

Yayu Indriati Arifin

ideas
PUBLISHING

Geowisata,

Solusi Pencemaran Lingkungan Pertambangan Emas Rakyat

(Studi Kasus Desa Tulabolo Gorontalo)



**Geowisata,
Solusi Pencemaran Lingkungan
Pertambangan Emas Rakyat
(Studi Kasus Desa Tulabolo Gorontalo)**

Yayu Indriati Arifin

**Geowisata,
Solusi Pencemaran Lingkungan
Pertambangan Emas Rakyat
(Studi Kasus Desa Tulabolo Gorontalo)**



IP.044.10.2021

**Geowisata, Solusi Pencemaran Lingkungan
Pertambangan Emas Rakyat
(Studi Kasus Desa Tulabolo Gorontalo)**

Yayu Indriati Arifin

Pertama kali diterbitkan pada Oktober 2021

Oleh **Ideas Publishing**

Alamat: Jalan Ir. Joesoef Dalie No. 110

Kota Gorontalo

Surel: infoideaspublishing@gmail.com

Anggota IKAPI No. 001/GORONTALO/14

ISBN: 978-623-234-194-4

Penyunting : Mira Mirnawati

Penata Letak : Siti Khumaira Dengo

Desainer Sampul : Ilham Djafar

Dilarang mengutip, memperbanyak, atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apa pun, baik secara elektronis dan mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, maupun dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis dari penerbit.

Daftar Isi

Prakata — vii

Acknowledgement — ix

Bab 1	Pendahuluan	1
A.	Permasalahan Merkuri di Pertambangan Emas	1
1.	Dampak Merkuri di Pertambangan Emas bagi Masyarakat dan Lingkungan	1
2.	Merkuri di Pertambangan Emas Gorontalo	5
B.	Kajian Teori: Geowisata sebagai Solusi bagi Pertambangan Emas Rakyat di Gorontalo	13
1.	Pemetaan Potensi Geowisata.....	15
2.	Potensi Geowisata di Provinsi Gorontalo	16
C.	Partisipasi Masyarakat Lokal bagi Pembangunan Pariwisata yang Berkelanjutan ..	17
D.	Tujuan Dilakukannya Penelitian Ini	18
E.	Metode Penelitian yang Digunakan.....	19
1.	Tahap Persiapan dan Studi Pendahuluan.....	21
2.	Tahap Pengambilan Data Lapangan.....	23
3.	Tahap Analisis dan Pengolahan Data	24
Bab 2	Pencemaran dari Pertambangan di Tulabolo	27
A.	Dampak Proses Amalgamasi bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungan.....	27
B.	Dampak Proses Amalgamasi bagi Kesehatan dan Lingkungan	29
Bab 3	Bahaya Merkuri bagi Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan	33
A.	Bahaya Merkuri dari Proses Amalgamasi.....	33
B.	Polusi Merkuri.....	36
C.	Proses Pembentukan Logam Berat	38
D.	Proses Geologi Pembentukan Logam Berat	39
Bab 4	Karakteristik Geologi Regional Gorontalo	43
A.	Fisiografi Regional Gorontalo	43
B.	Struktur Geologi Regional Gorontalo	45

C. Stratigrafi Regional Gorontalo	49
Bab 5 Analisis Potensi dan Risiko	
Pertambangan Emas Rakyat	
di Desa Tulabolo Gorontalo.....	61
A. Sejarah Pertambangan Emas di Gorontalo	61
B. Praktik Pertambangan Emas Rakyat.....	62
C. Risiko	63
D. Identifikasi <i>Geodiversity</i> Desa Tulabolo.....	64
E. Potensi Geologi.....	73
F. Sektor Pariwisata	75
Bab 6 Penutup.....	79
A. Simpulan.....	79
B. Rekomendasi	80
Glosarium	83
Daftar Pustaka	85
Indeks.....	95
Tentang Penulis.....	97

Prakata

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. Atas Izin dan kuasa-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ini dengan judul ***Geowisata, Solusi Pencemaran Lingkungan Pertambangan Emas Rakyat (Studi Kasus Desa Tulabolo Gorontalo)***.

Dari penulisan buku ini, diharapkan pembaca mendapat wawasan mengenai bahaya merkuri. Lebih khusus lagi tentang masalah pencemaran merkuri di Provinsi Gorontalo. Perhiasan berupa emas merupakan kebutuhan khusus yang tidak bisa dilepaskan dari kehidupan sehari-hari. Permintaan yang tinggi akan material emas menjadikan pertambangan emas menjadi usaha yang lumayan menguntungkan. Melakukan pertambangan secara legal perlu dilakukan dengan memenuhi standar prosedur yang baku, berbeda dengan pertambangan emas secara ilegal yang prosedurnya seringkali mengabaikan keselamatan, kesehatan, dan lingkungan sekitar. Dengan mengabaikan prosedur yang baku, pertambangan emas ilegal di Provinsi Gorontalo terus bermunculan.

Dalam penulisan buku ini, penulis telah berupaya untuk memberikan data faktual yang diambil dari penelitian sebelumnya dan hasil pengambilan data secara langsung di lapangan. Walaupun demikian, buku ini masih memiliki beberapa kekurangan yang penulis sendiri tidak menyadarinya. Maka dari itu, penulis selalu bersedia untuk menerima kritik dan saran dari semua pihak yang bisa dijadikan sebagai referensi dalam pengembangan buku ini.

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penulisan buku ini dari awal hingga akhirnya dapat selesai tersusun. Semoga Tuhan senantiasa melimpahkan rahmat-Nya untuk kita semua.

Gorontalo, Oktober 2021
Penulis

Acknowledgement

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Riset untuk Kemanusiaan dan Alam (RIHN) yang merupakan anggota dari NIHU, dengan nomor proyek 14200102.

Bab 1

Pendahuluan

A. Permasalahan Merkuri di Pertambangan Emas

Sejak zaman dulu emas memiliki nilai yang sangat tinggi sebagai aksesoris yang digunakan oleh manusia [1]. Oleh karena itu, aktivitas pertambangan emas baik yang dilakukan secara legal maupun ilegal terus dilakukan dan berkembang sesuai dengan peradaban manusia.

Berikut ini diuraikan permasalahan merkuri di pertambangan emas rakyat di Gorontalo.

1. Dampak Merkuri di Pertambangan Emas bagi Masyarakat dan Lingkungan

Pertambangan emas yang dilakukan secara legal tentu dilakukan dengan standar prosedur yang baku dan benar. Berbeda dengan pertambangan emas ilegal yang prosedurnya seringkali mengabaikan keselamatan, kesehatan, dan lingkungan sekitarnya [2]. Salah satunya terjadi pada pertambangan emas rakyat.

Salah satu contoh akibat dari mengabaikan keselamatan, kesehatan, dan lingkungan sekitarnya yaitu tragedi Minamata di Jepang pada tahun 1960 [3]. Tragedi ini disebabkan oleh racun *methylmercury* (HgCH_3) dari ikan yang

telah terkontaminasi dan dikonsumsi oleh masyarakat yang mengakibatkan 1.784 jiwa meninggal [4]. Peristiwa ini menjadi kejadian awal yang menyebabkan dunia sadar bahaya merkuri bagi kelangsungan hidup manusia.

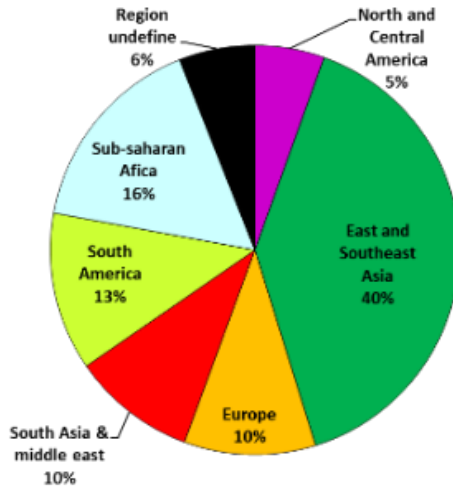
Setelah kasus yang terjadi di Jepang disusul oleh kasus Basra, Irak. Kasus Basra menyebabkan 10.000 jiwa kehilangan nyawa akibat *methymercury* [5]. Kemudian disusul lagi oleh kasus yang sama di Swedia dan USA [6].

Sampai saat ini belum ditemukan metode untuk menyembuhkan korban akibat racun merkuri. Namun, proses pencegahan melalui pengelolaan lingkungan serta mengeliminasi racun merkuri dari lingkungan sedang terus dikembangkan oleh para ahli.

Salah satu contoh kasus yang terjadi di Indonesia adalah peristiwa Teluk Buyak yang terjadi akibat penggunaan merkuri atau air raksa (Hg) yang sangat masif digunakan di daerah pertambangan. Selain itu, peristiwa Teluk Buyak di Indonesia terjadi karena pembelian air raksa atau merkuri atau mereka menyebutnya "*quick*" sangat mudah diperoleh.

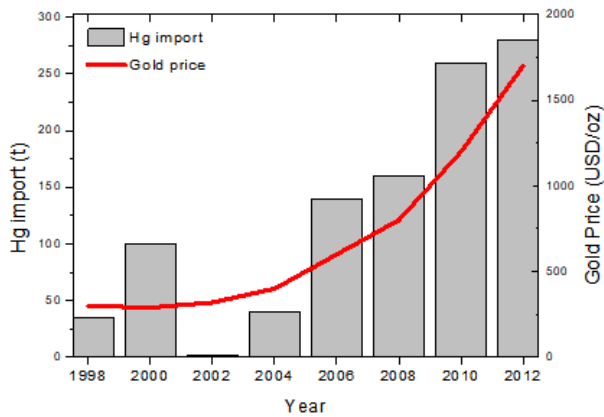
Setiap pemodal atau bandar yang menampung hasil emas (bijih emas) biasanya menyediakan atau menjual air raksa. Menurut Ismawati impor merkuri ke Indonesia

berhubungan erat dengan harga emas (Gambar 1) [7].



Gambar 1.1 Grafik Hubungan antara Impor Merkuri dan Harga Emas di Indonesia [8].

Pertambangan emas rakyat merupakan permasalahan yang kompleks dan menjadi permasalahan dalam skala global. Menurut data UNEP tahun 2013 bahwa wilayah di dunia bagian Timur dan negara-negara Asia Tenggara hampir 40% sebagai sumber pencemar merkuri bersumber dari pertambangan emas artisanal dan berskala kecil (Gambar 1.2).



Gambar 1.2 Emisi Merkuri di Negara-Negara Asia Timur dan Selatan Sekitar 30 Persen dari Pertambangan Emas Artisanal dan Berskala Kecil

Pertambangan emas rakyat merupakan permasalahan yang kompleks dan menjadi permasalahan dalam skala global. Tingkat emisi polusi merkuri di dunia yang berasal dari pertambangan emas rakyat dalam skala kecil sekitar 1.400 ton/tahun. Sekitar 10–15 juta penambang (termasuk 4–5 juta wanita dan anak-anak) sekitar 12–15% memproduksi emas setiap tahun [9].

Emisi merkuri di dunia bertambah hampir 20 persen hanya dalam kurun waktu lima tahun (2000 s.d 2005). Emisi merkuri menjadi permasalahan global karena polusinya bisa menyebar tanpa mengenal batas negara atau benua. Aliran merkuri ke udara dapat melintasi atmosfer sebelum akhirnya diendapkan kembali

ke bumi dalam bentuk curah hujan atau dalam bentuk gas.

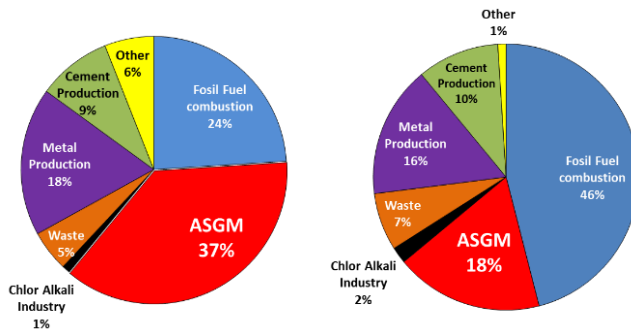
Di dunia, tingkat emisi polusi merkuri yang berasal dari pertambangan emas rakyat dan skala kecil sekitar 1400 ton/tahun. Sekitar 10-15 juta penambang (termasuk 4-5 juta wanita dan anak-anak), sekitar 12-15% produksi emas tahunan [10].

Paparan merkuri memiliki efek negatif bagi kesehatan manusia yaitu ancaman efek racun yang tidak dapat dicegah. Salah satunya sangat berisiko dampaknya pada perkembangan janin dan anak. Polusi merkuri juga dapat mengganggu ekosistem dan mangancan hidup satwa liar.

2. Merkuri di Pertambangan Emas Gorontalo

Indonesia menjadi negara yang termasuk dalam peringkat dua terbesar yang memberikan kontribusi terhadap polusi merkuri di dunia setelah Cina [11]. Menariknya lagi sumber pencemar merkuri di Indonesia terbesar berasal dari pertambangan emas rakyat dibandingkan dengan pertambangan emas besar yang biasanya dimiliki oleh perusahaan swasta.

Daerah yang telah memiliki masalah dengan merkuri di Sulawesi adalah Buyat dan Talawan yang berada di Provinsi Sulawesi Utara. Sumber pencemaran merkuri di provinsi ini berasal dari pertambangan emas rakyat [12].



Gambar 1.3 Tingkat Emisi Polusi Merkuri

Sulawesi Utara adalah daerah yang persis bersebelahan dengan Provinsi Gorontalo. Dahulu, Gorontalo adalah bagian dari Sulawesi Utara. Gorontalo menjadi provinsi sendiri terpisah dari Sulawesi Utara pada tahun 2000. Hal ini disebabkan adanya program pemekaran daerah.

Sama halnya dengan Sulawesi Utara, di Provinsi Gorontalo banyak dijumpai pertambangan emas rakyat. Pertambangan emas rakyat ini tersebar di wilayah Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Gorontalo Utara, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Pohuwato.

a. Pertambangan Emas Rakyat di Buladu

Salah satu pertambangan emas rakyat terletak di Kecamatan Buladu Kabupaten Gorontalo Utara. Pertambangan ini sudah mulai beroperasi saat era penjajahan Belanda sekitar tahun 1899. Setelah masa penjajahan

usai atau sejak tahun 1970, pertambangan ini dilanjutkan oleh rakyat dengan model Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI). Berdasarkan data dari BLH Kabupaten Gorontalo Utara, tahun 2011 penambang di daerah tersebut berjumlah 500 pekerja pada 4 buah terowongan dan 40 lubang vertikal [13].

Pertambangan emas rakyat di Buladu menggunakan merkuri (Hg) sebesar 1000 kg/bulan dan total produksi emas sekitar 8kg/bulan. Data ini bersumber dari BLH Kabupaten Gorontalo Utara.

Penambangan emas dilakukan dengan cara tradisional yaitu melalui proses amalgamasi. Proses ini memungkinkan merkuri terlepas ke lingkungan pada tahap pencucian dan penggarangan. Proses pencucian menyebabkan limbah yang umumnya mengandung merkuri dibuang langsung ke badan air.

b. Pertambangan Emas Rakyat di Bone Bolango

Sungai Bone sebagai salah satu sungai di Provinsi Gorontalo menjadi sungai dengan ancaman pencemaran merkuri terbesar. Laporan Litbang Lingkungan Hidup Provinsi Gorontalo 2007 menyebutkan bahwa kadar merkuri (Hg) di Sungai Bone adalah 0,022 mg/l (normalnya <0,002 mg/l). Penelitian

kandungan merkuri di muara Sungai Bone telah melebihi ambang batas yang diperbolehkan yaitu 0,01489 mg/l (pada saat air surut di dasar sungai).

Penyebab utamanya yaitu adanya pertambangan emas tradisional sebagai penghasil limbah merkuri yang dibuang ke aliran Sungai Bone. Kegiatan penambangan ini sudah ada bahkan sebelum Indonesia merdeka, sehingga dikhawatirkan proses keracunan yang terjadi secara kronis pada masyarakat pengguna sumber air Sungai Bone harus menjadi perhatian serius. Permasalahannya adalah Sungai Bone melayani kebutuhan domestik dan industri utama sekaligus mendukung kehidupan akuatik untuk seluruh kehidupan di Gorontalo.

Pencemaran lingkungan perairan menyebabkan dampak kesehatan yang merugikan baik bagi manusia maupun kehidupan perairan. Ini bukan pertanda baik untuk pembangunan berkelanjutan. Berbagai polutan seperti timbal, merkuri, bakteri, protozoa, insektisida, dan bahan anorganik dapat membuat air tidak dapat diminum [14].

