

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum

2.1.1 Sejarah Pertambangan

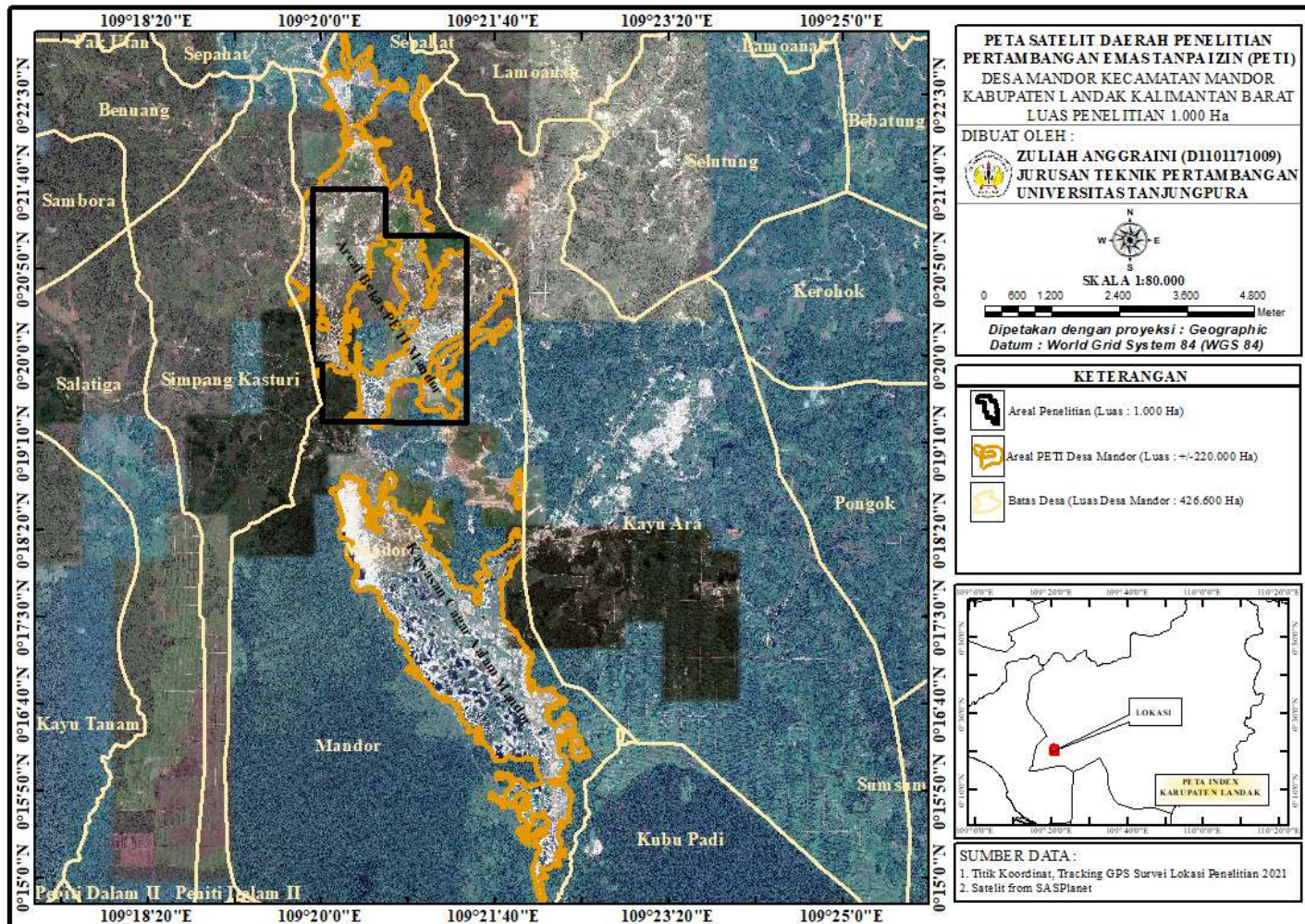
Berdasarkan informasi Kelompok Penyelidikan Konservasi Pusat Sumber Daya Geologi (2015) bahwa penambangan emas aluvial di daerah Mandor, pertama kali dilakukan oleh orang-orang Cina pada Tahun 1745 dan diikuti oleh masyarakat setempat serta pendatang. Dahulu masyarakat menambang emas dengan menggaruk pasir demi pasir di dasar sungai menggunakan dulang kayu sederhana. Seiring dengan perkembangannya, kini penambangan emas rakyat dan/atau ilegal (PETI) menambang emas tersebut dengan menggunakan mesin dompeng. Aktivitas PETI ini dilakukan di daerah aliran Sungai Mandor mulai dari hulu (Menjalin) sampai ke arah muara Sungai Mandor (Sungai Tengkorak).



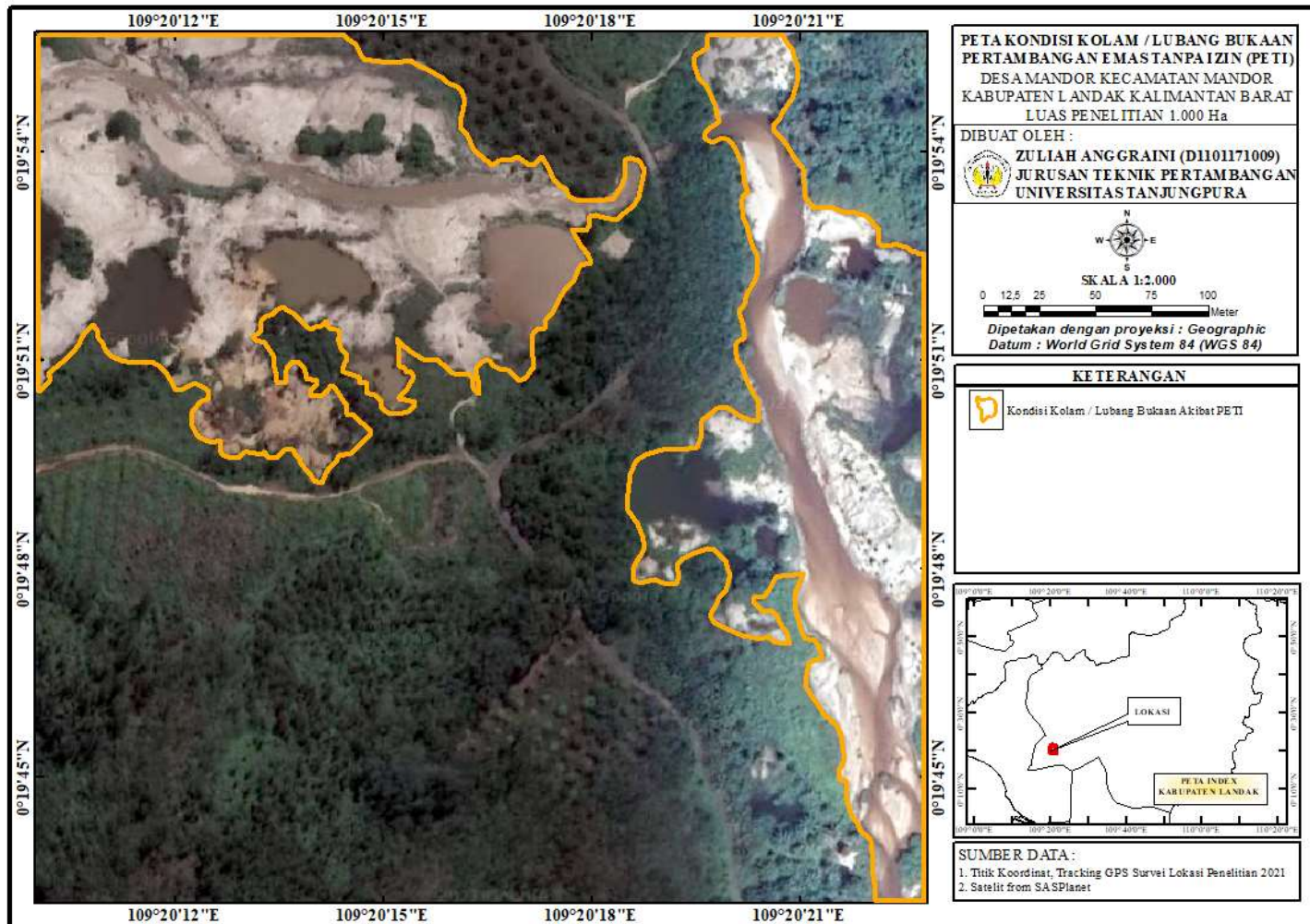
(Sumber : Aleksander, 2018)

Gambar 2.1 Lahan PETI Mandor

Pengamatan di lapangan kondisi daerah aliran Sungai Mandor saat ini berupa endapan tailing bekas penambangan emas aluvial terdahulu. Endapan tailing secara megaskopis berupa pasir kuarsa berwarna putih-keabuan, berbutir halus, sedang hingga kasar bercampur lempung (Kelompok Penyelidikan Konservasi Pusat Sumber Daya Geologi, 2015). Kondisi kolam/lubang bukaan endapan tailing di PETI Mandor setelah diamati pada Satelit SAS Planet, dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2.2 Peta satelit daerah penelitian PETI Mandor



