

**KAJIAN PENGELOLAAN *PIT LAKE* PADA TAMBANG
BATUBARA STUDI KASUS PIT PARINGIN
DI PT. ADARO INDONESIA**

TESIS

Oleh :

**MAHARANI RINDU WIDARA
212170007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2019**

**KAJIAN PENGELOLAAN *PIT LAKE* PADA TAMBANG
BATUBARA STUDI KASUS PIT PARINGIN
DI PT. ADARO INDONESIA**

TESIS

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik dari
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Oleh :

**MAHARANI RINDU WIDARA
212170007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2019**

**KAJIAN PENGELOLAAN PIT LAKE PADA TAMBANG
BATUBARA STUDI KASUS PIT PARINGIN
DI PT. ADARO INDONESIA**

Oleh :

**MAHARANI RINDU WIDARA
212170007**



Disetujui Untuk

Program Studi Magister Teknik Pertambangan

Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Tanggal : 8 Agustus 2019

Pembimbing I,

Dr. Ir. Waterman Sulistyana Bargawa, MT.

Pembimbing II,

Dr. Tedy Agung Cahyadi, ST, MT, IPM.

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Dekan Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

ABSTRAK

Pada saat pascatambang terbentuk sisa lubang tambang yang tidak dapat di lakukan reklamasi seperti kondisi rona awal. Lubang tersebut akan menjadi danau buatan (*pit lake*). *Pit lake* pada saat pascatambang akan dimanfaatkan keberadaanya. Mencermati fakta yang terjadi, diperlukan analisis terhadap lahan bekas tambang yang berubah menjadi sumber daya perairan (*pit lake*), khususnya kajian kuantitas air, morfometri serta kualitas air pada *pit lake* dan tindakan pengelolaan yang dibutuhkan dalam pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini dilakukan di tambang batubara Paringin PT Adaro Indonesia. Adapun tujuan dari penelitian ini ialah menganalisis kuantitas, morfometri dan pengelolaan yang tepat berdasarkan status mutu air dan nilai beban pencemar air pada *pit lake* Paringin. Penelitian ini menggunakan model simulasi Mock untuk mengetahui *water surplus* dan debit *surface outflow*. Metode storet digunakan untuk mengetahui status mutu air sedangkan metode PLI (*pollution load index*) untuk mengetahui nilai beban pencemar. Hasil perhitungan simulasi model Mock, debit *run off* tertinggi terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 0,150 m³/s hal ini berbanding lurus dengan nilai presipitasi yang tinggi pada bulan Maret yaitu sebesar 332,2 mm/bulan sedangkan debit *run off* air terendah terjadi pada bulan September sebesar 0,065 m³/s dengan nilai presipitasi 105,5 mm/bulan. Volume air pada *pit lake* Paringin sebesar 2.751.039 m³. Hasil analisis volume air masuk dan volume air yang keluar pada *pit lake* Paringin menunjukkan bahwa volume air yang masuk (*inflow*) selalu lebih besar dari volume keluaran air (*outflow*) kecuali pada bulan Agustus dan September. Karakteristik morfometri *pit lake* Paringin yang diperoleh dari penelitian ini yaitu luas mencapai 19,5 Ha dengan kedalaman maksimum 33 m. Waktu tinggal air 303 hari. Perkembangan volume *pit lake* Paringin 1,25 yang menunjukkan dasar perairan *pit lake* berbentuk datar. Perhitungan Kedalaman relatif sebesar 6,6 % yang berarti *pit lake* Paringin memiliki stabilitas tinggi dan tidak mudah mengalami pengadukan. Perhitungan dengan metode Storet menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tercemar ringan. Status mutu air di *pit lake* Paringin menunjukkan tercemar ringan hal ini dikarenakan *pit lake* Paringin berada jauh dari kegiatan industri. Dari hasil perhitungan nilai PLI yang tertinggi adalah parameter TSS sebesar 7,512 hal ini menunjukkan TSS merupakan sumber pencemar pada *pit lake* Paringin sedangkan untuk parameter yang lain masih di bawah standar nilai indeks beban pencemaran (PLI) 0- 1. *Pit lake* Paringin dapat dimanfaatkan sebagai tempat wisata air dan budidaya perikanan.

Kata kunci: *Mock, Morfometri, Storet*

ABSTRACT

During the post-mining period, a mine pit will be formed that cannot be reclamation, such as the initial hue condition and the hole will become an artificial lake (pit lake). The existence of Pit Lake during the post-mining period will be utilized. Looking at the facts that occur, analysis of ex-mining land that is turned into a water resource (pit lake) is needed, specifically the study of water quantity, morphometry and water quality in the pit lake and management actions needed in sustainable development. The purpose of this study is to analyze the quantity, morphometry and management according to the status of water quality and the value of water pollutant load in the Paringin water pit lake. This study uses a Mock simulation model to determine the surplus water and the discharge of surface outflow. The storet method is used to determine the status of water quality while the PLI method (Pollution Load Index) to determine the value of pollutant load. From the results of the Mock model simulation calculation, the highest run-off discharge occurred in March, which was equal to $0.150 \text{ m}^3 / \text{s}$, which is directly proportional to the high precipitation value in March which was $332.2 \text{ mm} / \text{month}$ while the lowest run-off water occurred in Agustus and September amounting to $0.065 \text{ m}^3 / \text{s}$ with precipitation values of $105.5 \text{ mm} / \text{month}$. The water volume in the Paringin pit lake is $2.751.039 \text{ m}^3$. The results of the analysis of the volume of water entering and the volume of water coming out in the Paringin pit lake indicate that the volume of inflow is always greater than the outflow volume except in September. The morphometry characteristics of the Paringin pit lake obtained from this study were 19.5 ha with a maximum depth of 33 m . 303 days left for water. The development of the volume of the Paringin 1.25 lake pit which shows the bottom of the flat lake pit lake. The relative depth calculation is 6.6% which means the Paringin pit lake has high stability and is not easy to experience stirring. The calculation using the Storet method shows that the Paringin pit lake was lightly polluted. The status of the quality of water in the Paringin pit lake in lightly polluted conditions is because the Paringin pit lake is far from industrial activities. From the calculation of the highest PLI value is the TSS parameter of 7.512 , this shows that TSS is a pollutant source in the Paringin pit lake while for other parameters it is still below the standard pollution load index (PLI) $0- 1$. Pit lake Paringin can be used as a place of recreation and aquaculture.

Keywords : *Mock, Morphometry, Storet*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga Penyusunan Tesis dengan judul “Kajian Pengelolaan *Pit Lake* Pada Tambang Batubara Studi Kasus Pit Paringin Di PT. Adaro Indonesia” ini dapat diselesaikan. Penelitian dilaksanakan di pit Paringin PT Adaro Indonesia Kabupaten Balangan Provinsi Kalimantan Selatan pada bulan Januari-Maret 2019. Adapun tujuan dari penelitian ini ialah sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik dari Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta Atas selesainya penyusunan Tesis penelitian ini, diucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Muhammad Irhas Effendi, M.S, Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta
2. Dr. Ir. Suharsono, MT, Dekan Fakultas Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
3. Dr. Edy Nursanto, ST., MT. IPM, Ketua Jurusan Teknik Pertambangan FTM UPN “Veteran” Yogyakarta
4. Dr. Ir. Barlian Dwinagara., MT, Koordinator Program Studi Magister Teknik Pertambangan FTM UPN “Veteran” Yogyakarta
5. Dr. Ir. Waterman SB, MT., Pembimbing I
6. Dr. Tedy Agung Cahyadi, ST, MT, IPM., Pembimbing II
7. Agus Subandrio, QHSE Advisor PT Adaro Indonesia
8. Didik Triwibowo, HSE Deputy Division Head PT Adaro Indonesia
9. Wisnu Adi, HSE Compliance Department Head PT Adaro Indonesia
10. Fazlul Wahyudi, Post Mine Compliance, R&D Section Head PT Adaro Indonesia
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis.

Akhirnya, semoga Tesis penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pada umumnya, dan khususnya ilmu pertambangan.

Yogyakarta, Agustus 2019

Penulis

Maharani Rindu Widara

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Hipotesis	3
1.6. Hasil Penelitian.....	4
1.7. Metodologi Penelitian	4
1.8. Diagram Alir Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN UMUM	10
2.1. Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah	10
2.2. Klimatologi	12
2.3. Keadaan Geologi Umum	14
2.4. Kegiatan Penambangan	20
2.5. <i>Pit Lake</i> Paringin	22
BAB III DASAR TEORI	24
3.1. Model konseptual <i>Pit Lake</i>	24
3.2. Morfometri Danau	36
3.3. Pencemaran Air	40
3.4. Penelitian Sejenis.....	43
BAB IV HASIL PENELITIAN	47
4.1. Kuantitas <i>Pit lake</i> Paringin.....	47
4.2. Morfometri <i>Pit Lake</i> Paringin	55

4.3. Kualitas <i>Pit Lake</i> Paringin.....	57
BAB V PEMBAHASAN.....	79
5.1. Kuantitas <i>Pit Lake</i> Paringin.....	79
5.2. Morfometri <i>Pit Lake</i> Paringin	86
5.3. Pengelolaan <i>Pit Lake</i> Paringin.....	88
5.4. Pembuktian Hipotesis	96
BAB VI KESIMPULAN.....	97
6.1. Kesimpulan.....	97
6.2. Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN.....	106
DAFTAR PUBLIKASI.....	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Diagram Metodologi Penelitian.....	7
1.2 Diagram Alir Penelitian.....	8
2.1 Lokasi Penelitian PT Adaro Indonesia (Anonim, 2018)	11
2.2 Curah Hujan Bulanan <i>Pit</i> Paringin Tahun 2008-2018.....	13
2.3 Jumlah Hari Hujan <i>Pit</i> Paringin Tahun 2008-2018	13
2.4 Peta Morfologi Paringin, Tutupan dan Wara (Anonim, 2011).	15
2.5 Peta Fisiologi Daerah Adaro (Anonim, 2011).....	16
2.6 Peta Geologi Daerah Adaro (Anonim, 2018)	18
2.7 Peta Lithologi Adaro (Anonim, 2018)	19
2.8 Diagram Alir Proses Penambangan Batubara Adaro (Anonim, 2012)	21
2.9 Peta <i>Pit Lake</i> Paringin beserta Kolam Budidaya Nila BEST (R&D PT Adaro Indonesia, 2018).....	23
2.10 Sistem Pipa Monik.....	23
3.1 Model konseptual <i>pit lake</i> untuk <i>water balance</i> , <i>water column mixing</i> , dan dinamika geokimia. (Vandenberg, dkk 2015).....	24
3.2 Model Konseptual <i>Pit Lake</i> Dexter (Castendyk. dkk, 2014)....	25
3.3 <i>Water Surplus</i> (Rinaldi, 2015).....	34
3.4 Klasifikasi <i>Pit Lake</i> Berdasarkan Limnologi (Soni, dkk. 2014)	39
4.1 Peta <i>Cathment Area</i> Pit Paringin	48
4.2 <i>Water Surplus Pit Lake</i> Paringin	49
4.3 Pengukuran Debit <i>Pit Lake</i> Paringin	50
4.4 Hasil Korelasi Debit <i>Pit Lake</i> Paringin	51
4.5 Peta Batimetri	56
4.6 Pengamatan Sampel di Lapangan.....	57
4.7 Peta Lokasi Titik Sampel.....	58
4.8 Hasil Uji Laboratorium Parameter DO.....	59

4.9	Hasil Uji Laboratorium Parameter COD	59
4.10	Hasil Uji Laboratorium Parameter BOD	60
4.11	Hasil Uji Laboratorium Parameter pH.....	60
4.12	Hasil Uji Laboratorium Parameter H ₂ S	61
4.13	Hasil Uji Laboratorium Parameter Hg.....	61
4.14	Hasil Uji Laboratorium Parameter As	62
4.15	Hasil Uji Laboratorium Parameter Cd.....	62
4.16	Hasil Uji Laboratorium Parameter Sn	63
4.17	Hasil Uji Laboratorium Parameter Pb	63
4.18	Hasil Uji Laboratorium Parameter Nitrit.....	64
4.19	Hasil Uji Laboratorium Parameter Nitrat	64
4.20	Hasil Uji Laboratorium Parameter Amonia.....	65
4.21	Hasil Uji Laboratorium Parameter PO ₄	65
4.22	Hasil Uji Laboratorium Parameter Suhu	66
4.23	Hasil Uji Laboratorium Parameter TSS.....	66
4.24	Hasil Uji Laboratorium Parameter TDS.....	67
5.1	Model Konseptual <i>Pit Lake</i> Paringin.....	80
5.2	Hubungan antara Presipitasi, Hari Hujan dan <i>Water Surplus Pit Lake</i> Paringin.	82
5.3	Hubungan antara Presipitasi dengan Hasil Perhitungan Debit Simulasi Model Mock <i>Pit Lake</i> Paringin	82
5.4	Kriteria Penerimaan Uji T-Test	83
5.5	Volume Air yang Masuk dan Volume Air yang Keluar <i>Pit Lake</i> Paringin Tanpa Memperhitungkan <i>Surface outflow</i>	85
5.6	<i>Settling Pond</i> dan Kolam Budidaya Ikan.....	85
5.7	Ilustrasi Distribusi Parameter TSS <i>Pit Lake</i> Paringin	93
5.8	Nilai <i>Pollution Load Index</i>	95

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Hubungan Temperatur Rata-Rata dengan Parameter Evapotranspirasi A,B, dan e_a (Rinaldi, 2015).....	31
3.2 Nilai Radiasi Matahari pada Permukaan Horizontal Luar Atmosfir (Rinaldi, 2015)	31
3.3 <i>Exposed Surface</i> (Rinaldi, 2015).....	31
3.4 Koefisien Refleksi, (Rinaldi, 2015).....	31
3.5 Penentuan Sistem Nilai Untuk Menentukan Status Mutu Air (KEPMEN LH No. 115, 2003)	42
3.6 Daftar Penelitian Sejenis.....	43
4.1 Klimatologi <i>Pit</i> Paringin.....	47
4.2 Hasil Debit Pengukuran dan Debit Perhitungan.....	51
4.3 Varians Debit <i>Pit Lake</i>	52
4.4 Hasil Uji T-Test Debit	53
4.5 Volume <i>Pit Lake</i> Paringin	54
4.6 Volume <i>inflow</i> dan <i>outflow Pit Lake</i> Paringin Tanpa Memperhitungkan <i>Surface outflow</i>	55
4.7 Status Mutu Kualitas Air Menurut Sistem Nilai Storet Bagi Peruntukan Kelas II (PP No 82 Tahun 2001).....	68
4.8 Nilai CF dan PLI Parameter DO.....	69
4.9 Nilai CF dan PLI Parameter COD	70
4.10 Nilai CF dan PLI Parameter BOD	70
4.11 Nilai CF dan PLI Parameter pH	71
4.12 Nilai CF dan PLI Parameter H ₂ S.....	71
4.13 Nilai CF dan PLI Parameter Hg (Air Raksa).....	72
4.14 Nilai CF dan PLI Parameter As (Arsenik).....	72
4.15 Nilai CF dan PLI Parameter Cd (Kadmium)	73
4.16 Nilai CF dan PLI Parameter Sn (Timah)	73

4.17	Nilai CF dan PLI Parameter Pb (Timbal).....	74
4.18	Nilai CF dan PLI Parameter Nitrit.....	74
4.19	Nilai CF dan PLI Parameter Nitrat	75
4.20	Nilai CF dan PLI Parameter Amonia.....	75
4.21	Nilai CF dan PLI Parameter Fosfat PO ₄	76
4.22	Nilai CF dan PLI Parameter Suhu	76
4.23	Nilai CF dan PLI Parameter TSS	77
4.24	Nilai CF dan PLI Parameter TDS.....	77
4.25	Nilai <i>Pollution Load Index (PLI)</i>	78
5.1	Morfometri <i>Pit Lake</i> Paringin.....	86

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Klimatologi <i>Pit</i> Paringin..... 106
Lampiran B	Simulasi Model Mock <i>Pit Lake</i> Paringin 108
Lampiran C	Perhitungan Evaporasi..... 115
Lampiran D	<i>Groundwater Inflow</i> 116
Lampiran E	<i>Surface Out Flow Pit Lake</i> Paringin..... 117
Lampiran F	Perhitungan Volume Air Masuk Dan Air Keluar <i>Pit Lake</i> Paringin 118
Lampiran G	Volume <i>Pit Lake</i> Paringin 123
Lampiran H	Perhitungan Morfometri 125
Lampiran I	Kualitas Air <i>Pit Lake</i> Paringin 127

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama pada halaman
CF	<i>Contamination Factor</i>	3
PLI	<i>Pollution Load Index</i>	3
AMDAL	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan	4
RPT	Rencana Pascatambang	4
GPS	<i>Global Positioning System</i>	5
APHA	<i>American Public Health Association</i>	5
SNI	Standar Nasional Indonesia	5
DO	<i>Dissolved oxygen</i>	5
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	5
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	5
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	5
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i>	5
VD	<i>Volume Development</i>	7
Rt	<i>Retention time</i>	7
PKP2B	Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batubara	16
ANFO	<i>Ammonium Nitrate Fuel Oil</i>	20
CPP	<i>Coal Processing Plant</i>	21
ROM	<i>Run Of Mine</i>	21
BEST	<i>Bogor Enhanced Strain Tilapia</i>	22
R&D	<i>Research and Development</i>	23
DAS	Daerah Aliran Sungai	29
SS	<i>Soil Storage</i>	33
WS	<i>Water Surplus</i>	33
P	Presipitasi	33
Ea	Evapotranspirasi aktual	33
SMS	<i>Soil Moisture Storage</i>	33
ISMS	<i>Initial Soil Moisture Storage</i>	33
SMC	<i>Soil Moisture Capacity</i>	33
GS	<i>Groundwater Storage</i>	34
if	<i>Infiltration Coefficient</i>	34
i	<i>Infiltration</i>	34
K	Konstanta resesi aliran	34
Gsom	<i>Groundwater Storage month</i>	34
BF	<i>Base Flow</i>	34
DRO	<i>Direct Run Off</i>	34
SRO	<i>Storm Run Off</i>	34
TRO	<i>Total Run Off</i>	35
DTH	Daerah Tangkapan Hujan	35
US-EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>	42

Qgis	<i>Quantum geographic information system</i>	55
PAF	<i>Potentially Acid Forming</i>	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu resiko dari akhir penambangan ialah terbentuknya sisa lubang tambang yang tidak dapat terekklamasi menjadi kondisi seperti rona awal. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan lubang bekas tambang tidak dapat kembali seperti kondisi rona awal sebelum penambangan dilakukan adalah *striping ratio* yang besar. Hal ini sangat berpeluang terjadi karena sebagian besar batuan dan endapan batubara telah diambil, sehingga terjadi defisit *overburden*. Metode pengelolaan *overburden* secara *backfilling* di areal penambangan akan memperkecil lubang bukaan yang terbentuk. Namun, jarak disposal yang terlalu jauh memerlukan biaya yang besar untuk mengangkut *overburden* dan *topsoil* ke lubang bekas area tambang dan seiring berjalannya kegiatan penambangan, disposal area akan direklamasi terlebih dahulu. Aktivitas tambang tidak melakukan kegiatan *backfilling* pada lubang bukaan, maka terbentuklah suatu lubang bekas tambang. Sisa lubang bekas galian tambang tersebut pada akhirnya akan menjadi kawasan tampungan air larian dan air hujan. Biasanya kondisi topografi menjadi cenderung lebih rendah dan struktur tanah memadat dan atau sulit diresapi air sehingga dalam perkembangannya area ini akan tergenang air dan makin berkembang mengalami perubahan menjadi perairan baru di kawasan tersebut yang biasa disebut dengan *pit lake*.

Pit lake batubara merupakan wilayah cekungan yang terbentuk dari aktivitas penambangan. Dari sisi limnologi, *pit lake* ini memiliki 2 sisi peluang yang harus diketahui oleh pengelola danau. Sisi pertama ialah akumulasi air dari aktivitas penambangan dan rehabilitasi lahan pascatambang akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur batuan yang diikuti dengan perubahan kualitas fisika dan kimia tanah serta air di sekitarnya (Bhattacharya, dkk .2006). Hal ini terjadi akibat adanya pelarutan batuan dan proses oksidasi dari material sisa penambangan yang akan menghasilkan air asam tambang yang mengandung bahan-bahan yang tidak diinginkan dan berbahaya bagi lingkungan (Bwapwa, dkk. 2017). Pada sisi lain,

danau buatan merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat vital, terkait dengan ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk hidup di sekelilingnya (Maidie, 2010).

Dalam upaya untuk memanfaatkan *pit lake*, maka diperlukan upaya untuk menjaga kualitas air danau agar dalam keadaan baik. Air danau dikatakan baik apabila air tersebut dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya, kondisi air tidak terkontaminasi oleh material atau partikel, atau zat lain yang dapat menyebabkan kualitas air tidak dapat lagi mendukung kehidupan biota yang ada di dalamnya (Azwir. 2006, Pagoray dan Ghitarina. 2016).

Pit lake berpotensi memberi kontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan. Program pemberdayaan masyarakat sekitar tambang dalam memanfaatkan *pit lake* menjadi sangat penting bagi kelangsungan pembangunan. Informasi mengenai kandungan logam pada air *pit lake* dapat menjadi suatu gambaran terhadap bahaya atau tidaknya pemanfaatan air tersebut.

Berdasarkan aspek-aspek di atas, diperlukan analisis yang mendalam tentang perubahan lahan bekas tambang menjadi sumber daya perairan (*pit lake*), khususnya kajian kuantitas air, morfometri serta kualitas air pada *pit lake*. Penelitian ini dilakukan di daerah bekas tambang batubara Paringin PT Adaro Indonesia. Kajian terhadap *pit lake* di *pit* Paringin menjadi penting terutama pada kawasan yang telah mengalami suksesi, guna mendapatkan kepastian layak atau tidaknya secara ilmiah pemanfaatan sumber daya perairan buatan yang terbentuk tersebut, dan tindakan pengelolaan yang dibutuhkan dalam pembangunan berkelanjutan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana mengukur kuantitas air *pit lake*
- b. Bagaimana kondisi morfometri *pit lake*
- c. Bagaimanakah pengelolaan *pit lake* yang tepat berdasarkan status mutu air dan nilai beban pencemar pada *pit lake* Paringin.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah:

- a. Menganalisis kuantitas air *pit lake* Paringin
- b. Menganalisis kondisi morfometri *pit lake* Paringin
- c. Menganalisis pengelolaan yang tepat berdasarkan status mutu air dan nilai beban pencemar air pada *pit lake* Paringin

1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian ini adalah :

- a. Penelitian dilakukan di PT. Adaro Indonesia pada *pit lake* di Pit Paringin yang berlokasi di Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan.
- b. Perhitungan *water balance* menggunakan model simulasi Mock 1973.
- c. Perhitungan besaran nilai evapotranspirasi menggunakan metode Penman 1948.
- d. Analisis kualitas air *pit lake* meliputi parameter fisika dan kimia.
- e. Metode yang dilakukan untuk menentukan status mutu air yaitu menggunakan metode Storet sedangkan untuk menghitung nilai beban pencemar menggunakan perhitungan faktor kontaminasi (*CF*) dan *pollution load index* (*PLI*).

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini ialah:

- a. Besaran debit hasil simulasi model Mock setiap bulan dipengaruhi oleh tinggi rendahnya nilai presipitasi, semakin kecil nilai presipitasi maka akan rendah debit air pada *pit lake*.
- b. Kondisi morfometri *pit lake* berpengaruh terhadap penyebaran kualitas pada *pit lake* tersebut.
- c. Pencemaran kualitas air pada *pit lake* dipengaruhi oleh aktivitas industri pada daerah tersebut.

1.6 Hasil Penelitian

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini ialah air pada *pit lake* setelah pascatambang akan terus berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya seiring berjalannya waktu. Berdasarkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap analisis kualitas, kondisi fisik (morfometri) dan kuantitas air *pit lake* diharapkan dilakukan kegiatan pengelolaan *pit lake* Paringin yang sesuai dengan analisis tersebut..

1.7 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2019, dengan lokasi penelitian adalah *pit* Paringin PT Adaro Indonesia, Kecamatan Paringin, Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan. Berikut tahapan metodologi penelitian :

1. Studi Pustaka

Studi pustaka ialah kegiatan untuk menghimpun informasi yang relevan dengan topik atau masalah yang menjadi obyek penelitian. Informasi tersebut dapat diperoleh dari buku, jurnal, prosiding maupun tulisan-tulisan yang berkaitan dengan penelitian.

2. Survey lapangan

Survey lapangan dilakukan sebagai langkah awal untuk mengetahui kondisi aspek-aspek penting dalam menganalisis *pit lake* Paringin. Berdasarkan survey lapangan diperoleh gambaran awal tentang *pit lake* Paringin.

3. Pengambilan Data

Secara umum jenis data dalam penelitian adalah data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung oleh peneliti dilapangan saat meneliti, sedangkan data sekunder adalah data yang di dapat melalui kajian-kajian penelitian terdahulu, seperti laporan akhir studi kelayakan proyek, dokumen AMDAL, dokumen RPT dan data eksplorasi. Berikut data primer dan data sekunder dalam penelitian ini:

- a. Data sekunder meliputi data klimatologi, curah hujan, jumlah hari hujan, temperatur udara, penyinaran matahari, kelembaban relatif, kecepatan angin, radiasi matahari, debit air tanah, peta topografi *pit lake* Paringin, debit pengukuran *pit lake* Paringin dan debit *surface outflow*.

- b. Data primer meliputi data kualitas air pada *pit lake* per kedalaman (0 m, 5 m dan 10 m) dari permukaan air, penentuan lokasi sampel dengan metode *purposive random sampling* yaitu dengan cara memilih 3(tiga) stasiun penelitian berdasarkan rona lingkungan yang dianggap sesuai dengan tujuan penelitian. Sampel air yang diambil kemudian di uji di laboratorium untuk mengetahui parameter fisika dan kimia air. Untuk pengambilan koordinat masing-masing titik sampel diambil dengan menggunakan GPS.

4. Uji laboratorium

Parameter yang di uji laboratorium yaitu parameter fisika dan kimia yang meliputi parameter DO (*Dissolved oxygen*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), pH, Belerang sebagai H₂S, Hg (Air raksa), As (Arsenik), Cd (Kadmium), Sn (Timah), Pb (Timbal), Nitrit, Nitrat, Amonia, Fosfat PO₄, Suhu, TSS dan TDS. Metode analisis pengujian laboratorium parameter kimia dan fisika pada penelitian ini yaitu dengan metode analisis APHA dan SNI yang dapat dilihat pada Gambar 1.2.

Hasil sampel air *pit lake* Paringin yang telah diambil dibawa ke laboratorium ALS (*Australian Laboratory Services*) yang telah ditunjuk oleh PT. Adaro Indonesia sebagai mitrakerja perusahaan untuk melakukan uji parameter fisika dan kimia air. Laboratorium ALS ini terletak di Bogor Provinsi Jawa Barat.

5. Pengolahan data

Pengolahan data pada penelitian ini meliputi :

- Kuantitas air

Data klimatologi diolah menggunakan metode Mock (1973) agar diketahui *water surplus pit lake* Paringin. Data presipitasi, evaporasi, evapotranspirasi, infiltrasi, debit *run off* dan debit *groundwater* diolah untuk mengetahui *water balance*. Peta topografi digunakan untuk membuat peta *catchment area*, luasan *catchment area*, luasan *pit lake*. Volume air yang masuk dalam *pit lake* dihitung menggunakan rumus *mean area*.

- Morfometri danau
Peta topografi *pit* Paringin digunakan untuk membuat peta batimetri yang menunjukkan kedalaman *pit lake*. Data kedalaman maksimum, luas permukaan dan volume *pit lake* dihitung untuk mengetahui, kedalaman relatif, kedalaman rata-rata, *volume development* dan *retention time pit lake pit* Paringin.
- Kualitas air
Data kualitas parameter fisika dan kimia diolah untuk mengetahui status mutu air dengan menggunakan metode Storet sedangkan untuk mengetahui nilai beban pencemar menggunakan metode PLI (*Pollution Load Index*).

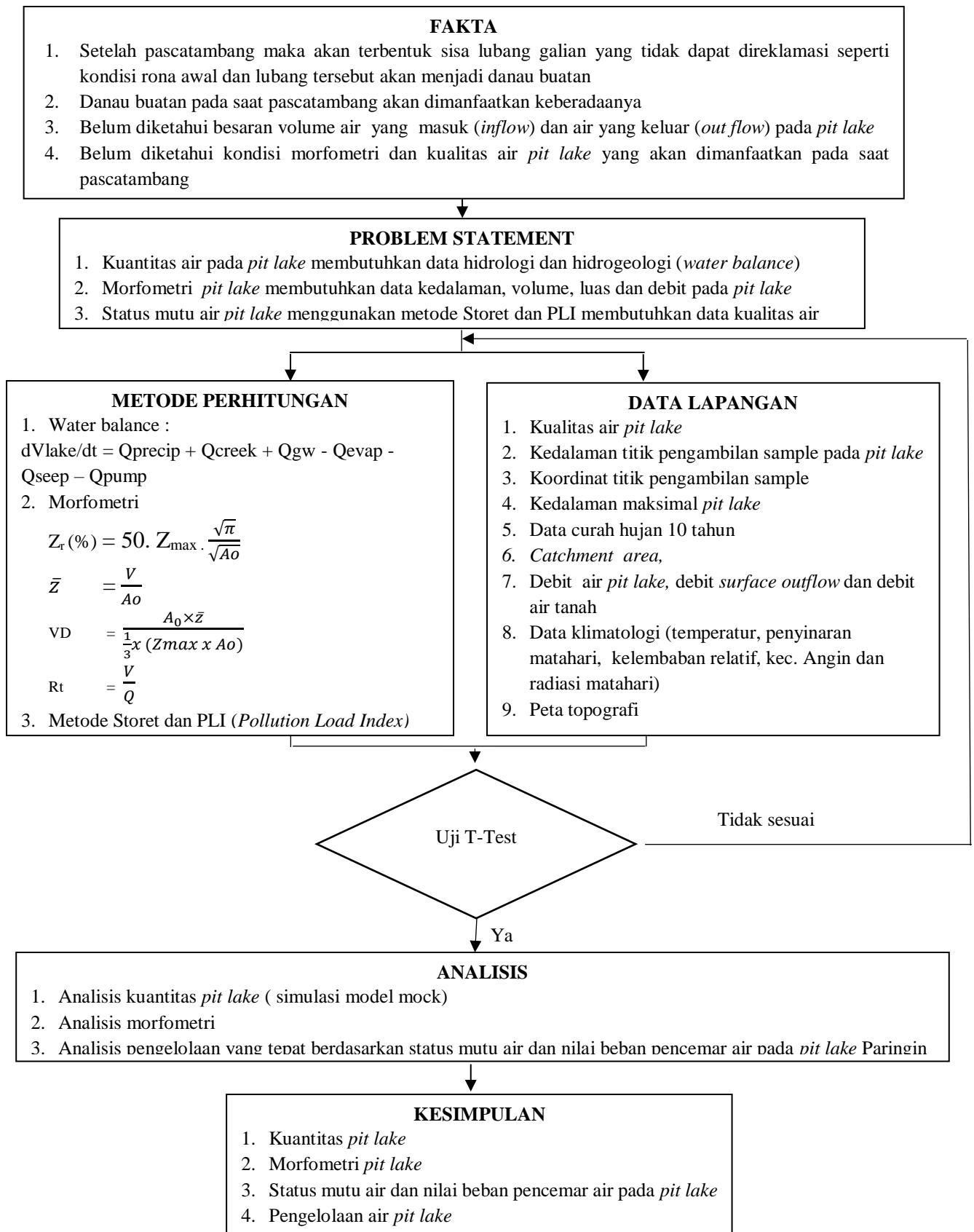
6. Analisis Data

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi analisis :

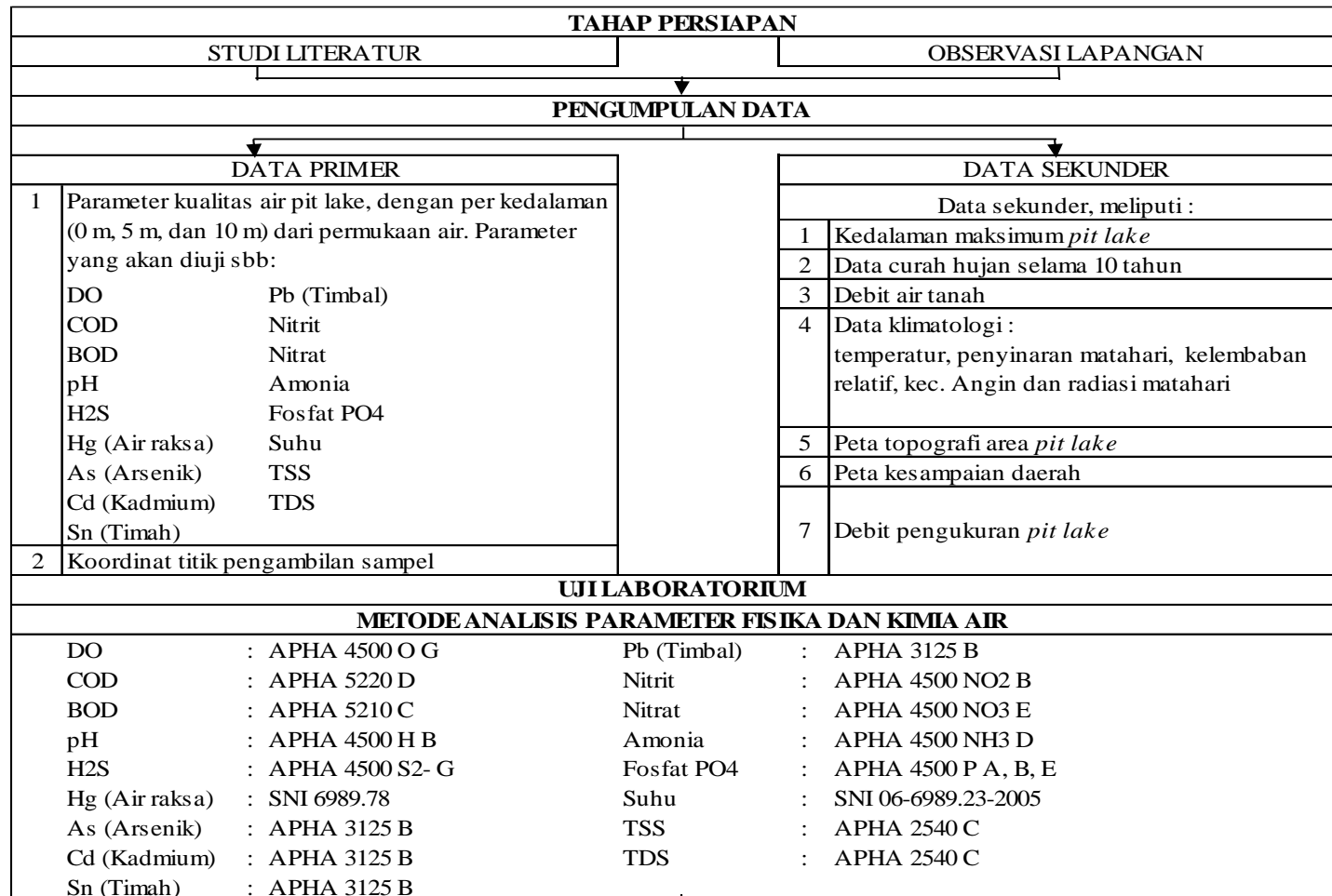
- Analisis kuantitas air pada *pit lake* dengan berdasarkan perhitungan nilai *water balance* pada bulan kering dan bulan basah
- Analisis morfometri (kondisi fisik) *pit lake* yang dapat berpengaruh terhadap kondisi kualitas *pit lake* tersebut.
- Analisis kualitas air *pit lake* untuk mengetahui peruntukan danau tersebut berdasarkan kualitas, sehingga dapat mengetahui pengelolaan *pit lake* secara tepat.

1.8 Diagram Alir Penelitian

Berikut tahapan metodologi penelitian pada Gambar 1.1 dan tahapan penelitian yang tertuang dalam diagram alir penelitian pada Gambar 1.2.



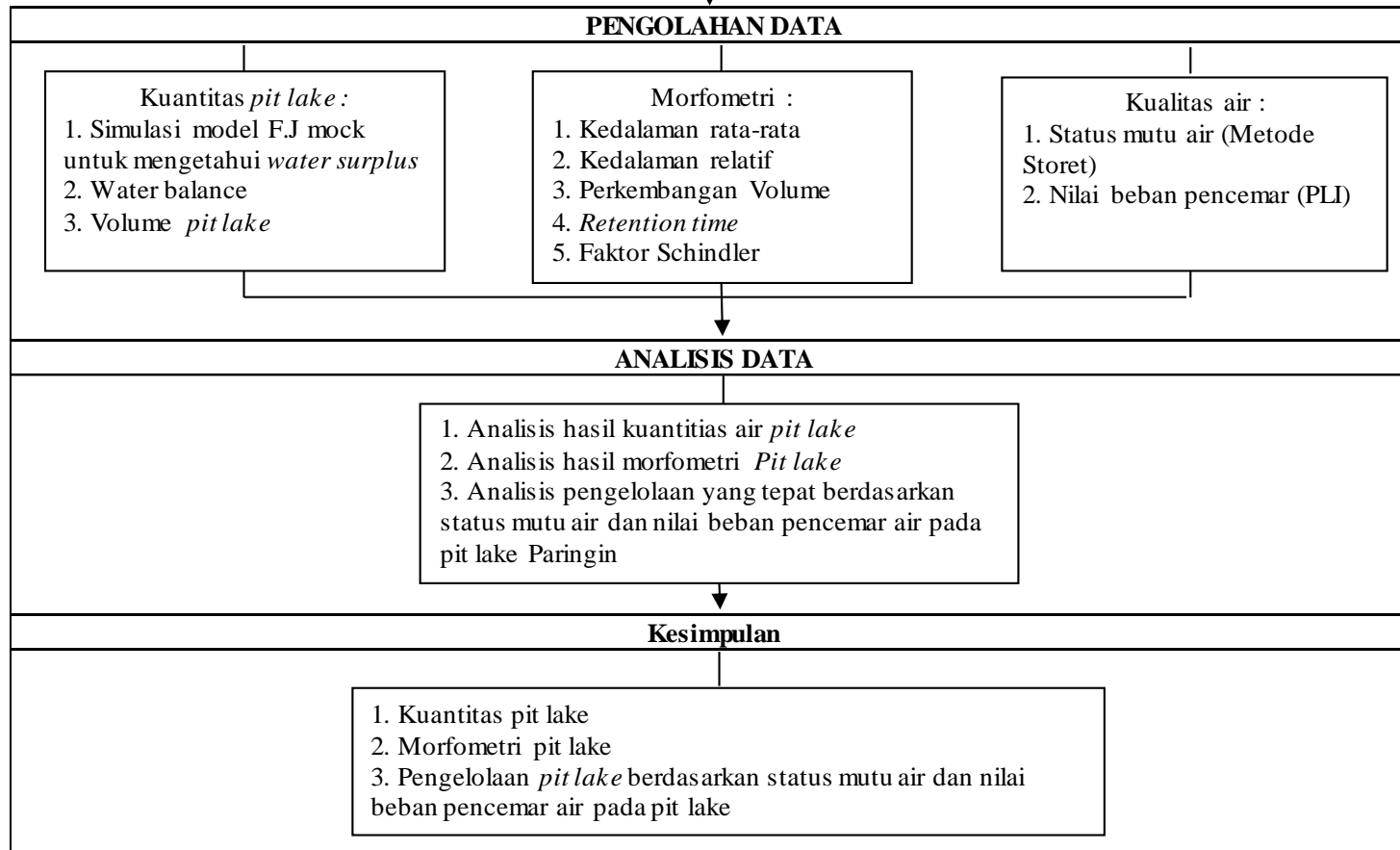
Gambar 1.1 Diagram Metodologi Penelitian



↓

A

A



Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah

2.1.1 Lokasi

Area operasional PT Adaro Indonesia secara administratif terletak di 2 (dua) provinsi dan 4 (empat) kabupaten. Lokasi ketiga tambang (*pit* Tutupan, *pit* Paringin, *pit* Wara) dan sarana produksi PT Adaro Indonesia yang dikembangkan berada di dua kabupaten yaitu wilayah Kabupaten Balangan dan Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan. Jalan angkut batubara dan pelabuhan khusus batubara Kelanis berada di dua kabupaten di Provinsi Kalimantan Tengah, yaitu Kabupaten Barito Timur dan Kabupaten Barito Selatan (Gambar 2.1).

