

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
INTISARI	viii
ABSTRACT.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Lokasi Penelitian.....	3
1.6 Batasan Penelitian.....	3
1.7 Penelitian Terdahulu	5
1.8 Keaslian Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Geologi Regional	8
2.1.1 Fisiografi	8
2.1.2 Stratigrafi	8
2.1.3 Struktur Geologi.....	10
2.2 Hidrogeologi Regional.....	12
BAB III DASAR TEORI DAN HIPOTESIS	14
3.1 Dasar Teori	14
3.1.1 Akuifer	14
3.1.2 Sifat Fisika-Kimia Air Tanah.....	16
3.1.3 Metode Geolistrik	18
3.1.4 Aliran Air Tanah	21

3.1.5	Analisis Geokimia Air Tanah	22
3.1.6	Metode Kurlov	23
3.1.1	Diagram Piper	24
3.1.2	Diagram Fingerprint.....	25
3.1.3	Diagram Komposisi	26
3.1.4	Isotop Air Tanah	28
3.1.5	Kestabilan Lereng	32
3.1.6	Metode Kesetimbangan Batas.....	34
3.1.7	Metode Fellinius	36
3.1.8	Metode Janbu yang Disederhanakan.....	37
3.1.9	Metode Morgenstern-Price	39
3.1.10	Teori Dasar Slope/W.....	40
3.2	Hipotesis	41
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		42
4.1	Alat dan Bahan Penelitian.....	42
4.1.1	Alat.....	42
4.1.2	Bahan	42
4.2	Tahapan Penelitian.....	43
BAB V PENYAJIAN DATA		54
5.1	Pengamatan Lapangan	54
5.2	Pengukuran Geolistrik	62
5.3	Pengukuran Muka Air Tanah.....	68
5.4	Pengukuran Sifat Fisika Kimia Air Tanah.....	69
5.5	Pengujian Geokimia Air Tanah	71
5.6	Pengujian Isotop Air Tanah	74
5.7	Analisis Rembesan Lereng	75
5.7.1	Analisis Rembesan Lereng Kondisi Awal	78
5.7.2	Analisis Rembesan Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong....	80
5.8	Analisis Stabilitas Lereng	81
5.8.1	Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Awal	82
5.8.2	Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong.....	84
BAB VI ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		86
6.1	Kondisi Hidrogeologi di Hulu Bendungan	86
6.1.1	Pola dan Arah Aliran Air Tanah	86

6.1.2	Sifat Fisika Kimia Air Tanah	89
6.1.3	Tipe Air Tanah	95
6.1.4	Genesa Air Tanah.....	102
6.1.5	Daerah Imbuhan Air Tanah.....	106
6.1.6	Konektivitas Hidrolika	112
6.2	Kondisi Geologi di Bendungan Kuwil Kawangkoan	123
6.2.1	Geomorfologi	123
6.2.2	Geologi Permukaan.....	127
6.2.3	Geologi As Bendungan	132
6.2.4	Geologi Terowongan Pengelak.....	135
6.2.5	Geologi Saluran Pelimpah	138
6.3	Pengaruh Air Tanah terhadap Stabilitas Lereng	140
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....		142
7.1	Kesimpulan	142
7.2	Saran	143
DAFTAR PUSTAKA		144
LAMPIRAN.....		149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Daerah Penelitian	4
Gambar 2.1	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Effendi dan Bawono, 1997)	11
Gambar 2.2	Peta Hidrogeologi Regional Daerah Penelitian (Sukrisno, 1994) ...	13
Gambar 3.1	Tipe Aquifer (Singhal dan Gupta, 2010)	15
Gambar 3.2	Prinsip Pengukuran Geolistrik (Husni dan Ansosry, 2019).....	19
Gambar 3.3	Konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i> (Husni dan Ansosry, 2019).....	20
Gambar 3.4	Diagram Piper (Fetter, 2001)	25
Gambar 3.5	Klasifikasi Fasies Hidrokimia dengan Diagram Piper (Fetter, 2001)	25
Gambar 3.6	Diagram Fingerprint (Mazor, 2004)	26
Gambar 3.7	Diagram Komposisi Satu Klaster (Mazor, 2004)	27
Gambar 3.8	Diagram Komposisi Dua Klaster (Mazor, 2004).....	27
Gambar 3.9	Diagram Komposisi dengan Pola Garis (Mazor, 2004).....	28
Gambar 3.10	Diagram Komposisi dengan Pola Segitiga (Mazor, 2004)	28
Gambar 3.11	Pengaruh Suhu terhadap Komposisi Isotop (Clark, 2015)	30
Gambar 3.12	Pengaruh Tingginya Curah Hujan terhadap Komposisi Isotop (Mazor, 2004)	30
Gambar 3.13	Pengaruh Kontinental terhadap Komposisi Isotop	31
Gambar 3.14	Pengaruh Ketinggian terhadap Komposisi Isotop	31
Gambar 3.15	Gaya yang Bekerja pada Metode Fellinius (Hardiyatmo, 2003)	36
Gambar 3.16	Gaya-gaya yang Bekerja pada Metode Janbu yang Disederhanakan (Eveny, 2014).....	37
Gambar 3.17	Nilai Koreksi pada Metode Janbu yang Disederhanakan (Abramson dkk., 2002)	38
Gambar 3.18	Gaya-gaya yang Bekerja pada Metode Morgenstern-Price (Takwin dkk., 2017).....	40
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 4.2	Peta Sebaran Titik Pengamatan Air Tanah	46
Gambar 4.3	Peta Lintasan Geolistrik	49
Gambar 4.4	Peta Lokasi Pengambilan Sampel Geokimia Air Tanah.....	50

