Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i1.505

RESEARCH ARTICLE / REVIEW ARTICLE

OPEN ACCESS

Check for updates

ANALISA *WATER BALANCE* LUBANG BEKAS TAMBANG BATU BARA DI BLOK SUSUBANG UKO KABUPATEN PASER

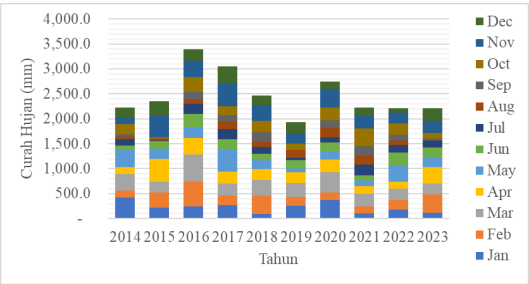
[1)]Aris Bastian Lahay, [*]Ervin Nurhayati, Isni Arliyani.

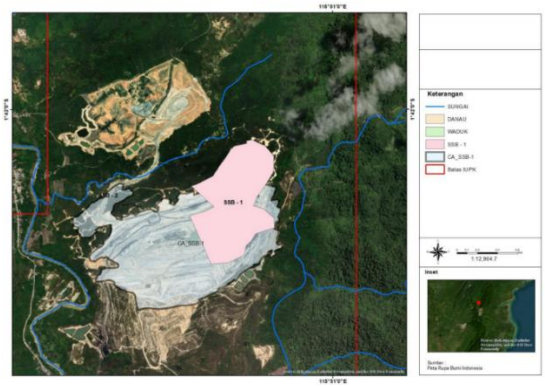
[1)] Environmental Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo, Surabaya, 60111

Article history
Received
26 July 2025
Received in revised form
27 July 2025
Accepted
27 July 2025
Published online
29 July 2025

*Corresponding author
ervin@enviro.its.ac.id

Graphical abstract





ABSTRACT
Pemanfaatan lubang bekas tambang batu bara (*pit lake*) merupakan salah satu strategi pengelolaan pascatambang yang berpotensi memberikan manfaat lingkungan dan sosial. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi hidrologi dan kualitas air *pit lake* di Blok Susubang Uko, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur. Metode penelitian meliputi analisis hidrologi, hidrogeologi, keseimbangan air (*water balance*), pengujian kualitas air, serta analisis kelayakan finansial menggunakan NPV, BCR, IRR, dan *Payback Period*. Hasil pengujian pada sepuluh titik pemantauan menunjukkan pH 7,5–7,8, suhu 22°C, BOD <escape><</escape>2 mg/L, COD <escape><</escape>10 mg/L, dan total coliform <escape><</escape>50 MPN/100 mL. Parameter tersebut memenuhi baku mutu air kelas 1 berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Namun, kadar *Dissolved Oxygen* (DO) sebesar 4,1–4,8 mg/L belum memenuhi standar kelas 1, sedangkan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 83–180 mg/L melampaui batas kelas 1 dan 2. Berdasarkan parameter yang diuji, kualitas air di wilayah Susubang Uko cenderung memenuhi kriteria kelas 3, sehingga berpotensi dimanfaatkan untuk pertanian dan perikanan dengan pengelolaan kualitas air yang sesuai.

Keywords: ekowisata, kualitas air, kelayakan finansial, pascatambang, lubang tambang.

Copyright ©2026 Institut Teknologi Sepuluh Nopember, All rights reserved

Corresponding Author: Ervin Nurhayati

ervin@enviro.its.ac.id

Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Planning and Geo Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

1. INTRODUCTION

Industri pertambangan batu bara memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia, terutama sebagai sumber energi dan pendapatan negara. Namun, kegiatan ini juga menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan, terutama dalam bentuk lubang bekas tambang atau pit lake yang terbentuk akibat proses penambangan terbuka (Schultze et al., 2010). Lubang-lubang ini sering kali ditinggalkan dalam kondisi yang tidak optimal dan berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan, seperti penurunan kualitas air, degradasi ekosistem, serta risiko geoteknik yang dapat berdampak pada masyarakat sekitar.

Blok Susubang Uko di Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur, merupakan salah satu wilayah yang memiliki lubang bekas tambang batu bara dengan luas yang cukup signifikan. Kondisi hidrologi, hidrogeologi, serta kualitas air di area ini perlu dianalisis secara mendalam untuk memastikan bahwa lubang bekas tambang tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan (Aristizabal-H dkk., 2023).. Dalam konteks pengelolaan pascatambang, terdapat berbagai pendekatan yang dapat diterapkan untuk memanfaatkan pit lake, seperti sebagai sumber air bersih, perikanan, pertanian, ekowisata, atau bahkan sebagai bagian dari sistem pengelolaan air yang lebih luas (Pu et al, 2024).. Model neraca air skala regional untuk mensimulasikan parameter data hidro-iklim yang dipetakan untuk evapotranspirasi aktual dan aliran sungai (Barkhordari et al., 2025).

Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan pit lake adalah kualitas air yang sering kali dipengaruhi oleh karakteristik batuan di sekitarnya, proses oksidasi mineral sulfida, serta potensi kontaminasi logam berat (Kayabasi and Gokceoglu 2012). Oleh karena itu, diperlukan kajian ilmiah yang komprehensif untuk menilai kelayakan kualitas air di pit lake berdasarkan standar yang ditetapkan, seperti Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Wu et al., (2025) menjelaskan bahwa peyimpanan air menunjukkan tren keseluruhan menuju surplus air, tetapi dengan perbedaan signifikan dalam kondisi keseimbangan.

Penelitian water balance pada lubang bekas tambang terbuka diperlukan untuk mengukur dan memahami aliran air yang masuk, keluar, serta tersimpan di dalam lubang tersebut secara akurat. Selain itu, penelitian ini penting untuk memantau potensi genangan air atau penumpukan air yang mungkin menimbulkan risiko seperti longsor, banjir lokal, atau pencemaran. Hasil penelitian juga diharapkan dapat mendukung pengelolaan pasca-tambang yang berkelanjutan, terutama dalam proses reklamasi dan restorasi lingkungan khususnya disekitar lubang bekas tambang Susubang Uko.

2. MATERIALS AND METHODS

Pada penelitian ini menerapkan metode analisis hidrologi, hidrogeologi dan analisis water balance yang cukup banyak membahas pergerakan air (hujan) di permukaan maupun di bawah permukaan tanah. Hal ini sangat erat hubungannya dengan data meteorologi (curah hujan) dan data klimatologi pendukung untuk memprakirakan kuantitas air yang akan melimpas, tertampung, maupun pengaruh-pengaruh dari aliran bawah tanah (Fuentes-Lopez et al., 2025). Berikut merupakan penjabaran analisis hidrologi, hidrogeologi dan analisis water balance.

2.1. Analisis hidrologi dan hidrogeologi

Analisis hidrologi dan hidrogeologi merupakan konduktivitas hidrologi yang berfokus pada analisis kemampuan tanah dalam mengalirkan air juga merupakan hal yang harus dipertimbangkan dalam hal ini (Zhou et al. 2020). Secara tidak langsung, pergerakan-pergerakan air tersebut akan

DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i1.505

memengaruhi kekuatan lereng pit yang nantinya akan dimanfaatkan sesuai dengan program pascatambangnya (Mardonova and Han 2023). Respons aliran air tanah yang relatif cepat terhadap curah hujan terutama merupakan hasil dari peningkatan muka air hidrolik reservoir air tanah yang mempercepat eksfiltrasi air sebelum kejadian ke dasar Sungai (Wittenberg 1999). Analisis hidrologi diharapkan terlaksana secara komprehensif dengan *support* data curah hujan ≥ 10 tahun. Hasil dari analisis hidrologi pada danau bekas tambang ini umumnya berupa periode pengisian *pit*, volume air tertampung dalam *pit*, dan usulan infrastruktur air jika dibutuhkan.

2.2. Analisis *Water Balance*

Perhitungan water balance menggunakan persamaan dasar neraca air dengan rumus (Kadlec 1983):

Flow In – Flow Out = Change In Storage (1)

Water Budget Equation : $P + Q_{in} = ET + S + Q_{out}$ (2)

Dimana :

ΔS : Perubahan volume air dalam void (m^3)

P : *Presipitation* (Curah hujan tahunan)

Q_{in} : *Water flow into the watershed* (aliran air yang masuk)

ET : *Evapotranspiration (the sum of evaporation from soils, surface-water bodies, and plants*. (penguapan dan transpirasi tanaman)

ΔS : *Change in water storage* (perubahan simpanan air dari selisih volume air awal dan akhir)

Q_{out} : *Water flow out of the watershed* (aliran air keluar)

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 Analisa Hidrologi

Pengujian geokimia yang dilakukan untuk mengetahui nilai PAF *(Potentially Acid Forming)* dan NAF *(Non Acid Forming)* meliputi: 1. Total Sulphur 2. MPA 3. ANC 4. NAPP dan pH paste 5. NAG pH 6. NAG pH 4,5 7. NAG pH 7 Karakteristik air asam tambang dari sampel batuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air Asam Tambang Sampel Batuan Blok Susubang Uko

Kode Contoh	pH H2O (1:2)	pH NAG	NAG pH = 4.5	NAG pH 7.0 (KgH2SO /ton)	ANC (Kg H2SO/ton)	S total (%)	MPA (Kg H2SO4/ton)	NAPP (Kg H2SO4/ton)	Kategori
SS BW Barat laut - 1	2,49	3,75	1,2	4,1	0,4	0,06	1,8	1,4	PAF
SS BW Barab laut 2	4,34	6,19	0	1,2	17,3	0	0	-17,3	NAF
SS BW Barat laut 3	4,1	3,73	2,3	11,8	0,7	0	0	-0,7	NAF
SS BW Tenggara -1	4,41	5,24	0	3,5	0	0	0	0	NAF

