

**PENDEKATAN KONEKTIVITAS HIDROLOGI UNTUK PENILAIAN
KEBERLANJUTAN DAN PENGEMBANGAN MODEL PENGELOLAAN DANAU
PASCATAMBANG**

DISERTASI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Doktor**



**DIDIK TRIWIBOWO
NIM: 2241213310059**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2025**

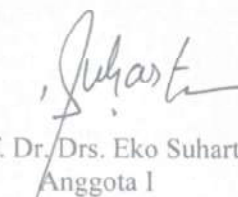
LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi : Pendekatan Konektivitas Hidrologi Untuk Penilaian Keberlanjutan dan Pengembangan Model Pengelolaan Danau Pascatambang
Nama : Didik Triwibowo
NIM : 2241213310059

disetujui,
Komisi Pembimbing



Prof. Ir. Muthia Elma, M.Sc., Ph.D
Ketua



Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si
Anggota I



Dr. Rony Ridwan, S.T., M.T
Anggota II

diketahui,



Direktur Pascasarjana ULM

Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si

Tanggal Lulus:

Koordinator Prodi S3 Ilmu Lingkungan



Dr. Isnasyaujah, S.T., M.T

Tanggal Wisuda:

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI:

PENDEKATAN KONEKTIVITAS HIDROLOGI UNTUK PENILAIAN KEBERLANJUTAN DAN PENGEMBANGAN MODEL PENGELOLAAN DANAU PASCATAMBANG

Nama : Didik Triwibowo
NIM : 2241213310059
Program Studi : Program Doktor Ilmu Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Prof. Ir. Muthia Elma, M.Sc., Ph.D
Anggota : Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si
Anggota : Dr. Rony Riduan, S.T., M.T

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Gusti Muhammad Hatta, M.S
Dosen Penguji 1 : Prof. Dr-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T
Dosen Penguji 1 : Dr. Drs. Krisdianto, M.Sc
Dosen Penguji Tamu : Dr. Ronny Pardomoan Tambunan, S.Pi., M.S

Tanggal Ujian : 22 April 2025
SK Penguji : 61.1/UN8.4/DT.04.03/2025

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Didik Triwibowo

NIM : 2241213310059

Program Studi : Doktor Ilmu Lingkungan

Fakultas : Program Pascasarjana

Perguruan Tinggi: Universitas Lambung Mangkurat

Judul Disertasi : **“Pendekatan Konektivitas Hidrologi Untuk Penilaian Keberlanjutan dan Pengembangan Model Pengelolaan Danau Pascatambang”**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/ acuan dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Disertasi ini hasil jiplakan, plagiasi maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarmasin, April 2025

Yang membuat pernyataan



Didik Triwibowo

LEMBAR PERSEMBAHAN

Teruntuk.....

Ibu & Bapak, Bibit Puji Rahayu & Tumijanto

Istri & anak-anak, Dewi A Fakhri, Nasywa R Nissa, Nayotama J Rahman & Narotama L Rahman

Danau Paringin, dan Ribuan Danau Pascatambang lainnya, semoga lestari manfaatnya.

Ficus sp. Paringin, ecological green belt, Semoga lestari

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Didik Triwibowo, lahir di Teras, Boyolali pada tanggal 27 Desember 1977. Penulis adalah putra dari pasangan Bapak Tumijanto dan Ibu Bibit Puji Rahayu. Pendidikan dasar ditempuh di Sekolah Dasar (SD) pada tahun 1985 di SDN 1 Kadireso, Teras, Boyolali, dilanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMPN) 1 Boyolali pada tahun 1991, dan kemudian menamatkan pendidikan di SMAN 1 Boyolali pada tahun 1993. Pada tahun 1996, penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana di bidang Teknik Geologi di Universitas Gadjah Mada (UGM). Semangat untuk mendalami bidang lingkungan hidup membawanya melanjutkan studi magister dan meraih gelar Master of Environmental Management dari *The University of Queensland*, Australia pada tahun 2007.