Gambar 2.3 Peta kondisi kolam/lubang bukaan akibat bekas PETI Mandor

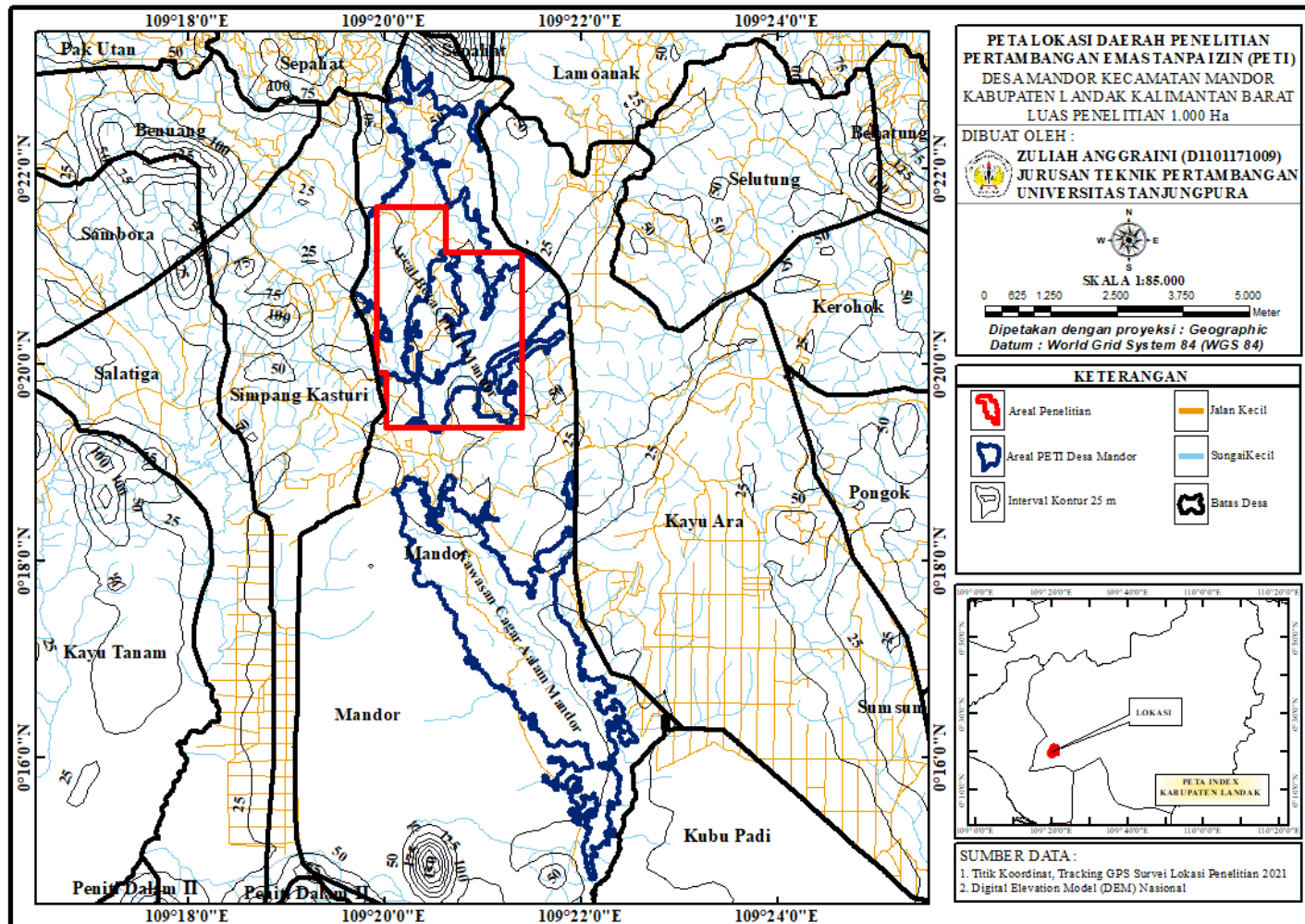
2.1.2 Batas Administratif Wilayah Penelitian

Daerah penelitian secara administratif, lokasi Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Mandor terletak di Desa Mandor, Kecamatan Mandor, Kabupaten Landak, Provinsi Kalimantan Barat. Berdasarkan sumber dari satelit pada SAS Planet, PETI tersebut memiliki luas sebesar ± 220.000 Ha. Menurut data Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia Tahun 2020, luasan lahan PETI Mandor merupakan lebih dari setengah luasan daerah Desa Mandor yang memiliki luas yaitu 426.600 Ha. Adapun pada lokasi penelitian dilakukan pada luas wilayah sebesar 1.000 Ha dengan koordinat wilayah pada Tabel 2.1. Daerah penelitian secara geografis terletak sebelah Utara $109^{\circ}19'54,77''$ BT dan $0^{\circ}21'36,07''$ LU, sebelah Barat $109^{\circ}19'54,77''$ BT dan $0^{\circ}19'54,70''$ LU, sebelah Timur $109^{\circ}21'23,42''$ BT dan $0^{\circ}19'21,46''$ LU, sebelah Selatan $109^{\circ}20'0,41''$ BT dan $0^{\circ}19'21,46''$ LU. Wilayah ini berbatasan dengan beberapa desa, peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.4 :

- Utara : Desa Sepahat, Kecamatan Menjalin
 Barat : Desa Simpang Kasturi, Kecamatan Mandor
 Timur : Desa Kayu Ara, Kecamatan Mandor
 Selatan : 1. Desa Peniti Dalam I, Kecamatan Segedong
 2. Desa Peniti Dalam I, Kecamatan Segedong
 3. Desa Kubu Padi, Kecamatan Kuala Mandor B

Tabel 2.1 Koordinat Lokasi Penelitian di Lahan Bekas PETI Mandor

No.	BUJUR TIMUR				LINTANG UTARA			
	o	'	''	BT	o	'	''	LU
1.	109	19	54,77	BT	0	21	36,07	LU
2.	109	20	36,84	BT	0	21	36,07	LU
3.	109	20	36,84	BT	0	21	8,87	LU
4.	109	21	23,42	BT	0	21	8,87	LU
5.	109	21	23,42	BT	0	19	21,46	LU
6.	109	20	0,41	BT	0	19	21,46	LU
7.	109	20	0,41	BT	0	19	54,70	LU
8.	109	19	54,77	BT	0	19	54,70	LU



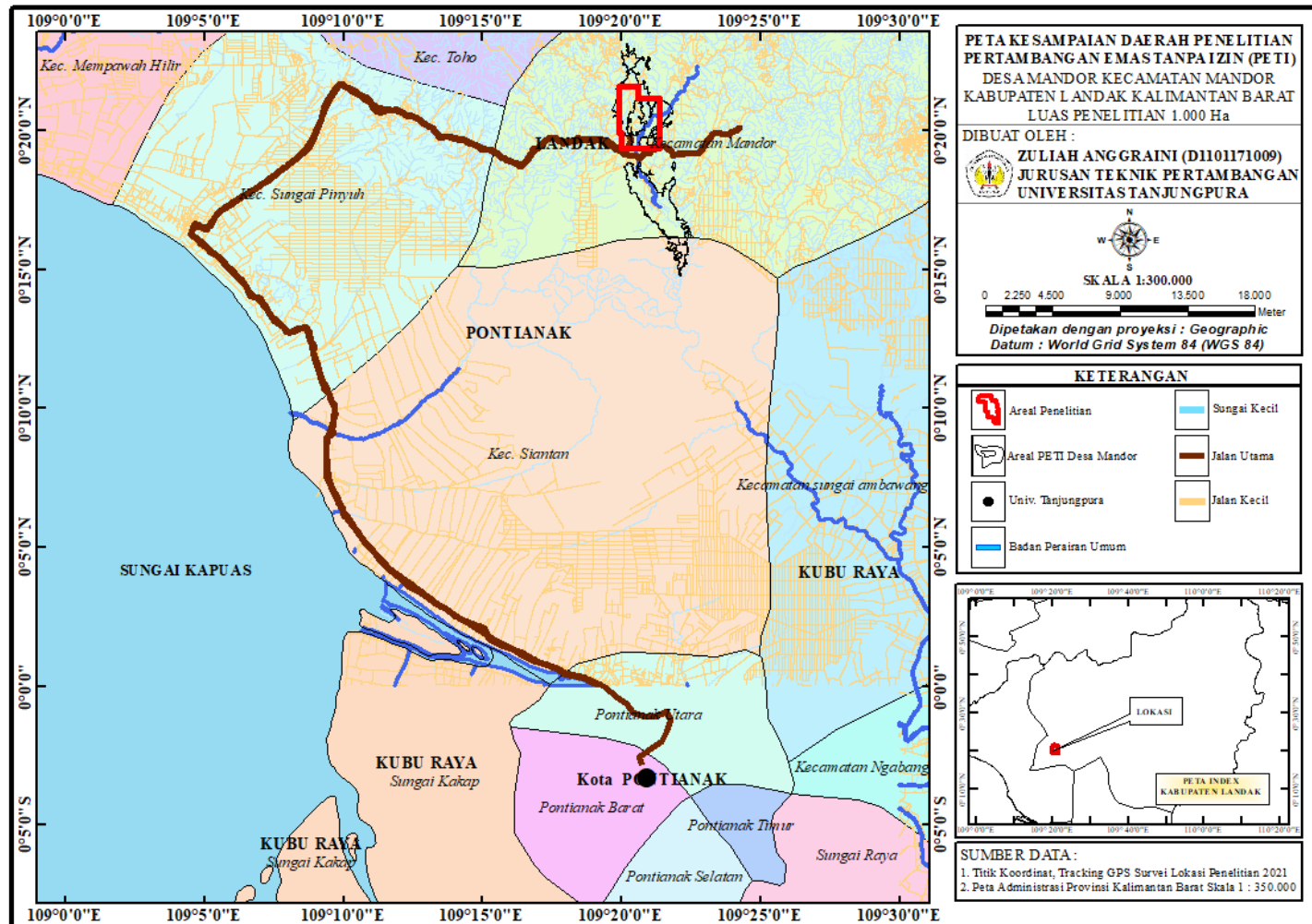
Gambar 2.4 Peta lokasi daerah penelitian PETI Mandor

2.1.3 Kesampaian Lokasi

Lokasi penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan alat transportasi darat, baik kendaraan roda empat maupun roda dua dari Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, dengan rute:

1. Kecamatan Pontianak Tenggara - Kecamatan Pontianak Barat - Kecamatan Pontianak Utara - Kecamatan Siantan - Kecamatan Sungai Pinyuh : ditempuh dengan waktu ± 1 jam 30 menit; dan
2. Kecamatan Sungai Pinyuh - Kecamatan Mandor : ditempuh dengan waktu ± 55 menit.