Kode Contoh	pH H2O (1:2)	pH NAG	NAG pH = 4.5	NAG pH 7.0 (KgH2SO /ton)	ANC (Kg H2SO/ton)	S total (%)	MPA (Kg H2SO4/ton)	NAPP (Kg H2SO4/ton)	Kategori
SS BW Tenggara 2	3,98	2,78	17,6	35	1,5	0,05	1,7	0,2	PAF
SS BW Tenggara 3	5,39	5,87	0	5	1,5	0	0	-1,5	NAF
SS BW Tenggara 4	5,51	5,78	0	5,5	1,2	0	0	-1,2	NAF
SS BW Tenggara 5	4,05	4,86	0	3,4	1,6	0	0	-1,6	NAF
SS BW Tenggara 6	4,92	5,7	0	6,5	0,2	0	0	-0,2	NAF
SS-BW-Tenggara 7	6,14	6,93	0	0	6,8	0	0	-6,8	NAF
SS -BW Tenggara -8	4,9	6,65	0	0,3	47,7	0	0	-47,7	NAF
SS BW Timur	4,05	3,17	6	17,5	1,1	0	0	-1,1	NAF
SS BW Timur	4,48	6,72	0	0,2	20,9	0	0	-20,9	NAF
SS BW Timur	4,32	5,48	0	1,5	1,9	0	0	-1,9	NAF
SS Sektor 3 BW Timur	4,08	5,49	0	1,7	1,7	0	0	-1,7	NAF
1106-SSB-MT-GT03 (1)	5,89	5,52	0	5,8	1,8	0	0	-1,8	NAF
1106-558-MT-GT03(2)	4,95	6,84	0	0	28,9	0	0	-28,9	NAF
1106-558-MT-GT03(3)	4,92	7,04	0	0	56,9	0	0	-56,9	NAF
SS-WD-SP5	4,66	5,75	0	1,1	2,9	0	0	-2,9	NAF
Waste Dump Sektor 2 (WD2)	5,06	5,88	0	3,2	3,9	0	0	-3,9	NAF

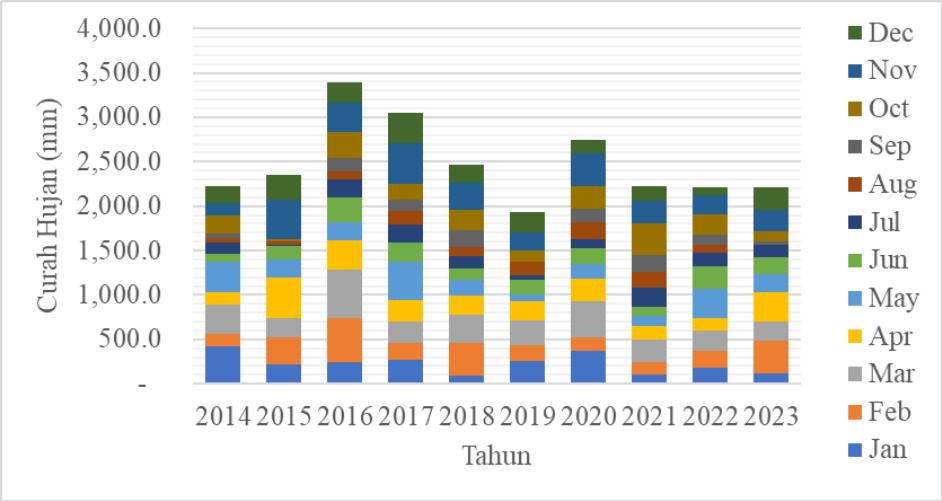
Kode Contoh	pH H2O (1:2)	pH NAG	NAG pH = 4.5	NAG pH 7.0 (KgH2SO /ton)	ANC (Kg H2SO/ton)	S total (%)	MPA (Kg H2SO4/ton)	NAPP (Kg H2SO4/ton)	Kategori
SSB Floor seam 1	3,03	2,62	8.2	24,2	0,6	0,05	1,5	0,9	PAF

Berdasarkan hasil analisis uji stastik seperti terlihat pada Tabel 1, dilakukan kategorisasi berdasarkan hasil uji pH NAG 4,5 dan kandungan sulfur total.

1. Berdasarkan hasil analisis terhadap potensi AAT untuk daerah Blok Susubang ditemukan 3 titik sampel batupasir yang mempunyai klasifikasi sebagai pembentuk AAT.
2. Jumlah hasil analisis batuan untuk uji statik dari daerah Blok Susubang sebanyak 21 contoh, ditemukan 18 contoh tergolong bersifat NAF (85.71 %) dan 3 contoh tergolong bersifat PAF (14.29 %). Dari hasil kategorisasi tersebut dapat dikatakan bahwa secara umum daerah WKP Susubang-Uko, Blok Susubang dan daerah sekitarnya tidak berpotensi untuk terjadinya Air Asam Tambang (AAT), karena 85.71 % adalah batuan bersifat NAF dan 14.29 % adalah batuan bersifat PAF atau bersifat pembentuk asam rendah atau golongan 2.
3. Dari 3 contoh tergolong bersifat PAF tersebut, adalah; contoh no.1 (SS - BW - Barat laut – 1), no. 5 (SS - BW - Tenggara - 2) dan no. 21 (SSB - Floor seam1). Kandungan sulfur (S, total) masing-masing berturut-turut adalah 0.06%; 0.05% dan 0.05%. Hasil analisis pH NAG 4.5 berturut-turut masing-masing adalah 1.20; 17.6 dan 8.2. Nilai ANC masing-masing berturutan adalah 0.4 kg H2SO4/ton, 1.5 kg H2SO4/ton dan 0.6 kg H2SO4/ton.
4. Nilai MPA 1.8 kg H2SO4/ton; 1.7 kg H2SO4/ton dan 1.5 kg H2SO4/ton. Adapun nilai NAPP masing-masing, adalah; 1.4 kg H2SO4/ton; 0.20 kg H2SO4/ton dan 0.90 kg H2SO4/ton. Mineral pirit dalam batupasir umumnya berasosiasi dengan fragmen karbonan dalam batupasir dan batuan *shaley coal* terbentuk sebagai framboidal pirit. Kehadiran framboidal pirit ini mengindikasikan terbentuknya bersamaan (syngenetic) dengan pembentukan batubara dimana rawa gambut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan laut dangkal (terobosan air laut/*marine intursion*).