Gambar 4.5	Peta Lokasi Pengambilan Sampel Isotop Air Tanah	51
Gambar 5.1	Tuf Lapili Batuapung.....	54
Gambar 5.2	Breksi Piroklastik.....	55
Gambar 5.3	Peta Pengamatan Lapangan Geologi Bendungan Kuwil Kawangkoan	61
Gambar 5.4	Penampang Geolistrik Lintasan KWL001	62
Gambar 5.5	Penampang Geolistrik Lintasan KWL002	63
Gambar 5.6	Penampang Geolistrik Lintasan KWL003	63
Gambar 5.7	Penampang Geolistrik Lintasan KWL004	64
Gambar 5.8	Penampang Geolistrik Lintasan KWL005	64
Gambar 5.9	Penampang Geolistrik Lintasan KWL006	65
Gambar 5.10	Penampang Geolistrik Lintasan KWL007	65
Gambar 5.11	Penampang Geolistrik Lintasan KWL008.....	66
Gambar 5.12	Penampang Geolistrik Lintasan KWL009	66
Gambar 5.13	Penampang Geolistrik Lintasan KWL010.....	67
Gambar 5.14	Penampang Geolistrik Lintasan KWL011	67
Gambar 5.15	Penampang Geolistrik Lintasan KWL012	68
Gambar 5.16	Peta Lokasi Sayatan Lereng.....	77
Gambar 5.17	Model Lereng pada Kondisi Awal.....	78
Gambar 5.18	Model Lereng pada Kondisi Diperkuat Bronjong	78
Gambar 5.19	Hasil Rembesan Lereng Kondisi Awal Elevasi MAT 116 mdpl.....	79
Gambar 5.20	Hasil Rembesan Lereng Kondisi Awal Elevasi MAT 118 mdpl.....	79
Gambar 5.21	Hasil Rembesan Lereng Kondisi Awal Elevasi MAT 120 mdpl.....	79
Gambar 5.23	Hasil Rembesan Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong Elevasi MAT 116 mdpl	80
Gambar 5.24	Hasil Rembesan Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong Elevasi MAT 118 mdpl	80
Gambar 5.25	Hasil Rembesan Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong Elevasi MAT 120 mdpl	81
Gambar 5.27	Hasil Simulasi Stabilitas Lereng Kondisi Awal pada MAT 116 mdpl	83
Gambar 5.28	Hasil Simulasi Stabilitas Lereng Kondisi Awal pada MAT 118 mdpl	83

Gambar 5.29	Hasil Simulasi Stabilitas Lereng Kondisi Awal pada MAT 120 mdpl	83
Gambar 5.28	Hasil Simulasi Stabilitas Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong pada MAT 116 mdpl.....	84
Gambar 5.29	Hasil Simulasi Stabilitas Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong pada MAT 118 mdpl.....	85
Gambar 5.30	Hasil Simulasi Stabilitas Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong pada MAT 120 mdpl.....	85
Gambar 6.1	Peta Pola dan Arah Aliran Air Tanah	88
Gambar 6.2	Persebaran Nilai TDS dalam mg/L.....	91
Gambar 6.3	Persebaran Nilai DHL dalam $\mu\text{s/cm}$	92
Gambar 6.4	Persebaran Nilai pH.....	93
Gambar 6.5	Persebaran Persebaran Nilai Suhu dalam $^{\circ}\text{C}$	94
Gambar 6.6	Peta Sebaran Tipe Air Tanah Metode Kurlov	96
Gambar 6.7	Hasil Plot Diagram Piper	100
Gambar 6.8	Peta Persebaran Tipe Air Tanah Metode Diagram Fingerprint	101
Gambar 6.9	Hasil Plot Isotop δD dan $\delta^{18}\text{O}$ Sampel Air Tanah	103
Gambar 6.10	Peta Persebaran Genesa Air Tanah.....	104
Gambar 6.11	Grafik Elevasi Versus Rasio Isotop δD Air Hujan di Minahasa Utara.....	107
Gambar 6.12	Grafik Elevasi Versus Rasio Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Air Hujan di Minahasa Utara.....	108
Gambar 6.13	Grafik Elevasi Versus Rasio Isotop δD Sampel Air Tanah.....	109
Gambar 6.14	Grafik Elevasi Versus Rasio Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Sampel Air Tanah.....	110
Gambar 6.15	Peta Daerah Imbuhan Air Tanah Hulu Bendungan	111
Gambar 6.16	Diagram Fingerprint Sampel Air Tanah Tipe 1	113
Gambar 6.17	Diagram Fingerprint Sampel Air Tanah Tipe 2.....	114
Gambar 6.18	Diagram Fingerprint Sampel Air Tanah Tipe 3.....	115
Gambar 6.19	Diagram Fingerprint Sampel Air Tanah Tipe 4.....	115
Gambar 6.20	Peta Sebaran Tipe Konektivitas Hidrolika.....	117
Gambar 6.21	Diagram Komposisi Ca terhadap TDI	118
Gambar 6.22	Diagram Komposisi Mg terhadap TDI	118
Gambar 6.23	Diagram Komposisi Na terhadap TDI.....	119
Gambar 6.24	Diagram Komposisi K terhadap TDI.....	119