Lokasi daerah penelitian bekas PETI Mandor ini ditempuh melewati satu batas administratif kabupaten/kota yaitu Kota Pontianak dan Kabupaten Landak. Dapat disimpulkan bahwa untuk dapat mencapai lokasi dari Kecamatan Pontianak Tenggara Kota Pontianak menuju Kecamatan Mandor Kabupaten Landak dapat ditempuh selama ± 2 jam 25 menit yang sebagian besar merupakan jalan provinsi atau negara beraspal baik dengan kondisi jalan *hotmix*. Kemudian dari jalan Kecamatan Mandor menuju ke lokasi penelitian dilanjutkan dengan kondisi jalan tanah terkompakkan sepanjang jalan dengan jarak tempuh ± 3 km. Rute perjalanan dari Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura menuju lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Peta kesampaian lokasi daerah penelitian PETI Mandor

2.1.4 Geomorfologi/Topografi

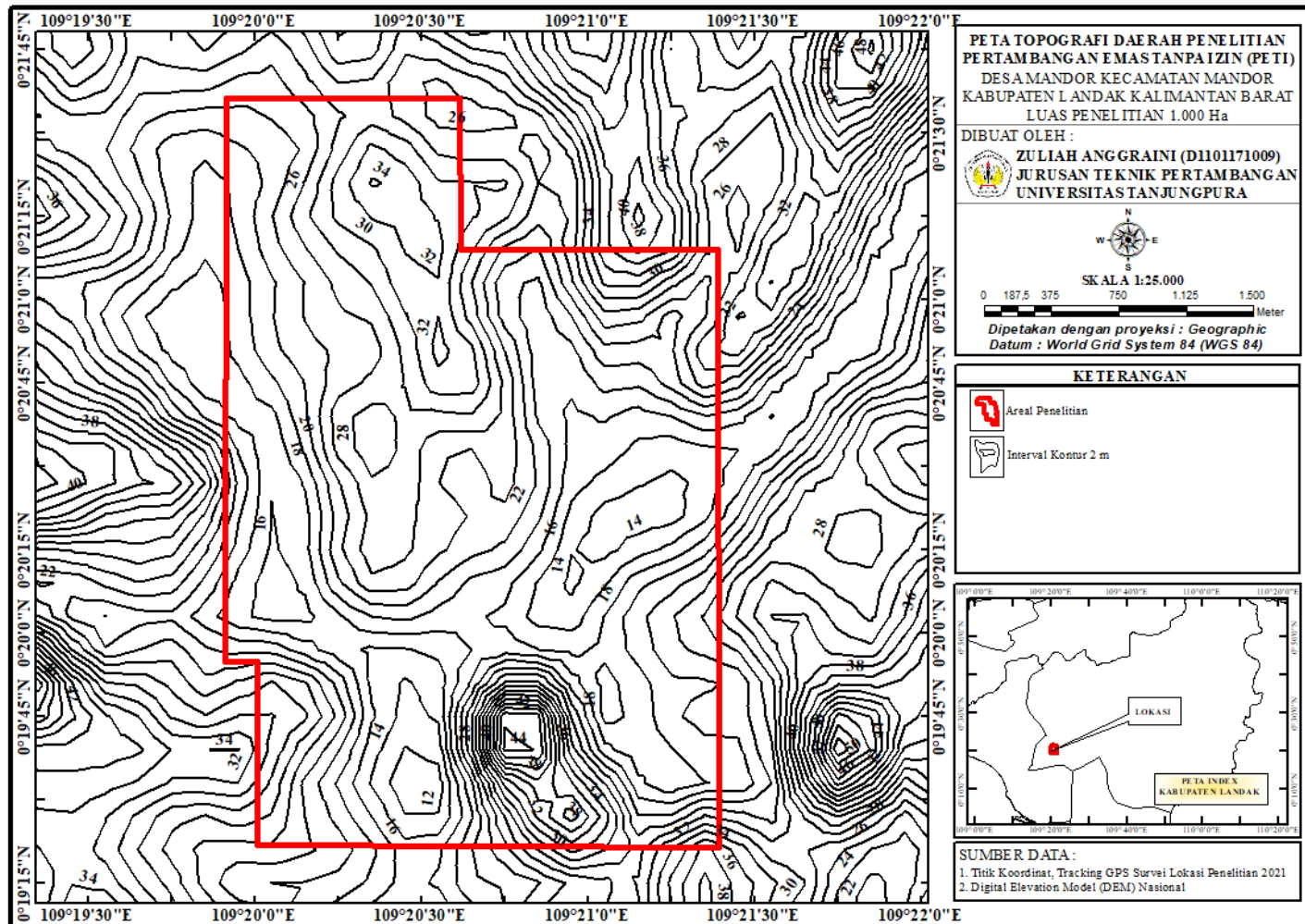
Berdasarkan situs Direktorat Jenderal Cipta Karya Tahun 2016 tentang Rencana Pembangunan Investasi Infrastruktur Jangka Menengah 2016-2020 bahwa Kabupaten Landak termasuk dalam wilayah dataran rendah Pegunungan Barat Kabupaten Landak. Menurut pembagian kelas kemiringan lahan, mencirikan daerah tersebut berada pada kemiringan lahan yang berbukit. Hal ini dapat dilihat pada kemiringan lahan yang dominan berada pada kelas kemiringan berbukit 8-15%. Untuk lebih jelasnya mengenai kemiringan lahan di Kabupaten Landak disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kemiringan Lahan di Kabupaten Landak

No.	Kemiringan Lereng	Luas	
		Hektar (Ha)	Persentase (%)
1.	0-8%	125.290	15
2.	8-15%	444.213	53
3.	15-25%	40.391	5
4.	25-40%	199.651	24
5.	>40%	21.015	3

(Sumber : Hasil Kajian Pemetaan Lahan Kabupaten Landak Tahun 2010 oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2016)

Dari tabel di atas, lahan-lahan berkemiringan 0-15% cocok digunakan untuk berbagai jenis kegiatan karena berada pada bentuk wilayah datar sampai berombak (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2016), salah satunya kegiatan pertambangan seperti PETI Mandor. Menurut peta topografi skala 1:25.000 pada Gambar 2.6, morfologi daerah penelitian di PETI Desa Mandor Kecamatan Mandor Kabupaten Landak umumnya memperlihatkan morfologi dataran setempat yang berawa-rawa dengan ketinggian 10-50 m di atas permukaan air laut.



Gambar 2.6 Peta topografi daerah penelitian PETI Mandor

2.1.5 Geologi

Hasil pemetaan geologi Kalimantan Barat oleh Direktorat Geologi Bandung Tahun 1976, menjelaskan bahwa formasi geologi yang tersebar di wilayah Kecamatan Mandor Kabupaten Landak terdiri dari beberapa formasi geologi, di antaranya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Struktur Geologi di Kabupaten Landak

Kecamatan	Jenis Batuan	km ²	%
Mandor	Kwarter	50.5	0.51
	Intrusif dan Plutonik Asam	169.07	1.71
	Kapur	6.67	0.07
	Plistosen – Pliosen	338.42	3.42

(Sumber : Hasil Analisis Peta Geologi Kalimantan Barat Tahun 1976 oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2016)

