

## DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| HALAMAN JUDUL .....  | i   |
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | ii  |
| PERNYATAAN .....   | iii |
| INTISARI .....   | iv  |
| ABSTRACT .....   | v   |
| KATA PENGANTAR .....   | vi  |
| DAFTAR ISI .....   | vii |
| DAFTAR GAMBAR .....  | x   |
| DAFTAR TABEL .....   | xii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>   |     |
| I.1. Latar Belakang .....  | 1   |
| I.2. Rumusan Masalah .....   | 3   |
| I.3. Maksud dan Tujuan .....   | 4   |
| I.4. Manfaat Penelitian .....  | 4   |
| I.5. Batasan Penelitian .....  | 5   |
| I.6. Lokasi Penelitian .....   | 5   |
| I.7. Penelitian Terdahulu dan Keaslian Penelitian .....  | 6   |
| I.7.1 Penelitian Terdahulu .....   | 6   |
| I.7.2 Keaslian Penelitian .....  | 12  |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>   |     |
| II.1. Geomorfologi Regional .....  | 13  |
| II.2. Stratigrafi Regional .....   | 14  |
| II.3. Struktur Geologi Regional .....  | 16  |
| II.4. Mineralisasi Regional .....  | 16  |
| <b>BAB III DASAR TEORI</b>   |     |
| III.1. Pencemaran Lingkungan oleh Logam Berat .....  | 18  |
| III.2. Sumber Logam Berat Pencemar Lingkungan .....  | 21  |
| III.2.1 Sumber Alami/ Geogenik .....   | 21  |
| III.2.2 Sumber Antropogenik .....  | 24  |
| III.3. Pertambangan Emas Tradisional dan Skala Kecil ( <i>Artisanal and Small-scale Gold Mining</i> ) dan Pencemaran Logam Berat ..... | 26  |

|  |     |
|--|-----|
| <b>III.4. Pencemaran Air Sungai oleh Logam Berat pada Pertambangan Tradisional Emas Skala Kecil (<i>Artisanal and Small-scale Gold Mining</i>)</b> ..... | 28  |
| <b>III.5. Transportasi dan Penyebaran Logam Berat pada Air Sungai</b> .....  | 31  |
| <b>III.6. Analisis Unsur Logam Berat dengan ICP-AES</b> .....  | 33  |
| <b>III.7. Analisis Statistika</b> .....  | 35  |
| <b>III.8. Hipotesis Penelitian</b> .....   | 42  |
| <br><b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>  |     |
| <b>IV.1. Alat dan Bahan Penelitian</b> .....   | 44  |
| <b>IV.2. Tahapan Penelitian</b> .....  | 45  |
| <b>IV.3. Jadwal Penelitian</b> .....   | 57  |
| <br><b>BAB V PENGUTARAAN DATA</b>  |     |
| <b>V.1. Geologi Daerah Penelitian</b> .....  | 58  |
| V.1.1. Geomorfologi Daerah Penelitian .....  | 58  |
| V.1.2. Litologi Penyusun Daerah Penelitian .....   | 64  |
| V.1.3. Struktur Geologi Daerah Penelitian .....  | 72  |
| <b>V.2. Lokasi Penambangan Emas Tradisional dan Skala Kecil di Daerah Penelitian</b> .....   | 75  |
| <b>V.3. Hasil Analisis Laboratorium</b> .....  | 77  |
| V.3.1. Kandungan Logam Berat dalam Urat Batuan .....   | 77  |
| V.3.2. Kandungan Logam Berat dalam Air Sungai .....  | 78  |
| <br><b>BAB VI ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>  |     |
| <b>VI.1. Analisis Spasial</b> .....  | 93  |
| VI.1.1. Pola Penyebaran Arsen dalam Air Sungai di Daerah Penelitian ...  | 94  |
| VI.1.2. Pola Penyebaran Kadmium dalam Air Sungai di Daerah Penelitian .....  | 95  |
| VI.1.3. Pola Penyebaran Tembaga dalam Air Sungai di Daerah Penelitian .....  | 97  |
| VI.1.4. Pola Penyebaran Merkuri dalam Air Sungai di Daerah Penelitian .....  | 99  |
| VI.1.5. Pola Penyebaran Timbal dalam Air Sungai di Daerah Penelitian .....   | 101 |
| VI.1.6. Pola Penyebaran Seng dalam Air Sungai di Daerah Penelitian .....   | 103 |
| <b>VI.2. Analisis Statistika</b> .....   | 106 |
| VI.2.1. Statistika Deskriptif .....  | 106 |
| VI.2.2. Uji Normalitas .....   | 110 |
| VI.2.3. Uji Komparatif .....   | 112 |
| VI.2.4. Uji Korelasi .....   | 114 |