Secara administratif, areal operasional Adaro meliputi 12 kecamatan dalam 4 (empat) kabupaten, yaitu :

1. Kecamatan Paringin dan Juai, Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan.
2. Kecamatan Murung Pudak, Tanta, Tanjung, Muara Harus, Kelua, Haruai dan Upau, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan.
3. Kecamatan Dusun Hilir, Kabupaten Barito Selatan, Provinsi Kalimantan Tengah.
4. Kecamatan Banua Lima dan Dusun Timur, Kabupaten Barito Timur, Provinsi Kalimantan Tengah.

2.1.2 Kesampaian Daerah

Kesampaian daerah PT. Adaro Indonesia dapat melalui jalur transportasi udara dan darat.

a. Transportasi udara

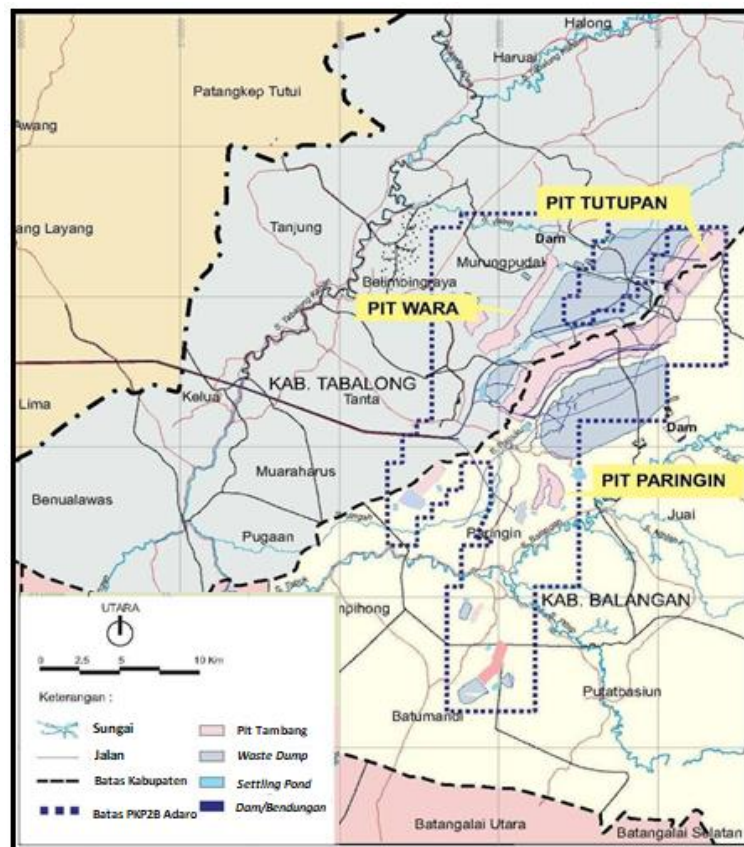
Akses ke lokasi PT. Adaro Indonesia via transportasi udara dapat ditempuh melalui Banjarmasin. Penerbangan dari Banjarmasin via Bandara Syamsudin Noor ke Tabalong via Bandara Warukin. Pelayanan penerbangan ke Bandara Warukin dapat

ditempuh dalam waktu sekitar 45 menit dilayani oleh maskapai penerbangan yang berkapasitas sekitar 20 penumpang.

Bandara Warukin memiliki fasilitas *run way* sekitar 800 m dan lebar sekitar 30 m dengan jenis *twin oter* dan DAS 7. Pelayanan penerbangan dari Banjarmasin-Tabalong 1 (satu) kali dalam sehari Senin-Jumat, sedangkan Sabtu 2 (dua) kali dalam sehari. Selanjutnya dari Bandara Warukin ke lokasi kantor proyek di Dahai dapat ditempuh melalui jalan darat dengan waktu sekitar 20-30 menit.

b. Transportasi darat

Pencapaian lokasi kantor Adaro dari Banjarmasin via jalan darat melalui jalan Trans Kalimantan yang melewati Martapura, Kandangan, Amuntai, Balangan dan Tabalong. Perjalanan menggunakan moda transportasi roda empat dapat ditempuh dalam waktu sekitar 4-5 Jam.



Gambar 2.1 Lokasi Penelitian (PT Adaro Indonesia, 2018)

Adanya prasarana jalan dan jembatan Barito yang dapat menghubungkan Banjarmasin hingga ke Palangkaraya menjadikan kegiatan transportasi jalan

menjadi lebih hidup. Aktivitas kendaraan roda empat milik pribadi maupun umum yang berupa bus dan armada travel jenis mobil penumpang cukup banyak dalam memberikan pelayanan mobilisasi masyarakat. Kondisi ini menyebabkan peralihan aktivitas transportasi sungai ke transportasi jalan. Jalan yang dilalui merupakan jalan negara dengan kondisi relatif baik meskipun pada segmen tertentu terjadi kerusakan pada perkerasan jalan.

Penggunaan transportasi jalan raya oleh masyarakat Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah merupakan akses alternatif yang dapat digunakan sepanjang tahun tanpa dipengaruhi oleh kondisi musim. Berbeda dengan mobilisasi masyarakat yang memanfaatkan transportasi Sungai Barito yang kegiatannya sangat dipengaruhi oleh kondisi musim.

2.2 Klimatologi

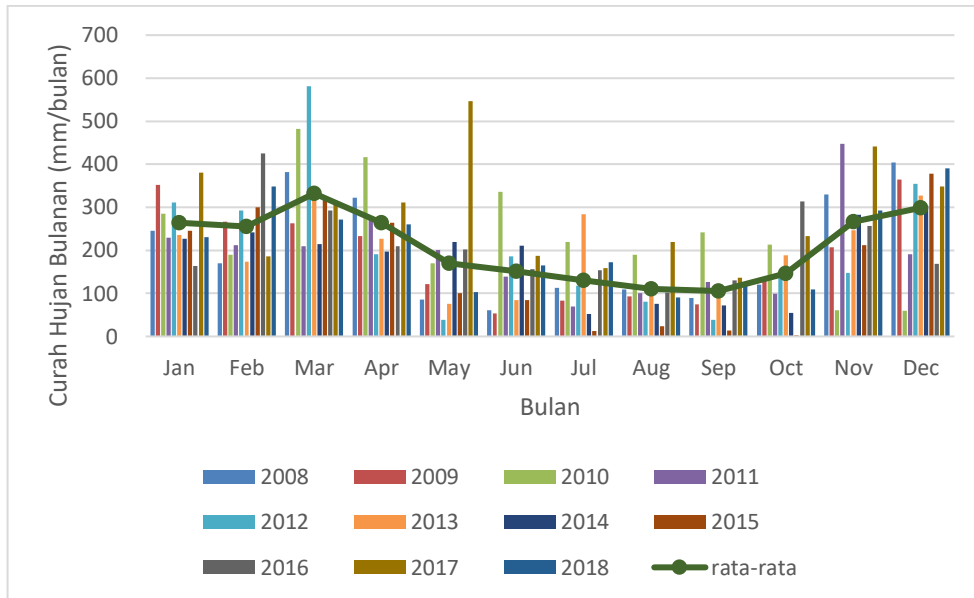
Kondisi iklim di lokasi kegiatan PT. Adaro Indonesia dipantau menggunakan *Automatic Weather Station* yang berada di Tutupan, Wara, dan Paringin. Data yang dipantau antara lain: curah hujan, kecepatan angin, kelembaban udara, suhu udara, penyinaran matahari dan radiasi matahari. Pada penelitian ini hanya membahas data klimatologi di *pit* Paringin.

a. Curah hujan

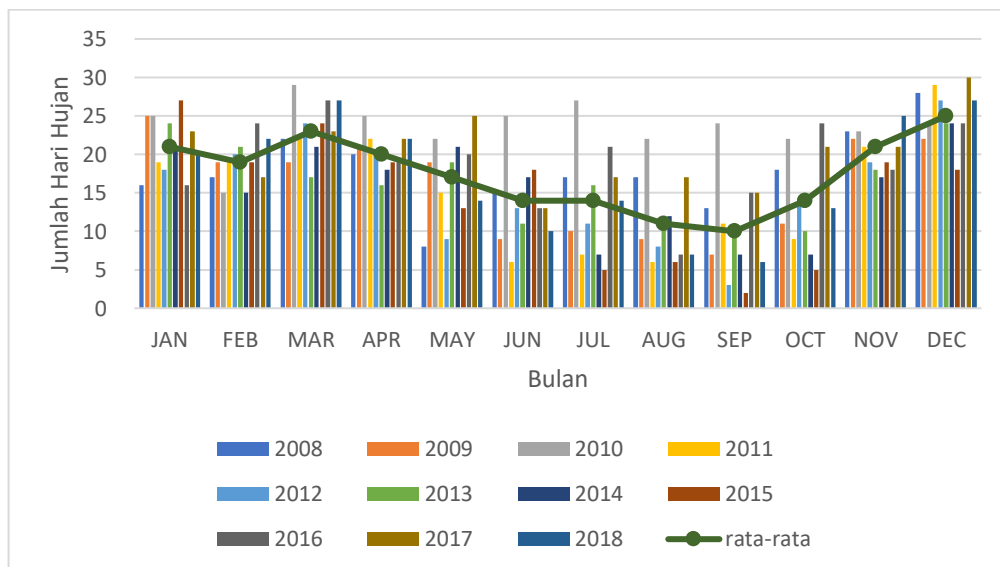
Data curah hujan sejak tahun 2008 hingga tahun 2018 menunjukkan bahwa curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada bulan Maret untuk wilayah operasional *pit* Paringin PT. Adaro Indonesia sebesar 332,24 mm/bulan. Sedangkan curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan September sebesar 105,5 mm/bulan. Jumlah hari hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember yaitu selama 25 hari sedangkan terendah terjadi pada bulan September selama 10 hari secara detail dapat dilihat pada Gambar 2.2.

b. Kecepatan angin

Kecepatan angin rata-rata 2017-2018 adalah sebesar 112,5 mil/hari. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 143,52 mil/hari sedangkan kecepatan angin terendah terjadi pada bulan November sebesar 67,36 mil/hari.



Gambar 2.2 Curah Hujan Bulanan *Pit Paringin* Tahun 2008-2018



Gambar 2.3 Jumlah Hari Hujan *Pit Paringin* Tahun 2008-2018

c. Kelembaban udara relatif

Kelembaban udara rata-rata di tahun 2017-2018 sebesar 82,9 % dengan kelembaban tertinggi 85,8 % pada bulan Desember dan terendah 76,9 % pada bulan September.

d. Suhu udara

Suhu udara rata-rata sepanjang tahun 2017-2018 adalah sekitar 26,7°C. Suhu udara tertinggi terjadi di bulan September yang mencapai 27,3°C, sedangkan suhu udara terendah pada bulan Desember yaitu sebesar 26,2°C.

e. Penyinaran matahari

Penyinaran matahari rata-rata sepanjang tahun 2017-2018 adalah sekitar 90,7 %. Penyinaran matahari tertinggi terjadi di bulan Agustus yang mencapai 96,3 %, sedangkan penyinaran matahari terendah pada bulan November yaitu sebesar 74,6%.

f. Radiasi matahari

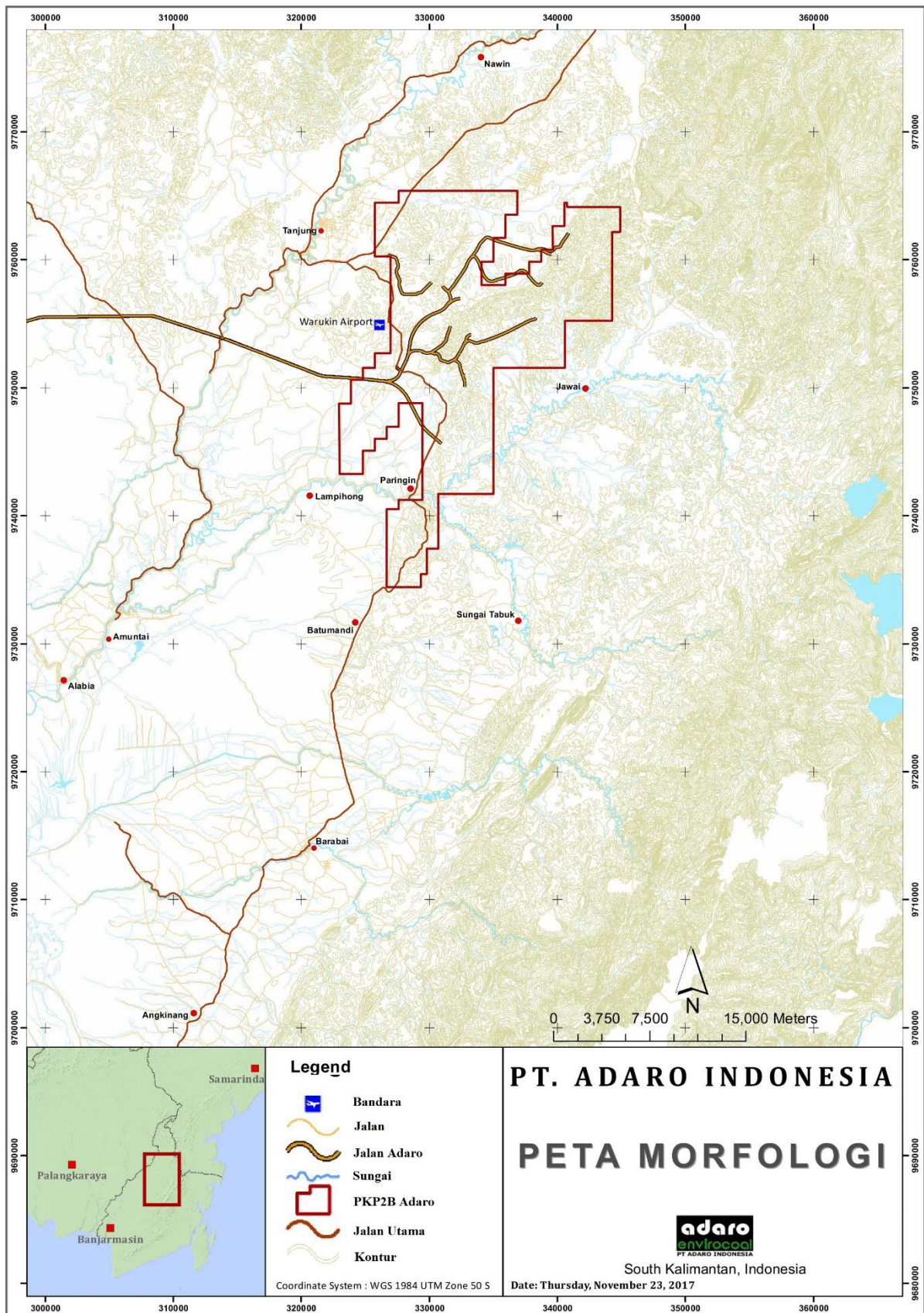
Radiasi matahari rata-rata sepanjang tahun 2017-2018 adalah sekitar 4,55 mm/hari. Radiasi matahari tertinggi terjadi di bulan Maret yang mencapai 4,84 mm/hari, sedangkan radiasi matahari terendah pada bulan Juni yaitu sebesar 4,11 mm/hari.

2.3 Keadaan Geologi Umum

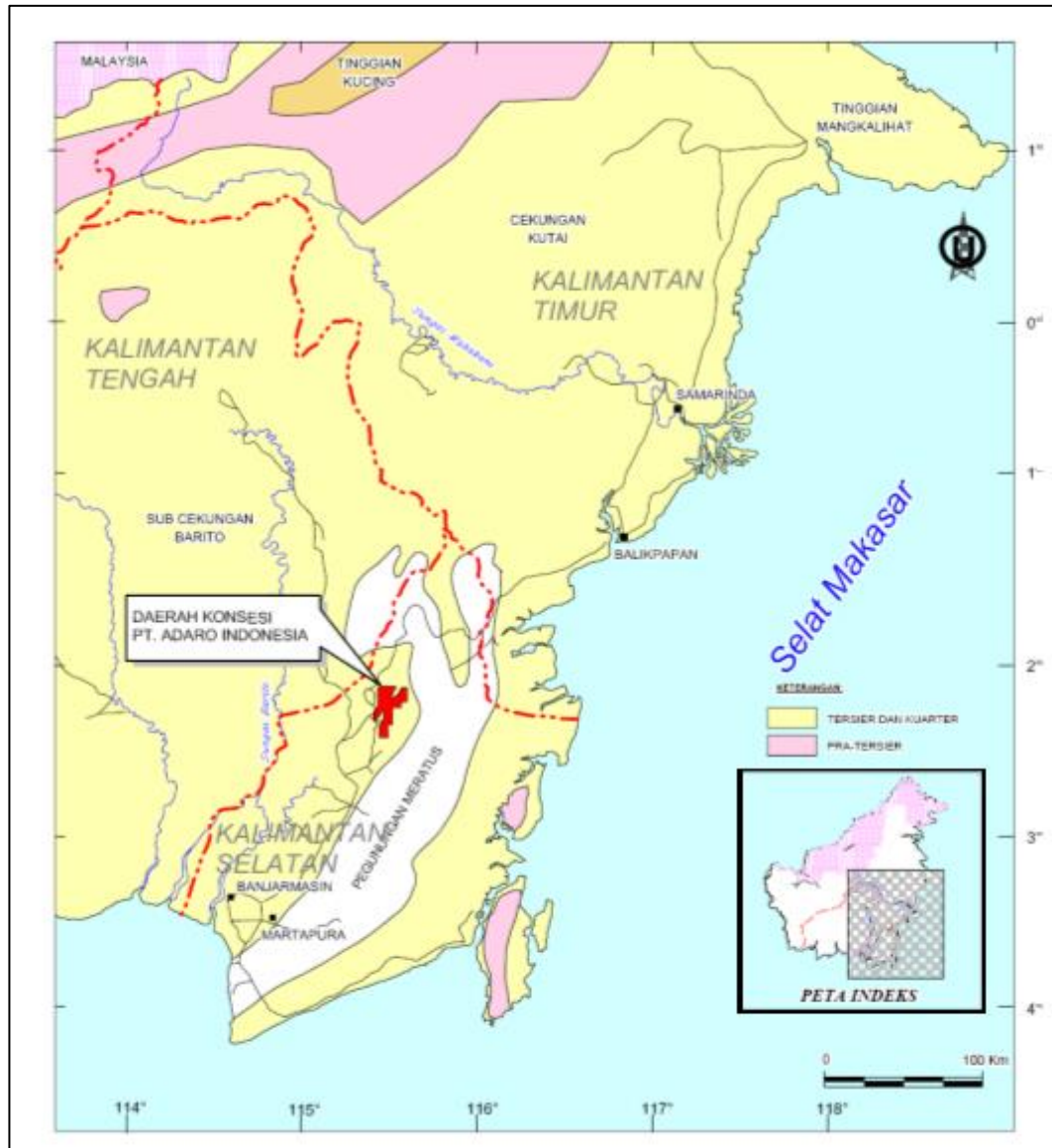
2.3.1 Fisiografi

Topografi *pit* Tutupan pada awalnya merupakan perbukitan bergelombang sedang dengan kemiringan lereng 15-45° dan ketinggian berkisar antara 105-158 m. Pada saat sekarang topografinya telah berubah menjadi lubang tambang (*pit*) dengan kedalaman -96 m. Topografi *pit* Paringin pada awalnya merupakan daerah perbukitan bergelombang landai dengan kemiringan lereng 5-15° dengan ketinggian berkisar antara 60-145 m. Pada saat sekarang kegiatan penambangan di lokasi tambang tersebut berhenti sementara, namun untuk mendukung rencana peningkatan produksi, tambang tersebut akan dibuka kembali. Pada awalnya topografi *pit* Wara mirip dengan *pit* Paringin. Saat ini daerah *pit* Wara merupakan lubang tambang (*pit*) dengan kedalaman sekitar -40 m.

Pada tahun 2007 kegiatan penambangan PT Adaro Indonesia menghasilkan lubang tambang seluas 1.034,72 Ha; 252,74 ha; 25,00 ha; dan 40 ha masing-masing pada *pit* Tutupan, Paringin, Wara-1 dan Wara-2. Pada *pit* Tutupan telah terbentuk tebing dengan panjang keliling sekitar 12,5 km, tinggi antara 50-70 m, kemiringan lereng antara 45-50°, lebar *bench* sebesar 5 m serta tinggi jenjang sebesar 48 m pada *high wall* dan 12 m pada *low wall*. Pada *pit* Paringin telah ada tebing dengan panjang keliling sekitar 4 km, dengan lubang tambang telah terisi air. Lubang tambang di *pit* Wara (Wara-1 dan Wara-2) dan *pit* Paringin pada saat sekarang telah terisi air.



Gambar 2.4. Peta Morfologi Paringin, Tutupan dan Wara (Anonim, 2011)



Gambar 2.5. Peta Fisiologi Daerah PT Adaro Indonesia (Anonim, 2011)

2.3.2 Geologi

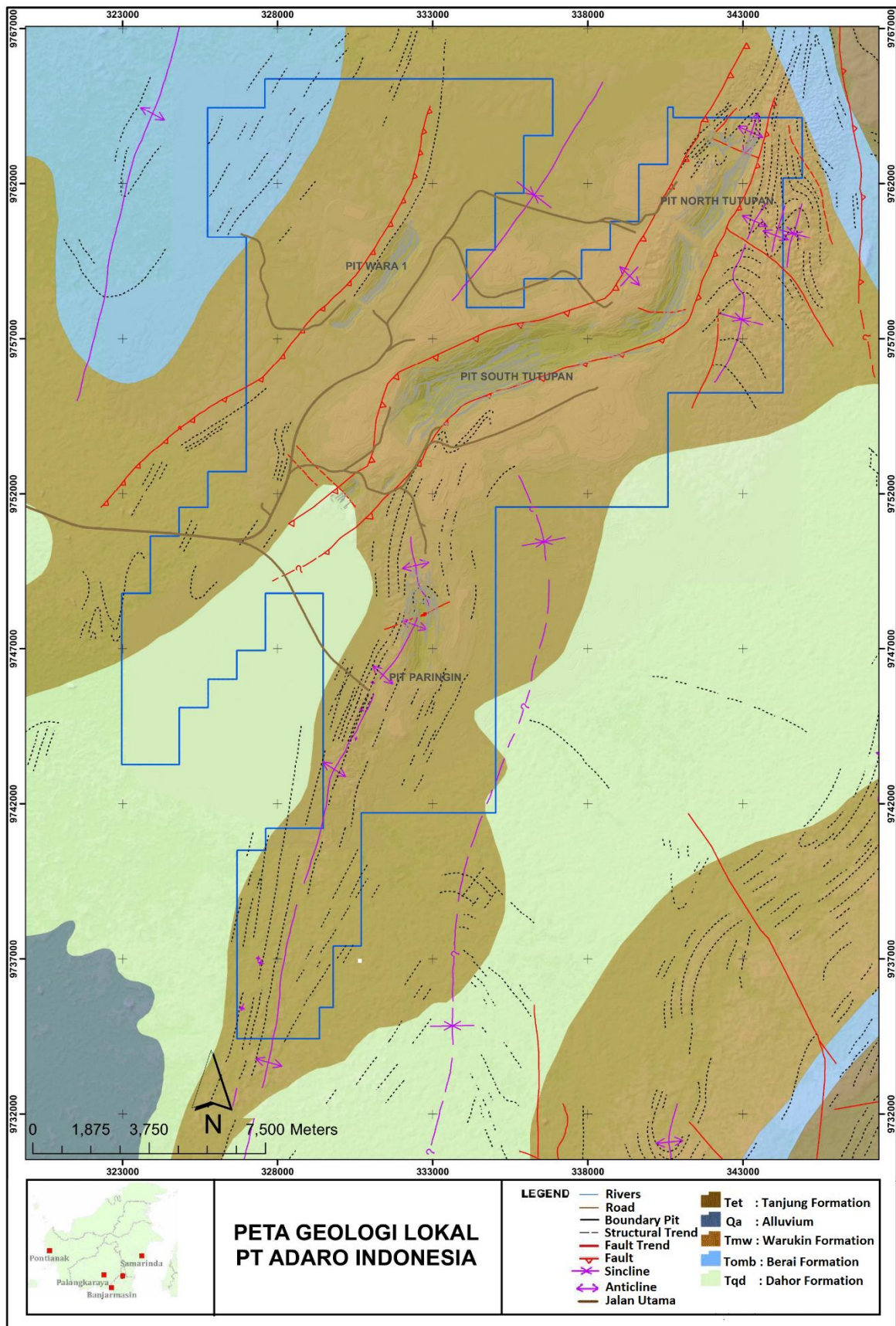
Daerah lokasi PKP2B PT Adaro Indonesia terletak di tepi bagian Timur Sub-Cekungan Barito di kaki Pegunungan Meratus. Sub-Cekungan Barito merupakan bagian selatan dari Cekungan Kutai selama Zaman Tersier, berupa suatu cekungan sedimen yang luas dan meliputi Kalimantan bagian Selatan dan Timur.

Cekungan Kutai dibagi menjadi empat sub-cekungan yaitu Sub-Cekungan Tarakan (Berau) di Utara, Sub-Cekungan Pasir di Tenggara, Sub-Cekungan Barito di Selatan dan Sub-Cekungan Kutai di bagian Tengah Kalimantan Timur. Daerah studi merupakan bagian dari Sub-Cekungan Barito.

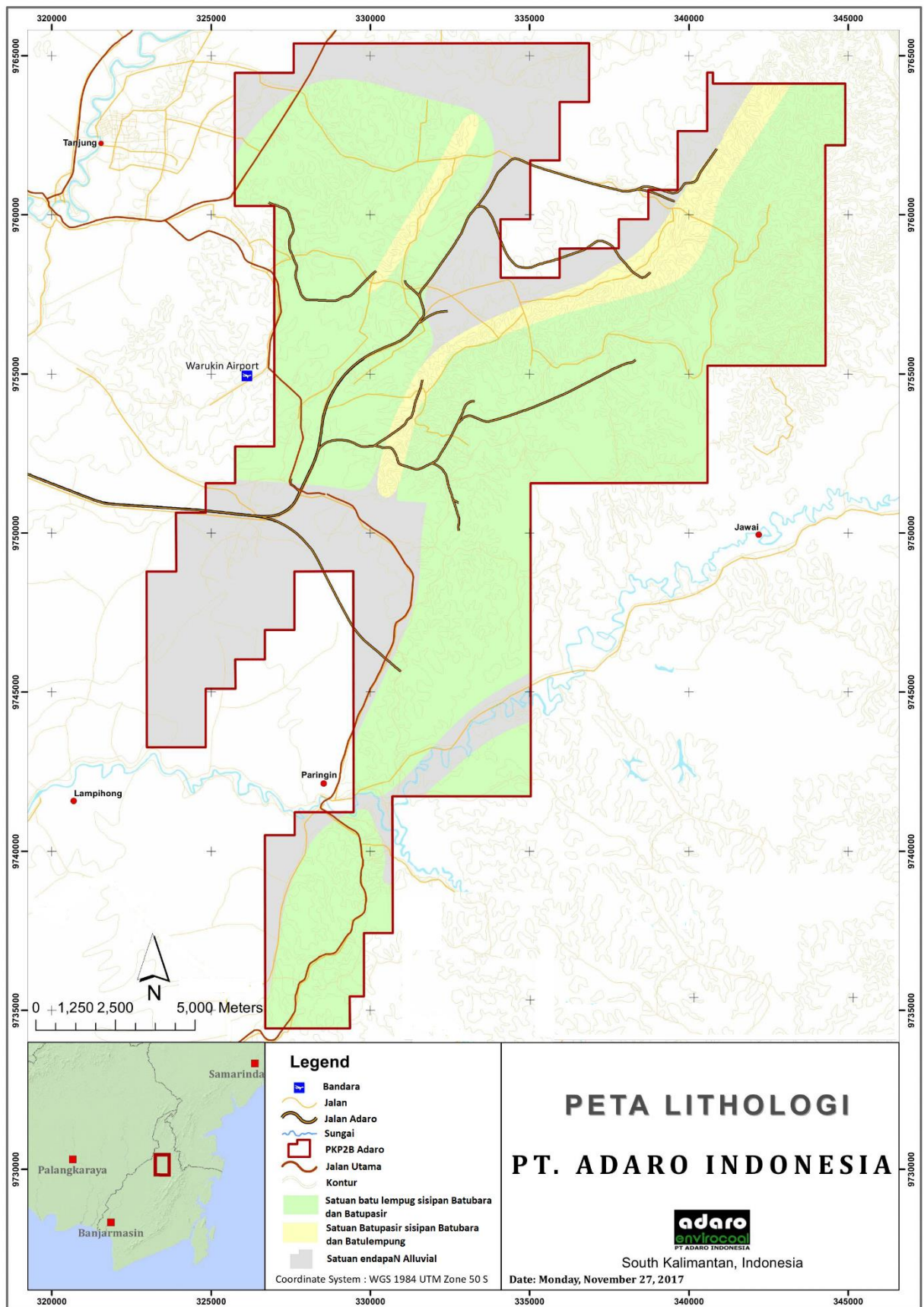
Batas Sub-Cekungan Barito di bagian Timur adalah Pegunungan Meratus, di bagian barat adalah Paparan Sunda (Laut Jawa), sedangkan bagian Utara adalah Cekungan Kutai. Ke arah Selatan batuan sedimen Tersier Sub-Cekungan Barito menunjam ke dalam Laut Jawa. Batuan dasar tertua dari Sub-Cekungan Barito berumur *Pra-Tertier*, berasal dari zaman Triasik sampai *Cretaceous*. Batuan ini penyebarannya cukup luas dan merupakan sumber dari batuan sedimen yang mengisi Cekungan Barito.

Sedangkan formasi batuan yang terdapat di daerah PKP2B PT Adaro Indonesia adalah Formasi Warukin yang berumur Miosen tengah sampai Miosen atas. Formasi Warukin mengalami perlipatan dan membentuk *antiklin* asimetris dan menunjam ke utara dengan penunjaman sekitar 5° . Kemiringan sayap *antiklin* bagian barat sekitar 50° lebih terjal dari pada sayap bagian timur yang mempunyai kemiringan sekitar 15° . Di daerah Tutupan Formasi Warukin mengalami proses pensesaran naik sehingga kondisi struktur geologinya lebih kompleks (Gambar 2.6). Batuan Formasi Warukin terdiri dari batupasir kuarsa, batulanau, serpih dan batubara yang terendapkan dalam lingkungan *Huviatil* (sungai dan delta). Tebal formasi lebih dari 1.000 m. Pengamatan lapangan menemukan adanya bekas alur sungai purba pada batupasir dan batulanau. Di daerah Wara terdapat bagian sayap barat dari *Sinklin* Bilas yang nampak sebagai struktur *monoklin*, dengan arah umum jurus lapisan adalah timur laut-barat daya, dan kemiringan lapisan batuan antara $5-45^{\circ}$.

Daerah Wara, dibagi menjadi dua blok yaitu Wara-1 dan Wara-2, kedua daerah ini dibatasi oleh sesar naik *Maridu*. Tanah penutup daerah tambang terdiri dari tanah pucuk (*top soil*) setebal 0-20 cm dan dibawahnya merupakan sub soil yang terdiri dari lempung, lanau, lempung pasiran, dan pasir lanauan, kadang-kadang ditemukan limonit (Gambar 2.7).



Gambar 2.6. Peta Geologi Daerah Adaro (Anonim, 2018)



Gambar 2.7 Peta Lithologi Adaro (Anonim, 2018)

2.4 Kegiatan Penambangan

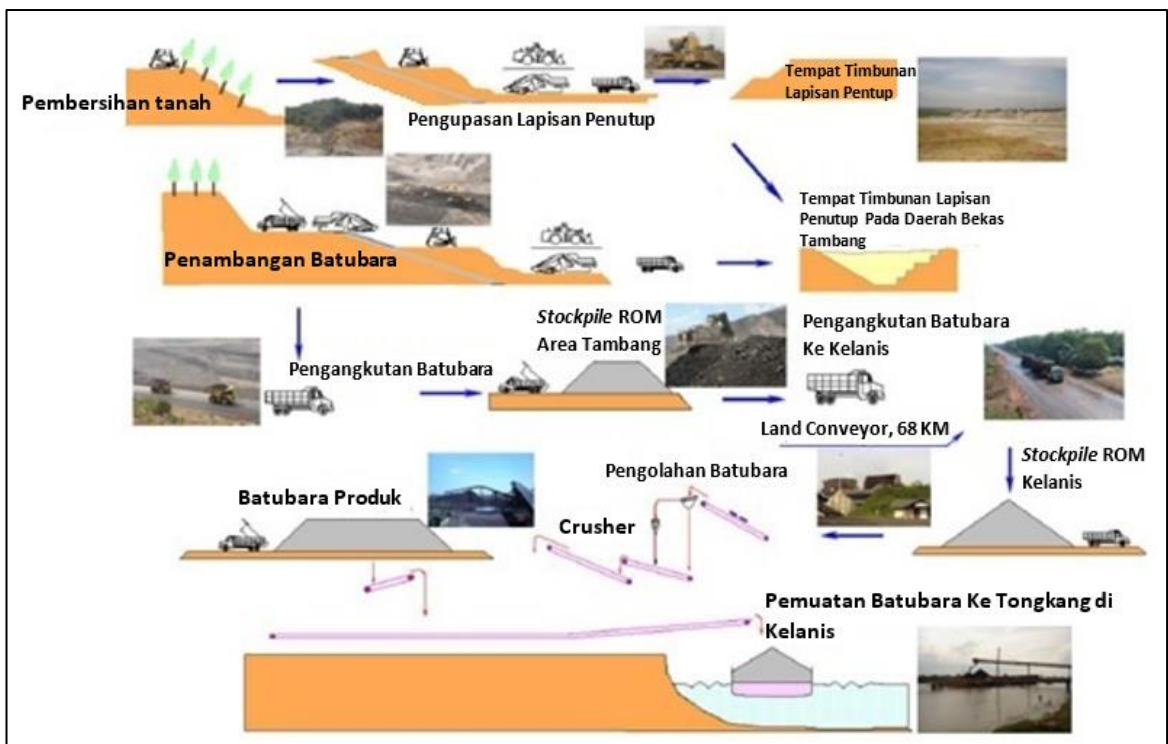
Sistem penambangan batubara PT Adaro Indonesia adalah tambang terbuka, dengan metode *open pit*. Dalam melakukan penambangan, PT Adaro Indonesia menggunakan sistem konvensional kombinasi antara truk dengan alat muat (*shovel*). Kegiatan penambangan dimulai dengan melakukan pembersihan lahan (*land clearing*) dengan menggunakan *bulldozer*. Kegiatan pembersihan lahan dimulai sebelum kegiatan pengupasan tanah pucuk. Kegiatan tersebut ialah penebangan vegetasi, pengumpulan, dan pembersihan serpihan batang dan ranting-ranting bekas tebangan. Setelah itu dilakukan pengupasan tanah pucuk dan penimbunan tanah pucuk. Tanah pucuk nantinya akan ditebarkan kembali ke lokasi timbunan yang sudah final untuk persiapan reklamasi.

Setelah dilakukan pembukaan dan pembersihan lahan, kegiatan selanjutnya ialah pengupasan dan pemindahan tanah pucuk. Kegiatan ini dilakukan dengan tujuan untuk melakukan konservasi tanah pucuk yang subur agar dapat digunakan kembali sebagai media tanam di daerah timbunan. Pekerjaan diawali dengan pengupasan zona perakaran, tebal zona pengakaran yang dikupas minimal 50-100 cm. Zona pengakaran dimuat dengan menggunakan excavator ke dalam truk berukuran 32 ton, untuk diangkut dan dihindarkan di area disposal atau *stockpile* zona perakaran. Ketebalan zona perakaran dihindarkan di area *disposal/stockpile* zona perakaran minimal 15-25 cm.

Setelah tanah pucuk dikupas dan ditimbun, langkah selanjutnya ialah pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*). Lapisan tanah penutup biasanya berupa batuan sedimen yang cukup keras sehingga diperlukan pemberaian material terlebih dahulu berupa kegiatan peledakan (*blasting*). Sistem peledakan yang diaplikasikan menggunakan ANFO dengan *powder factor* 0,25 kg/BCM. Setelah material terberai maka selanjutnya dilakukan urutan kegiatan pengupasan tanah penutup berupa kegiatan mendorong (*dozing*), memuat (*loading*) dan mengangkut (*hauling*).