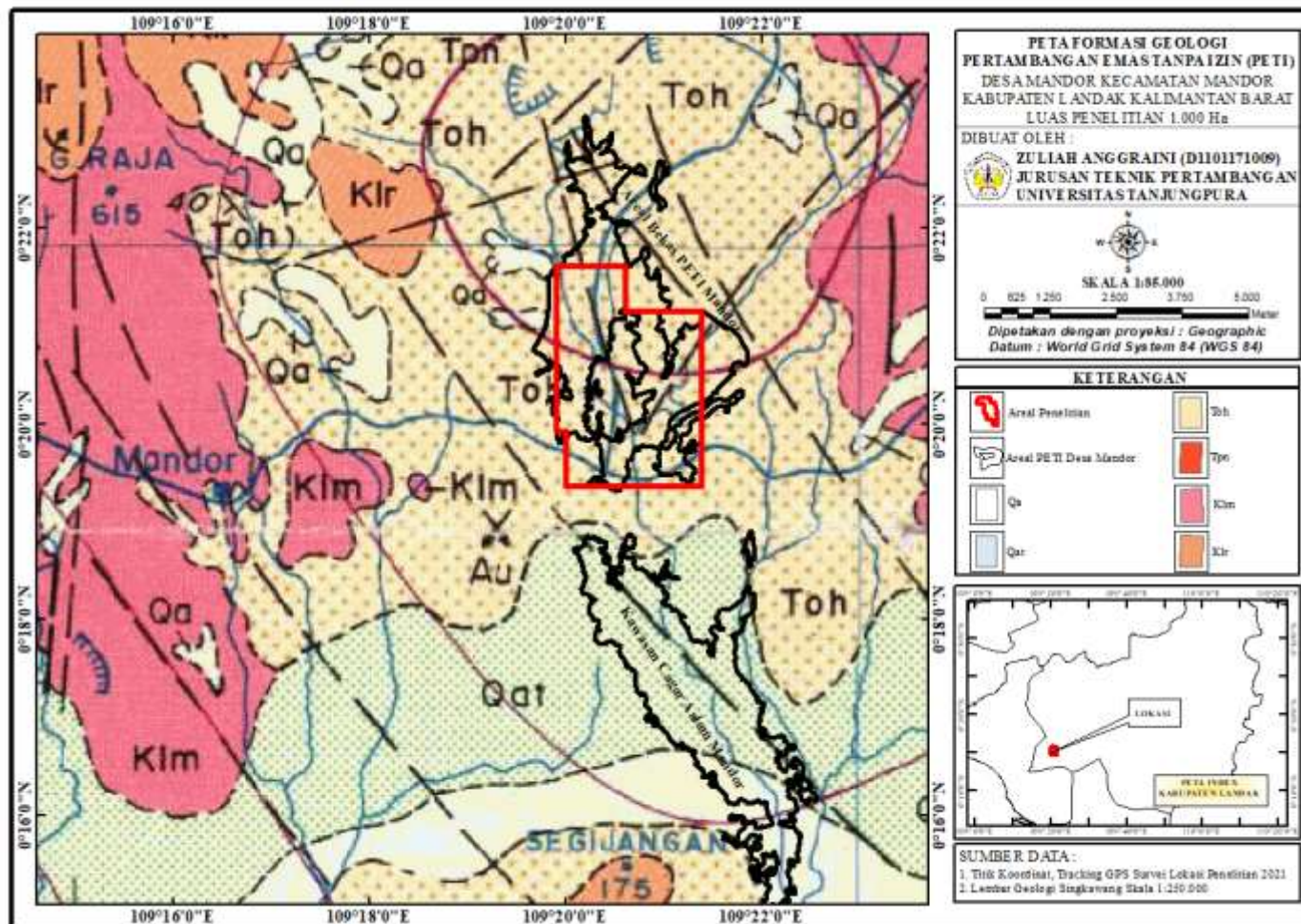
Berdasarkan penyelidikan lanjutan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Tahun 1993 dalam Peta Geologi Lembar Singkawang Kalimantan Barat skala 1:85.000 (Gambar 2.7), wilayah Kabupaten Landak dapat diamati terdapat tiga jenis batuan, yaitu endapan sedimen, batuan gunung api dan batuan intrusif. Endapan sedimen dari umur tua ke muda, di antaranya sebagai berikut.

- Formasi Hamisan (Toh), terdiri dari; arenit kuarsa, arenit litos, dan konglomerat anekabahan.
- Endapan Aluvial Tertoreh (Qat), terdiri dari; kerikil padat, pasir, dan lumpur.
- Endapan Aluvial dan Rawa (Qa), terdiri dari; lumpur, pasir, kerikil, dan sisa tumbuhan.

Adapun batuan gunung api ialah Batuan Gunungapi Raya (Klr), terdiri dari; andesit terubah, dasit, basalt dengan gabungan antara piroklastika andesitan dan dasitan, kaya klorit, epidot, sisipan tipis konglomerat, batupasir, serta batulumpur. Sedangkan batuan intrusif berturut-turut dari tua ke muda yaitu :

- Granodiorit Mensibau (Klm), terdiri dari; terutama granodiorit dengan granit, diorit kuarsa, diorit, adamelit, tonalit; dan
- Batuan Gunung Api Niut (Tpn), terdiri dari; basalt porfiritik, sedikit andesit.

Pada umumnya, Kabupaten Landak kaya dan beragam akan potensi sumber daya bahan galian, terutama emas aluvial yang penambangannya diusahakan oleh PETI dan terletak di daerah aliran Sungai Mandor.



(Sumber : Data Sekunder, 2021)

Gambar 2.7 Peta formasi geologi daerah penelitian PETI Mandor

Pada Gambar 2.7, terlihat bahwa lokasi penelitian yang menjadi pilihan dalam melakukan penjelajahan merupakan lokasi yang berada pada Formasi Hamisan (Toh) berupa arenit kuarsa. Hal ini juga dibuktikan oleh Kelompok Penyelidikan Konservasi Pusat Sumber Daya Geologi pada Tahun 2015 bahwa hasil analisis mineralogi butir pada penyelidikan di Kabupaten Landak teridentifikasi persentase mineral kuarsa lebih besar di setiap lubang bor. Pasir kuarsa di daerah penelitian keberadaannya sangat melimpah dan umumnya sudah relatif bersih dari pengotor berupa tanah dan lempung, karena sudah mengalami proses pencucian pada saat penambangan (Gambar 2.1). Selain itu, hasil analisis mineral butir tersebut juga teridentifikasi terdapatnya jenis batuan yang berpotensi pembentukan asam (*Potential Acid Forming, PAF*) yaitu mineral pirit dan yang tidak berpotensi pembentukan keasaman (*Non Acid Forming, NAF*), di antaranya ilmenit, zirkon, piroksen, oksida besi, garnet, mika, anatas, dan korundum. Mineral-mineral tersebut merupakan mineral ikutan selain emas.

Mineral pirit merupakan salah satu mineral sulfida yang sangat sering dijumpai sebagai jenis batuan PAF. Kenampakan mineral pirit (FeS_2) (*iron sulfide*) memperlihatkan warna krem pucat, isotropik, relief tinggi, berbutir halus, tersebar tidak merata pada massa maseral (Widodo dkk, 2019). Berdasarkan hasil pengujian mikroskop optik penelitian terdahulu, telah terdeteksi bahwa mineral sulfida jenis pirit (FeS_2) menunjukkan hadirnya silikon (Si) yang diduga merupakan unsur silikat berupa mineral kuarsa (SiO_2). Di lapangan banyak cara yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya lapisan pirit. Adanya hutan mangrove, konsistensi lumpur/tak matang atau bercak jarosite berwarna kekuningan jerami pada tanah memastikan adanya lapisan pirit dalam tanah (Suastika dkk, 2006), seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

Kabupaten Landak Kalimantan Barat hingga saat ini belum ada data eksplorasi yang menunjukkan keberadaan bahan galian mineral logam yang prospek di daerah tersebut, sehingga masih diperlukan penyelidikan lebih lanjut untuk mengetahui potensi dan sumberdayanya. Hasil penyelidikan uji petik terdahulu di daerah Panji, Kecamatan Menyuke, Kabupaten Landak, Kalimantan Barat menunjukkan bahwa mineralisasi yang terbentuk di daerah Sungai Riam,

Sungai Talinse, Sungai Napal, dan Sungai Jenaham ditafsirkan merupakan zona mineralisasi Pirit - Kalkopirit - Molibdenit porfiri yang lebih banyak mengandung pirit. Diduga ini terbentuk pada “*Pyrite Zone*”, dengan ciri jenis ubahan yaitu argilik-filik (Nursahan, 2005).

2.2 Tinjauan Teoritis

2.2.1 Tailing Air Asam Tambang

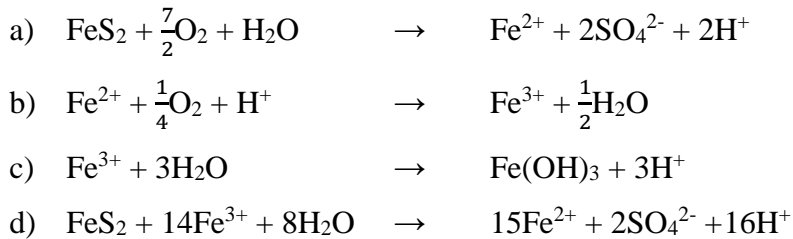
A. Mineral Sulfida

Mineral sulfida dapat dijumpai pada tiga jenis utama batuan, yaitu pada batuan beku, sedimen maupun metamorf. Namun kandungan potensial biasanya terdapat pada endapan yang terbentuk dari hasil aktivitas hidrotermal. Aktivitas hidrotermal menghasilkan batuan teralterasi dan termineralisasi mengandung mineral sulfida dalam beberapa jenis dengan asosiasi tertentu, tergantung pada tipe mineralisasi dan alterasinya. Kandungan mineral sulfida pada tubuh endapan hasil aktivitas hidrotermal dapat beberapa persen saja atau berupa endapan sulfida masif, yaitu hampir seluruhnya terdiri dari mineral sulfida (Suprpto, 2016). Proses penambangan dengan membongkar dan memindahkan bahan galian mengandung sulfida menyebabkan terbukanya sulfida terhadap udara bebas. Kondisi terpapar pada udara bebas mineral sulfida akan teroksidasi dan terlarutkan membentuk air asam tambang (Norris, 2016).

B. Pembentukan Air Asam Tambang

Air asam tambang mengandung banyak unsur logam beracun berbahaya yang menyebar ke lingkungan sekitar dapat terjadi secara alami maupun sebagai akibat kegiatan pertambangan. Dispersi logam yang terjadi secara alami dapat membentuk rona awal kandungan logam di daerah sekitar tubuh bijih yang tinggi, yaitu di atas rata-rata pada kerak bumi. Kegiatan penambangan akan cenderung memicu proses pembentukan air asam tambang berlangsung menjadi lebih intensif (Wahyudi dkk, 2014). Pembentukan air asam tambang dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu air, udara dan material yang mengandung mineral sulfida

(Kiswanto dkk, 2018). Menurut Said (2014), proses pembentukan asam dapat dijelaskan dengan persamaan kimia sebagai berikut.