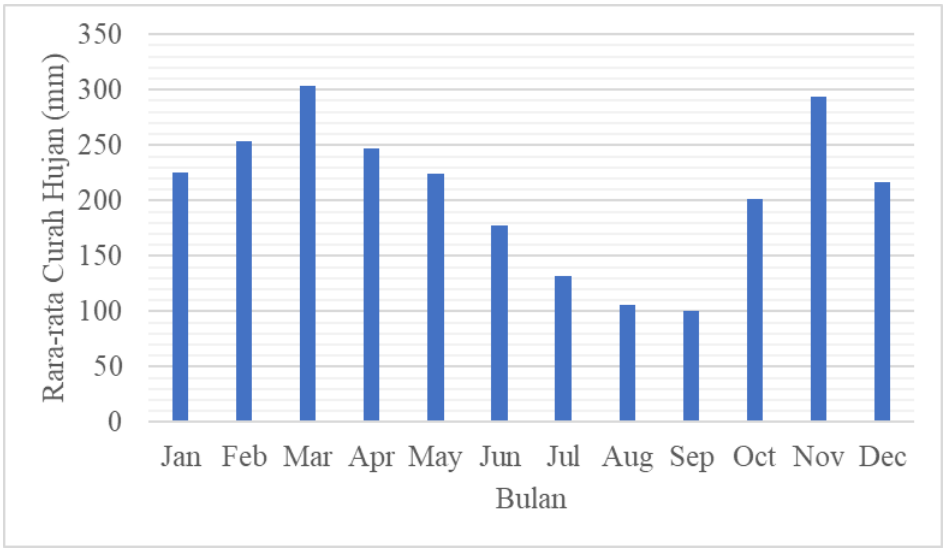
3.2. Analisa Water Balance

Pos hujan SSB memiliki rentang data dari 2014 – 2023 (10 tahun). Adapun curah hujan bulanan dari pos hujan susubang dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 1. Berdasarkan data mengenai curah hujan di Pit Lake Sususbang Uko dari tahun 2014 hingga 2023, tampak adanya variasi pola curah hujan selama rentang waktu tersebut. Rekor curah hujan tertinggi dicatat pada tahun 2016 dengan total sekitar 3. 400 mm, sementara tahun 2017 mencapai sekitar 3. 100 mm. Sebaliknya, curah hujan terendah terjadi pada tahun 2019 dengan total hanya sekitar 1. 900 mm. Pola musiman menunjukkan bahwa bulan-bulan basah (November hingga April) memberikan kontribusi yang lebih banyak terhadap total curah hujan dibandingkan dengan bulan-bulan kering (Mei hingga Oktober). Hal ini terlihat dari dominasi warna biru hingga hijau (bulan-bulan basah) yang mendominasi sebagian besar kolom pada diagram. Bulan Januari, Februari, Maret, dan Desember secara konsisten menunjukkan curah hujan yang tinggi di hampir setiap tahun yang diamati. Tren curah hujan menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun. Setelah mencapai puncaknya pada 2016-2017. Variasi ini menunjukkan adanya pengaruh dari fenomena iklim yang memengaruhi distribusi curah hujan di wilayah tersebut.



Gambar 1. Curah Hujan Bulanan Susubang 2014 – 2023

Curah hujan tahunan terbesar terjadi pada tahun 2016 sebesar 3.399,2 mm dan hujan tahunan paling kecil terjadi pada tahun 2019 dengan tinggi hujan 1.933,5 mm. Adapun rata-rata hujan tahunan pada Susubang adalah 2.552,6 mm. Curah hujan rata-rata bulanan dapat dilihat pada Gambar 4.3. Hujan bulanan terkecil terjadi pada bulan September (100,61 mm) dan terbesar pada bulan Maret (303,89 mm).



Gambar 2. Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Susubang 2014 – 2023

Dalam bidang geografi, *catchment area* disebut sebagai daerah tangkapan air. Ini adalah area spesifik di permukaan bumi yang mengumpulkan dan mengalirkan air hujan (dan/atau salju). Biasanya, area ini dibatasi oleh punggung bukit atau pegunungan yang memisahkannya dari daerah tangkapan air lainnya. Air yang terkumpul di daerah tangkapan air ini pada akhirnya akan mengalir ke sungai, danau, embung, atau badan air lainnya.

Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i1.505

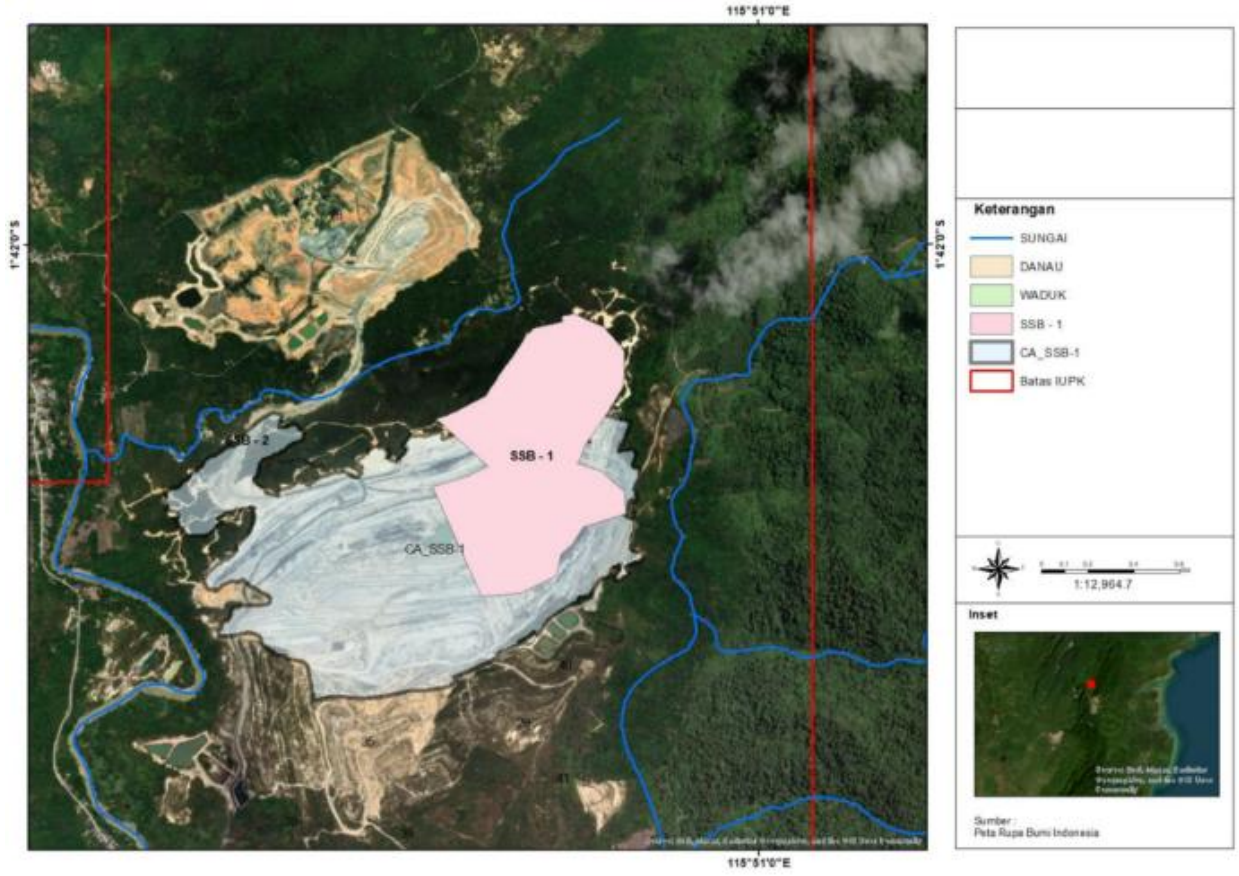
Tabel 2 Daerah Tangkapan Air Susubang Uko

No	Void	Luas CA Void (km²)	Luas Void (km²)	Luas total (km²)
1	SSB-1	1.24	0.41	1.65
2	SSB-2	0.12	0.12	0.12
3	SLY	0.65	0.09	0.74

Tabel 2 tersebut menjelaskan mengenai daerah tangkapan air untuk sistem Danau Pit Susubang Uko yang terdiri dari tiga ruang utama. Informasi ini menjadi parameter penting dalam analisis keseimbangan air karena mempengaruhi seberapa besar kontribusi air dari masing-masing komponen daerah tangkapan.

SSB-1 merupakan daerah tangkapan air terbesar dalam kelompok ini dengan:
1. Luas catchment area (CA Void) sebesar 1,24 km²
2. Luas void sebesar 0,41 km²
3. Total luas area mencapai 1,65 km²

SSB-1 memiliki kontribusi dominan dalam pengumpulan aliran permukaan menuju void. Proporsi luas void terhadap catchment area (~33%) menunjukkan adanya potensi pengisian air yang relatif besar, terutama saat musim hujan. Area ini menjadi titik penting dalam pengelolaan air tambang, termasuk dalam strategi pengendalian limpasan dan potensi genangan air.