Penggalian tanah penutup dilakukan secara bertahap dalam bentuk jenjang-jenjang tambang dengan tinggi ditentukan berdasarkan kestabilan lereng dan peralatan muat yang digunakan. Batuan tanah penutup terdiri dari berbagai jenis batuan (*mudstone*, *siltstone*, dan *sandstone*), memiliki kekuatan bervariasi dari lunak sampai sedang

(13 kN/m² s/d 22.5 kN/m²). Untuk meningkatkan produktivitas, kegiatan penggalian ini didahului dengan kegiatan peledakan untuk membeberaikan batuan yang masif supaya lebih mudah untuk digali. Selanjutnya dilakukan penggalian dan pemuatan batuan penutup dengan menggunakan *hydraulic excavator* tipe PC 1200 sampai PC 4000. Pekerjaan pemuatan dibantu dozer D7G sampai D10R untuk mengumpukan batuan ke alat muat. *Dump truck* sebagai alat angkut bervariasi mulai tipe *articulated dump truck* dengan kapasitas 36 m³ sampai dengan HD 1500-5 yang mempunyai kapasitas 55 m³. Batuan penutup selanjutnya diangkut ke tempat penampungan buangan (*waste disposal*) yang dapat berlokasi di luar pit (*external disposal*) maupun di dalam pit (*inpit dump/backfilling*). Berikut diagram alir proses penambangan batubara di PT Adaro Indonesia (Gambar 2.8)



Gambar 2.8. Diagram Alir Proses Penambangan Batubara PT Adaro Indonesia
(Anonim, 2012)

Guna memenuhi persyaratan pasar diperlukan fasilitas pengolahan batubara (*coal processing plant/CPP*) untuk mereduksi ukuran batubara dari tambang (*ROM coal*) yang lebih besar dari 50 mm menjadi ukuran yang disyaratkan pembeli yaitu -50 mm dengan ukuran -2 mm tidak lebih dari 20%. Kapasitas per tahun fasilitas CPP di Kelanis adalah 67.200.000 ton per tahun. Untuk meningkatkan kapasitas

produksi batubara dari sekitar 60 juta menjadi 80 juta ton per tahun, dilakukan dengan menambah fasilitas *Hopper* 8 dengan kapasitas 1500 ton/jam dan dengan melakukan peningkatan kapasitas *Hopper* 1 dan *Hopper* 2 dari 700 ton/jam dan 900 ton/jam masing-masing menjadi 1500 ton/jam. Dengan demikian kapasitas produksi CPP Kelanis maksimum 80 juta ton per tahun.

2.5 Pit Lake Paringin

PT Adaro Indonesia melakukan penambangan batubara dengan sistem penambangan terbuka sehingga dalam prosesnya akan terbentuk danau bekas tambang (*pit lake*). Dengan sistem pengelolaan yang baik, *pit lake* ini dapat dikembangkan untuk budidaya ikan air tawar. Salah satu contohnya adalah *pit lake* yang berada di Paringin Selatan. Luas *pit lake* di *pit* Paringin seluas 19,5 Ha. Tambang Paringin merupakan tambang pertama yang dibuka untuk penambangan dan seiring berjalannya kegiatan reklamasi selain memperbaiki kualitas lahan juga berdampak pada membaiknya kualitas air di *pit lake* dari waktu ke waktu. Sehingga dapat dijadikan percontohan kawasan pemanfaatan air bekas tambang batubara (model pascatambang).

Dari potensi yang dapat digali, air kolam bekas tambang di *inpit pond* Paringin telah dimanfaatkan salah satunya sebagai sumber untuk pembudidayaan dan pembibitan Nila *BEST* (*Bogor Enhanced Strain Tilapia*). Selain itu telah dilakukan juga uji coba budidaya ikan lokal seperti Jelawat, Lais, Papuyu, Haruan, Kalui, Dan Tauman.

Kolam penelitian pemanfaatan air bekas tambang untuk perikanan pada *pit* Paringin seluas 1,5 Ha (Gambar 2.9). Terdapat delapan buah kolam utama dengan dimensi masing – masing kolam 35 x 15 x 1,5 m. Dengan masing-masing kolam berfungsi sebagai:

- Tiga kolam pembenihan berisi masing - masing 300 jantan dan 900 betina.
- Dua kolam pembesaran bibit dengan 4 kompartemen. 1 kolam ini berisi calon indukan ikan lokal yang bernilai ekonomi tinggi (Haruan, Papuyu, Jelawat, Kalui, Tauman, Lais)
- Dua kolam anakan untuk stok / pembesaran calon indukan
- Satu kolam sebagai kolam transisi sebelum dilepas / didistribusi ke masyarakat



Gambar 2.9 Pit Lake Paringin beserta Kolam Budidaya Nila BEST (R&D PT Adaro Indonesia, 2018)

Budidaya ikan yang dilakukan di kolam R&D (*Research and Development*) PT Adaro Indonesia menggunakan sistem pipa monik (Gambar 2.10). Dengan sistem ini, desain pintu *outlet* dirancang agar menjaga kualitas air kolam tetap baik dan meminimalkan sedimentasi di dasar kolam. Selain itu, sistem ini memudahkan ketika panen atau pengeringan kolam. Dengan sistem pipa monik, sirkulasi dan kualitas air di kolam lebih baik karena air yang keluar adalah air di bagian bawah, bukan air segar pada bagian atas. Selain itu, sistem pipa monik yang dipadukan dengan selokan bawah membuat air dapat dikuras habis dan dikontrol dengan efisien.



Gambar 2.10 Sistem Pipa Monik

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Model konseptual *Pit Lake*

Pit lake terbentuk pada saat kegiatan penambangan berakhir. Lubang bekas penambangan tersebut terisi dengan air, yaitu air tanah, air permukaan, air hujan (Vandenberg, dkk 2015). Semua *pit lake* mengalami sejumlah proses fisik, kimia, dan biologis yang akan menentukan kesesuaian lingkungan. Hal ini untuk mendukung kehidupan air dan untuk melepaskan air ke lingkungan penerima (Guest, 2017).

Model konseptual *pit lake*, menunjukkan komponen utama air dan keseimbangan massa (*mass balance*), Gambar 3.1 menunjukkan Model konseptual *pit lake* untuk water balance, water column mixing, dan dinamika geokimia.



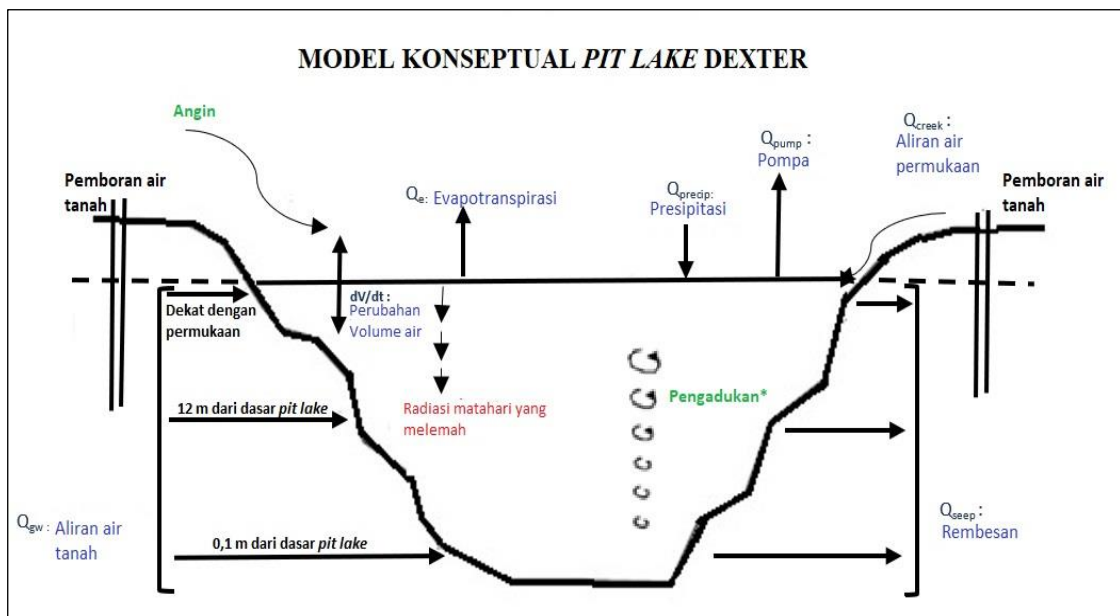
Gambar 3.1 Model konseptual *pit lake* untuk *water balance*, *water column mixing*, dan dinamika geokimia. (Vandenberg, dkk, 2015)

Daur hidrologi menentukan waktu yang dibutuhkan pada lubang bukaan tambang untuk terisi air setelah penutupan tambang, dan juga mempengaruhi terbentuknya kondisi akhir air pada *pit lake*. Daur hidrologi adalah siklus air yang berjalan secara kontinue mulai dari atmosfer ke bumi dan kembali melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pergerakan dan sirkulasi air diakibatkan oleh adanya uap air

(evaporasi), presipitasi, pergerakan air dalam tanah (perkolasi) dan air limpasan (*run off*).

3.1.1 Neraca Air

Perkiraan secara kuantitatif dari siklus hidrologi dapat dinyatakan berdasar prinsip konservasi massa yang dikenal dengan persamaan neraca air. Neraca air atau *water balance* menggambarkan hubungan antara *inflow* (aliran masuk) dengan *outflow* (aliran keluar) pada suatu wilayah selama periode tertentu (Gambar 3.2). Dalam perhitungannya, neraca air dapat menggambarkan curah hujan yang tertampung dalam daerah *recharge*, penguapan kembali sebagai evapotranspirasi, air yang mengalir di permukaan sebagai *surface direct run off* maupun infiltrasi air tanah (Rinaldi, 2015).



Gambar 3.2 Model Konseptual *Pit Lake* Dexter (Castendyk. dkk, 2014)

Persamaan umum neraca air (Castendyk, dkk. 2014):

$$dV_{lake}/dt = Q_{precip} + Q_{creek} + Q_{gw} - Q_{evap} - Q_{seep} - Q_{pump} \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

- Q_{precip} : Presipitasi (m^3)
- Q_{creek} : Debit aliran masuk dan keluar (m^3)
- Q_{gw} : Aliran air tanah masuk (m^3)

Q_{evap} : Evapotranspirasi (m^3)

Q_{seep} : Rembesan (m^3)

Q_{pump} : Pompa (m^3)

Semua suku pada persamaan dapat dinyatakan dalam volume air (m^3) atau dalam debit (m^3/d) atau dalam kedalaman air, yaitu volume air yang terdistribusi merata pada seluruh daerah aliran sungai (DAS) atau danau.

a. Presipitasi

Presipitasi merupakan sumber utama pemasukan air pada suatu lahan yang masuk ke lahan dengan berbagai cara, misalnya dengan intersepsi dari tumbuh-tumbuhan atau jatuh langsung ke tanah. Mori (2006) mendefinisikan presipitasi sebagai uap yang mengondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi. Jumlah presipitasi selalu dinyatakan dalam satuan mm/bulan. Presipitasi vertikal antara lain hujan, hujan gerimis, salju, hujan es batu dan *sleet* (campuran hujan dan salju). Sifat-sifat hujan yang penting sehubungan dengan proses terjadinya adalah jumlah dan intensitas hujan, lama hujan, serta pola distribusi hujan. Sifat-sifat tersebut mempengaruhi debit dan volume aliran permukaan. Untuk mempelajari keadaan suatu daerah tangkapan sehubungan dengan curah hujannya, data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan daerah yang ditentukan dari beberapa stasiun di daerah tersebut.

b. Evapotranspirasi

Peristiwa air atau es menjadi uap dan naik ke udara disebut penguapan. Penguapan terjadi pada permukaan air, permukaan tanah, padang rumput persawahan, hutan, dan lain-lain pada tiap keadaan suhu, sampai udara di atas permukaan menjadi jenuh dengan uap. Kecepatan dan jumlah penguapan tergantung dari suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan tekanan atmosfer (Mori, 2006). Ada dua istilah evapotranspirasi yang umum digunakan yaitu evapotranspirasi aktual dan potensial. Evapotranspirasi aktual adalah air yang dikeluarkan yang tergantung pada kelembaban udara, suhu, dan kelembaban relatif. Evapotranspirasi aktual merupakan nilai evapotranspirasi yang

sebenarnya terjadi pada suatu daerah. Sedangkan evapotranspirasi potensial adalah sejumlah air yang menguap di bawah kondisi optimal diantara persediaan air yang terbatas. Pendugaan besarnya evapotranspirasi dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain adalah metode Blaney Criddle 1950, metode Thornthwaite 1948, metode Penman 1948 dan metode Turc 1961. Menurut Doorenbos dan Pruitt (1977) dalam Hartini (2017), untuk data suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari, disarankan untuk menggunakan metode Penman. Apabila dibanding dengan metode yang lain, metode ini dianggap memberikan hasil yang memuaskan.

Proses perubahan bentuk dari air menjadi uap air terjadi baik pada evaporasi maupun evapotranspirasi. Penguapan dipengaruhi oleh kondisi klimatologi, yang meliputi radiasi matahari, temperatur udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin (Hartini, 2017). Untuk memperkirakan besarnya penguapan diperlukan data tersebut.

- Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan sumber utama panas. Hal tersebut mempengaruhi jumlah evapotranspirasi di atas permukaan bumi yang tergantung pada garis lintang dan musim. Radiasi matahari di suatu lokasi bervariasi sepanjang tahun, yang tergantung pada letak lokasi (garis lintang) dan deklinasi matahari. Pada bulan Desember kedudukan matahari berada jauh di selatan, sementara pada bulan Juni kedudukan matahari berada paling jauh di sebelah utara. Daerah yang berada di belahan bumi selatan menerima radiasi maksimum matahari pada bulan Desember, sedangkan radiasi terkecil terjadi pada bulan Juni.

Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi juga dipengaruhi oleh penutupan awan. Penutupan oleh awan dinyatakan dalam persentase dari lama penyinaran matahari nyata terhadap lama penyinaran matahari yang mungkin terjadi.

- Temperatur

Semakin tinggi temperatur, semakin besar kemampuan udara untuk menyerap uap air. Selain itu, semakin tinggi temperatur, energi kinetik molekul air meningkat, sehingga molekul air semakin banyak yang berpindah ke lapis udara di atasnya dalam bentuk uap air.

- Kelembaban

Perbedaan tekanan uap menyebabkan terjadinya penguapan. Apabila jumlah uap air yang masuk ke udara semakin banyak, tekanan uap airnya juga semakin tinggi. Akibatnya perbedaan tekanan uap semakin kecil, sehingga menyebabkan berkurangnya laju penguapan. Apabila udara di atas permukaan air sudah jenuh uap air, tekanan udara telah mencapai tekanan uap jenuh, di mana pada saat itu penguapan terhenti.

- Kecepatan angin

Apabila proses evaporasi terus berlangsung, udara akan menjadi jenuh terhadap uap air dan evaporasi akan terhenti. Agar proses penguapan dapat berjalan terus, lapisan udara yang telah jenuh harus diganti dengan udara kering. Penggantian tersebut dapat terjadi apabila ada angin. Di daerah terbuka dan banyak angin, penguapan akan lebih besar daripada di daerah yang terlindung dan udara diam.

c. Limpasan

Jika intensitas curah hujan maupun lelehan salju melebihi laju infiltrasi, kelebihan air mulai berakumulasi sebagai cadangan permukaan. Bila kapasitas cadangan permukaan dilampaui, limpasan permukaan mulai sebagai suatu aliran lapisan yang kecil. limpasan sebagai bagian presipitasi yang terdiri atas gerakan gravitasi air baik kontribusi-kontribusi permukaan dan bawah permukaan yang nampak pada saluran permukaan. limpasan (*run off*) adalah bagian dari presipitasi yang mengalir menuju saluran saluran, sungai, danau dan laut. Dalam hal ini, limpasan pada permukaan juga termasuk ke dalamnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan terdiri dari dua hal utama yaitu presipitasi dan daerah aliran sungai (DAS). Durasi, intensitas serta

sebaran curah hujan mempengaruhi laju dan volume limpasan. Faktor-faktor DAS yang mempengaruhi limpasan antara lain ukuran, bentuk, arah, topografi, geologi dan tutupan permukaan. Laju dan volume limpasan meningkat sebanding dengan peningkatan luas DAS. DAS yang sempit akan menyebabkan laju limpasan lebih rendah dibanding pada DAS yang padat dalam luasan yang sama. Tutupan vegetasi dapat memperlambat aliran permukaan dan meningkatkan daya tahan tanah terhadap air sehingga dapat mengurangi laju limpasan puncak.

Mori (2006) mengklasifikasikan limpasan ke dalam tiga bentuk yaitu limpasan permukaan, limpasan bawah permukaan dan limpasan air tanah. Limpasan permukaan adalah bagian limpasan yang melintas di atas permukaan tanah menuju saluran sungai. Limpasan bawah permukaan adalah bagian dari limpasan permukaan yang disebabkan oleh presipitasi yang berinfiltrasi ke tanah permukaan dan bergerak secara lateral melalui horison-horison tanah bagian atas menuju sungai. Limpasan air tanah adalah air tanah yang bergerak sedikit demi sedikit muncul ke permukaan pada daerah yang lebih rendah.

d. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air hujan ke dalam tanah. Air hujan yang masuk ke dalam tanah masuk melalui proses infiltrasi, kemudian masuk ke dalam *zone of aeration*, dan selanjutnya mengalir dalam arah lateral sebagai aliran antara (*interflow*) menuju sungai, serta mengalir secara vertikal dan dikenal dengan perkolasi (*percolation*) menuju air tanah atau bergerak ke permukaan sebagai evapotranspirasi.

Gerak air di dalam tanah melalui pori-pori tanah dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Gaya gravitasi menyebabkan aliran selalu menuju ke tempat yang lebih rendah. Gaya kapiler menyebabkan air bergerak ke segala arah. Gaya kapiler pada tanah kering lebih besar daripada tanah basah. Selain itu gaya kapiler bekerja lebih kuat pada tanah dengan lapisan lebih halus seperti lempung daripada tanah berbutir kasar seperti pasir.

Dalam infiltrasi dikenal dua istilah yaitu kapasitas infiltrasi dan laju infiltrasi, yang dinyatakan dalam mm/jam. Kapasitas infiltrasi adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah tertentu; sedang laju infiltrasi adalah kecepatan infiltrasi yang nilainya tergantung pada kondisi tanah dan intensitas hujan. Apabila tanah dalam kondisi kering ketika infiltrasi terjadi, kapasitas infiltrasi tinggi karena kedua gaya kapiler dan gravitasi bekerja bersamasama menarik air ke dalam tanah. Ketika tanah menjadi basah, gaya kapiler berkurang yang menyebabkan laju infiltrasi menurun. Akhirnya kapasitas infiltrasi mencapai suatu nilai konstan, yang dipengaruhi terutama oleh gravitasi dan laju perkolasi.

3.1.2 Simulasi Hujan-Debit dengan Model Mock

Model Mock (1973) merupakan model neraca air yang dapat menghitung debit bulanan dari data curah hujan, evapotranspirasi, kelembaban tanah dan tampungan air tanah. Model neraca air Mock memberikan metode perhitungan yang relatif sederhana untuk berbagai macam komponen berdasarkan riset DAS di seluruh Indonesia. Perbedaan curah hujan dengan evapotranspirasi mengakibatkan terbentuknya limpasan air hujan langsung (*direct run off*), aliran dasar/air tanah dan limpasan air hujan lebat (*storm run off*). Debit-debit ini dituliskan lewat persamaan dengan parameter DAS yang disederhanakan. Kesulitan utama dalam penggunaan model ini adalah memberikan harga yang benar untuk setiap parameter. Data dan asumsi yang diperlukan untuk perhitungan Model Mock (1973) adalah sebagai berikut:

3.1.2.1 Data pendukung simulasi Mock

Adapun data pendukung dalam penelitian ini ialah hubungan temperatur rata-rata dengan parameter evapotranspirasi A,B, dan e_a (Gambar 3.1), nilai radiasi matahari pada permukaan horizontal luar atmosfer (Gambar 3.2) dan *exposed surface* (Gambar 3.3)

Tabel 3.1 Hubungan Temperatur Rata-Rata dengan Parameter Evapotranspirasi A,B, dan e_a (Rinaldi, 2015)

Temperature (°C)	24	26	28	30
A (mm Hg/°F)	0,746	0,828	0,917	1,013
B (mm H ₂ O/hari)	15,800	16,200	16,700	17,1
e _a (mmHg)	22,400	25,200	28,300	31,8

Tabel 3.2 Nilai Radiasi Matahari pada Permukaan Horizontal Luar Atmosfir (Rinaldi, 2015)

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nop	Des	Tahun
5°LU	13,7	14,5	15	15	14,5	14,1	14,2	14,6	14,9	14,6	13,9	13,4	14,37
0°	14,5	15	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	15	14,6	14,3	14,43
5°LS	15,2	15,4	15,2	14,3	13,2	12,5	12,7	13,6	14,7	15,2	15,2	15,1	14,36
10°LS	15,8	15,7	15,1	13,8	12,4	11,6	11,9	13	14,4	15,3	15,7	15,8	14,21

Tabel 3.3 *Exposed Surface* (Rinaldi, 2015)

No	<i>Exposed surface</i> (m)	Daerah
1	0 %	Hutan primer, sekunder
2	10-40 %	Daerah tererosi
3	30-50 %	Daerah ladang pertanian

Tabel 3.4 Koefisien Refleksi, (Rinaldi, 2015)

No	Permukaan	Koefisien Refleksi [r]
1	Rata-rata permukaan bumi	40%
2	Cairan salju yang jatuh diakhir musim- masih segar	40 - 85%
3	Spesies tumbuhan padang pasir dengan daun berbulu	30 -40%
4	Rumput, tinggi dan kering	31-33%
5	Permukaan padang pasir	24-28%
6	Tumbuhan hijau yang membayangi seluruh tanah	24-27%
7	Tumbuhan muda yang membayangi sebagian tanah	15-24%
8	Hutan musiman	15-20%
9	Hutan yang menghasilkan buah	10-15%
10	Tanah gundul kering	12-16%
11	Tanah gundul lembab	10-12%
12	Tanah gundul basah	8-10%
13	Pasir, basah - kering	9-18%
14	Air bersih, elevasi matahari 45°	5%
15	Air bersih, elevasi matahari 20°	14%

3.1.2.2 Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan bulanan. Stasiun curah hujan yang dipakai adalah stasiun yang dianggap mewakili kondisi hujan di daerah tersebut.

3.1.2.3 Evapotranspirasi Potensial

Metode *Mock* (1973) menggunakan rumus empiris dari Penman untuk menghitung evapotranspirasi potensial. Menurut *Penman*, besarnya evapotranspirasi potensial diformulasikan sebagai berikut :

$$E = \frac{AH + 0,27D}{A + 0,27} \dots\dots\dots 3.2$$

dengan :

H = energi *budget*,

$$H = R (1-r) (0,18 + 0,55 S) - B (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}) (0,10 + 0,9 S),$$

D = Panas yang diperlukan untuk evapotranspirasi, dan

$$D = 0,35 (e_a - e_d) (k + 0,01w)$$

Keterangan :

A = *slope vapour pressure curve* pada temperatur rata-rata, dalam mmHg/ $^{\circ}F$

B = radiasi benda hitam pada temperatur rata-rata, dalam mm H_2O /hari

e_a = tekanan uap air jenuh pada temperatur rata-rata, dalam mmHg

Besarnya A, B, e_a tergantung pada temperatur rata-rata. Hubungan temperatur rata-rata dengan parameter evapotranspirasi ini diambil dari Tabel 3.1

R = radiasi matahari, dalam mm/hari. Besarnya diambil dari Tabel 3.2

r = koefisien refleksi.

S = rata-rata persentasi penyinaran matahari bulanan, dalam persen (%)

e_d = tekanan uap air sebenarnya, dalam mmHg.

$$= e_a \times h$$

h = kelembaban relatif rata-rata bulanan, dalam persen (%)

k = koefisien kekasaran permukaan evaporasi (*evaporating surface*).

Koefisien kekasaran evaporasi diambil 1,0

w = kecepatan angin rata-rata bulanan, dalam km/jam

dan jika :

$$E_1 = F_1 \times R(1-r) \dots\dots\dots 3.3$$

$$E_2 = F_2 \times (0,1 + 0,9S) \dots\dots\dots 3.4$$

$$E_3 = F_3 \times (k + 0,01w) \dots\dots\dots 3.5$$

Maka bentuk yang sederhana dari persamaan evapotranspirasi potensial adalah :

$$E_{pm} = E_1 - E_2 + E_3 \dots\dots\dots 3.6$$

3.1.2.4 Perhitungan Evapotranspirasi Aktual

Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang sebenarnya terjadi atau *actual evapotranspiration*, dihitung sebagai berikut :

$$E_{actual} = E_{pm} - \Delta E \dots\dots\dots 3.7$$

3.1.2.5 Perhitungan *Water Surplus*

Water Surplus didefinisikan sebagai curah hujan yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi *soil storage (SS)*. *Water Surplus* secara langsung berpengaruh pada infiltrasi / perkolasi dan total *run off* yang merupakan komponen dari debit. Gambar 3.3 menunjukkan contoh grafik *water surplus* yang terjadi di wilayah Cirebon. Persamaan *water surplus (WS)* ialah sebagai berikut:

$$WS = (P - E_a) + SS \dots\dots\dots 3.8$$

Dalam metoda Mock, tampungan kelembaban tanah dihitung sebagai berikut :

$$SMS = ISMS + (P - E_a) \dots\dots\dots 3.9$$

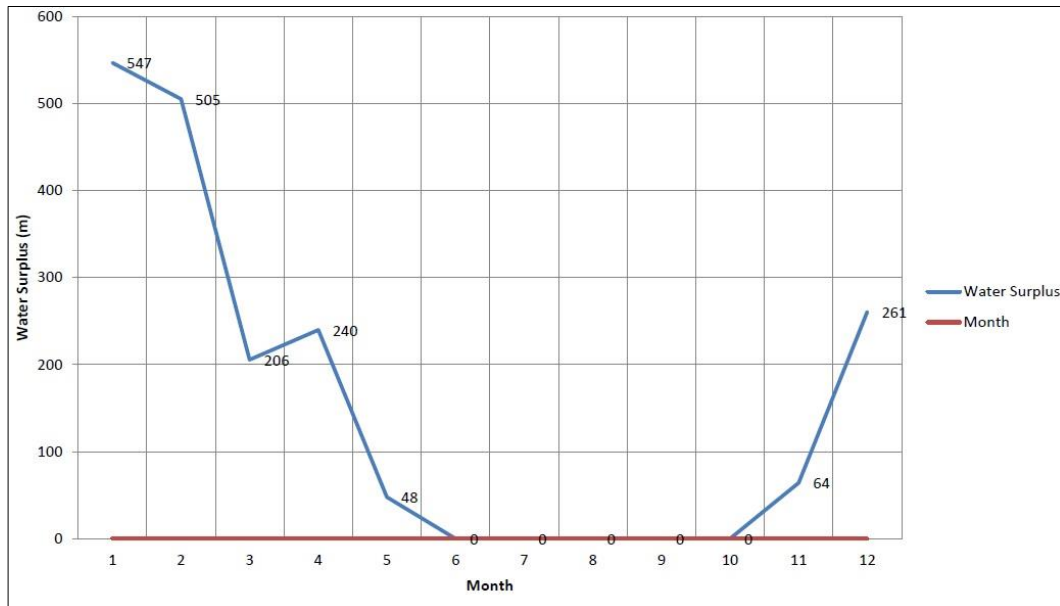
Keterangan :

ISMS = *Initial Soil Moisture Storage* (tampungan kelembaban tanah awal), merupakan *Soil Moisture Capacity (SMC)* bulan sebelumnya

$P - E_a$ = presipitasi yang telah mengalami evapotranspirasi

Ada dua keadaan untuk menentukan SMC, yaitu:

- a. $SMC = 200$ mm/bulan, jika $P - E_a \geq 0$
- b. $SMC = SMC$ bulan sebelumnya + $(P - E_a)$, jika $P - E_a < 0$



Gambar 3.3 *Water Surplus* (Rinaldi, 2015)

3.1.2.6 Perhitungan *Base Flow*, *Direct Off* dan *Storm Run Off*

Menurut Mock (1973), besarnya infiltrasi ialah *Water Surplus* (WS) dikalikan dengan koefisien infiltrasi (*i*), atau

$$\text{Infiltrasi } (i) = WS \times i \dots\dots\dots 3.10$$

Zona tampungan air tanah (*Groundwater Storage*, disingkat GS) dirumuskan sebagai berikut :

$$GS = \{0,5 \times (1 + K) \times i\} + \{K \times GS_{\text{Som}}\} \dots\dots\dots 3.11$$

Perubahan *Groundwater Storage* (ΔGS) adalah selisih antara *groundwater storage* bulan yang ditinjau dengan *groundwater storage* bulan sebelumnya. Perhitungan *Base flow* (BF) dihitung dalam bentuk persamaan :

$$BF = i - \Delta GS \dots\dots\dots 3.12$$

Direct run off (DRO) dihitung dengan persamaan :

$$DRO = WS - i \dots\dots\dots 3.13$$

Setelah *base flow* dan *direct run off*, komponen pembentuk debit yang lain ialah *storm run off* (SRO). Mock menetapkan bahwa:

- a. Jika presipitasi (*P*) > maksimum *soil moisture capacity* maka nilai *storm run off* = 0

- b. Jika $P <$ maksimum *soil moisture capacity* maka *storm run off* ialah jumlah curah hujan dalam satu bulan yang bersangkutan dikali *percentage factor*, atau:

$$SRO = P \times PF \dots\dots\dots 3.14$$

Total run off (TRO) merupakan komponen-komponen pembentuk debit sungai (*stream flow*) adalah jumlah antara *base flow*, *direct run off* dan *storm run off*, atau:

$$TRO = BF + DRO + SRO \dots\dots\dots 3.15$$

Jika *TRO* ini dikalikan dengan *catchment area* dalam km^2 dengan suatu angka konversi tertentu akan didapatkan besaran debit dalam $\text{m}^3 / \text{detik}$.

3.1.2.7 Luas Daerah Tangkapan Hujan

Catchment Area atau daerah tangkapan hujan (DTH) adalah suatu daerah tangkapan hujan dimana batas wilayah tangkapannya ditentukan dari titik-titik elevasi tertinggi sehingga akhirnya merupakan suatu poligon tertutup, yang mana polanya disesuaikan dengan kondisi topografi, dengan mengikuti arah aliran air (Gunawan, dkk 2015). Aliran air tersebut tidak hanya berupa air permukaan yang mengalir di dalam alur sungai, tetapi termasuk juga aliran di lereng-lereng bukit yang mengalir menuju alur sungai sehingga daerah tersebut dinamakan daerah aliran sungai. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasarkan air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

Daerah yang lebih tinggi merupakan daerah tangkapan (*recharge area*) dan daerah yang lebih rendah merupakan daerah buangan (*discharge area*), yang merupakan daerah pantai maupun lembah dengan suatu sistem aliran sungai. Secara lebih spesifik daerah tangkapan didefinisikan sebagai bagian dari suatu daerah aliran (*watershed/catchment area*) dimana aliran air tanah (yang *saturated*) menjauhi muka air tanah. Biasanya di daerah tangkapan, muka air tanahnya terletak pada suatu kedalaman tertentu. Semakin besar DTH kemungkinan akan semakin besar pula ketersediaan debitnya.

3.1.3 Korelasi Debit

Analisis korelasi yang menunjukkan kuatnya hubungan antara debit model dan debit lapangan. Menurut Asdak, 1995 besarnya korelasi (r) berkisar antara -1 sampai dengan 1. Nilai r sama dengan atau mendekati 0 menunjukkan bahwa hubungan antara variabel x dan variabel y sangat kecil atau tidak ada korelasi linier sama sekali. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung korelasi:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \dots \dots \dots 3.16$$

dengan :

- r = korelasi antara data x dan data y ,
- X = data X ke i - X rata-rata,
- Y = data Y ke i - Y rata-rata,

3.1.4 Uji T-Test

Selain menggunakan korelasi, perbandingan debit hasil simulasi juga menggunakan uji T-Test. T-Test adalah uji komparatif untuk menilai perbedaan antara data tertentu dengan data yang dijadikan standar (Sugiyono, 2005). Sampel berpasangan adalah sebuah sampel dengan subjek yang sama namun mengalami perlakuan yang berbeda. Menurut Snedecor dan Cochran 1989 pengujian Two-sample T-Test digunakan untuk menentukan apakah dua data populasi adalah sama.

Dalam uji T-Test terdapat dua hipotesa yaitu H_0 dan H_1 . Hipotesa H_0 adalah besaran debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock sedangkan H_1 adalah besaran debit pengukuran tidak sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock. Apabila nilai $T_{hitung} > T_{tabel}$ dan nilai $P\ value < \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak. Sedangkan apabila $T_{hitung} < T_{tabel}$ dan nilai $P\ value > \alpha$ (0,05) maka H_0 diterima. Jika H_0 diterima maka besaran debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan.

3.2 Morfometri Pit Lake

Danau merupakan suatu badan air yang tergenang dapat terbentuk secara alami maupun buatan. Morfometri *pit lake* penting diketahui untuk mengetahui ciri dan peran bentukan fisik dalam mempengaruhi sifat perairan *pit lake* secara keseluruhan, termasuk kualitas air, biota, dan sebagainya. Hakanson (2005)

mengatakan bahwa morfometri memegang peranan kunci atas variabel- variabel yang mengendap atau cara lain dalam proses biologis dan kimia danau.

Morfometri danau diukur berdasarkan struktur, seperti kedalaman dan elevasi. Dengan kata lain, morfometri danau merupakan bentuk badan air danau yang meliputi luas permukaan (A_0), volume (V), dan kedalaman rata-rata (Z). Topografi wilayah sekitar danau juga dapat mempengaruhi morfometri danau. Struktur dasar danau dapat disusun membentuk relief dasar perairan yang disebut batimetri (Indrayani dkk. 2015). Batimetri merupakan garis khayal yang menghubungkan titik-titik pada kedalaman yang sama. Soeprbowati (2012) menyebutkan bahwa peta batimetri menunjukkan relief dasar danau dengan garis-garis kontur kedalaman, sehingga memberikan informasi tambahan untuk navigasi permukaan. Batimetri diperlukan untuk memahami hidrodinamika suatu perairan (Indrayani dkk. 2015). Selain itu, data batimetri juga sangat penting untuk pengelolaan dan pemanfaatan suatu perairan secara berkelanjutan.

Salah satu aspek morfometri yang sangat penting dihitung adalah volume danau. Volume danau tidak dapat berdiri sendiri harus didukung informasi luas daerah tangkapan airnya dan curah hujan. Kepentingan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan atau potensi air *pit lake* yang dapat mencukupi kebutuhan air tertentu.

Dimensi Bawah Permukaan (*Subsurface Dimension*)

Pengukuran dimensi bawah permukaan mengacu kepada Hakanson (1981) dalam Muhtadi, dkk. 2017, sebagai berikut:

- a. Luas permukaan (A_0 dinyatakan dalam Ha, Km^2 atau m^2) merupakan luas wilayah permukaan danau, nilainya akan bervariasi tergantung pada musim. Pengukuran luas permukaan dari peta batimetri menghitung luas *polygon* dengan menggunakan program *Qgis*. Pengukuran menggunakan rumus luas persegi panjang:

$$A_0 = L_{max} \times W_{max} \dots\dots\dots 3.17$$

Keterangan:

A_0 = Luas permukaan danau (m^2)

L_{max} = Panjang maksimum (m)

W_{max} = Lebar maksimum (m)

- b. Kedalaman rata-rata (\bar{z} dinyatakan dalam meter), Volume dibagi dengan luas permukaan.

$$\bar{Z} = \frac{V}{A_0} \dots\dots\dots 3.18$$

Keterangan:

V = Volume (m^3)

A_0 = Luas Permukaan (m^2)

- c. Kedalaman maksimum (Z_m dinyatakan dalam meter) merupakan kedalaman suatu danau pada titik terdalam. Pengukuran secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan tali berskala dengan diberikan pemberat dibawahnya dan secara tidak langsung dapat dibaca pada kontur kedalaman peta batimetri.

- d. Kedalaman relatif (Z_r dinyatakan dalam %) adalah rasio antara Z_{max} dengan diameter rata-rata permukaan danau. Perhitungan kedalaman relatif dalam bentuk persamaan:

$$Z_r (\%) = 50 \cdot Z_{max} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}} \dots\dots\dots 3.19$$

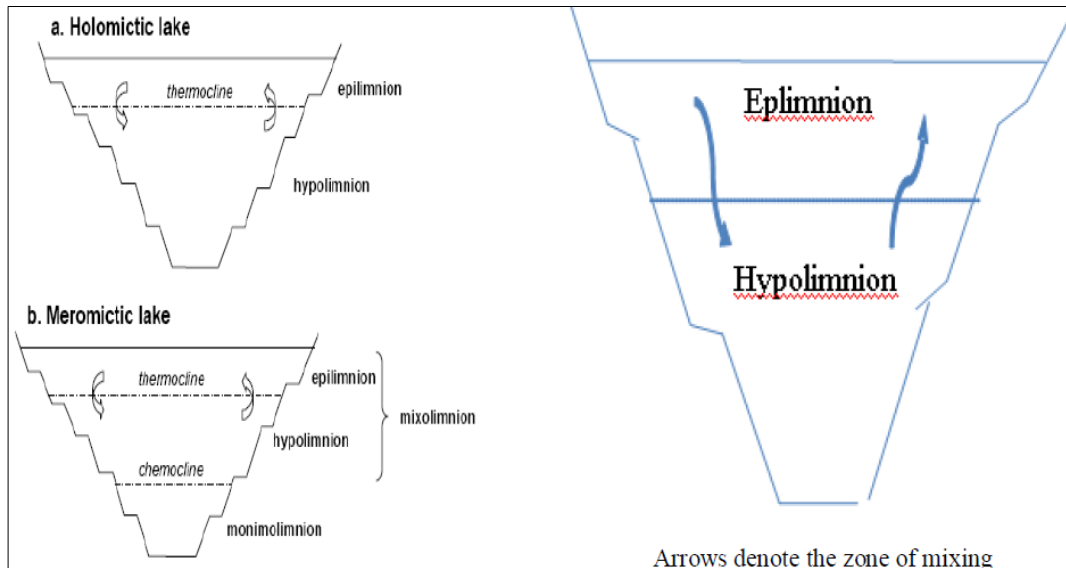
Keterangan:

A_0 = luas permukaan danau (m^2)

Z_{max} = kedalaman maksimum (m)

Menurut Wetzel (2001) sebagian besar danau memiliki nilai $Z_r < 2\%$, yang menunjukkan tingkat stabilitas yang rendah dan mudah mengalami pengadukan. Sedangkan danau-danau yang memiliki stabilitas tinggi umumnya memiliki nilai $Z_r > 4\%$, dan danau yang tidak mudah mengalami pengadukan.