Pada reaksi a), pirit teroksidasi membentuk asam (2H^+), sulfat dan besi *ferrous* (Fe^{2+}). Reaksi b), besi *ferrous* akan teroksidasi membentuk besi *ferric* (Fe^{3+}) dan air pada suasana asam. Reaksi c) besi *ferric* (Fe^{3+}) dihidroksida membentuk hidroksida besi dan asam. Pada reaksi d), keasaman (acidity, H^+) yang terbentuk dapat bertindak sebagai katalis dalam memecah pirit (FeS_2) menghasilkan lebih banyak lagi ion ferro (Fe^{2+}), sulfat dan H^+ . Pembentukan asam tersebut dapat dipercepat dengan kehadiran bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* yang dapat berperan pada tahapan reaksi ke b) memicu pembentukan (Fe^{3+}) sehingga mempercepat pembentukan asam selanjutnya. Pembentukan air asam dapat terjadi secara alami maupun sebagai akibat kegiatan penambangan melalui mineral sulfida yang tersingkap pada kegiatan penggalian dan penimbunan batuan penutup (Kurniawan dkk, 2015).

C. Karakteristik Air Asam Tambang

Langkah penting di dalam pengolahan limbah cair adalah dengan mengetahui karakteristik dari limbah cair (Kiswanto dkk, 2018). Dengan mengetahui karakteristik limbah yang akan diolah maka proses pengolahan limbah dapat berjalan efektif (Binnie dkk, 2002). Oleh karena itu, sangat penting dan perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik limbah air asam tambang yang berada dalam kolam tailing dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar. Adapun karakteristik kimia dari air asam tambang menurut Nasir dkk (2014), antara lain:

- a) pH rendah (nilainya berkisar antara 1,5 hingga 4);
- b) konsentrasi logam berat terlarut (Fe, Mo, Al, Mn, Cd, Cu, Sn, Zn, Ni, Pb, As,

dan Hg);

- c) nilai keasaman : 50-15.000 mg/L;
- d) salinitas (sulfat) yang tinggi di mana konsentrasi sulfat umumnya antara 500-10.000 mg/L; (Hamdani dan Senjaya, 2011)
- e) konduktivitas listrik umumnya antara 1.000-20.000 μ S/cm;
- f) konsentrasi yang rendah dari oksigen terlarut (<6 mg/L); dan
- g) tingkat kekeruhan (turbiditas) atau total padatan tersuspensi (TSS) yang dikombinasikan dengan satu atau lebih karakteristik di atas.

Menurut Hamdani dan Senjaya (2011), indikator-indikator utama kehadiran air asam tambang termasuk, di antaranya :

1. air berwarna merah atau jernih tidak alami;
2. endapan-endapan oksida besi orange-coklat pada saluran-saluran drainase;
3. matinya ikan atau organisme air lainnya;
4. terbentuknya lapisan endapan pada lokasi pencampuran air asam tambang dan badan air penerima atau pada pertemuan-pertemuan aliran;
5. produktivitas yang buruk pada lahan yang terganggu; dan
6. vegetasi yang mengalami mati ranting (*dieback*) atau tanah-tanah seperti bekas terbakar dan korosi pada struktur beton atau baja.

Adapun sumber-sumber air asam tambang dapat berasal dari kegiatan sebagai berikut (Nasir dkk, 2014).

- a) Air dari tambang terbuka.
- b) Air dari pengolahan batuan buangan.
- c) Air dari lokasi penimbunan/*stocpile* batuan.
- d) Air dari unit pengolahan limbah tailing.

D. Dampak Air Asam Tambang terhadap Lingkungan

Dampak air asam tambang terhadap lingkungan dapat dirasakan, baik pada sumberdaya air maupun tanah (Virginia dkk, 2020).

- a) Sumberdaya Air

Air asam tambang merupakan satu-satunya sumber polusi paling besar karena tingkat keasaman yang tinggi, sehingga makhluk hidup tidak mampu

bertahan hidup. Karena tingkat keasamannya ekstrim, air asam tambang dapat memobilisasi logam-logam, seperti Fe, Al, dan Mn, dan logam-logam berat yang lain (Cd, Cu, Sn, Zn, Ni, Pb, dan Hg) serta metaloid seperti As yang dibebaskan dari mineral-mineral sulfida dan mineral-mineral lain yang berasosiasi (Johnson dan Hallberg, 2005). Air sungai yang tercemar air asam tambang menyebabkan korosi pipa dan bangunan logam, merusak dinding, dan membunuh tumbuhan dan organisme akuatik yang lain (Munawar, 2017).

b) Sumberdaya Tanah

Air asam tambang dapat terbentuk di dalam tanah yang kemudian dapat meningkatkan tingkat keasaman tanah. Pada kondisi sangat asam, mineral-mineral di dalam tanah mudah larut dan dapat membebaskan logam-logam seperti Fe, Al, Mn, Cd, Cu, Sn, Zn, Ni, dan Hg (Virginia dkk, 2020).

E. Penanganan Air Asam Tambang

Penanganan air asam tambang dapat dilakukan terhadap air asam yang berasal dari tanah timbunan (*backfilling*), *stockpile*, dan *mine sump*. Dalam hal ini perlu dilakukan evaluasi mengenai air asam tambang agar dapat tercapainya penanganan yang efektif dan efisien (Kadafi, 2018). Penanganan air asam tambang dapat dilakukan dengan mencegah pembentukannya dan menetralkan air asam yang tidak terhindarkan (Suprpto, 2016). Adapun penanganan air asam berguna untuk menurunkan kadar logam agar memenuhi standar baku mutu sebelum air tersebut dilepaskan ke badan air penerima atau lingkungan bebas (Mahardika dan Rauf, 2020). Apabila penanganan air asam tambang telah dilakukan dengan baik dan terencana maka dapat menghasilkan sumber air bersih.

Supaya tidak mencemari lingkungan sekitarnya, air asam tersebut harus ditangani terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Pada penelitian ini, penanganan yang dilakukan ialah mengkonversi air asam tambang menjadi elektrolit *fuel cell* alternatif berbasis EBT melalui proses elektrokoagulasi dengan tetap memberikan solusi lingkungan melalui perubahan nilai pH maupun konsentrasi logam berat Fe agar mendekati standar baku mutu air limbah.

F. Parameter Uji Air Asam Tambang

Parameter pencemaran air asam tambang menurut Kaharapenni dan Noor (2015) di antaranya pH, Fe, Mn, H₂S, asam sulfat, TSS, COD, BOD, serta unsur logam lainnya. Dalam penelitian ini, parameter yang diuji ialah sebagai berikut.

- a. *Power of Hydrogen* (pH) merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan intensitas asam atau basa dari suatu larutan akibat konsentrasi ion hidrogen atau aktivitas ion hidrogen (Virginia dkk, 2020). Misalnya larutan yang memiliki nilai pH rendah, maka larutan tersebut bersifat asam dan mampu menghasilkan energi listrik karena bersifat elektrolit asam. Pada reaksi elektrokimia, nilai pH berbanding terbalik dengan tegangan dan kuat arus yang dihasilkan karena semakin besar pH maka ion penghantar akan semakin sedikit sehingga tegangan dan kuat arus semakin kecil, dan sebaliknya (Atina, 2015). Penentuan pH ini berguna untuk mengetahui besaran daya hantar listrik (tegangan dan kuat arus) yang dihasilkan dari reaksi elektrokimia *fuel cell* air asam tambang.
- b. Besi (Fe) merupakan unsur logam berat yang dapat membahayakan lingkungan. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat terlarut sebagai Fe²⁺ (ferro) atau Fe³⁺ (ferri) dan tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter <1 μm) atau lebih besar seperti Fe₂O₃, FeO, Fe(OH)₂, Fe(OH)₃ dan sebagainya bergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik (seperti tanah liat). Menurut Kiswanto (2018), bahwa kadar besi yang berlebihan dapat menghambat fiksasi unsur lainnya, sedangkan besi berada dalam tanah dan batuan sebagai ferioksida (Fe₂O₃) dan ferihidroksida (Fe(OH)₃). Dalam air, besi berbentuk ferobikarbonat (Fe(HCO₃)₂), ferohidroksida (Fe(OH)₂), ferosulfat (FeSO₄) dan besi organik kompleks. Penentuan parameter ini berguna untuk mengetahui besarnya pencemaran tailing air asam tambang dan juga berguna untuk meminimalisasi kadar tinggi logam terlarut besi yang sudah mencemari sekitarnya (lingkungan bebas).

G. Sistem Pengolahan Air Asam Tambang

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, bahwa dalam hal usaha dan/atau kegiatan belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan maka berlaku baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam Lampiran XLVII yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri tersebut. Jika air limbah yang dibuang ke badan air penerima sungai kelas I maka usaha dan/atau kegiatan tersebut mengikuti baku mutu air limbah golongan I. Selain itu, jika kandungan BOD kurang dari 1.500 ppm dan COD kurang dari 3.000 ppm pada air limbah sebelum dilakukan pengolahan, maka diberlakukan baku mutu air limbah golongan I, sedangkan kandungan BOD lebih dari 1.500 ppm dan COD lebih dari 3.000 ppm maka diberlakukan baku mutu air limbah golongan II.