Dalam perjalanan karier profesionalnya, penulis mengawali pengabdian sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) dengan jabatan Hydrogeologist di Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi, Kalimantan Selatan sejak tahun 2003. Selanjutnya, pada tahun 2010, penulis bergabung dengan PT Freeport Indonesia di Papua sebagai *Chief Engineer Regional Hydrologist* sekaligus bertanggung jawab dalam pengelolaan *Acid Rock Drainage (ARD)* dan *Regional Hydrology*. Pengalaman profesional inilah yang menjadi pondasi penelitian disertasi ini. Pada tahun 2012, penulis berkarier di PT Adaro Energy, Jakarta sebagai Environmental Superintendent, kemudian dipercaya menjabat sebagai *QHSE Compliance Department Head* di PT Adaro Indonesia, Tanjung pada tahun 2013. Sejak tahun 2018 hingga sekarang, penulis menduduki posisi sebagai *HSE Deputy Division Head* di PT Adaro Indonesia, Tanjung.

Banjarmasin, April 2025

Didik Triwibowo

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan YME yang memberikan segala kekuatan dan kemudahan dalam penyusunan disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Ir. Muthia Elma, M.Sc., PhD, selaku promotor, Bapak Prof. Drs. Eko Suhartono, MS, selaku co-promotor 1 dan Bapak Dr. Rony Riduan, Selaku co-promotor 2 yang telah membimbing sampai dengan selesainya disertasi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Gusti Muhammad Hatta, M.S, selaku dosen penguji 1, Bapak Prof. Dr. Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T, selaku dosen penguji 2, dan Bapak Dr. Drs. Kridianto, M.Sc., selaku dosen penguji 3, serta Bapak Dr. Ronny Pardomoan Tambunan, S.Pi., M.Si., selaku penguji eksternal yang telah memberikan masukan konstruktif atas disertasi ini.
3. Ibu Dr. Isnasyauqiyah, S.T., M.T. dan Ibu Anni Nurliani, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Koordinator Program Doktor (S3) dan Sekretaris Program Doktor (S3) Ilmu Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat.
4. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat dan seluruh staf Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat.
5. Bapak Rektor Universitas Lambung Mangkurat, Bapak Dekan Fakultas dan Bapak Ketua Program Studi Universitas Lambung Mangkurat
6. Seluruh rekan-rekan mahasiswa S3 Doktor Ilmu Lingkungan Angkatan Tahun 2022 atas kebersamaannya.

7. Bapak Ir. Iswan Sujarwo, Bapak Dr. Ir. Suhernomo, M.S., Bapak Ir. Agus Subandrio, Bapak Dr. Ihsan Noor, Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Soendjoto, M.S atas diskusi dan masukannya dalam penyusunan disertasi ini, serta ibu Prof. Dr. Robiana Modjo., S.K.M., M.Kes., atas bantuannya untuk akses ke Perpustakaan Universitas Indonesia.
8. Manajemen PT Adaro Indonesia, Bapak Ir. Priyadi, IPU., Bapak Ir. Wahyu Sulistiyo, S.T., IPM., Bapak Ir. Denny Widihatmoko, S.T., IPM., Bapak Rusdi Husin, S.T., M.S., yang telah memberikan kesempatan dan dukungan penelitian disertasi ini.
9. Keluarga Besar HSE Division PT Adaro Indonesia, khususnya Tim *R & D Post-Mine Closure, HSE Compliance Department* atas support dan dukungan pelaksanaan penelitian lapangan.
10. Bapak Ir. Yuni Rusdinar, M.Sc., Ph.D, Alm. Iwan Setiawan, S.T., M.Env.Man, dan Dr. Ir. Eman Widijanto, S.T., M.App. Sc., IPU atas semua support selama PT Freeport Indonesia serta kebaikan yang diberikan
11. Kedua orang tua, Ibu Bibit Puji Rahayu dan Bapak Tumijanto, dan kakak, Iwan Sunarto dan Atik Hariyani atas semua doa dan support-nya.
12. Istri dan anak-anak, Dewi Anggraeny Fakhri, ananda Nasywa Rahmania Nissa, Nayotama Javaskara Rahman dan Narotama Lokatara Rahman, atas dukungan dan pengertiannya selama penulis menempuh program Doktorat.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas doa, dukungan dan bantuannya.