Danau diklasifikasikan sebagai *holomictic lake* atau *meromictic lake*. Pada danau, pemisahan zona pencampuran (tergantung pada suhu, kepadatan dan kedalaman). Holomiktik yaitu air danau yang sepenuhnya tercampur sedangkan Meromiktik adalah air pada danau mencampur sebagian, lapisan paling dalam tidak pernah bercampur karena kerapatan air yang tinggi disebabkan oleh substansi terlarut atau karena dilindungi dari efek angin (Soni, dkk. 2014).



Gambar 3.4 Klasifikasi *Pit Lake* Berdasarkan Limnologi (Soni, dkk. 2014)

e. Perkembangan volume danau (VD tanpa satuan) merupakan ukuran yang menggambarkan bentuk dasar danau secara umum. Diperoleh melalui persamaan:

$$VD = \frac{A_0 \times \bar{z}}{\frac{1}{3}x (Z_{max} \times A_0)} \dots\dots\dots 3.20$$

Keterangan:

- A_0 = Luas permukaan air (m^2)
- Z = Kedalaman rata-rata (m)
- Z_{max} = Kedalaman maksimum (m)

Apabila $VD > 1$, maka dasar perairan relatif rata. Jika nilai $VD \leq 1$, maka dasar perairan berbentuk seperti kerucut

f. Volume total air danau (V dinyatakan dalam m^3) merupakan perkalian antara luas permukaan (m^2) dengan kedalaman (m), ditentukan oleh asumsi bahwa pada umumnya danau berbentuk kerucut dengan volume total danau merupakan penjumlahan dari setiap lapisan atau kontur.

$$V = \frac{L_1 + L_2}{2} \times t \dots\dots\dots 3.21$$

Keterangan :

- L_1, L_2 = Luas penampang endapan (m^2)
- t = Interval kontur (m)
- V = Volume (m^3)

- g. Waktu tinggal air (*Retention time*, R_t) dinyatakan dalam jam, merupakan waktu tinggal air di dalam danau. Waktu tinggal air dihitung menurut Effendi (2003):

$$R_t = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots 3.22$$

Keterangan :

R_t = Waktu tinggal air (jam)

V = Volume total (m^3)

Q = Debit air (m^3 /sekon)

- h. Faktor *Schindler* digunakan sebagai ukuran intensitas dampak daerah tangkapan air terhadap danau dan dinyatakan sebagai rasio daerah tangkapan ditambah permukaan dan volume danau.

$$\text{Faktor } Schindler = \frac{\text{Catchment area} + \text{Lake area}}{\text{Lake volume}} \dots\dots\dots 3.23$$

Faktor Schindler merupakan faktor untuk menilai kerentanan masuknya polutan pada suatu danau, yang merupakan parameter penentu rasio dari air danau yang terakumulasi dan *catchment area* dengan volume *pit lake* (Koc dkk, 1996). Indikator yang digunakan adalah ukuran dampak lingkungan di danau. Dengan peningkatan Schindler Faktor, pencemaran danau juga akan naik. Danau atau waduk dengan nilai rasio ≤ 2 merupakan danau yang tidak rentan terhadap degradasi karena masuknya polutan dari *catchment area* (Szozka dkk, 2007).

3.3 Pencemaran Air

Pencemaran air adalah kondisi air yang mengalami polusi sehingga terjadi penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal. Air tercemar biasanya mengandung bahan-bahan asing dalam jumlah yang melebihi batas tertentu. Air yang tercemar tersebut akhirnya tidak dapat digunakan untuk keperluan makhluk hidup secara optimal. Sifat-sifat air yang biasanya diuji untuk menentukan tingkat pencemaran air adalah:

- a. Nilai pH, Keasaman, dan Alkalinitas
- b. Temperatur
- c. Jumlah Padatan
- d. Nilai BOD (*Biochemical oxygen demand*)
- e. Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*)

- f. Nilai DO (*Dissolved oxygen*)
- g. Kandungan Logam Berat

Identifikasi dari sifat-sifat air tersebut memiliki kesensitifan yang berbeda-beda pada setiap jenis pencemaran sehingga penggunaannya didasarkan pada jenis sumber pencemar yang pada penelitian ini yang didekati dengan penggunaan lahan sebagai potensi pencemaran.

3.3.1 Metode Storet

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014, baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan.

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan batubara. Air limbah usaha dan atau kegiatan pertambangan batubara adalah air yang berasal dari kegiatan penambangan batubara dan air buangan yang berasal dari kegiatan pengolahan/pencucian batubara. Penentuan dari suatu baku mutu air dapat dilakukan dengan menggunakan metode Storet atau metode Indeks Pencemaran. Metode Storet adalah salah satu metode untuk menentukan status mutu air yang umum digunakan. Metode Storet dapat mengetahui parameter-parameter yang telah memenuhi ataupun melampaui baku mutu air. Secara prinsip metode Storet adalah membandingkan data kualitas air dan baku mutu air yang disesuaikan dengan peruntukannya guna menentukan status dari mutu air tersebut.

Cara penentuan status mutu air dengan menggunakan Metode Storet dilakukan dengan langkah-langkah di bawah ini:

- 1) Lakukan pengambilan data kualitas air
- 2) Bandingkan data hasil pengukuran dari masing-masing parameter air dengan nilai baku mutu yang sesuai dengan kelas air
- 3) Jika hasil pengukuran memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran \leq baku mutu), maka diberi bobot 0

- 4) Jika hasil pengukuran tidak memenuhi baku mutu air (hasil pengukuran > baku mutu), maka diberikan nilai bobot sesuai dengan tabel (Tabel 3.5)
- 5) Jumlah negatif dari seluruh parameter dihitung dan ditentukan status mutunya dari jumlah skor yang diperoleh dengan menggunakan sistem nilai. Setelah perhitungan status mutu air menggunakan Metode Storet, maka langkah selanjutnya adalah menentukan kelas air dengan menggunakan sistem nilai dari US-EPA (*Environmental Protection Agency*) yang menggolongkan mutu air kedalam empat (4) kelas, yaitu:
 - a) Kelas A: Baik sekali, dengan bobot =0 memenuhi baku mutu
 - b) Kelas B: Baik, dengan bobot = -1 s/d -10 cemar ringan
 - c) Kelas C: Sedang, dengan bobot = -11 s/d -30 cemar sedang
 - d) Kelas D: Buruk, dengan bobot > -31 cemar berat

Tabel 3.5 Penentuan Sistem Nilai Untuk Menentukan Status Mutu Air (KEPMEN LH No. 115, 2003)

Jumlah Contoh	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
<10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rerata	-3	-6	-9
≥10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rerata	-4	-12	-18

3.3.2 Faktor Kontaminasi (*CF*) dan Indeks Beban Pencemaran (*PLI*)

CF adalah rasio antara konsentrasi hasil sampel dengan nilai baku mutu yang sudah ditetapkan (Hakanson, 1980). *CF* dihitung dari persamaan 3.24.

$$CF = \frac{Chm}{Cbg} \dots\dots\dots 3.24$$

Keterangan:

Chm = Hasil konsentrasi pengukuran sampel,

Cbg = Nilai baku mutu

Hasil $CF < 1$ menunjukkan kontaminasi rendah, kontaminasi sedang untuk $CF < 3$, kontaminasi yang cukup untuk $3 < CF < 6$ dan sangat tinggi kontaminasi untuk $CF > 6$. Indeks Beban pencemaran (*PLI*) selanjutnya dihitung dari *CF*. *PLI*

menunjukkan secara umum keadaan toksisitas sampel untuk unsur-unsur yang dipertimbangkan (Tomlinson dkk., 1980).

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \dots\dots\dots 3.25$$

$PLI > 1$ menunjukkan tercemar dan $PLI < 1$ berarti tidak tercemar.

3.4 Penelitian Sejenis

Berikut penelitian sejenis yang digunakan pada penelitian ini, tercantum dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Daftar Penelitian Sejenis

Nama peneliti	Judul	Tahun	Review
Adnyano, AI	Penentuan Nilai Mutu Air Permukaan Pada Lahan Pasca Tambang Rakyat Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah.	2016	Upaya pengelolaan air limbah pascatambang adalah dengan melakukan pemantauan baku mutu air.
Azwir	Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar	2006	Air danau dikatakan baik apabila air tersebut dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya
Barroso, GF., M. A. Goncalves, dan F. C. Garcia	<i>The Morphometry of Lake Palmas, a Deep Natural Lake in Brazil</i>	2014	Kedalaman danau memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas air. Hal ini masih terkait dengan pengadukan di danau
Bhattacharya, J. Islam, M., dan Cheong, Y.W	<i>Microbial growth and action: implications for passive bioremediation of acid mine drainage</i>	2006	Akumulasi air limbah dari aktivitas penambangan dan rehabilitasi lahan pascatambang akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur batuan yang diikuti dengan perubahan kualitas fisika dan kimia tanah serta air di sekitarnya
Bwapwa, JK, AT Jaiyeola, dan R Chetty	<i>Bioremediation of Acid mine drainage using algae strains</i>	2017	Pelarutan batuan dan proses oksidasi dari material sisa penambangan yang akan menghasilkan air asam tambang yang mengandung bahan-bahan yang tidak diinginkan dan berbahaya bagi lingkungan
Castendyk, D.N., dan Eary, T	<i>The Nature and Global Distribution of Pit Lakes. In, Mine Pit Lakes: Characteristics, Predictive Modeling, and Sustainability</i>	2009	Model konseptual akan membutuhkan pemahaman luas tentang proses hidrologi, limnologi dan geokimia yang dominan terjadi di dalam danau

Castro, J. M., dan J. N. Moore	<i>Pit lakes: their characteristics and the potential for their remediation</i>	2000	Volume <i>pit lake</i> dan potensial dalam pengelolaan air menjadikannya fokus utama perencanaan pascatambang. Mengingat implikasi untuk perlindungan lingkungan, kepatuhan terhadap peraturan, dan potensi tanggung jawab lingkungan jangka panjang dari <i>pit lake</i> tersebut.
Doupé, R.G., dan Lymbery, A.J	<i>Environmental risks associated with beneficial end uses of mine lakes in southwestern Australia,</i>	2005	Potensi penggunaan air <i>pit lake</i> tetap sangat tergantung pada kuantitas dan kualitas air <i>pit lake</i>
Gammons, CH., T. dan Duaiame	<i>Long Term Changes in the Limnology and Geochemistry of the Berkeley Pit Lake</i>	2006	Pit lake adalah fitur pascatambang umum di lokasi tambang di mana lubang terbuka diisi dengan air tanah dan air limpasan. Karena oksidasi mineral sulfida yang terpapar pada dinding lubang, dan pembilasan logam yang larut selama pengisian lubang, banyak danau lubang ditandai oleh kualitas air yang buruk.
Geller W, Schultze M, Kleinmann RLP, dan Wolkersdorfer C	<i>Acidic Pit Lakes - Legacies of surface mining on coal and metal ores.</i>	2013	Penguapan adalah satu-satunya rute di mana air meninggalkan <i>pit lake</i> , jadi bisa diharapkan (dan mudah diprediksi dengan model keseimbangan massa) bahwa konsentrasi zat terlarut akan meningkat seiring waktu
Iriadenta, E	Kajian strategi pengelolaan dan revitalisasi pemanfaatan sumberdaya perairan <i>pit lake</i> reklamasi tambang/eks penambangan batubara PD. Baramarta Kabupaten Banjar Berbasis Pemberdayaan Masyarakat	2016	Potensi masalah dari akhir penambangan adalah risiko terbentuknya sisa lubang galian yang tidak dapat tereklamasi seperti kondisi rona awal akibat defisit overburden
Labu, K. dan Sylwia Lutyńska	<i>Kinetic models of AMD in the area of post-mining lakes in the eastern part of Muskau Arch</i>	2017	Mineral pirit dan kalsit memiliki dampak utama pada komposisi kimia perairan danau pasca penambangan
Maidie, A., Udayana D., Isriansyah., Almady IF., Susanto A., Sukarti K., Sulistiawaty, Manege I., dan Tular E	Pemanfaatan Kolam Pengendap Tambang Batubara untuk Budidaya Ikan Lokal dalam Keramba	2010	Danau buatan merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat vital, terkait dengan ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk hidup di sekelilingnya

Martin, A. J., J. Crusius, J. J. McNee, P. Whittle, R. Pieters, T. F. Pedersen, dan D. Dunbar	<i>Field-Scale Assessment of Bioremediation Strategies for two Pit Lakes using Limnocorrals.</i>	2003	Bioremediasi dalam danau menawarkan cara yang berpotensi efektif untuk mengurangi keasaman dan mengurangi konsentrasi logam di perairan dasar danau.
McCullough, CD., dan Mark A.Lund	<i>Opportunities for sustainable mining pit lakes in Australia, Mine Water and the Environment</i>	2006	Permintaan akan sumber daya air oleh industri dan peningkatan populasi, pit lake mungkin memiliki potensi pemanfaatan yang signifikan untuk industri dan lingkungan sekitarnya.
McCullough, CD., dan Mark A. Lund	<i>Mine Pit lakes Management Strategy (IV): Conceptual Models of Collie Basin Pit Lakes</i>	2010	Pit lake terbentuk dari lubang penambangan terbuka. Air tanah, air permukaan dan curah hujan berkontribusi pada pembentukan <i>pit lake</i> .
McCullough CD, Marchand G, dan Unsel J	<i>Mine closure of pit lakes as terminal sinks: best available practice when options are limited?</i>	2013	Saat iklim kering, penguapan dari permukaan danau pit dapat melebihi inflows pit (yaitu air limpasan, curah hujan dan aliran air tanah).
McCullough CD, dan Schultze M	<i>Riverine flow-through of mine pit lakes: improving both mine pit lake and river water quality values?</i>	2015	Di daerah beriklim basah, <i>pit lake</i> akan memiliki keseimbangan air yang positif dan kemungkinan akan meluap ke permukaan air
Miller, D.J., Semmens, K.J., Viadero Jr., R.C., dan Tierney, A.E	<i>The resource potential of mining discharge water for aquaculture</i>	2004	Air asam tambang yang dibuang begitu saja ke lingkungan, maka akan berpotensi menyebabkan terjadinya pencemaran yang mengganggu keseimbangan proses-proses <i>self recovery</i> yang ada di dalam danau
Muhtadi, A., Yunasfi., M. Ma'rufi., dan A. Rizki	Morfometri dan Daya Tampung Beban Pencemaran Danau Pondok Lapan di Kabupaten Langkat, Sumatra Utara	2017	Nilai kedalaman rata-rata dan kedalaman maksimum yang rendah mengindikasikan bahwa suatu danau memiliki tingkat stabilitas stratifikasi yang rendah, sehingga mudah mengalami pengadukan
Niccoli W.L	<i>Hydrologic characteristics and classifications of pit lakes. In, Mine Pit Lakes: Characteristics, Predictive Modeling, and Sustainability Chap. 4</i>	2009	Hidrogeologi pada pit lake sangat dipengaruhi oleh iklim regional
Soni, AK., Mishra., dan Singh	<i>Pit lakes as an end use of mining: A review</i>	2014	Aspek penting dari pit lake antara lain hidrologi, limnologi, kualitas air (geo-kimia), laju pengisian, dan biologi.

Santoso, AD	Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara	2018	Air limbah dalam danau buatan mengalami pelarutan batuan dan proses oksidasi dari material sisa penambangan sehingga berpotensi menghasilkan air asam tambang yang mengandung bahan-bahan yang tidak diinginkan dan berbahaya bagi lingkungan.
Pagoray H., dan Ghitarina	<i>Characteristics of Water Quality of Coal Post-Mining Pool Which Used for Fish Cultivation</i>	2016	Suhu perairan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur metabolisme serta penyebaran organisme, dan mempengaruhi sifat fisik kimia perairan

BAB IV

HASIL PENELITIAN

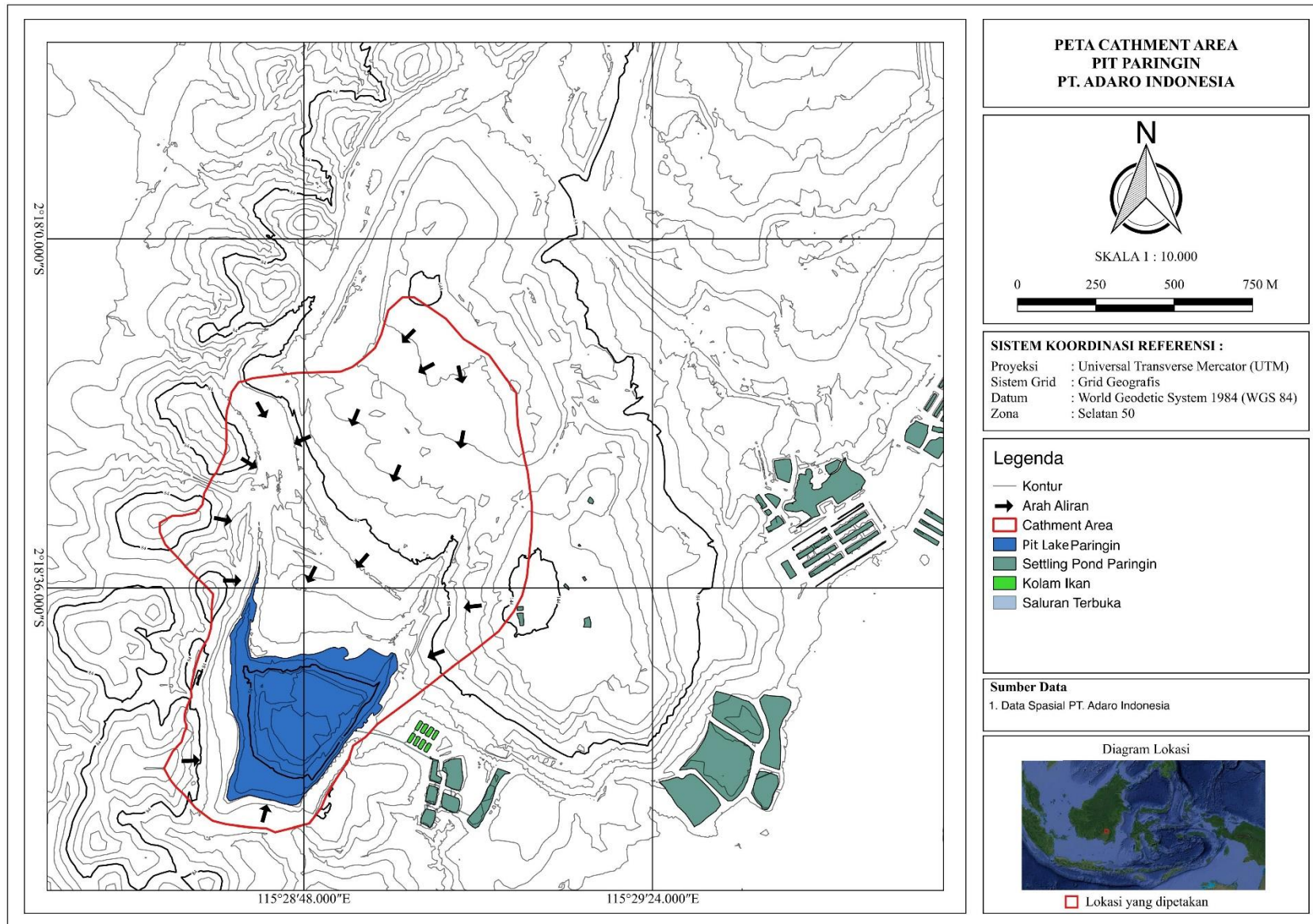
4.1 Kuantitas *Pit lake* Paringin

PT Adaro Indonesia melakukan penambangan batubara dengan sistem tambang terbuka sehingga dalam prosesnya akan terbentuk danau bekas tambang (*pit lake*). Pada *pit* Paringin terdapat sisa lubang bekas tambang yang telah terisi oleh air. *Pit lake* tersebut akan dimanfaatkan oleh PT Adaro Indonesia sebagai kawasan percontohan model pascatambang. Diperlukan analisis mendalam tentang keberadaan *pit lake* tersebut diantaranya dari segi kuantitas air, morfometri dan kualitas air *pit lake* tersebut. *Pit lake* Paringin memiliki luasan sebesar 19,5 Ha dengan luas *catchment area* sebesar 128,58 Ha (Gambar 4.1)

Perhitungan air yang masuk di *pit lake* Paringin pada penelitian ini menggunakan simulasi model Mock. Data yang diperlukan dalam simulasi model Mock adalah curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, dan besaran radiasi matahari yang disajikan dalam Tabel 4.1. Data klimatologi tersebut didapat dari stasiun pengamatan iklim yang berada di *pit* Paringin.

Tabel 4.1 Klimatologi *Pit* Paringin

Parameter	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Presipitasi	264,1	255,2	332,2	264,6	169,5	151,3	130,6	110,1	105,5	145,8	266,1	299,0
n (day)	21	19	23	20	17	14	14	11	10	14	21	25
Wind (mile/day)	137,9	140,0	143,5	120,2	119,4	115,5	102,4	123,8	110,3	69,0	67,4	101,5
Sunshine(%)	89,5	93,2	90,3	90,7	94,2	95,3	94,9	96,3	91,3	88,0	74,6	90,0
Temperatur (°C)	26,4	26,5	26,5	26,6	27,1	26,8	26,7	26,9	27,3	27,2	26,7	26,2
Rel. Humidity (%)	84,5	82,2	83,3	84,1	84,0	84,2	84,4	82,6	77,0	78,5	84,1	85,8
Radiasi Matahari (mm/d)	4,63	4,75	4,84	4,82	4,37	4,11	4,21	4,26	4,76	4,60	4,70	4,60

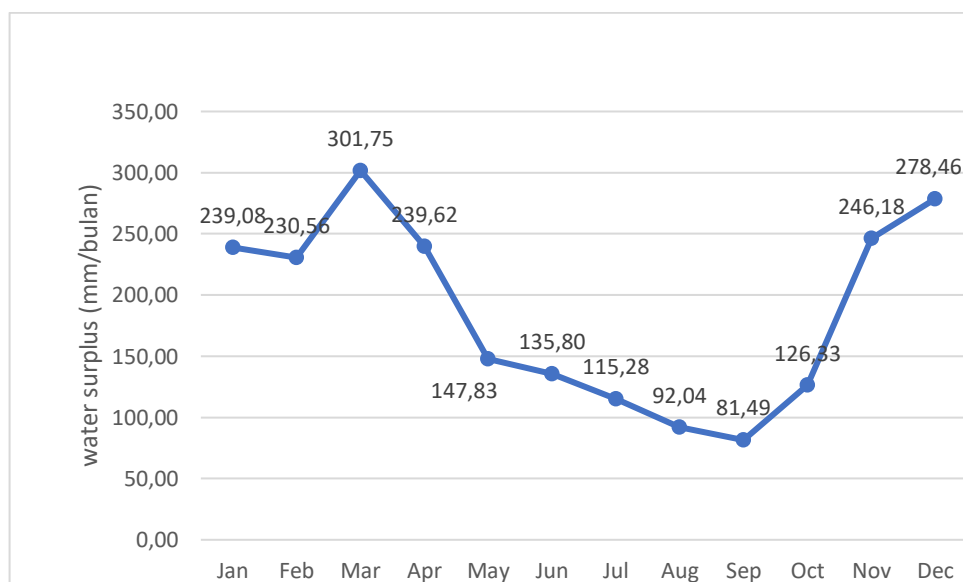


Gambar 4.1 Peta *Cathment Area* Pit Paringin

Gambaran kondisi iklim diperoleh dari Stasiun Klimatologi *pit* Paringin yang berada di daerah penelitian. Suhu udara bulanan yaitu berkisar 26,2 °C sampai 27,3 °C dengan suhu terendah terjadi pada bulan Desember dan suhu tertinggi pada bulan September. Penyinaran matahari antara 74,6 % sampai 96,3%. Penyinaran matahari terendah pada bulan November dan tertinggi pada bulan Agustus dengan rata-rata penyinaran 90,6%. Kelembaban udara yang tercatat di Pit Paringin berdasarkan stasiun pengamatan berkisar antara 77 % sampai 85,8 %. Kelembaban udara terendah pada bulan September dan tertinggi pada bulan Desember dengan rata-rata kelembaban udara 82,8 %, sedangkan kecepatan angin terendah terjadi pada bulan November yaitu sebesar 67,4 mile/day dan kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 143,5 mile/day. Dengan rata-rata kecepatan angin pada tahun penelitian yaitu sebesar 112,5 mile/day. Data tersebut merupakan komponen penting dalam perhitungan evapotranspirasi

4.1.1 Simulasi Model Mock

Model Mock merupakan model neraca air yang dapat menghitung debit bulanan dari data curah hujan, evapotranspirasi, kelembaban tanah dan tampungan air tanah. Perhitungan model Mock terdapat pada Lampiran B. Dari hasil simulasi model Mock didapat besaran *water surplus* tertinggi terjadi pada Bulan Maret sebesar 301,75 mm/bulan sedangkan terendah terjadi pada bulan September yaitu sebesar 81,49 mm/bulan (Gambar 4.2).



Gambar 4.2 *Water Surplus Pit Lake Paringin*

4.1.2 Korelasi Debit

Korelasi adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mencari hubungan dan membuktikan hipotesis hubungan dua data apabila sumber data sama. Data debit pengukuran dan data debit hasil simulasi model Mock dilakukan uji korelasi dengan menggunakan *microsoft excel* untuk mendapatkan R^2 .

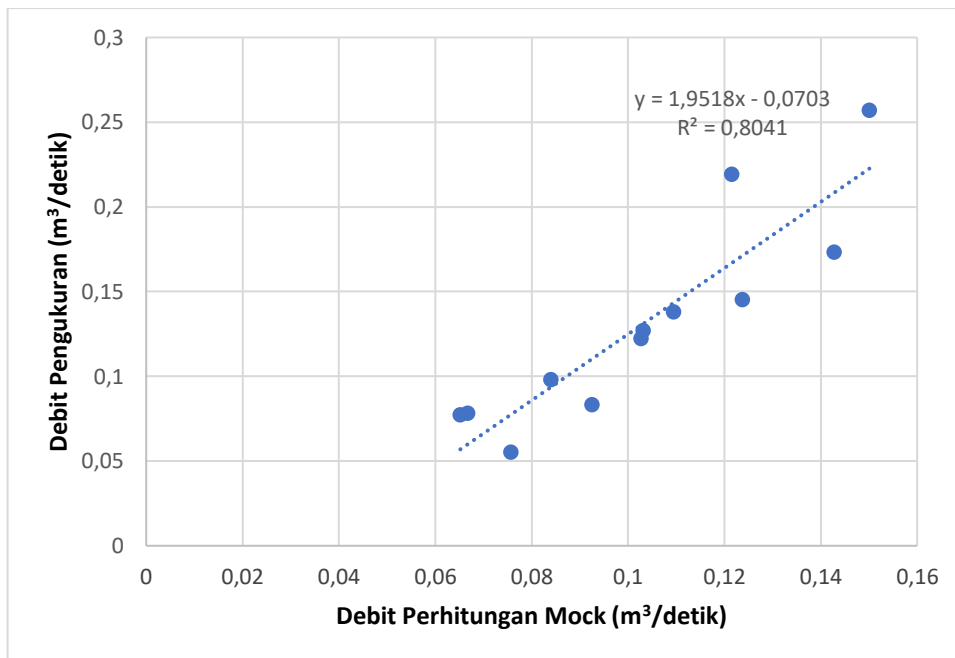
Pengukuran debit aktual dilakukan pada *pit lake* Paringin setiap bulan minimal satu kali sehingga dalam satu tahun dilakukan minimal 12 kali dengan muka air yang berbeda dari muka air terendah sampai muka air tertinggi, sehingga semua muka air dapat terwakili. Pengukuran debit dilakukan pada titik yang dianggap mewakili *pit lake* Paringin dengan menggunakan perahu karet (Gambar 4.3). Prinsip pelaksanaan pengukuran debit *pit lake* adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka *pit lake*. Tabel 4.2 hasil data debit pengukuran dan data debit simulasi model Mock, sedangkan Gambar 4.4 menunjukkan hasil korelasi (R^2) debit di *pit lake* Paringin yaitu sebesar 0,8041.



Gambar 4.3 Pengukuran Debit *Pit Lake Paringin*

Tabel 4.2 Hasil Debit Pengukuran dan Debit Perhitungan

Bulan	Debit Pengukuran (m ³ /det)	Debit Perhitungan (m ³ /det)
Januari	0,127	0,103
Februari	0,173	0,143
Maret	0,257	0,150
April	0,145	0,124
Mei	0,138	0,109
Juni	0,122	0,103
Juli	0,055	0,076
Agustus	0,078	0,067
September	0,077	0,065
Oktober	0,098	0,084
November	0,083	0,093
Desember	0,219	0,122



Gambar 4.4 Hasil Korelasi Debit *Pit Lake Paringin*

4.1.3 Uji T-Test

Dalam ilmu statistik terdapat tiga macam uji statistik t (*T-Test*), yaitu:

- a. *T-Test: Paired Two Sample for Means*, yaitu T-Test yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata (mean) 2 Variabel dari sampel yang sama.

- b. *T-Test: Two-sample Assuming Equal Variances*, yaitu T-Test yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata (mean) 2 variabel dari sampel yang berbeda dengan mengasumsikan kedua sampel tersebut memiliki variance yang sama.
- c. *T-Test: Two-sample Assuming Unequal Variances*, yaitu T-Test yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata (mean) 2 variabel dari sampel yang berbeda dengan mengasumsikan kedua sampel tersebut memiliki variance yang tidak sama

Penentuan uji *T-Test* yang sesuai dengan data debit digunakan asumsi :

1. *Equal variance* : $F_{Hitung} < F_{Tabel}$
2. *Unequal variance* : $F_{Hitung} > F_{Tabel}$

Tabel 4.3 Varians Debit *Pit Lake*

Bulan	Debit Pengukuran (m ³ /det)	Debit Perhitungan (m ³ /det)
Januari	0,127	0,103
Februari	0,173	0,143
Maret	0,257	0,150
April	0,145	0,124
Mei	0,138	0,109
Juni	0,122	0,103
Juli	0,055	0,076
Agustus	0,078	0,067
September	0,077	0,065
Oktober	0,098	0,084
November	0,083	0,093
Desember	0,219	0,122
VARIANS	0,00369	0,00078
F-HITUNG		4,74
F-TABEL ($\alpha, df1, df2$)		2,82
KETERANGAN		Unequal variance

Pengujian T-test dalam perhitungan debit menggunakan *microsoft excel*. Asumsi dalam pengujian yaitu :

- a. H_0 = Debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock
- b. H_1 = Debit pengukuran tidak sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock

Significance level pada pengujian ini ialah :

$\alpha = 5\%$ atau 0,05

Kriteria penerimaan Uji Hipotesis :

Terima H_0 jika $T_{hitung} \leq T_{tabel}$ atau $P\ value > \alpha$ (α)

Tolak H_0 Jika $T_{hitung} > T_{tabel}$ atau $P\ value \leq \alpha$ (α)

Hasil dari perhitungan Tabel 4.3 di dapat Uji *T-Test* dengan menggunakan *T-Test : Two-sample Assuming Unequal Variances*. Tabel 4.4 menunjukkan hasil dari pengujian *T-Test*:

Tabel 4.4 Hasil Uji T-Test Debit

	Debit Pengukuran (m ³ /det)	Debit Perhitungan (m ³ /det)
Mean	0,131	0,103
Variance	0,004	0,001
Observations	12	12
Hypothesized Mean Difference	0	
df	15	
t Stat	1,443	
P(T<=t) one-tail	0,085	
t Critical one-tail	1,753	
P(T<=t) two-tail	0,170	
t Critical two-tail	2,131	

Dari hasil analisis statistik uji hipotesis *T-Test* di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- T_{hitung} (1,443) < T_{tabel} (2,131) berarti H_0 diterima (Tolak H_1)
- $P\ value$ (0,085) > α (0,05) berarti H_0 diterima (Tolak H_1)

Hipotesa H_0 diterima yang berarti debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock

4.1.4 Volume Air pada *Pit Lake*

Metode yang digunakan untuk menghitung volume air pada *pit lake* adalah metode *contour*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus *mean area*, sesuai persamaan 3.21. Gambar 4.5 menunjukkan hasil perhitungan volume (Lampiran G).

Tabel 4.5 Volume *Pit Lake* Paringin

No	Elevasi	Luas (m ²)	Jarak (m)	Volume	Volume <i>Pit Lake</i> (m ³)
1	64	195.553	5	852.922	2.751.039
	59	145.616			
2	54	103.798	5	623.535	
	49	87.180			
3	44	70.487	5	394.168	
	39	31.637			
4	34	16.253	5	119.725	
	31	2.370			
5			5	255.310	
6			5	27.935	

4.1.5 Water Balance

Perkiraan secara kuantitatif dari siklus hidrologi dapat dinyatakan berdasar prinsip konservasi massa yang dikenal dengan persamaan neraca air. Neraca air atau *water balance* menggambarkan hubungan antara *inflow* (aliran masuk) dengan *outflow* (aliran keluar) pada suatu wilayah selama periode tertentu. Dalam perhitungannya, neraca air dapat menggambarkan curah hujan yang tertampung dalam daerah *recharge*, penguapan kembali sebagai evapotranspirasi, air yang mengalir di permukaan sebagai *surface direct run off* maupun infiltrasi air tanah.

Hasil data perhitungan debit simulasi model Mock yaitu besaran presipitasi, evaporasi, evapotranspirasi, infiltrasi, *surface inflow* dan berupa data lapangan yaitu *groundwater inflow* serta *surface outflow* tertuang dalam Lampiran F.1. Besaran volume air masuk dan keluar pada *pit lake* Paringin tercantum pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Volume *inflow* dan *outflow* Pit Lake Paringin Tanpa Memperhitungkan *Surface outflow*

Bulan	Volume air masuk (m ³ /bulan)	Volume air keluar (m ³ /bulan)	Selisih volume (m ³ /bulan)
Januari	238.905	182.017	56.888
Februari	284.519	182.565	101.954
Maret	363.335	224.347	138.988
April	265.712	179.298	86.413
Mei	194.100	129.259	64.841
Juni	153.926	114.590	39.336
Juli	117.206	100.271	16.935
Agustus	93.550	99.813	-6.263
September	76.984	107.998	-31.014
Oktober	130.243	109.618	20.626
November	220.012	164.605	55.408
Desember	320.991	186.869	134.122

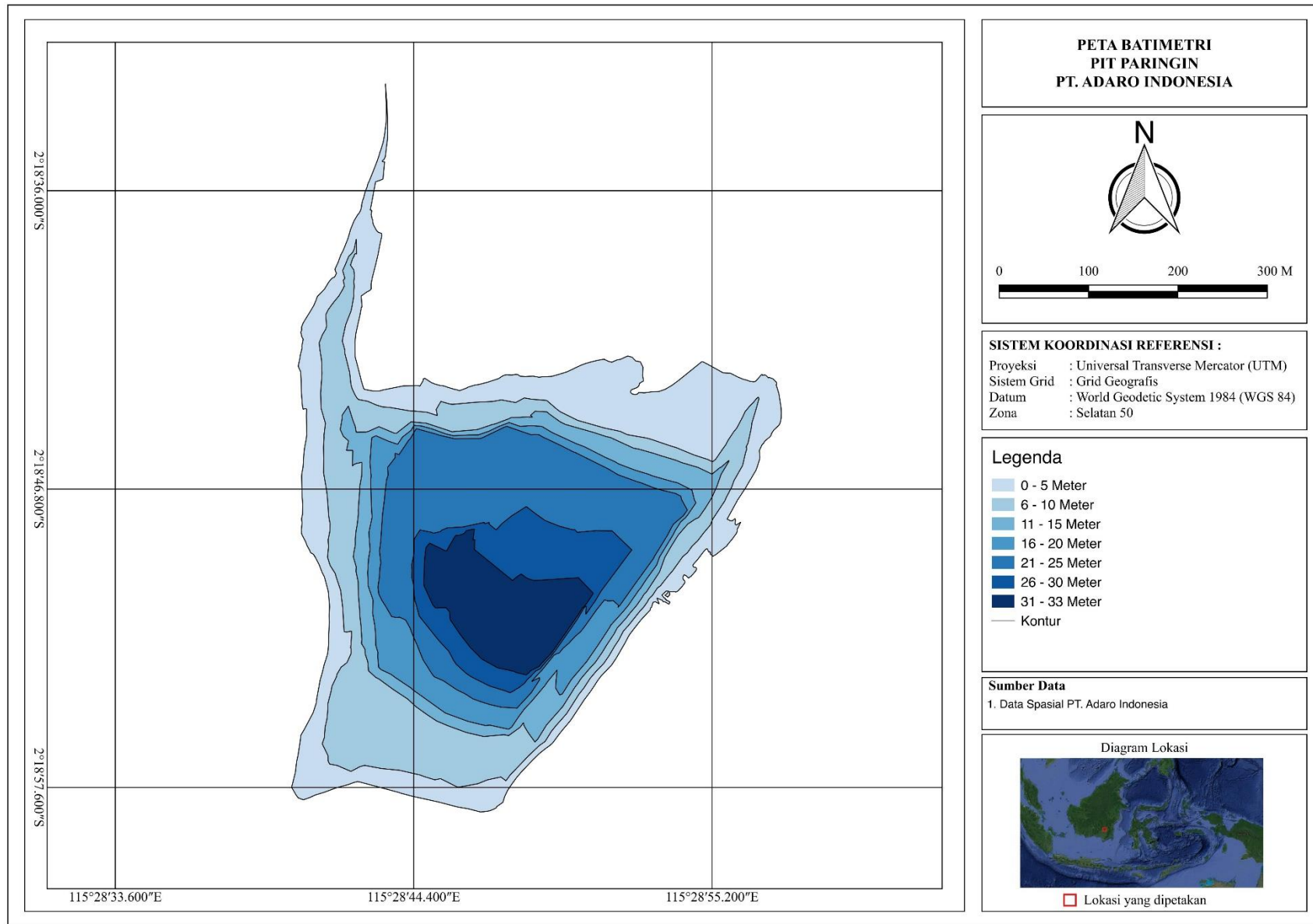
4.2 Morfometri *Pit Lake* Paringin

Hasil pengukuran parameter morfometri *pit lake* terdiri dari dimensi permukaan dan dimensi bawah permukaan yang diturunkan dari peta batimetri. Peta batimetri diperlihatkan dalam Gambar 4.5. Pengolahan hasil peta batimetri berdasarkan peta topografi (kontur) yang di dapat dari lapangan. Data kontur tersebut berdasarkan *pit limit* penambangan batubara pada pit Paringin. Pembuatan peta batimetri menggunakan perangkat *Qgis*.