Berdasarkan informasi Kelompok Penyelidikan Konservasi Pusat Sumber Daya Geologi (2015) bahwa penambangan emas aluvial di daerah Mandor sejak Tahun 1745 dilakukan di daerah aliran Sungai Mandor mulai dari hulu (Menjalin) sampai ke arah muara Sungai Mandor (Sungai Tengkorak). Sungai Mandor merupakan salah satu sungai yang berada di wilayah Kabupaten Landak yang mengalir setiap tahun. Keberadaan Sungai Mandor berpengaruh terhadap kehidupan ekonomi masyarakat, yaitu membantu dalam kegiatan pertanian dan perikanan (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2016). Selain itu, juga berpengaruh terhadap kehidupan sosial dengan adanya pemukiman masyarakat di tepian sungai dengan budaya kehidupan masyarakatnya yang ketergantungan terhadap air sungai sebagai sumber kehidupan (Triana dkk, 2012). Oleh karena itu, baku mutu yang diberlakukan pada penelitian ini ialah baku mutu air limbah golongan I karena air limbah bekas PETI Mandor dibuang/dialirkan ke badan air penerima sungai kelas I.

Tabel 2.4 Baku Mutu Air Limbah Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014

Parameter	Satuan	Nilai Ambang Batas		Metode Analisis
		Golongan I	Golongan II	
pH	-	6-9	6-9	SNI 6989.11:2019
Fe	mg/L	5	10	SNI 6989.84:2019

2.2.2 Proses Kerja *Fuel Cell*

A. Elektrokimia

Elektrokimia adalah peristiwa kimia yang berhubungan dengan energi listrik. Prinsip dasar reaksi elektrokimia adalah reaksi reduksi oksidasi (redoks) di mana reaksi tersebut terjadi pada suatu sistem sel elektrokimia. Ada dua jenis sel elektrokimia, yaitu sel volta (galvani) dan sel elektrolisis. Sel volta menghasilkan energi listrik yang disebabkan oleh hasil reaksi kimia, sedangkan sel elektrolisis dibutuhkan energi listrik untuk melangsungkan reaksi kimia. Pada sel volta, katoda berfungsi sebagai penghantar listrik sehingga berkutub positif. Proses aliran elektron terjadi dari elektroda negatif ke elektroda positif dengan melewati media elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar tegangan dan kuat arus sehingga reaksi yang terjadi adalah spontan. Pada sel elektrolisis, elektroda yang berfungsi sebagai penghantar listrik adalah anoda sehingga terjadi suatu pelarutan material anoda menghasilkan kation logam (Rusdianasari dkk, 2013).

Sel volta dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu sel volta primer, sel volta sekunder dan sel volta bahan bakar. Sel volta primer merupakan sel volta yang tidak dapat diperbarui (sekali pakai) dan bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) contohnya baterai kering. Sel volta sekunder yaitu sel volta yang dapat diperbarui dan bersifat dapat balik (*reversible*) ke keadaan semula contohnya baterai aki. Sel volta bahan bakar (*fuel cell*) adalah sel volta yang tidak dapat diperbarui tetapi tidak habis (Harahap, 2016) sehingga dalam penelitian ini luaran yang dihasilkan adalah sel volta *fuel cell* elektrolit air asam tambang yang menggunakan reaksi sederhana sel volta, dengan deret volta sebagai berikut.

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, (H₂O), Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, (H), Cu, Hg, Ag, Pt, Au
(Sumber : Rusdianasari dkk, 2013)

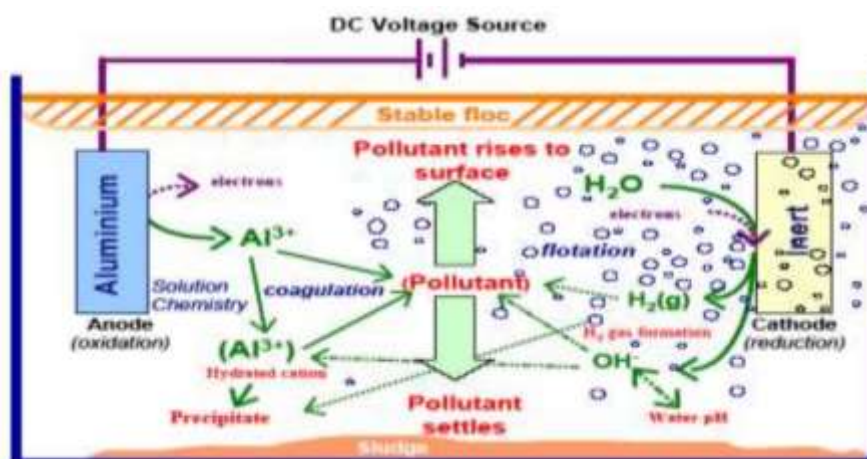
Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret volta menandakan bahwa logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron). Hal ini karena logam merupakan reduktor yang kuat. Sebaliknya, semakin kanan kedudukan logam dalam deret volta menandakan bahwa logam semakin kurang reaktif (semakin sukar melepas elektron). Kationnya merupakan oksidator yang semakin kuat (Nasution, 2019).

Menurut penelitian terdahulu oleh Islamunisa dkk (2018) dan Reza dkk (2019), digunakan elektroda seng (Zn) dalam proses pemanfaatan air asam tambang menjadi energi listrik. Namun berbeda dengan penelitian ini, peneliti memodifikasi penggunaan elektroda Zn menjadi aluminium (Al). Alasan pemilihan penggunaan elektroda kedudukan Al dalam deret volta menandakan bahwa Al lebih reaktif karena Al merupakan reduktor yang lebih kuat daripada Zn (Nasution, 2019) sehingga larutan elektrolit air asam tambang mudah mengalami reduksi. Oleh karena itu, maka ion H^+ dari air asam tambang akan direduksi menjadi gas hidrogen pada katoda. Reaksi pada katoda adalah reduksi terhadap kation. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali tanah, ion logam Al^{3+} dan ion Mg^{2+} , maka ion-ion logam ini tidak dapat direduksi dari larutan. Yang akan mengalami reduksi adalah pelarut (air). Pada proses anodik mengakibatkan terlarutnya logam Al menjadi ion Al^{3+} . Ion yang terbentuk dalam larutan akan mengalami reduksi hidrolisis menghasilkan padatan $Al(OH)_3 \cdot nH_2O$ yang tidak dapat larut kembali dalam air. $Al(OH)_3 \cdot nH_2O$ yang terbentuk dalam elektrolit dapat berfungsi sebagai koagulan untuk proses koagulasi dan flokulasi yang terjadi pada proses selanjutnya di dalam reaktor elektrokoagulasi (Rusdianasari dkk, 2013).

B. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi adalah proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Prinsip dasar dari elektrokoagulasi menggunakan reaksi redoks yang merupakan proses kelanjutan dari reaksi elektrokimia (Ashari dkk, 2015). Menurut Kalsum dkk (2021), kelebihan metode elektrokoagulasi dibandingkan dengan metode lain yang pernah dilakukan adalah tidak perlu ada penambahan bahan kimia untuk mengikat logam dan bahan organik dalam air baku sehingga tidak memberikan dampak negatif atau efek samping terhadap lingkungan, biaya operasional dan perawatan yang relatif murah serta memiliki efisiensi removal kontaminan yang cukup tinggi. Selama proses berlangsung terjadi oksidasi Al, sehingga berubah menjadi Al^{3+} dan akan membentuk flok $Al(OH)_3$ yang akan mengikat semua polutan baik

logam, bahan organik maupun butir padatan lain yang ada dalam air baku. Berikut ini adalah gambar yang dapat menunjukkan interaksi/mekanisme yang terjadi di dalam reaktor elektrokoagulasi (Rusdianasari dkk, 2013).



(Sumber : Rusdianasari dkk, 2013)

Gambar 2.8 Interaksi dalam proses elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi seperti yang terdapat pada Gambar 2.8, interaksi dalam proses tersebut dapat mengambil lebih dari 99% kation beberapa logam berat dan juga dapat membunuh mikroorganisme dalam air. Proses ini mengendapkan koloid-koloid yang bermuatan dan menghilangkan ion-ion lain, koloid-koloid, dan emulsi-emulsi dalam jumlah yang signifikan (Rusdianasari dkk, 2013).

Berdasarkan hasil penelitian Islamunisa dkk (2018) diperoleh bahwa pasangan elektroda C-Zn menghasilkan nilai potensial sel (tegangan) paling tinggi. Namun, peneliti memodifikasi perubahan elektroda Zn menjadi Al karena Zn memiliki sifat korosi apabila dimasukkan ke dalam larutan elektrolit air asam tambang. Al merupakan material elektroda yang paling umum digunakan dalam proses elektrokoagulasi karena menurut Busyairi dkk (2018) bahwa Al dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku koagulan. Elektroda Al teroksidasi sebagai Al^{3+} . Resistivitas dari aluminium itu sendiri yaitu sebesar $2,65 \times 10^{-8}$ ohm meter. Dalam banyak kasus, elektroda Al memiliki keunggulan dalam segi efisiensi penyisihan bila dibandingkan dengan elektroda lain (Hasibuan, 2018). Menurut Ashari (2016), sistem elektrokoagulasi dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan air asam tambang yang ramah lingkungan. Penelitian terdahulu ini

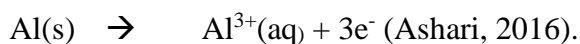
membuktikan bahwa penggunaan elektroda Al merupakan pilihan yang tepat karena tidak hanya mampu menjadikan Al sebagai penghantar panas dan listrik yang baik, tetapi juga bisa memperbaiki kualitas air asam tambang hingga mencapai pH netral dan penurunan konsentrasi logam berat Fe.

Selain Al, elektroda C juga kerap digunakan pada proses elektrokoagulasi. Dasar dari pemilihan elektroda Al dan C ialah perbedaan potensial yang cukup tinggi satu sama lain dan elektroda yang mudah didapatkan. Di mana elektroda Al merupakan elektroda aktif yang mempunyai potensial elektroda (E^0) yang rendah dan mudah mengalami oksidasi, sedangkan elektroda C merupakan elektroda inert yang mempunyai potensial elektroda (E^0) yang tinggi dan mudah mengalami reduksi (Manullang, 2016).

