

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
SURAT KETERANGAN PENELITIAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
SARI .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Maksud dan Tujuan.....	4
I.4 Manfaat Penelitian.....	5
I.5 Lingkup Penelitian .....	5
I.5.1 Lokasi Penelitian .....	5
I.5.2 Lingkup Kegiatan .....	5
I.6 Batasan Penelitian.....	6
I.7 Peneliti Terdahulu.....	8
I.8 Keaslian Penelitian .....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
II.1 Kondisi Geologi DAS Sejorong.....	13
II.1.1 Kondisi Geomorfologi.....	13
II.1.2 Kondisi Litologi.....	15
II.1.3 Struktur Geologi.....	18
II.2 Hidrogeologi DAS Sejorong.....	18
BAB III DASAR TEORI DAN HIPOTESIS .....	25
III.1 Pembentukan Air Asam Tambang.....	25
III.2 Lingkungan Asam.....	28
III.3 Ekuilibria Mineral Untuk Kontaminan .....	31
III.4 Konstanta Produk Kelarutan ( $K_{sp}$ ) .....	33
III.5 Migrasi Kontaminan.....	35
III.6 Transportasi Massa pada Air Tanah .....	37
III.6.1 Reaksi Kimia .....	38
III.6.2 Mekanisme Transportasi dan Model Numerik Transportasi Massa .....	38
III.6.3 <i>Plumes</i> sebagai Manifestasi dari Proses Transportasi Massa.	45
III.7 Model Air Tanah .....	46
III.8 Model Numerik Air Tanah.....	47
III.9 Jenis Model Numerik .....	49
III.10 Tipe Data Masukkan .....	50
III.11 Kondisi Batas Akuifer .....	51
III.11.1 Kondisi Batas Aliran Air Tanah .....	51
III.11.2 Kondisi Batas Transportasi Kontaminasi .....	53

III.11.3	Penghitungan Imbuhan Air Tanah.....	54
III.12	Model Konseptual Di Daerah Volkanik .....	55
III.13	<i>Rock Quality Designation (RQD)</i> .....	56
III.14	Visual MODFLOW .....	56
III.15	PHREEQC .....	57
III.16	Hipotesis .....	58
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN.....	59
IV.1	Alat Penelitian .....	59
IV.2	Bahan dan Data Penelitian .....	59
IV.3	Tahapan Penelitian .....	60
BAB V	PENGUTARAAN DATA .....	74
V.1	Geologi bawah permukaan DAS Sejorong .....	74
V.1.1	Tinjauan Topografi .....	74
V.1.2	Tinjauan Geologi .....	75
V.2	Hidrogeologi Bawah Permukaan DAS Sejorong .....	79
V.3	Kedudukan Muka Air Tanah.....	84
V.3.1	Elevasi Muka Air Tanah .....	84
V.3.2	Pola Air Tanah .....	85
V.4	Hidrogeologi DAS Sejorong .....	85
V.4.1	Sungai .....	85
V.4.2	Kondisi Metereologi Daerah Penelitian .....	87
V.5	Hidrogeokimia DAS Sejorong .....	90
V.5.1	Konsentrasi Sulfat Pada Air Tanah di DAS Sejorong .....	90
V.5.2	Konsentrasi Besi Pada Air Tanah di DAS Sejorong .....	92
V.5.3	Analisis Kejenuhan Mineral Pada Air Tanah di DAS Sejorong .....	93
V.6	Model Konseptual Daerah Penelitian .....	95
V.7	Pemodelan Air Tanah .....	96
V.7.1	Diskretisasi Daerah Model .....	96
V.7.2	Asumsi dan Batas Model Air Tanah .....	98
V.7.3	Data Masukan Model .....	101
V.7.4	Kondisi Batas Aliran .....	102
V.7.5	Sumur Pantau .....	103
V.7.6	Hasil Pemodelan Aliran Dan Kalibrasi Model .....	103
V.7.7	Pemodelan Transportasi Kontaminan Tidak Reaktif .....	105
V.7.8	Pemodelan Transportasi Kontaminan Reaktif .....	111
BAB VI	PEMBAHASAN .....	116
VI.1	Kadar dan Persebaran Sulfat di DAS Sejorong .....	116
VI.2	Kadar dan Persebaran Besi di DAS Sejorong .....	119
VI.3	Simulasi Transportasi Massa Sesuai Skenario <i>Mine Closure</i> .....	120
VI.3.1	Skenario 1 .....	122
VI.3.2	Skenario 2 .....	135
VI.3.3	Skenario 3 .....	148
VI.4	Diskusi .....	161
VI.5	Uji Sensitivitas .....	165
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN .....	168

VII.1 Kesimpulan .....	168
VII.2 Saran .....	169
DAFTAR PUSTAKA .....	170
LAMPIRAN .....	173