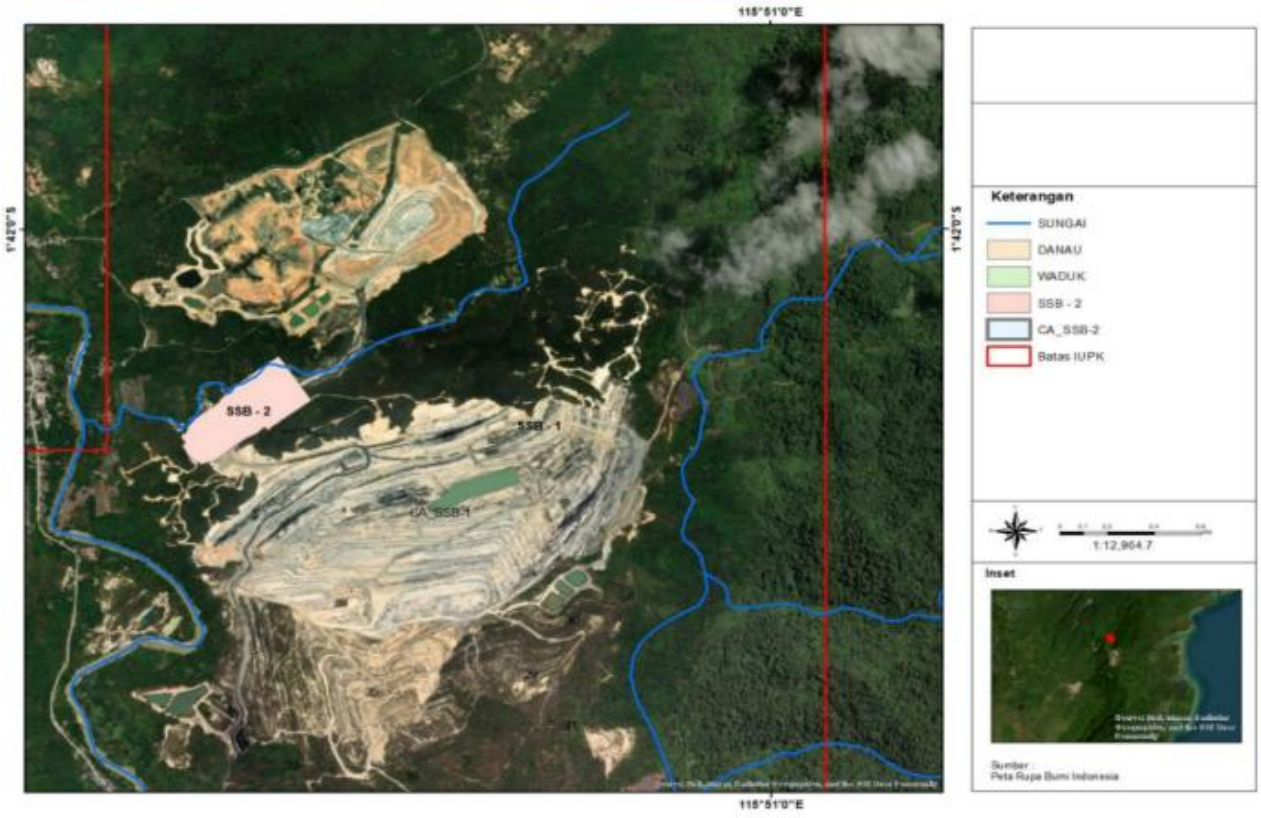


Gambar 3. Daerah Tangkapan Air SSB-1

SSB-2 memiliki luas void terkecil dalam kelompok ini:

1. Luas catchment area: 0,12 km²
2. Luas void: 0,12 km²
3. Luas total: 0,12 km²

SSB-2 tampaknya merupakan void lokal dengan sistem tangkapan air terbatas atau hampir tidak ada catchment area alami. Oleh karena itu, kontribusi air permukaan dari luar sangat minim. Pengelolaan air di SSB-2 lebih bergantung pada curah hujan langsung dan perkolasi setempat daripada aliran dari wilayah tangkapan yang luas.