Untuk memahami pengaruh dari parameter percobaan terhadap performansi proses elektrokoagulasi diperlukan pemahaman mengenai reaksi elektrokimia yang berlangsung di kedua elektroda. Reaksi elektrokimia yang terjadi pada elektroda Al adalah sebagai berikut (Rusdianasari dkk, 2013).

a. Reaksi Anoda (Elektroda Negatif)

Elektroda pada anoda, elektrodanya dioksidasi menjadi ionnya.



Proses anodik mengakibatkan terlarutnya logam Al menjadi ion Al^{3+} . Al^{3+} yang terbentuk dalam larutan akan mengalami reduksi hidrolisis, menghasilkan padatan Al(OH)_3 , $n\text{H}_2\text{O}$ yang tidak dapat larut kembali dalam air dengan reaksi:



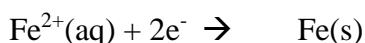
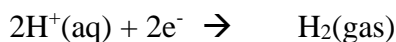
atau



$\text{Al(OH)}_3(\text{aq}).\text{nH}_2\text{O}$ yang terbentuk dalam larutan elektrolit dapat berfungsi sebagai koagulan untuk proses koagulasi dan flokulasi yang terjadi pada proses selanjutnya di dalam reaktor elektrokoagulasi. Setelah proses koagulasi-flokulasi ini selesai maka kontaminan-kontaminannya yang berada dalam air buangan dapat terpresipitasi dengan sendirinya (Rusdianasari dkk, 2013).

b. Reaksi Katoda (Elektroda Positif)

Reaksi pada katoda adalah reduksi terhadap kation. Jika elektrolit air asam tambang mengandung mineral pirit, maka elektrolit dapat mengandung ion Fe^{2+} sehingga ion logam ini tidak dapat direduksi dari larutan melainkan yang akan mengalami reduksi adalah pelarut (air). Oleh karena air asam tambang mengandung asam dan terdapatnya logam berat Fe, maka ion H^+ dan logam Fe^{2+} dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen dan partikel koloid tersuspensi logam besi (Fe) pada katoda. Berikut reaksi reduksi yang akan terjadi pada sisi katoda (Ashari, 2016).



Pada reaksi elektrokimia katoda akan terbentuk gas hidrogen sebagai hasil reaksi dari proses reduksi H_2O . Gelembung-gelembung halus gas hidrogen ini cenderung untuk melepaskan diri dari katoda. Gas-gas yang keluar dari larutan ini kemudian mengikat partikel-partikel koloid tersuspensi logam Fe yang berada di dalam air limbah dan kemudian mengambang ke permukaan larutan bersama-sama sebagai busa. Semakin banyak partikel koloid tersuspensi logam Fe yang ada dalam larutan, maka semakin banyak busa yang terbentuk pada permukaan larutan (Rusdianasari dkk, 2013).

C. Elektrolit

Air asam tambang dapat menghasilkan energi listrik karena air asam tambang termasuk larutan elektrolit, di mana air asam tambang mengandung ion-ion bebas yaitu ion hidrogen (H^+) dan ion-ion logam yang terlepas saat proses oksidasi mineral sulfida. Ion-ion bebas ini menghantarkan tegangan dan kuat arus melalui mediumnya berupa elektroda yang dicelupkan ke dalam larutan (elektrolit air asam tambang). Ion berupa anion bergerak menuju anoda dan teroksidasi dengan melepaskan elektron yang kemudian elektron bergerak menuju katoda. Ion berupa kation pada katoda tereduksi dan menangkap elektron yang berasal dari anoda. Tanpa adanya elektroda, elektrolit air asam tambang ini tidak dapat menghasilkan

energi listrik (Reza dkk, 2019). Proses pemanfaatan air asam tambang menjadi energi listrik dalam penelitian ini dilakukan dengan membuat *fuel cell* di mana bahan bakunya (air asam tambang) diambil pada salah satu kolam/lubang bukaan yang tersingkap di lahan bekas PETI Mandor.

D. Fuel Cell Elektrolit Air Asam Tambang

Sel yang digunakan pada penelitian ini disebut dengan sel bahan bakar (*fuel cell*), adalah tempat terjadinya proses elektrokimia yang terdiri dari dua elektroda yaitu anoda dan katoda, serta larutan elektrolit (Islamunisa dkk, 2018). *Fuel cell* dapat menguraikan gas hidrogen menjadi energi listrik. Dengan memanfaatkan gas hidrogen sebagai bahan bakar saat *fuel cell* bekerja, maka kandungan elektron dan proton dari gas hidrogen tersebut bisa dipisahkan sehingga bisa menghasilkan energi listrik (Ma'ruf, 2016). Dengan demikian, *fuel cell* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi. Pengujian *fuel cell* dalam penelitian menjadi solusi sebagai inovasi tepat guna dengan mencari potensi energi baru terbarukan (EBT) untuk masa depan energi listrik Indonesia yang ramah lingkungan (Sulistiyawati dkk, 2020).

Menurut Reza dkk (2019), terdapat empat faktor yang mempengaruhi reaksi elektrokimia, di antaranya variasi elektroda, jumlah sel dan waktu kerja sel terhadap potensial sel (tegangan), serta variasi waktu kerja sel terhadap kenaikan pH per satuan waktu. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan pasangan elektroda yang terbukti menghasilkan nilai potensial sel maksimum yang disampaikan pada penelitian terdahulu. Adapun pasangan elektroda tersebut ialah C-Zn. Elektroda ini digunakan sebagai komponen utama dalam pembuatan sel volta elektrolit air asam tambang. Penelitian tersebut dirancang terdiri dari 10 sel dengan masing-masing berisi 100 mL menunjukkan bahwa potensial sel yang dihasilkan paling tinggi yaitu 12 V. Berdasarkan hasil penelitian oleh Reza dkk (2019), dapat diketahui bahwa jumlah sel mempengaruhi potensial sel yang dihasilkan. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya jumlah sel, potensial sel yang dihasilkan pun bertambah besar. Hal ini terjadi karena semakin banyak jumlah sel maka semakin banyak jumlah elektroda yang

digunakan sehingga semakin banyak pula elektron dari larutan yang mengalir melalui elektroda, serta semakin besar potensial sel yang dihasilkan.

Waktu kerja sel mempengaruhi potensial sel yang dihasilkan di mana semakin lama sel bekerja maka potensial sel yang dihasilkan juga semakin berkurang. Hal ini terjadi karena saat sel bekerja terjadi reaksi di dalam larutan yang menyebabkan konsentrasi ion-ion semakin berkurang karena terjadi proses kesetimbangan di dalam larutan di mana sel yang reaksinya berada dalam kesetimbangan tidak dapat melakukan kerja, sehingga sel demikian memiliki potensial sel sebesar nol. Dengan menggunakan pasangan elektroda C-Zn, hasil penelitian menunjukkan nilai tegangan dari jam ke-0 hingga jam ke-15 berkurang dari 1,63 V menjadi 1,56 V. Waktu maksimum untuk menyalakan lampu pijar 1,5 V kira-kira selama 26 jam. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin lama sel tersebut digunakan maka energi listrik yang dihasilkan semakin berkurang dan akan habis (Islamunisa dkk, 2018).

Selain itu, waktu kerja sel juga mempengaruhi pH larutan elektrolit yang dihasilkan, di mana semakin lama waktu proses elektrokoagulasi berlangsung maka akan menyebabkan perubahan nilai pH semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin tinggi sumber tegangan yang digunakan maka saat sel bekerja, elektron yang dialirkan ke katoda semakin cepat sehingga reaksi reduksi yang terjadi juga semakin cepat. Peristiwa ini akan menghasilkan pembentukan ion OH^- semakin banyak dalam satuan waktu yang relatif cepat dibandingkan dengan pembentukan ion H^+ . Kondisi awal ini akan menyebabkan nilai pH larutan berubah menjadi lebih tinggi (Reza dkk, 2019).

Dari hasil analisis penelitian terdahulu dengan menggunakan elektroda Al dan Fe, menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi terhadap perubahan nilai pH pada pengolahan air asam tambang memenuhi syarat baku mutu air limbah pertambangan batubara dengan mencapai perubahan sebesar 50,22% menggunakan tegangan DC 12 V. Dari hasil ini artinya perubahan tersebut telah mencapai nilai 6-7 dengan lama waktu percobaan paling rendah 45 menit. Hal ini karena semakin besar tegangan yang digunakan maka semakin cepat elektron yang dialirkan keluar melalui katoda, sehingga reaksi reduksi yang terjadi

semakin cepat. Peristiwa ini akan menghasilkan pembentukan ion OH^- semakin banyak yang akan membentuk koagulan berupa $\text{Al}(\text{OH})_3$. Koagulan ini akan digunakan pada proses pengelompokan Fe yang telah berubah menjadi solid saat kondisi air memiliki nilai pH berubah menjadi lebih tinggi. Proses pembentukan koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ terjadi dalam waktu singkat saat menggunakan sumber tegangan DC 24 V di mana penurunan terjadi sebesar 97,35% selama 60 menit. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin lama dan semakin besar tegangan DC yang digunakan pada proses elektrokoagulasi berlangsung maka penurunan konsentrasi Fe dalam elektrolit air asam tambang semakin meningkat (Ashari, 2016).