Merkuri yang tersedia dalam air diambil oleh mikroorganisme yang mengalami bio-magnifikasi sehingga menimbulkan dampak

merugikan kehidupan perairan [15]. Setiap timbal dan merkuri muncul sebagai zat berbahaya kedua dan ketiga berdasarkan daftar “*The Top 20 Hazardous Substances*” yang disusun oleh *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) di Atlanta, Georgia [16].

c. Masalah Merkuri di Desa Tulabolo

Desa Tulabolo yang terletak di Kabupaten Bone Bolango adalah desa yang berbatasan dengan taman nasional, sehingga masyarakat lokal telah diberdayakan melalui kegiatan berbasis pariwisata berkelanjutan oleh berbagai pihak, di antaranya Dinas Pariwisata Provinsi Gorontalo, Bappeda Provinsi Gorontalo, Pemerintah Kabupaten Bone Bolango, Balai Taman Nasional Bogani Nani Wartabone, pusat studi Universitas Negeri Gorontalo dan mitra internasional SRIREP (*Sustainable Regional Innovation for Reducing Environmental Pollution*).

Potensi geologi lainnya yang terdapat di Desa Tulabolo adalah energi panas bumi yang melimpah dan pertambangan emas skala kecil. Pertambangan emas yang berada di Tulabolo terbagi atas dua yakni pertambangan emas yang dikelola oleh masyarakat dan pertambangan emas yang dikelola oleh perusahaan. Pertambangan

emas yang dikelola oleh perusahaan, secara hukum dan administrasi, wilayah pertambangan ini dibangun sebagai wilayah kontrak.

Sistem kontrak digunakan sebagai sistem pengolahan dan pemanfaatan pertambangan atau yang di sebut dengan perjanjian mineral (*mineral agreement*). Syarat adanya wilayah pertambangan, yaitu telah teridentifikasi kandungan mineral yang terdapat di dalam perut bumi. Tujuan dari identifikasi ini yaitu untuk pengembangan, penambangan, dan pemanfaatan.

Pertambangan emas rakyat yang berada di Taman Nasional Nani Wartabone khususnya di Desa Tulabolo Timur Kecamatan Suwawa Timur Kabupaten Bone Bolango ini cara pengelolaan emas mereka masih menggunakan alat-alat tradisional sehingga untuk dampak Negatif bagi warga sekitar khususnya desa suwawa dan umumnya bagi masyarakat Gorontalo [17].

Perjalanan menuju lokasi pertambangan ini sulit disebabkan oleh lokasi yang jauh dan medan atau jalan yang akan dilalui sangat berbahaya sehingga para penambang yang menggunakan motor untuk ke lokasi pertambangan lebih memilih untuk berjalan kaki. Hal ini untuk mengantisipasi jika terjadi

sesusatu seperti longsor atau pun jalan becek yang disebabkan oleh hujan deras.

d. Pencemaran Merkuri pada Nike, Makanan Khas Gorontalo

Nike adalah ikan yang dikonsumsi sebagai makanan oleh masyarakat Gorontalo. Nike diklasifikasikan dalam kelas Pisces; sub-kelas Teleostei; Ordo Gobioidae; Famili Gobiidae; Genus Sadar; Spesies *Awaousmelanocephalus* Bleeker [18]. Hewan ini memiliki tubuh transparan, tidak berwarna, dan tidak bersisik dengan panjang 2,5–3 cm dan kedalaman 3–5 mm.

Larvanya melayang dari hulu ke muara sungai dan menetas di laut untuk membentuk kelompok remaja. Ikan yang ditangkap pada stadia juvenil ini dalam sepuluh hari terakhir penanggalan lunar dan gerombolannya adalah 99% juvenil *Awaousmelanocephalus* dan sisanya adalah juvenil *Eleotrisfrusca* [19].

Ikan nike juvenil bermigrasi atau kembali ke sungai asalnya di akhir setiap musim penangkapan sebelum bulan baru terbit. Di Provinsi Gorontalo, sekolah nike ditemukan di muara-muara tertentu, yang dalam bahasa daerah disebut milango. Setidaknya ada empat muara: Milango Taludaa, Milango Hulondalo, Milango

Paguyaman, dan Milango Hulondalo yang merupakan muara Sungai Bone Bolango di Kota Gorontalo. Muara ini memiliki stok yang paling besar.

Nike telah tercemar merkuri dan menyebabkan terganggunya ekosistem kehidupan air dan dapat merusak ekosistem nike itu sendiri. Selain itu nike yang telah tercemar oleh polusi merkuri dapat membahayakan masyarakat yang mengonsumsinya [20].

Berdasarkan pengamatan, lokasi penangkapan nike sangat berpengaruh terhadap tingginya level pencemaran merkuri. Sampel yang memiliki kadar merkuri tinggi adalah sampel yang diambil di dekat terumbu yang terkontaminasi jauh melebihi batas maksimum cemaran merkuri dalam makanan yang diizinkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI 7387:2009) yaitu 0,5 ppm. Sampel yang diambil di dekat garis pantai semuanya berada pada tingkat kontaminasi yang rendah. Penyebab tingginya kandungan merkuri pada nike yang berada di dekat terumbu masih belum diketahui [21].

Kandungan merkuri dalam sampel air yang diambil di dasar laut dekat tepi terumbu di tempat pemancingan nike di Leato adalah

0,0017 mg/l, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tempat lain di stasiun yang sama dan melebihi baku mutu air yang diizinkan hanya 0,001 mg/l sebagaimana ditetapkan oleh keputusan menteri lingkungan hidup (KEPMEN-LH No. 51, 2004). Hal ini tampaknya memberikan beberapa alasan mengapa kandungan merkuri dalam sampel yang diambil di dekat tepi terumbu lebih tinggi [22].

Logam berat seperti merkuri cenderung mengikat bahan organik dan mengendap di dasar laut bersama dengan sedimen sehingga kandungan logam berat di dalam air di dasar laut lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat di air permukaan.

Merkuri masuk ke dalam ikan melalui respirasi, pencernaan atau penetrasi kulit. Merkuri yang masuk ke dalam organisme tidak dapat dicerna dan larut dalam lemak sehingga dapat menembus membran sel dan terakumulasi pada sel-sel dalam organ organisme [23].

B. Kajian Teori

Geowisata sebagai Solusi

bagi Pertambangan Emas Rakyat di Gorontalo

Pariwisata berkelanjutan (*sustainable tourism*) adalah pariwisata yang berkembang baik dan secara terus

menerus, termasuk penambahan arus kapasitas akomodasi, populasi masyarakat, dan lingkungan. Perkembangan pariwisata dan investasi-investasi baru dalam sektor pariwisata seharusnya tidak membawa dampak buruk dan dapat menyatu dengan lingkungan. Jika dimaksimalkan akan melahirkan dampak yang positif dan meminimalkan dampak negatif.

Sektor publik mengambil beberapa inisiatif untuk mengatur pertumbuhan pariwisata agar menjadi lebih baik dan menempatkan masalah akan *sustainable tourism* sebagai prioritas karena usaha atau bisnis yang baik dapat melindungi sumber-sumber atau *asset* yang penting bagi pariwisata, tidak hanya untuk sekarang tetapi di masa depan [24].

Dalam buku *Pariwisata Berkelanjutan* dijelaskan bahwa pembangunan pariwisata harus didasarkan pada kriteria keberlanjutan. Artinya, bahwa pembangunan dapat didukung secara ekologis dalam jangka panjang sekaligus layak secara ekonomi serta adil secara etika dan sosial terhadap masyarakat [24].

Geowisata didefinisikan sebagai kegiatan wisata yang melestarikan atau memperkuat karakter geografis dari suatu tempat, lingkungan-nya, keindahannya, warisannya dan budaya dari penduduknya, konsep ini di perkenalkan oleh Asosiasi industri perjalanan/travel Amerika dan National Geografis yang secara bertahap diadopsi oleh Hose [26]. Saat ini ada kebutuhan untuk

melakukan pekerjaan yang intensif terhadap geodiversitas, khususnya dengan referensi yang mengikuti isu: peletakan fondasi hukum bagi proteksi bagi geodiveristas, seperti *geopark* dan *geosite*. Pemanfaatan geodiversitas dalam geowisata dapat didasarkan pada karakter lingkungan, ekonomi dan sosial. Sebagai catatan penting bahwa kerusakan *geosite* adalah tidak reversible, sehingga kenapa memerlukan proses penjagaan.

1. Pemetaan Potensi Geowisata

Pemetaan merupakan salah satu persyaratan untuk manajemen penggunaan lahan, selain itu pemetaan bertujuan untuk memberikan informasi kepada masyarakat umum selama masih bisa dimengerti [27]. Secara umum pemetaan dilakukan dengan memetakan sebuah daerah baik memetakan kondisi geografi tata letak rumah dan sebagainya. Pemetaan potensi geowisata dilakukan dengan memetakan kondisi geologi, serta kondisi dan fasilitas wisata disebuah daerah *geosite*. Pemetaan kondisi geologi dilakukan dengan pemetaan kondisi litologi, stuktur geologi dan geomorfologi pada suatu daerah. Pemetaan kondisi dan fasilitas wisata dilakukan dengan memetakan serta mendeskripsikan kondisi serta fasilitas wisata yang ada di daerah lokasi *geosite*. Pemetaan kondisi dan fasilitas wisata di sebuah daerah *geosite* ini bertujuan untuk menarik para

wisatawan agar berkunjung di daerah *geosite* tersebut [28].

2. Potensi Geowisata di Provinsi Gorontalo

Potensi pariwisata khususnya Geowisata di Provinsi Gorontalo sudah banyak dibicarakan oleh para ahli, meskipun secara khusus potensi pengembangan kearah *Geopark* diulas oleh Idham dkk [29] belum lama ini. Selain itu pengembangan geowisata dipandang perlu sebagai salah satu solusi terbaik untuk mengentaskan kemiskinan dan kerusakan lingkungan melalui insutri ekstratif yang illegal seperti pertambangan emas artisanal [30]. Usaha pengembangan *Geopark* di provinsi Gorontalo sudah dimulai dengan dimulainya riset mengenai potensi potensi Gesite di beberapa Kabupaten Kota. Selain itu upaya yang bersifat up down seperti halnya diskusi dengan stakeholder yang dilakukan oleh BAPPEDA Provinsi maupun dinas-dinas terkait seperi ESDM dan Pariwisata terus dilakukan.

Namun, upaya yang bersifat *bottom-up* juga sangat perlu dilakukan mengingat masyarakat lokal lah yang seyogyanya menjadi pendorong kegiatan pariwisata ini. Partisipasi aktif masyarakat lokal/Provinsi Gorontalo dalam menikmati geowisata ini merupakan harapan utama kunjungan wisata saat ini, karena situasi pandemi covid-19 mengharuskan pembatasan kunjungan turis dari provinsi lain apalagi

mancanegara.

C. Partisipasi Masyarakat Lokal bagi Pembangunan Pariwisata yang Berkelanjutan

Partisipasi masyarakat lokal yang tidak berkaitan dengan pariwisata dalam kegiatan pariwisata dibedakan dalam piramida menurut Kantsperger [31]. Piramida tersebut ditunjukkan dalam gambar 1.4, di mana terdapat lima tingkat partisipasi masyarakat yakni dari tidak berpartisipasi sampai dengan berpartisipasi secara legitimate. Dengan mengetahui tingkat partisipasi masyarakat disuatu *geosite* maka pemerintah dapat melakukan upaya yang sesuai untuk meningkatkan tingkat partisipasi mereka.



Gambar 1.4 Piramida Partisipasi Masyarakat yang Tidak Berkaitan dengan Turisme Menurut Kantsperger [31].

D. Tujuan Dilakukannya Penelitian Ini

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi masalah kesehatan yang terjadi pada masyarakat sekitar Sungai Bone terkait pencemaran merkuri dan menganalisis masalah kesehatan yang terjadi ditinjau dari karakteristik biomedis dan masyarakat di sekitar Sungai Bone Provinsi Gorontalo, dan dipetakan secara spasial menggunakan sistem pemetaan berbasis SIG [32].

Penelitian bertujuan untuk mengukur konsentrasi merkuri pada di sekitar lokasi pertambangan dan menganalisis kontaminasi merkuri pada manusia dengan mengukur kandungan merkuri di rambut serta melakukan pemeriksaan kesehatan pada masyarakat di sekitar tambang dan dalam penelitian lanjutan dilakukan upaya untuk mencari solusi bagi masyarakat sekitar pertambangan melalui Geowisata.

Oleh karena itu, dalam buku ini dijelaskan lebih detail tentang proses pertambangan emas yang dilakukan serta efeknya bagi lingkungan penambang dan masyarakat sekitar. Serta bagaimana solusi yang bisa diberikan kepada masyarakat. Memberikan alternatif harapan pendapatan lain dengan memanfaatkan potensi *geodiversity* yang ada melalui aktivitas geowisata. Diharapkan melalui aktivitas ini masyarakat memiliki alternatif sumber pendapatan yang lain yang dalam kegiatannya minim risiko mencemari lingkungan dan membahayakan

kesehatan, tetapi tetap bisa mendapatkan inkam untuk memenuhi kebutuhan hidup.

E. Metode Penelitian yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan di area sekitar sungai Bone terletak di bagian timur Gorontalo, Indonesia. Kegiatan Pertambangan Emas Skala Kecil (ASGM) Artisanal terletak di hulu sungai Bone yang berada di bagian timur Gorontalo. Kegiatan ini menyebabkan pencemaran dari logam beracun ke lingkungan dan terpapar ke manusia.

Paparan ke tubuh manusia dibuktikan dengan menggunakan Bioanalisis dengan mengambil sample rambut dari penambang dan masyarakat yang tinggal diseputaran area pertambangan. Sampling Sampel rambut dalam penelitian ini diambil dari warga tiga desa di hulu hingga hilir di sepanjang Kali Bone (sungai) yang merupakan salah satu pembuangan limbah dari area pertambangan, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Ketiga desa tersebut bernama Tulabolo, Poduoma, dan Pangi.

Efek kesehatan pada ASGM penambang dan penduduk desa diperiksa dengan mengumpulkan helai rambut kulit kepala dari masyarakat yang berada disekitar wilayah pertambangan. Helai rambut dipotong dekat sampai didekat kulit kepala dikumpulkan, dimasukkan ke dalam kantong plastik bening, dan diberi label. Kandungan merkuri dalam

rambut ditentukan menggunakan emisi sinar-X terinduksi proton (PIXE) di Iwate Medical University, Jepang, seperti yang dilaporkan dalam artikel lain [30,33,34]. Prosedur ini dikenal sebagai metode standar untuk analisis rambut tanpa seperti yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya [30,33–35].

Secara detil tahapan penyiapan sample sampai dengan tahapan analisis sample dapat dijelaskan sebagai berikut. Sampel rambut yang dikumpulkan segera disimpan dalam kantong plastik zip-lock dan mengidentifikasi nama-nama orang tersebut. Persiapan sampel Sampel rambut manusia dicuci dengan air deionisasi, rendaman pembersih ultrasonik Sharp selama lima menit untuk menghilangkan debu, bakteri, kotoran, kosmetik rambut, dan kemungkinan kontaminan lainnya. Setelah itu dicuci kembali dengan aseton (Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Jepang) untuk membersihkan bahan-bahan yang menempel yang tidak menjernihkan air. Kemudian sampel rambut bersih dikeringkan dalam oven berventilasi pada suhu 40 C selama 48 jam untuk analisis emisi sinar-X yang diinduksi partikel (PIXE) di Pusat Penelitian Cyclotron, Iwate Medical University, Jepang. Metode analisis Analisis emisi sinar-X yang diinduksi partikel (PIXE) digunakan untuk menentukan konsentrasi logam beracun dalam sampel rambut manusia. Untuk analisis PIXE sampel rambut sebanyak delapan helai rambut per orang ditancapkan pada target holder,

dan disinari dengan energi sinar proton 2,9 MeV dari siklotron [23].

Nilai batas paparan yang diterima secara luas untuk konsentrasi merkuri dalam rambut ($\mu\text{g/g}$) seperti yang disarankan oleh Komisi Pengawasan Hayati Manusia Jerman (HBM) sebagai kategori berikut diadopsi: konsentrasi ($\mu\text{g/g}$) di bawah 1,0 dianggap normal, 1,0 – 5,0 dianggap tingkat waspada, dan di atas 5,0 merupakan indikasi risiko serius dari efek kesehatan.

Analisis potensi Geodiversity yang akan dimanfaatkan sebagai geowisata menggunakan metode survei dan observasi lapangan. Penelitian ini meliputi beberapa tahap, yaitu tahap persiapan, pengambilan data lapangan, pengolahan data lapangan dan penyusunan laporan.

1. Tahap Persiapan dan Studi Pendahuluan

Tahap persiapan ini melengkapi beberapa persyaratan yang diperlukan dalam pelaksanaan tugas akhir dan studi pendahuluan. Tahap ini berhubungan dengan segala sesuatu yang perlu dipersiapkan sebelum berangkat ke lapangan seperti surat izin yang ditujukan kepada pemerintah daerah setempat sebagai bentuk pemberitahuan akan dilaksanakannya penelitian pada daerah tersebut. Peminjaman alat dan bahan juga dilakukan pada tahap ini, alat-alat yang dipinjam berupa palu, kompas dan GPS.