|  |     |
|--|-----|
| VI.2.5. Analisis Gugus .....                           | 116 |
| VI.2.6. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)..... | 118 |

## **BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN**

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| VII.1. Kesimpulan .....     | 126 |
| VII.2. Saran .....          | 126 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> ..... | 128 |

## **LAMPIRAN**

|  |     |
|--|-----|
| <b>1. TITIK LOKASI PENGAMBILAN SAMPEL</b> .....                                    | 134 |
| <b>2. PETA LINTASAN GEOLOGI</b> .....  | 135 |
| <b>3. HASIL UJI T (<i>T-TEST</i>)</b> .....  | 136 |
| <b>4. HASIL UJI KORELASI SPEARMAN</b> .....  | 138 |
| <b>5. HASIL ANALISIS GUGUS HIRARKI (HCA)</b> .....                                 | 139 |
| <b>6. HASIL <i>PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS</i> (PCA)</b> .....                    | 140 |
| <b>7. PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 32 TAHUN 2017</b> ..... | 142 |
| <b>8. PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 82 TAHUN 2001</b> .....                           | 143 |

## DAFTAR GAMBAR

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Gambar 1.1.</b> | Lokasi administratif daerah penelitian .....   | 6  |
| <b>Gambar 2.1.</b> | Peta fisiografi Pulau Jawa bagian tengah dan timur (van Bemmelen, 1949 dengan modifikasi) .....  | 14 |
| <b>Gambar 2.2.</b> | Peta geologi regional Kecamatan Jatiroto dan sekitarnya (Sampurno dan Samodra, 1997) .....   | 15 |
| <b>Gambar 3.1.</b> | Proses (a) Dendogram dengan gugus awal AB dan CD; (b) Objek E dihubungkan dengan gugus awal CD; (c) Penghubungan akhir antara gugus AB dan CDE, serta penghubungan objek F. Nilai -1.0 sampai 1.0 adalah nilai koefisien korelasi/r. (Davis, 2002) ..... | 41 |
| <b>Gambar 4.1.</b> | Peta Titik Pengambilan Sampel Air Sungai di Daerah Penelitian.....   | 47 |
| <b>Gambar 4.2.</b> | (a) Pengukuran pH air sungai dengan menggunakan kertas indikator pH meter. (b) Sampel air dimasukkan ke dalam botol 100 mL melalui <i>filter</i> 0,45 $\mu\text{m}$ .....  | 49 |
| <b>Gambar 4.3.</b> | (a) Pemberian larutan asam nitrat ke sampel air sungai. (b) Pengecekan pH sampel air sungai setelah ditetesi larutan asam nitrat untuk memastikan pH sampel <2 .....   | 49 |
| <b>Gambar 4.4.</b> | (a)Penyegelan dan pelabelan sampel air sungai. (b)Penyimpanan sampel-sampel air sungai ke dalam <i>cooler box</i> .....  | 50 |
| <b>Gambar 4.5.</b> | Skema tahap penelitian .....   | 56 |
| <b>Gambar 5.1.</b> | Satuan perbukitan struktural berlereng curam yang menyusun sebagian besar morfologi daerah penelitian (kamera menghadap selatan)Peta geologi daerah penelitian .....   | 59 |
| <b>Gambar 5.2.</b> | Morfologi lembah sungai yang menyerupai huruf V (kamera menghadap timurlaut) .....   | 60 |
| <b>Gambar 5.3.</b> | Satuan perbukitan struktural berlereng agak curam (kamera menghadap tenggara) .....  | 62 |
| <b>Gambar 5.4.</b> | Morfologi lembah sungai menyerupai huruf U (kamera menghadap timur) .....  | 62 |
| <b>Gambar 5.5.</b> | Peta geomorfologi daerah penelitian.....   | 64 |
| <b>Gambar 5.6.</b> | Kenampakan singkapan lava andesit dengan struktur vesikuler. Urat tipis memotong lava andesit .....  | 66 |
