, kegiatan yang dimungkinkan untuk dikembangkan pun harus dikelola

dengan pola pengelolaan yang tepat agar tidak meningkatkan potensi bencana longsor.

- g. Pengenaan sanksi secara tegas dan konsisten terhadap pelanggaran pemanfaatan *ruang*.
- Pelanggaran pemanfaatan ruang pada umumnya terjadi dalam intensitas yang rendah, dalam arti hanya dilakukan oleh satu orang dan mencakup luasan yang sempit. Sekilas, pelanggaran ini tidak berdampak terhadap lingkungan sehingga sebagian pihak menganggap tidak perlu dilakukan penertiban. Namun harus disadari, tidak adanya tindakan pengenaan sanksi akan menjadi preseden dan memicu terjadinya pelanggaran serupa.
 - Untuk kawasan rawan bencana longsor, ketidak-tegasaan dan inkonsistensi pengenaan sanksi akan semakin meningkatkan potensi kejadian bencana longsor. Oleh karena itu, pemerintah selaku pihak yang berwenang untuk melakukan penertiban dalam rangka pengendalian pemanfaatan ruang harus dapat bersikap lebih tegas dan tidak memberikan toleransi kepada pihak-pihak yang secara nyata telah melanggar ketentuan pemanfaatan ruang yang telah ditetapkan.
 - Penerapan mekanisme insentif dan disinsentif untuk meningkatkan perlindungan terhadap kawasan rawan bencana longsor.
 - Mekanisme insentif dan disinsentif dimaksudkan untuk mendorong pemanfaatan ruang agar sesuai dengan rencana tata ruang dan untuk mengurangi atau mencegah timbulnya pemanfaatan ruang yang tidak sesuai dengan rencana tata ruang. Mekanisme ini dipandang sangat relevan untuk diterapkan untuk meningkatkan perlindungan terhadap kawasan rawan bencana longsor, misalnya:
 - pembatasan pengembangan prasarana dan sarana umum di kawasan rawan bencana longsor;

- pengenaan pajak yang tinggi terhadap kegiatan yang dikembangkan di kawasan rawan bencana longsor;
- pengenaan kewajiban kepada pemanfaat ruang di kawasan rawan bencana longsor untuk terlebih dahulu meningkatkan kontrol terhadap faktor penyebab longsor (penghijauan, pembangunan *retaining wall*, dsb.) dalam cakupan yang lebih luas daripada lahan yang dikuasai.

5.6 Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

Deskripsi tipe dan karakteristik longsoran yang terjadi di DAS Alo diperoleh melalui pengamatan dan pengukuran langsung pada kejadian longsoran aktual yang terjadi selama selang waktu Tahun 2013. Pengamatan dilakukan terhadap tipe longsoran, jenis batuan, tanah dan kondisi hidrologi di lokasi penelitian. Pengukuran morfometri longsoran berupa parameter indeks penipisan, indeks klasifikasi, indeks pelebaran, indeks perpindahan dan indeks aliran.

Pengukuran morfometri longsoran sebanyak 15 (lima belas) sampel kejadian longsoran yang ditemukan di DAS Alo. Hasil pengukuran morfometri longsoran dan karakteristik morfologi longsoran ditunjukkan pada Tabel 28. Tipologi longsoran yang terjadi di setiap titik kejadian longsoran diidentifikasi melalui pengukuran langsung di lapangan. Melalui pengukuran morfometri longsoran pada setiap satuan medan dapat diketahui tipologi longsoran secara keruangan. Identifikasi tipe longsoran dapat diketahui dengan menggunakan parameter indeks klasifikasi. Hasil pengukuran data di lapangan di plot dengan menggunakan diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 37.

Tabel 28. Analisis Morfometri Longsoran di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo

No	Lokasi	Morfometri Longsoran							Morfometri Longsoran				
		D	L	Lm	Lr	Lc	Wc	Wx	Indeks Klasifikasi (D/L x 100%)	Indeks Penipisan Lm/Lc	Indeks Pelebaran Wx/Wc	Indeks Perpindahan Lr/Lc	Indeks Aliran (Wx/Wc-1)(Lm/Lc) x 100%
1	Desa Alo N: 00 ⁰ 41,13' E: 122 ⁰ 51,43'	1,33	6,4	1,9	4,5	0,9	7,2	8,4	20,78	2,11	0,33	5,00	35,19 %
2	Desa Buhu N: 00 ⁰ 43,363' E: 122 ⁰ 50,835'	1,38	10	7,7	2,3	2,3	4,52	6,96	13,80	3,35	1,54	1,0	180,72 %
3	Desa Labanu N: 00 ⁰ 44,79' E: 122 ⁰ 51,026'	0,46	3,3	2,5	0,8	2,5	2,63	4,92	13,94	1,0	1,87	0,32	87,07 %
4	Desa Toyidito N: 00 ⁰ 41,74' E: 122 ⁰ 49,68'	1,78	42,3	35,3	7,0	2,30	37,86	43	4,21	1,53	1,14	0,30	20,84 %
5	Desa Molalahu N: 00 ⁰ 40,062' E: 122 ⁰ 49,637'	0,47	12,3	10,16	2,1	1,48	3,35	5,76	3,83	0,69	1,72	0,14	49,39 %
6	Desa Molalahu N: 00 ⁰ 40,439' E: 122 ⁰ 49,308'	0,68	5,24	3,6	1,64	3,0	5,6	6,2	12,98	1,20	1,11	0,55	12,86 %
7	Desa Isimu Utara N: 00 ⁰	3,2	10,85	6,86	3,99	7,42	9,5	16,8	29,49	0,92	1,77	0,54	71,04 %

No	Lokasi	Morfometri Longsoran							Morfometri Longsoran				
		D	L	Lm	Lr	Lc	Wc	Wx	Indeks Klasifikasi (D/L x 100%)	Indeks Penipisan Lm/Lc	Indeks Pelebaran Wx/Wc	Indeks Perpendahan Lr/Lc	Indeks Aliran (Wx/Wc-1)(Lm/Lc) x 100%
	39,663' E: 122° 52,586'												
8	Desa Isimu Utara N: 00° 40' 3,3" E: 122° 52' 40,4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rock/jatuhan
9	Desa Isimu Utara N: 0°41'25, 169' E: 122°53' 33,404"	8	43	36	7	20	36,7	48,6	18,6	1,8	1,32	0,35	58,37%
10	Desa Isimu Utara N: 0° 41' 21,4" E: 122°53' 42,1"	2,5	29,50	21,2	8,3	22,5	12,44	19,34	8,47	0,94	1,55	0,37	52,26%
11	Desa Isimu Utara N: 0°41'17, 949" E: 122°53' 40,624"	4,0	8,0	6,0	2,0	2,0	6,0	7,0	50,00	3,0	1,17	1,0	50%
12	Desa Iloponu N: 0° 42,189' E: 122° 51,213'	0,8	4,6	3,2	1,4	3,3	2,5	3,3	17,39	0,97	1,32	0,42	31,03%
13	Desa Iloponu N: 0° 42,069' E: 122°	1,2	5,4	8,2	2,8	4,3	3,1	3,7	22,22	1,91	1,19	0,65	36,91%

No	Lokasi	Morfometri Longsoran						Morfometri Longsoran					
		D	L	Lm	Lr	Lc	Wc	Wx	Indeks Klasifikasi (D/L x 100%)	Indeks Penipisan Lm/Lc	Indeks Pelebaran Wx/Wc	Indeks Perpindahan Lr/Lc	Indeks Aliran (Wx/Wc-1)(Lm/Lc) x 100%
	51,090''												
14	Desa Molamahu N: 0°40,850' E: 122°47,681'	1,3	6,0	3,7	1,8	4,2	4,6	3,3	21,67	0,88	1,15	0,55	13,41%
15	Desa Toyidito N: 0°41,695' E: 122°49,644'	2,17	14,8	9,8	3,3	1,15	21,0	8,5	14,66	0,85	1,11	0,29	9,33

Sumber: Hasil Pengukuran.

Deskripsi tipe longsoran pada tiap-tiap titik pengamatan kejadian longsoran adalah sebagai berikut:

1. Longsoran di Desa Alo Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsoran pada lokasi Sampel 1 adalah 20,78%. Tipe longsoran lahan adalah longsoran tanah secara rotasi (*rotational slide*). Indeks penipisan yang terjadi pada lokasi 1 sebesar 2,11. Indeks pelebaran 0,33, indeks perpindahan 5,0 dan indeks aliran adalah 35,19%. Hal analisis ini menunjukkan bahwa material longsor tidak menyebar secara melebar di bawah lereng. Kenampakan longsoran di lokasi Sampel 1 ditunjukkan pada Gambar 37.



Gambar 35. Kenampakan Longsoran di Desa Alo Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Secara geologis, jenis batuan pada lokasi ini adalah batu gamping coral, yang memiliki kandungan CaCO_3 yang tinggi sehingga mudah larut. Jenis batuan ini mudah lapuk dan tererosi. Hal ini didukung oleh tekstur tanah di lokasi ini adalah lempung berlanau dengan kadar air 31% dan tingkat plastisitas sedang. Tanah dengan tekstur lempung berlanau memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi. Hal ini dapat mengakibatkan beban terhadap tanah menjadi meningkat, sehingga mudah terjadi longsor.

2. Longsoran di Desa Buhu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsoran pada lokasi Sampel 2 adalah 13,80. Tipe longsoran pada lokasi ini adalah *planar slide*. Indeks penipisan pada lokasi ini adalah 3,35, indeks pelebaran 1,54, indeks perpindahan 1,0 dan indeks aliran 180,72%.

Kenampakan longsoran di Desa Buhu ditunjukkan pada Gambar 38.



Gambar 36. Kenampakan Longsoran di Desa Buhu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Jenis batuan pada lokasi longsor ini adalah batuan beku yang telah mengalami proses peningkatan kandungan silika sehingga memiliki kandungan mineral silikat yang tinggi. Batuan seperti ini telah terdekomposisi dengan mineral lain sehingga menyebabkan batuan jenis ini mudah pecah dan lapuk. Tekstur tanah pada lokasi longsoran ini adalah lempung dengan kadar air 14,58% dan tingkat plastisitas tinggi. Kondisi penggunaan lahan pada lokasi ini adalah hutan sekunder campuran semak belukar. Beban pepohonan di permukaan lereng yang curam akan sangat berpotensi untuk longsor.

3. Longsoran di Desa Labanu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsor di Desa Labanu adalah 13,94%. Tipe longsor pada lokasi ini adalah *planar slide*. Indeks penipisan longsor pada lokasi ini adalah 1,0, indeks pelebaran 1,87, indeks perpindahan 0,32 dan indeks aliran 87%. Kenampakan longsor di Desa Buhu ditunjukkan pada Gambar 39.



Gambar 37. Kondisi Longsor di Desa Labanu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

4. Longsor di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsor di Desa Toyidito adalah 4,21% dan dapat diklasifikasikan dalam bentuk *slide flow*. Indeks penipisan 1,53, indeks pelebaran 1,14, indeks perpindahan 0,30 dan indeks aliran 20,84%. Kenampakan longsor di Desa Buhu ditunjukkan pada Gambar 40.



Gambar 38. Kondisi Longsoran di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

5. Longsoran di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Indeks Klasifikasi longsor yang terjadi di Desa Molalahu adalah 3,83%. Tipe longsoran yang terjadi adalah *slide flow*. Indeks penipisan 0,69, indeks pelebaran 1,72, indeks perindahan 0,14 dan indeks aliran 49,39%. Gambar kondisi longsoran di lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 41.



Gambar 39. Kondisi Longsoran di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

6. Longsoran di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsoran yang terjadi di Desa Molalahu Kecamatan Pulubala adalah 12,98%. Jenis longsoran pada lokasi ini adalah *Rotational Slide*. Indeks penipisan 1,20, indeks pelebaran 1,11, indeks perpindahan 0,55 dan indeks aliran 12,86%. Gambar kondisi longsoran pada lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 42.



Gambar 40. Kondisi Longsoran pada Desa Molalahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

7. Longsoran di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Jenis longsoran yang terjadi di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo cukup beragam yaitu *rotational slide*, *rock block slide*, *planar slide*. Kejadian longsoran disebabkan oleh beberapa faktor yaitu aktivitas manusia yang berupa galian C, penanaman jagung yang dilakukan di lereng curam, serta kondisi alam berupa curah hujan, kondisi topografi, dan lain-lain. Kondisi longsoran lama yang terjadi di Desa Isimu Utara ditunjukkan pada Gambar 43.



Gambar 41. Kondisi Longsoran pada Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Tipe longsoran lainnya yang terjadi di Desa Isimu Utara adalah potensial *Rock Block Slide*. Gambar kondisi perpindahan massa pada lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 44.



Gambar 42. *Rock Blok Slide* di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Beberapa kejadian longsor lama yang pernah terjadi dengan indeks klasifikasi longsor adalah 40% dan merupakan jenis *rotational slide*. Kondisi longsor ini ditunjukkan pada Gambar 45.



Gambar 43. Kondisi longsoran lama di Desa Isimu Utara Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Longsor yang ditunjukkan pada Gambar 45 adalah longsor yang terjadi 6 (enam) bulan yang lalu. Indeks klasifikasi longsor pada lokasi ini adalah 8,47%. Klasifikasi longsor ini adalah *planar slide*. Longsor pada lokasi ini adalah longsor lama yang pernah terjadi, sehingga telah ditumbuhi tanaman. Kondisi longsor pada lokasi Sampel 10 ditunjukkan pada Gambar 46.



Gambar 44. Longsoran *Planar Slide* di Desa Isimu Utara

Indeks klasifikasi pada longsoran lainnya yang terjadi di Desa Isimu Utara adalah 50%. Ini menunjukkan bahwa tipe longsoran di lokasi ini adalah *rotational slide*. Longsoran pada lokasi ini adalah longsoran lama yang pernah terjadi, sehingga material longsoran sudah ditumbuhi oleh vegetasi alami, seperti ditunjukkan pada Gambar 47.



Gambar 45. Kondisi Bekas Longsoran di Desa Isimu Utara

8. Longsoran di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten
Gorontalo)

Indeks klasifikasi longsoran di Desa Iloponu adalah 17,39%. Angka ini menunjukkan bahwa longsoran yang terjadi di Desa Iloponu diklasifikasikan sebagai *rotational slide*. Gambar kondisi longsoran di lokasi Sampel 12 ditunjukkan pada Gambar 48



Gambar 46. Kondisi Longsoran di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsoran di Desa Iloponu sampel 13 adalah 22,22%. Angka ini menunjukkan klasifikasi longsoran di lokasi ini adalah *rotational slide*. Material longsoran adalah batuan dan tanah. Kondisi longsoran di lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 49



Gambar 47. Kondisi Longsoran di Desa Iloponu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Indeks pelebaran longsoran adalah 1,19%. Ini menunjukkan bahwa material longsoran tidak menyebar melebar ke bagian permukaan lereng. Indeks penipisan adalah 1,91 dan indeks aliran adalah 36,91%.

9. Longsoran di Desa Molamahu Kecamatan Tibawa Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsoran di Desa Molamahu adalah 21,67%. Angka ini menunjukkan klasifikasi longsoran di lokasi ini adalah *rotational slide*. Material longsoran didominasi oleh tanah. Kondisi longsoran di lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 50.



Gambar 48. Kondisi Longsoran di Desa Molamahu Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

10. Longsoran di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Indeks klasifikasi longsoran di lokasi Sampel 13 adalah 14,66%. Angka ini menunjukkan klasifikasi longsoran di lokasi ini adalah *planar slide*. Material longsoran adalah lapukan batuan dan tanah. Kondisi longsoran di lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 51.



Gambar 49. Kondisi Longsoran di Desa Toyidito Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo

Peta sebaran longsoran di Daerah Aliran Sungai (DAS) Alo Provinsi Gorontalo ditunjukkan pada Gambar 52.



Gambar 50. Peta Tipe dan Sebaran Longsoran di DAS Alo Provinsi Gorontalo

5.7 Bidang Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

5.7.1 Metode Geolistrik

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan 2 buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda AB akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam. Dengan adanya aliran arus listrik tersebut maka akan menimbulkan tegangan listrik di dalam tanah. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui 2 buah “elektroda tegangan” M dan N yang jaraknya lebih pendek dari pada jarak elektroda AB (Anonim, 2007 dalam Broto, 2008).

Dalam survei metode geolistrik akan didapat nilai resistivitas, kuat arus dan nilai massa jenis batuan. Massa jenis batuan yang didapat secara langsung merupakan massa jenis semu yang memerlukan suatu pengolahan data yang lebih lanjut untuk mendapatkan massa jenis yang sebenarnya untuk tiap-tiap lapisan. Massa jenis yang sebenarnya tersebut digambarkan sebagai kenampakan 1D pada tiap-tiap stasiun. Kemudian dari penampang 1D tersebut, dapat dikembangkan menjadi 2D dengan metoda mapping secara korelasi tiap-tiap stasiun (Syamsuddin, 2007).

Prasetiawati, 2004 dalam Rohim, dkk (2010) mengemukakan berdasarkan asal sumber arus listrik yang digunakan, metode resistivitas dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok yaitu:

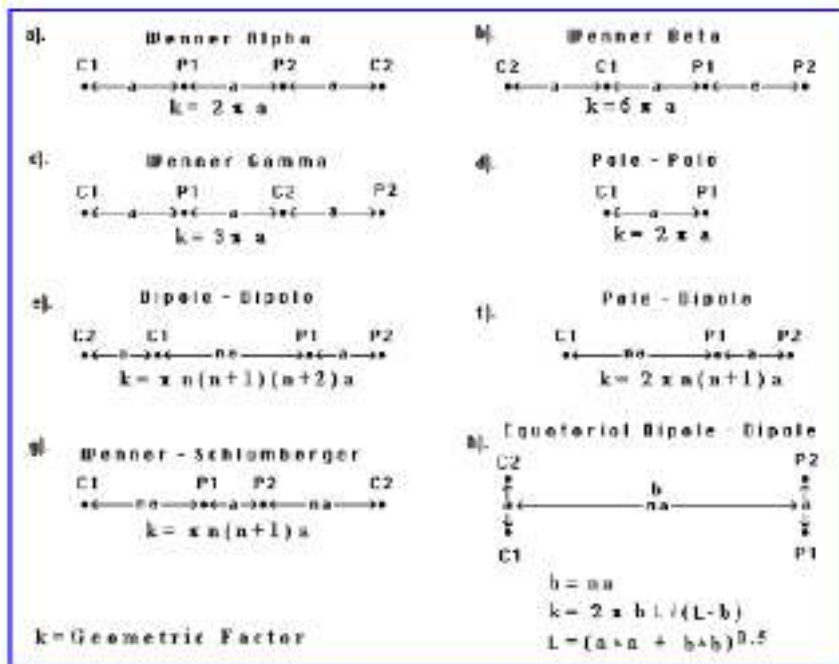
1. Metode pasif

Metode ini menggunakan arus listrik alami yang terjadi di dalam tanah (batuan) yang timbul akibat adanya aktivitas elektrokimia dan elektromekanik dalam materi-materi penyusun batuan. Metode yang termasuk dalam kelompok ini diantaranya Potensial Diri/Self Potensial (SP) dan Magneto Teluric (MT).