Banjarmasin, April 2025

Didik Triwibowo

RINGKASAN

Didik Triwibowo. 2025. Pendekatan Konektivitas Hidrologi Untuk Penilaian Keberlanjutan dan Pengembangan Model Pengelolaan Danau Pascatambang Berkelanjutan. Nama Pembimbing: Prof. Ir. Muthia Elma, M.Sc., Ph.D; Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si; Dr. Rony Riduan, S.T., M.T

Penelitian disertasi ini bertujuan untuk mengembangkan pendekatan konektivitas hidrologi dalam mengevaluasi keberlanjutan dan mengembangkan model pengelolaan danau pascatambang, dengan studi kasus Danau Pascatambang Paringin di Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan. Operasi pertambangan batubara terbuka mengubah bentang lahan secara signifikan, menghasilkan lubang bekas tambang (*void*) yang kemudian terisi air dari limpasan permukaan, air tanah, atau aliran sungai yang direkayasa, membentuk danau pascatambang. Studi ini mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi melalui pendekatan berbasis bentang lahan pascatambang yang terhubung secara hidrologi antara area reklamasi (*catchment area*) dan danau pascatambang serta area hilir. Dalam konteks ini, tujuan utama penelitian adalah untuk memahami bagaimana konektivitas hidrologi, karakteristik biogeofisik *catchment area*, serta dinamika air berkontribusi terhadap keberlanjutan danau pascatambang, serta mengembangkan sistem penilaian keberlanjutan yang dapat diimplementasikan di kawasan pascatambang.

Metode penelitian melibatkan pengumpulan data primer dan sekunder, monitoring debit *inflow* dan *outflow*, analisis geokimia material tanah *catchment area*, analisis kualitas air danau, serta evaluasi tutupan vegetasi menggunakan data penginderaan jauh (*NDVI*). Model hidrologi NRECA dan FJ MOCK digunakan untuk analisis *inflow* dari *catchment area* ke Danau Pascatambang Paringin. Hasilnya dikalibrasi menggunakan data monitoring aktual, dan hasil uji statistik menunjukkan bahwa model ini cukup akurat dalam merepresentasikan fluktuasi *inflow* bulanan, sehingga dapat diandalkan untuk diterapkan di wilayah lain dengan iklim tropis serupa. Selain itu, dilakukan analisis terhadap regulasi reklamasi untuk merancang indikator keberlanjutan SPLS. Validasi awal SPLS dilakukan melalui penerapan sistem skor pada Danau Pascatambang Paringin, dengan rencana ke depan melibatkan uji validitas dan reliabilitas melalui metode *expert judgement*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa area reklamasi Paringin sebagai *catchment area* memiliki kondisi biogeofisik yang mendukung infiltrasi dan kestabilan air. Material timbunan tanah di *catchment area* tergolong Non-Acid Forming (NAF), terbukti dari pH air danau yang netral dan tidak terdapat potensi pembentukan air asam tambang (AAT). Kondisi ini sangat penting untuk menjaga kualitas air danau jangka panjang. Namun, dari analisis tutupan vegetasi, masih ada tanpa tutupan vegetasi (jalan angkut batubara yang masih aktif) yang berkontribusi terhadap peningkatan erosi dan sedimentasi ke dalam danau. Hal ini memperkuat adanya konektivitas hidrologi antara *catchment area* dan danau, di mana air hujan membawa material erosi menuju badan air. Selain itu, tutupan vegetasi yang didominasi tanaman *fast-growing* yang berumur panjang berpotensi terjadinya