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta lokasi penelitian di DAS Sejorong .....	7
Gambar 2.1	Peta Geomorfologi DAS Sejorong (AMNT,2018) .....	14
Gambar 2.2	Peta geologi DAS Sejorong (AMNT,2018) .....	16
Gambar 2.3	Peta persebaran akuifer di DAS Sejorong .....	20
Gambar 2.4	Model konseptual daerah penelitian (Lorax-Schlumberger, 2014 ) .....	21
Gambar 2.5	Grafik pemantauan kadar sulfat dari sumur-sumur yang berada di <i>downstream</i> Santong .....	23
Gambar 2.6	Grafik pemantauan kadar besi dari sumur-sumur yang berada di <i>downstream</i> Santong .....	24
Gambar 3.1	Data dan konseptual model geokimia dari kontaminasi asam (Deutsch, 1997 dengan modifikasi) .....	27
Gambar 3.2	Proses geokimia pencemaran air asam tambang, Sumur B akan menghasilkan air tanah yang cukup baik karena berada di zona netral, sedangkan sumur A akan menghasilkan air asam (Deutsch, 1997, dengan modifikasi) .....	28
Gambar 3.3	Kelarutan senyawa anorganik pada air di berbagai suhu (Matthess dalam Kresic, 2007) .....	34
Gambar 3.4	Adsorpsi dan efek mineral ekuilibrium pada mobilitas kontaminan (Deutsch, 1997, dengan modifikasi).....	35
Gambar 3.5	Model konseptual akuifer rekahan di daerah vulkanik (Wyns, 2004 dalam Lachassagne, <i>et.al.</i> , 2009) .....	56
Gambar 4.1	Peta persebaran lokasi pengambilan data .....	64
Gambar 4.2	Peta persebaran lokasi <i>monitoring</i> kolam dan <i>seepage</i> .....	65
Gambar 4.3	Persebaran titik kalibrasi pemodelan aliran air tanah .....	67
Gambar 4.4	Skema Penelitian .....	72
Gambar 4.5	Skema Pemodelan .....	73
Gambar 5.1	Topografi DAS Sejorong .....	74
Gambar 5.2	Peta persebaran titik bor di DAS Sejorong dan sekitarnya yang memuat data litologi .....	76
Gambar 5.3	Sayatan yang dibuat di DAS Sejorong.....	77
Gambar 5.4	Penampang geologi DAS Sejorong .....	78
Gambar 5.5	Peta persebaran titik bor di DAS Sejorong dan sekitarnya yang memuat RQD.....	80
Gambar 5.6	Penampang permeabilitas DAS Sejorong yang didapat dari data RQD .....	82
Gambar 5.7	Penampang hidrostatigrafi DAS Sejorong.....	83
Gambar 5.8	Peta Muka Air Tanah (MAT) DAS Sejorong pada tahun 2016 (LKFT UGM, 2017) .....	86
Gambar 5.9	Grafik curah hujan stasiun WS 3A (AMNT, 2018) .....	87
Gambar 5.10	Grafik curah hujan stasiun RF-EV3 (AMNT, 2018).....	88
Gambar 5.11	Grafik curah hujan stasiun RF-5 (AMNT, 2018) .....	88
Gambar 5.12	Grafik curah hujan stasiun RF-5 (AMNT, 2018) .....	88