2. Metode aktif

Yaitu bila arus listrik yang diinjeksikan (dialirkan) didalam batuan, kemudian efek potensial yang ditimbulkan arus buatan tersebut diukur di permukaan. Metode yang termasuk kedalam kelompok ini diantaranya metode resistivity dan Induced Polarization (IP).

Ada beberapa bentuk konfigurasi elektroda (potensial dan arus) dalam eksplorasi geolistrik tahanan jenis dengan geometri yang berbeda-beda, yaitu: Wenner Alpha, Wenner Beta, Wenner Gamma, Pole-Pole, Dipole-Dipole, Pole-Dipole, Wenner – Schlumberger, dan Equatorial Dipole-dipole. Masing-masing konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan, baik ditinjau dari efektivitas dan efisiensinya maupun dari sensitifitasnya (Syamsuddin, 2007).



Gambar 51. Konfigurasi elektroda dalam eksplorasi geolistrik.
(Sumber : Loke, 2004)

1) Wenner Alpha

Wenner alpha memiliki konfigurasi elektroda potensial berada di antara elektroda arus yang tersusun dari $C_1 - P_1 - P_2 - C_2$. Jarak elektroda yang satu dengan lainnya sama dengan a , seperti terlihat pada **Gambar 53 (a)**. Faktor geometri konfigurasi ini adalah $K = 2 \pi a$. Wenner Alpha adalah kasus khusus dari Schlumberger. Keuntungan dan keterbatasan konfigurasi Wenner Alpha adalah:

- a. Konfigurasi elektroda wenner Alpha, sangat sensitif terhadap perubahan lateral setempat dan dangkal; seperti gawir, lensa-lensa setempat. Hal tersebut terjadi karena anomali geologi diamati oleh elektroda C_1 dan P_1 berkali-kali. Namun demikian untuk jarak $C - P$ yang lebih pendek, daya tembus (penetrasi) lebih besar, sehingga berlaku untuk eksplorasi resistivitas dalam.

- b. Karena bidanh equipotensial untuk benda homogen berupa bola, maka data-data lebih mudah diproses dan dimengerti. Disamping itu, errornya kecil.
- c. Karena sensitif terhadap perubahan-perubahan ke arak lateral di permukaan, konfigurasi ini disukai dan banyak digunakan untuk penyelidikan geothermal.
- d. Karena pengukuran setiap elektroda harus dipindahkan, maka memerlukan buruh yang lebih banyak.

2) Wenner Beta

Wenner beta merupakan kasus khusus untuk konfigurasi Dipole-Dipole dengan susunan elektroda seperti terlihat pada **Gambar 53(b)**. Elektroda potensialnya berdekatan pada satu sisi dan elektroda arusnya di sisi yang lain, dengan susun mulai dari C_2 - C_1 - P_1 - P_2 . Jarak elektroda yang satu ke elektroda yang lain juga sama dengan a . Faktor geometri konfigurasi ini adalah $k = 6 \pi a$. Keunggulan dan kelemahan konfigurasi ini hampir sama dengan Wenner Alpha, hanya berbeda pada sensitivitas. Wenner Beta lebih sensitif ke arah horizontal dibandingkan dengan Wenner Alpha, sementara Weneer Alpha lebih sensitif ke arah vertikal.

3) Wenner Gamma

Jarak elektroda konfigurasi ini juga seperti Wenner Alpha dan Beta yaitu sejauh a , akan tetapi kedudukan elektrodanya berselang seling mulai C_1 - P_1 - C_2 - P_2 , seperti pada **Gambar 53 (c)**. Faktor geometri konfigurasi ini adalah $k = 3 \pi a$. Konfigurasi ini jarang digunakan karena memang tidak dapat memberikan hasil yang lebih baik dan memuaskan.

4) Pole-Pole

Jarak elektroda konfigurasi ini juga sama dengan a , namun elektrodanya hanya terdiri dari satu elektroda arus dan satu elektroda potensial seperti terlihat pada **Gambar 9d**. Faktor geometri konfigurasi ini adalah $k = 3 \pi a$. Karena cuma satu elektroda arus

dan satu elektroda potensial, maka tidak membutuhkan buruh yang banyak. Akan tetapi terlalu banyak potensial yang tidak terukur.

5) Dipole-Dipole

Konfigurasi ini mempunyai susunan elektroda sama dengan Wenner Beta, hanya jarak antara elektroda arus dengan elektroda potensial sama dengan n kali jarak kedua elektroda yang sama. Konfigurasinya dapat dilihat pada **Gambar 9e**, dengan faktor geometri sama dengan $k = \pi n(n + 1)(n + 2)a$. Kelemahan konfigurasi ini memerlukan buruh yang banyak, tetapi dapat memberikan informasi secara horizontal yang cukup jauh.

6) Pole-Dipole

Konfigurasi Pole-Dipole merupakan gabungan antara Pole-Pole dengan Dipole-Dipole, sehingga elektroda yang digunakan hanya 3 masing-masing satu elektroda arus dan dua elektroda potensial. Adapun susunannya diperlihatkan dalam **Gambar 9f**, dengan faktor geometri sama dengan $k = 2\pi n(n + 1)a$. Karena Cuma satu elektroda arus, maka tidak membutuhkan buruh yang banyak. Akan tetapi untuk interpretasi, sebaiknya digunakan pengukur inverse.

7) Wenner – Schlumberger

Dalam konfigurasi ini, posisi elektroda sama dengan Wenner Alpha, tetapi jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah n kali jarak kedua elektroda potensial. Konfigurasi ini ditunjukkan dalam **Gambar 9g** dengan faktor geometri sama dengan $k = \pi n(n + 1)a$.

Keuntungan dan keterbatasan konfigurasi Wenner – Schlumberger adalah:

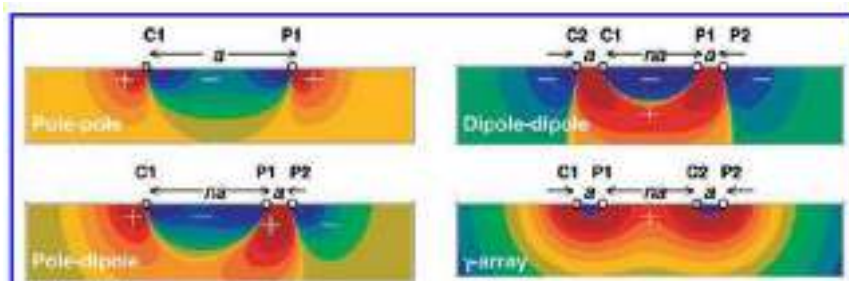
- a. Dalam konfigurasi ini, MN tidak perlu sering dipindahkan, sehingga mengurangi jumlah buruh yang dipakai.
- b. Referensi dan kurva-kurva lebih banyak, dan studi yang dilakukan cukup banyak.

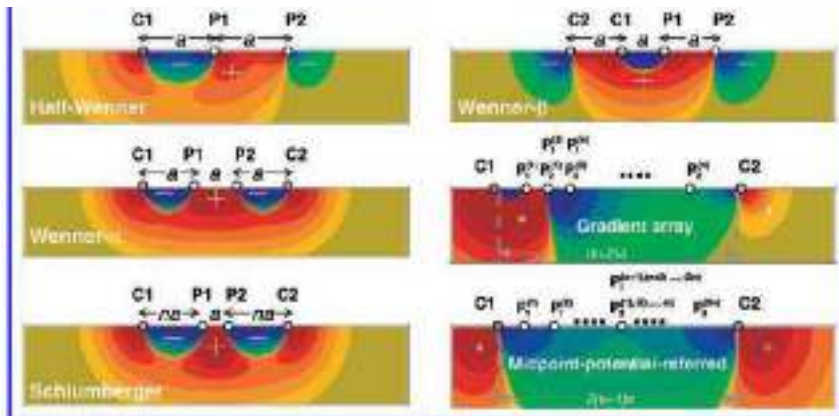
- c. Konfigurasi ini tidak terlalu sensitif terhadap adanya perubahan lateral setempat, sehingga metoda ini dianjurkan dipakai untuk penyelidikan dalam.
- d. Kelemahannya: AB/MN harus berada pada rasio $2,5 < AB/MN < 50$. Di luar rasio tersebut, faktor geometri sudah berdeviasi.

8) Equatorial Dipole-Dipole

Konfigurasi ini lain dari ke-7 konfigurasi yang lain, karena elektrodanya tegak lurus dengan arah lintasan, seperti terlihat pada **Gambar 9h**. Faktor geometri konfigurasi ini adalah $k = 2 \pi b L(L - b)$, dimana $b = n a$ dan $L = (a^2 + b^2)^{0.5}$. Konfigurasi ini disamping memerlukan buruh yang banyak juga butuh strategi yang mantap, karena bentangan elektroda tegak lurus dengan arah lintasan. Atau dengan kata lain elektroda arus dan elektroda potensial dipasang sejajar tapi tidak segaris. Namun dalam satu kali pengukuran dapat mencapai daerah yang luas.

Setiap konfigurasi elektroda memiliki resistivitas yang berbeda-beda, misalnya Wenner Alpha dan Schlumberger memiliki kedudukan elektroda yang sama dan sama sensitif terhadap perubahan vertikal, akan tetapi jangkauan resistivitasnya berbeda karena dipengaruhi oleh faktor jarak. Begitu pula Wenner Beta dan Dipole-Dipole yang sensitif terhadap perubahan horizontal, namun Dipole-Dipole lebih baik untuk daerah yang lebih luas.





Gambar 52. Model sintetik yang menunjukkan sensitifitas tiap konfigurasi elektroda dalam eksplorasi geolistrik.

(Darlin T. dan Zhou B., 2004 dalam Syamsuddin, 2007: 16)

Metode inversi 2D digunakan untuk menghasilkan penampang-penampang bawah permukaan secara vertikal maupun lateral (penampang 2D). Inversi 2D cukup panjang dan rumit, sehingga menggunakan bantuan program komputer, yaitu dengan menggunakan aplikasi RES2DINV versi 3.54.44. Pada tahap ini mencoba untuk menampilkan model 2D untuk mendapatkan nilai tahanan jenis dan kedalaman sebenarnya. Program RES2DINV akan secara otomatis menentukan model resistivitas 2D untuk bawah permukaan dari data hasil pengukuran geolistrik. Data yang dimaksud terdiri atas akumulasi jarak elektroda dari elektroda pertama, kedalaman penetrasi dan nilai resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) pada material bawah permukaan.

Data yang dihasilkan kemudian diinterpretasi dengan cara melihat kisaran harga resistivitas beberapa jenis batuan, tanah, dan mineral (**Tabel 29**). Interpretasi dilakukan untuk mengetahui jenis dan susunan material berdasarkan nilai resistivitas.

Tabel 29. Nilai resistivitas material-material bumi

Material	Tahanan Jenis (Ωm)
<i>Air</i> (Udara)	–
<i>Phrite</i> (Pirit)	0,01 – 100
<i>Qwartz</i> (Kwarsa)	500 – 800.000
<i>Calcite</i> (Kalsit)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
<i>Rock Salt</i> (Garam batu)	$30 - 1 \times 10^{13}$
<i>Granite</i> (Granit)	200 – 100.000
<i>Andesite</i> (Andesit)	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
<i>Basalt</i> (Basal)	200 – 100.000
<i>Limestones</i> (Batugamping)	500 – 10.000
<i>Sandstones</i> (Batupasir)	200 – 8.000
<i>Shale</i> (Batu Tulis)	20 – 2.000
<i>Sand</i> (Pasir)	1 – 1.000
<i>Clay</i> (Lempung)	1 – 100
<i>Ground Water</i> (Air Tanah)	0,5 – 300
<i>Sea Water</i> (Air Asin)	0,2
<i>Magnetite</i> (Magnetit)	0,01 – 1.000
<i>Dry Gravel</i> (Kerikil Kering)	600 – 10.000
<i>Alluvium</i> (Aluvium)	10 – 800
<i>Gravel</i> (Kerikil)	100 - 600

Sumber : Telford et al (1990)

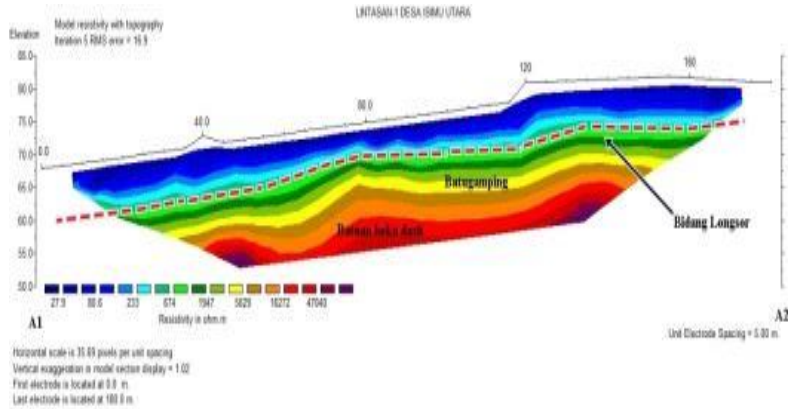
5.7.2 Bidang Longsoran di DAS Alo

Bidang gelincir longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo diwakili oleh 7 lintasan yang tersebar di beberapa desa. Pengukuran menggunakan konfigurasi elektroda *Wenner Alpha* dengan panjang bentangan 180 meter untuk setiap lintasan 1, 2, 4 dan 5. Lintasan 3 dengan panjang bentangan 170 meter.

1) Desa Isimu Utara : Lintasan 1 : A1-A2

Pengukuran geolistrik pada lintasan A1-A2 yang berada di Desa Isimu Utara dengan panjang bentangan 180 meter dan arah lintasan Barat Daya-Timur Laut. Hasil inversi 2D







resistivity imaging pada lintasan A1-A2 ditunjukkan pada Gambar 55.










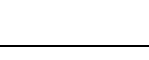


Gambar 53. Penampang 2D *resistivity imaging* pada lintasan A1-A2

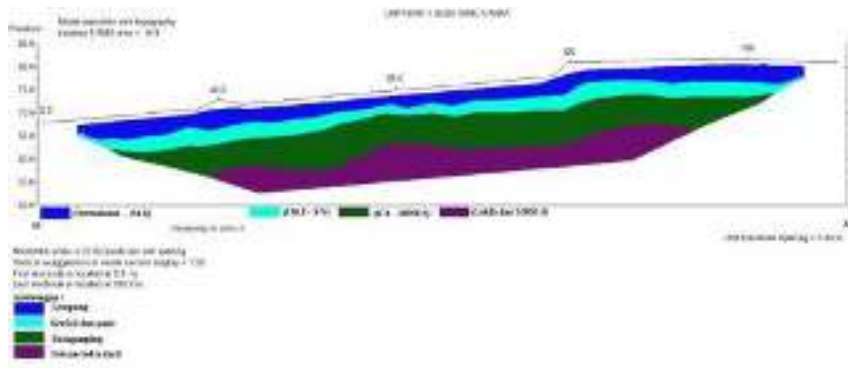
Gambar 2D yang terlihat pada Gambar 55, menunjukkan perbedaan nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan lintasan 1. Dari hasil interpretasi Gambar 55, dapat dikelompokkan nilai tahanan jenis dan jenis batuan seperti yang terlihat pada Tabel 30.

Tabel 30. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan 1

No	Warna	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Lapisan
1		Permukaan – 27,9	Lempung (<i>Clay</i>)
2		27,9 – 54,25	Lempung (<i>Clay</i>)
3		54,25 – 80,6	Lempung (<i>Clay</i>)
4		80,6 – 156,8	Lempung (<i>Clay</i>)
5		156,8 – 233	Kerikil (<i>Gravel</i>) dan Pasir (<i>Sand</i>)
6		233 – 453,5	

No	Warna	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Lapisan
7		453,5 – 674	
8		674 – 1.310,5	Batugamping (<i>Limestones</i>)
9		1.310,5 – 1.947	Batugamping (<i>Limestones</i>)
10		1.947 – 3.788	Batugamping (<i>Limestones</i>)
11		3.788 – 5.629	Batugamping (<i>Limestones</i>)
12		5.629 – 10.950,5	Batugamping (<i>Limestones</i>)
13		10.950,5 – 16.272	Batuan Beku Dasit
14		16.272 – 31.656	Batuan Beku Dasit
15		31.656 – 47.040	Batuan Beku Dasit
16		Lebih dari 47.040	Batuan Beku Dasit
17		Lebih dari 47.040	Batuan Beku Dasit

Berdasarkan nilai tahanan jenis dan jenis lapisan pada tabel 3, penampang lintasan 1 pada lapisan yang termasuk jenis lapisan yang sama di kelompokkan menjadi satu warna (Gambar 56).



Gambar 54. Lima lapisan pada lintasan 1

Dari Tabel 30 dan Gambar 56 serta disesuaikan dengan singkapan dan lapisan endapan sungai. Pada lintasan 1 terdapat lapisan yaitu lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), batugamping (*Limestones*) dan batuan beku dasit. Bidang gelincir biasanya ditandai oleh bidang kontras antara harga tahanan jenis tinggi dan rendah.