degradasi kualitas tutupan vegetasi di masa depan. Untuk itu, penting untuk menjaga keberlanjutan tutupan vegetasi, khususnya dengan memastikan sebaran tanaman lokal berumur panjang yang merata di *catchment area*. Lebih lanjut, diperlukan perbaikan terhadap implementasi kriteria keberhasilan reklamasi sesuai Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. Kriteria keberhasilan reklamasi tidak cukup hanya berdasarkan kerapatan tutupan tajuk dalam jangka pendek, namun perlu memastikan keberlanjutan vegetasi melalui komposisi tanaman lokal berumur panjang yang mampu mempertahankan ekosistem *catchment area*. Penilaian kembali reklamasi (*multi-tier assesment*) perlu dilakukan saat fase penyerahan lahan dari perusahaan kepada pemerintah, mengingat umur operasional tambang yang panjang (>20 tahun) dapat menyebabkan perubahan kondisi vegetasi. Sebagai inovasi, penelitian ini mengembangkan instrumen *Sustainable Pit Lake Score (SPLS)*, sebuah sistem kuantitatif untuk menilai keberlanjutan danau pascatambang dari aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. SPLS diterapkan untuk menilai keberlanjutan Danau Pascatambang Paringin sebagai percontohan dan menghasilkan skor 68, menunjukkan bahwa secara umum aspek lingkungan telah tercapai dengan baik, meskipun masih terdapat peluang peningkatan pada aspek sosial dan ekonomi, seperti pengembangan budidaya ikan air tawar dan pemberdayaan masyarakat sekitar. Validasi SPLS ke depan akan dilakukan dengan metode tinjauan ahli (*expert judgement*) melibatkan regulator, praktisi industri, dan akademisi. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa konektivitas hidrologi harus dipertimbangkan dalam pengelolaan dan penilaian keberlanjutan danau pascatambang. Pendekatan ini menghasilkan model konseptual yang komprehensif, mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial dan ekonomi. Selain itu, penting untuk menerapkan prinsip-prinsip reklamasi berkelanjutan dengan fokus pada tutupan vegetasi jangka panjang di *catchment area* untuk mendukung keberlanjutan ekosistem danau pascatambang.

Kata Kunci: Tambang Batubara, Pascatambang, Danau Pascatambang, Hidrologi, Keberlanjutan

SUMMARY

Didik Triwibowo. 2025. Hydrological Connectivity Approach for Assessing the Sustainability and Developing a Management Model of Pit Lakes. Advisors: Prof. Ir. Muthia Elma, M.Sc., Ph.D; Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si; Dr. Rony Riduan, S.T., M.T

This dissertation aims to develop a hydrological connectivity approach to evaluate the sustainability and to design a management model for pit lakes, using the case study of Paringin Pit Lake located in Balangan Regency, South Kalimantan, Indonesia. Open-pit coal mining operations significantly alter the landscape, resulting in mining voids that eventually fill with water from surface runoff, groundwater, or redirected river flows, forming pit lakes. This study integrates environmental, social, and economic aspects through a landscape-based approach that emphasizes hydrological connectivity between the reclaimed catchment area, the pit lake, and downstream areas. The primary objective is to understand how hydrological connectivity, biogeophysical characteristics of the catchment area, and water dynamics contribute to the sustainability of pit lakes and to develop a sustainability assessment system applicable to post-mining landscapes.

The research methods involved collecting primary and secondary data, monitoring inflow and outflow discharges, analyzing the geochemical properties of catchment soils, assessing lake water quality, and evaluating vegetation cover using remote sensing (NDVI) data. The NRECA and F.J. MOCK hydrological models were used to simulate inflow dynamics from the catchment area to the Paringin Pit Lake. The model outputs were calibrated with monitoring data, and statistical tests confirmed that the models accurately represent monthly inflow fluctuations, making them reliable for application in other tropical regions with similar climates. Additionally, reclamation regulations were analyzed to develop the sustainability indicators for the Sustainable Pit Lake Score (SPLS) system. The initial validation of SPLS was carried out through pilot application at the Paringin Pit Lake, with plans for further validity and reliability testing through expert judgement methods.

The analysis showed that the reclaimed Paringin catchment area possesses favorable biogeophysical conditions that support water infiltration and stability. The geochemical analysis of overburden materials indicated that they are classified as Non-Acid Forming (NAF), as confirmed by the neutral pH of the lake water and the absence of acid mine drainage risks. This condition is critical for maintaining the long-term water quality of the pit lake. However, vegetation cover analysis revealed bare areas—specifically active haul roads—that contribute to increased erosion and sedimentation into the lake, reinforcing the evidence of active hydrological connectivity whereby rainfall transports eroded materials into the lake body. Moreover, the dominance of fast-growing plants poses a risk of future vegetation degradation. Therefore, it is essential to ensure the sustainability of vegetation cover by promoting the widespread distribution of long-lived native plant species across the catchment area. Furthermore, improvements are necessary in the implementation of reclamation success criteria according to the Indonesian Ministerial Decree No. 1827 K/30/MEM/2018. Reclamation success should not be assessed solely based on short-term canopy closure but should prioritize the long-term sustainability of vegetation through a proper composition of long-lived native species capable of maintaining the catchment ecosystem. A re-assessment (multi-tier assessment) is necessary at the stage when reclaimed land is handed over from the mining company to the government, considering that the long operational periods (>20 years) could lead to changes in vegetation conditions over time. As an innovation, this study developed the