| <b>Gambar 5.7.</b> | Urat kuarsa yang mengisi kekar pada lava andesit .....   | 66 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Gambar 5.8.</b>  | (a) Singkapan breksi andesit; (b) Fragmen breksi andesit; (c) Matriks breksi andesit .....   | 68 |
| <b>Gambar 5.9.</b>  | Singkapan endapan pasir kerakalan penyusun tebing sungai (kamera menghadap barat laut) .....   | 70 |
| <b>Gambar 5.10.</b> | Peta geologi daerah penelitian dalam skala 1:25000 .....   | 71 |
| <b>Gambar 5.11.</b> | Profil geologi A-B dan C-D pada daerah penelitian .....  | 72 |
| <b>Gambar 5.12.</b> | Sesar normal Boto yang dijumpai di daerah penelitian. (a) Bidang <i>offset</i> sesar normal pada STA 2 LP 2. (b) Bidang <i>offset</i> sesar normal pada STA 11 .....   | 73 |
| <b>Gambar 5.13.</b> | Bidang <i>offset</i> sesar geser kiri Guno yang memotong satuan lava andesit (kamera menghadap timur). .....   | 74 |
| <b>Gambar 5.14.</b> | Terowongan tambang emas yang telah inaktif memotong batuan lava andesit pada (a) STA 5 (kamera menghadap timur); (b) di sebelah baratdaya STA 2 LP 1 (kamera menghadap selatan).....   | 76 |
| <b>Gambar 5.15.</b> | Grafik yang menunjukkan nilai kandungan arsen dari daerah hulu hingga hilir sungai di daerah penelitian. Kandungan arsen relatif menurun semakin ke arah hilir sungai.....   | 85 |
| <b>Gambar 5.16.</b> | Grafik yang menunjukkan nilai kandungan tembaga dan seng dari daerah hulu hingga hilir sungai di daerah penelitian. Pola grafik kedua unsur tersebut relatif sama dan menunjukkan kandungan yang semakin menurun ke arah hilir sungai .....    | 86 |
| <b>Gambar 5.17.</b> | Grafik yang menunjukkan nilai kandungan kadmium dan merkuri dari daerah hulu hingga hilir sungai di daerah penelitian. Pola grafik kedua unsur tersebut relatif sama dan menunjukkan kandungan yang semakin menurun ke arah hilir sungai ..... | 87 |
| <b>Gambar 5.18.</b> | Grafik yang menunjukkan nilai kandungan timbal dari daerah hulu hingga hilir sungai di daerah penelitian. Pola grafik kedua unsur tersebut relatif sama dan menunjukkan kandungan yang semakin menurun ke arah hilir sungai.....               | 88 |
| <b>Gambar 5.19.</b> | Grafik pH air sungai dari daerah hulu hingga hilir di daerah penelitian .....  | 89 |
| <b>Gambar 5.20.</b> | Persebaran titik lokasi pengambilan sampel pada peta geologi daerah penelitian.....  | 90 |
| <b>Gambar 6.1.</b>  | Peta penyebaran logam berat As dalam air sungai di daerah penelitian .....   | 94 |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Gambar 6.2.</b> | Peta penyebaran logam berat Cd dalam air sungai di daerah penelitian .....   | 96  |
| <b>Gambar 6.3.</b> | Peta penyebaran logam berat Cu dalam air sungai di daerah penelitian .....   | 98  |
| <b>Gambar 6.4.</b> | Peta penyebaran logam berat Hg dalam air sungai di daerah penelitian .....   | 100 |
| <b>Gambar 6.5.</b> | Peta penyebaran logam berat Pb dalam air sungai di daerah penelitian .....   | 102 |
| <b>Gambar 6.6.</b> | Peta penyebaran logam berat Zn dalam air sungai di daerah penelitian .....   | 104 |
| <b>Gambar 6.7.</b> | Dendogram hasil analisis kluster hirarki pada keenam unsur logam berat ..... | 117 |