Gambar 6.25	Diagram Komposisi Cl terhadap TDI.....	120
Gambar 6.26	Diagram Komposisi SO ₄ terhadap TDI	120
Gambar 6.27	Diagram Komposisi NO ₃ terhadap TDI.....	121
Gambar 6.28	Diagram Komposisi HCO ₃ terhadap TDI.....	121
Gambar 6.29	Peta Geomorfologi Daerah Penelitian	125
Gambar 6.30	Kenampakan Morfologi Satuan Kerucut Gunung Api Klabat.....	126
Gambar 6.31	Kenampakan Morfologi Satuan Perbukitan Bergelombang Sedang.....	127
Gambar 6.32	Peta Geologi Daerah Bendungan Kuwil Kawangkoan.....	128
Gambar 6.33	Peta Geologi Teknik Permukaan Daerah Bendungan Kuwil Kawangkoan (PT. Indra Karya Wilayah I, 2015).....	131
Gambar 6.34	Profil Geologi Teknik Sepanjang As Bendungan (PT. Indra Karya Wilayah I, 2015)	134
Gambar 6.35	Profil Geologi Teknik Sepanjang As Terowongan (PT. Indra Karya Wilayah I, 2015)	137
Gambar 6.36	Profil Geologi Sepanjang As Pelimpah	139

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Peneliti Terdahulu	5
Tabel 3.1	Klasifikasi Air Berdasarkan Nilai TDS (Todd and Mays, 2005)	16
Tabel 3.2	Nilai Resistivitas dari Beberapa Jenis Batuan (Maemuna, dkk., 2017)	20
Tabel 3.3	Kondisi Kesetimbangan Statis pada Metode Kesetimbangan Batas (Abramson, et al., 2002)	35
Tabel 3.4	Faktor Konversi dari mg/l ke meq/l (Todd dan Mays, 2005)	23
Tabel 3.5	Penamaan Fasies Air Tanah dengan Metode Kurlov (Suharyadi, 1984)	24
Tabel 3.6	Perhitungan Persentase Diagram Piper (Fetter, 2001).....	25
Tabel 5.1	Data Pengamatan Lapangan.....	56
Tabel 5.2	Data Muka Air Tanah pada Titik-Titik Kemunculan Air Tanah	68
Tabel 5.3	Data Pengukuran Sifat Fisika Kimia Air Tanah Daerah Penelitian	70
Tabel 5.4	Data Pengujian Ion Mayor Sampel Air Tanah.....	72
Tabel 5.5	Data Lokasi Pengambilan Sampel Isotop Air Tanah.....	74
Tabel 5.6	Data Rasio Isotop δD dan $\delta^{18}O$ Sampel Air Tanah	74
Tabel 5.7	Parameter Desain Material Bendungan Kuwil Kawangkoan (Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, 2021; PT. Indra Karya Wilayah I, 2012)	82
Tabel 5.8	Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng Kondisi Awal	84
Tabel 5.9	Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong..	85
Tabel 6.1	Analisis Tipe Air Tanah dengan Metode Kurlov.....	97
Tabel 6.2	Data Rasio Isotop δD dan $\delta^{18}O$ Sampel Air Hujan Minahasa Utara (PT. Tirta Invesatama, 2019)	107
Tabel 6.3	Perhitungan Elevasi Imbuhan dari δD dan $\delta^{18}O$	109
Tabel 6.4	Konektivitas Hidrolika di Daerah Penelitian	123
Tabel 6.5	Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Awal.....	140
Tabel 6.6	Stabilitas Lereng Kondisi Diperkuat Bronjong	141