Sustainable Pit Lake Score (SPLS), a quantitative system for assessing the sustainability of post-mining pit lakes across environmental, social, and economic dimensions. The SPLS was piloted at the Parangin Pit Lake, resulting in a score of 68, which indicates good environmental performance while highlighting opportunities for further enhancement in social and economic aspects, such as promoting freshwater fish farming and empowering local communities. Future validation of SPLS will involve expert review processes with participation from regulators, industry practitioners, and academics. Overall, this study concludes that hydrological connectivity must be a critical consideration in managing and evaluating the sustainability of pit lakes. This approach yields a comprehensive conceptual model integrating environmental, social and economic aspects. Furthermore, the application of sustainable reclamation principles focusing on the long-term vegetation cover of catchment areas is vital to supporting the sustainability of pit lake ecosystems.

Keywords: Coal Mining, Post-mining, Pitlake, Hydrology, Sustainability.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan ijin-Nya, disertasi berjudul **“Pendekatan Konektivitas Hidrologi Untuk Penilaian Keberlanjutan dan Pengembangan Model Pengelolaan Danau Pascatambang ”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada tulisan ini dibahas tentang Danau Pascatambang batubara dalam perspektif yang lebih komprehensif sebagai bagian dari komponen bentang lahan pascatambang batubara yang terhubung secara hidrologi. Hal ini menjadi landasan ilmiah dan praktis dalam merancang model pengelolaan dan penilaian danau pascatambang yang memperhatikan keseimbangan antara aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi masyarakat sekitar. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penyusunan kebijakan, panduan teknis, maupun pelaksanaan pengelolaan lingkungan di sektor pertambangan di Indonesia.

Saran dan masukan demi kesempurnaan disertasi ini sangat diperlukan oleh penulis. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-sebesarannya bagi semua pihak. Amin.

Banjarmasin, April 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
RINGKASAN	ix
<i>SUMMARY</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiv
DAFTAR ISTILAH	xxv
DAFTAR SINGKATAN	xxvii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.1.1. Umum.....	1
1.1.2. Khusus.....	4
1.2. Perumusan Masalah.....	6
1.3. Tujuan.....	7
1.4. Manfaat Penelitian.....	8
1.4.1. Bagi Pendidikan:	8
1.4.2. Bagi Pemerintah:	9
1.4.3. Bagi Perusahaan Tambang:.....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Konsep Dasar Reklamasi dan Pascatambang dan Kriteria Keberhasilannya.....	11
2.2. Regulasi Terkait Kriteria keberhasilan reklamasi dan pascatambang di Indonesia	13
2.3. Interaksi <i>catchment area</i> dan danau pascatambang	19
2.3.1. Konektivitas Hidrologi (<i>Hydrological connectivity</i>).....	19
2.3.2. <i>Catchment area</i> Danau Pascatambang	20
2.3.3. Danau Pascatambang.....	22

2.4.	Penilaian Danau pascatambang yang berkelanjutan	26
III.	KERANGKA KONSEP PEMIKIRAN.....	28
3.1.	Landasan Teori.....	28
3.2.	Kerangka Pemikiran.....	31
3.3.	Hipotesis Penelitian.....	36
3.4.	Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian	37
3.5.	Kerangka Analisis Penelitian	38
3.5.1.	Kriteria keberhasilan reklamasi dan pascatambang dan implementasinya.....	40
3.5.2.	Sub Bab <i>Catchment area</i> danau pascatambang	40
3.5.3.	Interaksi <i>catchment area</i> dan danau pascatambang Paringin.....	41
3.5.4.	Model penilaian keberlanjutan Danau Pascatambang dan Model ideal Danau pascatambang yang berkelanjutan	42
3.6.	Definisi Operasional.....	44
3.6.1.	Kriteria keberhasilan reklamasi dan pascatambang dan implementasinya.....	45
3.6.1.2	Variabel bebas	45
3.6.1.3.	Variabel terikat.....	45
3.6.2.	Interaksi <i>catchment area</i> dan danau pascatambang Paringin.....	45
3.6.2.1.	Variabel bebas	45
3.6.2.2.	Variabel terikat.....	45
3.6.3.	Model ideal pascatambang untuk fungsi ekologi dan sosial ekonomi yang berkelanjutan	46
3.7.	Kebaharuan (Novelty) Penelitian	47
IV.	METODE PENELITIAN.....	49
4.1.	Metode Penelitian.....	49
4.1.1.	Lokasi Penelitian dan Timeline Penelitian.....	49
4.1.2.	Pengumpulan Data	52
4.1.3.	Analisis Data	59
4.1.3.1.	Analisis Data Kuantitatif.....	60
4.1.3.1.1.	Analisa Kualitas Air	60
4.1.3.1.2.	Pemodelan Hidrologi Hidrologi NRECA dan F.J. MOCK.....	60
4.1.3.1.3.	Uji Statistik Akurasi Model NRECA dan F.J. MOCK	64
4.1.3.1.4.	Analisis Kualitas Air	67
4.1.3.1.5.	Analisis Perhitungan Erosi.....	67