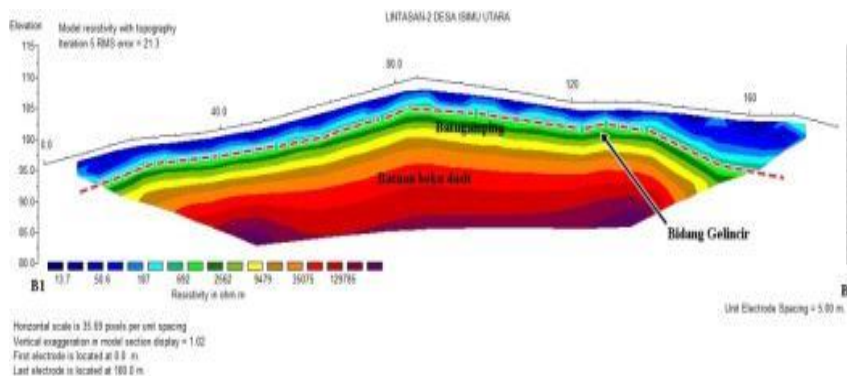
Jika ditinjau berdasarkan nilai tahanan jenis batuan, bidang gelincir pada lintasan 1 diperkirakan berada pada lapisan batugamping sebagai lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis yang tinggi. Lapisan-lapisan bagian atas bidang gelincir yang memiliki harga resistivitas berkisar kurang dari $674 \Omega\text{m}$ terdeteksi atau diduga sebagai lapisan lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*) dan pasir (*Sand*).

Lapisan batugamping yang merupakan bidang batas atau bidang gelincir ini terdeteksi pada kedalaman sekitar 5 sampai 7 meter yang memiliki tahanan jenis tinggi yakni berkisar $674 \Omega\text{m}$ sampai $10.950,5 \Omega\text{m}$ dengan kemiringan semu sekitar 8° kearah barat daya (A1). Berdasarkan kemiringan semu, diperoleh kemiringan yang sebenarnya yaitu 47° kearah barat laut. Untuk nilai tahanan jenis lebih dari $10.950,5 \Omega\text{m}$ diduga lapisan batuan beku dasit.

2) Lintasan 2 : B1-B2 (Desa Isimu Utara)



Pengukuran geolistrik pada lintasan B1-B2 yang masih berada di Desa yang sama yaitu Desa Isimu Utara dengan panjang bentangan 180 meter dan arah lintasan Selatan-Utara. Hasil inversi 2D *resistivity imaging* pada lintasan B1-B2 ditunjukkan pada Gambar 57.














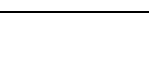
Gambar 2D yang terlihat pada Gambar 57, menunjukkan perbedaan nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan lintasan 2. Dari hasil interpretasi nilai tahanan jenis dan jenis batuan seperti yang terlihat pada Tabel 30.



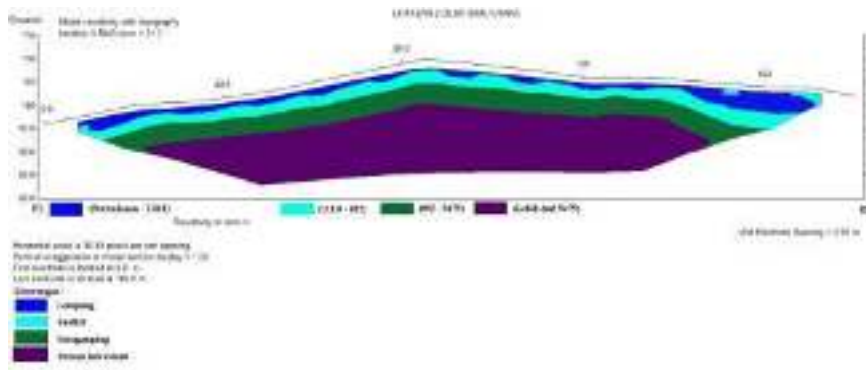
Gambar 55. Penampang 2D *resistivity imaging* pada lintasan B1-B2

Tabel 31. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan B1-B2

No	Warna	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Lapisan
1		Permukaan – 13,7	Lempung (<i>Clay</i>)
2		13,7 – 32,15	Lempung (<i>Clay</i>)

No	Warna	Tahanan Jenis (Ω m)	Jenis Lapisan
3		32,15 – 50,6	Lempung (<i>Clay</i>)
4		50,6 – 118,8	Lempung (<i>Clay</i>)
5		118,8 – 187	Kerikil (<i>Gravel</i>) dan Pasir (<i>Sand</i>)
6		187 – 439,5	
7		439,5 – 692	
8		692 – 1.122	Batugamping (<i>Limestones</i>)
9		1.122 – 2.562	Batugamping (<i>Limestones</i>)
10		2.562 – 6.020,5	Batugamping (<i>Limestones</i>)
11		6.020,5 – 9.479	Batugamping (<i>Limestones</i>)
12		9.479 – 22.277	Batuan Beku Dasit
13		22.277 – 35.075	Batuan Beku Dasit
14		35.075 – 82.430	Batuan Beku Dasit
15		82.430 – 129.785	Batuan Beku Dasit
16		Lebih dari 129.785	Batuan Beku Dasit
17		Lebih dari 129.785	Batuan Beku Dasit

Berdasarkan nilai tahanan jenis dan jenis lapisan pada Tabel 30, penampang lintasan 2 pada lapisan yang termasuk jenis lapisan yang sama di kelompokkan menjadi satu warna (Gambar 58).



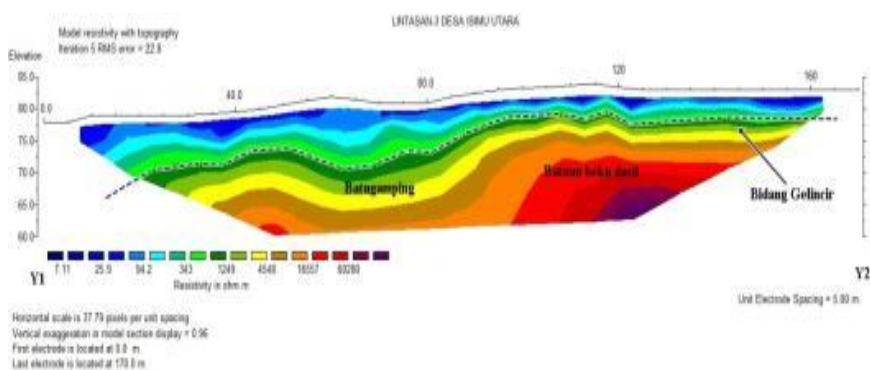
Gambar 56. Lima lapisan pada lintasan B1 – B2

Dari Tabel 30 dan Gambar 58 serta disesuaikan dengan singkapan dan lapisan endapan sungai. Pada lintasan 2 terdapat lapisan lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), batugamping (*Limestones*) dan batuan beku dasit. Dengan analisis yang sama dengan lintasan 1, bidang gelincir pada lintasan 2 diperkirakan berada pada bidang kontras antara nilai resistivitas rendah dan tinggi. Lapisan-lapisan bagian atas bidang gelincir yang memiliki harga resistivitas berkisar kurang dari 692 Ω m terdeteksi atau diduga sebagai lapisan batuan lapuk yaitu berupa lapisan lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*) dan pasir (*Sand*).

Lapisan batugamping yang merupakan bidang gelincir ini terdeteksi pada kedalaman sekitar 3 meter yang memiliki tahanan jenis tinggi yakni berkisar 692 Ω m sampai 9.479 Ω m dengan kemiringan semu sekitar 11° kearah barat daya (B1). Berdasarkan kemiringan semu, diperoleh kemiringan yang sebenarnya yaitu 79° kearah barat laut. Untuk nilai tahanan jenis lebih dari 9.479 Ω m diduga lapisan batuan beku dasit.

3) Desa Isimu Utara : Lintasan Y1-Y2





Pengukuran geolistrik pada lintasan Y1–Y2 berada di lokasi yang sama juga yaitu Desa Isimu Utara dengan panjang bentangan 170 meter dan arah lintasan Barat Daya – Timur Laut. Hasil inversi 2D *resistivity imaging* pada lintasan Y1–Y2 ditunjukkan pada Gambar 59.


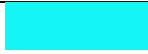
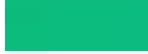








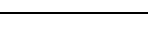


Gambar 57. Penampang 2D *resistivity imaging* pada lintasan Y1-Y2

Gambar 2D yang terlihat pada Gambar 59, menunjukkan perbedaan nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan lintasan 3. Dari hasil interpretasi Gambar 59, dapat dikelompokkan nilai tahanan jenis dan jenis batuan seperti yang terlihat pada Tabel 31.

Tabel 32. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan 3

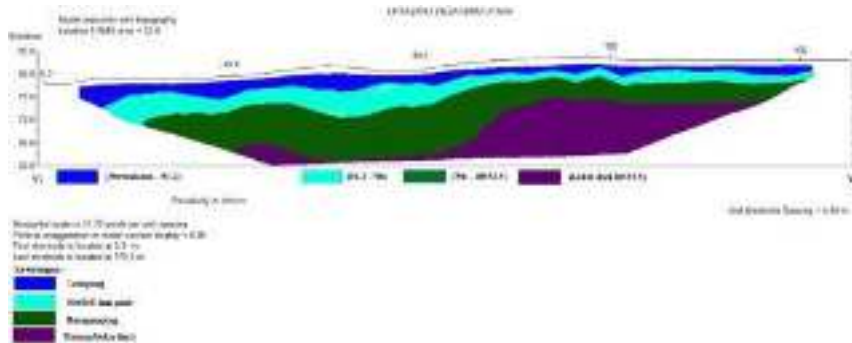
No	Warna	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Lapisan
1		Permukaan – 7,11	Lempung (<i>Clay</i>)
2		7,11 – 16,5	Lempung (<i>Clay</i>)
3		16,5 – 25,9	Lempung (<i>Clay</i>)
4		25,9 – 60,05	Lempung (<i>Clay</i>)

No	Warna	Tahanan Jenis (Ω m)	Jenis Lapisan
5		60,05 – 94,2	Lempung (<i>Clay</i>)
6		94,2 – 218,6	Kerikil (<i>Gravel</i>) dan pasir (<i>Sand</i>)
7		218,6 – 343	
8		343 – 796	
9		796 – 1.249	Batugamping (<i>Limestones</i>)
10		1.249 – 2,898,5	Batugamping (<i>Limestones</i>)
11		2,898,5 – 4.548	Batugamping (<i>Limestones</i>)
12		4.548 – 10.552,5	Batugamping (<i>Limestones</i>)
13		10.552,5 – 16.557	Batuan Beku Dasit
14		16.557 – 38.418,5	Batuan Beku Dasit
15		38.418,5 – 60.280	Batuan Beku Dasit
16		Lebih dari 60.280	Batuan Beku Dasit
17		Lebih dari 60.280	Batuan Beku Dasit

Berdasarkan nilai tahanan jenis dan jenis lapisan pada Tabel 31, penampang lintasan 3 pada lapisan yang termasuk jenis lapisan yang sama di kelompokkan menjadi satu warna (Gambar 60).

Dari Tabel 31 dan Gambar 59 serta disesuaikan dengan singkapan dan lapisan endapan sungai. Pada lintasan 3 terdapat lapisan yaitu lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), batugamping (*Limestones*) dan batuan beku dasit. Dengan analisis yang sama dengan lintasan 1 dan 2, bidang gelincir pada lintasan 3 diperkirakan berada pada bidang kontras antara nilai resistivitas rendah dan tinggi

yaitu pada lapisan batugamping. Lapisan-lapisan bagian atas bidang gelincir yang memiliki harga resistivitas berkisar kurang dari 796 Ωm terdeteksi atau diduga sebagai lapisan lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*) dan pasir (*Sand*).

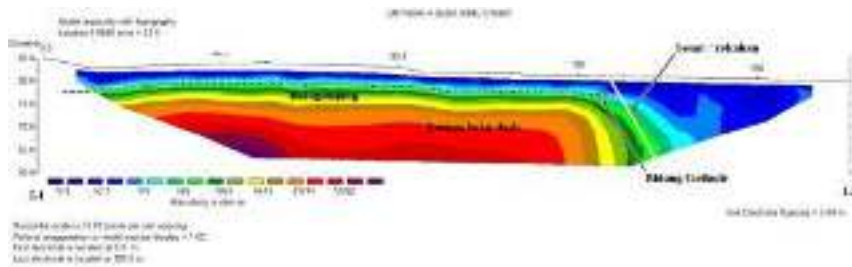


Gambar 58. Lima lapisan batuan pada lintasan 3

Lapisan batugamping yang merupakan bidang gelincir ini terdeteksi pada kedalaman sekitar 5 sampai 8 meter yang memiliki tahanan jenis tinggi yakni berkisar 796 Ωm sampai 10.552,5 Ωm dengan kemiringan semu sekitar 7° kearah Barat Daya (Y1). Berdasarkan kemiringan semu, diperoleh kemiringan yang sebenarnya yaitu 74° kearah barat laut. Untuk nilai tahanan jenis lebih dari 10.552,5 Ωm diduga lapisan batuan beku dasit.

4) Desa Isimu Utara : Lintasan L1-L2

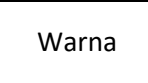




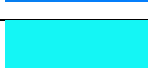




Pengukuran geolistrik pada lintasan L1 – L2 berada di Desa Isimu Utara dengan panjang bentangan 180 meter dan arah lintasan Timur Laut – Barat Daya. Hasil inversi 2D *resistivity imaging* pada lintasan L1 – L2 ditunjukkan pada Gambar 61.









Gambar 59. Penampang 2D *resistivity imaging* pada lintasan L1 – L2

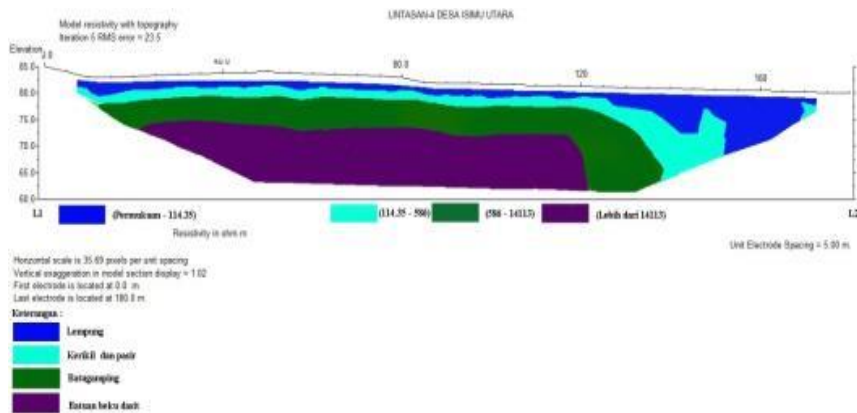
Gambar 2D yang terlihat pada Gambar 61, menunjukkan perbedaan nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan lintasan L1 - L2. Dari hasil interpretasi Gambar 61, dapat dikelompokkan nilai tahanan jenis dan jenis batuan seperti yang terlihat pada Tabel 32.

Tabel 33. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan 4

No	Warna	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Lapisan
1		Permukaan – 15,8	Lempung (<i>Clay</i>)
2		15,8 – 34,25	Lempung (<i>Clay</i>)
3		34,25 – 52,7	Lempung (<i>Clay</i>)
4		52,7 – 114,35	Lempung (<i>Clay</i>)
5		114,35 – 176	Kerikil (<i>Gravel</i>) dan pasir (<i>Sand</i>)
6		176 – 381	
7		381 – 586	
8		586 – 1.269,5	Batugamping (<i>Limestones</i>)
9		1.269,5 – 1.953	Batugamping (<i>Limestones</i>)
10		1.953 – 4.233	Batugamping (<i>Limestones</i>)

11		4.233 – 6.513	Batugamping (<i>Limestones</i>)
12		6.513 – 14.113	Batugamping (<i>Limestones</i>)
13		14.113 – 21.713	Batuan Beku Dasit
14		21.713 – 47.052,5	Batuan Beku Dasit
15		47.052,5 – 72.392	Batuan Beku Dasit
16		Lebih dari 72.392	Batuan Beku Dasit
17		Lebih dari 72.392	Batuan Beku Dasit

Berdasarkan nilai tahanan jenis dan jenis lapisan pada Tabel 32, penampang lintasan 4 pada lapisan yang termasuk jenis lapisan yang sama di kelompokkan menjadi satu warna (Gambar 62).



Gambar 60. Lima lapisan pada lintasan L1 – L2 Desa Isimu Utara

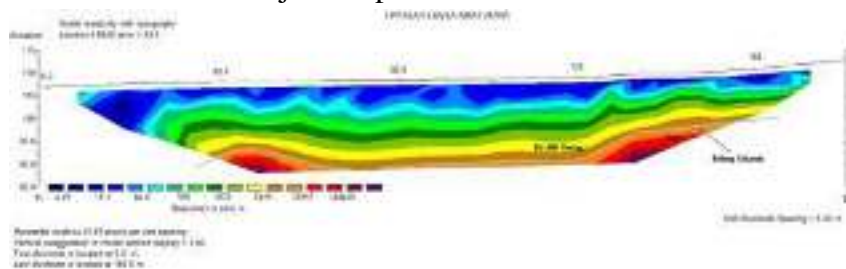
Dari Tabel 32 dan Gambar 62 serta disesuaikan dengan singkapan dan lapisan endapan sungai. Pada lintasan L1 – L2 terdapat lapisan yaitu lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), batugamping

(Limestones) dan batuan beku dasit. Dengan analisis yang sama dengan lintasan 1, 2 dan 3, bidang gelincir pada lintasan 4 diperkirakan berada pada bidang kontras antara nilai resistivitas rendah dan tinggi yaitu pada lapisan batugamping. Lapisan-lapisan bagian atas bidang gelincir yang memiliki harga resistivitas berkisar kurang dari $586 \Omega\text{m}$ terdeteksi atau diduga sebagai lapisan lempung (Clay), kerikil (Gravel) dan pasir (Sand).