Pengukuran luas permukaan dari peta batimetri menghitung luas polygon dengan menggunakan program *Qgis*. Hasil pengukuran luas permukaan (A_0) didapatkan *pit lake* Paringin memiliki luas 195.552,8 m² dengan kedalaman maksimal 33 m. berikut perhitungan morfometri *pit lake* Paringin.

a. Kedalaman rata-rata

Kedalaman rata-rata (Z dinyatakan dalam meter), Volume dibagi dengan luas permukaan. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 3.18 didapat hasil kedalaman rata-rata *pit lake* Paringin sebesar 14 meter.



Gambar 4.5 Peta Batimetri

b. Kedalaman relatif

Kedalaman relatif (Z_r dinyatakan dalam %) adalah rasio antara Z_{\max} dengan diameter rata-rata permukaan *pit lake*. Perhitungan kedalaman relatif dalam bentuk persamaan 3.19. Hasil kedalaman relatif sebesar 6,6 %.

c. Perkembangan volume *pit lake*

Perkembangan volume *pit lake* (VD tanpa satuan) merupakan ukuran yang menggambarkan bentuk dasar *pit lake* secara umum. Diperoleh melalui persamaan 3.20. Perkembangan volume *pit lake* Paringin sebesar 1,25.

d. Waktu tinggal air

Waktu tinggal air (R_t) merupakan waktu tinggal air di dalam *pit lake*. Waktu tinggal air *pit lake* Paringin selama 303 Hari.

e. Faktor Schindler

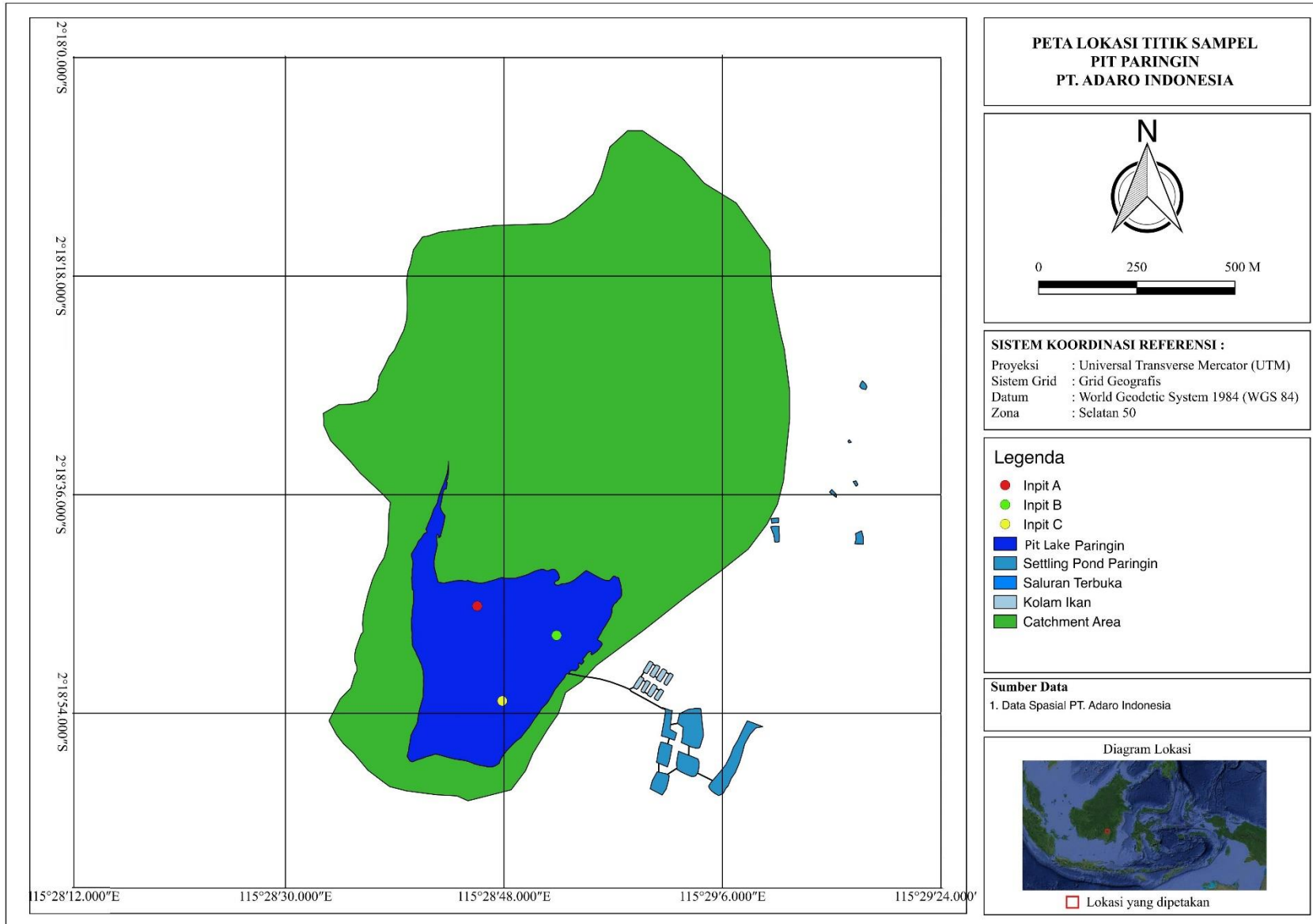
Faktor Schindler digunakan sebagai ukuran intensitas dampak daerah tangkapan air terhadap *pit lake* dan dinyatakan sebagai rasio daerah tangkapan ditambah permukaan dan volume *pit lake*. Berdasarkan hasil perhitungan Lampiran H didapat nilai faktor Schindler sebesar 0,55.

4.3 Kualitas *Pit Lake* Paringin

Sampel air diambil dari tiga titik stasiun yaitu *Inpit A*, *Inpit B* dan *Inpit C* (Gambar 4.7). Pengambilan sampel setiap stasiun dengan kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m dari permukaan *pit lake* tersebut. Pengujian kualitas air *pit lake* Paringin dilakukan di Laboratorium ALS. Gambar 4.6 menunjukkan pengamatan sampel di lapangan.



Gambar 4.6 Pengamatan Sampel di Lapangan



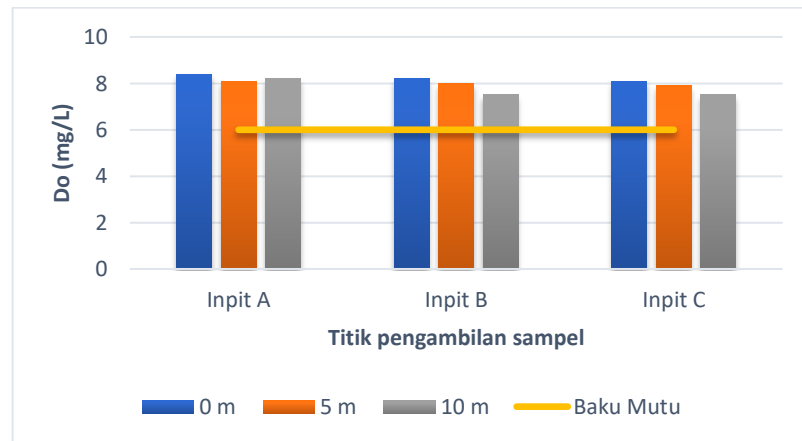
Gambar 4.7 Peta Lokasi Titik Sampel

4.3.1 Hasil Pengujian Laboratorium

Hasil pengamatan parameter fisika dan kimia perairan yang diperoleh dibandingkan dengan kriteria baku mutu air kelas dua dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Berikut hasil dari setiap parameter fisika dan kimia air pada *pit lake* Paringin.

1. Parameter DO (*Dissolved oxygen*)

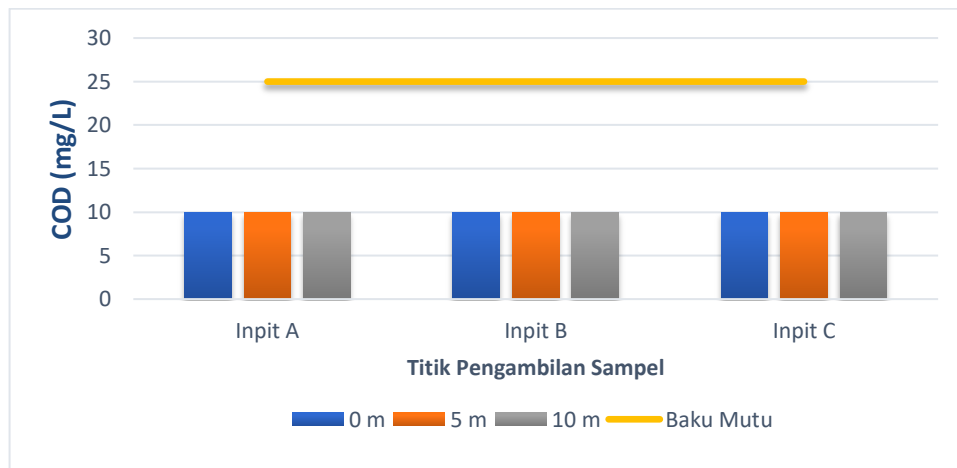
Hasil dari parameter DO pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan, berdasarkan PP Nomor 82 Tahun 2001 (Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Hasil Uji Laboratorium Parameter DO

2. Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Hasil dari parameter COD pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.9).



Gambar 4.9 Hasil Uji Laboratorium Parameter COD

3. Parameter BOD (*Biochemical oxygen demand*)

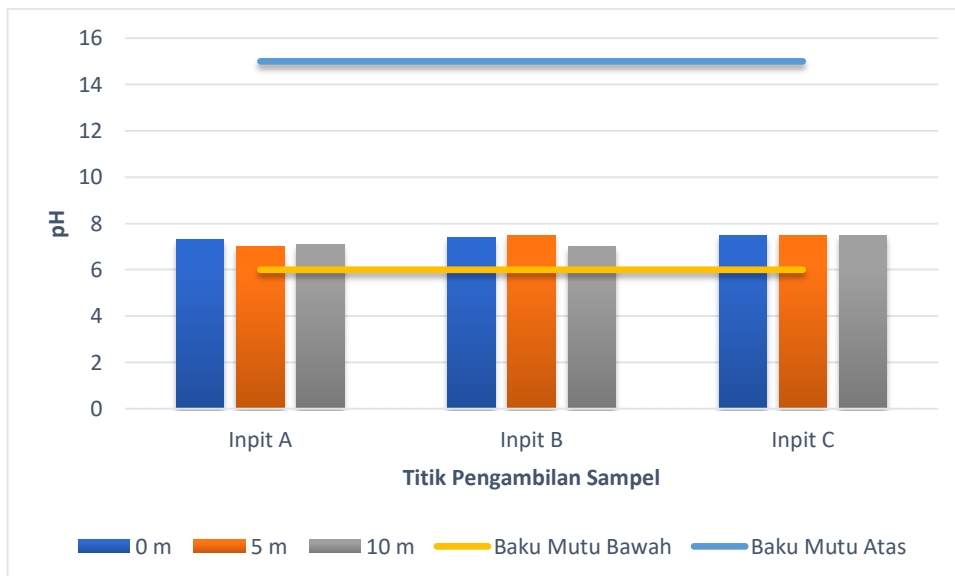
Hasil dari parameter BOD pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Hasil Uji Laboratorium Parameter BOD

4. Parameter pH

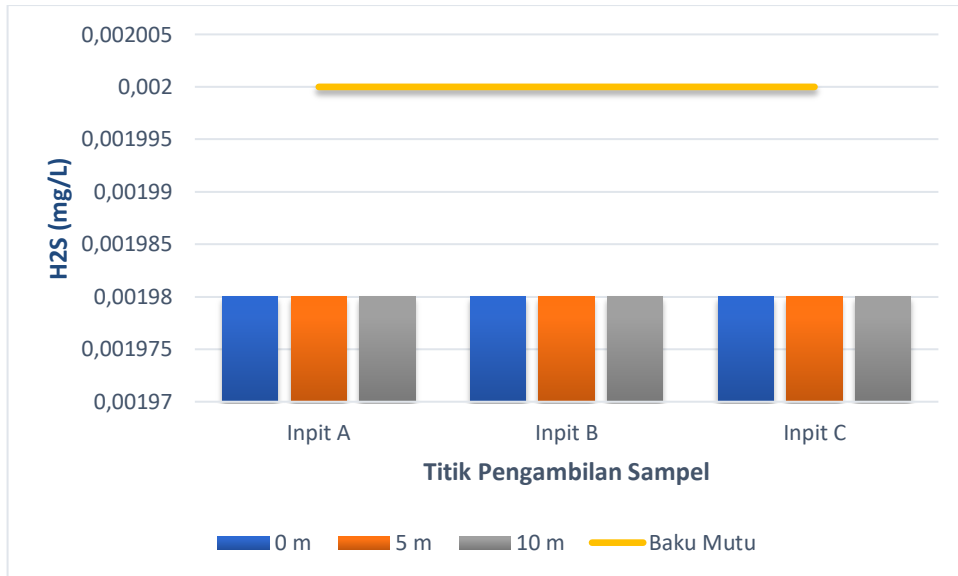
Hasil dari parameter pH pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.11).



Gambar 4.11 Hasil Uji Laboratorium Parameter pH

5. Parameter H₂S

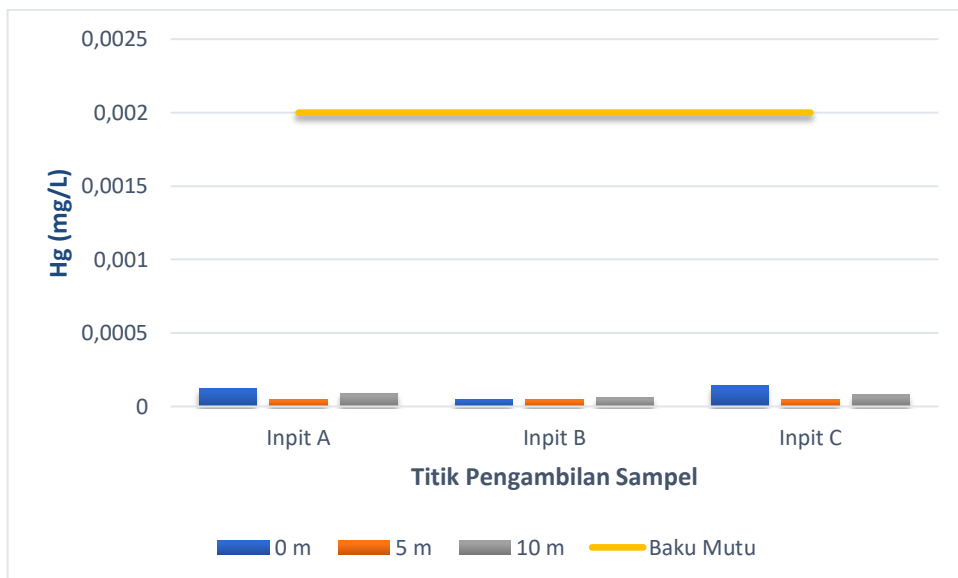
Hasil dari parameter H₂S pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.12).



Gambar 4.12 Hasil Uji Laboratorium Parameter H₂S

6. Parameter Hg (Air raksa)

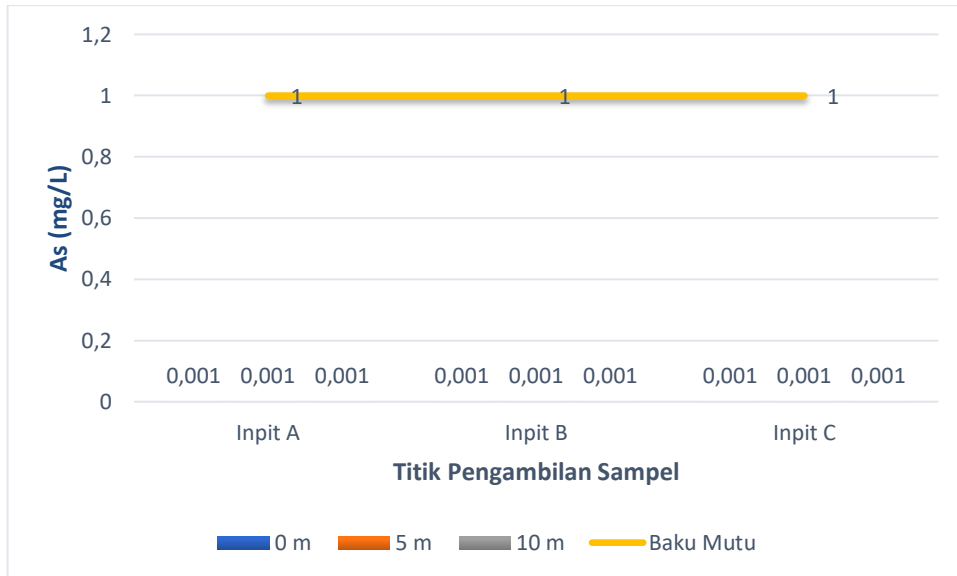
Hasil dari parameter Hg pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.13).



Gambar 4.13 Hasil Uji Laboratorium Parameter Hg

7. Parameter As (Arsenik)

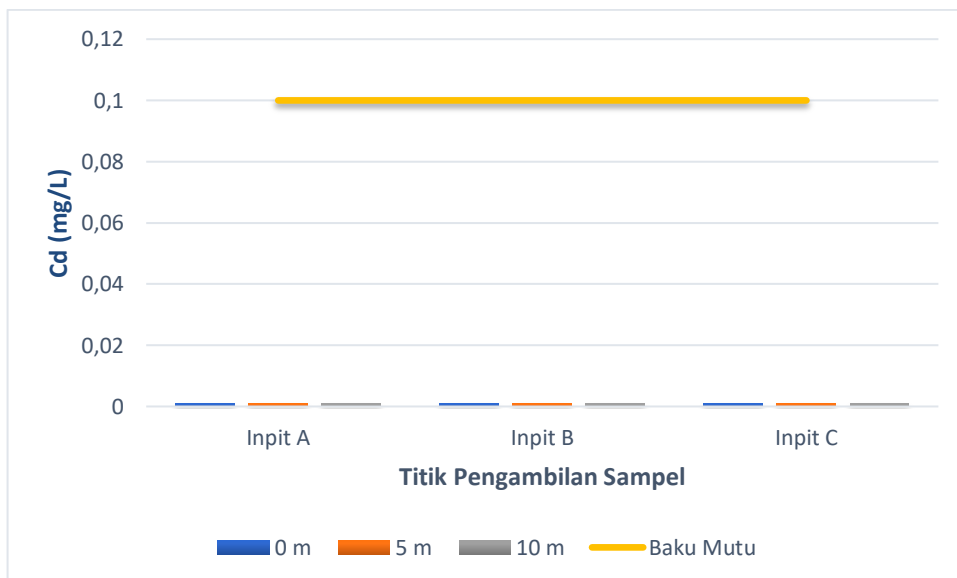
Hasil dari parameter As pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.14).



Gambar 4.14 Hasil Uji Laboratorium Parameter As

8. Parameter Cd (Kadmium)

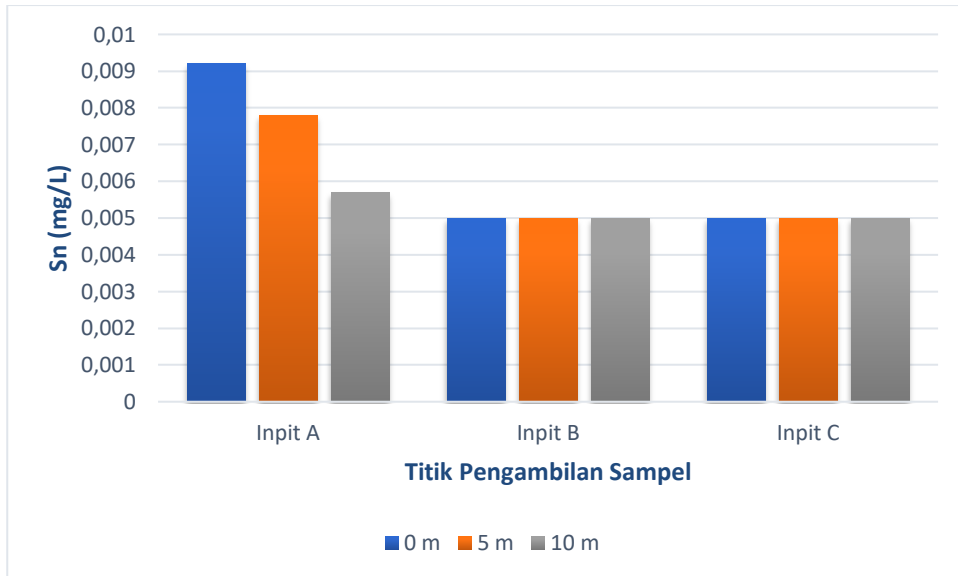
Hasil dari parameter Cd pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.15).



Gambar 4.15 Hasil Uji Laboratorium Parameter Cd

9. Parameter Sn (Timah)

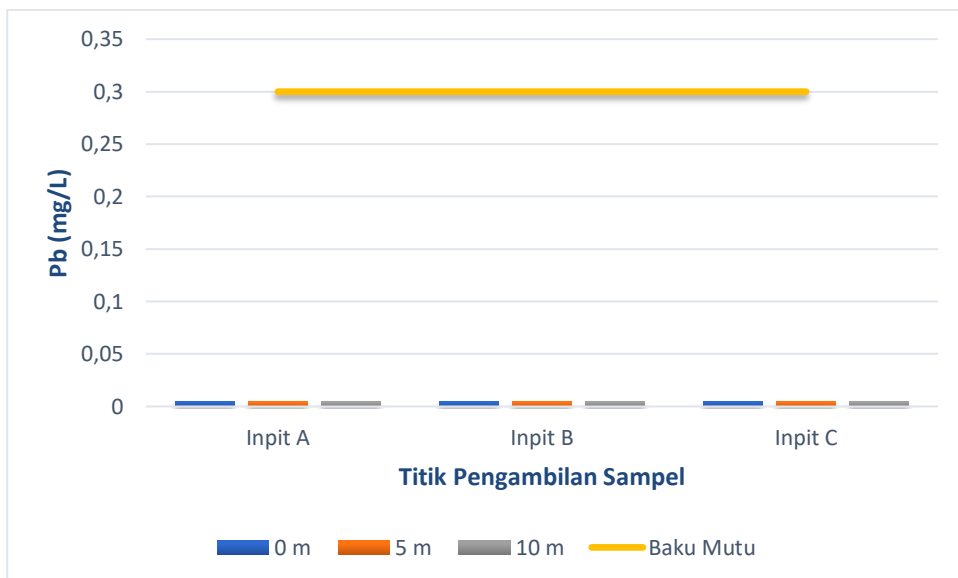
Hasil dari parameter Sn pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar.16).



Gambar 4.16 Hasil Uji Laboratorium Parameter Sn

10. Parameter Pb (Timbal)

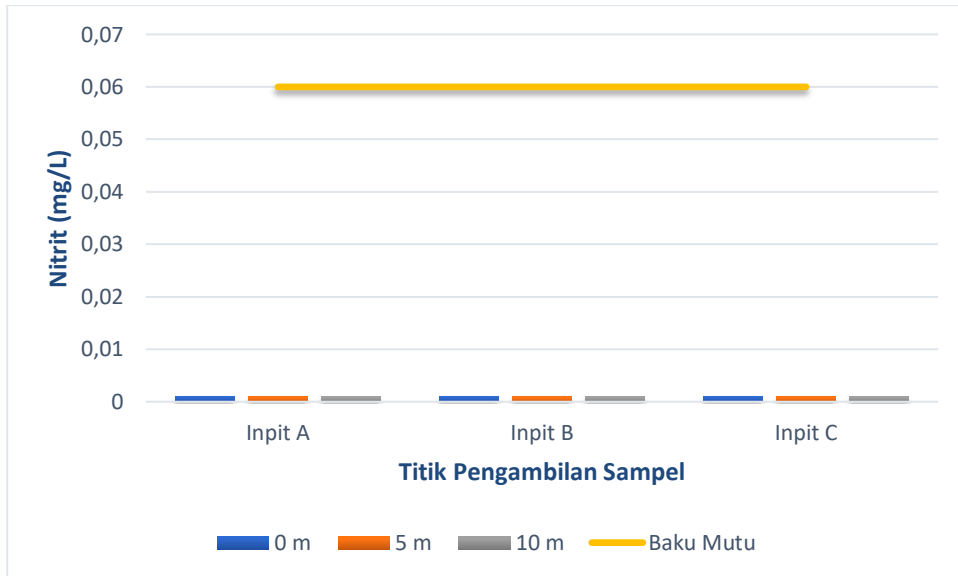
Hasil dari parameter Pb pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.17).



Gambar 4.17 Hasil Uji Laboratorium Parameter Pb

11. Parameter Nitrit

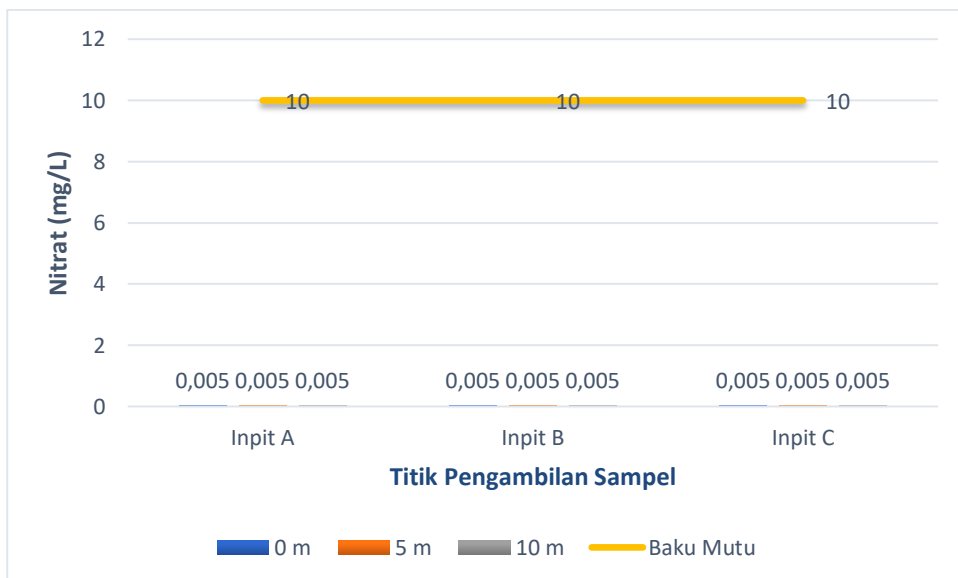
Hasil dari parameter Nitrit pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.18).



Gambar 4.18 Hasil Uji Laboratorium Parameter Nitrit

12. Parameter Nitrat

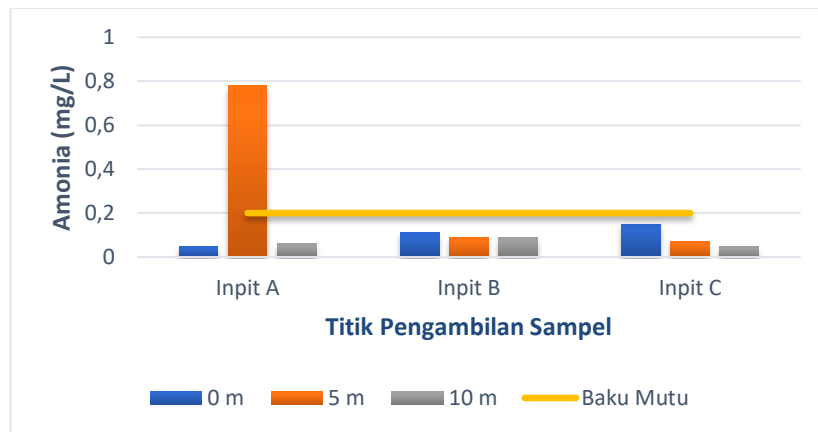
Hasil dari parameter Nitrat pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.19).



Gambar 4.19 Hasil Uji Laboratorium Parameter Nitrat

13. Parameter Amonia

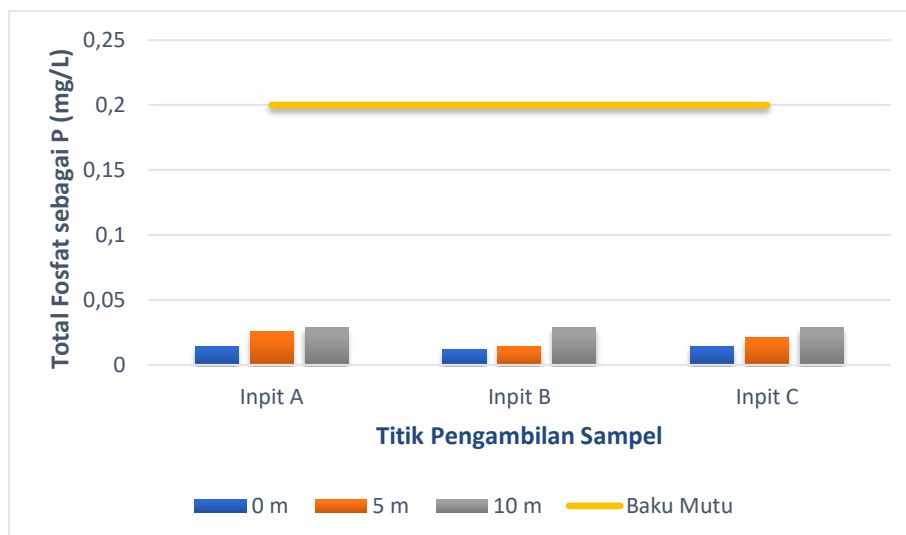
Hasil dari parameter Amonia pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada diatas stantar baku mutu yang ditetapkan, berdasarkan PP Nomor 82 Tahun 2001 (Gambar 4.20). Standar baku mutu yang digunakan untuk parameter Amonia tidak berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 karena untuk kriteria kelas II tidak terdapat nilai baku mutu, sehingga penelitian ini menggunakan standar baku mutu 0,2 mg/L untuk perikanan (Effendi, 2003)



Gambar 4.20 Hasil Uji Laboratorium Parameter Amonia

14. Parameter Fosfat PO₄

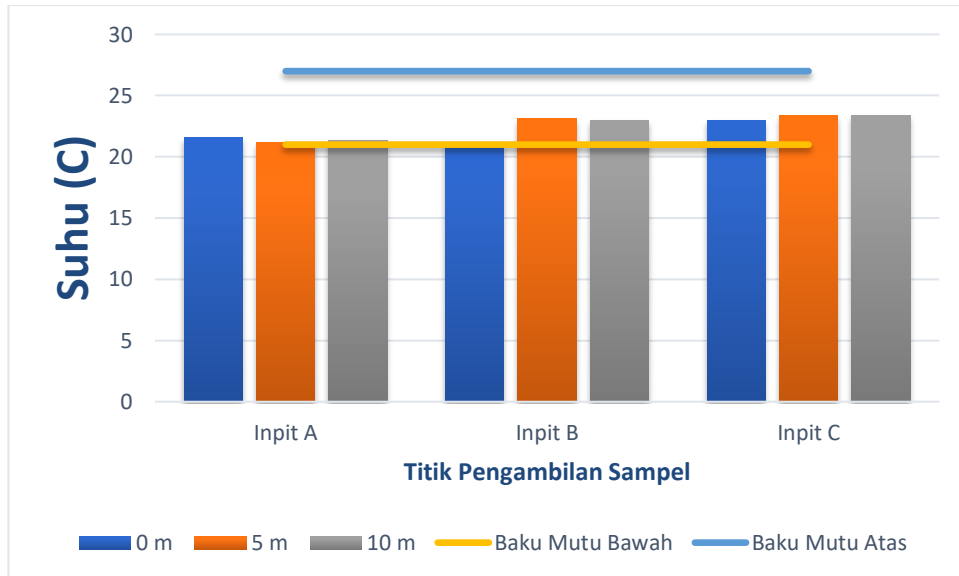
Hasil dari parameter Fosfat PO₄ pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.21).



Gambar 4.21 Hasil Uji Laboratorium Parameter PO₄

15. Parameter Suhu

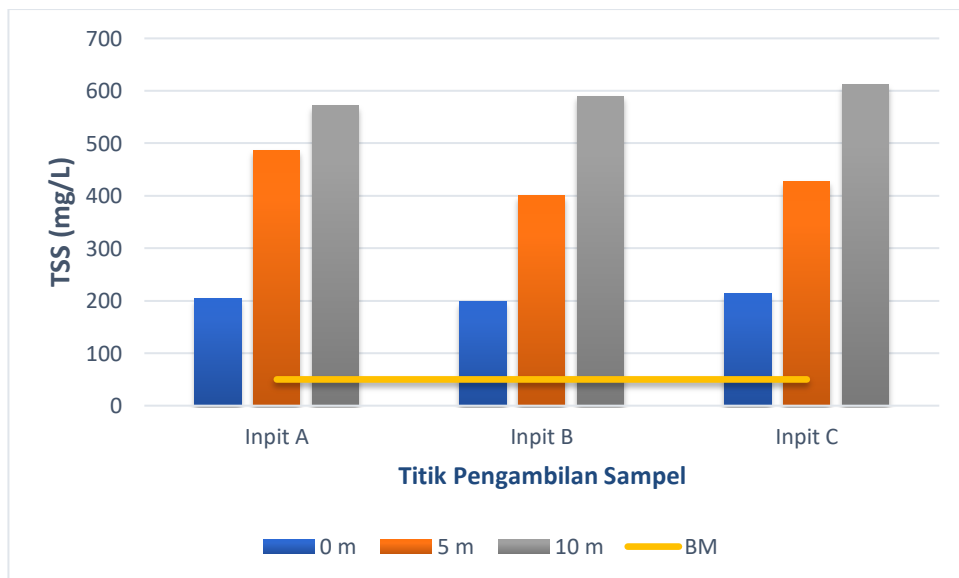
Hasil dari parameter Suhu pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.22).



Gambar 4.22 Hasil Uji Laboratorium Parameter Suhu

16. Parameter TSS

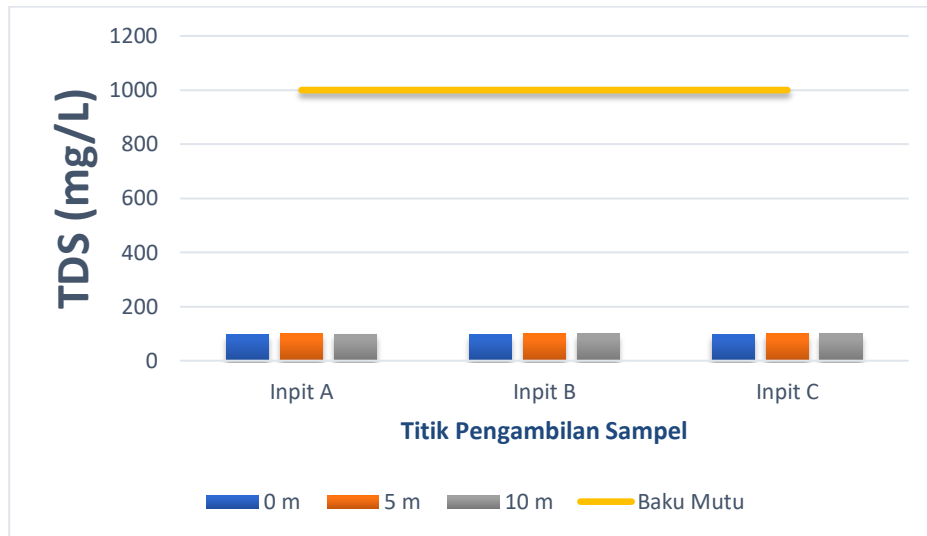
Hasil dari parameter TSS pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada diatas stantar baku mutu yang ditetapkan. Dengan TSS tertinggi pada kedalaman 10 m dari permukaan (Gambar 4.23).



Gambar 4.23 Hasil Uji Laboratorium Parameter TSS

17. Parameter TDS

Hasil dari parameter TDS pada setiap titik sampel baik pada kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m berada dalam stantar baku mutu yang ditetapkan (Gambar 4.24).



Gambar 4.24 Hasil Uji Laboratorium Parameter TDS

4.3.2 Penentuan Status Mutu Air

Secara prinsip metode storet adalah membandingkan antara data kualitas air dengan baku mutu air yang disesuaikan dengan peruntukkannya guna menentukan status mutu air (Kepmen LH No.115 Tahun 2003), sedangkan untuk menentukan status mutu air adalah dengan menggunakan sistem nilai dari US-EPA (*Environmental Protection Agency*). Setelah melihat hasil di atas, maka perlu dilakukan penentuan status mutu air berdasarkan parameter kimia sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Tujuan penentuan status mutu air ini adalah untuk mengetahui tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang ditetapkan.

Pada penelitian ini untuk menentukan klasifikasi kriteria mutu air *pit lake* berdasarkan kelas dua, penelitian ini menggunakan acuan untuk baku mutu sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air. Hasil penentuan status mutu air dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Status Mutu Kualitas Air Menurut Sistem Nilai Storet bagi peruntukan Kelas II (PP No 82 Tahun 2001)

No.	Parameter	Satuan	Baku mutu	Hasil Pengukuran			Bobot
				Maks	Min	Rerata	
1	DO	mg/L	4	8,4	7,5	7,99	0
	Bobot			0	0	0	
2	COD	mg/L	25	10	10	10	0
	Bobot			0	0	0	
3	BOD	mg/L	3	2	2	2	0
	Bobot			0	0	0	
4	pH in-situ		6-9	7,5	7	7,31	0
	Bobot			0	0	0	
5	pH in-lab		6-9	6,92	6,62	6,74	0
	Bobot			0	0	0	
6	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0
	Bobot			0	0	0	
7	Hg (Air raksa)	mg/L	0,002	0,00014	0,00005	0,000077	0
	Bobot			0	0	0	
8	As (Arsenik)	mg/L	1	0,001	0,001	0,001	0
	Bobot			0	0	0	
9	Cd (Kadmium)	mg/L	0,1	0,001	0,001	0,001	0
	Bobot			0	0	0	
10	Sn (Timah)	mg/L	-	0,0092	0,005	0,0059	0
	Bobot			0	0	0	
11	Pb (Timbal)	mg/L	0,3	0,005	0,005	0,005	0
	Bobot			0	0	0	
12	Nitrit	mg/L	0,06	0,001	0,001	0,001	0
	Bobot			0	0	0	
13	Nitrat	mg/L	10	0,005	0,005	0,005	0
	Bobot			0	0	0	
14	Amonia	mg/L	0,2	0,78	0,05	0,16	-2
	Bobot			-2	0	0	
15	Total fosfat sebagai PO ₄	mg/L	0,2	0,029	0,012	0,02	0
	Bobot			0	0	0	
16	Suhu	°C	Deviasi 3	23,4	21,2	22,36	0
	Bobot			0	0	0,00	
17	TSS	mg/L	50	612	198	411,67	-5
	Bobot			-1	-1	-3	
18	TDS	mg/L	1000	101	95	98,11	0
	Bobot			0	0	0	
Jumlah Bobot							-7

Hasil perhitungan dengan menggunakan Metode Storet dan mengklasifikasikan mutu air dengan menggunakan nilai dari US-EPA diperoleh hasil status mutu air pada *pit lake* Paringin sebesar - 7 dan disimpulkan bahwa status mutu air di *pit lake* tersebut berada pada "Kelas B atau cemar ringan".