## DAFTAR TABEL

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Tabel 1.1</b> | Ringkasan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kondisi geologi daerah penelitian dan topik penelitian serta relevansinya dengan topik penelitian .....  | 7   |
| <b>Tabel 3.1</b> | Parameter kimia terpilih dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi .....  | 19  |
| <b>Tabel 3.2</b> | Tabel Daftar Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas Peruntukan Air dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 .....  | 21  |
| <b>Tabel 3.3</b> | Konsentrasi rata-rata beberapa unsur logam dan semilogam dalam kerak Bumi dan batuan (Reimann dan Caritat, 1998) .....  | 22  |
| <b>Tabel 3.4</b> | Kadar beberapa unsur jejak (termasuk logam berat dan semilogamtoksik) pada mineral sulfida terpilih dalam satuan mg/kg (Levinson, 1980 dalam Sellinus dkk, 2012).....                                       | 23  |
| <b>Tabel 3.5</b> | Konsentrasi beberapa unsur jejak (dalam satuan mg/kg) dalam pupuk yang digunakan dalam kegiatan agrikultur (Fuge, 2013 dalam Sellinus dkk, 2013).....   | 25  |
| <b>Tabel 3.6</b> | Konsentrasi logam beberapa logam dalam air tawar ( <i>fresh water</i> ) dan sungai dari beberapa penulis.....   | 31  |
| <b>Tabel 4.1</b> | Alat-alat yang digunakan dalam penelitian .....   | 44  |
| <b>Tabel 4.2</b> | Jadwal penelitian .....   | 57  |
| <b>Tabel 5.1</b> | Hasil analisis kandungan logam berat dalam sampel urat batuan .....   | 77  |
| <b>Tabel 5.2</b> | Hasil analisis kandungan logam berat dalam sampel air sungai serta pH air sungai.....   | 80  |
| <b>Tabel 5.3</b> | Rangkuman batas maksimal nilai beberapa parameter untuk menentukan kelayakan dan peruntukan air .....   | 82  |
| <b>Tabel 6.1</b> | Hasil analisis statistika deskriptif kandungan keenam unsur logam berat dalam air sungai.....   | 107 |
| <b>Tabel 6.2</b> | Perbandingan nilai kadar rata-rata logam berat dalam air sungai dengan standar baku mutu .....  | 108 |
| <b>Tabel 6.3</b> | Perbandingan konsentrasi logam beberapa logam dalam air tawar ( <i>fresh water</i> ) dan sungai dari beberapa sumber pustaka dengan kadar rata-rata logam berat dalam air sungai di daerah penelitian ..... | 109 |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Tabel 6.4</b> | Hasil uji normalitas kadar keenam unsur logam berat dalam air sungai dengan metode Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk..... | 110 |
| <b>Tabel 6.5</b> | Hasil uji t independen enam unsur logam berat dalam air sungai di daerah penelitian.....                                    | 113 |
| <b>Tabel 6.6</b> | Hasil uji korelasi Spearman pada enam unsur logam berat dengan nilai koefisien korelasi Spearman yang bervariasi .....      | 115 |
| <b>Tabel 6.7</b> | Hasil uji KMO dan Barlett untuk menguji kelayakan komponen pada uji PCA.....  | 119 |
| <b>Tabel 6.8</b> | Hasil uji varian pada setiap komponen di uji PCA.....   | 119 |
| <b>Tabel 6.9</b> | Hasil uji PCA menghasilkan 2 komponen/ faktor berdasarkan nilai <i>eigenvalue</i> >1 .....                                  | 120 |