Lapisan batugamping yang merupakan bidang gelincir ini terdeteksi pada kedalaman sekitar 4 samapi 5 meter yang memiliki tahanan jenis tinggi yakni berkisar $586 \Omega\text{m}$ sampai $14.113 \Omega\text{m}$ dengan kemiringan semu sekitar 3° kearah barat daya (L2). Berdasarkan kemiringan semu, diperoleh kemiringan yang sebenarnya yaitu 56° kearah barat laut. Untuk nilai tahanan jenis lebih dari $14.113 \Omega\text{m}$ diduga lapisan batuan beku dasit.

5) Desa IsimuUtara : Lintasan T1-T2

Pengukuran geolistrik pada lintasan T1–T2 berada di Desa Isimu Utara dengan panjang bentangan 180 meter dan arah lintasan Tenggara–Barat Laut. Hasil inversi 2D *resistivity imaging* pada lintasan T1–T2 ditunjukkan pada Gambar 63.



















Gambar 61. Penampang 2D *resistivity imaging* pada lintasan T1-T2

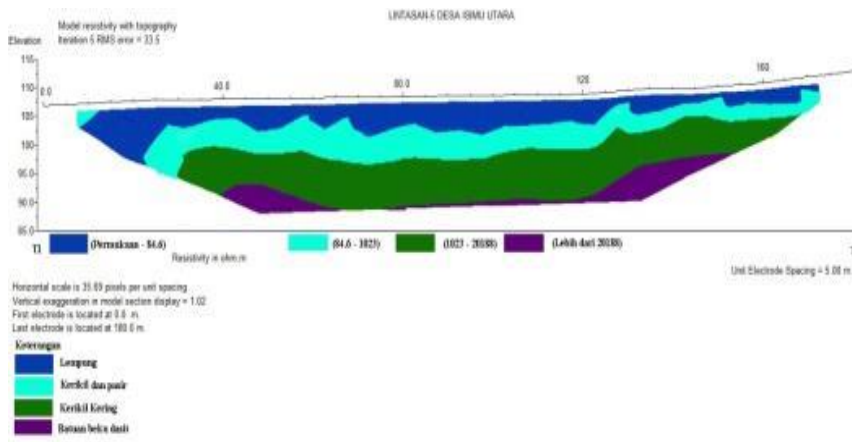
Gambar 2D yang terlihat pada Gambar 63, menunjukkan perbedaan nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan lintasan 5.

Dari hasil interpretasi Gambar 63, dapat dikelompokkan nilai tahanan jenis dan jenis batuan seperti yang terlihat pada Tabel 33.

Tabel 34. Nilai tahanan jenis dan jenis batuan lapisan lintasan T1 – T2

No	Warna	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Lapisan
1		Permukaan – 4,29	Lempung (<i>Clay</i>)
2		4,29 – 11,695	Lempung (<i>Clay</i>)
3		11,695 – 19,1	Lempung (<i>Clay</i>)
4		19,1 – 51,85	Lempung (<i>Clay</i>)
5		51,85 – 84,6	Lempung (<i>Clay</i>)
6		84,6 – 230,3	Kerikil (<i>Gravel</i>) dan pasir (<i>Sand</i>)
7		230,3 – 376	
8		376 – 1.023	
9		1.023 – 1.670	Kerikil Kering (<i>Dry Gravel</i>)
10		1.670 – 4.544,5	
11		4.544,5 – 7.419	
12		7.419 – 20.188	
13		20.188 – 32.957	Batuan Beku Dasit
14		32.957 – 89.681	Batuan Beku Dasit
15		89.681 – 146.405	Batuan Beku Dasit
16		Lebih dari 146.405	Batuan Beku Dasit
17		Lebih dari 146.405	Batuan Beku Dasit

Berdasarkan nilai tahanan jenis dan jenis lapisan pada Tabel 33, penampang lintasan 5 pada lapisan yang termasuk jenis lapisan yang sama di kelompokkan menjadi satu warna (Gambar 64).



Gambar 62. Lima lapisan pada lintasan T1 – T2

Dari data pada Tabel 33 dan Gambar 63 serta disesuaikan dengan singkapan dan lapisan endapan sungai. Pada lintasan T1 – T2 dikelompokkan sama seperti lintasan 1, 2, 3 dan 4 yaitu lapisan lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), kerikil kering (*Dry Gravel*) dan batuan beku dasit. Dengan analisis yang sama dengan lintasan sebelumnya yaitu lintasan 1, 2, 3 dan 4, bidang gelincir pada lintasan 5 diperkirakan berada pada nilai resistivitas rendah dan tinggi yaitu pada lapisan batuan beku dasit. Lapisan-lapisan bagian atas bidang gelincir yang memiliki harga resistivitas berkisar kurang dari 20.188 Ωm terdeteksi atau diduga sebagai lapisan lempung (*Clay*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*) dan kerikil kering (*Dry Gravel*).

Lapisan batuan beku dasit yang merupakan bidang gelincir atau bidang batas ini terdeteksi pada kedalaman sekitar 17 meter yang memiliki tahanan jenis tinggi yakni berkisar lebih dari 20.188 Ωm dengan kemiringan (*true dip*) sekitar 11° kearah tenggara (T1).

5.8 Kerawanan Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

5.8.1 Metode dan Analisis Kerawanan Longsoran

Definisi berdasarkan Peraturan Kepala BNPB nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana disebutkan bahwa rawan bencana adalah kondisi atau karakteristik geologis, biologis, hidrologis, klimatologis, geografis, sosial, budaya, politik, ekonomi, dan teknologi pada suatu kawasan untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan mengurangi kemampuan untuk menanggapi dampak buruk bahaya tertentu.

Kajian rawan longsor telah banyak dilakukan dengan studi kasus yang berbeda-beda. Emre & Çağlar Kıvanç (2013) melakukan kajian rawan longsor di Cagar Biosfer Camili Turki mengemukakan parameter penyebab longsoran di yaitu litologi, geomorfologi, kemiringan lereng, bentuk lereng, posisi kemiringan, kelembaban relatif topografi, arah bidang longsor, curah hujan, jarak dari aliran air, arah aliran, kerapatan fluks, jenis tanah, air tanah, penutupan tanah dan jarak dari jalur transportasi. Masing-masing parameter tersebut di beri skor dan bobot seperti ditunjukkan pada Tabel 35.

Tabel 35. Skor dan Bobot Parameter Rawan Longsor

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
Litologi	Volkanik dan batuan sedimen	3	5
	Kapur neritik (Cretaceous-Paleosen)	4	
	Batuan klastik (Atas Paleocene-Eocene)	5	
	Ayırılmamış batuan vulkanik (Eosen)	2	
	Volkanik dan batuan sedimen (Tengah-Atas Eosen)	3	
Kesalahan baris	≤ 100	5	2

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
pada Jarak yang (m)			
	100 – 1000	3	
	≥ 1000	1	
Geomorfologi	Pegunungan	3	4
	Dataran tinggi	2	
	Datar	1	
	Lereng	5	
Kemiringan lereng	Sangat sedikit cenderung (0-3%)	1	5
	3-10%	2	
	10-20%	3	
	20-30%	4	
	≥ 30%	5	
Bentuk Lereng	Cekung	1	4
	Lurus	0	
	Cembung	5	
Posisi kemiringan	Lantai lembah	1	3
	Lereng	5	
	Baris divisi air	3	
Kelembaban relatif topografi	Kering (< -0.5)	1	2
	Lembab (-0.5 - -0.8)	3	
	Basah (> - 0,8)	5	
Pandangan	Lurus	1	2
	N-NE-NW	5	
	G-SE-SW	1	
	D-B	2	
Ketinggian (m)	≤ 1000	1	1
	1000 – 1500	2	
	1.500 – 2000	3	
	2000 – 2500	4	
	≥ 2500	5	
Curah Hujan (mm)	≤ 900	1	3
	900 – 1400	2	
	1400 – 1900	3	
	1900 – 2400	4	
	≥ 2400	5	
Jarak dari aliran	≤ 100	5	2

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
air	100 – 250	4	
	250 – 500	3	
	500 – 1000	2	
	≥ 1000	1	
Arah aliran	< 3	1	1
	3-5	2	
	5 – 25	3	
	25-100	4	
	>200	5	
Kerapatan fluks	< 8	1	2
	8 – 16	2	
	16 – 24	3	
	24-32	4	
	>32	5	
Air Tanah	Batuan vulkanik (Eosen)	2	1
	Volkanik dan batuan sedimen (Kapur Atas, Eosen Tengah)	3	
	Kapur neritik (Cretaceous-Paleosen)	4	
	Batuan klastik (Atas Paleocene-Eocene)	5	
Tanah	Entisol	5	2
	Inseptisol	3	
	Mollisol	1	
Penutup tanah	Daerah pemukiman	3	4
	Hutan	1	
	Lahan terbuka	5	
Jarak dari jalur transportasi	< 100	5	3
	100 – 250	4	
	250-500	3	
	500 – 1000	2	
	>1000	1	

Sumber : Emre & Çağlar Kıvanç (2013)

Suratman (2002) melakukan analisis terhadap longsoran actual untuk menentukan rawan longsor seperti ditunjukkan pada Tabel 36.

Tabel 36. Kriteria Zonasi Tingkat Bahaya Longsor

Bobot	Atribut Medan	Klasifikasi Bahaya Longsor
-------	---------------	----------------------------

		Rendah	Sedang	Tinggi
3	Litologi dan struktur	Batuan kompak Berlapis struktur mendatar Material endapan	Material koluvium Zona lapuk agak tebal Ada kekar	Batuan tidak memadu Zona lapuk tebal Banyak kekar dan lapisan miring
	Skor	1	2	3
3	Kemiringan Lereng (%)	Lereng datar – lurus <15	Cembung – lurus 15 - 25	Cembung dan cekung >25
	Skor	1	2	3
2	Tanah	Solum <90 cm Tekstur halus – kasar	Solum 90 cm – 1,5 m Tekstur halus – agak kasar	Solum tanah >1,5m – 3m Tekstur halus - sedang
	Skor	1	2	3
2	Potensi muka air	Jarang dijumpai mata air (sedikit)	Dibeberapa tempat dijumpai mata air	Banyak dijumpai mata air
	Skor	1	2	3
1	Penggunaan Lahan	Sawah, kebun campuran, hutan lindung	Hutan produksi	Tegalan dan perkampungan
	Skor	1	2	3

Sumber : *Suratman* (2002)

Analisis kerawanan longsor dilakukan berdasarkan parameter faktor penyebab longsor seperti ditunjukkan pada Tabel 37.

Tabel 37. Skor dan Bobot Parameter Penyebab Longsor

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
Penggunaan Lahan	Sawah	1	3
	Hutan	2	
	Semak belukar	3	
	Perkebunan dan pertanian lahan kering	4	
	Pemukiman	5	
Kemiringan	0 – 8 % (datar)	1	4

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
Lereng	8 – 15% (landai)	2	
	15 – 25% (agak curam)	3	
	25 – 45% (Curam)	4	
	> 45% (sangat curam)	5	
Curah hujan	≤ 900	1	5
	900 – 1400	2	
	1400 – 1900	3	
	1900 – 2400	4	
	≥ 2400	5	
Tanah	Andosol	4	3
	Grumusol	3	
	Podsolik	2	
	Litosol	1	
Litologi	Diorit	2	3
	breksi, tuf dan lava bersusunan andesit, dasit dan riolit	5	
	atas batulanau, batulumpur, konglomerat, tuf, tuflapili, aglomerat, breksi gunungapi, lava andesit sampai 2basal	4	
	aglomerat, tuf, lava andesit-basal	3	
	batu gamping koral	1	

Sumber : Lihawa, dkk (2015)

Kerentanan adalah suatu kondisi dari suatu komunitas atau masyarakat yang mengarah atau menyebabkan ketidakmampuan dalam menghadapi ancaman bencana.

Tiga komposisi utama untuk analisis kerentanan yaitu:

- Kerentanan sosial : kepadatan penduduk dan kepekaan social
- Kerentanan ekonomi : PDRB sektor dan penggunaan kawasan budidaya
- Kerentanan fisik : kerentanan bangunan dan sarana prasarana
- Kerentanan ekologi : penggunaan lahan (kawasan lindung)

Analisis indeks untuk masing-masing kerentanan ditunjukkan pada Tabel 38.

Tabel 38. Analisis Indeks untuk Kajian Kerentanan

No	Komponen Indikator	Kelas Indeks			Bobot Total	Sumber data
		Rendah	Sedang	Tinggi		
Indeks Penduduk Terpapar						
	Sosail Budaya (40%)					
1.	Kepadatan Penduduk	< 50 jika/km ²	50 - 1000 jika/km ²	> 1000 jika/km ²	60%	BPS/Data Kecamatan
2.	Kelompok Rentan	< 20%	20 – 40%	>40%	40%	BPS/Data Kecamatan
Indeks Kerugian						
	Ekonomi (dalam Rp) (25%)					
1.	Luas Lahan Produktif	<Rp. 50 juta	Rp. 50-200 juta	>Rp. 200 jt	60%	Peta Penggunaan Lahan, data BPS
2.	Kontribusi PDRB per sector	<Rp. 100 jt	Rp. 100-300 juta	>Rp. 300 jt	40%	Data BPS
	Fisik (dalam Rp) 25%					
1.	Rumah	<Rp. 400 jt	Rp. 400 – 800 juta	>Rp. 800 jt	40%	Podes
2.	Fasilitas Umum	<Rp. 500 jt	Rp. 500 jt – 1 M	>Rp. 1 M	30%	Podes
3.	Fasilitas kritis	<Rp. 500 jt	Rp. 500 jt – 1 M	>Rp. 1 M	30%	Podes
	Lingkungan (10%)					
1.	Hutan Lindung	<20 Ha	20-50 Ha	>50 Ha	40%	
2.	Hutan Alam	<25 Ha	25-75 Ha	>75 Ha	40%	
3.	Hutan Mangrove	<10 Ha	10 – 30 Ha	>30 Ha	10%	
4.	Semak belukar	<10 Ha	10 – 30 Ha	>30 Ha	10%	

Sumber : Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2012)

Indeks Kerentanan Sosial:

$$KS = \left[0,6 \times \frac{\log\left(\frac{KP}{0,01}\right)}{\log\left(\frac{100}{0,01}\right)} \right] + [0,1 \times \text{Rasio JK}] + [0,1 \times \text{Rasio M}] + [0,1 \times \text{Rasio C}] + [0,1 \times \text{Rasio KU}]$$

.....(9)

Keterangan:

- KS = Indeks kerentanan social
- KP = Kepadatan Penduduk
- JK = Jenis Kelamin
- M = Kemiskinan
- C = orang cacat
- KU = Kelompok Umur

Indeks Kerentanan Ekonomi

$$KE = (0,6 \times \text{Skor lahan Produktif}) + (0,4 \times \text{Skor PDRB})$$

.....(10)

Indeks Kerentanan Fisik

$$KF = (0,4 \times \text{Skor Rumah}) + (0,3 \times \text{Skor Fasilitas Umum}) + (0,3 \times \text{Skor Fasilitas Kritis})$$

.....(11)

Indeks Kerentanan Lingkungan

$$KL = (0,4 \times \text{Skor Hutan Lindung}) + (0,4 \times \text{Skor Hutan Alam}) + (0,1 \times \text{Skor Hutan Bakau}) + (0,1 \times \text{Skor Semak Belukar}) \quad \dots(4)$$

Indeks Kerentanan Tanah Longsor:

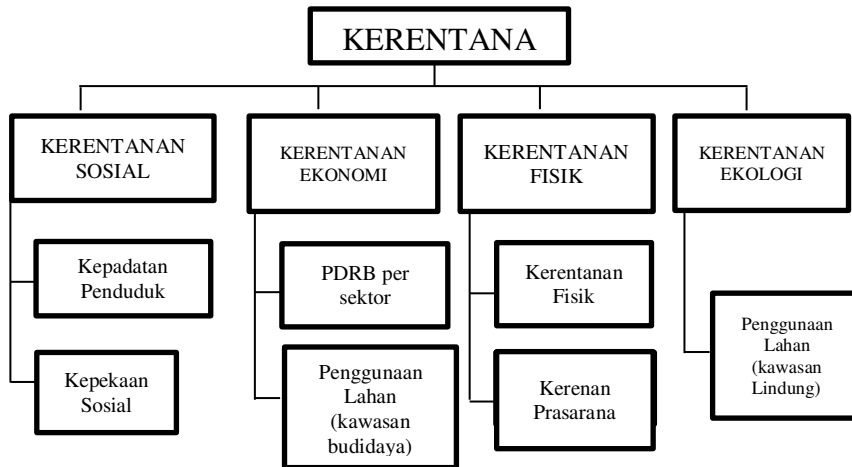
$$KTL = (0,4 \times \text{Skor KS}) + (0,25 \times \text{Skor KE}) + (0,25 \times \text{Skor KF}) + (0,1 \times \text{Skor KL})$$

.....(12)

Keterangan:

- KS = Kerentanan Sosial
- KE = Kerentanan Ekonomi
- KF = Kerentanan Fisik
- KL = Kerentanan Lingkungan

Tiga komposisi untuk analisis kerentanan ditunjukkan pada Gambar 65.



Gambar 63. Komposisi Analisis Kerentanan

5.8.2 Sebaran Tingkat Kerawanan Longsoran

Analisis tingkat kerentanan longsoran diperoleh melalui metode penskoran. Parameter longsoran, skor dan bobot ditetapkan berdasarkan analisis kejadian longsoran yang terjadi di DAS Alo Provinsi Gorontalo. Parameter longsoran adalah penggunaan lahan, kemiringan lereng, curah hujan, tanah, dan litologi. Hasil analisis sebaran tingkat kerawanan longsoran ditunjukkan pada Tabel 39.