4.3.3 Nilai Beban Pencemar

Nemerow dan Sumitomo (1970), mengusulkan suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemar yang bermakna untuk suatu peruntukan. Indeks ini dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Indeks Pencemaran ditentukan untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai.

CF adalah rasio antara konsentrasi hasil sampel dengan nilai baku mutu yang sudah ditetapkan (Hakanson, 1980), *CF* dihitung dari persamaan 3.24. Nilai indeks beban pencemaran (*PLI*) selanjutnya dihitung dari hasil perhitungan *CF*. *PLI* menunjukkan secara umum keadaan toksisitas sampel untuk unsur-unsur yang dipertimbangkan, *PLI* dihitung menggunakan persamaan 3.25 (Tomlinson, dkk. 1980).

4.3.3.1 Faktor kontaminasi (CF)

Berikut hasil perhitungan nilai faktor kontaminasi (CF).

1. DO (*Dissolved oxygen*)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter DO tercantum dalam Tabel 4.8. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan *PLI* untuk parameter DO menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.8 Nilai CF dan *PLI* Parameter DO

Kode sampel	Hasil pengukuran DO (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	8,4	4	0,48
Inpit A (5 m)	8,1		0,49
Inpit A (10 m)	8,2		0,49
Inpit B (0 m)	8,2		0,49
Inpit B (5 m)	8		0,50
Inpit B (10 m)	7,5		0,53
Inpit C (0 m)	8,1		0,49
Inpit C (5 m)	7,9		0,51
Inpit C (10 m)	7,5		0,53
PLI			0,501

2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter COD tercantum dalam Tabel 4.9. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter COD menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.9 Nilai CF dan PLI Parameter COD

Kode sampel	Hasil pengukuran COD (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	10	25	0,4
Inpit A (5 m)	10		0,4
Inpit A (10 m)	10		0,4
Inpit B (0 m)	10		0,4
Inpit B (5 m)	10		0,4
Inpit B (10 m)	10		0,4
Inpit C (0 m)	10		0,4
Inpit C (5 m)	10		0,4
Inpit C (10 m)	10		0,4
PLI			0,4

3. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter BOD tercantum dalam Tabel 4.10. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter BOD menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.10 Nilai CF dan PLI Parameter BOD

Kode sampel	Hasil pengukuran BOD (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	2	3	0,7
Inpit A (5 m)	2		0,7
Inpit A (10 m)	2		0,7
Inpit B (0 m)	2		0,7
Inpit B (5 m)	2		0,7
Inpit B (10 m)	2		0,7
Inpit C (0 m)	2		0,7
Inpit C (5 m)	2		0,7
Inpit C (10 m)	2		0,7
PLI			0,667

4. pH

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter pH tercantum dalam Tabel 4.11. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter pH menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.11 Nilai CF dan PLI Parameter pH

Kode sampel	Hasil pengukuran pH	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	7,3	6-9	0,81
Inpit A (5 m)	7,0		0,78
Inpit A (10 m)	7,1		0,79
Inpit B (0 m)	7,4		0,82
Inpit B (5 m)	7,5		0,83
Inpit B (10 m)	7,0		0,78
Inpit C (0 m)	7,5		0,83
Inpit C (5 m)	7,5		0,83
Inpit C (10 m)	7,5		0,83
PLI			0,812

5. H₂S

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter H₂S tercantum dalam Tabel 4.12. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter H₂S menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.12 Nilai CF dan PLI Parameter H₂S

Kode sampel	Hasil pengukuran H ₂ S (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,00198	0,002	0,99
Inpit A (5 m)	0,00198		0,99
Inpit A (10 m)	0,00198		0,99
Inpit B (0 m)	0,00198		0,99
Inpit B (5 m)	0,00198		0,99
Inpit B (10 m)	0,00198		0,99
Inpit C (0 m)	0,00198		0,99
Inpit C (5 m)	0,00198		0,99
Inpit C (10 m)	0,00198		0,99
PLI			0,99

6. Hg (Air raksa)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Hg tercantum dalam Tabel 4.13. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Hg menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.13 Nilai CF dan PLI Parameter Hg (Air raksa)

Kode sampel	Hasil pengukuran Hg (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,00012	0,002	0,06
Inpit A (5 m)	0,00005		0,03
Inpit A (10 m)	0,00009		0,05
Inpit B (0 m)	0,00005		0,03
Inpit B (5 m)	0,00005		0,03
Inpit B (10 m)	0,00006		0,03
Inpit C (0 m)	0,00014		0,07
Inpit C (5 m)	0,00005		0,03
Inpit C (10 m)	0,00008		0,04
PLI			0,035

7. As (Arsenik)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter As tercantum dalam Tabel 4.14. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter As menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.14 Nilai CF dan PLI Parameter As (Arsenik)

Kode sampel	Hasil pengukuran As (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,001	1	0,001
Inpit A (5 m)	0,001		0,001
Inpit A (10 m)	0,001		0,001
Inpit B (0 m)	0,001		0,001
Inpit B (5 m)	0,001		0,001
Inpit B (10 m)	0,001		0,001
Inpit C (0 m)	0,001		0,001
Inpit C (5 m)	0,001		0,001
Inpit C (10 m)	0,001		0,001
PLI			0,001

8. Cd (Kadmium)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Cd tercantum dalam Tabel 4.15. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Cd menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.15 Nilai CF dan PLI Parameter Cd (Kadmium)

Kode sampel	Hasil pengukuran Cd (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,001	0,1	0,01
Inpit A (5 m)	0,001		0,01
Inpit A (10 m)	0,001		0,01
Inpit B (0 m)	0,001		0,01
Inpit B (5 m)	0,001		0,01
Inpit B (10 m)	0,001		0,01
Inpit C (0 m)	0,001		0,01
Inpit C (5 m)	0,001		0,01
Inpit C (10 m)	0,001		0,01
PLI			0,01

9. Sn (Timah)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Sn tercantum dalam Tabel 4.16. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Sn menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.16 Nilai CF dan PLI Parameter Sn (Timah)

Kode sampel	Hasil pengukuran Sn (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,0092	(-)	0,0
Inpit A (5 m)	0,0078		0,0
Inpit A (10 m)	0,0057		0,0
Inpit B (0 m)	0,005		0,0
Inpit B (5 m)	0,005		0,0
Inpit B (10 m)	0,005		0,0
Inpit C (0 m)	0,005		0,0
Inpit C (5 m)	0,005		0,0
Inpit C (10 m)	0,005		0,0
PLI			0,0

10. Pb (Timbal)

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Pb tercantum dalam Tabel 4.17. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Pb menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.17 Nilai CF dan PLI Parameter Pb (Timbal)

Kode sampel	Hasil pengukuran Pb (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,005	0,3	0,017
Inpit A (5 m)	0,005		0,017
Inpit A (10 m)	0,005		0,017
Inpit B (0 m)	0,005		0,017
Inpit B (5 m)	0,005		0,017
Inpit B (10 m)	0,005		0,017
Inpit C (0 m)	0,005		0,017
Inpit C (5 m)	0,005		0,017
Inpit C (10 m)	0,005		0,017
PLI			0,017

11. Nitrit

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Nitrit tercantum dalam Tabel 4.18. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Nitrit menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.18 Nilai CF dan PLI Parameter Nitrit

Kode sampel	Hasil pengukuran Nitrit (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,001	0,06	0,017
Inpit A (5 m)	0,001		0,017
Inpit A (10 m)	0,001		0,017
Inpit B (0 m)	0,001		0,017
Inpit B (5 m)	0,001		0,017
Inpit B (10 m)	0,001		0,017
Inpit C (0 m)	0,001		0,017
Inpit C (5 m)	0,001		0,017
Inpit C (10 m)	0,001		0,017
PLI			0,017

12. Nitrat

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Nitrat tercantum dalam Tabel 4.19. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Nitrat menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.19 Nilai CF dan PLI Parameter Nitrat

Kode sampel	Hasil pengukuran Nitrat (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,005	10	0,0005
Inpit A (5 m)	0,005		0,0005
Inpit A (10 m)	0,005		0,0005
Inpit B (0 m)	0,005		0,0005
Inpit B (5 m)	0,005		0,0005
Inpit B (10 m)	0,005		0,0005
Inpit C (0 m)	0,005		0,0005
Inpit C (5 m)	0,005		0,0005
Inpit C (10 m)	0,005		0,0005
PLI			0,0005

13. Amonia

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Amonia tercantum dalam Tabel 4.20. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Amonia menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.20 Nilai CF dan PLI Parameter Amonia

Kode sampel	Hasil pengukuran Amonia (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,05	0,2	0,3
Inpit A (5 m)	0,78		3,9
Inpit A (10 m)	0,06		0,3
Inpit B (0 m)	0,11		0,6
Inpit B (5 m)	0,09		0,5
Inpit B (10 m)	0,09		0,5
Inpit C (0 m)	0,15		0,8
Inpit C (5 m)	0,07		0,4
Inpit C (10 m)	0,05		0,3
PLI			0,51

14. Fosfat PO₄

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter Fosfat tercantum dalam Tabel 4.21. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter Fosfat menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.21 Nilai CF dan PLI Parameter Fosfat PO₄

Kode sampel	Hasil pengukuran Fosfat (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	0,014	0,2	0,07
Inpit A (5 m)	0,026		0,13
Inpit A (10 m)	0,029		0,15
Inpit B (0 m)	0,012		0,06
Inpit B (5 m)	0,014		0,07
Inpit B (10 m)	0,029		0,15
Inpit C (0 m)	0,014		0,07
Inpit C (5 m)	0,021		0,11
Inpit C (10 m)	0,029		0,15
PLI			0,098

15. Suhu

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter suhu tercantum dalam Tabel 4.22. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter suhu menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.22 Nilai CF dan PLI Parameter Suhu

Kode sampel	Hasil pengukuran suhu (°C)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	21,6	27	0,80
Inpit A (5 m)	21,2		0,79
Inpit A (10 m)	21,3		0,79
Inpit B (0 m)	21,2		0,79
Inpit B (5 m)	23,1		0,86
Inpit B (10 m)	23,0		0,85
Inpit C (0 m)	23,4		0,87
Inpit C (5 m)	23,4		0,87
Inpit C (10 m)	23,0		0,85
PLI			0,827

16. TSS

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter TSS tercantum dalam Tabel 4.23. Hasil kontaminasi yang sangat tinggi sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter COD menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tercemar.

Tabel 4.23 Nilai CF dan PLI Parameter TSS

Kode sampel	Hasil pengukuran TSS (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	204	50	4,1
Inpit A (5 m)	487		9,7
Inpit A (10 m)	572		11,4
Inpit B (0 m)	198		4,0
Inpit B (5 m)	400		8,0
Inpit B (10 m)	590		11,8
Inpit C (0 m)	214		4,3
Inpit C (5 m)	428		8,6
Inpit C (10 m)	612		12,2
PLI			7,512

17. TDS

Hasil dari perhitungan nilai CF parameter TDS tercantum dalam Tabel 4.24. Hasil kontaminasi rendah sedangkan untuk perhitungan PLI untuk parameter TDS menunjukkan bahwa *pit lake* Paringin tidak tercemar.

Tabel 4.24 Nilai CF dan PLI Parameter TDS

Kode sampel	Hasil pengukuran TDS (mg/L)	Baku Mutu	CF
Inpit A (0 m)	96	1000	0,096
Inpit A (5 m)	101		0,101
Inpit A (10 m)	98		0,098
Inpit B (0 m)	95		0,095
Inpit B (5 m)	99		0,099
Inpit B (10 m)	100		0,100
Inpit C (0 m)	95		0,095
Inpit C (5 m)	99		0,099
Inpit C (10 m)	100		0,100
PLI			0,098

4.3.3.2 Indeks beban pencemar

Berikut Tabel 4.25 hasil perhitungan indeks beban pencemar (PLI) dari setiap parameter. Nilai PLI tertinggi terdapat pada parameter TSS yaitu 7,5.

Tabel 4.25 Nilai *Pollution Load Index* (PLI)

No	Parameter	Nilai <i>Pollution Load Index</i> (PLI)
1	DO	0,501
2	COD	0,4
3	BOD	0,667
4	pH in-situ	0,812
5	Belerang sebagai H ₂ S	0,99
6	Hg (Air raksa)	0,035
7	As (Arsenik)	0,001
8	Cd (Kadmium)	0,01
9	Sn (Timah)	0
10	Pb (Timbal)	0,0167
11	Nitrit	0,0167
12	Nitrat	0,0005
13	Amonia	0,51
14	Total fosfat sebagai PO ₄	0,098
15	Suhu	0,827
16	TSS	7,512
17	TDS	0,098

BAB V

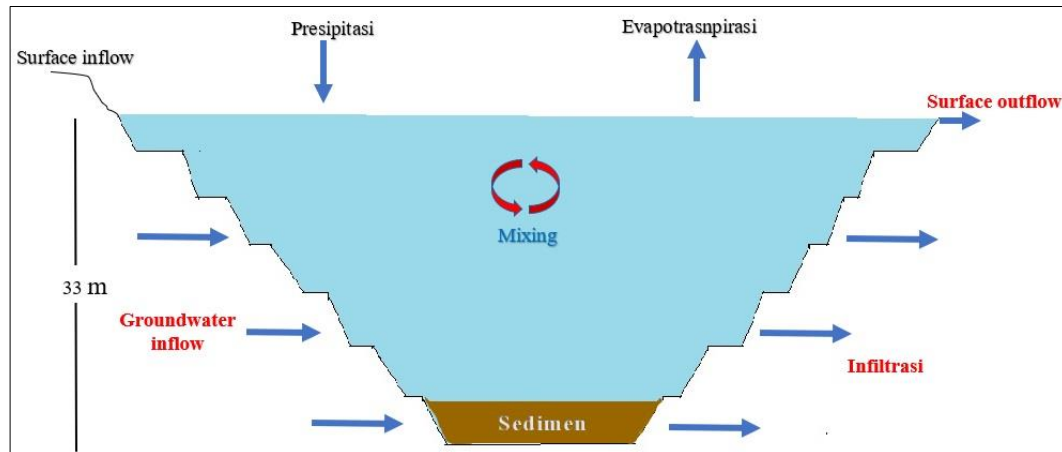
PEMBAHASAN

Pit lake terbentuk dari kegiatan tambang terbuka. *Pit lake* merupakan fitur pascatambang dengan lubang terbuka terisi air tanah dan air limpasan (Gammons dkk, 2006), *pit lake* seperti danau alami juga menampilkan keberagaman yang sangat besar. Keberadaan *pit lake* Paringin dapat dimanfaatkan sebagai tempat wisata air dan perikanan. Potensi penggunaan air *pit lake* tetap sangat tergantung pada kuantitas dan kualitas air *pit lake* (Doupe. 2005). Aspek-aspek utama dari *pit lake* ialah hidrologi, morfometri dan kualitas air pada *pit lake*. Aspek ini digunakan untuk mengetahui pengelolaan yang tepat pada suatu *pit lake*.

5.1 Kuantitas *Pit Lake* Paringin

Pit lake terbentuk ketika kegiatan penambangan berakhir dan lubang bekas penambangan diisi dengan air, baik air tanah, air permukaan atau air hujan (Vandenberg dkk, 2015). Semua *pit lake* mengalami sejumlah proses fisik, kimia, dan biologis yang akan menentukan kesesuaian lingkungan. Hal ini untuk mendukung kehidupan air dan untuk melepaskan air ke lingkungan penerima (Guest, 2017). Model konseptual *pit lake* Paringin, menunjukkan komponen utama air dan keseimbangan massa (*mass balance*), diilustrasikan dalam Gambar 5.1.

Daur hidrologi menentukan waktu yang dibutuhkan pada lubang bukaan tambang untuk terisi air setelah penutupan tambang, dan juga mempengaruhi terbentuknya kondisi akhir air pada *pit lake*. Daur hidrologi adalah siklus air yang berjalan secara *kontinue* mulai dari atmosfer ke bumi dan kembali melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pergerakan dan sirkulasi air diakibatkan oleh adanya uap air (evaporasi), presipitasi, pergerakan air dalam tanah (perkolasi) dan air limpasan (*run off*).



Gambar 5.1 Model Konseptual *Pit Lake* Paringin

Hidrologi *pit lake* dipengaruhi oleh iklim regional (Niccoli, 2009). Dalam iklim yang sangat kering, penguapan dari permukaan *pit lake* dapat melebihi aliran masuk pit lainnya (yaitu limpasan, curah hujan dan aliran air tanah). Dalam kasus seperti itu, keseimbangan level muka air *pit lake* mungkin berada di bawah muka air regional dan *pit lake* dapat bertindak sebagai bak penguapan yang menghasilkan aliran air tanah ke dalam (McCullough dkk. 2013). Sebaliknya, di daerah beriklim basah, *pit lake* akan memiliki keseimbangan air positif dan kemungkinan akan terjadi banjir hingga meluap ke permukaan air (McCullough dan Schultze, 2015).

Perkiraan secara kuantitatif dari siklus hidrologi dapat dinyatakan berdasar prinsip konservasi massa yang dikenal dengan persamaan neraca air. Neraca air atau *water balance* menggambarkan hubungan antara *inflow* (aliran masuk) dengan *outflow* (aliran keluar) pada suatu wilayah selama periode tertentu. Dalam perhitungannya, neraca air dapat menggambarkan curah hujan yang tertampung dalam daerah *recharge*, penguapan kembali sebagai evapotranspirasi, air yang mengalir di permukaan sebagai *surface direct run off* maupun infiltrasi air tanah. Persamaan umum neraca air yang digunakan dalam penelitian adalah :

$$dV_{\text{lake}}/dt = Q_i + P + G_i - E - T - Q_o - G_o$$

Dengan :

Q_i, Q_o : Debit aliran masuk dan keluar

P : Presipitasi

G_i, G_o : Aliran air tanah masuk dan keluar (infiltrasi)

E : Evaporasi

T : Evapotranspirasi

5.1.1 Simulasi Model Mock

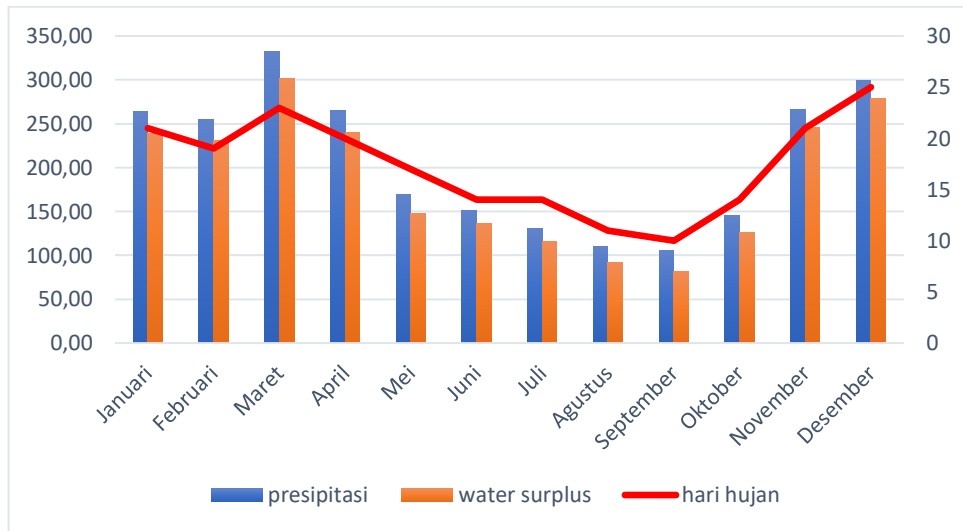
Perhitungan air yang masuk *Pit lake* Paringin menggunakan simulasi model Mock. Data yang diinput dalam simulasi model Mock adalah curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, lama penyiranan matahari, dan besaran radiasi matahari.

Dari perhitungan neraca air di *pit lake* Paringin menggunakan simulasi model Mock disajikan pada Lampiran B. Surplus air merupakan selisih antara curah hujan dengan evapotranspirasi. Dari hasil perhitungan tersebut nampak bahwa surplus air tertinggi terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 301,75 mm/bulan hal ini berbanding lurus dengan nilai presipitasi yang tinggi pada bulan tersebut yaitu sebesar 332,2 mm/bulan sedangkan surplus air terendah terjadi pada bulan September sebesar 81,49 mm/bulan dengan nilai presipitasi 105,5 mm/bulan. Gambaran hubungan antara presipitasi, *water surplus* dan hari hujan dapat dilihat pada Gambar 5.2

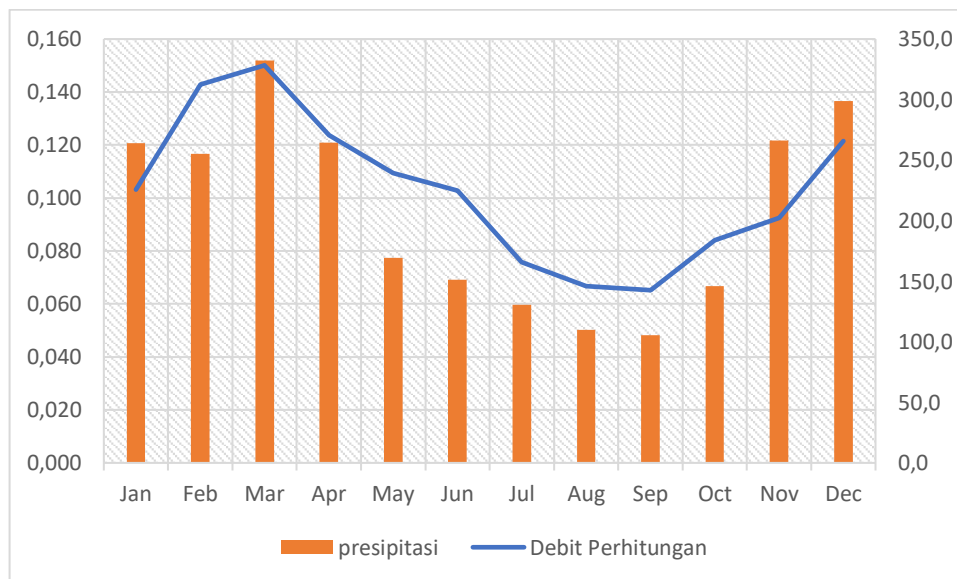
Pada hasil simulasi model Mock tidak terdapat adanya defisit air pada setiap bulan karena tingginya nilai presipitasi setiap bulan dalam artian lain selalu terjadi hujan setiap bulan dari Januari hingga Desember yang mengakibatkan terjadi *surplus* air selama periode satu tahun pada *pit lake* Paringin. *Surplus* air tinggi terjadi pada bulan Januari sampai dengan April berkisar antara 230 - 301 mm/bulan dan mulai rendah pada bulan Mei sampai dengan September yang berkisar antara 81-147 mm/bulan (Gambar 5.2). Memasuki bulan November dan Desember terjadi surplus air yang tinggi kembali yaitu berkisar 246-278 mm/bulan. Selain itu, 40% dari surplus air tersebut akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan sisanya menjadi air larian (*run off*). Perhitungan luas *catchmen area* daerah penelitian 128,58 Ha, dan luas *pit lake* Paringin 19,5 Ha. Volume air yang masuk pada *pit lake* Paringin sebesar 2.751.039 m³.

Menurut Hadiani dkk, 2015 simulasi curah hujan-debit adalah proses transformasi dari curah hujan ke debit di daerah tangkapan air dengan pemodelan. Daerah penelitian pada bulan Januari menghasilkan debit sebesar 0,103 mm/detik, debit

tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 0,150 mm/detik. Debit terendah terjadi pada bulan September yaitu sebesar 0,065 mm/detik. Kondisi ini disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi di bulan tersebut (Gambar 5.3). Hadiani dkk, 2015 mengungkapkan nilai presipitasi sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi model Mock. Simulasi model Mock dapat memprediksi kondisi suatu *discharge area* (Limantara, 2012).



Gambar 5.2 Hubungan antara Presipitasi, Hari Hujan dan *Water Surplus Pit Lake Paringin*.



Gambar 5.3 Hubungan antara Presipitasi dengan Hasil Perhitungan Debit Simulasi Model Mock *Pit Lake Paringin*.

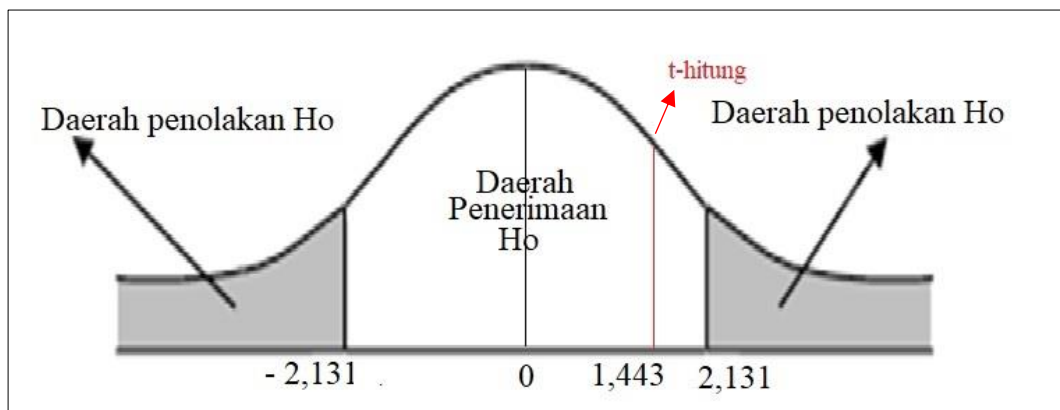
5.1.2 Korelasi dan Uji T-Test

Korelasi dihitung untuk melihat hubungan kedekatan debit perhitungan simulasi model Mock dengan debit pengukuran. Hubungan antara dua variabel yaitu variabel debit pengukuran dan debit perhitungan. Sarwono, 2006 memberikan kriteria hasil korelasi sebagai berikut :

- 0 : Tidak ada korelasi antara dua variabel
- $>0 - 0,25$: Korelasi sangat lemah
- $>0,25 - 0,5$: Korelasi cukup
- $>0,5 - 0,75$: Korelasi kuat
- $>0,75 - 0,99$: Korelasi sangat kuat
- 1 : Korelasi sempurna

Perhitungan korelasi menggunakan fasilitas Ms. Excel. Korelasi antara debit hasil pengukuran dengan perhitungan simulasi model Mock mempunyai koefisien korelasi 0,8967 dan $R^2=0,8041$ yang berarti korelasi antara dua variabel tersebut sangat kuat.

Dalam uji T-Test terdapat dua hipotesis yaitu H_0 dan H_1 . Hipotesis H_0 adalah besaran debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock sedangkan H_1 adalah besaran debit pengukuran tidak sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model Mock. Apabila nilai $T_{hitung} > T_{tabel}$ dan nilai P value $< \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak. Sedangkan apabila $T_{hitung} < T_{tabel}$ dan nilai P value $> \alpha$ (0,05) maka H_0 diterima. Jika H_0 diterima maka besaran debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan (Gambar 5.4).



Gambar 5.4 Kriteria Penerimaan Uji T-Test

Dari hasil analisis statistik uji hipotesis T-Test di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

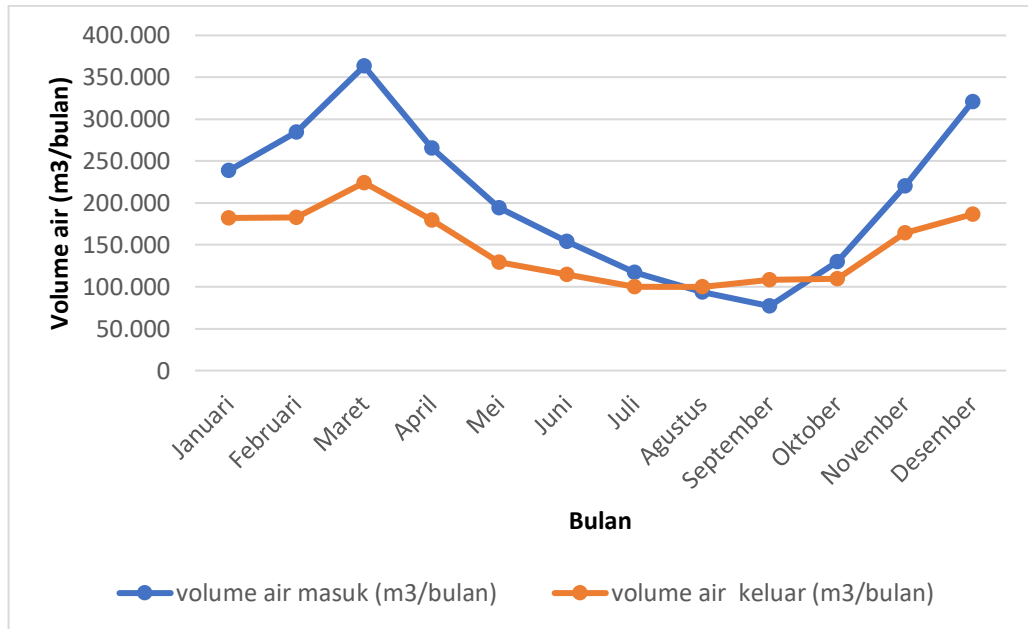
- $T_{hitung} (1,443) < T_{tabel} (2,131)$ berarti H_0 di terima (Tolak H_1)
- $P\ value (0.085) > \alpha (0.05)$ berarti H_0 diterima (Tolak H_1)

Hipotesis H_0 diterima yang berarti debit pengukuran sama dengan debit hasil perhitungan simulasi model mock. Dari hasil koefisien korelasi dan uji *T-Test* dapat disimpulkan bahwa simulasi model Mock telah mendekati besaran debit pengukuran pada *pit lake* Paringin, sehingga simulasi model Mock dapat digunakan untuk memprediksi kuantitas air yang akan terjadi di masa yang akan datang.

Permintaan akan sumber daya air oleh industri dan peningkatan populasi, *pit lake* sebagai sumberdaya air mungkin memiliki potensi pemanfaatan yang signifikan untuk industri dan lingkungan sekitarnya (McCullough dan Mark, 2006). Volume *pit lake* dan potensial dalam pengelolaan air menjadikannya fokus utama perencanaan pascatambang (Castro dan Moore, 2000). Perusahaan dapat mengetahui pengelolaan air *pit lake* yang tepat berdasarkan volume air yang masuk dan air yang keluar pada *pit lake* Paringin.

5.1.3 Water Balance

Hasil analisis volume air masuk dan volume air yang keluar pada *pit lake* Paringin disajikan pada Gambar 5.5 yang menunjukkan bahwa volume air yang masuk (*inflow*) selalu lebih besar dari volume keluaran air (*outflow*) kecuali pada bulan Agustus sampai bulan September. Jika $input > output$, maka volume *pit lake* Paringin akan meningkat yang mengakibatkan meluapnya air pada *pit lake* Paringin. Hal ini sejalan dengan pernyataan McCullough dan Schultze 2015 yaitu pada daerah beriklim basah, *pit lake* akan memiliki keseimbangan air yang positif dan kemungkinan akan meluap ke permukaan air. Agar menjaga air pada *pit lake* Paringin tidak meluap maka dibuat saluran air yang mengarah ke *settling pond* dan kolam budidaya ikan (Gambar 5.6). Air pada *pit lake* Paringin dapat dimanfaatkan untuk budidaya ikan Nila dan ikan lokal Papuyu.



Gambar 5.5 Volume Air Yang Masuk dan Volume Air Yang Keluar *Pit Lake* Paringin Tanpa Memperhitungkan *Surface outflow*



Gambar 5.6 *Settling Pond* dan Kolam Budidaya Ikan

Hasil perhitungan volume *water balance* dengan input (presipitasi, *groundwater inflow*, dan *surface inflow*) dan output (evapotranspirasi dan infiltrasi) menunjukkan nilai *water balance* tertinggi terjadi pada bulan Maret. Hal ini dikarenakan terjadi curah hujan yang tinggi pada bulan Maret. Defisit air pada bulan Agustus dan September, disebabkan oleh rendahnya curah hujan pada bulan tersebut dan

tingginya evaporasitranspirasi pada bulan Agustus dan September. Dalam perhitungan volume *water balance* peneliti tidak memasukan angka volume air *surface outflow* dikarenakan kondisi *pit lake* yang sudah stabil dengan volume air sebesar 2.751.039 m³ sehingga apabila volume *inflow pit lake* telah melebihi dari kapasitas volume *pit lake* Paringin maka air tersebut akan mengalir keluar ke kolam ikan dan *settling pond*.

5.2 Morfometri *Pit Lake* Paringin

Pit lake Paringin memiliki luas 19,5 Ha. *Pit lake* Paringin termasuk danau yang dalam. Kedalaman rata-rata sebesar 14 m, hal ini didukung fakta bahwa *pit lake* ini memiliki kedalaman maksimum 33 m, sedangkan kedalaman relatif sebesar 6,6 %. Nilai kedalaman rata-rata dan kedalaman maksimum yang tinggi mengindikasikan bahwa *Pit lake* Paringin memiliki tingkat stabilitas stratifikasi yang tinggi, sehingga tidak mudah mengalami pengadukan. Menurut Wetzel (2001), *pit lake* yang memiliki stabilitas tinggi umumnya memiliki nilai $Z_r > 4 \%$, dan *pit lake* yang tidak mudah mengalami pengadukan. Kedalaman *pit lake* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas air. Hal ini masih terkait dengan pengadukan di *pit lake* (Barroso dkk. 2014).

Tabel 5.1 Morfometri *Pit Lake* Paringin

Parameter	Value
Luas Permukaan (Ha)	19,55528
Kedalaman maksimum (m)	33
Kedalaman rata-rata (m)	14
Kedalaman relatif (%)	6,6
Volume (m ³)	2.751.039
Debit (m ³ /s)	0,103
<i>Retention time</i> (hari)	303
Perkembangan volume	1,25
Faktor Schindler	0,55

Debit air *pit lake* Paringin sebesar $0,103 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari data debit air tersebut, dapat diketahui bahwa masa tinggal air *pit lake* Paringin sekitar 303 hari. Artinya air yang ada di *pit lake* Paringin akan berganti setiap 303 hari. Hal ini juga berhubungan dengan laju pembilasan unsur hara, unsur hara yang masuk hanya akan bertahan di dalam *pit lake* selama 303 hari. Menurut Straskraba dan Tundisi (1999), kriteria dengan sistem klasifikasi *pit lake* dapat dijelaskan berdasarkan lambatnya aliran air yang keluar dari *pit lake*. *Pit lake* dengan R_t (*retention time*) 20 hari maka termasuk kategori arus air cepat, $R_t > 20$ $R_t < 300$ hari termasuk kategori arus air sedang dan $R_t > 300$ hari termasuk kategori arus air lambat. Berdasarkan nilai R_t yang didapat, maka debit air *pit lake* Paringin termasuk kedalam kategori arus air lambat.

Pratiwi dkk. (2007) juga menyatakan bahwa semakin lama waktu tinggal air dalam suatu *pit lake*, kesempatan bahan organik atau nutrien berada di *pit lake* tersebut akan semakin besar. Dengan demikian waktu yang cukup lama memberikan kesempatan bahan tersuspensi di perairan untuk mengendap. *Pit lake* Paringin merupakan *pit lake* yang memiliki waktu tinggal air cukup lama yang dapat memberikan peluang bagi bahan tersuspensi dalam proses pengendapan, dan juga dengan tingkat stabilitas stratifikasi yang tinggi, tidak mudah mengalami proses pengadukan.

Nilai perkembangan volume (VD) *pit lake* Paringin adalah 1,25. Cole (1983) menyatakan bahwa nilai $VD > 1$ menggambarkan dasar perairan yang berbentuk datar. Bentuk dasar *pit lake* Paringin yang tergolong datar ini dicirikan dengan peta kontur *pit lake* (Gambar 4.4) di bagian tengah yang jarang (tidak bersinggungan). Apabila bentuk dasar *pit lake* curam, maka peta kontur di bagian tengah akan berhimpitan.

Faktor *Schindler* dari perhitungan menunjukkan 0,55. Faktor *Schindler* merupakan faktor untuk menilai kerentanan terhadap degradasi pada suatu *pit lake* digunakan faktor *Schindler*, yang merupakan parameter penentu rasio dari *pit lake* yang terakumulasi dan *catchment area* dengan volume *pit lake* (Koc dkk, 1996). Indikator yang digunakan adalah ukuran dampak lingkungan di *pit lake*. Dengan peningkatan *Schindler* Faktor, pencemaran *pit lake* juga akan naik. *pit lake* atau

waduk dengan nilai rasio ≤ 2 merupakan *pit lake* yang tidak rentan terhadap degradasi karena masuknya polutan dari *catchment area* (Szozka dkk, 2007).

5.3 Pengelolaan *Pit Lake* Paringin

Hasil pengamatan parameter fisika dan kimia perairan yang diperoleh dibandingkan dengan kriteria baku mutu air kelas dua dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Sampel air diambil dari tiga titik stasiun pengamatan yaitu Inpit A, Inpit B dan Inpit C. Pengambilan sampel setiap stasiun dengan kedalaman 0 m, 5 m dan 10 m dari permukaan *pit lake* Paringin.