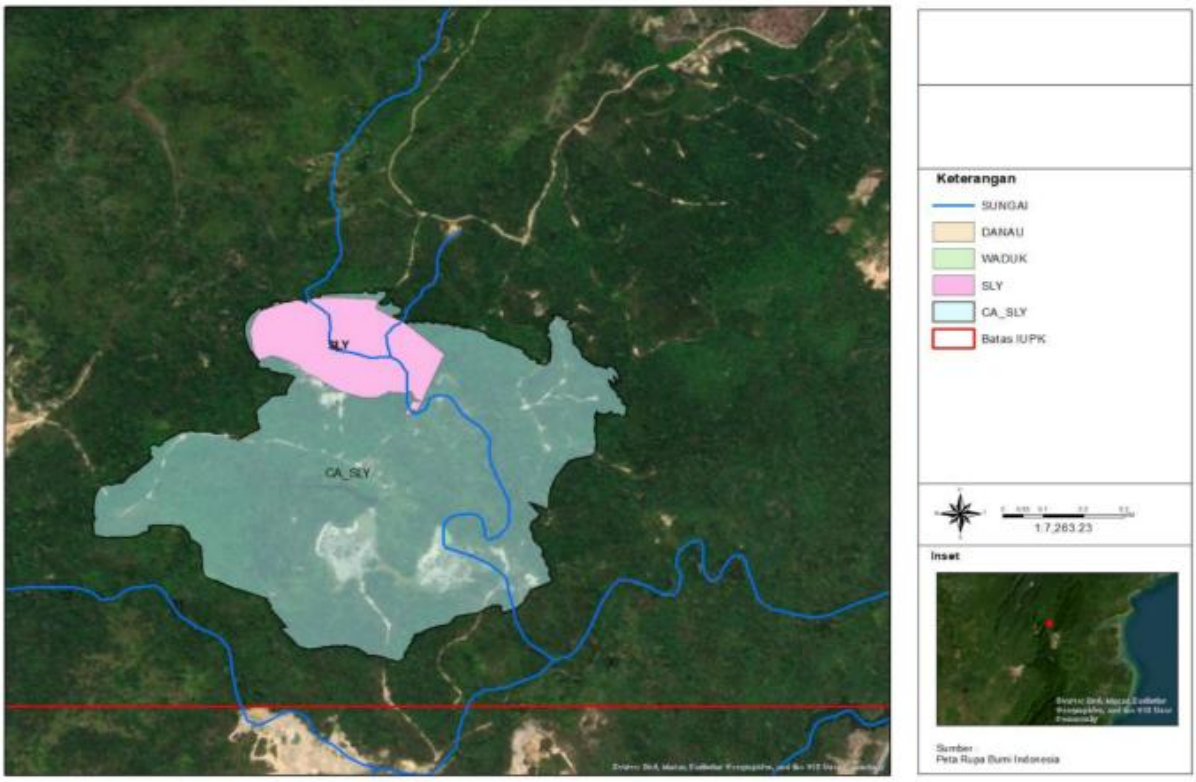
Gambar 4. Daerah Tangkapan Air SSB-2

SLY memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Luas catchment area: 0,65 km²
2. Luas void: 0,09 km²
3. Total luas: 0,74 km²

SLY memiliki karakteristik lebih kecil disbanding SSB-1 tetapi masih memiliki catchment area yang cukup signifikan, dengan rasio void terhadap catchment area sebesar sekitar 13%. Hal ini menunjukkan bahwa air hujan yang tertampung dapat terkonsentrasi dengan baik di dalam void, meskipun kapasitasnya lebih kecil. Perlu adanya sistem saluran atau tanggul pengaman untuk mencegah limpasan atau genangan berlebih selama musim penghujan.

Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i1.505



Gambar 5. Daerah Tangkapan Air SLY

Water Balance

Flow In – Flow Out = Change In Storage (3)

Water Budget Equation

$P+Q_{in}=ET+S+Q_{out}$ (4)

Dimana ;

Curah hujan tahunan (P) berdasarkan rata-rata curah hujan 10 tahun (2014-2023) di wilayah Susubang Uko = 2.483,87 mm atau 2,48 m

Evapotranspirasi (ET) = 540 mm

Hasil dari perhitungan CA, Q_{in}, Q_{out} dan S pada void SSB 1, SSB 2 dan SLY terlihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan CA, Q_{in}, Q_{out} dan S pada void SSB 1, SSB 2 dan SLY

Void	Luas Catchment Area (CA) (m^2)	Q_{in} = P x CA (m^3)	Q_{out} = %ETxQ_{in} (m^3)	S = (Q_{in} – ET + Q_{out} (m^3)
SSB 1	1.240.000	3.079.998.800	1.663.199.352	1.416.798.908
SSB 2	120	298.064.400	160.954.776	137.109.084
SLY	650	1.614.515.500	871.838.370	742.676.590

Maka *Water Balance* untuk void di Susubang Uko pada SSB 1, SSB 2 dan SLY adalah ;

This journal is © Marsono, et al. 2026

$P + Q_{in} = ET + S + Q_{out}$ (5)

SSB 1 :

1.240.000+3.079.998.800=540+1.416.798.908 +1.663.199.352

3.081.238.800 = 3.079.998.800

SSB 2 :

120.000 + 298.064.400 = 540 + 137.109.084 + 160.954.776

298.184.400 = 298.064.400

SLY :

650.000 + 1.614.515.500 = 540 + 742.676.590 + 871.838.370

1.615.165.500 = 1.614.515.500

Jadi *Change In Storage* atau perubahan volume air dalam void bernilai positif menunjukkan bahwa air tersimpan dalam void pit lake, menandakan potensi sumber air tergenang yang stabil.

3.3. Pembahasan

Analisis *water balance* untuk sistem *Pit Lake* Susubang Uko menunjukkan hasil yang bervariasi untuk ketiga void yang diteliti. Perhitungan menggunakan persamaan dasar *water balance* $P + Q_{in} = ET + S + Q_{out}$, dimana data curah hujan tahunan rata-rata 10 tahun (2014-2023) sebesar 2.483,87 mm dan evapotranspirasi sebesar 540 mm menjadi parameter utama dalam analisis.