Tabel 39. Sebaran dan Luas Tingkat Kerawanan Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

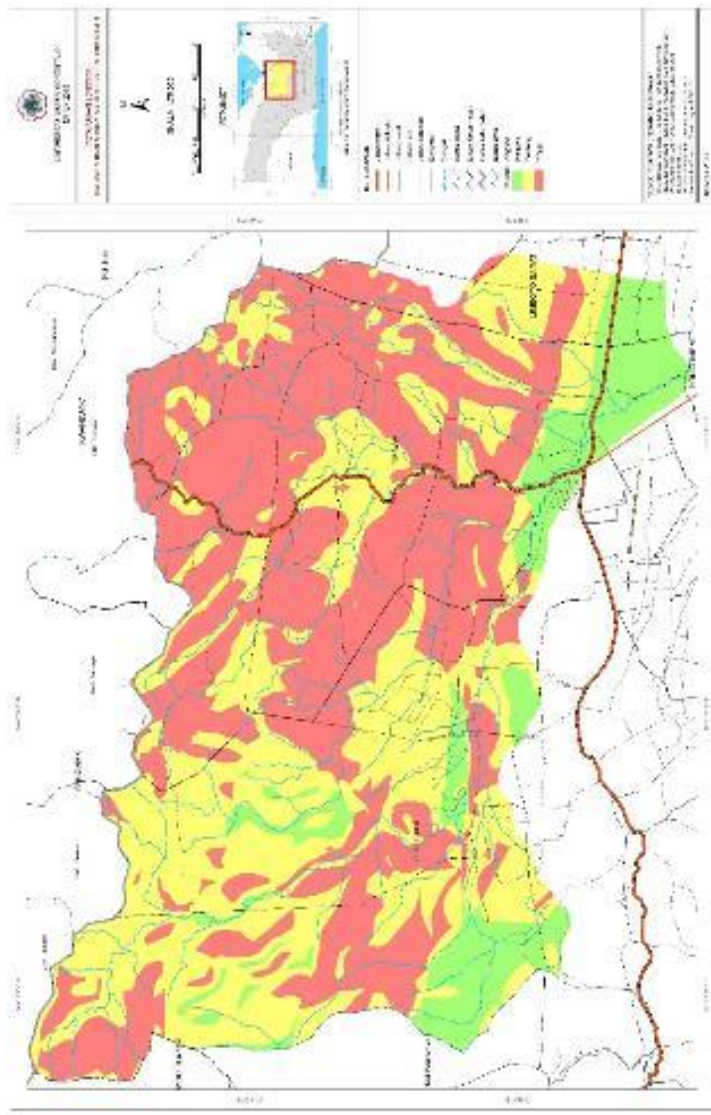
No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerawanan (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	866,05	2715,38	1633,16
2	Desa Molalahu	147,97	294,01	191,59
3	Desa Molamahu	375,51	263,51	1109,86
4	Desa Pongongaila	83,56	80,74	9,18
5	Desa Toyidito	21,57	628,81	476,76

No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerawanan (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	260,33	0,70	-
2	Desa Botumoputi	140,29	257,32	974,65
3	Desa Buhu	0,01	319,08	914,47
4	Desa Datahu	195,82	36,39	34,66
5	Desa Iloponu	0,03	518,70	841,53
6	Desa Isimu Raya	180,21	44,59	16,78
7	Desa Isimu Selatan	245,35	0,02	-
8	Desa Isimu Utara	50,69	578,38	987,57
9	Desa Labanu	0,19	859,44	2283,65
10	Desa Motilango	-	268,28	774,00
11	Desa Tolotio	2,03	-	-
12	Desa Ulobua	0,01	171,07	596,20
C	Kecamatan Limboto Raya			
1	Desa Daenaa	-	4,03	15,30
2	Desa Haya-haya	135,11	391,77	438,58
3	Desa Hutabohu	117,30	-	-
4	Desa Padengo	45,98	197,21	44,36
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-
	TOTAL	2.874,69	10.005,44	11.342,28

Sumber : Hasil Analisis, 2015

Data pada Tabel 39 menunjukkan bahwa sebaran tingkat kerawanan tertinggi berada di Desa Labanu Kecamatan Tibawa dengan luas 2283,65 ha dan kemudian Desa Ayumolingo Kecamatan Pulubala dengan luas wilayah yang memiliki kerawanan tinggi sebesar 1633,16 ha.

Peta Tingkat Kerawanan Longsor di DAS Alo ditunjukkan pada



Gambar 64. Peta Rawan Longsor di DAS Alo Provinsi Gorontalo

Gambar

66.

5.8.3 Sebaran Tingkat Kerentanan Longsoran

Sebaran tingkat kerentanan longsoran di DAS Alo diperoleh dari hasil overlay Peta Kerentanan Sosial, Peta Kerentanan Fisik, Peta Kerentanan Ekonomi dan Peta Kerentanan Ekologi. Hasil analisis terhadap kerentanan sosial ditunjukkan pada Tabel 40.

Tabel 40. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Sosial di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerentanan Sosial (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	-	5214,28	-
2	Desa Molalahu	-	633,44	-
3	Desa Molamahu	-	4123,35	-
4	Desa Pongongaila	-	173,47	-
5	Desa Toyidito	-	1127,35	-
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	-	260,95	-
2	Desa Botumoputi	-	1371,68	-
3	Desa Buhu	-	1233,54	-
4	Desa Datahu	-	266,86	-
5	Desa Iloponu	-	1360,06	-
6	Desa Isimu Raya	-	241,57	-
7	Desa Isimu Selatan	-	245,23	-
8	Desa Isimu Utara	-	1616,38	-
9	Desa Labanu	-	3143,19	-
10	Desa Motilango	-	1042,27	-
11	Desa Tolotio	-	2,03	-
12	Desa Ulobua	-	767,13	-
C	Kecamatan Limboto Barat			
1	Desa Daenaa	-	19,33	-
2	Desa Haya-haya	-	965,43	-
3	Desa Hutabohu	-	117,28	-
4	Desa Padengo	-	287,52	-
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-

Sumber: Hasil analisis, 2015

Hasil analisis terhadap kerentanan fisik ditunjukkan pada Tabel 41.

Tabel 41. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Fisik di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerentanan Fisik (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	5208,16	6,13	-
2	Desa Molalahu	629,24	4,20	-
3	Desa Molamahu	4113,26	10,10	-
4	Desa Pongongaila	171,34	2,13	-
5	Desa Toyidito	1,80	0,22	-
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	259,67	1,27	-
2	Desa Botumoputi	1344,00	-	27,68
3	Desa Buhu	1200,91	-	32,63
4	Desa Datahu	248,60	18,25	-
5	Desa Iloponu	1344,00	-	26,06
6	Desa Isimu Raya	238,56	3,01	-
7	Desa Isimu Selatan	243,69	1,55	-
8	Desa Isimu Utara	1611,00	5,38	-
9	Desa Labanu	3105,67	-	37,53
10	Desa Motilango	1029,57	-	12,70
11	Desa Tolotio	1,80	0,22	-
12	Desa Ulobua	766,33	0,80	-
C	Kecamatan Limboto Raya			
1	Desa Daenaa	19,33	-	-
2	Desa Haya-haya	961,92	3,51	-
3	Desa Hutabohu	116,55	0,73	-
4	Desa Padengo	285,95	1,57	-
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-

Sumber: Hasil analisis, 2015

Hasil analisis terhadap kerentanan ekonomi ditunjukkan pada Tabel 42.

Tabel 42. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Ekonomi di DAS Alo Provinsi Gorontalo

No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerentanan Fisik (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	-	5214,28	-
2	Desa Molalahu	-	633,44	-
3	Desa Molamahu	-	4123,45	-
4	Desa Pongongaila	-	173,47	-
5	Desa Toyidito	-	1127,35	-
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	-	260,95	-
2	Desa Botumoputi	-	1371,68	-
3	Desa Buhu	-	1233,54	-
4	Desa Datahu	-	266,85	-
5	Desa Iloponu	-	1360,06	-
6	Desa Isimu Raya	-	241,57	-
7	Desa Isimu Selatan	-	245,23	-
8	Desa Isimu Utara	-	1616,38	-
9	Desa Labanu	-	3143,19	-
10	Desa Motilango	-	1042,27	-
11	Desa Tolotio	-	2,03	-
12	Desa Ulobua	-	767,13	-
C	LIMBOTO BARAT			
1	Desa Daenaa	-	19,33	-
2	Desa Haya-haya	-	965,43	-
3	Desa Hutabohu	-	117,28	-
4	Desa Padengo	-	287,52	-
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-

Sumber: Hasil analisis, 2015

Hasil analisis kerentanan ekonomi menunjukkan tingkat kerentanan ekonomi di DAS Alo termasuk pada tingkat kerentanan sedang. Hasil analisis terhadap kerentanan ekologi ditunjukkan pada Tabel 43.

Tabel 43. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Ekologi di DAS
Alo Provinsi Gorontalo

No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerentanan Fisik (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	42,36	-	5171,92
2	Desa Molalahu	488,69	144,75	-
3	Desa Molamahu	1507,32	-	2616,03
4	Desa Pongongaila	-	173,47	-
5	Desa Toyidito	1127,35	-	-
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	260,95	-	-
2	Desa Botumoputi	1371,68		
3	Desa Buhu	1152,86	80,68	-
4	Desa Datahu	266,85	-	-
5	Desa Iloponu	1360,06	-	-
6	Desa Isimu Raya	241,57	-	-
7	Desa Isimu Selatan	245,23	-	-
8	Desa Isimu Utara	1616,38	-	-
9	Desa Labanu	2565,46	-	577,74
10	Desa Motilango	872,84	169,43	-
11	Desa Tolotio	2,03	-	-
12	Desa Ulobua	509,70	257,43	
C	Kecamatan Limboto Raya			
1	Desa Daenaa	19,33	-	-
2	Desa Haya-haya	965,43	-	-
3	Desa Hutabohu	117,28	-	-
4	Desa Padengo	287,52	-	-
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-

Sumber: Hasil analisis, 2015

Sebaran dan luasan tingkat kerentanan di DAS Alo ditunjukkan pada Tabel 44.

Tabel 44. Sebaran dan Luas Tingkat Kerentanan Longsoran di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

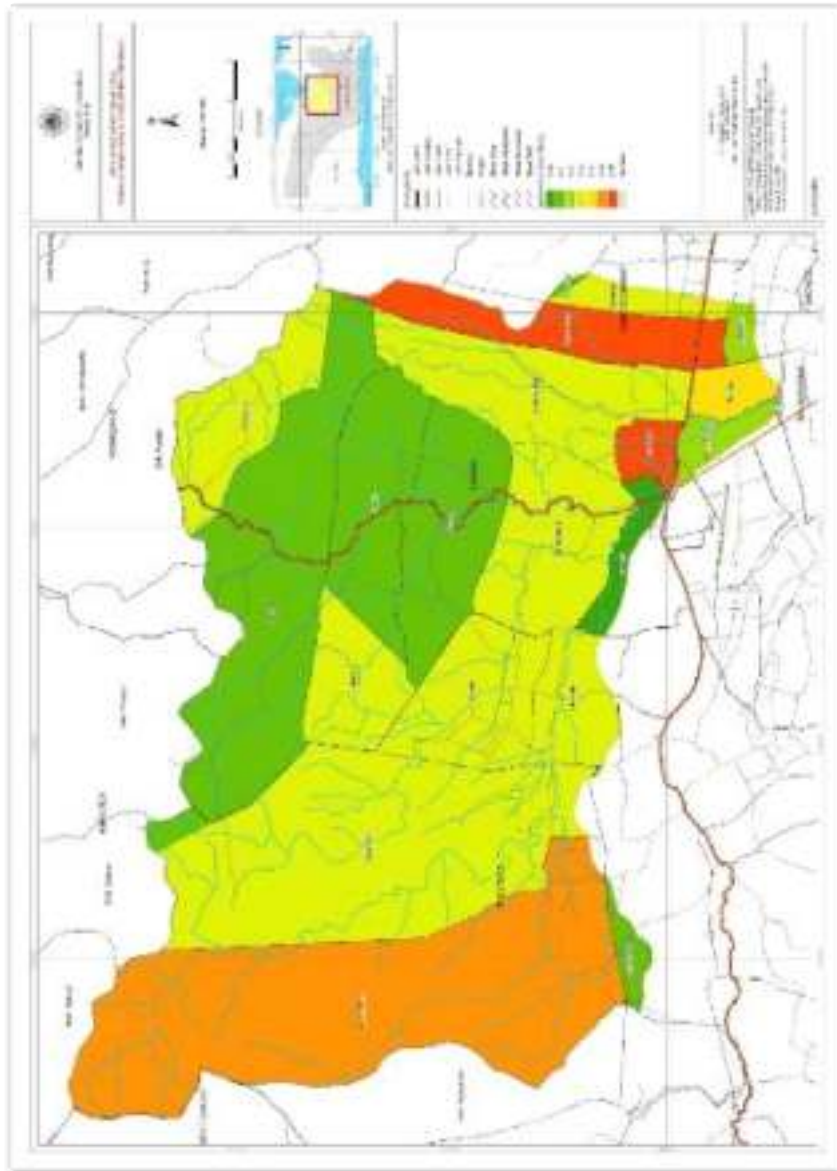
No	Kecamatan dan Desa	Luas Tingkat Kerentanan (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	-	5214,28	-
2	Desa Molalahu	-	633,44	-
3	Desa Molamahu	-	4123,35	-
4	Desa Pongongaila	-	173,47	-
5	Desa Toyidito	-	1127,35	-
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	-	260,95	-
2	Desa Botumoputi	-	1371,68	-
3	Desa Buhu	-	1233,54	-
4	Desa Datahu	248,6	18,25	-
5	Desa Iloponu	-	1360,06	-
6	Desa Isimu Raya	-	241,57	-
7	Desa Isimu Selatan	-	245,23	-
8	Desa Isimu Utara	-	1616,38	-
9	Desa Labanu	-	3143,19	-
10	Desa Motilango	-	633,44	-
11	Desa Tolotio	-	2,03	-
12	Desa Ulobua	508,9	258,23	-
C	Kecamatan Limboto Raya			
1	Desa Daenaa	-	19,33	-
2	Desa Haya-haya	-	965,43	-
3	Desa Hutabohu	-	117,28	-
4	Desa Padengo	-	287,52	-
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-
	TOTAL	764,20	23454,85	-

Sumber: Hasil analisis, 2015

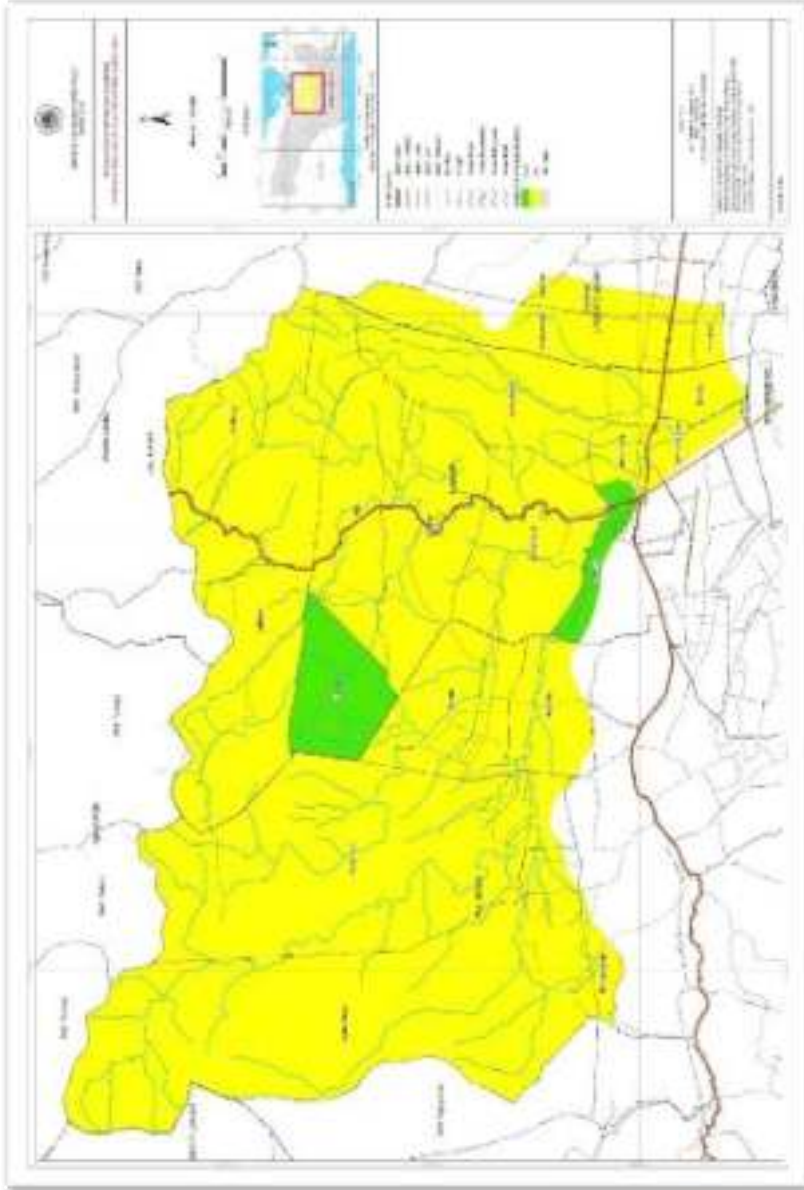
Hasil analisis tingkat kerentanan menunjukkan bahwa sebagian besar DAS ALO memiliki tingkat kerentanan sedang terhadap bencana longsor dengan luas area kerentanan sedang sebesar

23.454,85 Ha. Luas area dengan tingkat kerentanan rendah adalah 764,20 Ha.