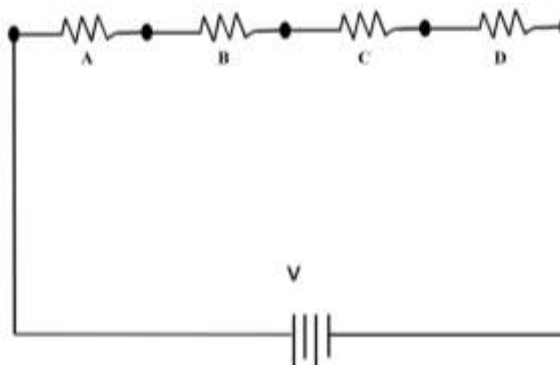
E. Rangkaian Seri

Rangkaian seri akan meningkatkan tegangan tetapi kuat arus terjadi secara konstan. Tegangan total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari tegangan yang dihasilkan oleh modul ($V_A + V_B + V_C + V_D$), hal ini sesuai dengan Hukum Kirchoff. Hubungan seri *fuel cell* diperoleh dengan menghubungkan kutub positif (+) pertama dengan kutub negatif (-) yang baru. Untuk mempermudah pemahaman, *fuel cell* dapat diibaratkan sebagai baterai yang dihubungkan seri. Dari hubungan seri ini didapat tegangan yang dijumlahkan (untuk mendapatkan jumlah tegangan yang lebih besar (Siregar dkk, 2021).

$$V_{\text{total}} = V_{\text{sel1}} + V_{\text{sel2}} + V_{\text{sel3}} + V_{\text{sel4}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Arus *fuell cell* sama apabila dihubungkan seri satu sama lain.

$$I_{\text{total}} = I_{\text{sel1}} = I_{\text{sel2}} = I_{\text{sel3}} = I_{\text{sel4}} \dots \dots \dots (2.2)$$



(Sumber : Rosman dkk, 2019)

Gambar 2.9 Rangkaian seri

Adapun cara kerja rangkaian *fuel cell* ialah pergerakan arah aliran elektron berbeda arah dengan arah arus listrik di mana aliran elektron bergerak dari kutub negatif ke kutub positif, sehingga arus listrik mengalir dari kutub positif ke kutub negatif. Tegangan dan kuat arus dapat diukur menggunakan multimeter karena elektron bebas. Elektron bebas yaitu elektron yang lepas dari ikatan atom penyusun bahan konduktor yang bersikap seperti molekul-molekul gas yang disebut dengan gas elektron. Gas elektron membawa muatan listrik di dalam kawat tahanan/kabel menuju dan melewati multimeter, sehingga terbaca pada *display* multimeter dan tercatat sebagai tegangan dan kuat arusnya (Islamunisa dkk, 2018).

F. Lampu Penerangan

Lampu pertama kali ditemukan pada Tahun 1878 oleh Thomas Alva Edison dalam bentuk lampu pijar. Lampu dalam perkembangannya menjadi salah satu media penerangan penting buatan manusia untuk menggantikan keberadaan cahaya matahari. Seiring dengan kemajuan teknologi, lampu telah mengalami banyak perubahan bila dibandingkan dengan awal penemuannya (Parulian, 2018). Berbagai jenis lampu penerangan memiliki karakter yang berbeda-beda, dengan memperhatikan daya yang diperlukan dan tingkat pencahayaan yang dihasilkan. Pada umumnya lampu dapat digolongkan menjadi tiga jenis yaitu, lampu pijar, LED, dan LHE (Qayyim P, 2018). Pada penelitian ini, lampu yang digunakan pada pengujian rangkaian *fuel cell* ialah lampu pijar.

Lampu pijar adalah sumber cahaya buatan yang dihasilkan melalui penyaluran arus listrik melalui filamen yang kemudian memanaskan dan menghasilkan cahaya. Efikasi lampu ini rendah, hanya 8-10% energi menjadi cahaya, sisanya terbuang sebagai panas (Qayyim P, 2018). Prinsip kerja lampu pijar adalah sangat sederhana. Ketika ada arus listrik mengalir melalui filamen yang mempunyai resistivitas tinggi sehingga menyebabkan kerugian daya yang menyebabkan panas pada filamen sehingga filamen berpijar. Arus listrik yang dialirkan pada filamen atau kawat pijar akan menggerakkan elektron-elektron bebas yang dapat menyebabkan terjadi benturan dengan elektron-elektron yang

terikat pada inti atom sehingga elektron terikat akan dapat meloncat dari orbitnya dan menempati orbit yang lain yang lebih besar, kalau kemudian elektron ini kembali ke orbitnya maka kelebihan energinya akan menjadi bebas dan dipancarkan cahaya atau panas, tergantung panjang gelombangnya (Qayyim P, 2018; Parulian, 2018).



(Sumber : Qayyim P, 2018)

Gambar 2.10 Lampu pijar

Untuk menghasilkan output cahaya, lampu pijar tidak membutuhkan penanganan yang cukup tinggi karena arus yang dibutuhkan kecil sehingga memiliki watt yang kecil pula. Lampu ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih kecil sehingga tepat digunakan untuk pengujian *fuel cell* yang hanya memerlukan sumber tegangan dan arus listrik searah (*Direct current/DC*).

2.2.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.5 Daftar Penelitian Terdahulu yang Menjadi Dasar Penelitian

No.	Peneliti/ Tahun/ Asal	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Fatihah Islamunisa, Bohari, dan Aman Sentosa Panggabean/ 2018/ Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman.	Pemanfaatan Air Asam Tambang Batubara sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif	<ul style="list-style-type: none"> • Metode penelitian ini menggunakan sistem sel volta (galvani). • Rangkaian alat sel volta ini dengan menyiapkan gelas plastik sebagai wadah selnya, sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air asam tambang yang memiliki pH 3,41 dari Danau Cermin Jalan Jakarta Samarinda. • Elektroda yang digunakan ialah kawat tembaga (Cu), seng (Zn), dan karbon (C). • Kemudian setiap sel dihubungkan dengan kabel penghubung (kabel buaya) dan susunan sel tersebut dihubungkan dengan alat multimeter untuk mengukur tegangan yang dihasilkan dan diberikan sebuah beban lampu LED 1,5 V dengan variasi waktu kerja sel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pasangan elektroda C-Zn menghasilkan tegangan paling tinggi di antara pasangan elektroda lainnya, yaitu sebesar 1,68 V. • Jumlah sel masing-masing berisi 250 mL yang paling banyak digunakan ialah sebanyak 8 sel menunjukkan bahwa potensial sel yang dihasilkan paling tinggi yaitu 8,20 V. • Nilai tegangan dari jam ke-0 hingga jam ke-15 berkurang dari 1,63 V menjadi 1,56 V. • Waktu maksimum untuk menyalakan lampu LED 1,5 V kira-kira selama 26 jam.
2.	Muhammad Reza, Nuri Pirnia Sari, M. Fadlillah Akbar, dan Yuniar Siska Novianti/ 2019/ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik,	Pemanfaatan Reaksi Elektrokimia untuk Sumber Energi Listrik Alternatif serta Netralisasi pada Air Asam Bekas Tambang	<ul style="list-style-type: none"> • Metode penelitian ini menggunakan sistem sel volta. • Rangkaian alat sel volta ini dengan menyiapkan air asam tambang yang memiliki pH 3,8 dari Danau Seran dan pH 2 dari Danau Biru dengan pengambilan sampel secara acak di 5 titik yang terindikasi memiliki derajat keasaman yang rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroda kombinasi Cu-Zn/C-Zn menghasilkan nilai tegangan paling baik. • Sebanyak 10 sel dengan masing-masing berisi 100 mL menunjukkan bahwa potensial sel yang dihasilkan paling tinggi yaitu 12 V.

No.	Peneliti/ Tahun/ Asal	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Universitas Lambung Mangkurat.		<ul style="list-style-type: none"> • Elektroda yang digunakan dengan memvariasikan elektroda logam timbal (Pb), timah (Sn), besi (Fe), kuningan (Cu-Zn), emas (Au), tembaga (Cu), seng (Zn), dan karbon (C) menjadi 28 pasang. • Setiap sel dihubungkan dengan kabel buaya dan alat multimeter untuk mengukur tegangan yang dihasilkan dan diberikan sebuah beban lampu LED 3 V dengan variasi waktu kerja sel dan kenaikan pH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai tegangan dari jam ke-0 hingga jam ke-12 berkurang dari 2,8 V menjadi 2,2 V. • Waktu maksimum untuk menyalakan lampu LED 3 V kira-kira selama 12 jam dan menaikkan pH 6-7 dalam waktu 3 hari.
3.	Ashari/ 2016/ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang.	Analisa Elektrokoagulasi Air Asam Tambang terhadap Nilai pH dan Kadar Fe	<ul style="list-style-type: none"> • Metode penelitian ini menggunakan proses elektrokoagulasi di mana alat ukur pH air yang digunakan yaitu pH meter dan alat ukur kadar Fe yaitu spektrofotometri serapan atom (SSA). • Adapun variabel yang diamati dari data yang dihasilkan oleh laboratorium setelah dilakukan proses elektrokoagulasi adalah pH air dan besi (Fe). • Elektroda yang digunakan ialah aluminium (Al) dan besi (Fe). • Perlakuan yang diberikan di antaranya yaitu jarak antara elektroda 2 cm, besar tegangan 6 V, 12 V, dan 24 V. • Lama waktu yang digunakan yaitu 15, 30, 45 dan 60 menit. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dari hasil analisis bahwa teknologi elektrokoagulasi bisa memperbaiki kualitas air asam tambang hingga mencapai nilai pH 7 dan penurunan kadar Fe mencapai 92,10% dengan lama waktu reaksi minimal selama 45 menit. • Teknologi elektrokoagulasi dapat menjadi salah satu solusi pengelolaan air asam tambang sesuai standar Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup (KEPMENLH) No. 113 Lampiran I Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batubara.