Studi pendahuluan yang dilakukan berupa studi pustaka mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian yaitu studi literatur dari peneliti terdahulu. Pada tahap ini dilakukan pula interpretasi peta topografi, yang selanjutnya akan digunakan untuk memperoleh gambaran umum mengenai kondisi geologi dan morfologi daerah penelitian sehingga dapat digunakan untuk perencanaan lintasan dan kegiatan lapangan lainnya.

Pada tahap ini dilakukan pembuatan peta berupa peta geologi regional yang mengacu pada peta Geologi Regional Lembar Tilamuta skala 1:250.000 oleh Bachri, dkk 1993, yaitu peta pola aliran sungai yang digunakan untuk pembuatan peta geologi tentatif, peta lokasi penelitian, peta geomorfologi tentatif yang berdasarkan interpretasi, satuan geomorfologi pada daerah penelitian berupa satuan perbukitan Vulkanik, satuan perbukitan denudasional serta satuan endapan fluvial. Interpretasi peta geologi tentatif satuan batuan pada daerah penelitian berupa satuan Breksi Vulkanik, Satuan Batu pasir serta satuan endapan alluvial, peta-peta tersebut dimodifikasi dari peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 Lembar Molombulahe 2216/33 yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial.

2. Tahap Pengambilan Data Lapangan

Tahap ini ditujukan untuk memperoleh data geologi primer yang akan dianalisis dan membuktikan hipotesa pada tahap sebelumnya. Pengambilan data untuk peta geologi daerah penelitian mulai dikerjakan pada tahap ini. Pengambilan data lapangan meliputi:

- a. Observasi geomorfologi, untuk mengetahui kemiringan lereng, bentuk lembah, bentuk punggung, tipe genetis sungai, stadia sungai, faktor pengontrol berupa litologi dan struktur.
- b. Observasi singkapan, untuk mengetahui ciri dan jenis litologi, penyebaran dan ketebalan, lingkungan pengendapan atau pembentukan dan hubungannya dengan litologi lain yang dapat diamati di lapangan.
- c. Pengamatan struktur geologi, yang meliputi unsur struktur berupa gambaran tiga dimensi yang harus diperiksa jenisnya dan diukur kedudukannya, baik yang dianggap sebagai unsur bidang maupun unsur garis.
- d. Pengambilan sampel batuan pada setiap stasiun pengamatan yang kemudian dianalisis di laboratorium geologi untuk mengetahui jenis litologi, ketebalan serta lingkungan pengendapan.
- e. Observasi geodiversitas, menentukan tempat yang memiliki keragaman geologi yang unik

dan berbeda dengan daerah lain serta melakukan penilaian terhadap nilai-nilai sains, edukasi, wisata dan risiko degradasi di daerah penelitian.

f. Sketsa lapangan dan dokumentasi.

Hasil tahap ini berupa catatan data lapangan (deskripsi singkapan, sketsa, deskripsi batuan), sampel batuan, foto singkapan, peta lintasan, peta geomorfologi peta geologi sementara dan lembar penilaian dari nilai-nilai sains, edukasi, wisata dan risiko degradasi.

3. Tahap Analisis dan Pengolahan Data

Pada tahapan ini akan dilakukan analisis dan pengolahan data yang dilakukan di laboratorium Analisis dan pengolahan data ini meliputi analisis laboratorium dan studio pengolahan data. Analisis-analisis yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- a. Analisis paleontologi, untuk penentuan umur dan lingkungan pengendapan.
- b. Analisis petrografi, untuk mengetahui komposisi batuan dan menentukan jenis litologi dari contoh batuan yang diambil.
- c. Analisis sedimentologi, untuk mengetahui mekanisme dan lingkungan pengendapan.
- d. Analisis data struktur, untuk menganalisis deformasi yang telah terjadi pada daerah terkait.

- e. Analisis dan penentuan lokasi yang mempunyai potensi geodiversitas, dilihat dari penilaian nilai-nilai sains, edukasi, wisata dan risiko degradasi. Pada tahap ini, semua nilai sains, edukasi, wisata dan risiko degradasi dijumlahkan dan dilihat peringkat dari lokasi penelitian, yang terdiri dari peringkat rendah, sedang atau tinggi.

Pada akhir tahapan ini diharapkan dapat menghasilkan:

- a. Peta sebaran potensi geodiversitas di beberapa Heosite provinsi Gorontalo.
- b. d. Laporan ilmiah tertulis mengenai kondisi geologi dan sejarah geologi serta proses-proses Geologi daerah penelitian.

Bab 2

Pencemaran dari Pertambangan di Tulabolo

A. Dampak Proses Amalgamasi bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungan

Salah satu proses untuk mendapatkan emas dalam penambangan adalah proses amalgamasi. Proses amalgamasi merupakan metode yang digunakan oleh pertambangan di Indonesia pada umumnya meskipun cara ini masih terbilang tradisional.

Teknik amalgamasi dilakukan dengan cara mencampur batuan yang mengandung logam emas dan merkuri dengan menggunakan tromol [36]. Berikut ini dipaparkan tahapan proses amalgamasi di pertambangan emas.

Proses pengolahan awal adalah di tempat pemrosesan material bijih. Berikut ini adalah tahapannya.

1. Merkuri dicampur bersama bijih emas yang telah ditumbuk bersama air dan semen.
2. Proses selanjutnya, bahan seberat 10–25 kg dicampurkan dalam tromol yang diputar menggunakan energi yang berasal dari generator.
3. Setelah proses pencampuran material bijih dan merkuri selesai, amalgam dipisahkan dari

material lainnya melalui proses pemerasan yang biasanya menggunakan kain.

Bahan sisa yang bercampur air dialirkan ke kolam penampungan dan sebagian mengalir di halaman sekitar tempat pemrosesan.

Secara teknis proses mendapatkan bijih emas dan pengolahannya hingga menjadi emas memiliki beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut.

Bijih digali secara manual dari bukit atau gunung terdekat (Gambar c) menggunakan lubang vertikal di tanah (Gambar d).

Alat-alat tradisional seperti cangkul lebar, batangan dan pulley sederhana digunakan untuk penggalian bijih (Gambar e).

1. Bijih secara manual dihancurkan (Gambar f). menggunakan palu atau perkusi lainnya.
2. Beberapa pabrik pengolahan menggunakan penghancur mekanik buatan sendiri.

Bijih tersebut kemudian dikemas ke dalam karung dan diangkut secara manual ke pabrik pengolahan (Gambar g) [37].



a

Tromol yang berada di tempat untuk memproses material bijih



b

Air di Sungai Bilato berwarna coklat karena adanya aktivitas pertambangan



c



d



e



f



g

Gambar 2.1 Pertambangan Emas Rakyat di Bilato Kecamatan Boliyohuto Kabupaten Boalemo Provinsi Gorontalo Indonesia

B. Dampak Proses Amalgamasi bagi Kesehatan dan Lingkungan

Metode amalgamasi dapat menyebabkan polusi merkuri yang dapat mencemari lingkungan saat proses pencucian. Hal ini disebabkan pertambangan emas rakyat biasanya berada di daerah aliran. Proses amalgamasi menghasilkan limbah hasil pencucian. Limbah ini mengandung merkuri dan dibuang ke badan sungai sehingga menyebabkan air

terkontaminasi racun merkuri. Merkuri berubah bentuk menjadi material halus yang tercampur dengan material lain saat penggilingan dan pada tahapan amalgamasi.

Pada proses pencucian ampas, elemen merkuri mengalir ke sungai bersamaan dengan sisa material [37]. Air yang mengalir ke sungai bersama material dan elemen merkuri teroksidasi berubah menjadi senyawa organik, metil merkuri atau fenil merkuri. Proses ini dinamakan proses dekomposisi bakteri.

Senyawa organik merkuri yang diserap oleh mikroorganisme kemudian masuk ke dalam rantai makanan. Hal ini menyebabkan peristiwa bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam tubuh ikan yang mengonsumsi mikroorganisme tersebut [38].

Proses kontaminasi akan terus berlanjut terhadap makhluk hidup yang mengonsumsi ikan tersebut, baik ikan yang lebih besar maupun manusia. Melalui proses ini dapat dipahami bahwa merkuri dari pertambangan emas berpotensi untuk mengontaminasi air, tanah, sedimen, biota, dan potensial untuk memengaruhi kesehatan manusia.

Dampak yang lebih luas dapat terjadi ketika merkuri telah mencemari lingkungan. Merkuri akan menyebar dengan cepat karena mobilitasnya yang sangat tinggi dan dapat terkonsentrasi melalui rantai makanan. Manusia sebagai bagian dari rantai makanan tidak akan luput dari dampak pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh merkuri.

Pengaruh pencemaran merkuri terhadap kesehatan manusia diperoleh karena masyarakat mengonsumsi makanan. Bahkan daging dari ternak yang mengonsumsi tumbuhan yang telah tercemar merkuri juga sangat berisiko untuk tercemar.

Efek kronis yang timbul akibat terpapar merkuri lebih berbahaya dibandingkan efek yang segera muncul pada saat terpapar (akut) karena akan hilang setelah paparan racun dihilangkan [39].

Tanah yang terkontaminasi merkuri akan mengontaminasi tanaman yang tumbuh di atasnya seperti buah-buahan, sayuran, bahkan daging dari ternak yang mengonsumsi rumput yang tumbuh di tanah yang terkontaminasi. Hal ini akan membahayakan manusia yang mengonsumsi buah-buahan, sayuran, dan daging ternak yang telah terpapar racun merkuri.

Besarnya risiko yang akan diderita oleh seseorang bergantung pada berapa banyak dan jenis unsur merkuri yang terpapar di dalam tubuh. Penderita akan merasakan gejala ringan seperti paresthesia (burning or prickling sensation) hingga yang berat seperti dysarthria (*difficulty speaking caused by brain damage*), bahkan sampai kematian.

Dampak kesehatan lain yang disebabkan oleh merkuri dapat terjadi pada bayi. Bayi yang lahir dari seorang ibu yang mengonsumsi makanan yang telah terkontaminasi merkuri akan mengalami cerebral palsy atau keterbelakangan mental.

Air minum adalah salah satu hal yang sangat penting bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Hal itu terjadi karena peningkatan kebutuhan air bagi masyarakat dengan populasi yang bertambah. Ketersediaan air yang dapat diminum dan berkualitas tinggi dapat ditunjukkan oleh ekosistem yang sehat, kontak manusia, dan geologi lokal [40]. Salah satunya dapat ditunjukkan dari keberadaan sungai yang bersih.

Hal ini akibat dari bentuk merkuri tersebut yang telah tercampur/terpecah menjadi butiran-butiran halus yang sifatnya sukar dipisahkan pada proses penggilingan yang dilakukan bersamaan dengan proses amalgamasi. Dalam tahap pencucian ini merkuri dalam ampas terbawa masuk ke sungai [40].

Selanjutnya di air merkuri dapat mengalami oksidasi dan berubah menjadi senyawa organik metil merkuri atau fenil merkuri melalui proses dekomposisi oleh bakteri. Selanjutnya jika senyawa organik merkuri ini terserap oleh jasad renik dan kemudian terus masuk dalam rantai makanan dan terjadilah bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam tubuh ikan. Kontaminasi kemudian dapat terjadi pada manusia yang mengonsumsi ikan yang telah tercemar merkuri [40]. Melalui proses ini dapat dipahami bahwa mercury dari pertambangan emas berpotensi untuk mengkontaminasi air, tanah, sedimen, biota dan potensial untuk mempengaruhi kesehatan manusia.

Bab 3

Bahaya Merkuri bagi Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan

Pertambangan emas rakyat dengan menggunakan merkuri menjadi salah satu sumber pencemaran lingkungan. Umumnya, pertambangan emas menggunakan merkuri sebagai amalgam dengan pembuangan limbahnya yang tidak terkendali ke sungai.

Sebelum membahas bahaya merkuri, mari kita ketahui terlebih dahulu tentang merkuri ini.

A. Bahaya Merkuri dari Proses Amalgamasi

Merkuri adalah salah satu dari lima unsur (brom, cesium, francium, dan gallium) yang berbentuk cair dalam suhu ruang dan terbentuk secara alami. Merkuri termasuk jenis logam berat yang berbahaya dan dapat menjadi racun bahkan dengan konsentrasi kecil. Elemen merkuri dapat ditemukan di air, tanah, dan udara dalam bentuk unsur merkuri (Hg^0), merkuri monovalen (Hg^{1+}), dan bivalen (Hg^{2+}). Karakteristik lainnya dari merkuri ialah tidak mudah berikatan kecuali dengan hidrogen dan mempunyai tiga keadaan oksidasi [40]. Keadaan oksidasi itu antara lain (Hg^0) yaitu elemental mercury, (Hg^+)

contohnya *methylmercury* (CH_3Hg^+), (Hg^{2+})
contohnya *dimethylmercury* ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) [41].

Unsur ini sering juga disebut sebagai air raksa. Zat yang termasuk logam berat ini sangat beracun. Dalam kadar rendah, merkuri umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Walaupun terpapar dalam tingkat yang relatif rendah dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf. Sangat berbahaya terutama bagi ibu yang sedang hamil dan perkembangan anak-anak. Senyawa merkuri dapat menyebabkan cacat fisik maupun mental pada kelahiran janin. Jika terkumpul/terakumulasi dalam tubuh manusia dan hewan melalui siklus (daur) rantai makanan. Utamanya beberapa jenis ikan dan kerang-kerang karena lingkungan perairan mereka telah tercemar dengan senyawa merkuri.

Merkuri adalah salah satu elemen yang termasuk dalam unsur golongan logam transisi dan juga termasuk *toxic element* (lihat tabel periodik). Sifat dari elemen ini antara lain merupakan unsur berbentuk cair dalam suhu kamar, serta mudah menguap di bawah suhu 650°C . Karakter ini menyebabkan merkuri mudah menguap dan menyebabkan terjadinya polusi di atmosfer.

Elemen ini memiliki ciri khas mudah membentuk paduan dengan logam lain (amalgam). Inilah ciri khas dari logam ini. Sifat ini yang menyebabkan merkuri digunakan oleh penambang

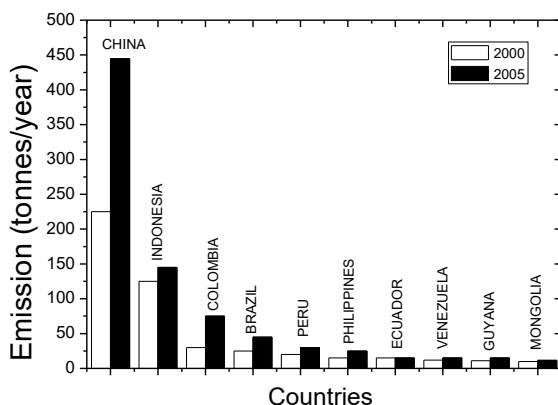
untuk mengekstrak emas dari batuan. Setelah proses amalgam, kemudian dilanjutkan dengan pemisahan emas dengan merkuri.

Logam ini berasal dari bagian kerak bumi. Keberadaan merkuri terjadi secara alami, sehingga tidak bisa dihilangkan. Secara fisik, karakteristik merkuri adalah logam murni yang berwarna perak, tidak berbau, berwujud cair, dan berkilap. Bermanfaat dalam industri seperti industri yang memproduksi thermometer, lampu neon, lampu mobil, baterai, hingga produksi gas klor. Dalam pembuatan thermometer, penggunaan merkuri dapat menghasilkan pengukuran yang presisi dibandingkan menggunakan alkohol. Hal ini disebabkan karena merkuri sangat peka terhadap perubahan suhu walaupun harus dilakukan pewarnaan terlebih dahulu.

Di negara-negara berkembang, merkuri digunakan pada industri pertambangan emas skala kecil. Meskipun penggunaannya berisiko terhadap kesehatan terutama bagi wanita dan anak-anak yang tinggal di wilayah sekitar pertambangan [39]. Merkuri dan senyawa merkuri memiliki toksisitas yang sangat tinggi, karena sangat reaktif dan merupakan molekul yang aktif secara biologis.

Polusi Merkuri saat ini telah menjadi masalah global, bukan hanya di Indonesia tapi juga di dunia. Berdasarkan data tahun 2000 yang di-*publish* pada tahun 2006, 10 negara yang menempati ranking 10

dunia sebagai negara yang paling tinggi emisi merkuri yang bersumber dari *anthropogenic* (*man made*) dapat di lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 Histogram of Negara Emisi Merkuri Terbesar dari Pertambangan Emas Skala Kecil [42]

B. Polusi Merkuri

Polusi merkuri ada dalam tiga bentuk yaitu unsur logam, garam anorganik, dan senyawa organik. Setiap bentuk memiliki toksisitas dan bioavailabilitas spesifik.