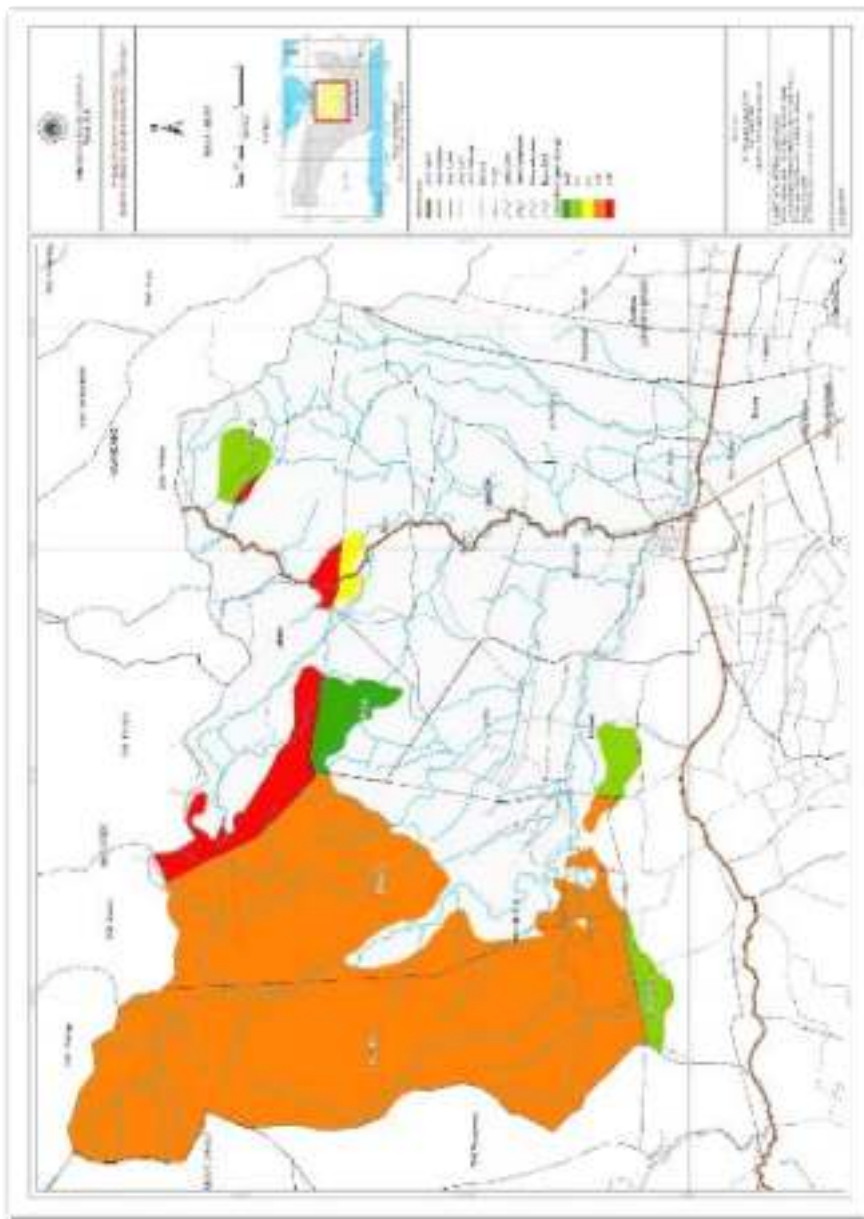
Peta Tingkat Kerentanan Sosial, Kerentanan Fisik, Kerentanan Ekonomi dan Kerentanan Ekologi di DAS Alo ditunjukkan pada Gambar 67, Gambar 68, Gambar 69 dan Gambar 70



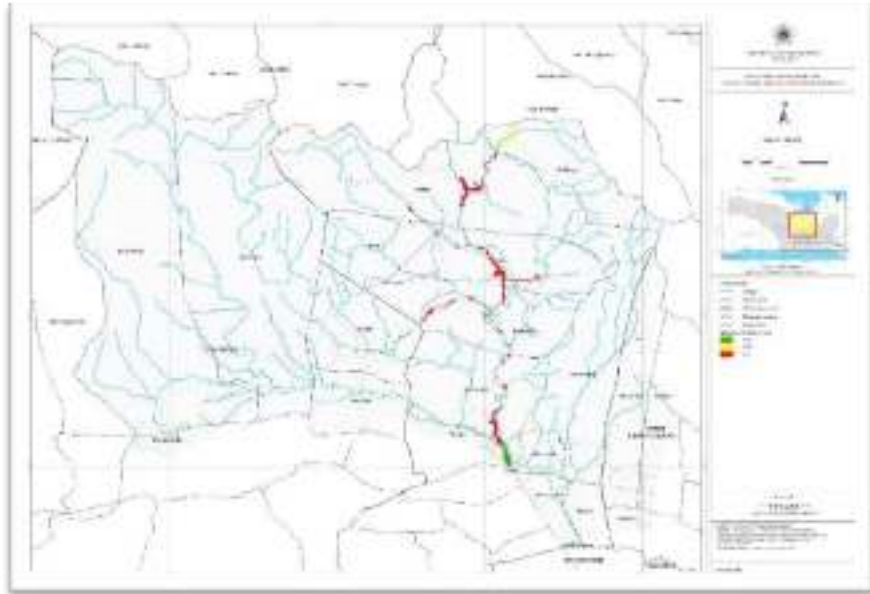
Gambar 65. Peta Kerentanan Sosial DAS Alo Kabupaten Gorontalo



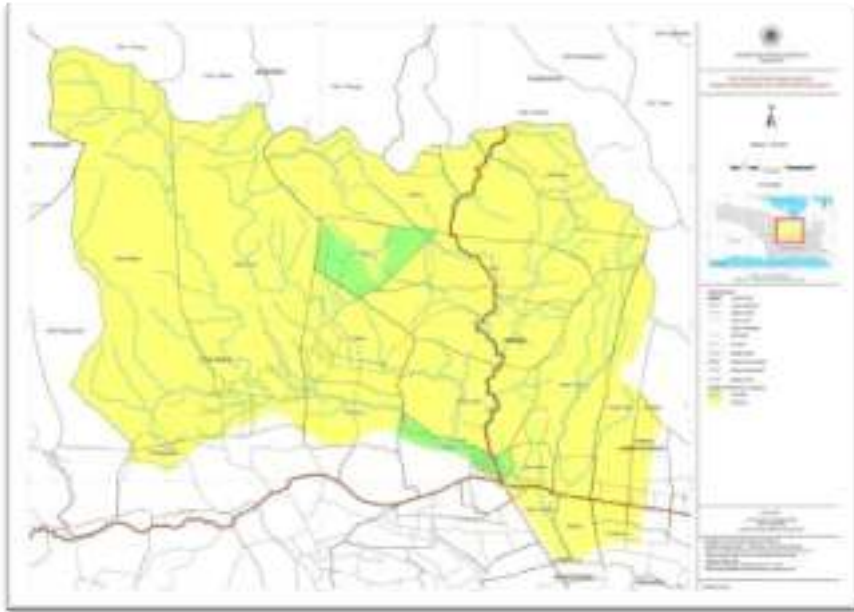
Gambar 66. Peta Kerentanan Ekonomi DAS Alo Kabupaten Gorontalo



Gambar 67. Peta Kerentanan Ekologi DAS Alo Kabupaten Gorontalo



Gambar 68. Peta Kerentanan Fisik DAS Alo Kabupaten Gorontalo
Hasil overlay dari keempat kerentanan tersebut menghasilkan Peta Kerentanan Bencana Longsor di DAS Alo Provinsi Gorontalo seperti ditunjukkan pada Gambar 71.

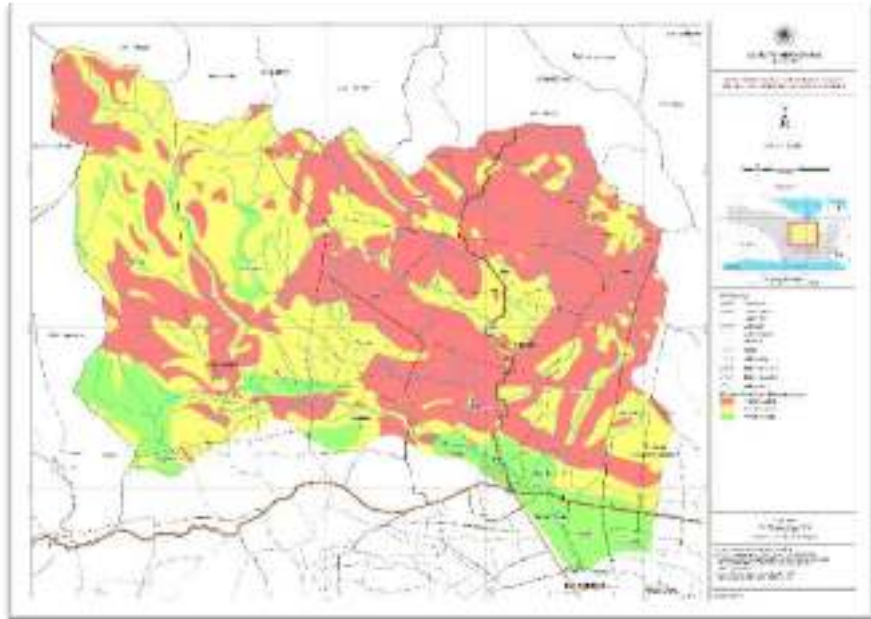


Gambar 69. Peta Kerentanan Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

5.8.4 Prioritas Penanganan Bencana Longsor

Prioritas penanganan bencana longsor di DAS Alo didasarkan pada zona kerawanan longsor. Sebaran spasial prioritas pengelolaan longsor ditunjukkan pada Gambar 72 dan uraiannya ditunjukkan pada Tabel 45.

Wilayah terluas dengan prioritas penanganan longsor tinggi di Kabupaten Gorontalo adalah di Desa Labanu Kecamatan Tibawa, yaitu dengan luas 2283,65 Ha dan Desa Ayumolingo Kecamatan Pulubala, luas wilayah penanganan longsor tinggi adalah 1633,16 Ha. Wilayah-wilayah dengan prioritas tinggi penanganan longsor harus menjadi perhatian pemerintah terutama pemerintah daerah Kabupaten Gorontalo.



Gambar 70. Peta Prioritas Pengelolaan Bencana Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

Tabel 45. Wilayah Prioritas Pengelolaan Bencana Longsor di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

No	Kecamatan dan Desa	Luas Wilayah Berdasarkan Prioritas Pengelolaan (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
A	Kecamatan Pulubala			
1	Desa Ayumolingo	866,05	2715,38	1633,16
2	Desa Molalahu	147,97	294,01	191,59
3	Desa Molamahu	375,51	263,51	1109,86
4	Desa Pongongaila	83,56	80,74	9,18
5	Desa Toyidito	21,57	628,81	476,76
B	Kecamatan Tibawa			
1	Desa Balahu	260,33	0,70	-
2	Desa Botumoputi	140,29	257,32	974,65
3	Desa Buhu	0,01	319,08	914,47
4	Desa Datahu	195,82	36,39	34,66
5	Desa Iloponu	0,03	518,70	841,53
6	Desa Isimu Raya	180,21	44,59	16,78
7	Desa Isimu Selatan	245,35	0,02	-

No	Kecamatan dan Desa	Luas Wilayah Berdasarkan Prioritas Pengelolaan (Ha)		
		Rendah	Menengah	Tinggi
8	Desa Isimu Utara	50,69	578,38	987,57
9	Desa Labanu	0,19	859,44	2283,65
10	Desa Motilango	-	268,28	774,00
11	Desa Tolotio	2,03	-	-
12	Desa Ulobua	0,01	171,07	596,20
C	Kecamatan Limboto Raya			
1	Desa Daenaa	-	4,03	15,30
2	Desa Haya-haya	135,11	391,77	438,58
3	Desa Hutabohu	117,30	-	-
4	Desa Padengo	45,98	197,21	44,36
D	Kecamatan Dungaliyo			
1	Desa Bongomeme	6,70	-	-
	TOTAL	2.874,69	10.005,44	11.342,28

BAB VI. KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN LAHAN DI DAS ALO KABUPATEN GORONTALO

Degradasi lahan yang cenderung semakin meningkat saat ini tidak lepas dari praktek-praktek pengolahan lahan yang dilakukan oleh masyarakat. Ada sebagian masyarakat yang mengolah lahan pertanian dengan baik, akan tetapi tidak sedikit masyarakat mengolah lahan pertanian dengan tidak memperhatikan aspek konservasi lahan. Mengembangkan kearifan lokal yang ada di masyarakat merupakan salah satu upaya untuk dapat melestarikan lingkungan. Watanabe (2010) mengemukakan bahwa pengetahuan tradisional masyarakat dapat menumbuhkan kearifan lokal untuk pengelolaan tanah dan air dan perbaikan lingkungan. Bentuk-bentuk kearifan lokal dalam pengelolaan lahan di berbagai daerah dan negara telah banyak diteliti (Becker, et al., 2011; Setiawan, 2009; Watanabe, 2010; Wahyu & Nasrullah, 2012)

6.1 Kearifan Lokal

Kearifan lokal menurut kamus terdiri dari dua kata, yaitu kearifan (*wisdom*) dan lokal (*local*) dipahami sebagai gagasan setempat, yang bersifat bijaksana, bernilai baik, yang tertanam dan diikuti oleh masyarakat.

Kearifan lokal (*Local Wisdom*) menurut Imam Santoso merupakan perilaku positif manusia dalam berhubungan dengan alam dan lingkungan sekitarnya, yang dapat bersumber dari nilai agama adat istiadat, petuah nenek moyang atau budaya setempat,

yang terbangun secara alamiah dalam suatu komunitas masyarakat untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya (Wikantiyoso dan Tutuko, 2009).

Kearifan lokal dikatakan bersifat baik karena suatu kearifan lokal terbentuk dari proses adaptasi, proses belajar manusia dari pengalaman dalam kegiatannya pada suatu lingkungan, suatu situasi, menghadapi suatu masalah dengan cara yang dianggap baik. Hal-hal yang dinilai baik dan memberikan hasil yang baik dalam pemecahan masalah akan terus dipertahankan dan kemudian digunakan berulang-ulang dalam proses pemecahan masalah yang selanjutnya diwariskan kepada generasi ke generasi. Dasar pemikiran manusia tidak mungkin menyimpan sesuatu yang dianggap tidak baik dan digunakan berulang dalam proses pemecahan masalah.

Kearifan lokal secara umum jika dilihat dari pengertian di atas tidak akan lahir dengan cepat, namun terbentuk perlahan sesuai proses adaptasi manusia terhadap lingkungannya. Bentuk kearifan lokal kemudian diteruskan atau diwariskan secara turun-temurun dari generasi ke generasi untuk membantu dalam mengatasi masalah kehidupan. Dengan proses yang panjang ini kemudian dapat membentuk suatu sistem nilai yang terkristalisasi dalam bentuk hukum adat, atau kepercayaan budaya setempat. Dapat dikatakan bahwa kearifan lokal merupakan norma yang berlaku dalam suatu masyarakat yang diyakini kebenarannya dan menjadi acuan dalam berperilaku sehari-hari.

Bentuk kearifan lokal dapat dilihat dengan beragamnya karya dari berbagai wilayah di Indonesia yang berbeda-beda seperti tarian, senandung atau nyanyian, petuah, pepatah, semboyan atau kitab-kitab kuno dalam cacatan masyarakat tradisional. Bentuk bangunan adat, dan sebagainya. Seperti yang dikatakan Santoso dalam Wikantiyoso (2009: 8), secara substansi kearifan lokal dapat berupa aturan mengenai (i) kelembagaan dan sanksi social, (ii) ketentuan tentang pemanfaatan ruang dan perkiraan musim untuk bercocok tanam, (iii) pelestarian serta perlindungan terhadap kawasan

sensitive, serta (iv) bentuk adaptasi dan mitigasi tempat tinggal terhadap iklim, bencana, atau ancaman lainnya.

Jika dikaji dengan baik, dapat diperhatikan bahwa kearifan lokal dalam berbagai bentuknya dalam tiap wilayah pasti bernilai baik, karena suatu kearifan lokal terbentuk dari proses adaptasi, proses belajar manusia dari pengalaman dalam kegiatannya pada suatu lingkungan, suatu situasi, menghadapi suatu masalah dengan cara yang dianggap baik. Hal-hal yang dinilai baik dan memberikan hasil yang baik dalam pemecahan masalah akan terus dipertahankan dan kemudian digunakan berulang-ulang dalam proses pemecahan masalah yang selanjutnya diwariskan kepada generasi ke generasi. Dasar pemikiran manusia tidak mungkin menyimpan sesuatu yang dianggap tidak baik dan digunakan berulang dalam proses pemecahan masalah.

6.2 Praktek Pengelolaan Lahan Pertanian di DAS Alo Kabupaten Gorontalo

Petani di DAS Alo dalam mengelola lahan pertanian, sebagian besar menggunakan cara yang sama dalam beberapa proses perlakuan, namun ada perbedaan pada perlakuan lainnya dikarenakan faktor-faktor tertentu seperti keadaan fasilitas, tenaga, kepercayaan dan hal lainnya.

Terdapat 5 tahapan umum dalam proses pengelolaan lahan di DAS Alo yaitu pembukaan lahan, penanaman, pemeliharaan, panen, dan pasca-panen.

6.2.1 Pembukaan Lahan

Kegiatan petani dimulai dengan tahap pembukaan lahan, dimana petani memulainya dengan cara membersihkan lahan. Petani memulai perlakuan pada tanaman-tanaman dengan ukuran sedang seperti semak-semak, atau pohon-pohon rendah yang dapat

mengganggu pertumbuhan tanaman. Pembersihan lahan dilakukan dengan menggunakan *parang* atau *sabi* (arit) atau pacul, yang dalam bahasa lokal disebut *papati*, untuk menghilangkan semak atau pepohonan dengan ukuran sedang. Tanaman dengan ukuran besar dan kokoh akan di tebang menggunakan kapak.

Setelah pembukaan lahan, pengelolaan dilanjutkan dengan proses pembajakan, selanjutnya disebut *Pajeko* dalam bahasa setempat. *Pajeko* dilakukan dengan menggunakan alat tradisional yang disebut *Popade'o*. Alat ini merupakan paduan dari beberapa bagian, yaitu alat penggaruk tanah dan penarik, dalam hal ini digunakan Sapi sebagai penarik alat. Alat digunakan dengan cara memandu sapi untuk maju, kemudian petani berdiri dari belakang sapi dengan menginjak atau menekan alat garuk masuk ke dalam tanah seiring dengan penarikan yang dilakukan oleh sapi sehingga tanah tergaruk cukup dalam. *Pajeko* akan dilakukan berulang hingga kondisi tanah cocok untuk pertumbuhan tanaman. Lama proses pembajakan bergantung pada luas lahan dan tenaga petani. Petani biasa akan beristirahat setelah menempuh sekali putaran kemudian melanjutkan jika sudah merasa segar. Pada proses ini juga petani akan melihat apakah ada batuan atau material besar lainnya yang akan mengganggu proses *pajeko* dan mengangkatnya keluar dari areal lahan.