4.1.3.1.6.	Analisis Kandungan Logam Berat Daging Ikan di Danau Pascatambang untuk Kelayakan Konsumsi	72
4.1.3.1.7.	Analisis Perhitungan Infiltrasi.....	72
4.1.3.1.8.	Analisis Neraca Air (<i>Water Balance</i>).....	72
4.1.3.1.9.	Analisis Data Spasial Cacthment Area.....	73
4.1.3.1.10.	Analisis Kondisi <i>morphometry</i> , <i>bathymethry</i> , sedimentasi dan kualitas air serta karakteristik jenis ikan di Danau Pascatambang Paringin....	75
4.1.3.2.	Analisis Data Kualitatif.....	76
4.1.3.2.1.	Analisis Dokumen Regulasi Reklamasi Pascatambang:	76
4.1.3.2.2.	Pengembangan Instrumen Penilaian Danau Pascatambang yang Berkelanjutan	76
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	78
5.1.	Regulasi Reklamasi Tambang.....	78
5.1.1.	Evaluasi Tahapan Reklamasi dan implementasinya	83
5.1.1.1.	Pentingnya Penataan Lahan (<i>Landscape Approach</i>).....	85
5.1.1.2.	Revegetasi (<i>Ecological Restoration</i>).....	86
5.1.2.	Evaluasi Implementasi Regulasi Kepmen 1827/2018 di area pascatambang Paringin, Kabupaten Balangan, dengan fokus pada keberlanjutan tutupan kanopi pohon/vegetasi dalam jangka panjang	87
5.2.2.1.	Konteks Reklamasi dalam Bisnis Proses Pertambangan.....	88
5.2.2.2.	Hasil Rekomendasi Peningkatan Kualitas Tutupan Lahan <i>Catchment Area</i>	92
5.2.	Kondisi geokimia, tingkat erosi tanah dan tutupan vegetasi di <i>catchment area</i> danau pascatambang Paringin.....	95
5.2.1.	<i>Catchment area</i> Danau Pascatambang Paringin	95
5.2.1.1.	Curah Hujan	96
5.2.1.2.	Evaporasi dan Curah Hujan Harian dan Bulanan Tahun 2022	98
5.2.1.3.	Uji Laju Infiltrasi.....	100
5.2.1.4.	Geokimia Soil Overburden Cacthment Area	103
5.2.1.5.	Pendugaan Erosi Tanah Cacthment Area.....	104
5.2.1.6.	Perubahan Bentang Lahan dan Tutupan Lahan Area Reklamasi sebagai <i>Catchment area</i> Danau Pascatambang.....	106
5.2.1.6.1.	Hasil Evaluasi Citra Landsat 2003 dan 2023 dan <i>NDVI</i>	106
5.2.1.6.2.	Hasil Evaluasi <i>NDVI</i> (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>)..	107
5.2.1.6.4.	Kondisi Tata Guna Lahan <i>Catchment area</i>	110