1. Unsur Logam
2. Garam Anorganik

Ancaman merkuri anorganik berbahaya [43]. Ancamannya diketahui lebih nefrotoksik daripada bentuk organiknya. Hal ini disebabkan terutama karena terakumulasi di sel tubulus proksimal ginjal. Ini adalah ancaman serius bagi kesehatan manusia, dalam hal keamanan pangan.

3. Senyawa Organik

Senyawa merkuri yang terikat dengan satu senyawa karbon akan membentuk senyawa merkuri organik. Contohnya metil (organik) merkuri.

Senyawa merkuri organik dianggap lebih berbahaya dan dapat larut dalam lapisan lemak pada kulit yang menyelimuti inti saraf.

Metil merkuri merupakan merkuri organik yang selalu menjadi perhatian serius dalam toksikologi (ilmu pengetahuan tentang racun). Hal ini karena metil merkuri dapat diserap secara langsung melalui pencernaan ikan, hewan, dan manusia dan akan terakumulasi di dalam tubuh ikan, hewan dan manusia, mengikuti pola rantai makanan [43].

Selain itu, senyawa merkuri dapat memasuki tubuh melalui pernapasan dengan kadar penyerapan 80%. Uapnya dapat menembus membran paru-paru dan apabila terserap ke dalam tubuh, senyawa merkuri akan terikat dengan protein sulfurhidril seperti sistem dan glutamine. Di dalam darah, 90% dari metil merkuri diserap ke dalam sel darah merah.

Merkuri organik yang diketahui terakumulasi dalam rantai makanan [43] dan melintasi darah otak setelah dikonsumsi manusia telah menyebabkan berbagai efek neurologis pada manusia [44].

C. Proses Pembentukan Logam Berat

Logam berat seperti merkuri terjadi secara alami di kerak bumi. Namun, aktivitas manusia seperti industri, aplikasi agrokimia, aplikasi medis, pertambangan, dan pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan emisi global logam beracun yang tinggi [44].

Fenomena alam seperti pelapukan dan letusan gunung berapi juga berkontribusi terhadap pencemaran logam beracun [44]. Logam beracun yang saling berkaitan dengan logam berat dan metaloid seperti arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) tergolong karsinogen pada manusia.

Kadar logam beracun yang berlebihan berbahaya bagi organisme yang masuk ke dalam rantai makanan dan merusak kesehatan manusia [45,46]. Dalam sebuah studi epidemiologi, rambut dapat digunakan untuk mengukur kadar logam beracun dalam tubuh sebagai metode mapan dalam beberapa studi kelompok [47–49].

Konsentrasi merkuri (Hg) di rambut sebagai indikator total merkuri dalam tubuh manusia. Ketika ion logam beracun bersentuhan dengan tubuh manusia, mereka diserap dan membentuk kompleks dengan asam karboksilat, amina, dan tiol protein yang mengakibatkan tidak berfungsinya atau kematian sel dan akibatnya menyebabkan berbagai penyakit. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak

ilmuwan prihatin tentang konsentrasi logam beracun dan masalah kesehatan manusia [50,51].

Menurut Kementerian Kehutanan dan Pertambangan Provinsi Gorontalo tahun 2012, Provinsi Gorontalo memiliki lokasi PESK. Kabupaten Bone Bolango merupakan kabupaten paling banyak memiliki lokasi PESK dan juga penambang.

Menurut Limbong dan Agus dalam Arifin 2015, pencemaran merkuri (Hg) dapat terjadi pada rambut, ikan, dan sedimen terkait dengan kegiatan PESK. Kemungkinan logam beracun lain juga akan tercemar dari air tanah atau air permukaan ketika batuan tersebut. Hal ini disebabkan karena proses oksidasi [30]. Dampak kegiatan PESK terhadap lingkungan serta rambut kepala manusia di Gorontalo telah dilaporkan [30,52].

D. Proses Geologi Pembentukan Logam Berat

Terdapat tujuh macam proses geologi yang membentuk logam berat.

1. Proses Pertama

Pelenggokan logam berat ialah segregasi dalam magma. Butiran mineral berkerapatan lebih besar mengendap lewat magma lumer (fluid) sewaktu kristalisasi masih berlangsung. Salah satunya adalah kronit (FeCr_2O_4), bijih (ore) pokok Cr yang berkerapatan $4,4 \text{ g cm}^{-3}$.

2. Proses Kedua

Proses kedua adalah metamorfisme singgung. Dalam kejadian ini larutan kimia yang sangat aktif dikandung magma mengubah batuan yang mengelilingi sebagai penukar komponen-komponen yang ada dalam batuan. Sebagai contoh, suatu lapisan batuan gamping diganti dengan cebakan besi yang terdiri atas mineral hematit (Fe_2O_3) dan magnesit [$\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$], atau cebakan Cu, Zn, atau Pb.

3. Proses Ketiga

Proses ketiga adalah pembentukan tubuh pegmatite yaitu lenggokan bahan berbutiran lebih kasar di dalam massa batuan plutonik induk yang besar berbutiran lebih halus. Tubuh pegmatite dapat menjalar ke dalam batuan yang mengelilingi berupa urat-urat. Logam berat yang ditemukan dalam pegmatit ialah Ta (tantalum), Nb (Niobium), U (Uranium), Th (Thorium), dan beberapa logam tanah langka yang lain [53].

4. Proses Keempat

Proses keempat berlangsung dengan pelibatan larutan hidrotermal. Zat logam meninggalkan magma sewaktu tahap terakhir kristalisasi dan diendapkan dalam rekahan batuan membentuk urat-urat mineral, atau dipancarkan dalam massa batuan yang sangat besar. Larutan hidrotermal bergerak ke atas menuju ke permukaan bumi. Maka terbentuk cebakan logam dangkal, bahkan

dapat muncul sebagai endapan dari mata-air panas. Emas, perak dan Hg banyak ditemukan sebagai cebakan dangkal.

5. Proses Kelima

Proses kelima berkenaan dengan pengaruh daya larutan yang bergerak ke bawah di dalam mintakat (*zone*) aerasi dan di dalam mintakat air tanah. Endapan-endapan sedikit di sanasini didalam mitakat aerasiterlarutkan dalam air *meteoric* yang berperkolasi, terkumpulkan dan terpekatkan dan akhirnya terlonggokkan di atas mintakat air tanah menjadi cebakan, karena menyangkut pengayaan endapan mineral, proses ini disebut proses sekunder (Arsentina, 2008).

6. Proses Keenam

Proses keenam yang merupakan proses sekunder oleh daya pengaruh air *meteoric*, namun berlawanan dengan proses kelima, membentuk longgokan secara residual. Air *meteoric* yang berinfiltrasi dan berperkolasi, atau bergerak ke samping sebagai aliran limpas ataauresapan (*seepage*) memindahkan lebih banyak zat yang lebih mudah larut daripada zat yang mengandung logam.

7. Proses Ketujuh

Proses ketujuh ialah pelonggokan secara sedimentasi lewat pengangkutan oleh aliran air dan gelombang. Sedimentasi dapat terjadi di darat atau di laut. Batuan lebih dulu mengalami

pelapukan, bahan lapukan diangkut oleh aliran limpas masuk ke sungai. selanjutnya diangkut ke hilir dan sibir (fragment) batuan yang mengandung logam berat akan mengendap lebih dulu di sebelah hulu daripada yang tidak mengandung logam berat karena berat jenis lebih tinggi [54].

Bab 4

Karakteristik Geologi Regional Gorontalo

A. Fisiografi Regional Gorontalo

Fisiografi Provinsi Gorontalo dibagi berdasarkan bentuk morfologi serta jenis batuan dan struktur geologi. Menurut Bemmelen (2009) [55] secara fisiografis daerah Gorontalo dibagi berdasarkan beberapa zona fisiografi sebagai berikut.

1. Zona Pegunungan Utara

Zona Pegunungan Utara umumnya terdiri dari formasi-formasi batuan gunungapi Tersier dan batuan plutonik. Zona ini dicirikan dengan pegunungan berlereng terjal dengan beberapa puncaknya antara lain Gunung Tentolomatinan (2207 m), Gunung Pentolo (2051 m), dan Gunung Boliohuto (2065 m).

2. Zona Depresi Limboto

Zona kedua merupakan cekungan di tengah-tengah Provinsi Gorontalo, yaitu Median Depression. Cekungan ini dibentuk oleh Sungai Paguat, Sungai Randangan, Sungai Paguyaman, Danau Limboto, Sungai Bone, Sungai Ongkang Dumoga. Depresi memanjang ini disebut sebagai Zona Limboto.

3. Zona Pegunungan Selatan

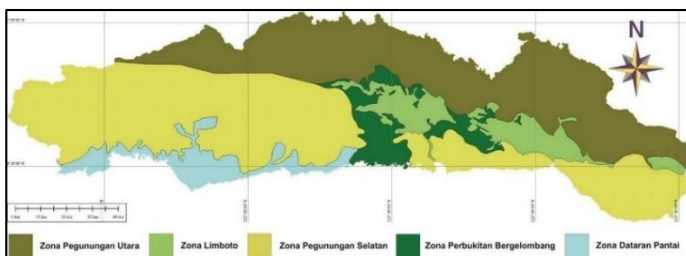
Zona Pegunungan Selatan umumnya terdiri dari formasi-formasi batuan sedimenter gunung api berumur sangat tua di Gorontalo, yaitu Eosen – Oligosen (kira-kira 50 juta hingga 30 juta tahun yang lalu) dan intrusi-intrusi diorit, granodiorit, dan granit berumur Pliosen. Zona ini terbentang dari Bone Bolango, Bone Pantai, Tilamuta, dan Gunung Pani.

4. Zona Perbukitan Bergelombang

Zona perbukitan bergelombang terutama dijumpai di daerah selatan dan di sekitar Tolotio. Satuan ini umumnya menunjukkan bentuk puncak membulat dengan lereng relatif landai dan berjulang kurang dari 200 m. Zona ini ditempati oleh batuan gunungapi dan batuan sedimen berumur Tersier hingga Kuarter.

5. Zona Dataran Pantai

Zona terakhir adalah zona yang relatif terbatas di Dataran Pantai Pohuwato. Dataran yang terbentang dari Marisa di timur hingga Torosiaje dan perbatasan dengan Provinsi Sulawesi Tengah di barat, merupakan aluvial pantai yang sebagian besar tadinya merupakan daerah rawa dan zona pasang-surut.



Gambar 4.1 Fisiografi Provinsi Gorontalo [56]

B. Struktur Geologi Regional Gorontalo

Pulau Sulawesi dan sekitarnya, khususnya Sulawesi bagian utara merupakan salah satu margin aktif yang paling rumit dalam jangka waktu geologi, struktur, dan juga tektonik. Wilayah ini merupakan pusat pertemuan tiga lempeng konvergen, karena interaksi tiga kerak bumi utama (lempeng) di masa Neogen. Konvergensi ini menimbulkan pengembangan semua jenis struktur di semua skala, termasuk subduksi dan zona tumbukan, sesar, dan thrust.

Saat ini sebagian besar struktur Neogen dan beberapa struktur pra-Neogen masih tetap aktif atau aktif kembali. Struktur utama termasuk subduksi Sulawesi Utara (*North Sulawesi Trench/Minahasa Trench*), Sesar Gorontalo, Sulu Thrust, dan tumbukan ganda laut Maluku (*Molluca sea collition*).

1. Zona Subduksi Sulawesi Utara

Subduksi Sulawesi Utara (*North Sulawesi Trench*) diinterpretasikan merupakan zona subduksi konvergen antara Laut Sulawesi dan Lengan Utara Sulawesi. Zona subduksi Sulawesi Utara

termasuk ke dalam sistem penunjangan yang relatif tua (*dying subduction*) yang robekannya berkembang ke arah timur sepanjang tepian utara Sulawesi.

2. Penun Sesar Gorontalo

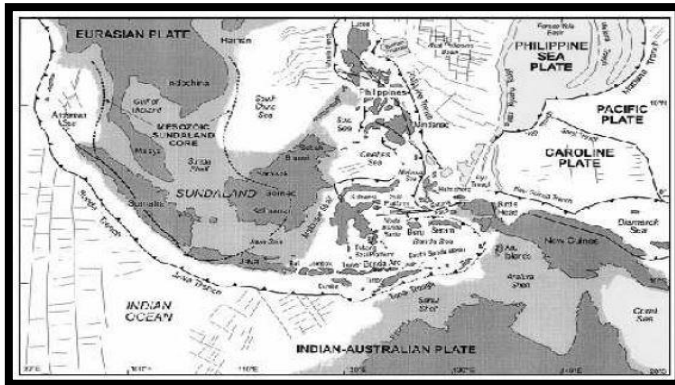
Pada bagian utara Pulau Sulawesi, secara morfologi akan terlihat kenampakan empat segmen sesar [57,58]. Bagian tengah dari utara Pulau Sulawesi terbagi ke dalam tiga blok yang kecil.

Pada bagian Timur dari lengan utara Pulau Sulawesi diberi nama Blok Manado, yang bebas dari pengaruh *North Sula Block*. Sehingga secara geologi jelas terlihat pemisahan yang diakibatkan adanya sesar Gorontalo.

Berdasarkan keadaan litotektonik, Van Leeuwen (1994) [59] membagi Sulawesi menjadi tiga mandala, yakni sebagai berikut.

1. Mandala Barat sebagai jalur *magmatic* yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda.
2. Mandala Tengah berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan bancuh sebagai bagian dari blok Australia.
3. Mandala Timur berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera yang berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias-Miosen.
4. Mandala Barat sebagai busur magmatik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bagian utara dan barat.

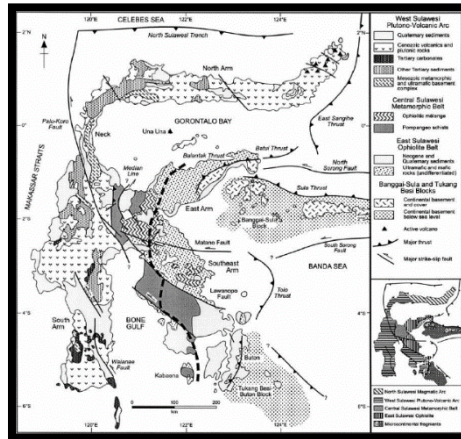
Sulawesi terletak di bagian Indonesia Timur yang terbentuk akibat dari bertemunya tiga lempeng besar yakni Lempeng Eurasia bergerak ke arah Selatan-Tenggara, Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah Utara, dan Lempeng Pasifik bergerak ke arah Barat. Hal tersebut melahirkan kondisi geologi Sulawesi sangat kompleks dan beragam yang terdiri dari kompleks metamorf, ofiolit, busur vulkanik, granitoid dan Cekungan sedimen, [60].



Gambar 4.2 Tiga Lempeng Besar yang Membentuk Pulau Sulawesi [57]

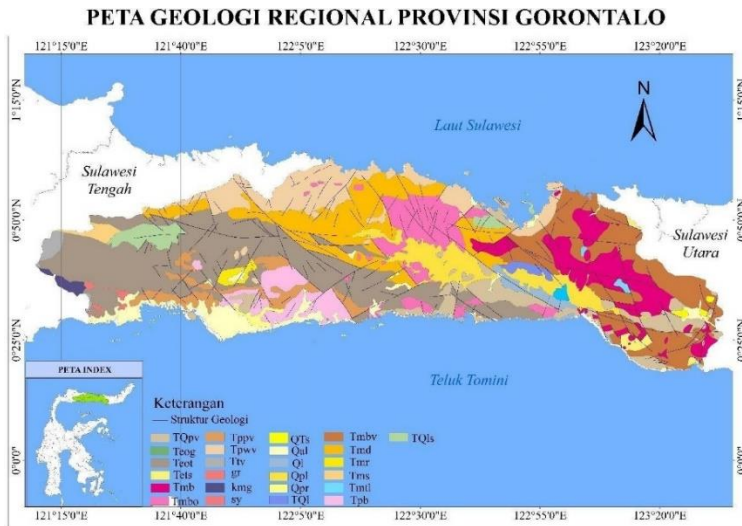
Aktivitas tektonik Sulawesi diduga terjadi akibat adanya tunjaman Sangihe Timur yang menunjam ke arah Barat dan menghasilkan lajur gunung api kuarter yang memiliki kedalaman sekitar 150 km. Zona tunjaman yang berada di sebelah Utara dan Timur dari lengan Utara ini berpotensi menimbulkan gempa dan reaktivitas struktur di lengan Utara, termasuk reaktivitas sesar Gorontalo. Sesar ini merupakan sesar mengangan yang sebagaimana ditunjukkan oleh bentuk garis pantai di sekitar Teluk

Gorontalo yang memperlihatkan pergeseran manganan yang berhubungan dengan aktivitas tunjaman di Laut Sulawesi [61].