6.2.2 Penanaman

Setelah proses *pajeko* selesai dilaksanakan, kemudian masuk pada tahap penanaman. Untuk jagung, atau yang selanjutnya disebut *milu* dalam bahasa daerah Gorontalo, proses penanaman membutuhkan tenaga minimal 1 orang melakukan penanaman dengan membuat lubang sekenanya untuk menanam bibit *milu*, dengan menggunakan *tutua* (tongkat kayu runcing) yang ditancapkan ke permukaan tanah untuk membentuk lubang tanam kira-kira dengan diameter 6-7 cm, dengan kedalaman yang sama 6-7 cm. Proses penanaman di dahului dengan pembuatan lubang tanam terlebih dahulu di seluruh lahan pertanian yang akan digunakan,

kemudian setelah lubang sudah terbentuk, dilanjutkan dengan memasukkan bibit ke dalam lubang dan langsung di tutup dengan menggunakan kaki atau tangan. Jumlah bibit yang dimasukkan bervariasi antara 2-3 biji bibit *milu*. Proses penanaman *milu* tidak selamanya dilakukan perorangan, namun dilakukan bersama-sama dengan bantuan rekan sesama petani untuk mempercepat proses penanaman jika lahan yang dimiliki cukup luas.

Selanjutnya untuk penanaman *Kaca* atau Kacang Tanah, petani melakukan penanaman dengan menggunakan *popade'o*, seperti saat proses *Pajeko*. Jumlah petani di butuhkan minimal 2 orang, dengan tugas masing-masing sebagai pengendara *popade'o*, dan satunya lagi bertugas menabur benih pada lubang yang telah di garuk oleh *popade'o*. Demikian sampai *popade'o* berbalik arah membuat lubang baru kemudian menutup lubang sebelumnya yang telah ditaburi benih kacang.

6.2.3 Pemeliharaan

Pemeliharaan dilihat dalam 3 proses yaitu penyiangan, pemupukan dan kontrol hama.

Penyiangan untuk *milu* dilakukan dengan penyemprotan. Penyemprotan dilakukan ketika *milu* sudah cukup besar, sekitar 3 mingguan atau lebih, jika terlihat sudah ada rerumputan yang tumbuh melebihi tanaman *milu*. Ketika sudah cukup dewasa, *milu* sudah tidak di semprot rumput lagi. Untuk tanaman lain seperti *kaca* dan *malita*, dilakukan penyiangan dengan cara mencabut rumput-rumput atau tanaman yang tumbuh disekitarnya agar tidak mengganggu proses pertumbuhan. Proses penyiangan biasa dilakukan dengan 3 cara yaitu menggunakan pacul, parang dan tangan. Untuk tanaman kacang dan *malita* tidak dilakukan penyemprotan dengan obat-obatan atau bahan kimia, karena belum adanya obat yang cocok yang dapat digunakan tanpa membunuh tanaman *kaca* atau *malita*.

Proses pemeliharaan selanjutnya adalah proses pemupukan. Dalam tahap ini, pemupukan dilakukan beragam. Untuk *milu*, petani melakukan pemupukan dengan cara menaburkan pupuk di permukaan tanah dekat batang milu. Proses Pemupukan dilakukan 2 kali selama masa tanam, yaitu pada umur 2-3 minggu, dan 2 bulan setelah tanam. Untuk *kaca*, petani melakukan pemupukan dengan 2 tahap, yaitu penyemprotan dan tabur.

Kegiatan pemeliharaan selanjutnya yaitu kontrol hama. Hama menjadi lawan yang sulit bagi petani. Pada *milu*, sebagian petani bergantung kepada obat hama, yang diketahui mampu untuk mengusir serangga, khususnya belalang. Ada dua jenis pengaplikasian obat tanaman yang menjadi andalan petani, yaitu obat rendaman dan obat semprot. Obat rendaman digunakan dengan merendam bibit sebelum ditanam, kemudian tanaman akan bertahan tanpa gangguan hama sampai sekitar umur 40 hari. Hal ini menguntungkan petani karena penggunaan obat semprot akan merusak *milu* jika digunakan saat tanaman masih muda, sedangkan menurut pengakuan petani, setelah penanaman, Belalang sudah menunggu tumbuhnya tanaman di atas permukaan tanah, sehingga jika tumbuhan tumbuh bahkan baru 5 – 10 hari dengan pucuk kecil, sudah akan mati dimakan oleh Belalang. Kemudian ditemukan dalam pemeliharaan tanaman *kaca*, selain menggunakan obat kimia, petani yang kurang memiliki keuangan cukup, memiliki cara lain dalam menangani masalah ini, yaitu memasang *Tibo*, yang berupa kain bekas yang dibentuk dengan beberapa ranting di dalamnya kemudian di gantung ke tongkat panjang sehingga membentuk seperti tubuh manusia.

6.2.4 Panen

Panen dilakukan masyarakat dengan cara yang terbilang masih tradisional, karena belum begitu adanya perkembangan teknologi.

Pada proses panen *kaca*, peneliti menemukan petani melakukan panen dengan mencabut tumbuhan *kaca* dengan menggunakan tangan. Setelah pencabutan, *kaca* akan dibiarkan terjemur di atas permukaan tanah selama 2 hari sebelum dilanjutkan pada proses packing. Oleh karena itu, dibutuhkan tenaga kerja lebih banyak saat proses pemanenan, untuk lebih mempersingkat waktu. Kemudian ditemukan untuk pemanenan *milu*, sudah terdapat penggunaan alat alat tradisional seperti parang.

6.2.5 Pasca-Panen

Peneliti menemukan beberapa hal yang dilakukan masyarakat dalam tahap pasca-panen, yaitu :

1. Kegiatan pemilahan penjemuran

Kegiatan penjemuran dilakukan untuk mengurangi kadar air pada butir *kaca* dan *milu*. Untuk tanaman *kaca*, dilakukan penjemuran setelah proses pencabutan kurang lebih selama 2 hari. Setelah itu masuk pada proses pembersihan dan pemilahan. Untuk tanaman *milu*, proses pengeringan ditemukan perbedaan untuk cara pengeringannya, yaitu

- a) Dijemur langsung bersama tongkol setelah panen,
- b) Dijemur setelah dipisahkan biji jagung dari tongkolnya,
- c) Dijemur dengan dengan tongkol selama sekitar 1-2 hari, kemudian dirontokkan dan dijemur lagi.

Untuk alat dalam proses penjemuran juga bervariasi. Sebagian petani melakukan penjemuran di atas terpal, sebagian lagi menjemur langsung di lantai semen yang luas.

Kegiatan perontokkan juga terdapat sebagian besar sudah menggunakan mesin perontok.

2. Kegiatan pengangkutan

Proses pengangkutan dilakukan dengan 2 cara, yaitu tradisional dan modern. Sebagian besar petani melakukan pengangkutan hasil panen dengan menggunakan *roda*, yaitu gerobak tarik bertenagakan hewan ternak, sebagian ada yang

menggunakan kendaraan bermesin seperti mobil atau motor bebek.

Pengangkutan hasil pertanian juga dilakukan dengan menggunakan *kokoyongai* yaitu alat angkut yang berbentuk palang segitiga dan ditarik oleh sapi.

3. Kegiatan pemasaran

Pada proses pemasaran, ada dua bentuk yang paling dominan yaitu pemasaran kepada pengumpul, dan pemasaran yang dilakukan sendiri oleh petani kecil.

Pemasaran pada pengumpul dilakukan pada daerah-daerah pertanian yang jauh dari pusat perdagangan dan akses jalan yang sulit. Pada wilayah pertanian yang dekat dengan pasar, akan dipasarkan langsung oleh petani.

6.3 Bentuk Kearifan Lokal

Bentuk-bentuk kearifan lokal masyarakat dalam pengelolaan lahan pertanian di Sub DAS Alo yang ditemukan terlihat beragam, ada yang merupakan bentuk tradisi yang telah turun-temurun diterapkan, dan sebagian ada yang sudah merupakan perpaduan antara tradisi dan perkembangan sains seperti yang dibagi di bawah ini (Septiyanto, 2017).

6.3.1 Pemanfaatan Alat Tradisional.

Alat tradisional masih merupakan andalan masyarakat dalam pengelolaan lahan. *Popade'o*, *sabi*, dan *popate* merupakan alat yang paling sering digunakan dalam pengelolaan lahan. *Popade'o* digunakan dalam proses pembajakan atau disebut *pajeko*.

Popade'o merupakan pemanfaatan hewan ternak yaitu sapi yang kemudian diberikan alat berat berupa penggaruk di bagian belakangnya. Alat penggaruk ini yang kemudian akan diseret oleh sapi yang kemudian akan menggaruk lahan.



Gambar 71. Alat bajak *Popae'o*

6.3.2 Kepercayaan terhadap *Panggoba*, Ilmu perbintangan dan *Lowanga*.

Panggoba merupakan orang yang di tuakan yang menguasai ilmu perbintangan dan juga disebut sebagai penjaga pada tanaman agar tanam tidak di serang hama atau di rusak oleh hewan yang dapat merusak tanaman (Haliku, 2013).

- 1) Jam yang baik memulai pekerjaan.

Sebagian masyarakat Gorontalo memiliki kepercayaan tentang hari baik dan jam yang baik untuk memulai suatu pekerjaan.



Tabel 46. Jam yang baik memulai pekerjaan

Jam	06	07	08	09	10	11	12	1	2	3	4	5
Senin			\$	ص		ص	0				ص	
Selasa	ص		ص	0				ص	0			
Rabu	0			0	ص		ص	0			\$	
Kamis		ص			0				ص			0

Jum'at						ص		O	ص	\$		
Sabtu			ص	\$	ص	O		ص	O	ص		ص
Minggu	\$		O	\$		\$	ص		ص	O		

Sumber : Haliku. 2013

Keterangan :

ص : Benar \$: Kosong O : Rejeki  : Selamat  : Darah mati

Simbol-simbol diatas mengandung arti tersendiri bagi *panggoba*, contohnya jika kita memulai bekerja pada waktu jam enam pagi di hari senin pekerjaan yang kita kerjakan akan selamat. Jika memulai pekerjaan jam tujuh pagi pekerjaan yang kita kerjakan darah mati atau yang kita kerjakan tidak baik hasilnya. Namun jika dikerjakan di jam delapan pagi pekerjaan yang kita kerjakan memperoleh rejeki dan memperoleh keuntungan yang besar.

2) Hari Na'as setiap bulan (*Lowanga*).

Kepercayaan terhadap hari Na'has pada setiap bulan ditunjukkan pada Tabel 47.

Tabel 47. Hari Na'as setiap Bulan

No	Bulan	Hari Na'as
1	Muharam	Ahad
2	Safar	Rabu tapi baik
3	Rabbiul Awal	Jum'at
4	Rabbiul Akhir	Selasa
5	Jumadil Awal	Kamis
6	Jumadil Akhir	Sabtu
7	Rajab	Jum'at
8	Sya'ban	Kamis

9	Ramadhan	Selasa
10	Syawal	Sabtu
11	Zulkaidah	Senin
12	Zulhijjah	Rabu

Sumber : Hasil wawancara, 2016

Penentuan *lowanga* atau hari na'as merupakan hari perang Nabi pada masa lalu. Hari na'as ini berawal dari sejarah Nabi. Dulu para Nabi jika memulai perang mereka melihat bulan yang baik untuk memulai peperangan jika berada dibulan yang baik mereka akan memulai peperangan namun jika berada dalam bulan yang tidak baik mereka tiak akan melaksanakan peperangan (Haliku, 2013).

- 3) Perhitungan bulan di langit dan hari untuk di pakai pada semua pekerjaan.

Kepercayaan terhadap perhitungan bulan di langit dan hari untuk dipakai pada semua pekerjaan ditunjukkan pada Tabel 48.

Tabel 48. Perhitungan bulan di langit dan hari untuk dipakai pada semua pekerjaan

Nama Bulan	Bulan di Langit						
	1-5	6-11	12-18	19-21	22-27	28-30	
Muharam	Cahaya	Gelap	Cahaya	Sa'dah	Cahaya	Batal	
Safar	1-3	4-8	9-14	15-20	21-22	23-27	28-29
	Gelap	Cahaya	Batal	Cahaya	Sa'ada	Batal	Gelap

Rabiul Awal	1-10	11-12	13-19	20-23	29-30		
	Cahaya	Gelap	Cahaya	Sa'ada	Batal		
Rabiul Akhir	1-11	12-16	17-24	25-29			
	Cahaya	Gelap	Batal	Gelap			
Jumadil Awal	1-4	5-9	10-13	14-21	22-25	26-30	
	Sa'ada	Cahaya	Gelap	Cahaya	Batal	Cahaya	
Jumadil Akhir	1-6	7-12	13-17	18-23	24-27	28-29	
	Gelap	Cahaya	Batal	Cahaya	Batal	Gelap	
Rajab	1-2	2-4	8-12	19-20	21-24	25-29	30
	Gelap	Cahaya	Gelap	Cahaya	Batal	Cahaya	Batal
Sya'ban	1-3	4-7	8-12	13-20	21-25	26-28	29
	Gelap	Cahaya	Batal	Cahaya	Batal	Cahaya	Gelap
Ramadhan	1-7	8-10	11-15	16-17	18-23	24-28	29-30
	Cahaya	Gelap	Cahaya	Batal	Cahaya	Gelap	Batal
Syawal	1-12	13-14	15-18	19-20	21-28	29	
	Cahaya	Gelap	Batal	Sa'dah	Cahaya	Batal	
Zulkaidah	1-10	11-16	17-21	22-30			
	Gelap	Sa'ada	Batal	Cahaya			

				a			
Zulhijjah	1-6	7-9	10-11	12-17	18-21	22-30	
	Gelap	Cahaya a	Batal	Cahaya a	Sa'ada	Batal	

Sumber: Hasil wawancara, 2016.

Petani mengaku dalam penentuan waktu tanam, petani akan melakukan konsultasi dengan tetua, yang disebut dengan *panggoba*. *Panggoba* yang ada di Desa yang kemudian akan memberikan nasehat waktu tanam yang baik untuk petani terkait. *Panggoba* akan melihat kondisi perbintangan yang kemudian, yang kemudian katanya akan memberikan tanggal-tanggal baik untuk masa tanam.

Praktek seperti ini dikatakan bergantung kepada keyakinan petani terkait. Daud (2016) mengatakan..

“...tidak, saya punya langsung.., kalo umpama kan mo lia depe, kalo saya pe kobong memang so layak dia tanam, saya mo tanam. Saya tidak mo ba tunggu depe hari apa-hari apa. Yang penting saya somo ba tanam..”

Dalam pengontrolan hama, praktek seperti ini juga masih diterapkan, namun saat ini hanya diterapkan oleh petani-petani yang usia lanjut, mereka yang tidak mampu untuk membeli obat pembasmi hama. Petani tidak memerlukan obat kimia, melainkan menggunakan *Opo-opo* atau dapat dikatakan mengaplikasikan do'a-do'a atau mantera-mantera khusus pada bibit yang akan ditanam, sehingga tidak ada hama yang mengganggu pertumbuhan tanaman tersebut. Praktek lebih lengkap mengenai proses *opo-opo* ini masih dirahasiakan oleh petani.

6.3.3 Praktek Huyula.

Huyula berarti gotong royong, dimana pelaksanaan pengelolaan lahan dilakukan secara bersama. Namun hal ini ditemukan berkurang. Praktek *huyula* yang ditemukan merupakan

praktek penyewaan jasa pekerja, dimana dalam mengelola lahan seperti pada proses pemupukan dan proses panen, petani akan menyewa orang untuk membantu dalam pelaksanaannya untuk mempersingkat waktu dan menghemat tenaga. Petani yang memiliki lahan yang relatif kecil akan mengelola lahannya sendiri, sedangkan yang lebih besar akan menyewa pekerja untuk lebih meringankan. Proses pembiayaan beragam, dimana petani kadang membayar dengan uang, juga ada yang membayar dengan hasil panen.

6.3.4 Praktek Bio-konservasi.

Bentuk *kearifan lokal* yang berpadu dengan perkembangan ilmu pengetahuan juga dapat dilihat pada beberapa tahap lain seperti melakukan pemupukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia, pergiliran tanam, dan pengendalian erosi. Dalam proses pemupukan menggunakan bahan kimia, secara bijak petani tidak menggunakan pupuk kimia terkait secara besar-besaran, karena petani mengetahui penggunaan pupuk terlalu berlebihan akan mempengaruhi kondisi unsur hara tanah, yang kemudian akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Petani yang menggilir tanaman mengaku akan menggunakan pupuk kimia pada tanaman awal yang akan ditanam, kemudian untuk tanaman selanjutnya sudah tidak menggunakan pupuk lagi, karena diyakini pengaruh pupuk dari tanaman sebelumnya, masih dapat menopang pertumbuhan tanaman yang akan ditanam berikutnya. Bagi petani lain yang melakukan kegiatan serupa ditemukan ada yang memiliki alasan lain, yaitu kurangnya dana untuk membeli pupuk. Petani mengaku tidak menggunakan pupuk pada sebagian waktu tanam, karena tidak memiliki kecukupan untuk membeli pupuk.

Contoh perkembangan yang lain adalah pembuatan *tibo*, yang ditemukan pada tahap pemeliharaan. Kearifan lokal yang dikatakan Imam Santoso dalam Wikantiyoso (2006) yaitu merupakan perilaku positif manusia dalam berhubungan dengan

alam dan lingkungan sekitarnya, yang dapat bersumber dari nilai agama adat istiadat, petuah nenek moyang atau budaya setempat, yang terbangun secara alamiah dalam suatu komunitas masyarakat untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya, dapat menjadi penjelasan mengenai bentuk penggunaan *tibo* ini. Pergerakan *tibo* berasal dari tiupan angin dan goyangan dari petani dengan menggunakan tali yang terhubung ke *tibo*. *Tibo* disebar di lingkungan lahan dan saling terkait dengan tali panjang membentang dari satu *tibo* ke *tibo* lainnya, kemudian semua tali-tali penghubung ini dihubungkan sampai ke pondok petani, agar memudahkan untuk menariknya. Petani juga diketahui ada yang memasang pagar pelindung dengan menggunakan kain-kain bekas seperti kelambu atau sarung, mengelilingi lahan untuk mencegah hama besar seperti Babi (lihat Gambar 74).