Gambar 5.13	Peta zonasi curah hujan daerah penelitian .....	89
Gambar 5.14	Grafik <i>time series</i> konsentrasi sulfat dari 3 sumur pantau dan sumur produksi di DAS Sejong .....	91
Gambar 5.15	Grafik <i>time series</i> konsentrasi sulfat dari 3 sumur pantau dan sumur produksi di DAS Sejong .....	93
Gambar 5.16	Model konseptual daerah penelitian .....	97
Gambar 5.17	Diskretisasi DAS Sejong secara vertikal .....	99
Gambar 5.18	Kurva kalibrasi model aliran air tanah .....	104
Gambar 5.19	Perbandingan MAT terkalkulasi (kiri) dan terobservasi (kanan) .....	105
Gambar 5.20	Rembesan yang berasal dari <i>stockpile</i> (tampak atas) .....	106
Gambar 5.21	Lokasi pengambilan sampel <i>monitoring</i> Kolam Santong .....	106
Gambar 5.22	Kenampakan <i>stockpile</i> .....	107
Gambar 5.23	Kurva kalibrasi model transportasi sulfat .....	111
Gambar 5.24	Kurva kalibrasi model transportasi besi .....	115
Gambar 6.1	Kadar dan persebaran sulfat di DAS Sejong .....	117
Gambar 6.2	Kadar dan persebaran sulfat di DAS Sejong .....	118
Gambar 6.3	Hasil pemodelan sulfat skenario 1 akhir Desember 2031 .....	124
Gambar 6.4	Hasil pemodelan sulfat skenario 1 akhir Januari 2032 .....	125
Gambar 6.5	Hasil pemodelan sulfat skenario 1 akhir Desember 2036 .....	126
Gambar 6.6	Hasil pemodelan sulfat skenario 1 akhir Desember 2116 .....	127
Gambar 6.7	Hasil pemodelan sulfat skenario 1 secara vertikal .....	128
Gambar 6.8	Hasil pemodelan besi skenario 1 akhir Desember 2031 .....	130
Gambar 6.9	Hasil pemodelan besi skenario 1 akhir Januari 2032 .....	131
Gambar 6.10	Hasil pemodelan besi skenario 1 akhir Desember 2036 .....	132
Gambar 6.11	Hasil pemodelan besi skenario 1 akhir Desember 2116 .....	133
Gambar 6.12	Hasil pemodelan besi skenario 1 secara vertikal .....	134
Gambar 6.13	Hasil pemodelan sulfat skenario 2 akhir Desember 2031 .....	137
Gambar 6.14	Hasil pemodelan sulfat skenario 2 akhir Januari 2032 .....	138
Gambar 6.15	Hasil pemodelan sulfat skenario 2 akhir Desember 2036 .....	139
Gambar 6.16	Hasil pemodelan sulfat skenario 2 akhir Desember 2116 .....	140
Gambar 6.17	Hasil pemodelan sulfat skenario 2 secara vertikal .....	141
Gambar 6.18	Hasil pemodelan besi skenario 2 akhir Desember 2031 .....	143
Gambar 6.19	Hasil pemodelan besi skenario 2 akhir Januari 2032 .....	144
Gambar 6.20	Hasil pemodelan besi skenario 2 akhir Desember 2036 .....	145
Gambar 6.21	Hasil pemodelan besi skenario 2 akhir Desember 2116 .....	146
Gambar 6.22	Hasil pemodelan besi skenario 2 secara vertikal .....	147
Gambar 6.23	Hasil pemodelan sulfat skenario 3 akhir Desember 2031 .....	149
Gambar 6.24	Hasil pemodelan sulfat skenario 3 akhir Januari 2032 .....	150
Gambar 6.25	Hasil pemodelan sulfat skenario 3 akhir Desember 2036 .....	151
Gambar 6.26	Hasil pemodelan sulfat skenario 3 akhir Desember 2116 .....	152
Gambar 6.27	Hasil pemodelan sulfat skenario 3 secara vertikal .....	153
Gambar 6.28	Hasil pemodelan besi skenario 3 akhir Desember 2031 .....	156
Gambar 6.29	Hasil pemodelan besi skenario 3 akhir Januari 2032 .....	157
Gambar 6.30	Hasil pemodelan besi skenario 3 akhir Desember 2036 .....	158
Gambar 6.31	Hasil pemodelan besi skenario 3 akhir Desember 2116 .....	159

Gambar 6.32	Hasil pemodelan besi skenario 3 secara vertikal .....	160
-------------	---	-----

### DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Tabel perbandingan penelitian dengan hasil peneliti sebelumnya .....	11
Tabel 2.1	Jenis batuan dan keberadaan air tanah di daerah penelitian (LKFT UGM, 2012).....	19
Tabel 2.2	Fasies hidrokimia air tanah di daerah kajian pada tahun 2011 (LKFT UGM, 2012 dengan modifikasi).....	22
Tabel 2.3	Karakteristik kelas air tanah di daerah kajian (Odinius, 2013 dengan modifikasi) .....	22
Tabel 3.1	Reaksi kimia yang terjadi selama transportasi massa pada air tanah (Domenico dan Schwartz, 1990) .....	38
Tabel 3.2	Persamaan dalam transportasi massa dengan mekanisme adveksi-dispersi .....	42
Tabel 3.3	Data masukkan model air tanah (Spitz dan Moreno,1996) .....	50
Tabel 4.1	Bahan dan data yang dibutuhkan dalam penelitian .....	59
Tabel 5.1	Konsentrasi sulfat di sumur pantau DAS Sejong yang diambil akhir tahun 2018 .....	91
Tabel 5.2	Konsentrasi besi di sumur pantau DAS Sejong yang diambil akhir tahun 2018 .....	92
Tabel 5.3	Daftar indeks kejenuhan mineral alunit, jarosit, dan melantherit pada sumur pantau .....	94
Tabel 5.4	Nilai konduktivitas litologi penyusun daerah penelitian .....	102
Tabel 5.5	Kalibrasi model aliran daerah penelitian .....	104
Tabel 6.1	Skenario pemodelan .....	121
Tabel 6.2	Pembagian keluaran model transportasi massa .....	121
Tabel 6.3	Input data kontaminan pada pemodelan transportasi sulfat skenario 1 .....	122
Tabel 6.4	Input data kontaminan pada pemodelan transportasi besi massa skenario 1 .....	129
Tabel 6.5	Input data kontaminan pada pemodelan transportasi sulfat massa skenario 2 .....	135
Tabel 6.6	Input data kontaminan pada pemodelan transportasi besi massa skenario 2 .....	142
Tabel 6.7	Input data kontaminan pada pemodelan transportasi sulfat massa skenario 3 .....	148
Tabel 6.8	Input data kontaminan pada pemodelan transportasi besi massa skenario 3 .....	155
Tabel 6.9	Konsentrasi <i>plume</i> sulfat pada hari ke 36500 .....	163
Tabel 6.10	Konsentrasi <i>plume</i> besi pada hari ke 36500 .....	164
Tabel 6.11	Skenario uji sensitivitas pada model transportasi sulfat .....	166
Tabel 6.12	Hasil uji sensitivitas pada mdoel transportasi sulfat .....	166