Gambar 4.3 Peta Tektonik Pulau Sulawesi [57]

Merujuk pada Apandi dan Bachri (1997) [62] Gorontalo memiliki sesar Gorontalo yang merupakan sesar mendatar terbesar yang arah pergeserannya menganan. Di formasi batuan Gunung api khususnya Bilungala, terdapat beberapa zona sesar naik dengan sudut sebesar 30°.



Gambar 4.4 Peta Geologi Regional Provinsi Gorontalo (modifikasi Modifikasi dari Peta Lembar Kota Mobagu, Peta Lembar Tilamuta, dan Peta Lembar Tolitoli [63])

C. Stratigrafi Regional Gorontalo

Stratigrafi regional Provinsi Gorontalo berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Peta Geologi Lembar Tilamuta dan Peta Geologi Lembar Toli-toli dibagi menjadi 25 satuan. Susunan dari stratigrafi Provinsi Gorontalo dari tua ke muda adalah sebagai berikut.

1. Komplek Batuan Metamorf (km)

Formasi tersebar pada daerah paling Barat Provinsi Gorontalo yang berbatasan dengan Provinsi Sulawesi Tengah. Formasi ini terdiri atas batuan metamorf yang diperkirakan berumur Mesozoikum [64].

2. Komplek Batuan Metamorf Terutama Sekis Hijau (kmg)

Formasi ini tersebar pada daerah sekitar perbatasan Provinsi Gorontalo dan Provinsi Sulawesi Tengah. Formasi ini terdiri atas batuan metamorf yang didominasi oleh sekis hijau. Formasi ini tersusun secara menjari dengan formasi km. Umur formasi ini diperkirakan sama dengan formasi km yaitu Mesozoikum [64].

3. Gabro (Teog)

Formasi ini terdiri atas batuan gabro, mikrogabro, dan diabas. Formasi ini banyak tersebar luas pada daerah sebelah Utara Provinsi Gorontalo. Umur Formasi ini diperkirakan sekitar Eosen sampai Oligosen [64].

4. Formasi Tinombo (Teot)

Formasi Tinombo ini terdiri atas batuan gunung api, batuan sedimen, dan beberapa batuan yang termalihkan lemah. Jenis batuan vulkanik pada formasi ini merupakan breksi vulkanik, lava spilitan, lava basal, dan lava andesit.

Batuan sedimen terdiri atas batu gamping merah, batu gamping abu-abu, batu pasir wacke, batulanau, dan batu pasir hijau. Beberapa batuan tersebut mengalami pemalihan pada derajat rendah. Formasi ini tidak selaras dengan formasi di atasnya. Penarikan umur pada batuan basal menunjukkan umur 51,9 juta tahun atau Eosen awal. Tebal formasi ini diperkirakan mencapai ribuan meter. Formasi Tinombo tersingkap luas

yang tersebar pada daerah Popayato sampai daerah selatan Tolotio [65].

5. Formasi Tinombo Fasies Gunungapi (Tetv)

Formasi ini terdiri atas lava basal, lava andesit, selingan bau pasir hijau, batulanau hijau, sedikit konglomerat, batu gamping merah dan kelabu. Lava bantal tersingkap baik di daerah S. Sogitia Kiki, di daerah pantai utara. Terdapat Struktur sedimen pada batu pasir dan batulanau yaitu perlapisan sejajar, laminasi, konvolut, laminasi sejajar, dan laminasi silang siur.

Berdasarkan asosiasi litologi dan struktur sedimennya diperkirakan satuan ini terendapkan pada lingkungan laut dalam. Umur satuan ini diperkirakan Eosen [63].

6. Formasi Tinombo Fasies Sedimen (Tets)

Formasi ini merupakan formasi yang terdiri atas serpih dan batupasir dengan sisipan batu gamping dan rijang. Batuan serpih memiliki ciri berwarna kelabu dan merah, getas, dan sebagian gampingan. Batuan rijang mengandung fosil radiolaria. Batu pasir berupa *greywake* dan batu pasir kuarsa, berwarna abu-abu dan hijau, pejal, berbutir halus sampa sedang, sebagian mengandung pirit.

Sisipan batu gamping di S. Mayambak berwarna merah, pejal, dan berlapis baik. Satuan ini diterobos oleh granit, diorite, dan trakit. Satuan ini mempunyai hubungan menjemari

dengan Formasi Tinombo fasies gunungapi. Umur formasi ini menurut Ratman (1976) [64] adalah Eosen sampai Oligosen awal. Sedangkan menurut Sukanto (1973) [66] adalah Kapur Akhir sampai Eosen Awal.

Tebal Formasi ini diperkirakan lebih dari 1000 meter, sedangkan lingkungan pengendapannya adalah laut dalam [67].

7. Batuan Terobosan (sy)

Formasi ini terdiri atas batuan intrusi. Batuan ini tersebar sedikit pada daerah perbatasan Provinsi Gorontalo. Umur batuan ini diperkirakan Oligosen [64].

8. Diorit Bone (Tmb)

Formasi ini terdiri atas batuan granodiorite, diorit, diorit kuarsa, adamelit. Satuannya terdiri atas diorit masif berukuran sedang sampai kasar dengan tekstur hipidiomorfik sampai faneroporfiritik dengan piroksen dan feldspar yang mencapai ukuran 0.5 cm.

Diorit Bone yang berbutir halus mempunyai susunan mineral yang mirip batuan andesitan dari batuan gunung api Bilungala. Berdasarkan hal tersebut, diorit Bone diduga sebagai magma induk dari batuan gunung api Bilungala yang berumur Miosen tengah hingga awal Miosen akhir [68,69].

9. Batuan Gunung Api Bilungala (Tmbv)

Batuan Gunung Api Bilungala terdiri atas breksi gunung api, tuf, dan lava bersusunan asam sampai basa. Batuan gunung api ini umumnya berwarna abu-abu hingga abu-abu tua. Breksi gunung apinya tersusun oleh kepingan andesit, dasit, dan basal. Tuf umumnya bersifat dasitan dan agak kompak. Lava bersifat andesitan sampai basal, bertekstur hipokristalin sampai holokristalin, berbutir halus, dan masif.

Batuan Gunung api Bilungala sulit dibedakan dengan batuan gunung api formasi Dolokapa dikarenakan adanya persamaan susunan batuan. Diperkirakan formasi ini tumbuh bersama dengan formasi Dolokapa dan berhubungan menjemari. Umur formasi ini diperkirakan Miosen tengah hingga awal Miosen akhir [69].

10. Formasi Dolokapa (Tmd)

Formasi Dolokapa ini tersusun atas batuan sedimen dengan selingan batuan gunung api. Batuan sedimennya terdiri atas batu pasir wacke, batu lanau, batu lumpur, dan konglomerat.

Batuan gunung apinya terdiri atas tuf, tuf lapili, aglomerat, breksi, dan lava dengan susunan andesitan sampai basalt. Umur formasi ini terdapat beberapa pendapat yang berbeda. Marks (1995) [70] membandingkan umur formasi ini dengan formasi Tinombo yang dianggapnya

berumur Kapur hingga Eosen. Sedangkan Trail (1974) [68] menyebutkan bahwa kepingan batu gamping di dalam formasi ini berumur Miosen awal. Sedangkan pada batu lanau formasi ini dijumpai fosil antara lain: *Orbulina suturalis* Broniman, *Globigerinoides immaturus* Le Roy, *Globootalia menardii*, *Brazilina* sp., dan *Anomalina* sp. Fosil ini menunjukkan umur yang tidak lebih tua dari Miosen Tengah. Lingkungan pengendapan adalah *inner sublitoral* [63].

11. Formasi Randangan (Tmr)

Formasi randangan ini terdiri dari konglomerat, batu pasir wacke, batu lanau, dan batu lumpur. Kandungan fosil yang terdapat di dalam lapisan formasi ini menunjukkan umur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir. Menurut Trail (1974) [68], kepingan batu gamping di dalam konglomerat mengandung fosil berumur Miosen tengah hingga awal Miosen Akhir, dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Formasi ini menindih tak selaras dengan formasi Tinombo. Sedangkan hubungan dengan formasi Dolokapa tidak diketahui [69].

12. Anggota Batugamping Formasi Tapadaka (Tmtl)

Formasi ini terdiri dari batu gamping berwarna kelabu terang, pejal, mengandung pecahan batuan gunung api hijau. Formasi ini memiliki kandungan fosil antara lain *Lepidocyclina* (*Eulepidina*) sp., *L. Parva* (Oppenoorth), *L.*

sumatrensis (Brady), *L. Eppiodes* (Jones & Chapman), *Myogypsinoidea* sp., *Spiroclypeus* sp., *Operculina* sp., dan ganggang gampingan. Umur satuan ini diperkirakan Miosen Awal sampai Miosen Akhir.

13. Diorit Boliohuto (Tmbo)

Satuan ini terdiri atas batuan diorit sampai granodiorit yang mengandung kuarsa 20% dengan kandungan feldspar, dan biotit cukup menonjol. Beberapa tempat dijumpai xenolit bersusunan basa. Kemungkinan satuan ini menerobos batuan basa di bawah permukaan. Batuan ini menerobos Formasi Dolokapa. Satuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir [69].

14. Batuan Gunung Api Pani (Tppv)

Batuan Gunung Api Pani terdiri atas dasit, andesit, tuf, dan aglomerat. Lava andesit merupakan penyusun utama di formasi ini. Berstruktur masif, berwarna abu-abu, bertekstur porfiritik, dengan fenokris terdiri dari feldspar dan kuarsa. Sedang lava andesit berwarna abu-abu dengan tekstur porfiro-afanitik, dan masif. Tuf berwarna abu abu muda, bersusunan dasit dan kompak. Aglomerat berwarna abu-abu dengan komponen andesit dan basal. Batuan ini menindih tak selaras Formasi Randangan. Jadi, umur batuan Gunung Api Pani diperkirakan berumur Pliosen Awal [69].

15. Breksi Wobudu (Tpww)

Breksi wobudu terdiri atas breksi gunung api, aglomerat, tuf, tuf lapili, lava andesitan dan basalan. Breksi gunungapi berwarna abu-abu, tersusun oleh kepingan batuan andesit dan basal yang berukuran kerikil sampai bongkah. Tuf dan tuf lapili berwarna kuning dan kuning kecokelatan, berbutir halus hingga berukuran kerikil, membulat tanggung, kemas terbuka, terkekarkan, umumnya lunak dan berlapis. Sedangkan lava umumnya berwarna abu-abu hingga abu-abu tua, masif, bertekstur porfiri-afanitik dan bersusunan andesit hingga basal. Posisi stratigrafi menindih tidak selaras formasi Dolokapa. Maka umur Breksi Wobudu diperkirakan Pliosen Awal [69].

16. Granodiorit Bumbulan (Tpb)

Satuan ini terdiri atas granodiorit, granit, dasit, dan monzonit kuarsa. Granodiorit berwarna abu-abu, masif, berbutir sedang, mengandung biotit dan piroksen. Granit berwarna abu-abu muda hingga abu-abu berbutir sedang sedikit mengandung mineral mafik jenis biotit dan umumnya terkekarkan. Sedangkan dasit berwarna abu-abu muda berbutir halus dengan mineral kuarsa dan feldspar. Monzonit kuarsa berwarna abu-abu, masif, berbutir menengah, dengan penyusun utama berupa kuarsa,

plagioklas, dan feldspar alkali. Menurut Sukamto (1973) batuan ini berumur Pliosen [69].

17. Formasi Lokodidi (TQls)

Formasi Lokodidi ini terdiri atas perselingan konglomerat, batu pasir, batu pasir konglomeratan, batu pasir tufan, tuf pasiran, batulempung, dan serpih hitam. Konglomerat berwarna cokelat, tersusun oleh kepingan batu gamping, andesit, dan kura susu yang berukuran kerikil hingga kerakal, berbentuk membulat, dengan masadasar tuf, terpilah buruk dengan kemas tertutup. Batu pasir berwarna abu hingga cokelat kemerahan, berbutir halus hingga sedang umumnya kompak, merupakan sisipan di antara serpih dan konglomerat. Batu pasir tufan dan tuf berwarna putih hingga abu-abu muda, berbutir sedang dan agak kompak. Sedang serpih berwarna hitam, umumnya kurang kompak, dan gampingan. Formasi ini menindih selaras Breksi Wobudu yang berumur Pliosen Awal sehingga diduga berumur Pliosen Akhir hingga Pliotesn Awal [69].

18. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv)

Batuan ini terdiri atas perselingan aglomerat, tuf, dan lava. Aglomerat berwarna abu-abu tersusun oleh kepingan andesit dengan ukuran berkisar antara 2 sampai 6 cm, berwarna abu-abu, menyudut tanggung, masadasar tuf, terpilah buruk, dan agak kompak. Tuf berwarna cokelat

muda hingga putih kecokelatan, berbutir sedang sampai kasar dengan susunan andesit sampai dasit. Lava berwarna abu-abu tua, tersusun atas andesit sampai basal. Satuan ini diduga menindih Breksi Wobudu, sehingga umurnya diperkirakan Pliosen Akhir [69].

19. Molasa Selebes (QTs)

Formasi ini terdiri atas endapan pascaorogeny yang terbentuk di cekungan-cekungan kecil, terdiri atas konglomerat, breksi, serta batu pasir, yang umumnya termampatkan lemah. Konglomerat dan breksi tersusun oleh aneka bahan komponen berupa kepingan andesit, basalt, granit, granodiorit, batugamping, batupasir maupun kuarsa. Satuan ini menunjukkan kemiringan landai sekitar 30°. Tebal dari formasi ini diperkirakan mencapai puluhan meter. Umur dari formasi ini adalah Pliosen-Plistosen [69].

20. Batu Gamping Klastik (TQI)

Formasi ini terdiri atas batuan kalkarenit, kalsirudit, dan batu gamping koral. Kalkarenit dan kalsirudit berwarna putih, kompak, dan di beberapa tempat menunjukkan perlapisan agak baik, mengandung pecahan fosil ganggang dan moluska.

Batuan ini biasanya berasosiasi dengan batu gamping koral yang berwarna putih dan pejal. Umur formasi ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Plistosen Awal. Sebaran satuan ini

terdapat pada sebelah Barat Danau Limboto. Tebal dari formasi beragam dari 100 meter hingga 200 meter [69].

21. Endapan Sungai (Qpr)

Formasi ini terdiri dari perselingan batu pasir, batu pasir konglomeratan, dan konglomerat. Satuan endapan sungai ini masih kurang mampat dan membentuk undak-undak pantai. Umur dari formasi ini diperkirakan Plistosen hingga Holosen. Ketebalan dari satuan ini diperkirakan mencapai puluhan meter. Sebaran satuan ini terdapat di sekitar daerah Marisa [69].

22. Endapan Danau (Qpl)

Formasi ini terdiri atas batu lempung, batupasir, dan kerikil. Satuan ini masih belum mampatkan. Umur dari satuan ini adalah Plistosen sampai Holosen. Sebaran satuan ini berada di sekitar daerah Lembah Paguyaman dan disekitar Danau Limboto. Ketebalannya mencapai 94 meter [69].

23. Batu Gamping Terumbu (Ql)

Formasi ini terdiri atas batu gamping terumbu terangkat dan batu gamping klastik dengan komponen utama koral dan berlapis. Formasi ini tersebar di daerah pantai Selatan dan di dekat Panong daerah Pantai Utara. Umur formasi ini diperkirakan Plistosen sampai Holosen.

24. Aluvium (Qal)

Formasi ini terdiri atas pasir, lempung, lanau, kerikil dan kerakal, berupa endapan pantai, rawa, dan sungai. Pelamparan satuan ini banyak

terdapat pada daerah pesisir Selatan bagian Barat tepatnya pada muara S. Randangan dan sekitarnya. Ketebalannya mencapai puluhan meter. Umur dari satuan ini adalah Holosen.

Bab 5

Analisis Potensi dan Risiko Pertambangan Emas Rakyat di Desa Tulabolo Gorontalo

A. Sejarah Pertambangan Emas di Gorontalo

Aktivitas pertambangan emas rakyat dengan menggunakan logam berat seperti merkuri dapat dijumpai di lima Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo.

Lokasi tambang di kabupaten Gorontalo utara adalah salah satu tambang emas tertua dan terus aktif di Provinsi Gorontalo. Kegiatan pertambangan ini dapat dijumpai di beberapa wilayah Kabupaten Gorontalo utara, antara lain di tiga kecamatan di Hulawa, Ilangata, dan Ilangata Barat.

Kegiatan penambangan di kecamatan Hulawa adalah yang tertua (akhir abad ke-19) di provinsi ini, sedangkan di kecamatan Ilangata dan Ilangata Barat baru dimulai sepuluh tahun yang lalu.