Petani ditemukan juga melakukan tindakan konservasi lahan secara tidak sadar bahwa yang mereka lakukan merupakan bentuk konservasi lahan yang kemudian akan berefek baik bagi keberlanjutan penggunaan lahan. Bentuk konservasi yang diterapkan masyarakat dengan pengetahuan lokal ditemukan adanya usaha penahanan *erosi* secara vegetatif dan mekanis. Secara vegetasi, petani melakukan sistem yang disebut penanaman berganda dalam teknik konservasi, yaitu tumpang sari, yang merupakan sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman yang ditanam serentak (bersamaan) pada sebidang tanah baik secara campuran (*mixed intercropping*) maupun secara terpisah-pisah dalam baris-baris yang teratur atau *row intercropping* (Suripin, 2004)



Gambar 72. Pemanfaatan tibo.



Gambar 73. Pemanfaatan daun kelapa sebagai penahan erosi tebing



Gambar 74. Pemanfaatan tanaman pisang sebagai penahan erosi

Pola tanam tumpang sari juga merupakan kearifan local masyarakat Jawa Timur dalam pengelolaan lahan pertanian. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa di Jawa Timur, khususnya Kabupaten Bangkalan, Sampang, Pamengkasan, Sumenep, Lamongan, Kediri, Sidoarjo, Gresik dan Probolinggo terdapat 80 kombinasi tanaman tumpang sari, dimana terdapat sejumlah kesamaan model kombinasi tanaman antar daerah/petani satu dengan petani lainnya (Setiawan, 2009).

Sesuai pengakuan petani, mereka melakukan *tumpang sari* ini dikarenakan kurangnya bibit untuk salah satu jenis tanaman, sehingga dalam proses penanamannya, untuk memanfaatkan luas lahan maka dicampurkan dengan komoditas lain. Jenis tanaman yang ditemukan dikombinasikan oleh petani yaitu milu + kacang, milu + pisang, dan milu + pepaya. Ditemukan juga petani yang dalam lahan pertaniannya terdapat tanaman kelapa yang tumbuh tersebar. Petani mengaku tidak menebang pohon kelapa untuk menahan erosi, dan ada yang mengaku sebagai penambah penghasilan. Ditemukan pula proses konservasi mekanis dalam pengelolaan lahan, seperti pembuatan saluran air darurat dan pembuatan *terras*.

Gambar 75. Saluran air darurat.

Dalam perkembangannya, petani mengaku bahwa ketika musim hujan, air akan menghanyutkan tanah, sehingga akan merusak tanaman. Oleh karena itu, petani kemudian menggali saluran air di bagian yang paling sering dilalui oleh aliran permukaan, kemudian diteruskan ke luar lahan atau ke anak sungai, sehingga aliran permukaan tidak akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Namun kemudian tanpa disadari bahwa pengarah erosi ke anak sungai ini kemudian menjadi sebab penutupan aliran sungai yang menghambat saluran air untuk pertanian lain. Penutupan sumber air yang ditemukan di Desa Toyidito ini berupa tertutupnya saluran irigasi untuk perairan pertanian lahan basah (persawahan) yang ada, sehingga petani padi berhenti bertani dan beralih ke *milu* dan *kaca*. Petani mengaku bahwa penutupan perairan ini

dikarenakan oleh kegiatan pertanian Sawit, yang didatangkan dari luar Desa, yang kemudian melakukan pengolahan lahan besar-besaran sehingga menutup sumber perairan. Namun setelah diteliti lebih lanjut, sebagian besar pengelolaan lahan yang dilakukan petani juga memberikan sumbangan sedimen bagi penutupan pengairan di daerah tersebut.

Pada sisi lain, petani juga melakukan pengontrolan pengelolaan lahan, dimana petani mengaku tidak berulang melakukan pembajakan (*pajeko*), karena diakui bahwa semakin sering dilakukan pembajakan, akan menguras unsur hara tanah, dan tanah akan kehilangan tingkat kesuburannya. Yonar (2016) mengungkapkan saat diwawancarai mengenai proses pembajakan..

“...sekarang ini depe pajeko tinggal satu kali, tinggal mo ba tanam itu.. kan so ulang-ulang ini ba tanam, jadi supaya itu apa, tanah nyanda anu turus, kan biasa kalo hujan, musim hujan mo anyur ini tanah...”

Namun sebenarnya pembajakan yang berulang terus menerus juga dapat meningkatkan potensi erosi, seperti yang dikatakan Utomo dan Dexter (1982) dalam Suripin (2004) mengatakan bahwa dari segi konservasi tanah, pengelolaan tanah (dalam hal ini adalah *pembajakan*) malah merugikan, karena justru akan memperbesar kemungkinan timbulnya erosi pada lahan-lahan yang miring, apalagi jika sistem pengolahannya searah dengan kemiringan lahan atau tegak lurus garis kontur. Tanah yang diolah secara sepiantas memang dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi karena tanah menjadi gembur, akan tetapi pengaruh ini hanya sementara, tanah yang gembur akan menjadi lebih mudah dihancurkan oleh butiran air hujan.

Pola kearifan lokal atau pengetahuan lokal masyarakat dalam pengelolaan lahan pertanian pada perkembangannya juga memiliki sisi negatif lain, seperti ditemukan pada proses pengaplikasian pupuk. Cara petani dalam menggunakan pupuk, adalah dengan menaburkannya di sekitar batang tanaman, di atas permukaan tanah.

Petani menyadari bahwa hal ini sangat beresiko, dimana peluang pupuk untuk terbawa erosi sangat tinggi. Petani mengaku menggunakan cara demikian adalah untuk menghemat tenaga dan keuangan, dimana proses pemupukan dengan cara membuat lubang, sangat lama prosesnya. Walaupun menyewa tenaga kerja, biayanya akan tinggi. Ikram (2016) pada saat wawancara mengatakan..

“...Sebenarnya yang pake lobang itu gaga..bo karna.. itu-itu doi kan juga, kalo cuma mopangge kamari ini cuma sepuluh orang, ii orang yang ba kase lobang itu tiga puluh satu orang..kalo lima orang, seratus lima puluh. I orang yang ba pupuk, paling tinggi pangge kamari dalapan orang ato tujuh orang... sebenarnya yang untung itu lobang itu, karna dia kan pupuk tidak lari kamana-mana.”

Kearifan lokal yang berkembang dalam masyarakat yang ada di Sub DAS Alo saat ini merupakan proses pengembangan kepada proses adaptasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan. Hal ini dilihat pada berkurangnya pemanfaatan tradisi-tradisi seperti *panggoba*, *huyula* dan *perbintangan*. Petani melakukan pengelolaan lahan dengan mempertimbangkan biaya, tenaga, waktu dan fasilitas dengan hasil keuntungan yang didapatkan.

Watanabe (2010) menjelaskan tentang kearifan lokal masyarakat Jepang *Mitameshi* dalam pengelolaan lahan. Kearifan lokal ini di Jepang berhasil dalam mencegah kerusakan lahan dan perbaikan lingkungan.

BAB VII. PENUTUP

Daerah Aliran Sungai (DAS) Alo memiliki peranan penting dalam system daerah tangkapan air Danau Limboto. DAS Alo merupakan DAS dengan penyumbang sedimen terbesar ke Danau Limboto dengan nisbah pelepasan sedimen 0,59. Hal ini berarti 59% sedimen yang dihasilkan di DAS Alo akan bermuara dan masuk ke Danau Limboto.

Tipe longsor yang terjadi di DAS Alo adalah *rotational slide*, *rock blok slide* dan *slide flow*. Sebaran kejadian longsor terjadi pada lahan dengan lereng curam hingga sangat curam, tanah dengan tekstur lempung berlanau dan pada penggunaan lahan semak belukar. DAS Alo di Provinsi Gorontalo merupakan DAS yang memiliki tingkat kerawanan terhadap bencana longsor yang tinggi seluas 11.342,28 ha, kerawanan sedang seluas 10.005,44 ha, dan kerawanan rendah seluas 2.874,69 ha. Tingkat kerawanan bencana longsor yang tinggi tersebar di Desa Labanu, Desa Isimu Utara, Desa Botumoputi, Desa Buhu Kecamatan Tibawa dan Desa Ayumolingo, Desa Molamahu Kecamatan Pulubala.

Zona kerentanan longsor di DAS Alo Provinsi Gorontalo berada pada zona kerentanan sedang dengan total luas area 23.454,85 Ha dan zona kerentanan rendah dengan luas area 764,20 Ha. Zona kerentanan sedang tersebar hampir di seluruh wilayah desa di DAS Alo, sedangkan zona kerentanan rendah tersebar pada Desa Bongomeme, Desa Datahu dan Desa Ulobua.

Wilayah prioritas pengelolaan tinggi untuk mencegah terjadinya longsor meliputi Desa Labanu, Desa Isimu Utara, Desa Botumoputi, Desa Buhu Kecamatan Tibawa dan Desa Ayumolingo Desa Molamahu Kecamatan Pulubala.

DAFTAR PUSTAKA

- Anup, G., Gurung, O., Karki, R., & Eun, S. O. (2013). Improper agricultural practices lead to landslide and mass movement disasters: A case study based on upper Madi watershed. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30 - 38.
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). *Peraturan Kepala BNPB nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta: BNPB.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo. (2013). *Provinsi Gorontalo dalam Angka 2013*. Gorontalo: BPS Provinsi Gorontalo.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo. (2014). *Provinsi Gorontalo Dalam Angka 2014*. 2014: BPS Provinsi Gorontalo.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo. (2015). *Provinsi Gorontalo Dalam Angka 2015*. Gorontalo: BPS Provinsi Gorontalo.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo. (2016). *Provinsi Gorontalo Dalam Angka 2016*. Gorontalo: BPS Provinsi Gorontalo.
- Becker, D. R., McCaffrey, S. M., Abbas, D., Halvorsen, K. E., Jakes, P., & Moseley, C. (2011). Conventional Wisdoms of Wood Biomass Utilization on Federal Public Lands. *Journal of Forestry*, 208.

- Chaplot, V. A. (2003). Runoff Features for Interrill Erosion at Different Rainfall Intensities, Slope Lengths, and Gradients in an Agricultural Loessial Hillslope. . *Soil Science Society of America Journal*.
- Cook, R. a. (1990). *Geomorphology in Environmental Management*. Oxford: Clarendon Press.
- Daud, M. (2016, Juni). Kearifan Lokal Masyarakat Dalam Pengelolaan Lahan Pertanian di DAS Alo Kabupaten Gorontalo. (S. Jihad, Interviewer)
- Emre, Ö., & Çağlar Kıvanç, K. (2013). Landslide Susceptibility Analysis Of Camili (Macahel) Biosphere Reserve Area (Artvin, Ne Turkey). Volume 8/3, Winter 2013. *International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 8(3), pp. 471-491.
- Haliku, A. Y. (2013). *Panggoba Dan Peranannya Dalam Masyarakat Gorontalo*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Hardiyatmo, H. (2006). *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. . Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ikram. (2016, Juni). Kearifan Lokal Masyarakat Dalam Pengelolaan Lahan Pertanian di DAS Alo Kabupaten Gorontalo. (S. Jihad, Interviewer)
- Irianto, H. (2007). *Kajian Faktor-faktor yang Berpengaruh Terhadap Perilaku Petani Dalam Pengambilan Keputusan Penebangan Hutan Rakyat di Kabupaten Semarang*. . Yogyakarta: Program Studi Ilmu Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Lihawa, F., & Sutikno. (2009). The Effect of Watershed Environmental Condition and Landuse of Sediment Yield in

Alo-Pohu Watershed. *Indonesian Journal of Geography*, 103-122.

- Lihawa, F., Patuti, I. M., & Zainuri, A. (2015). *Zona Kerentanan Longsor di DAS Alo Provinsi Gorontalo*. Gorontalo: UNG.
- Loke, M. H. (2004). *Tutorial 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Retrieved from Geoelectrical: www.geoelectrical.com.
- Odum, E. (1971). *Fundamental of Ecology*. . Philadelphia and London: W.B. Saunders Co.
- Panizza, M. (1996). *Environmental Geomorphology*. Netherlands: Elsevier.
- Ritter, D. R. (1995). *Process Geomorphology*. . Wm.C. Brown Publisher.
- Rohim, M. H. (2010). *Applikasi Metode Geolistrik Sounding dengan Konfigurasi Pole-Pole Untuk Mengukur Resistivitas Bawah Permukaan Tanah dan Mengetahui Struktur Tanah*. Malang: UM Press.
- Septiyanto, J. (2017). *Kearifan Lokal Masyarakat Dalam Pengelolaan Lahan di DAS Alo Kabupaten Gorontalo*. Universitas Negeri Gorontalo, Jurusan ITK. Gorontalo: Jurusan ITK, Universitas Negeri Gorontalo.
- Setiawan, E. (2009, September). Kearifan lokal pola tanaman tumpangsari di Jawa Tengah. *Agrovigor*, 2(2), pp. 79-88.
- Seyhan, E. (1990). *Dasar-dasar Hidrologi*. (S. Subagyo, Trans.) Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi. Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. . Bandung: Nova.

- Sudmeler -Rieux, K., Jaboyedoff, M., Alain, B., & Dubois, J. (2011, May). The 2005 Pakistan Earthquake: Methods for Integrated Landslide Assesement. *Mountain Research and development*, pp. 112-121.
- Summerfield, M. (1991). *Global Geomorphology*. . New York: Longman Scientific & Technical. Copublished in the United States With John Wiley & Sons.
- Suratman, W. (2002). *Studi Erosi Parit dan Longsoran Dengan Pendekatan Geomorfologis di Daerah Aliran Sungai Oyo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. . Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Suripin. (2004). *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Andi.
- Syamsuddin. (2007). *Penentuan Struktur Geologi Dangkal dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahan Jenis 2*. . ITB Bandung, Program Pasca Sarjana. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Telford, W. M. (1990). *Applied geophysics 2nd Ed*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tun Lee, K. L.-T. (2006). Flow Analysis Of Landslide Dammed Lake Watersheds: A Case Study. . *Journal of the American Water Resources Association* , 1615-1628.
- Wahyu, & Nasrullah. (2012). Malacak, Manatak, Maimbul: Kearifan lokal petani Dayak Bakumpai dalam pengelolaan padi di lahan rawa pasang surut. *Komunitas*, 4(1), pp. 36 - 45. Retrieved from <http://journal.unnes.ac.id>
- Watanabe, T. (2010, September 28). *Local Wisdom of Land and Water Management: The Fundamental Anthroscape of*

Japan. Retrieved from Springer.com: [http%2F978-3-642-14782-1_16](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-14782-1_16)

Wikantiyoso Respati, P. T. (2009). *Kearifan Lokal dalam Perencanaan dan Perancangan Kota Untuk Mewujudkan Arsitektur Kota yang Berkelanjutan*. . Malang: Group Konservasi Arsitektur dan Kota.

Yonar. (2016, Juni). Kearifan Lokal Dalam Pengelolaan Lahan Pertanian di DAS Alo Kabupaten Gorontalo. (S. Jihad, Interviewer)

Zachar, D. (1982). *Soil Erosion*. . Bratislava: Developments in Soil Science 10.

BIODATA PENULIS



Fitryane Lihawa, lahir di Gorontalo pada tanggal 9 Desember 1969. Menempuh pendidikan tertinggi di Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pasca Sarjana - Universitas Gadjah Mada.

Sejak Tahun 1993 diangkat sebagai dosen di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) UNSRAT Manado di Gorontalo yang saat ini menjadi Universitas Negeri Gorontalo. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Pusat Studi Lingkungan IKIP Gorontalo pada Tahun 2002 – 2005, Sekretaris Lembaga Penelitian UNG Tahun 2010 – 2012 dan menjabat sebagai Ketua Lembaga Penelitian Tahun 2012 – 2014. Mulai tahun 2001 hingga saat ini aktif sebagai peneliti bidang Ilmu Lingkungan di Pusat Studi Lingkungan Universitas Negeri Gorontalo (UNG). Saat ini menjabat sebagai Kepala Pusat Studi Lingkungan dan Kependudukan UNG. Beberapa penghargaan yang pernah diraih adalah Satya Lencana Karya Satya X Tahun dan XX Tahun dari Presiden RI, lulus dengan predikat Cumlaude pada program S3 Ilmu Lingkungan UGM.

Penulis pemegang sertifikat kompetensi sebagai Ketua Tim Penyusun AMDAL (KTPA) dari BNSP dan sertifikat kompetensi pendidik dari Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan RI.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Alo merupakan salah satu DAS yang bermuara ke Danau Limboto dan memiliki peranan penting dalam sistem ekologi Danau Limboto. Pola tanam, perilaku masyarakat, tekanan kondisi ekonomi menyebabkan praktek pengolahan lahan pertanian di DAS Alo belum memperhatikan teknik-teknik konservasi tanah dan air. Hal ini memicu terjadinya degradasi lahan di daerah hulu DAS. Kejadian erosi, sedimentasi dan longsoran semakin meningkat, yang akhirnya berakibat buruk pada system ekologi Danau Limboto. Fungsi hidro orologis dalam kawasan DAS terganggu, hal ini mengakibatkan risiko bencana di kawasan DAS juga semakin meningkat.

Buku ini memberikan gambaran tentang kondisi DAS Alo ditinjau dari aspek fenomena erosi, sedimentasi dan longsoran. Materi dalam buku ini merupakan kumpulan berbagai hasil penelitian yang diadakan di DAS Alo. Isi buku ini diharapkan dapat memberikan gambaran secara menyeluruh tentang kondisi DAS Alo.

DAERAH ALIRAN SUNGAI ALO EROSI, SEDIMENTASI DAN LONGSORAN



Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)
Jl. Rajawali, Gang Elang 6 No.3, Drono, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman
Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581
Telp/Fax : (0274) 4533427
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)
cs@deepublish.co.id @penerbitbuku_deepublish
Penerbit Deepublish www.penerbitbukudeepublish.com

Kategori : Bumi, Geografi Fisik

ISBN 602453148-5



7 786024 531485