5.2.2.	Evaluasi geokimia, tingkat erosi tanah dan tutupan vegetasi di <i>catchment area</i> danau pascatambang Paringin	112
5.2.2.1.	Hasil Evaluasi Citra Landsat 2003 dan 2023 dan <i>NDVI</i> dan Kondisi vegetasi.....	113
5.2.2.2.	Potensi Air Asam Tambang dari <i>Cacthment Area</i>	115
5.3.	Kondisi <i>morphometry, bathymethry</i> , sedimentasi dan kualitas air serta karakteristik jenis ikan di danau pascatambang Paringin	118
5.3.1.	Kondisi fisiografi Danau Pascatambang Paringin.....	118
5.3.1.1.	<i>Shoreline Development Index</i> Danau Pascatambang Paringin.....	119
5.3.1.2.	<i>Bathymetry</i> Danau Pascatambang Paringin.....	120
5.3.1.3.	Kualitas Air Danau Pascatambang	121
5.3.1.3.1.	Hasil Analisis Kualitas Air Quarterly 2013 -2022 Danau Pascatambang Parameter TSS, pH, Fe, Mn, Cd dan DO	123
5.3.1.3.2.	Hasil Analisis Kualitas Air Quarterly Tahun -2022 Danau Pascatambang	126
5.3.1.4.	Jenis Ikan di Danau Pascatambang dan Kandungan Logam Berat dalam Daging Ikan untuk evaluasi kelayakan konsumsi	127
5.3.1.5.	Hasil Pengolahan Data Curah Hujan dan Debit Inflow Harian ke Danau Pascatambang Tahun 2022.....	130
5.3.1.6.	Hasil Olah Data pH dan TSS Harian Air Danau Pascatambang Tahun 2022	132
5.3.1.7.	Hasil Perhitungan Sedimentasi Danau Pascatambang Paringin.....	133
5.3.2.	Evaluasi Danau Pascatambang Paringin	134
5.3.2.1.	Karakteristik Danau Pascatambang Paringin	135
5.3.2.2.	Evaluasi Erosi dari <i>catchment area</i> dan Sedimentasi Danau Pascatambang Paringin	136
5.3.2.3.	Evaluasi <i>Water Balance</i> Danau Pascatambang	138
5.3.2.4.	Evaluasi Kualitas Air <i>Quarterly</i> 2013 -2022 Danau Pascatambang Parameter TSS, pH, Fe, Mn, Cd dan DO	140
5.3.5.	Evaluasi Jenis Ikan Danau Pascatambang.....	142
5.3.2.2.	Aliran Area Hilir Menentukan Debit Aliran Keluar Minimum yang Aman	143
5.3.2.3.	Analisis Flow Through Pit Lake	145
5.4.	Analisis konektivitas hidrologi (<i>hydrological connectivity</i>) antara <i>catchment area</i> dan danau pascatambang Paringin.....	146
5.4.1.	Model Hidrologi Danau Pascatambang Metode NRECA dan F.J. MOCK.....	146

5.4.1.1.	Pemodelan Hidrologi Metode NRECA dan FJ MOCK	147
5.4.1.2.	Uji Statistik Akurasi Model NRECA dan F.J. MOCK	149
5.4.2.	<i>Hydrological Connectivity catchment area</i> , Danau Pascatambang Paringin dan Area Hilir	151
5.4.2.1.	Evaluasi Curah Hujan dan Model Hidrologi.....	158
5.4.2.2.	Interaksi Kondisi Biogeofisik <i>catchment area</i> – Danau Pascatambang Paringin	164
5.4.2.3.	Pendekatan Konektivitas Hidrologi (<i>Hydrological Connectivity Approach</i>).....	165
5.5.	Pengembangan Instrumen Penilaian Keberlanjutan dan Model Ideal untuk Danau Pascatambang yang Berkelanjutan berbasis konektivitas hidrologi.	168
5.5.1.	Instrumen Penilaian <i>Sustainable Pit Lake Score (SPLS)</i>	169
5.2.5.2.	Protokol Pengumpulan Data Penilaian Danau Pascatambang Menggunakan Sustainable Pit Lake Score (SPLS)	172
5.2.5.3.	Uji Coba Penilaian pada Danau Pascatambang Paringin	175
5.2.5.4.	Pengujian dan Validasi Sistem.....	176
5.5.2.	Penerapan SPLS untuk Penilaian Danau Pascatambang Paringin dan Pengembangan Model Pengelolaan Danau Pascatambang Berkelanjutan	176
VI.	IMPLIKASI HASIL PENELITIAN	183
6.1.	Implikasi Teoritis	183
6.2.	Implikasi Praktis.....	184
VII.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	186
	DAFTAR RUJUKAN	192