Aktivitas pertambangan, menggunakan elemen merkuri (Hg) untuk memisahkan emas dari material batuan atau biji [71]. Kegiatan pertambangan di kecamatan Sumalata dan Anggrek ini, melepaskan merkuri sebagai Limbah yang dialirkan ke sungai

sehingga mengakibatkan terjadinya pencemaran daerah aliran sungai Hulawa dan Ilangata.

Provinsi Gorontalo merupakan lumbung pangan daerah untuk beberapa komoditi seperti Beras, Ikan, dan daging Sapi. Oleh karena itu persebaran merkuri di wilayah Kabupaten Gorontalo Utara khususnya di sekitar pertambangan emas perlu diketahui.

Sampel tanah di titik-titik yang telah dipilih di daerah pertambangan diambil dan akan diukur dengan menggunakan peralatan X-Ray Fluorescence (XRF), Particle Induced X-Ray Emission dan Induced Coupler Plasma-Mass Spectroscopy (ICP-MS). Selanjutnya data-data tersebut akan disajikan dalam bentuk peta. Sedangkan tingkat pencemaran merkuri pada manusia akan diperoleh dari sampel rambut, dan gejala/symptoms yang tampak.

B. Praktik Pertambangan Emas Rakyat

Tingkat aktivitas berubah dengan cepat dari waktu ke waktu tergantung pada fluktuasi pasar emas. Perempuan dan anak-anak terlibat dalam proses penambangan emas. Pekerja perempuan menghancurkan bijih, mengolah limbah sedimen, dan menggeser emas di sungai. Anak-anak membantu ibu mereka dalam kegiatan ini dan bermain di sekitar lokasi penambangan.

ASGM di Kabupaten Gorontalo Utara diperkirakan menghasilkan ca. 290 kg emas dan memancarkan sekitar 860 kg merkuri ke lingkungan setiap tahunnya. Dampak yang begitu besar pada emisi merkuri terhadap lingkungan dan kesehatan manusia sangat perlu dinilai untuk mengurangi atau menghindari masalah kesehatan dan kematian.

C. Risiko

Secara alami, alam dapat memengaruhi kesehatan dalam berbagai aspek. Komposisi batuan dan mineral yang terkandung di udara yang kita hirup, air yang kita minum, dan makanan yang kita makan bagi banyak orang, pemindahan mineral dan elemen yang dikandungnya bermanfaat karena merupakan sumber nutrisi utama (seperti kalsium, zat besi, magnesium, kalium, dan sekitar selusin elemen lainnya) yang penting untuk hidup sehat. Akan tetapi, unsur geologi lokal yang mengandung unsur-unsur tertentu yang secara alami larut dalam kondisi oksidasi/reduksi dalam air tanah.

Secara berlebihan, unsur-unsur ini dapat menyebabkan masalah kesehatan yang signifikan karena jumlah unsur esensial yang tidak mencukupi atau kelebihan unsur-unsur tersebut (seperti arsenik, merkuri, timbal, fluor, dll.), atau kombinasi gas, seperti gas metana, partikel asbes, kuarsa atau pirit berukuran debu di udara yang terlalu banyak, atau

senyawa organik alami tertentu. Yang terakhir termasuk temuan yang dilaporkan oleh US Geological Survey bahwa bahkan air tanah yang melewati beberapa lapisan lignit dapat melarutkan PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) dalam konsentrasi yang cukup untuk menyebabkan masalah kesehatan yang serius [72].

D. Identifikasi *Geodiversity* Desa Tulabolo

1. Kondisi Geografis

Provinsi Gorontalo memiliki 5 kabupaten dan 1 kota, di antaranya adalah Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo, Kabupaten Gorontalo Utara, dan Kota Gorontalo [73]. Kabupaten Bone Bolango merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Gorontalo. Secara geografis mempunyai luas 1.984,58 km² atau 16,24 persen dari luas total Provinsi Gorontalo. Kabupaten Bone Bolango dibagi menjadi 18 kecamatan, terdiri dari 166 kelurahan/desa. Kecamatan dengan luas terbesar adalah Kecamatan Suwawa Timur sedangkan kecamatan dengan luas daerah terkecil yaitu Kecamatan Bulango Selatan [74].

Berdasarkan letak geografisnya, Kabupaten Bone Bolango berbatasan langsung dengan Kabupaten Bolaang Mongondow (Sulawesi Utara) dan Kabupaten Gorontalo Utara di sebelah

Utara. Sementara di sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, di sebelah selatan berbatasan dengan Teluk Tomini, dan sebelah barat berbatasan dengan Kota Gorontalo [74].

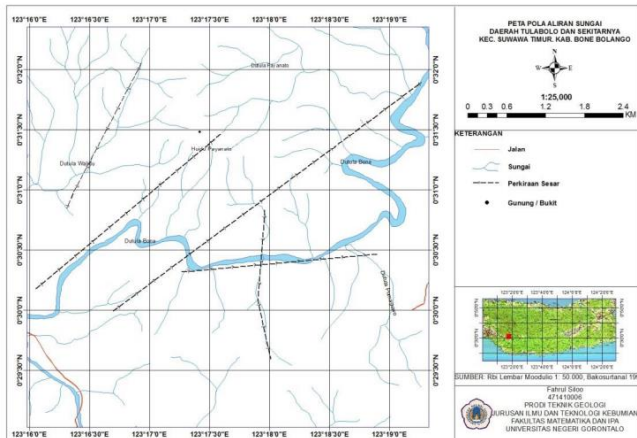
2. Kondisi Geologi

Desa Tulabolo memiliki kondisi geologi yang cukup kompleks dan unik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pateda (2021) [75] adanya perbedaan pola aliran sungai di lokasi penelitian sangat ditentukan oleh perbedaan topografi struktur dan jenis batuan dasarnya. Dari hasil analisis peta topografi dan pola aliran sungai, daerah penelitian hanya mempunyai satu pola aliran sungai yaitu *rectangular* [76].

Pola *rectangular* umumnya berkembang pada batuan yang resistensi terhadap erosinya mendekati seragam, tetapi dikontrol oleh kekar yang mempunyai dua arah dengan sudut saling tegak lurus. Kekar pada umumnya kurang resisten terhadap erosi sehingga memungkinkan air mengalir dan berkembang melalui kekar-kekar membentuk suatu pola pengaliran dengan saluran salurannya lurus-lurus mengikuti sistem kekar.

Pola aliran *rectangular* dijumpai di daerah yang wilayahnya terpatahkan. sungai-sungainya mengikuti jalur yang kurang resisten dan terkonsentrasi di tempat yang singkapan

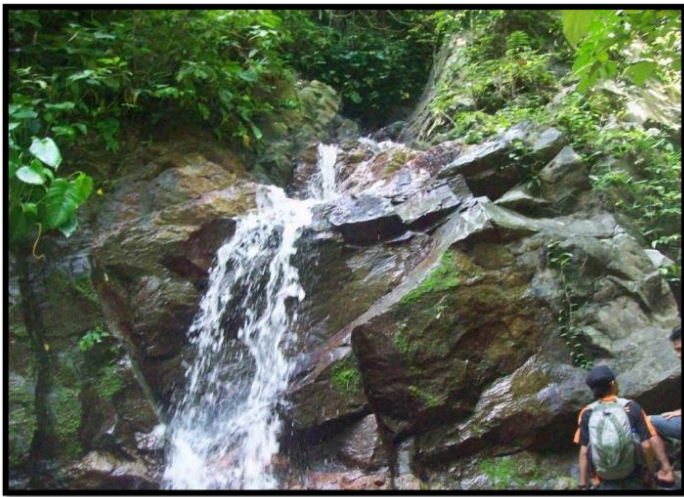
batuannya lunak. Cabang-cabang sungainya membentuk sudut tumpul dengan sungai utamanya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pola aliran rectangular adalah pola aliran sungai yang dikendalikan oleh struktur geologi, seperti struktur kekar (rekahan) dan sesar (patahan). Sungai rectangular dicirikan oleh saluran-saluran air yang mengikuti pola dari struktur kekar dan patahan.



Gambar 5.1 Peta Pola Aliran Sungai Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil analisis dan pengamatan lapangan stadia daerah penelitian masuk pada stadia mudah yaitu sungai-sungai yang aktivitas aliran sungainya mengerosi ke arah vertikal. Aliran sungai yang menempati seluruh lantai dasar suatu lembah dan umumnya profil lembahnya membentuk seperti huruf V.

Secara umum satuan geomorfologi daerah penelitian masuk pada zona pegunungan utara yang dikontrol oleh faktor litologi, struktur, dan proses erosi. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, bentang alam daerah penelitian dibagi menjadi tiga bentang alam yaitu bentang alam dataran sungai, bentang alam perbukitan intrusi, dan bentang alam perbukitan vulkanik. Pembagian bentang alam ini berdasarkan pada pembagian geomorfologi menurut Brahmantyo dan Bandono 2006.



Gambar 5.2 Tahapan Stadia Daerah Penelitian
Diperlihatkan pada Gambar di Atas

Satuan stratigrafi pada daerah penelitian menggunakan klasifikasi tidak resmi berdasarkan ciri litologi yang ditemukan pada lokasi penelitian serta hasil dari pengamatan laboratorium. Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi lima

satuan litostratigrafi yang di urutkan dari tua ke muda.

a. Satuan Diorit

Satuan diorit menempati kurang lebih 30% dari luas daerah penelitian. Satuan ini dapat dijumpai pada Sungai Walidu. Pada bagian hilir Sungai Payanato dan pada bantaran Sungai Bone, dengan kondisi litogi segar sampai lapuk dan terkadang dijumpai juga mineral ubahan berupa pirit.

Ciri litologi pada satuan ini berwarna abu-abu (intermedit) fanerik, subhedral sampai anhedral, ekigranular, dengan mineral pembentuk berupa plg. Hbl, Biotit. Satuan ini merupakan formasi Tmb atau lebih dikenal dengan diorit Bone dengan umur relatif miosen tengah kurang lebih 16 juta tahun [77]. Berdasarkan interpretasi peta geologi, satuan ini merupakan batuan dasar dari litologi yang berada pada daerah penelitian.

b. Satuan Granodiorit

Satuan granodiorit menempati kurang lebih 30% dari luas daerah penelitian, satuan dapat di jumpai pada Sungai Walidu, pada bagian hilir Sungai Payanato dan pada bantaran Sungai bone, dengan kondisi litologi segar sampai lapuk dan terkadang di jumpai juga mineral ubahan berupa pirit. Ciri litologi

pada satuan ini berwarna abu-abu (intermediet) fanerik, subhedral sampai anhedral, ekigranular, dngan mineral pembentuk berupa ortoklas, Qrz, plg. Satuan ini merupakan formasi anggota formasi dari diorit bone atau lebih dikenal dengan diorit bone dengan umur relatif miosen tengah kurang lebih 16 juta tahun [77].

c. Satuan Lapilli tuff

Berdasarkan pengamatan lapangan, satuan lapilli tuff merupakan batuan piroklastik atau batuan yang terbentuk akibat adanya erupsi gunung api, satuan menempati hampir 30% dari lokasi penelitian dan tersebar di bagian selatan dari lokasi penelitian. Satuan ini diperkirakan diendapkan secara tidak selaras di atas satuan diorit yang merupakan batuan dasar. Keadaan litologi pada satuan ini sudah mengalami pelapukan akibat gaya eksogen yang bekerja pada daerah penelitian. Satuan ini disetarakan dengan Pinogu vulkani. Ciri litologi ini yaitu berwarna abu-abu sampai kekuningan, sortir buruk, kemas terbuka, porositas buruk, permeabilitas buruk, ukuran butir pasir, membundar tanggung.

d. Satuan Breksi Vulkanik

Dari hasil pengamatan lapangan, satuan breksi yang berada pada lokasi penelitian merupakan breksi vulkani. Satuan ini

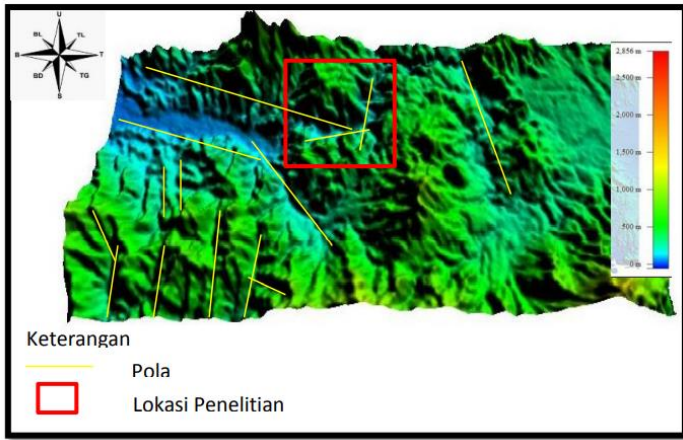
menempati 5% daerah telitian menurut [77]. Satuan ini berumur plistosen awal, pada satuan ini juga terdapat tuff lapilli. Satuan ini dapat dijumpai pada Sungai Maleo. Satuan ini disetarakan dengan endapan piroklastik dari Pinogu Vulkani. Satuan ini diendapkan secara selaras di atas satuan lapilli tuff. Ciri litologinya berwarna abu-abu, menyudut, kemas terbuka, sortir buruk, porositas buruk, permeabilitas buruk, dan semen lapilli tuff (tuff berukuran pasir).

e. Satuan Aluvial

Satuan ini merupakan satuan yang paling mudah pada daerah penelitian. Satuan ini diperkirakan berumur holosen dan menempati 5% dari lokasi penelitian. Satuan ini mempunyai ciri khusus yaitu teras, dataran banjir, dan juga terdapat poin bar dengan endapan berupa bongkahan batuan intrusi, berupa andesit, granit, dan diorit. Satuan ini terdapat pada Sungai Bone yang mengarah dari Timur ke Barat dan bermuara di Teluk Tomini.

Struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian berupa kekar, sesar, dan breksiasi. Hal ini diperlihatkan pada ciri langsung litologi dan sungai yang dikontrol oleh sesar. Dari hasil pengambilan dan pengukuran data lapangan, didapatkan beberapa kekar dan sesar pada

beberapa tempat. Penamaan kekar juga sesar ini menggunakan klasifikasi [78,79].



Gambar 5.3 Kenampakan Pola Kelurusan Daerah Penelitian

Dari hasil analisis citra SRTM arah gaya yang didapatkan mengarah ke barat laut yang mengikuti pergerakan sesar Gorontalo dan sesar minor yang berarah ke utara Selatan dan timur barat. Struktur inilah yang bekerja pada daerah Tulabolo.

Berdasarkan pengamatan di lapangan dan pengolahan data struktur dapat disimpulkan arah umum dari breksiasi di Sungai Bone yaitu timur-barat, yang dapat dilihat pada gambar di atas. Pengukuran arah breksiasi ini untuk menunjukkan arah umum dari pergerakan sesar. Breksiasi terjadi karena dipengaruhi oleh dua sesar yang terbentuk pada daerah tersebut.



Gambar 5.4 Breksiasi 4 yang Terjadi pada Batuan Intursi Berupa Diorit Di.

Tujuan dari analisis kekar ini adalah untuk mengartikan arah gaya tektonik yang bekerja pada daerah penelitian, sehingga diharapkan dapat membantu interpretasi struktur sesar dan lipatan yang ada pada daerah penelitian. Hubungan antara kekar, sesar, dan lipatan dikemukakan oleh Moody dan Hill (1956) [78] dalam Sudarno dkk. (2008) [80].



Gambar 5.5 Kekar pang Terdapat pada St1 Sungai Walidu Arah Gambar Relatif.

E. Potensi Geologi

Klasifikasi terbagi menjadi dua. Pertama, klasifikasi yang didasarkan pada genesanya. Kedua, klasifikasi secara diskriptif. Misalnya, berdasarkan komoditi logamnya atau berdasarkan batuan yang ditempatinya (*host rocks*).

Sebenarnya klasifikasi secara diskriptif berdasarkan komoditi logamnya relatif mudah untuk dipahami. Namun para ahli geologi tidak menggunakan klasifikasi tersebut. Hal ini disebabkan berbagai alasan, di antaranya tersebarinya banyak unsur logam pada beragam tatanan geologinya dan pembagian ini mungkin dirasa kurang ilmiah.

Pengelompokan yang sering digunakan oleh para ahli geologi umumnya berdasarkan pada bentuk endapannya, wall rock, atau kontrol strukturnya. Sebagai contoh, Bateman (1950) [81] dalam bukunya *Economic Mineral Deposit* dalam Hartosuwarno 2013 [82] mengelompokkan bijih berdasarkan kontrol strukturnya, yaitu di antaranya bijih yang terbentuk pada sesar, pada lipatan, pada kontak batuan beku, disseminasi, dan lain sebagainya. Masalahnya terdapat juga bijih yang terbentuk pada lipatan yang tersesarkan atau disseminasi sepanjang kontak batuan beku. Sehubungan dengan munculnya teori tektonik, lempeng yang dapat menjelaskan proses magmatisme dan keberadaan endapan bijih, maka klasifikasi secara genetis makin sering digunakan [83].