Kedalaman *pit lake* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas air tersebut. Berdasarkan hasil dari kondisi morfometri *pit lake* Paringin merupakan *pit lake* memiliki tingkat stabilitas stratifikasi yang tinggi dan *pit lake* yang tidak mudah mengalami pengadukan oleh angin. Air pada *pit lake* mencampur sebagian, pada lapisan paling dalam tidak pernah bercampur karena kerapatan air yang tinggi disebabkan oleh substansi terlarut atau karena dilindungi dari efek angin (Wetzel, 2001). Hal ini terbukti dari kondisi kualitas air *pit lake* yang nilainya berbeda dari setiap kedalaman (0 m, 5 m dan 10 m) sampel yang diambil, beberapa parameter tersebut ialah DO, pH, Amonia, PO₄, suhu, dan TSS. Namun hal ini perlu dikaji kembali dikarenakan pada penelitian ini sampel kualitas air yang digunakan hanya dalam satu waktu, sedangkan pada penelitian Castendyk, dkk (2014) sampel kualitas air yang digunakan dalam penelitian tersebut dilakukan setiap bulan selama dua tahun, sehingga dapat menunjukkan kondisi kualitas air setiap bulan (*time series*). Berikut hasil dari kualitas air parameter fisika dan kimia *pit lake* Paringin:

1. DO (*Dissolved Oxygen*)

Secara umum konsentrasi oksigen terlarut di *pit lake* Paringin adalah normal dengan sebaran variasi yang juga stabil sebagaimana perairan danau alami lainnya. Seperti pola distribusi oksigen pada perairan umum, bahwa konsentrasi mulai turun secara bertahap seiring bertambahnya kedalaman. Konsentrasi DO di *pit lake* Paringin tergolong baik untuk mendukung kehidupan biota air. Semakin besar nilai DO pada perairan, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah,

dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO bertujuan untuk melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme.

2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang didapat dari ketiga stasiun berkisar <10 mg/L. Nilai tersebut masih di bawah ambang batas baku mutu air yaitu 25 mg/L. Nilai COD yang rendah ini dikarenakan *Pit lake* Paringin berada jauh dari kegiatan industri. Effendi (2003) menyatakan nilai COD di perairan dipengaruhi oleh masukan dari kegiatan limbah industri yang banyak menggunakan bahan organik sintesis dalam produksinya. Nilai COD yang tinggi dan melebihi baku mutu, maka mengindikasikan pencemaran bahan organik pada perairan.

3. BOD (*Biochemical oxygen demand*)

Nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD₅) yang terukur di *Pit lake* Paringin adalah < 2 mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yang telah ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 3 mg/L. Konsentrasi BOD tersebut masih termasuk dalam kondisi perairan yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangan organisme perairan. Nilai BOD yang rendah ini diduga karena bahan organik yang masuk ke perairan sangat sedikit. Makin besar konsentrasi BOD suatu perairan, menunjukkan konsentrasi bahan organik di dalam air juga tinggi (Yudo, 2010). Semakin tingginya konsentrasi BOD mengindikasikan bahwa perairan tersebut telah tercemar, sedangkan konsentrasi BOD yang tingkat pencemarannya masih rendah dan dapat dikategorikan sebagai perairan yang baik.

4. pH

Derajat keasaman (pH) di *pit lake* Paringin tergolong netral, yaitu berkisar 7–7,5 dan masih termasuk dalam kisaran normal berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 dengan baku mutu pH 6–9. Rendahnya nilai pH di *pit lake* Paringin dikarenakan sedikitnya batuan pembentuk asam (PAF) di daerah tersebut, sehingga tidak terjadi pembentukan air asam tambang pada *pit lake* Paringin. Kondisi perairan yang memiliki pH netral sangat baik bagi ekosistem dan baik

untuk pertumbuhan dan perkembangan organisme perairan (Effendi 2003). Nilai kisaran pH mempengaruhi proses biologi dan kimia *pit lake*. Kondisi perairan yang sangat basa maupun sangat asam akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan mengganggu proses metabolisme dan respirasi.

5. H₂S

Kandungan H₂S di *Pit lake* Paringin adalah <0.002mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yang telah ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 0,002 mg/L. Sulfida (H₂S) merupakan gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik yang dilakukan oleh bakteri anaerob dan merupakan gas yang sangat berbahaya bagi biota perairan serta menghasilkan bau yang tidak enak. Penyumbang terbentuknya hidrogen sulfida terbesar yaitu kawasan pemukiman, pelabuhan dan industri. Sulfida yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap kehidupan biota perairan.

6. Hg (Air raksa)

Hasil pengukuran Kandungan Hg (Air raksa) di *Pit lake* Paringin adalah 0,00005-0,00014 mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yang telah ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 0,002 mg/L. Air raksa merupakan logam berat yang bersifat toksik bagi biota jika kadarnya melebihi ambang batas maksimum.

7. As (Arsenik)

Kandungan As (Arsenik) di *Pit lake* Paringin adalah <0.0010 mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yang telah ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 1 mg/L. Arsen ditemukan dalam jumlah yang relatif sedikit namun tingkat toksisitas yang sangat tinggi karena masuk dalam logam berat. Seluruh logam berat muncul secara alami di lingkungan yang dihasilkan dari buangan industri dengan jumlah yang makin hari makin meningkat.

8. Cd (Kadmium)

Kandungan logam berat Cd pada *pit lake* Paringin di semua stasiun pengamatan

berada pada kisaran nilai yang sama yaitu <0.0010 mg/L. Logam kadmium (Cd) masuk ke dalam lingkungan sebagai akibat dari aktivitas manusia. Cd di badan perairan dapat berasal dari endapan atmosfer, debu, air *processing* limbah dan limbah cair industri (Widowati dkk, 2008). Logam berat dapat mengumpul didalam tubuh organisme, dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu lama sebagai racun yang terakumulasi. Perairan yang tercemar logam berat berupa kadmium, kemungkinan besar organisme yang berada di perairan tersebut berpotensi terkontaminasi kandungan Cd dan sudah tidak bisa lagi dimanfaatkan. Logam berat masuk ke dalam tubuh organisme perairan sebagian besar melalui rantai makanan. Hasil pengukuran menunjukkan kandungan logam berat Cd pada perairan di *pit lake* Paringin secara umum masih berada di bawah baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 untuk Kelas II yaitu 0,1 mg/L.

9. Sn (Timah)

Kadar Sn (Timah) dari hasil pengukuran di *Pit lake* Paringin adalah $<0.0050 - 0,0092$ mg/L. Nilai parameter Sn untuk perairan kelas II berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 tidak terdapat nilai ambang batas..

10. Pb (Timbal)

Kandungan Pb (Timbal) yang terukur di *Pit lake* Paringin adalah <0.0050 mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yang telah ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 0,3 mg/L. Budiarti dkk (2010) menyatakan bahwa kandungan timbal yang terlarut dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu akan berubah fungsi menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang ditimbulkan oleh suatu logam berat terhadap semua biota perairan tidak sama, namun kehancuran dari suatu kelompok dapat menjadikan terputusnya suatu mata rantai kehidupan. Pada tingkat lanjutnya, keadaan ini tentu saja dapat menghancurkan suatu tatanan ekosistem perairan.

11. Nitrit

Kandungan nitrit yang terukur di *pit lake* Paringin adalah <0.001 mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yaitu 0,06 mg/L. Senyawa

nitrit biasanya tidak bertahan lama dalam perairan dan merupakan keadaan sementara proses oksidasi antara amonia dan nitrat. Keberadaan Nitrit di perairan menggambarkan berlangsungnya proses biologis perombakan bahan organik yang memiliki kadar oksigen terlarut rendah (Effendi, 2003).

12. Nitrat

Kandungan nitrat yang terukur di *pit lake* Paringin adalah <0.005 mg/L. Nilai ini berada di bawah ambang batas baku mutu air yaitu 10 mg/L. Nilai nitrat yang rendah di *pit lake* Paringin dikarenakan lokasi *pit lake* yang jauh dari permukiman warga ataupun pertanian. Menurut Effendi (2003) bahwa konsentrasi nitrat-nitrogen yang lebih dari 0,2 mg/L dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan dan selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*).

13. Amonia

Konsentrasi amonia di *pit lake* Paringin sebesar 0,05-078 mg/L. Dimana hasil semua sampel berada di bawah ambang batas baku mutu untuk budidaya perikanan kecuali sampel pada inpit pond 1 pada kedalaman 5 m, hasil menunjukkan konsentrasi amonia melebihi nilai ambang batas baku mutu untuk parameter amonia. Dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu amonia untuk sungai kelas satu adalah sebesar 0,5 mg/L sedangkan untuk kelas dua tidak terdapat baku mutu. Menurut Effendi (2003) konsentrasi amonia total di perairan yang dapat diterima oleh ikan berada di bawah 0,2 mg/L. Ammonia dapat bersifat toksik bagi biota jika kadarnya melebihi ambang batas maksimum. Kadar ammonia yang tinggi dapat diindikasikan adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, limbah industri, maupun limpasan pupuk pertanian (Effendi, 2003).

14. Fosfat PO₄

Kandungan fosfat yang terukur di perairan *pit lake* ini berkisar 0,012–0,029 mg/L, yang masih berada di bawah ambang batas baku mutu air berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 0,2 mg/L. Perairan yang memiliki kandungan fosfat yang cukup tinggi akan mengakibatkan pencemaran dan menyebabkan

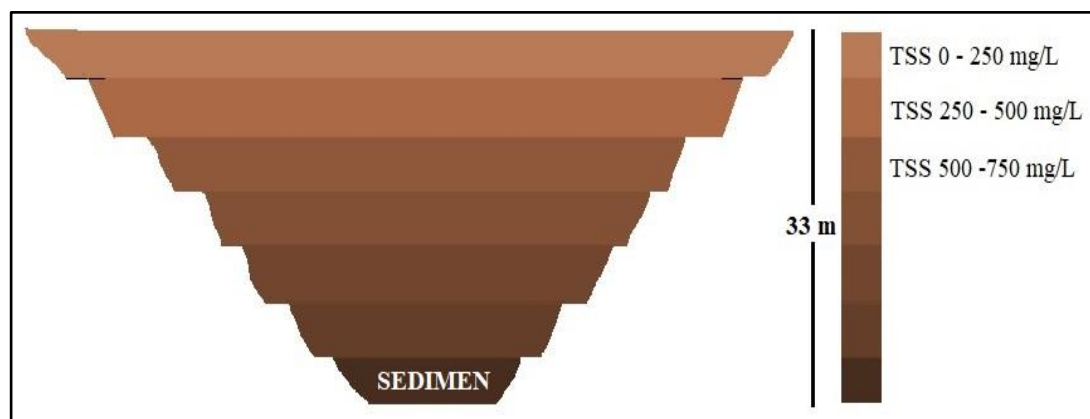
eutrofikasi (Effendi 2003). Kandungan PO_4 yang rendah di *pit lake* ini dikarenakan lokasinya yang jauh dari permukiman warga ataupun pertanian .

15. Suhu

Hasil pengukuran suhu air di tiga stasiun penelitian berkisar 21,2–23,4°C. Nilai ini berada dalam kisaran normal. Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001, tentang baku mutu air golongan B (untuk kegiatan perikanan), maka suhu air *pit lake* Paringin masih berada dalam kisaran yang ditetapkan. Suhu perairan berperan mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Perubahan suhu permukaan dapat berpengaruh terhadap proses fisik, kimia dan biologi di perairan tersebut. Peningkatan suhu menyebabkan peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba (Effendi, 2003).

16. TSS

Nilai TSS berkisar 198-612 mg/L. Nilai ini telah melampaui ambang batas baku mutu air berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 yaitu 50 mg/L. Nilai TSS yang tinggi disebabkan oleh massa air yang terbawa dari *run off* pada saat hujan banyak mengandung lumpur.



Gambar 5.7 Ilustrasi Distribusi Parameter TSS *Pit Lake* Paringin

Dari gambar 5.7 dapat disimpulkan bahwa semakin dalam *pit lake* maka nilai TSS akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan terjadi pengendapan pada *pit lake* tersebut. Hal ini sejalan dengan perhitungan *retention time pit lake* Paringin merupakan *pit lake* yang memiliki waktu tinggal air cukup lama yang dapat memberikan peluang bagi bahan tersuspensi dalam proses pengendapan.

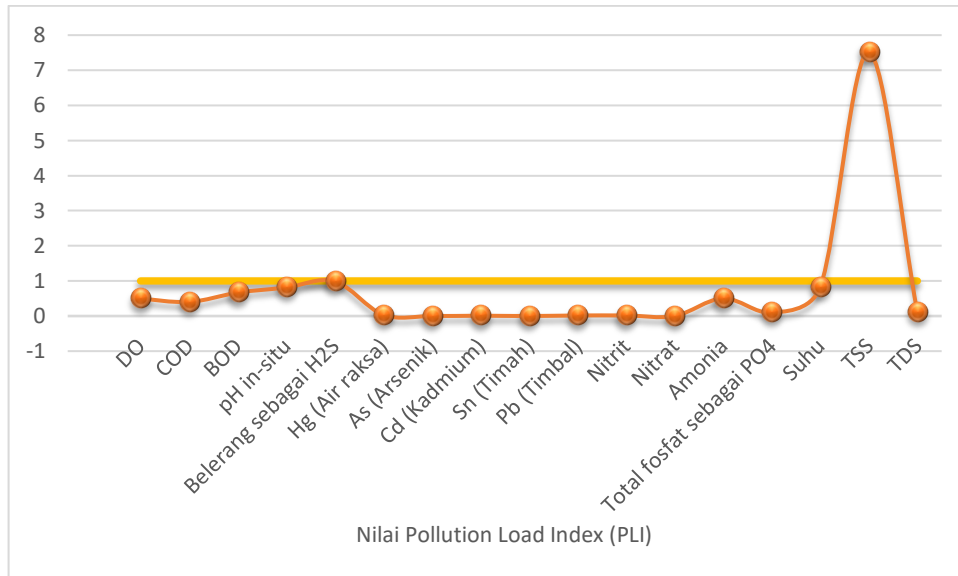
TSS berperan sebagai penentu nilai kejernihan air yang dapat mempengaruhi kedalaman *eufotik*, sehingga secara tidak langsung memengaruhi produktivitas perairan. Menurut Effendi (2003), TSS dapat menghambat penetrasi cahaya ke perairan, sehingga menurunkan aktivitas fotosintesis.

17. TDS

TDS yang terukur di *pit lake* Paringin adalah 95-101 mg/L yang masih berada di bawah ambang batas baku mutu air berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 1000 mg/L. Menurut Chandra et al. (2012) bahwa dalam air alami terdapat padatan terlarut yang terutama terdiri dari karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, kalium, besi, dan mangan.

Hasil perhitungan dengan menggunakan Metode Storet dan mengklasifikasikan mutu air dengan menggunakan nilai dari US-EPA diperoleh hasil status mutu air pada *pit lake* Paringin sebesar - 7 dan disimpulkan bahwa status mutu air di *pit lake* tersebut berada pada "Kelas B atau cemar ringan". Hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia dan kegiatan industri yang dapat menyebabkan pencemaran di *pit lake* Paringin masih rendah. Posisi *pit lake* Paringin di daerah pertambangan batubara juga menyebabkan sumber pencemar hanya pada kegiatan penambangan saja. Dengan demikian, *pit lake* ini dapat dikatakan cukup layak untuk kehidupan biota perairan.

Indeks Beban pencemaran (*PLI*) menunjukkan secara umum keadaan toksisitas sampel untuk unsur-unsur yang dipertimbangkan (Tomlinson dkk., 1980). Dari hasil perhitungan nilai *PLI* yang tertinggi adalah parameter *TSS* sebesar 7,512 hal ini menunjukkan *TSS* merupakan sumber pencemar pada *pit lake* Paringin. Hal ini berdasarkan batas $PLI > 1$ menunjukkan tercemar sedangkan $PLI < 1$ berarti tidak tercemar.



Gambar 5.8 Nilai *Pollution Load Index*

Pit lake Paringin telah dimanfaatkan salah satunya sebagai sumber untuk pembudidayaan dan pembibitan Nila BEST. Selain itu telah dilakukan juga uji coba budidaya ikan lokal seperti Jelawat, Lais, Papuyu, Haruan, Kalui, Dan Tauman. Sehingga pemanfaatan akhir *pit lake* paringin ditujukan sebagai budidaya perikanan. Pada saat ini, budidaya ikan yang dilakukan di kolam ikan menggunakan sistem pipa monik. Sistem ini, mendesain pintu *outlet* dirancang agar menjaga kualitas air kolam tetap baik dan meminimalkan sedimentasi di dasar kolam. Hal ini dilakukan karena dari hasil pengukuran kualitas air *pit lake* Paringin parameter yang tercemar adalah nilai TSS yang tinggi. Dengan sistem ini maka TSS akan tersaring sebelum masuk ke dalam kolam pemanfaatan ikan.

Berdasarkan perhitungan kuantitas *pit lake* Paringin, volume air yang masuk lebih besar daripada volume yang keluar sehingga air akan terus dapat mengalir setiap bulan nya dari *pit lake* Paringin dan dialirkan ke kolam ikan dan *settling pond*.

PT Adaro Indonesia dalam pengelolaan air menggunakan *settlingpond*. Hasil dari pemantauan air pada keluaran *settlingpond* menunjukkan nilai parameter TSS berada di bawah ambang batas baku mutu air yaitu 27 mg/L. Pada saat pascatambang untuk menjaga kualitas *pit lake* Paringin agar dapat sesuai dengan baku mutu lingkungan dapat dilakukan pengelolaan kualitas air secara pasif menggunakan *wetland* yang berfungsi untuk mengurangi nilai TSS sebelum dibuang ke perairan sungai.

5.4 Pembuktian Hipotesis

Bab IV (Hasil Penelitian), Bab V (Pembahasan) dan Bab VI (Kesimpulan dan Saran) dapat menjelaskan pembuktian hipotesis yang diusulkan sebagai berikut:

- a. Besaran debit hasil simulasi model Mock setiap bulan dipengaruhi oleh tinggi rendahnya nilai presipitasi, semakin kecil nilai presipitasi maka akan kecil debit air pada *pit lake*.

Hasil simulasi model Mock didapat besaran debit tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 0,150 mm/detik. Hal ini berbanding lurus dengan nilai presipitasi yang tinggi pada bulan tersebut yaitu sebesar 332,2 mm/bulan sedangkan debit terendah terjadi pada bulan September yaitu sebesar 0,065 mm/detik dengan nilai presipitasi 105,5 mm/bulan.

- b. Kondisi morfometri *pit lake* berpengaruh terhadap penyebaran kualitas pada *pit lake* tersebut.

Kedalaman *pit lake* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas air tersebut. Berdasarkan hasil dari kondisi morfometri *pit lake* Paringin merupakan *pit lake* memiliki tingkat stabilitas stratifikasi yang tinggi dan *pit lake* yang tidak mudah mengalami pengadukan oleh angin. Air pada *pit lake* mencampur sebagian, pada lapisan paling dalam tidak bercampur karena kerapatan air yang tinggi disebabkan oleh substansi terlarut atau karena dilindungi dari efek angin. Hal ini dapat dibuktikan dari kondisi kualitas air *pit lake* yang nilainya berbeda dari setiap kedalaman (0 m, 5 m dan 10 m) sampel yang diambil, beberapa parameter tersebut ialah DO, pH, Amonia, PO₄, suhu, dan TSS.

- c. Pencemaran kualitas air pada *pit lake* dipengaruhi oleh aktivitas industri pada daerah tersebut.

Hasil perhitungan dengan menggunakan Metode Storet dan PLI, dapat disimpulkan bahwa status mutu air di *pit lake* tersebut berada pada tercemar ringan. Hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia dan kegiatan industri yang dapat menyebabkan pencemaran di *pit lake* Paringin masih rendah. Posisi *pit lake* Paringin di daerah pertambangan batubara juga menyebabkan sumber pencemar hanya pada kegiatan penambangan saja.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

1. Volume air pada *pit lake* Paringin sebesar 2.751.039 m³, hasil analisis volume *inflow* dan volume *outflow* pada *pit lake* Paringin menunjukkan bahwa rata-rata volume *inflow* 204.957 m³ nilai ini lebih besar dibandingkan rata-rata volume *outflow* sebesar 148.437 m³.
2. Karakteristik morfometri *pit lake* Paringin yang diperoleh dari penelitian ini yaitu luas *pit lake* 19,5 Ha dengan kedalaman maksimum 33 m, waktu tinggal air 303 hari, perkembangan volume *pit lake* Paringin 1,25 dan kedalaman relatif sebesar 6,6 % yang berarti *pit lake* Paringin memiliki stabilitas tinggi dan tidak mudah mengalami pengadukan.
3. Status mutu air di *pit lake* Paringin berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 untuk pembudidayaan ikan air tawar menunjukkan tercemar ringan hal ini dikarenakan *pit lake* Paringin berada jauh dari kegiatan industri, sedangkan hasil perhitungan nilai PLI yang tertinggi adalah parameter TSS sebesar 7,512 hal ini menunjukkan TSS merupakan sumber pencemar pada *pit lake* Paringin.

6.2 SARAN

1. Diperlukan kajian lebih mendalam mengenai pengaruh kondisi morfometri terhadap kualitas air *pit lake* dikarenakan pada penelitian ini sampel kualitas air yang digunakan hanya dalam satu waktu, sehingga belum dapat mempresentasikan hasil yang optimal terhadap kondisi kualitas air *pit lake* tersebut setiap bulan nya.
2. Pada saat pascatambang untuk menjaga kualitas *pit lake* Paringin agar dapat sesuai dengan baku mutu lingkungan dapat dilakukan pengelolaan kualitas air secara pasif menggunakan *wetland* yang berfungsi untuk mengurangi nilai TSS sebelum dibuang ke perairan sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyano, AI. 2016. Penentuan Nilai Mutu Air Permukaan Pada Lahan Pasca Tambang Rakyat Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. *KURVATEK* Vol.1 . No. 2, November 2016, pp.73-79 ISSN: 2477-7870.
- Anonim. 2011. *Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL) PT Adaro Indonesia*.
- Anonim. 2012. *Dokumen Rencana Pascatambang PT Adaro Indonesia*.
- Anonim. 2018. *Adendum Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL) PT Adaro Indonesia*.
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengeolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Azwir. 2006. Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar. *Tesis*. Semarang: Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Undip Semarang.
- Barroso, GF., M. A. Goncalves, dan F. C. Garcia. 2014. The Morphometry of Lake Palmas, a Deep Natural Lake in Brazil. *Plos One* 9(11):1–13.
- Boehrer, B dan Martin Schultze. 2008. Stratification Of Lakes. *Reviews of Geophysics*, 46, RG2005 / 2008 1 of 27. Paper number 2006RG000210
- Bhattacharya, J. Islam, M., dan Cheong, Y.W. 2006. Microbial growth and action: implications for passive bioremediation of acid mine drainage. *Mine Water Environ.* 25 (4), 233-240.
- Blaney, H. F. dan Criddle, W. D. 1950. *Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological Irrigation Data*. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tech. Pap. No. 96, 48 pp
- Blowes, D. W., C. Ptacek, S. G. Benner, C. W. T. McRae, T. A. Bennett, dan R. W. Puls. 2000. Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers, *J. Contam. Hydrol.* 45, 123-137.
- Budiarti A, Kusreni, dan Musinah A. 2010. Analisis Kandungan Logam Berat timbal (Pb), dan Kadnium (Cd) dalam udang putih (*Litopenaecus vannamei*). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Farmasi. Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Bwapwa, JK, AT Jaiyeola, dan R Chetty. 2017. Bioremediation of Acid mine drainage using algae strains: A riview South African. *Journal of Chemical Engeneering*, (24), 62-70.

- Castro, J. M., dan J. N. Moore. 2000. Pit lakes: their characteristics and the potential for their remediation. *Environ. Geol.* 39, 1254-1260.
- Castendyk, D.N., dan Eary, T. 2009. The Nature and Global Distribution of Pit Lakes. In, Castendyk, D.; Eary, T. & Park, B. (eds.) *Society for Mining Engineering (SME)*, Kentucky, USA, 1-11pp.
- Castendyk, D.N., L.S. Balistrieri., C. Gammons dan N. Tucci. 2014. Modeling and management of pit lake water chemistry 2: Case studies. *Applied Geochemistry*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/apgeochem.
- Chandra, S., A. Singh dan P. K. Tomar. 2012. Assessment of Water Quality Values in Porur Lake Chennai Hussain Sagar Hyderabad and Vihar Lake Mumbai India. *Chemical Science Transactions*. 1(3). ISSN: 2278-3458/2278-3318
- Cole, G. A. 1983. *Textbook of limnology*. Third Edition. Waveland Press, Inc.USA.
- Doorebos, J., dan W.O. Pruitt. 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements. Irrig. and Drain.* Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy
- Doupé, R.G., dan Lymbery, A.J. 2005. Environmental risks associated with beneficial end uses of mine lakes in southwestern Australia. *Mine Water and the Environment*, Vol. 24(3), pp. 134–138.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Effendi, H., Enan M. Adiwilaga., dan Agustina Sinuhaji. 2011. Pengaruh Percampuran Air Terhadap Oksigen Terlarut Di Sekitar Karamba Jaring Apung, Waduk Cirata, Purwakarta, Jawa Barat. *Ecolab*. vol. 6 No 1 Januari 2012 :1-60.
- Gammons, CH., T. dan Duaine. 2006. Long Term Changes in the Limnology and Geochemistry of the Berkeley Pit Lake, Butte, Montana. *Mine Water and the Environment* 25, 76-85. IMWA Springer-Verlag 2006
- Geller W, Schultze M, Kleinmann RLP, dan Wolkersdorfer C. 2013. Acidic Pit Lakes - Legacies of surface mining on coal and metal ores. *Springer*. Berlin, Germany.
- Guest, R. 2017. *Literature Review Of Global Pit Lakes Pit Lake – Case Studies*. Golder associates
- Gunawan, A., Yuliadi, dan Dudi N.A.,. 2015. Studi Hidrologi Dan Hidrogeologi Untuk Rencana Penambangan Batubara Pt Pacific Global Utama, Kecamatan Tanjung Agung, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. *Prosiding SPeSIA*. Vol 1 No 1.
- Haase, D., Gross, M., Wendt-Potthoff, K. dan Schultze, M. 2009. Deep impact: coping with the consequences of reshaping our landscapes exemplified at

- Open cast mining. *Proceedings of the 8th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*. Skellefteå, Sweden. 1-5pp.
- Hadiani, R., Suyanto, dan Yosephina P., 2015. Rainfall-Discharge Simulation in Bah Bolon Catchment Area by Mock Method, Nreca Method, and Gr2m Method. *Applied Mechanics and Materials*. ISSN: 1662-7482, Vol. 845, pp 24-29. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.845.24>.
- Hakanson, L., 1981. *A Manual of Lake Morphometry*. Springer.
- Hakanson, L. 2005. The Importance of Lake Morphometry and Catchment Characteristic in Limnology – Rangking Based on Statistical Analyses. *Hydrobiologia* 541:117–137.
- Hamuna B., Tanjung R. HR., Suwito, Maury, HK dan Alianto. 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia Di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Volume 16 Issue 1 (2018) : 35-43. ISSN 1829-8907.
- Hartanto, P. 2017. Perhitungan Neraca Air Das Cidanau Menggunakan Metode Thornthwaite. *Ris.Geo.Tam* Vol. 27, No.2, Desember 2017 (213-225). ISSN 0125-9849, e-ISSN 2354-6638
- Hartini, E. 2017. *Modul Hidrologi & Hidrolika Terapan*. Fakultas Kesehatan Program Studi Kesehatan Lingkungan Universitas Dian Nuswantoro Semarang.
- Holzbecher, E, G. Nützmann, G. dan Ginzel. 1999. Water and component mass balances in the catchment of Lake Stechlin. *Proceedings of IUGG 99 Symposium HS4*, Birmingham, July 1999. IAHS Publ. no. 258, 1999.
- ILRI, 1974. *Drainage Principles and Applications*. Wageningen, (The Netherlands).
- Indrayani, E., K. H. Nitimulyo, S. Hadisusanto, dan Rustadi. 2015. Peta batimetri Danau Sentani Papua. *Depik* 4(3):116–120.
- Iriadenta, E. 2016. Kajian strategi pengelolaan dan revitalisasi pemanfaatan sumberdaya perairan void reklamasi tambang/eks penambangan batubara PD. Baramarta Kabupaten Banjar Berbasis Pemberdayaan Masyarakat. *Laporan Penelitian*. Universitas Lambung Mangkurat : Banjarbaru.
- Keputusan Menteri Lingkungan hidup No 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
- Koc J., Cieško C., Janicka R., dan Rochwerger A. 1996. Factors determining mineral forms of nitrogen in the waters of agricultural areas. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 440, 175–183 (in Polish).
- Labu, K. dan Sylwia Lutyńska. 2017. Kinetic models of AMD in the area of post-mining lakes in the eastern part of Muskau Arch. *Procedia Earth and Planetary Science* Vol 17 Hal 948.

- Limantara, LM. 2012. Reliability Performance Of Tambak Pocok Small Dam, Bangkalan Of Indonesia. *Asian Journal Of Natural & Applied Sciences*. ISSN: 2186-8476, ISSN: 2186-8468 Print Vol. 1. No. 2. June 2012.
- Maidie, A., Udayana D., Isriansyah., Almady IF., Susanto A., Sukarti K., Sulistiawaty, Manege I., dan Tular E. 2010. Pemanfaatan Kolam Pengendap Tambang Batubara untuk Budidaya Ikan Lokal dalam Keramba. *J. Ris. Akuakultur*. 5(3), 437-448.
- Martin, AJ, Colin Fraser, dan Donald Dunbar. 2015. Modelling of pit lake filling scenarios using a coupled physical and biogeochemical model. *Proceedings Tailings and Mine Waste 2015 Vancouver, BC, October 26 to 28, 2015*
- Martin, A. J., J. Crusius, J. J. McNee, P. Whittle, R. Pieters, T. F. Pedersen, dan D. Dunbar. 2003. Field-Scale Assessment of Bioremediation Strategies for two Pit Lakes using Limnocorrals. *International Conference on Acid Rock Drainage*, Cairns, Australia, July 2003.
- McCullough, CD, M. Müller, K. Eulitz, dan M.A. Lund. 2011. Modelling a pit lake district to plan for abstraction regime changes. *Proceeding Australian Centre for Geomechanics*, Perth, ISBN 978-0-9870937-1-4
- McCullough, CD,. dan Mark A.Lund. 2010. Mine Voids Management Strategy (IV): Conceptual Models of Collie Basin Pit Lakes Mine Water and Environment Research/Centre for Ecosystem Management Report No. 2010-12. Department of Water (Western Australia)
- McCullough, C.D. dan Mark A.Lund. 2006. Opportunities for sustainable mining pit lakes in Australia. *Mine Water and the Environment*. Vol. 25(4), pp. 220–226.
- McCullough CD, Marchand G, dan Unseld J. 2013. Mine closure of pit lakes as terminal sinks: best available practice when options are limited?. *Mine Water and the Environment* 32: 302-313.
- McCullough, C.D., Hunt, D. dan Evans, L.H. 2009. Sustainable development of open pit mines: creating beneficial end uses for pit lakes, *Mine Pit Lakes: Characteristics, Predictive Modeling, and Sustainability*. D. Castendyk, T. Eary, B. Park (eds), *Society for Mining Engineering (SME)*, Kentucky, USA, pp. 249–268,
- McCullough CD, dan Schultze M. 2015. Riverine flow-through of mine pit lakes: improving both mine pit lake and river water quality values? *Proceedings of the joint International Conference on Acid Rock Drainage ICARD/International Mine Water Association IMWA Congress*. Santiago, Chile. 1903-1912pp.
- Miller, D.J., Semmens, K.J., Viadero Jr., R.C., dan Tierney, A.E. 2004. The resource potential of mining discharge water for aquaculture. *World Aquaculture*, 35: 57-59.

- Mock, F.J., 1973. *Land Capability Appraisal Indonesia : Water Availability Appraisal*. Basic Study Prepared for the FAO/UNDP Land Capability Appraisal Project, AGL : SF/INS/72/011 Basic Study I. Bogor: UNDP-FAO Of The United Nations.
- Mori. S., Jun-Ichi Hamada, Manabu D. Yamanaka, Yasu-Masa Kodama, Masayuki Kawashima, Toyoshi Shimomai, Yoshiaki Shibagaki, Hiroyuki Hashiguchi dan Tien Sribimawati, 2006, Vertical Wind Characteristics In Precipitating Cloud Systems Over West Sumatera, Indonesia, Observed With Equatorial Atmosphere Radar: Case Study Of 23-24 April 2004 During The First Cpea Campaign Period, *Journal Of The Meteorological Society Of Japan*, Vol. 84a, Pp. 113--131
- Muhtadi, A., Yunasfi., M. Ma'rufi., dan A. Rizki . 2017. Morfometri dan Daya Tampung Beban Pencemaran Danau Pondok Lapan di Kabupaten Langkat, Sumatra Utara. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 2017 2(2): 49–63. ISSN : 2477-328X
- Murhartadi E.S. 2015. Morfometri dan Potensi Sumberdaya Air Danau Laukawar. *Jurnal Bumi Indonesia* Vol 4 No 4 tahun 2015.
- Nemerow, N.L., dan Sumitomo, H. 1970. Benefits of Water Quality Enhancement. *Report No, 16110 DAJ*. prepared for the U.S. Environmental Protection Agency.
- Niccoli WL. 2009. Hydrologic characteristics and classifications of pit lakes. In, Mine Pit Lakes: Characteristics, Predictive Modeling, and Sustainability Chap. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME)*, Colorado, USA, 33-43pp
- Omwene. P.I., Mehmet Salim Oncel, Meltem Çelen dan Mehmet Kobya. 2018. Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpas, a stream located in the world's largest borate basin (Turkey). *Chemosphere*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere.
- Pagoray H., dan Ghitarina. 2016. Characteristics of Water Quality of Coal Post-Mining Pool Which Used for Fish Cultivation. *ZIRAA'AH*, 41(2), 276-284.
- Paulo J.C. Favas, Louis E. Martino dan Majeti N.V. Prasad. 2018. Abandoned Mine Land Reclamation - Challenges And Opportunities (Holistic Approach). *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00001-4>
- Penman, H.L. 1948. Natural Evaporation From Open Water, Bare Soil And Grass. *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 193: 120–146.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air

- Pratiwi, N. T. M., E. M. Adiwilaga, J. Basmi, M. Krisanti, O. Hadijah, dan P. K. Wulandari. 2007. Status Limnologi Situ Cilala Mengacu pada Kondisi Parameter Fisika, Kimia dan Biologi Perairan. *Jurnal Perikanan* 9(1):82–94.
- R&D Mine Rehabilitation and Mine Closure Section QHSE Compliance Department PT Adaro Indonesia. 2018. *Pemanfaatan Air Kolam Bekas Tambang Batubara Untuk Pengembangan Ikan Air Tawar*.
- Ridoan. R., Ahmad Muhtadi., dan Pindi Patana. 2016. Morfometri Danau Kelapa Gading Kota Kisaran, Kabupaten Asahan Provinsi Sumatera Utara. *Depik*, 5(2): 77-84. ISSN Cetak: 2089-7790. ISSN Elektronik: 2502-6194
- Rinaldi, A. 2015. Modul Perhitungan Neraca Air “ Studi Kasus Kota Cirebon ”. Program Magister Teknik Airtanah Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan (FITB) Institut Teknologi Bandung
- Sachro., S.S., Sugiyanto., dan Budienny H. 2013. Perkiraan Koefisien-koefisien Karakteristik Daerah Aliran Sungai Krengseng untuk Membangun Kurva-Durasi Debit. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*. Volume 19, No 1, Juli 2013
- Said, N.I. 2014. Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara “Alternatif Pemilihan Teknologi”. *Jurnal Air Indonesia* Vol.7 No. 2, 2014. ISSN 0216-4140
- Santoso, AD. 2018. Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batu bara. *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol. 19, No 1 Hal 89-96.
- Sarwono, J. 2006. Metode penelitian kuantitatif & kualitatif . Yogyakarta : Graha Ilmu
- Sihotang. H., M. Yanuar J. Purwanto, Widiatmaka, dan Sambas Basuni. 2012. Model Konservasi Sumberdaya Air Danau Toba. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol. 2 No. 2 (Desember 2012): 65-72
- Snedecor, G.W., dan Cochran, W.G., 1989. *Statistical Methods*, 8th edn. Iowa State University Press, Ames, IA.
- SNI 6989.57. 2008. Air dan air limbah – Bagian 57: Metoda pengambilan contoh air permukaan
- Soeprobowati, T. R. 2012. Peta Batimetri Rawa Pening. *Bioma* 14(2):75–78.
- Soltani N, Moore F, Keshavarzi B, dan Sharifi R. 2014. Geochemistry of trace metals and rare earth elements in stream water, stream sediments and acid mine drainage from Darrehzar Copper Mine, Kerman, Iran. *Water Qual Expo Health* 6:97–114.
- Soni, AK, Mishra, dan Singh. 2014. Pit lakes as an end use of mining: A review. *Journal of Mining & Environment*, Vol.5, No.2, 2014, 99-111.

- Stefanidis, K dan Eva Papastergiadou. 2012. Relationships Between Lake Morphometry, Water Quality, And Aquatic Macrophytes, In Greek Lakes. *Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 21 – No 10a.
- Straskraba, M., dan J. G. Tundisi. 1999. Guidelines of Lake Management Volume 9, Management of Inland Saline Water. *International Lake Environment Committee Foundation*. Shiga, Jepang: 29–34.
- Sugiyono. 2005. *Metode Penelitian Bisnis*. Alfabeta. Bandung
- Suryono, T., dan Lukman. 2018. Karakteristik Beberapa Parameter Trofik Perairan Kompleks Danau Malili, Sulawesi Selatan. *LIMNOTEK Perairan darat Tropis di Indonesia* 2018 25(2): 46.57
- Szatyłowicz, E., Matulewicz, D. dan Skoczko, I. 2015. Assessment Of Susceptibility To Degradation By Schindler Factor Of Selected Reservoirs In Podlaskie – Part I. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 16, Issue 4, Oct. 2015, pages 81–88. DOI: 10.12911/22998993/59353
- Szoszka H., Kolada A., Gołub M., dan Cydzik M. 2007. The Water Framework Directive in Poland – typology of lakes. establishing reference conditions, methods of assessment and classification on the basis of biological elements – Part 2. 20 March, p. 5 (in Polish).
- Thornthwaite, C. W. 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geog. Review* 38. 55–94
- Tomlinson, D.C., Wilson, J.G., Harris, C.R., dan Jeffery, D.W., 1980. Problems in the Assessment of Heavy Metals Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuch* 33, 566e575.
- Tresnadi, H. 2008. Pengelolaan Air Asam Tambang Di Pit 1 Bangko Barat, Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Lingkungan* Vol. 9 No. 3 Hal. 314-319. ISSN 1441-318X
- Turc, L. 1961. Estimation of Irrigation Water Requirements, Potential Evapotranspiration : A Simple Climatic Formula Evolved Up to Date. *Ann. Agronomy* 12, 13–49.
- Vandenberg, J, Clint McCullough, dan Castendyk, D. 2015. Key issues in Mine Closure Planning Related to Pit Lakes. *International Conference On Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference*.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology Lake and River Ecosystems*. Academic Press. California.
- Wetzel, R. G., dan G. E. Likens. 2000. *Limnological Analysis*. 3rd edition. *Springer Science Business Media New York*.
- Widowati, W., Astiana S. dan Raymond J.R. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. ANDI, Yogyakarta.