Berdasarkan hal di atas peneliti mendapatkan urat kuarsa yang berada di sebelah timur lokasi penelitian, tepatnya berada pada Dutula Payanato. Bagian hulu yang berasosiasi dengan batuan intrusi berupa diorite [61].

Potensi geologi lainnya yang terdapat di Desa Tulabolo adalah energi panas bumi yang melimpah dan pertambangan emas skala kecil. Pertambangan emas yang berada di Tulabolo terbagi atas dua yakni pertambangan emas yang dikelola oleh masyarakat dan pertambangan emas yang dikelola oleh perusahaan. Pertambangan emas yang dikelola oleh perusahaan, secara hukum dan administrasi, wilayah pertambangan ini dibangun sebagai wilayah kontrak.

Sistem kontrak digunakan sebagai sistem pengolahan dan pemanfaatan pertambangan atau yang disebut dengan perjanjian mineral (mineral agreement). Syarat adanya wilayah pertambangan, yaitu telah teridentifikasi kandungan mineral yang terdapat di dalam perut bumi. Tujuan dari identifikasi ini yaitu untuk pengembangan, penambangan, dan pemanfaatan.

Pertambangan emas rakyat yang berada di Taman Nasional Nani Wartabone khususnya di Desa Tulabolo Timur Kecamatan Suwawa Timur Kabupaten Bone Bolango ini cara pengelolaan emas mereka masih menggunakan alat-alat tradisional sehingga berdampak negatif bagi warga sekitar

khususnya Desa Suwawa dan umumnya bagi masyarakat Gorontalo [84].

Untuk menuju lokasi pertambangan ini bisa di bilang agak sulit karena disebabkan lokasi yang jauh dan medan atau jalan yang akan dilalui sangat berbahaya sehingga para penambang tidak menggunakan motor untuk ke lokasi pertambangan, tetapi lebih memilih berjalan kaki. Hal ini untuk mengatasi jika terjadi sesuatu seperti longsor atau pun jalan becek yang di sebabkan oleh hujan deras.

F Sektor Pariwisata

Desa Tulabolo memiliki wilayah konservasi yaitu Taman Nasional Bogani Nani Wartabone. Taman ini adalah taman wisata yang cocok bagi pengunjung yang menyukai petualangan di alam bebas. Taman Nasional Bogani Nani Wartanobe memiliki berbagai keunikan ekologi sebagai kawasan peralihan geografi daerah Indomalayan di sebelah barat dan Papua-Australia di sebelah timur (*Wallaceae Area*).

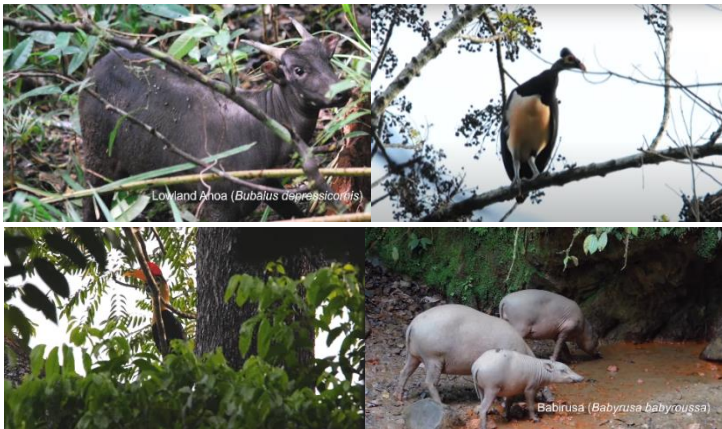
Wilayah Wallace merupakan tempat bertemunya margasatwa dan tumbuhan khas dari daratan Asia dan Australia. Hal inilah yang mengakibatkan kawasan ini menyimpan kekayaan hayati endemik dan unik yang hanya hidup di taman nasional tersebut. Diperkirakan lebih dari seribu jenis flora dan fauna yang telah diidentifikasi hidup di kawasan ini.

Flora terdiri atas 400 jenis pohon, 241 jenis tumbuhan tinggi, 120 jenis epifit, 100 jenis tumbuhan lumut, dan 90 jenis tanaman obat-obatan. Terdapat juga 24 jenis anggrek termasuk famili orchideae (angrek putri). Di taman ini juga bisa menemukan spesies tumbuhan endemik dan tumbuhan langka. Misalnya, palem matayangan (*Pholidocarpus ihur*), kayu besi (*Intsia spp.*), Kayu Hitam (*Diospyros celebica*), kayu kuning (*Arcangelisia flava*), dan bunga bangkai (*Amorphophallus companulatus*).

Taman Nasional Bogani Nani Wartabone menjadi habitat beberapa jenis hewan, seperti mamalia (24 spesies), unggas (125 spesies), reptilia (11 spesies), amfibia (2 spesies), kupu-kupu (38 spesies), kumbang (200 spesies), dan ikan (19 spesies). Sebagian besar satwa yang ada di taman nasional merupakan satwa khas/endemik Pulau Sulawesi seperti monyet hitam/yaki (*Macaca nigra nigra*), monyet dumoga bone (*M. nigrescens*), tangkasi (*Tarsius spectrum spectrum*), musang Sulawesi (*Macrogalidia musschenbroekii musschenbroekii*), anoa besar (*Bubalus depressicornis*), anoa kecil (*B. quarlesi*), babirusa (*Babirusa babirusa celebensis*), dan berbagai jenis burung.

Satwa burung yang menjadi maskot taman nasional adalah maleo (*Macrocephalon maleo*), dan kelelewar bone (*Bonea bidens*). Burung-burung tersebut merupakan satwa endemik taman nasional ini. Ukuran badan burung maleo hampir sama

dengan ayam, namun telurnya 6 kali berat telur ayam. Maleo meletakkan telurnya di dalam tanah/pasir sedalam 30–40 cm dan biasanya terletak berdekatan dengan sumber air panas. Dengan panas bumi inilah telur maleo menetas. Keluarnya anak maleo dari dalam tanah, larinya anak maleo ke alam bebas (umur sehari), mengintip induknya yang sedang menggali lubang, merupakan salah satu atraksi satwa yang menarik bagi para wisatawan.



Gambar 5.6 Gambar Hewan Endemik di Taman Nasional Bogani Nani Wartabone

Bab 5

Penutup

A. Simpulan

1. Konsentrasi logam beracun (Hg, Pb, dan As) dilingkungan dan dirambut penambang dan masyarakat wilayah sungai bone dan sekitarnya berada di atas ambang normal menurut German Human Biomonitoring commission. Penggunaan unsur Hg dalam proses amalgamasi pertambangan emas merupakan salah satu sumber racun bagi lingkungan. Konsentrasi Hg pada rambut manusia ini merupakan konsekuensi dari kegiatan Penambangan emas skala kecil dan potensi risiko bagi kesehatan manusia. Selain itu, kemungkinan terjadinya pencemaran Pb dan As juga terkait dengan kegiatan penambangan dan juga pencampuran dengan sumber alam melalui proses alterasi hidrotermal mineralisasi emas. Dalam penelitian ditemukan adanya dua sumber utama: sumber alami dan antropogenik pelepasan logam beracun ke lingkungan.

2. Di sisi lain pertambangan emas skala kecil mampu menggerakkan roda ekonomi masyarakat. walaupun risiko akan pencemaran lingkungan dan efeknya terhadap Kesehatan masyarakat juga sangat besar.
3. Dalam penelitian ini juga diperoleh solusi untuk meminimalisir permasalahan lingkungan dan Kesehatan. Solusi yang ditawarkan adalah melalui alternatif aktivitas lain yang mampu menggerakkan ekonomi masyarakat melalui Geowisata.
4. Daerah tulabolo memiliki potensi Geowisata yang mencakup potensi Geodiversity dan Biodiversity yang unik dan bernilai Tinggi. Selama ini menjadi daerah Tulabolo telah menjadi tujuan wisata minat khusus yang perlu untuk terus dikembangkan sehingga bisa meningkatkan perekonomian masyarakat dan memberikan alternatif pekerjaan yang lebih aman bagi lingkungan dan Kesehatan masyarakat.

B. Rekomendasi

Setelah banyak kasus yang melanda dunia menyebabkan masalah merkuri menjadi permasalahan global yang harus segera dicarikan solusinya. Salah satu solusi dalam mereduksi racun merkuri dari lingkungan adalah melalui remediasi.

Untuk memastikan kelestarian lingkungan, langkah-langkah pencegahan untuk menjaga kualitas dan kuantitas badan air terhadap praktik penambangan emas ilegal diperlukan untuk membantu mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan keenam (SDG 6) yang menyerukan pengelolaan air yang berkelanjutan untuk semua. Namun, kegiatan seperti eksploitasi mineral, transportasi bijih, peleburan dan pemurnian, pembuangan tailing dan air limbah di sekitar lokasi penambangan telah mengakibatkan pelepasan sejumlah besar merkuri dan kontaminan logam berat lainnya ke lingkungan di banyak area pertambangan di Indonesia.

Glosarium

- Anthropogenic*** : Hal-hal yang berasal dari aktivitas manusia dan berdampak pula pada kehidupan manusia dan lingkungan.
- Geopark*** : Kawasan yang memiliki unsur geologi terkemuka, di mana masyarakat setempat juga berperan serta melindungi warisan alam tersebut.
- Geosite*** : Sebuah situs atau tempat yang diidentifikasi untuk pengembangan ilmu kebumian ataupun sebagai daya tarik wisata
- Geowisata** : Pariwisata minat khusus dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam, seperti bentuk bentang alam, batuan, struktur geologi, dan sejarah.
- Pariwisata berkelanjutan** : Pariwisata yang berkembang baik dan secara terus-menerus, termasuk pertambahan arus kapasitas akomodasi, populasi masyarakat, dan lingkungan.
- Perjanjian mineral** : Sistem kontrak digunakan sebagai sistem pengolahan dan pemanfaatan pertambangan.

Daftar Pustaka

1. N. Rahmanita and Y. Yulimarni, "Pelaminan Adat Masyarakat Minangkabau (Kajian Bentuk dan Fungsi)," *Corak* 5(1), (2016).
2. N. Priyanto and others, "Pelaksanaan Penegakan Hukum terhadap Pertambangan Emas Tanpa Izin Berdasarkan Pasal 20 Ayat (1) Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Barat Nomor 8 Tahun 1987 di Desa Lamat Payang Kabupaten Bengkayang," *J. Huk. Prodi Ilmu Huk. Fak. Huk. Untan (Jurnal Mhs. S1 Fak. Hukum) Univ. Tanjungpura* 4(1), (2015).
3. P. L. Krisno, "Kemajuan Industri dan Dampak Lingkungannya Di Jepang Sebelum Tahun 1950," *Lensa Budaya J. Ilm. Ilmu-Ilmu Budaya* 12(1), (2017).
4. A. Sarker, "Ecological perspectives on water, food, and health security linkages: the Minamata case in Japan," *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28(25), 32177–32189 (2021).
5. B. Weiss and T. W. Clarkson, "Toxic chemical disasters and the implications of Bhopal for technology transfer," *Milbank Q.* 216–240 (1986).
6. M. Adlim, "Pencemaran merkuri di perairan dan karakteristiknya: suatu kajian kepustakaan ringkas," *Depik* 5(1), (2016).
7. I. Ismawati, "Pasar Uang dalam Perspektif Islam," *J. Minds Manaj. Ide dan Inspirasi* 3(1), 96–106 (2016).
8. P. Ismawati and S. J. Andajani, "Penerapan Pembelajaran Kooperatif Tipe STAD Bermedia Realia Terhadap Pemahaman Konsep Geometri Pada Anak Kelompok B TK Dharmawanita Dewi Sartika Bojonegoro," (2013).
9. C. A. S. Putra, "Evaluasi Revegetasi Lahan Bekas Tambang Emas PT. Newmont Minahasa Raya, Manado, Sulawesi Utara," (2010).

10. W. Chang, "Dampak Ekonomis Penambangan Emas Bagi Masyarakat Mandor, Kalimantan Barat," *Masy. Indones.* 38(1), 115-138 (2016).
11. R. Wulandari, "Analisis Implementasi Kebijakan Politik Pemerintah Indonesia dalam Mengantisipasi Sampah Plastik," Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik (2021).
12. N. D. C. Rumampuk and V. Warouw, "Bioakumulasi total merkuri, arsen, kromium, cadmium, timbal di Teluk Totok dan Teluk Buyat, Sulawesi Utara," *J. LPPM Bid. Sains dan Teknol.* 2(2), 49-59 (2015).
13. Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Gorontalo Utara, *Laporan Akhir: Studi Kandungan Merkuri Dalam Darah Masyarakat Penambang Di Desa Buladu Kecamatan Sumalata Kabupaten Gorontalo Utara Provinsi Gorontalo* (2011).
14. I. K. Irianto, *Buku Bahan Ajar Pencemaran Lingkungan* (2015).
15. N. Nuzmiyah, "Analisis Kandungan Merkuri (Hg) pada Ikan Nila Merah *Oreochromis Sp.* yang Dibudidayakan dalam Kja di Kota Pontianak," Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (2019).
16. V. D. Glenn, "Top 20 Hazardous substances from the cercla priority list of hazardous substances for 2001," *Ref. Rev.* (2002).
17. S. Rahim, "Konflik Pemanfaatan Ruang Akibat Penambangan Emas Tanpa Ijin (PETI) di Kawasan Hutan Produksi Terbatas," *GeoEco* 3(1), (2017).
18. C. Muthiadin, I. R. Aziz, and A. A. Andriyani, "Awaous melanocephalus: Ikan native species dari Sulawesi Barat (sebuah review)," in *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (2017), 3(1).
19. A. Salam, F. M. Sahami, C. Panigoro, Y. I. Arifin, and M. Sakakibara, "Threats to Food Safety and Sustainability of Nike (*Awaous melanocephalus*) in Gorontalo Province," *KnE Life Sci.* 43-54 (2017).

20. N. W. Mohamad, F. M. Sahami, and C. Panigoro, "Analisis Kandungan Merkuri Pada Ikan Nike di Kota Gorontalo," *NIKE J.* 3(3), (2015).
21. P. A. R. Yulis, "Analisis kadar logam merkuri (Hg) dan (Ph) air Sungai Kuantan terdampak penambangan emas tanpa izin (PETI)," *Orbital J. Pendidik. Kim.* 2(1), 28–36 (2018).
22. R. Farantika, S. P. Putro, M. Hadi, and I. Triarso, "Study on water quality physical-chemical parameters aquaculture areas in Menjangan Besar Island, Kepulauan Karimunjawa, Jepara, Indonesia," in *Journal of Physics: Conference Series* (2020), 1524(1), p. 12136.
23. T. Widyaningrum and T. Suharyanti, "Pengaruh merkuri klorida terhadap pertumbuhan dan histopatologi ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*, Linn)," in *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning* (2011), 8(1), pp. 129–138.
24. J. Swarbrooke, *Sustainable Tourism Management* (Cabi, 1999).
25. T. A. Hose, "3G's for modern geotourism," *Geoheritage* 4(1–2), 7–24 (2012).
26. T. A. Hose and D. A. Vasiljević, "Defining the Nature and Purpose of Modern Geotourism with Particular Reference to the United Kingdom and South-East Europe," *Geoheritage* 4(1–2), 25–43 (2012).
27. A. Martínez-Martínez, J. G. Cegarra-Navarro, and A. García-Pérez, "Environmental knowledge management: A long-term enabler of tourism development," *Tour. Manag.* 50(April), 281–291 (2015).
28. H. Bouzekraoui, A. Barakat, M. El Youssi, F. Touhami, A. Mouaddine, A. Hafid, and Z. Zbigniew, "Mapping Geosites as Gateways to the Geotourism Management In Central High-Atlas (Morocco)," 37(1), (2018).
29. I. A. Kurniawan, H. Sugawara, M. Sakakibara, Y. I. Arifin, and E. Sunarty, "The Potential of Gorontalo

- Province as Global Geopark," (2017).
30. Y. Arifin, M. Sakakibara, and K. Sera, "Impacts of Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) on Environment and Human Health of Gorontalo Utara Regency, Gorontalo Province, Indonesia," *Geosciences* 5(2), 160–176 (2015).
 31. M. Kantsperger, H. Thees, and C. Eckert, "Local participation in tourism development-roles of non-tourism related residents of the Alpine Destination Bad Reichenhall," *Sustain.* 11(24), (2019).
 32. S. Abdussamad and others, "Sistem Informasi Geografis Potensi dan Pemanfaatan Energi di Propinsi Gorontalo," *Penelit. Unggulan Fak.* 1(661), (2013).
 33. K. Sera, S. Futatsugawa, and S. Murao, "Quantitative analysis of untreated hair samples for monitoring human exposure to heavy metals," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms* 189, 174–179 (2002).
 34. Basri, M. Sakakibara, and K. Sera, "Current Mercury Exposure from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Bombana, Southeast Sulawesi, Indonesia – Future Significant Health Risks," *Toxics* 5(1), 7 (2017).
 35. K. Sera, S. Futatsugawa, and K. Matsuda, "Quantitative analysis of untreated bio-samples," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms* 150(1), 226–233 (1999).
 36. M. T. Kitong, J. Abidjulu, and H. S. Koleanan, "Analisis merkuri (Hg) dan arsen (As) di sedimen sungai Ranoyapo kecamatan Amurang Sulawesi Utara," *J. MIPA* 1(1), 16–19 (2012).
 37. H. S. R. Pamungkas, H. Thayib, and I. Inswiasri, "Potensi Sebaran Limbah Merkuri Pertambangan Emas Rakyat Di Desa Cisungsang, Kabupaten Lebak, Banten," *Indones. J. Heal. Ecol.* 14(3), 195–205 (2015).
 38. S. Safratilofa and K. Kaizar, "Analisis Kandungan Merkuri (Hg) di Dalam Tubuh Ikan Patin Siam (Pangasius Hypophthalmus) yang diberi Perlakuan

- Fitoremediasi Dengan Tanaman Azolla (*Azolla microphilla*)," *J. Akuakultur Sungai dan Danau* 3(1), 27-34 (2018).
39. Y. Kristianingsih, "Bahaya Merkuri Pada Masyarakat Dipertambangan Emas Skala Kecil (Pesk) Lebaksitu," *J. Ilm. Kesehat.* 10(1), 32-38 (2018).
 40. A. Rosihan and H. Husaini, "Logam berat sekitar manusia," (2017).
 41. C. R. Kanzler, P. Lian, E. L. Trainer, X. Yang, N. Govind, J. M. Parks, and A. M. Graham, "Emerging investigator series: methylmercury speciation and dimethylmercury production in sulfidic solutions," *Environ. Sci. Process. & Impacts* 20(4), 584-594 (2018).
 42. Y. I. Arifin, M. Sakakibara, S. Takakura, M. Jahja, F. Lihawa, and K. Sera, "Artisanal and small-scale gold mining activities and mercury exposure in Gorontalo Utara Regency, Indonesia," *Toxicol. & Environ. Chem.* 102(10), 521-542 (2020).
 43. S. M. Raihan, M. Moniruzzaman, Y. Park, S. Lee, and S. C. Bai, "Evaluation of dietary organic and inorganic mercury threshold levels on induced mercury toxicity in a marine fish model," *Animals* 10(3), 405 (2020).
 44. J. Azar, M. H. Yousef, H. A. N. El-Fawal, and A. Abdelnaser, "Mercury and Alzheimer's disease: A look at the links and evidence," *Metab. Brain Dis.* 36(3), 361-374 (2021).
 45. S. S. Sonone, S. Jadhav, M. S. Sankhla, and R. Kumar, "Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food Chain," *Lett. Appl. NanoBioScience* 10(2), 2148-2166 (2020).
 46. S. Kumar, S. Prasad, K. K. Yadav, M. Shrivastava, N. Gupta, S. Nagar, Q.-V. Bach, H. Kamyab, S. A. Khan, S. Yadav, and others, "Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches-A review," *Environ. Res.* 179, 108792 (2019).

47. E. C. Moody, S. G. Coca, and A. P. Sanders, "Toxic metals and chronic kidney disease: a systematic review of recent literature," *Curr. Environ. Heal. reports* 5(4), 453–463 (2018).
48. M. Ren, J. Zhao, B. Wang, H. An, Y. Li, X. Jia, J. Wang, S. Wang, L. Yan, X. Liu, and others, "Associations between hair levels of trace elements and the risk of preterm birth among pregnant Wwomen: A prospective nested case-control study in Beijing Birth Cohort (BBC), China," *Environ. Int.* 158, 106965 (2022).
49. I. Salcedo-Bellido, E. Gutiérrez-González, E. Garc\'ia-Esquinas, N. F. de Larrea-Baz, A. Navas-Acien, M. Téllez-Plaza, R. Pastor-Barriuso, V. Lope, J. L. Gómez-Ariza, T. Garc\'ia-Barrera, and others, "Toxic metals in toenails as biomarkers of exposure: a review," *Environ. Res.* 197, 111028 (2021).
50. C. Campanale, C. Massarelli, I. Savino, V. Locaputo, and V. F. Uricchio, "A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health," *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17(4), 1212 (2020).
51. M. Bilal and H. M. N. Iqbal, "An insight into toxicity and human-health-related adverse consequences of cosmeceuticals—a review," *Sci. Total Environ.* 670, 555–568 (2019).
52. N. A. Gafur, M. Sakakibara, K. Sera, and Y. I. Arifin, "Toxic Metal Concentrations of Human Hair in Downstream of ASGM Sites in Bone Bolango Regency, Gorontalo Province, Indonesia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2020), 536(1), p. 12006.
53. R. D. Raju, "Energy resources and mineral exploration," *Radioact. Miner. New Delhi Natl. Sci. Digit. Libr. NISCAIR* (2008).
54. A. Selvi, A. Rajasekar, J. Theerthagiri, A. Ananthaselvam, K. Sathishkumar, J. Madhavan, and P. K. S. M. Rahman, "Integrated remediation processes

- toward heavy metal removal/recovery from various environments-a review," *Front. Environ. Sci.* 7, 66 (2019).
55. A. W. W. Badaru, F. Lihawa, and I. N. Manyoe, "Geologi Daerah Dinito dan Sekitarnya Kabupaten Boalemo Provinsi Gorontalo," *Jambura Geosci. Rev.* 1(1), 13-21 (2019).
 56. R. W. Van Bemmelen, "General Geology of Indonesia and adjacent archipelagoes," *Geol. Indones.* (1949).
 57. R. Hall and M. E. J. Wilson, "Neogene sutures in eastern Indonesia," *J. Asian Earth Sci.* 18(6), 781-808 (2000).
 58. M. J. Armstrong, R. W. Armstrong, and K. Mulliner, *Chinese Populations in Contemporary Southeast Asian Societies: Identities, Interdependence and International Influence* (Routledge, 2012).
 59. T. M. Van Leeuwen, "25 years of mineral exploration and discovery in Indonesia," *J. Geochemical Explor.* 50(1-3), 13-90 (1994).
 60. T. M. van Leeuwen and T. M. Muhandjo, "Stratigraphy and tectonic setting of the Cretaceous and Paleogene volcanic--sedimentary successions in northwest Sulawesi, Indonesia: implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi," *J. Asian Earth Sci.* 25(3), 481-511 (2005).
 61. I. Kavalieris, T. M. van Leeuwen, and M. Wilson, "Geological setting and styles of mineralization, north arm of Sulawesi, Indonesia," *J. Southeast Asian Earth Sci.* 7(2-3), 113-129 (1992).
 62. T. Apandi and S. Bachri, "Geologi Lembar Kotamobagu," *Pus. Penelit. dan Pengemb. Geol. Direktorat Jenderal Pertamb. Umum Dep. Pertamb. dan Energi* (1997).
 63. T. Apandi and S. Bachri, *Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi* (Direktorat Geologi, 1997).
 64. N. Ratman, *Tolitoli, North Sulawesi* (Geological Survey of Indonesia, 1976).

65. T. M. van Leeuwen, R. Taylor, A. Coote, and F. J. Longstaffe, "Porphyry molybdenum mineralization in a continental collision setting at Malala, northwest Sulawesi, Indonesia," *J. Geochemical Explor.* 50(1-3), 279-315 (1994).
66. P. P. dan Pengembangan Geologi (Indonesia), R. Sukanto, and H. Sumadirdia, *Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi 1: 250,000* (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1973).
67. T. Apandi, "Geological map of the Kotamobagu sheet, Sulawesi," *Geol. Res. Dev. Cent. Bandung Indones.* 2316-2317 (1997).
68. D. S. Trail, T. U. John, M. C. Bird, R. C. Obial, B. A. Pertz, D. B. Abiog, and S. Parwoto, *The General Geological Survey of Block 2, Sulawesi Utara, Indonesia* (1974).
69. S. Bachri and R. L. Situmorang, "Geological Map of the Dili Quadrangle 2406--2407, scale 1: 250 000," *Geol. Res. Dev. Centre, Bandung* (1994).
70. K. E. Marks, "An assessment of the functional significance of *Nypa fruticans* wetlands in the Tallo River Basin, Sulawesi.," (1995).
71. BLH Gorut, *Laporan Akhir: Studi Kandungan Merkuri Dalam Darah Masyarakat Penambang Di Desa Buladu Kecamatan Sumalata Kabupaten Gorontalo Utara Provinsi Gorontalo* (2011).
72. Y. Yang, P. C. Van Metre, B. J. Mahler, J. T. Wilson, B. Ligouis, M. M. Razzaque, D. J. Schaeffer, and C. J. Werth, "Influence of coal-tar sealcoat and other carbonaceous materials on polycyclic aromatic hydrocarbon loading in an urban watershed," *Environ. Sci. \& Technol.* 44(4), 1217-1223 (2010).
73. S. Taniu, A. P. Yakup, and M. A. Novriansyah, "Shift share analysis to determine regional economic performance of Gorontalo," *Gorontalo Dev. Rev.* 3(2), 102-113 (2020).

74. Y. Pikoli, B. R. Rachman, and W. Yasin, "Nadzir's Role in the Management of Waqf Mosque Land in Bone Bolango Regency, Indonesia," *Talaa J. Islam. Financ.* 1(1), 46-55 (2021).
75. M. Pateda, M. Sakakibara, and K. Sera, "Element Rich Area Associated with Human Health Disorders: A Geomedical Science Approach to Potentially Toxic Elements Contamination," *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18(22), 12202 (2021).
76. A. Y. Permana, I. Susanti, N. I. K. Dewi, and K. Wijaya, "Morphology of Urban Space: Model of Configuration using Logic of Space (LoS) Theory in densely populated of Bandung City," *J. Archit. Res. Educ.* 1(1), 18-35 (2019).
77. Y. Blancuzzi, A. Padilla, A. Cave, and J. Parello, "Symmetrical rearrangement of the cation-binding sites of parvalbumin upon calcium/magnesium exchange. A study by proton 2D NMR," *Biochemistry* 32(5), 1302-1309 (1993).
78. J. D. Moody and M. J. Hill, "Wrench-fault tectonics," *Geol. Soc. Am. Bull.* 67(9), 1207-1246 (1956).
79. M. J. Rickard, "Fault classification: discussion," *Geol. Soc. Am. Bull.* 83(8), 2545-2546 (1972).
80. S. Husein, A. Mustofa, I. Sudarno, and B. Toha, "Tegalrejo Thrust Fault as an Indication of Compressive Tectonics in Baturagung Range, Bayat, Central Java," *Pertem. Ilm. Tah. Ikat. Ahli Geol. Indones. ke-37, Bandung, Indones.* (2008).
81. A. M. Bateman, *Economic Mineral Deposits* (1950).
82. D. Damayani, S. E. Kamil, and others, "Efek Residu Dari Kombinasi Media Tanam Abu Vulkanik Merapi, Pupuk Kandang Sapi Dan Tanah Mineral Terhadap C-organik, Kapasitas Pegang Air, Kadar Air Dan Bobot Kering Pupus Tanaman Jagung (*Zea Mays L.*)," *Bionatura* 15(3), (2013).

83. L. C. Graton, "Waldemar Lindgren, 1860-1939," *Econ. Geol.* 34(8), 850--850f (1939).
84. N. N. Sune and others, "Pemodelan Spasial Ekologis Pengelolaan Kawasan Hutan Berbasis Masyarakat di DAS Bone," *Hibah Bersaing (DP2M)* 2(973), (2015).

Indeks

B

batuan, 22, 23, 24, 27, 35, 39,
40, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50,
52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61,
63, 65, 68, 69, 70, 73, 74, 83

E

emas, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
16, 18, 27, 28, 29, 30, 32, 33,
35, 61, 62, 63, 74, 79, 80, 81,
87

G

geodiversitas, 15, 23, 25
geologi, 9, 15, 22, 23, 24, 25, 32,
39, 43, 45, 46, 47, 63, 65, 66,
68, 70, 73, 74, 83
geopark, 15
geosite, 15, 17
geowisata, 15, 16, 21
Geowisata, 13, 14, 15, 16, 18,
80
Gorontalo, 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
11, 13, 16, 18, 19, 25, 29, 39,
43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50,
52, 61, 62, 63, 64, 71, 75, 86,
87, 88, 89, 90, 91, 92

H

hewan, 34, 37, 76

K

kontaminasi, 12, 18, 30

L

lingkungan, 1, 2, 7, 8, 13, 14,
16, 18, 19, 23, 24, 29, 30, 32,
33, 34, 39, 51, 52, 54, 63, 79,
80, 81, 83

M

manusia, 1, 2, 5, 8, 18, 19, 20,
30, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 39,
62, 63, 79, 83, 89
Manusia, 21, 27, 30
merkuri, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12,
13, 18, 19, 21, 27, 29, 30, 31,
32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39,
61, 62, 63, 80, 81, 85, 86, 87,
88
Merkuri, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11,
13, 27, 30, 33, 34, 35, 36, 37,
86, 87, 88, 89, 92

P

pertambangan, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8,
9, 10, 16, 18, 19, 27, 28, 29,
30, 32, 33, 35, 38, 61, 62, 74,
75, 79, 80, 81

S

sungai, 7, 11, 19, 22, 23, 29, 30,
32, 33, 42, 59, 61, 62, 65, 66,
67, 70, 79, 88

T

tumbuhan, 31, 34, 75, 76

Tentang Penulis

Dr. Sc. Yuyu Indriati Arifin, M.Si., adalah dosen pada Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo. Mengampu beberapa mata kuliah di antaranya Fisika Dasar, Geologi umum, dan Geologi medis. Menempuh Studi Magister di Fisika Bumi Insitiut Teknologi Bandung (ITB) di bawah bimbingan Prof. Satria Bijaksana, Ph.D., pada tahun 2005. Melanjutkan studi di bidang Geologi medis di *Graduate School of Science and Engineering Ehime University* di bawah bimbingan Prof. Masayuki sakakibara, Ph.D., dan lulus pada tahun 2016.

Terus aktif melanjutkan riset di bidang geologi medis dan merintis *Geopark Gorontalo* dengan Badan Penelitian, Perencanaan, dan Pengembangan Daerah (BAPPEDA) Provinsi Gorontalo sejak tahun 2018. Saat ini, menjabat sebagai kepala pusat studi energi, sumber daya mineral dan *geopark* di Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Gorontalo (UNG). Sejak 2019 menjadi peneliti utama dalam bidang geoturisme di proyek *Sustainable Regional Innovation for Reducing Poverty in Indonesia* di bawah bimbingan Prof. Masayuki Sakakibara, Ph.D. Proyek SRIREP didanai oleh *Research Institute for Humanity and Nature* (RIHN) yang berbasis di Kyoto, Jepang.

Sebagai peneliti, Dr. Yuyu juga aktif melakukan publikasi ilmiah baik di dalam maupun luar negeri. Tercatat sudah ada lebih dari 15 artikel ilmiah internasional yang ditulis bersama kolega di dalam dan luar negeri.

Geowisata,

Solusi Pencemaran Lingkungan Pertambangan Emas Rakyat

(Studi Kasus Desa Tulabolo Gorontalo)

Aktivitas pertambangan emas rakyat di Provinsi Gorontalo tersebar di berbagai lokasi, seperti di Desa Buladu dan Hulawa Kecamatan Sumalata Timur, Gunung Pani di Pohuwato, dan Tulabolo di Suwawa Timur. Pertumbuhan ekonomi di daerah sekitarnya tampak, tetapi polusi lingkungan yang ditimbulkan juga tidak dapat dihindarkan. Di Tulobolo terdapat juga potensi pariwisata dengan adanya situs geowisata yang dikenal dengan Hungayono, yaitu lokasi yang kaya akan keragaman geologis dan biologis. Situs Hungayono sudah menjadi lokasi tujuan wisata khusus bagi turis yang ingin melihat langsung bagaimana burung maleo dan tarsius dijaga keberlangsungannya. Bagaimana skenario pelestarian alam dan pengelolaannya di tengah ancaman kerusakan lingkungan karena pertambangan emas? Akan dibahas dibuku ini.



ideas
PUBLISHING

Alamat: Jalan Ir. Joesoef Dalie, No. 110 Kota Gorontalo 96128
Pos-el: infoideaspublishing@gmail.com
Website: www.ideaspublishing.co.id

ISBN 978-623-234-194-4