Yudo, S. 2010. Kondisi kualitas air Sungai Ciliwung di Wilayah DKI Jakarta ditinjau dari parameter organik, amoniak, fosfat, deterjen dan bakteri coli. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 6(1), 34-42.

LAMPIRAN A
CURAH HUJAN *PIT* PARINGIN

Tabel A.1

Curah Hujan Bulanan Pit Paringin Tahun 2008-2018 (mm/bulan)

TAHUN	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2008	245,91	170,25	381,775	322,075	86	61,1	112,425	109,725	88,9	120,525	330,375	403,8
2009	351,85	266,71	262,58	233,59	121,23	53,56	83,35	92,93	74,25	132,45	207,21	364,15
2010	285,03	189,17	481,71	417,12	169,87	335,84	219,13	190,13	242,12	213,28	60,72	59,62
2011	228,90	211,90	209,20	277,50	201,00	139,50	70,00	101,00	126,30	99,50	447,50	190,60
2012	310,60	293,00	581,60	190,95	38,75	186,00	118,00	80,60	38,40	136,50	148,00	355,02
2013	235,90	173,35	331,30	226,70	76,11	85,00	283,60	125,00	118,00	188,00	247,25	327,20
2014	226,90	241,50	214,20	197,50	219,30	211,00	52,70	75,90	72,60	54,50	283,30	304,15
2015	245,55	300,20	321,93	263,60	99,90	84,60	12,50	24,00	14,30	2,90	211,50	377,50
2016	164,15	425,75	292,65	209,73	202,30	156,10	153,55	101,15	130,00	313,95	256,50	169,15
2017	380,10	186,60	306,20	311,40	546,80	186,80	158,80	219,90	136,10	233,00	441,10	348,10
2018	230,70	348,30	271,50	260,20	103,40	165,00	173,00	90,30	119,50	109,50	293,10	389,90
Maksimal	380,10	425,75	581,60	417,12	546,80	335,84	283,60	219,90	242,12	313,95	447,50	403,80
rata-rata	264,14	255,16	332,24	264,58	169,51	151,32	130,64	110,06	105,50	145,83	266,05	299,02
Minimal	164,15	170,25	209,20	190,95	38,75	53,56	12,50	24,00	14,30	2,90	60,72	59,62

Tabel A.2

Hari Hujan Bulanan Pit Paringin Tahun 2008-2018

TAHUN	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2008	16	17	22	20	8	15	17	17	13	18	23	28
2009	25	19	19	21	19	9	10	9	7	11	22	22
2010	25	15	29	25	22	25	27	22	24	22	23	24
2011	19	19	22	22	15	6	7	6	11	9	21	29
2012	18	20	24	20	9	13	11	8	3	14	19	27
2013	24	21	17	16	19	11	16	11	10	10	18	24
2014	21	15	21	18	21	17	7	12	7	7	17	24
2015	27	19	24	19	13	18	5	6	2	5	19	18
2016	16	24	27	19	20	13	21	7	15	24	18	24
2017	23	17	23	22	25	13	17	17	15	21	21	30
2018	20	22	27	22	14	10	14	7	6	13	25	27
Rata-rata	21	19	23	20	17	14	14	11	10	14	21	25

LAMPIRAN B
SIMULASI MODEL MOCK PIT LAKE PARINGIN

Simulasi hujan-debit model Mock melalui beberapa tahapan. Berikut adalah contoh tahapan perhitungan simulasi pada bulan Januari.

Baris 12

$$\begin{aligned} e_d &= \text{tekanan uap air sebenarnya, dalam mmHg} \\ &= h \times e_a \\ &= 0,845 \times 25,82 \text{ mmHg} \\ &= 21,80 \text{ mm Hg} \end{aligned}$$

Baris 13

$$\begin{aligned} F1 &= \frac{Ax(0,18+(0,55xS))}{(A+0,27)} \\ &= \frac{0,85 \times (0,18 + (0,55 \times 89,5))}{(0,85+0,27)} \\ &= 0,51 \end{aligned}$$

Baris 14

$$\begin{aligned} F2 &= \frac{Ax B(0,56-(0,092x(ed^{0.5})))}{(A+0,27)} \\ &= \frac{0,85 \times 16,3(0,56-(0,092 \times (21,8^{0.5})))}{(0,85+0,27)} \\ &= 1,61 \end{aligned}$$

Baris 15

$$\begin{aligned} F3 &= \frac{(0,27)(0,35)(ea-ed)}{(A+0,27)} \\ &= \frac{(0,27)(0,35)(25,81-21,8)}{(0,85+0,27)} \\ &= 0,34 \end{aligned}$$

Baris 16

$$\begin{aligned} E1 &= F1 \times (1-r) \times R \\ &= 0,51 \times (1-0,4) \times 4,63 \\ &= 1,41 \end{aligned}$$

Baris 17

$$\begin{aligned} E2 &= F2 \times (0,1+(0,9 \times S)) \\ &= 1,61 \times (0,1+(0,9 \times 0,895)) \\ &= 1,46 \end{aligned}$$

Baris 18

$$\begin{aligned} E3 &= F3x(k+0,01w) \\ &= 0,34 \times (1 + (0,01 \times 137,95)) \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

Baris 19

$$\begin{aligned} E_p \text{ (mm/day)} &= E1-E2+E3 \\ &= 1,41 - 1,46 + 0,81 \\ &= 0,76 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

Baris 20

$$\begin{aligned} E_{pm} \text{ (mm/bulan)} &= H_r \times E_p \\ &= 31 \times 0,76 \text{ mm/day} \\ &= 23,65 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

Baris 23

$$\begin{aligned} \Delta E/E_{pm} &= (m/20) \times (18-n) \\ &= (40/20) \times (18-21) \\ &= -6\% \end{aligned}$$

Baris 24

$$\begin{aligned} \Delta E &= (\Delta E/E_{pm}) \times E_{pm} \\ &= (-6/100) \times 23,65 \\ &= -1,42 \text{ (mm/bulan)} \end{aligned}$$

Baris 25

$$\begin{aligned} E \text{ Aktual} &= E_{pm} - \Delta E \\ &= 23,65 - (-1,42) \\ &= 25,07 \text{ (mm/bulan)} \end{aligned}$$

Baris 26

$$\begin{aligned} P-E_a \text{ (mm/month)} & \\ &= 264,14 - 25,07 \\ &= 239,08 \end{aligned}$$

Baris 27

$$\begin{aligned} SMS &= \text{Soil moisture storage} \\ &= ISMS + (P-E_a) \end{aligned}$$

$$= 200 + 239,08$$

$$= 439,08 \text{ mm/bulan}$$

Baris 28

SMC = Soil moisture capacity (kapasitas kelembapan tanah)

SMC = 200 mm/bulan jika $P-Ea > 0$

SMC = SMC bulan sebelumnya + $(P-Ea)$ jika < 0

Dalam satuan (mm/bulan)

Baris 29

SS = Soil Storage, kemampuan tanah untuk menyimpan air

- Jika pada bulan yang ditinjau nilai $P-Ea$ bernilai positif atau SMC bernilai 200 mm/bulan (maksimum) maka soil storage bernilai 0
- Jika $P-Ea$ bulan yang ditinjau bernilai negatif maka soil storage sama dengan $P-Ea$ ini (mm/bulan)

Baris 30

$$\text{Water Surplus (mm/month)} = (P-Ea) - SS$$

$$= 239,08 \text{ mm/bulan} - 0$$

$$= 239,08 \text{ mm/bulan}$$

Baris 32

$$\text{Infiltrasi} = \text{water surplus} \times i_f$$

$$= 239,08 \times 0,4$$

$$= 95,63 \text{ mm/bulan}$$

Baris 35

$$\frac{1}{2} \times (1 + K) \times i$$

$$= 0,5 \times (1 + 0,6) \times 95,63$$

$$= 76,51$$

Baris 36

$$K \times G \text{ som}$$

$$= 0,6 \times 133,02$$

$$= 79,81$$

Baris 37

$$GS = \text{baris 35} + \text{baris 36}$$

$$= 76,51 + 79,81$$

$$= 156,32$$

Baris 38

$$\Delta GS = -G_{som} + GS$$

$$= -133 + 156,32$$

$$= 23,30 \text{ mm/bulan}$$

Baris 39

$$\text{Base Flow} = i - \Delta GS$$

$$= 95,63 \text{ mm/bulan} - 23,30 \text{ mm/bulan}$$

$$= 72,33 \text{ mm/bulan}$$

Baris 40

$$\text{Direct Run Off} = WS - i$$

$$= 239,08 \text{ mm/bulan} - 95,63 \text{ mm/bulan}$$

$$= 143,45 \text{ mm/bulan}$$

Baris 41

$$\text{Storm run off} = P \times PF \quad (\text{jika } P > 200, \text{ SRO}=0)$$

Baris 42

$$\text{Total Run Off} = \text{Bflow} + \text{DRO} + \text{Storm}$$

$$= 72,33 \text{ mm/bulan} + 143,45 \text{ mm/bulan} + 0 \text{ mm/bulan}$$

$$= 215,78 \text{ mm/bulan}$$

Baris 43

$$\text{Flow} = (\text{catchment area} \times \text{TRO}) / \text{Hr}$$

$$= \frac{(1,28 \text{ km}^2 \times 215,78 \text{ mm/bulan})}{31 \times 24 \times 3600}$$

$$= \frac{1.285.845 \text{ m}^2 \times 0,21578 \text{ m}^2/\text{bulan}}{31 \times 24 \times 3600}$$

$$= 0,103 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Proses perhitungan simulasi hujan-debit dengan metode Mock dilakukan terhadap data hujan bulan dan tahun selanjutnya dengan tahapan yang sama. Perhitungan simulasi hujan-debit dengan metode Mock, disajikan dalam Tabel B

Tabel B.

Simulasi Model Mock Pit Lake Paringin

No.	Data meteorologi	unit	Konst.	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nop	Des
1	curah hujan	(P;mm/bln)		264,14	255,16	332,24	264,58	169,51	151,32	130,64	110,06	105,50	145,83	266,05	299,02
2	hari hujan	(n;hari)		21	19	23	20	17	14	14	11	10	14	21	25
3	jumlah hari	(Hr;hari)		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
4	Temperature	(T;°C)		26,39	26,46	26,52	26,64	27,11	26,77	26,71	26,85	27,31	27,24	26,67	26,20
5	penyinaran matahari	(S;%)		89,50	93,20	90,25	90,65	94,20	95,30	94,90	96,25	91,30	88,00	74,60	90,00
6	kelembaban relatif	(h;%)		84,50	82,18	83,25	84,09	84,02	84,16	84,41	82,63	76,97	78,50	84,13	85,79
7	kec.angin	(w;m/d)		137,95	140,00	143,52	120,16	119,38	115,52	102,37	123,82	110,35	68,96	67,37	101,49
	evapotranspirasi potensial														
8	radiasi matahari	(R;mm/hari)		4,63	4,75	4,84	4,82	4,37	4,11	4,21	4,26	4,76	4,60	4,70	4,60
9	A	(mm Hg/°F)		0,85	0,85	0,85	0,86	0,88	0,86	0,86	0,87	0,89	0,88	0,86	0,84
10	B	(mm H ₂ O/hari)		16,30	16,32	16,33	16,36	16,48	16,39	16,38	16,41	16,53	16,51	16,37	16,25
11	ea	(mm Hg)		25,81	25,92	26,00	26,20	26,93	26,39	26,30	26,52	27,24	27,12	26,24	25,51
12	ed = h x ea	(mm Hg)		21,80	21,30	21,65	22,03	22,62	22,21	22,20	21,92	20,96	21,29	22,08	21,88
13	$F1 = Ax(0.18+(0.55xS))/(A+0.27)$	(T;S)		0,51	0,53	0,51	0,52	0,53	0,54	0,53	0,54	0,52	0,51	0,45	0,51
14	$F2 = AxB(0.56-(0.092x(ed^{0.5}))/A+0.27)$	(T;h)		1,61	1,68	1,64	1,59	1,54	1,58	1,58	1,62	1,76	1,71	1,59	1,59
15	$F3 = (0.27)(0.35)(ea-ed)/(A+0.27)$	(T;h)		0,34	0,39	0,37	0,35	0,35	0,35	0,34	0,38	0,51	0,48	0,35	0,31
15a	Reflection Coefficient	(r)		0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
16	$E1 = F1x(1-r)xR;$			1,41	1,50	1,49	1,49	1,40	1,32	1,35	1,38	1,49	1,40	1,27	1,41
17	$E2 = F2x(0.1+(0.9xS))$			1,46	1,57	1,49	1,46	1,46	1,51	1,50	1,56	1,62	1,53	1,23	1,45
18	$E3 = F3x(k+0.01w);$ k=		1,00	0,81	0,94	0,89	0,77	0,78	0,75	0,69	0,86	1,08	0,81	0,58	0,62
19	Ep (mm/day) = $E1-E2+E3$	(mm/hari)		0,76	0,86	0,89	0,80	0,71	0,56	0,54	0,68	0,95	0,68	0,62	0,58
20	Epm (mm/month) = $HrxEp$	(mm/bulan)		23,65	24,11	27,72	24,00	22,13	16,87	16,70	20,95	28,58	21,20	18,74	18,03
	Evapotranspirasi terbatas														
21	Exposed Surface	(m;%)		40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
22	jumlah hari hujan	(n)		21	19	23	20	17	14	14	11	10	14	21	25
23	$\Delta E/Epm = (m/20)(18-n)$	(%)		-6,00	-2,00	-10,00	-4,00	2,00	8,00	8,00	14,00	16,00	8,00	-6,00	-14,00
24	ΔE	(mm/bulan)		-1,42	-0,48	-2,77	-0,96	0,44	1,35	1,34	2,93	4,57	1,70	-1,12	-2,52
25	E aktual = $Epm - \Delta E$	(mm/bulan)		25,07	24,59	30,49	24,96	21,68	15,52	15,36	18,02	24,01	19,50	19,87	20,55

Lanjutan Tabel B.

	Water Surplus														
26	P-Ea (mm/month)	(mm/bulan)		239,08	230,56	301,75	239,62	147,83	135,80	115,28	92,04	81,49	126,33	246,18	278,46
27	SMS = ISM+(P-Ea);	(mm/bulan)		439,08	430,56	501,75	439,62	347,83	335,80	315,28	292,04	281,49	326,33	446,18	478,46
28	SMC (soil moisture capacity) ISMC		200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
29	Soil Storage (jika P-Ea \geq 0, SS =0)	(mm/bulan)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	Water Surplus (mm/month); [(26)-(29)]	(mm/bulan)		239,08	230,56	301,75	239,62	147,83	135,80	115,28	92,04	81,49	126,33	246,18	278,46
	Run Off & Ground. Stor. (mm/month)														
31	Infiltration Coefficient	(if)		0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
32	Infiltrasi; (30)x if,	(i;mm/bulan)		95,63	92,23	120,70	95,85	59,13	54,32	46,11	36,82	32,60	50,53	98,47	111,38
33	Konstanta resesi aliran	(K)		0,60	0,35	0,25	0,30	0,37	0,31	0,50	0,47	0,40	0,35	0,60	0,47
34	Percentage Factor	(PF)		0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
35	1/2 x (1 + K) x i			76,51	62,25	75,44	62,30	40,51	35,58	34,58	27,06	22,82	34,11	78,78	81,87
36	Kx(Gsom);			79,81	54,71	29,24	31,40	34,67	23,30	29,44	30,09	22,86	15,99	30,06	51,15
37	GS [(35)+(36)] Gsom		133,02	156,32	116,96	104,68	93,70	75,18	58,88	64,03	57,15	45,68	50,10	108,84	133,02
38	Δ GS = -Gsom + GS	(mm/bulan)		23,30	-39,35	-12,29	-10,97	-18,53	-16,29	5,14	-6,87	-11,47	4,42	58,74	24,18
39	Base Flow = i- Δ GS	(mm/bulan)		72,33	131,58	132,99	106,82	77,66	70,61	40,97	43,69	44,07	46,11	39,73	87,20
40	Direct Run Off = WS-i	(mm/bulan)		143,45	138,34	181,05	143,77	88,70	81,48	69,17	55,22	48,89	75,80	147,71	167,08
41	Storm run off = PxPF (jika P > 200, SRO=0)	(mm/bulan)		0,00	0,00	0,00	0,00	62,72	55,99	48,34	40,72	39,03	53,96	0,00	0,00
42	Total Run Off = BFlow+DRO+Storm	(mm/bulan)		215,78	269,92	314,03	250,59	229,08	208,08	158,47	139,64	132,00	175,87	187,44	254,28
	Validation against catchment area														
43	Catchment Area	(km ²)		1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
44	Flow	(m ³ /second)		0,103	0,143	0,150	0,124	0,109	0,103	0,076	0,067	0,065	0,084	0,093	0,122
45	Debit Pengukuran	(m ³ /second)		0,127	0,173	0,257	0,145	0,138	0,122	0,055	0,078	0,077	0,098	0,083	0,219

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN EVAPORASI

Perhitungan besaran evaporasi menggunakan rumus Ilri : 1974 sebagai berikut :

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a)$$

Dimana:

E = evaporasi (mm/hari)

e.w = tekanan uap jenuh dengan temperatur sama dengan temperatur air (milibar)

e.a = tekanan uap air di udara (milibar)

V = kecepatan angin rata-rata dalam sehari

Perhitungan Evaporasi

1. Januari

$$\begin{aligned} E &= 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a) \\ &= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 137,95) (25,81 - 21,80) \\ &= 162,2 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

2. Februari

$$\begin{aligned} E &= 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a) \\ &= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 140) (25,92 - 21,30) \\ &= 190,0 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

3. Maret

$$\begin{aligned} E &= 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a) \\ &= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 143,52) (26,00 - 21,65) \\ &= 183,6 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

4. April

$$\begin{aligned} E &= 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a) \\ &= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 120,16) (26,20 - 22,03) \\ &= 147,5 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

5. Mei

$$\begin{aligned} E &= 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a) \\ &= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 119,38) (26,93 - 22,62) \\ &= 151,3 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

6. Juni

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (e_w - e_a)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 115,52) (26,39 - 22,21)$$

$$= 142,3 \text{ mm/bulan}$$

7. Juli

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (ew - ea)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 102,37) (26,3 - 22,2)$$

$$= 123,9 \text{ mm/bulan}$$

8. Agustus

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (ew - ea)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 123,82) (26,52 - 21,92)$$

$$= 167,9 \text{ mm/bulan}$$

9. September

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (ew - ea)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 110,35) (27,24 - 20,96)$$

$$= 204,1 \text{ mm/bulan}$$

10. Oktober

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (ew - ea)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 68,96) (27,12 - 21,29)$$

$$= 119,6 \text{ mm/bulan}$$

11. November

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (ew - ea)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 67,37) (26,24 - 22,08)$$

$$= 83,5 \text{ mm/bulan}$$

12. Desember

$$E = 0,484 (1 + 0,6 V) (ew - ea)$$

$$= 0,484 (1 + 0,6 \cdot 101,49) (25,51 - 21,88)$$

$$= 108,6 \text{ mm/bulan}$$

LAMPIRAN D
GROUNDWATER INFLOW

Area Paringin	Debit Air Tanah (L/Bulan)											
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
1T100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2T100	65.591,8	60.327,8	62.650,0	62.650,0	52.073,3	0	0	0	0	0	0	0
3T100	36.000	73.440	25.600	25.600	25.600	0	0	0	0	0	0	36.639
4T100	0	0	0	0	30.021	27.110	31.007	34.746	24.837	56.536	24.941	0
5 T110	19.020	16.334	16.334	16.334	16.334	0	0	0	0	0	0	0
6 T110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 T110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 T200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 T200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 T200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 T120	2.220	1.633	1.633	.1633	1.633	0	0	0	0	0	0	0
12 T120	21.416	20.494	20.494	20.494	20.494	0	0	0	0	0	0	0
13 T120	3.006,9	6.682,4	6.697,7	6.222,4	6.222,4	15.600	9.000	4.889	10.609	8.000	10.747	0
14 T130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 T130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 T130	0	0	0	0	0	0	11122	11122	0	0	0	0
Total	147.255	178.911	133.409	132.933	152.378	42.710	51.129	50.757	35.446	64.536	35.688	36.639

LAMPIRAN E
SURFACE OUT FLOW PIT LAKE PARINGIN

Bulan	Surface outflow (m³/detik)
Januari	0,041
Februari	0,073
Maret	0,091
April	0,042
Mei	0,048
Juni	0,034
Juli	0,026
Agustus	0,016
September	0,020
Oktober	0,030
November	0,041
Desember	0,060

LAMPIRAN F
PERHITUNGAN VOLUME AIR MASUK DAN AIR KELUAR *PIT LAKE*
PARINGIN

Perhitungan besaran volume air yang masuk yang terdiri dari data presipitasi, *surface inflow* dan *groundwater inflow*, sedangkan besaran volume air yang keluar terdiri dari data evapotranspirasi, evaporasi, infiltrasi dan *surface outflow*. Data yang diperlukan untuk menghitung besaran volume yaitu nilai besaran dari presipitasi, *surface inflow*, *groundwater inflow*, evapotranspirasi, evaporasi, infiltrasi dan *surface outflow*. Data tersebut di dapat dari simulasi model Mock dan data sekunder yang diperoleh di lapangan. Selain data diatas diperlukan juga data luas *catchment area pit lake* Paringin dan luas *pit lake* Paringin. Berikut nilai besaran presipitasi, evapotranspirasi, evaporasi, infiltrasi, *surface inflow*, *groundwater inflow* dan *surface outflow*.

Tabel F.1

Nilai Presipitasi, Evapotranspirasi, Evaporasi, Infiltrasi, dan *Run Off* Pada *Pit Lake* Paringin Tahun 2008-2018

Bulan	Hari hujan	Presipitasi (mm/bulan)	Evapotranspirasi (mm/bulan)	Evaporasi (mm/bulan)	Infiltrasi (mm/bulan)	<i>Surface inflow</i> (m ³ /detik)	<i>GW Inflow</i> (L/bulan)	<i>Surface out flow</i> (m ³ /detik)
		<i>pit lake</i>	DTH- <i>pit lake</i>	<i>pit lake</i>	DTH	DTH	<i>pit lake</i>	<i>pit lake</i>
Januari	21	264,14	25,07	162,21	95,63	0,103	147.255	0,041
Februari	19	255,16	24,59	190,04	92,23	0,143	178.911	0,073
Maret	23	332,24	30,49	183,59	120,70	0,150	133.409	0,091
April	20	264,58	24,96	147,49	95,85	0,124	132.933	0,042
Mei	17	169,51	21,68	151,28	59,13	0,109	152.378	0,048
Juni	14	151,32	15,52	142,27	54,32	0,103	42.710	0,034
Juli	14	130,64	15,36	123,90	46,11	0,076	51.129	0,026
Agustus	11	110,06	18,02	167,88	36,82	0,076	50.757	0,016
September	10	105,50	24,01	204,09	32,60	0,065	35.446	0,020
Oktober	14	145,83	19,50	119,56	50,53	0,084	64.536	0,030
November	21	266,05	19,87	83,47	98,47	0,093	35.688	0,041
Desember	25	299,02	20,55	108,59	111,38	0,122	36.639	0,060

Keterangan Tabel F.1 :

1. Kolom presipitasi data tersebut diperoleh dari data total curah hujan setiap bulan pada tahun 2008-2018 pada Lampiran A (Tabel A.1)

2. Kolom evapotranspirasi data tersebut diperoleh dari perhitungan simulasi model Mock pada Lampiran B (Tabel B, baris ke 20)
3. Kolom evaporasi data tersebut diperoleh dari perhitungan Metode Ilri (1974) yang dapat dilihat pada Lampiran C
4. Kolom infiltrasi data tersebut diperoleh dari perhitungan simulasi model Mock pada Lampiran B (Tabel B, baris ke 32)
5. Kolom *surface inflow* data tersebut diperoleh dari perhitungan simulasi model Mock pada Lampiran B (Tabel B, baris ke 44)
6. Kolom *groundwater inflow* data tersebut diperoleh dari data sekunder di lapangan yang dapat dilihat pada Lampiran D
7. Kolom *surface out flow* data tersebut diperoleh dari data sekunder di lapangan yang dapat dilihat pada Lampiran E

Diketahui

- Luas *catchment area* : 1.285.845 m²
- Luas *pit lake* Paringin : 195.553 m²

Berikut adalah contoh tahapan perhitungan besaran volume air yang masuk dan keluar pada bulan Januari:

1. Volume presipitasi

$$\begin{aligned}
 \text{Volume presipitasi} &= \text{besaran presipitasi} \times \text{luas } \textit{pit lake} \\
 &= 264,14 \text{ mm/bulan} \times 195.553 \text{ m}^2 \\
 &= 0,264 \text{ m/bulan} \times 195.553 \text{ m}^2 \\
 &= 51.654 \text{ m}^3/\text{bulan}
 \end{aligned}$$

2. Volume evapotranspirasi

$$\begin{aligned}
 \text{Volume evapotranspirasi} &= \text{besaran evapotranspirasi} \times (\text{Luas } \textit{catchment area} - \\
 &\quad \text{luas } \textit{pit lake}) \\
 &= 25,07 \text{ mm/bulan} \times (1.285.845 \text{ m}^2 - 195.553 \text{ m}^2) \\
 &= 0,025 \text{ m/bulan} \times 1.090.292 \text{ m}^2 \\
 &= 27.329 \text{ m}^3/\text{bulan}
 \end{aligned}$$

3. Volume evaporasi

$$\text{Volume evaporasi} = \text{besaran evaporasi} \times \text{luas } \textit{pit lake}$$

$$\begin{aligned}
&= 162,21 \text{ mm/bulan} \times 195.553 \text{ m}^2 \\
&= 0,162 \text{ m/bulan} \times 195.553 \text{ m}^2 \\
&= 31.720 \text{ m}^3/\text{bulan}
\end{aligned}$$

4. Volume infiltrasi

$$\begin{aligned}
\text{Volume infiltrasi} &= \text{besaran infiltrasi} \times \text{luas } catchment \text{ area} \\
&= 95,63 \text{ mm/bulan} \times 1.285.845 \text{ m}^2 \\
&= 0,095 \text{ m/bulan} \times 1.285.845 \text{ m}^2 \\
&= 122.967 \text{ m}^3/\text{bulan}
\end{aligned}$$

5. Volume *surface inflow*

$$\begin{aligned}
\text{Volume } surface \text{ inflow} &= \text{besaran } surface \text{ inflow} \times 3600 \times 24 \times \text{hari hujan} \\
&= 0,103 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \times 24 \times 21 \\
&= 187.103 \text{ m}^3/\text{bulan}
\end{aligned}$$

6. *Groundwater inflow*

$$\begin{aligned}
\text{Groundwater inflow} &= 147.255 \text{ liter/bulan} \\
&= 147 \text{ m}^3/\text{bulan}
\end{aligned}$$

7. *Surface outflow*

$$\begin{aligned}
\text{Surface outflow} &= \text{besaran } surface \text{ outflow} \times 3600 \times 24 \times \text{hari hujan} \\
&= 0,041 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \times 24 \times 21 \\
&= 74.753 \text{ m}^3/\text{bulan}
\end{aligned}$$

Proses perhitungan besaran volume air yang masuk dan keluar setiap bulan selanjutnya dilakukan perhitungan dengan tahapan yang sama. Perhitungan besaran volume presipitasi, evapotranspirasi, evaporasi, infiltrasi, *surface inflow*, *groundwater inflow* dan *surface outflow pit lake* Paringin, disajikan dalam Tabel F.2, sedangkan total volume air yang masuk pada *pit lake* Paringin disajikan dalam Tabel F.3 dan total volume air yang keluar pada *pit lake* Paringin disajikan dalam Tabel F.4.

Tabel F.2

Besaran Volume Presipitasi, Evapotranspirasi, Evaporasi, Infiltrasi, *Surface Inflow*, *Groundwater Inflow* dan *Surface Outflow Pit Lake* Paringin

Bulan	Hari hujan	Presipitasi (m ³ /bulan)	Evapotranspirasi (m ³ /bulan)	Evaporasi (m ³ /bulan)	Infiltrasi (m ³ /bulan)	<i>Surface inflow</i> (m ³ /bulan)	<i>GW Inflow</i> (m ³ /bulan)	<i>Surface outflow</i> (m ³ /bulan)
		<i>pit lake</i>	DTH- <i>pit lake</i>	<i>pit lake</i>	DTH	DTH	<i>pit lake</i>	<i>pit lake</i>
Januari	21	51.654	27.329	31.720	122.967	187.103	147	74.753
Februari	19	49.897	26.814	37.163	118.588	234.443	179	120.099
Maret	23	64.971	33.244	35.902	155.201	298.232	133	181.233
April	20	51.739	27.211	28.841	123.246	213.840	133	72.922
Mei	17	33.149	23.641	29.583	76.035	160.799	152	70.209
Juni	14	29.591	16.922	27.822	69.846	124.292	43	41.368
Juli	14	25.547	16.751	24.229	59.292	91.608	51	31.571
Agustus	11	21.522	19.644	32.829	47.340	71.978	51	14.826
September	10	20.630	26.176	39.910	41.913	56.319	35	17.170
Oktober	14	28.517	21.261	23.381	64.975	101.662	65	36.530
November	21	52.027	21.660	16.322	126.622	167.950	36	74.935
Desember	25	58.474	22.410	21.235	143.224	262.480	37	129.168

Tabel F.3

Volume Air Yang Masuk *Pit Lake* Paringin

Bulan	Presipitasi (m ³ /bulan)	<i>Surface inflow</i> (m ³ /bulan)	<i>GW Inflow</i> (m ³ /bulan)	Total volume air masuk (m ³ /bulan)
Januari	51.654	187.103	147	238.905
Februari	49.897	234.443	179	284.519
Maret	64.971	298.232	133	363.335
April	51.739	213.840	133	265.712
Mei	33.149	160.799	152	194.100
Juni	29.591	124.292	43	153.926
Juli	25.547	91.608	51	117.206
Agustus	21.522	71.978	51	93.550
September	20.630	56.319	35	76.984
Oktober	28.517	101.662	65	130.243
November	52.027	167.950	36	220.012
Desember	58.474	262.480	37	320.991

Tabel F.4

Volume Air Yang Keluar *Pit Lake* Paringin Tanpa Memperhitungkan *surface outflow*

Bulan	Evapotranspirasi (m ³ /bulan)	Evaporasi (m ³ /bulan)	Infiltrasi (m ³ /bulan)	Total volume air keluar (m ³ /bulan)
Januari	27.329	31.720	122.967	182.017
Februari	26.814	37.163	118.588	182.565
Maret	33.244	35.902	155.201	224.347
April	27.211	28.841	123.246	179.298
Mei	23.641	29.583	76.035	129.259
Juni	16.922	27.822	69.846	114.590
Juli	16.751	24.229	59.292	100.271
Agustus	19.644	32.829	47.340	99.813
September	26.176	39.910	41.913	107.998
Oktober	21.261	23.381	64.975	109.618
November	21.660	16.322	126.622	164.605
Desember	22.410	21.235	143.224	186.869

LAMPIRAN G
VOLUME PIT LAKE PARINGIN

Metode yang digunakan untuk menghitung volume air pada *pit lake* adalah metode *contour*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus *mean area*:

$$V = \frac{L_1 + L_2}{2} \times t$$

Dengan :

L_1, L_2 = Luas penampang endapan

t = Interval kontur

V = Volume

Dengan menggunakan rumus diatas maka dapat diperoleh hasil perhitungan volume menggunakan metode *contour* dengan pedoman perubahan seperti uraian dibawah ini:

1. Kontur elevasi 64 sampai dengan 59

- $V = \frac{L_1 + L_2}{2} \times t$

- Luas kontur 64 = 195.553 m²

- Luas kontur 59 = 145.616 m²

- $V = \frac{195.553 + 145.616}{2} \times 5 = 852.922 \text{ m}^3$

2. Kontur elevasi 59 sampai dengan 54

- $V = \frac{L_1 + L_2}{2} \times t$

- Luas kontur 59 = 145.616 m²

- Luas kontur 54 = 103.798 m²

- $V = \frac{145.616 + 103.798}{2} \times 5 = 623.535 \text{ m}^3$

3. Kontur elevasi 54 sampai dengan 49

- $V = \frac{L_1 + L_2}{2} \times t$

- Luas kontur 54 = 103.798 m²

- Luas kontur 49 = 87.180 m²

- $V = \frac{103.798+87.180}{2} \times 5 = 477.445 \text{ m}^3$
- 4. Kontur elevasi 49 sampai dengan 44
 - $V = \frac{L_1+L_2}{2} \times t$
 - Luas kontur 49 = 87.180 m^2
 - Luas kontur 44 = 70.487 m^2
 - $V = \frac{87.180+70.487}{2} \times 5 = 394.168 \text{ m}^3$
- 5. Kontur elevasi 44 sampai dengan 39
 - $V = \frac{L_1+L_2}{2} \times t$
 - Luas kontur 44 = 70.487 m^2
 - Luas kontur 39 = 31.637 m^2
 - $V = \frac{70.487+31.637}{2} \times 5 = 255.310 \text{ m}^3$
- 6. Kontur elevasi 39 sampai dengan 34
 - $V = \frac{L_1+L_2}{2} \times t$
 - Luas kontur 39 = 31.637 m^2
 - Luas kontur 34 = 16.253 m^2
 - $V = \frac{31.637+16.253}{2} \times 5 = 119.725 \text{ m}^3$
- 7. Kontur elevasi 34 sampai dengan 31
 - $V = \frac{L_1+L_2}{2} \times t$
 - Luas kontur 34 = 16.253 m^2
 - Luas kontur 31 = 2.370 m^2
 - $V = \frac{16.253+2.370}{2} \times 3 = 27.935 \text{ m}^3$

Dari perhitungan diperoleh total volume *pit lake* sebesar $2.751.039 \text{ m}^3$.

LAMPIRAN H
PERHITUNGAN MORFOMETRI

- a. Kedalaman rata-rata

Perhitungan kedalaman rata-rata menggunakan persamaan 3.18, berikut hasil perhitungan:

$$\begin{aligned}\bar{Z} &= \frac{V}{A_0} \\ \bar{Z} &= \frac{2.692.235}{195.552,8} \\ &= 14 \text{ meter}\end{aligned}$$

- b. Kedalaman relatif

Perhitungan kedalaman relatif dalam bentuk persamaan 3.19, berikut hasil perhitungan:

$$\begin{aligned}Z_r &= 50. Z_{\max} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}} \\ Z_r &= 50. 33 \cdot \frac{\sqrt{3,14}}{\sqrt{195552,8}} \\ &= 50. 33. 0,004 \\ &= 6,6 \%\end{aligned}$$

- c. Perkembangan volume danau

Perkembangan volume danau (VD tanpa satuan) diperoleh melalui persamaan 3.20:

$$\begin{aligned}VD &= \frac{A_0 \times \bar{Z}}{\frac{1}{3} \times (Z_{\max} \times A_0)} \\ VD &= \frac{195552,8 \times 14}{\frac{1}{3} \times (33 \times 195552,8)} \\ &= 1,25\end{aligned}$$

- d. Waktu tinggal air

Waktu tinggal air dihitung menurut Effendi (2003) dengan menggunakan persamaan 3.22:

$$\begin{aligned}
 Rt &= \frac{V}{Q} \\
 Rt &= \frac{2.692.235 \text{ m}^3}{0,103 \text{ m}^3/\text{s}} \\
 &= 303 \text{ Hari}
 \end{aligned}$$

e. Faktor Schindler

Perhitungan faktor Schindler menggunakan persamaan 3.23, berikut perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Schindler} &= \frac{\text{Catchment area} + \text{Lake area}}{\text{Lake volume}} \\
 &= \frac{1285844,56 + 195552,8}{2.692.235} \\
 &= 0,55
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN I
KUALITAS AIR *PIT LAKE* PARINGIN

Tabel D. 1
Koordinat Sampel Kualitas Air *Pit Lake* Paringin

No	Kode Sampel	Kedalaman (cm)	Koordinat UTM UPS		
1	Inpit A	0 m; 5 m; 10 m	50 M	0330911	9744302
2	Inpit B		50 M	0331113	9744228
3	Inpit C		50 M	0330975	9744062

Tabel D.2
Hasil Analisis Kualitas Air *Pit Lake* Paringin

No.	Parameter	Satuan	Titik/Kedalaman									Baku Mutu	Keterangan
			A			B			C				
			0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m		
1	DO	mg/L	8,4	8,1	8,2	8,2	8,0	7,5	8,1	7,9	7,5	4	Angka batas minimum
2	COD	mg/L	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	25	
3	BOD	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	
4	pH in-situ		7,3	7,0	7,1	7,4	7,5	7,0	7,5	7,5	7,5	6-9	
5	pH in-lab		6,71	6,88	6,92	6,86	6,62	6,63	6,71	6,69	6,67	6-9	
6	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	
7	Hg	mg/L	0,00012	<0,00005	0,00009	<0,00005	<0,00005	0,00006	0,00014	<0,00005	0,00008	0,002	
8	As	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	1	
9	Cd	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,1	

10	Sn	mg/L	0,0092	0,0078	0,0057	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	-	
11	Pb	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,3	
12	Nitrit	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	
13	Nitrat	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	10	
14	Amonia	mg/L	0,05	0,78	0,06	0,11	0,09	0,09	0,15	0,07	0,05	0,2	
15	Total fosfat sebagai PO4	mg/L	0,014	0,026	0,029	0,012	0,014	0,029	0,014	0,021	0,029	0,2	
16	Suhu	°C	21,6	21,2	21,3	21,2	23,1	23,0	23,4	23,4	23,0	Deviasi 3	Deviasi temperatur dari alamiahnya
17	TSS	mg/L	204	487	572	198	400	590	214	428	612	50	
18	TDS	mg/L	96	101	98	95	99	100	95	99	100	1.000	

DAFTAR PUBLIKASI

1. Maharani Rindu Widara, Waterman Sulistyana Bargawa, Tedy Agung Cahyadi. Pemanfaatan *Pit Lake* Sebagai Program Pascatambang. *Seminar Geologi Yogyakarta. 2019.* (Submitted)
2. Tedy Agung Cahyadi, Waterman Sulistyana Bargawa, Agus Subandrio, Didik Triwibowo, Fazlul Wahyudi, Maharani Rindu Widara. Studi Morfometri dan Status Mutu Air *Pit Lake* Pada Tambang Batubara. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia.* (Submitted)
3. Waterman Sulistyana Bargawa, Tedy Agung Cahyadi, Agus Subandrio, Didik Triwibowo, Fazlul Wahyudi, Maharani Rindu Widara. Studi Kuantitas *Pit Lake* Dengan Simulasi Model Mock. (Drafting)