Void SSB-1 sebagai area terbesar dengan luas catchment 1.240.000 m² menunjukkan kondisi *water balance* yang seimbang. Total inflow yang terdiri dari curah hujan langsung dan aliran masuk (Q_{in}) sebesar 3.081.238.800 m³ dapat tertampung dengan baik, menghasilkan *storage* (S) sebesar 1.416.798.908 m³ dan *outflow* (Q_{out}) sebesar 1.663.199.352 m³. Kondisi ini mengindikasikan bahwa void SSB-1 memiliki kapasitas penyimpanan yang memadai untuk menampung air yang masuk. Untuk menjaga keseimbangan air terestrial, proporsi total konsumsi evapotranspirasi terhadap presipitasi terdapat proporsi sektor utama yang mengonsumsi air dalam presipitasi harus dikontrol (Wang et al. 2025). Pemodelan hidrologi untuk irigasi hemat air menawarkan alat bagi para pembuat kebijakan untuk menyeimbangkan irigasi (Xiang et al. 2025).

Void SSB-2 dengan luas *catchment* terkecil (120.000 m²) menunjukkan keseimbangan yang hampir sempurna antara inflow dan outflow. Total inflow sebesar 298.184.400 m³ hampir seimbang dengan total *outflow* sebesar 298.064.400 m³, dengan storage sebesar 137.109.084 m³. Kondisi ini menunjukkan bahwa void SSB-2 beroperasi dalam kondisi yang relatif stabil dengan sedikit akumulasi air. Penelitian yang dilakukan oleh (Zeitfogel, Herrnegger, and Schulz 2024) menerapkan model curah hujan-limpasan berfungsi sebagai sumber daya yang berharga.

Void SLY dengan luas catchment 650.000 m² juga menunjukkan keseimbangan yang baik dengan total inflow 1.615.165.500 m³ yang seimbang dengan total *outflow* 1.614.515.500 m³. Storage yang dihasilkan sebesar 742.676.590 m³ menunjukkan kapasitas penyimpanan yang cukup baik. *Analysis of water balance is also needed for irrigation activities in agricultural activities* (Orozco-moran et al. 2025). Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa ketiga void memiliki perubahan

volume (*change in storage*) yang positif, mengindikasikan potensi akumulasi air dalam sistem pit lake dan stabilitas sistem *water balance* di lokasi Susubang Uko.

4. CONCLUSION

Berdasarkan analisis water balance yang komprehensif pada sistem Pit Lake Susubang Uko, hasil perhitungan menunjukkan kondisi yang sangat menguntungkan untuk ketiga void yang diteliti. Pada SSB-1 memiliki potensi pengisian air terbesar dengan rasio void 33% dari catchment area, SSB-2 lebih bergantung pada curah hujan langsung, sedangkan SLY memiliki catchment area sebesar sekitar 13% sehingga air hujan tertampung dapat terkonsentrasi dengan baik. Dengan menggunakan data curah hujan rata-rata 10 tahun (2014-2023) sebesar 2.483,87 mm dan evapotranspirasi 540 mm, perhitungan water balance menghasilkan change in storage yang positif untuk semua void, yaitu SSB-1 sebesar 1.416.798.908 m^3, SSB-2 sebesar 137.109.084 m^3, dan SLY sebesar 742.676.590 m^3.

Hasil positif dari change in storage ini mengindikasikan bahwa ketiga void memiliki kapasitas yang sangat baik dalam menampung dan menyimpan air. Void SSB-1 sebagai area terbesar dengan luas catchment 1.240.000 m^2 menunjukkan potensi penyimpanan air yang paling besar, diikuti oleh void SLY dengan luas catchment 650.000 m^2 dan void SSB-2 dengan luas catchment 120.000 m^2. Keseimbangan antara inflow (curah hujan dan aliran masuk) dengan outflow (evapotranspirasi dan aliran keluar) pada masing-masing void mendemonstrasikan stabilitas sistem hidrologi yang berkelanjutan.

Kondisi water balance yang positif ini memberikan jaminan bahwa pit lake di Susubang Uko akan dapat mempertahankan genangan air secara stabil dalam jangka panjang. Stabilitas ini sangat penting untuk pemanfaatan pascatambang, karena ketersediaan air yang konsisten akan mendukung berbagai aktivitas seperti konservasi ekosystem, rekreasi, budidaya perikanan, atau kegiatan produktif lainnya. Dengan demikian, ketiga void tersebut memiliki potensi yang sangat baik untuk dikembangkan sebagai sumber daya air berkelanjutan yang dapat dimanfaatkan secara optimal sesuai dengan rencana penutupan tambang dan pemanfaatan lahan pascatambang.

REFERENCES

Aristizabal-H, Gustavo, Peter Goerke-Mallet, Jürgen Kretschmann, and Oscar Jaime Restrepo-Baena. 2023. "Sustainability of Coal Mining. Is Germany a Post-Mining Model for Colombia?" *Resources Policy* 81(January): 103358. doi:10.1016/j.resourpol.2023.103358.

Barkhordari, H., P. Asgari Dastjerdi, and M. Nasseri. 2025. "Development of a Framework Estimating Regional Gridded Streamflow and Actual Evapotranspiration Datasets: Fusing Budyko and Water Balance Closure Methods Using Remotely Sensed Ancillary Data." *Journal of Hydrology* 660(November 2024). doi:10.1016/j.jhydrol.2025.133456.

Fuentes-Lopez, Katerin, Jesus Olivero-Verbel, and Karina Caballero-Gallardo. 2025. "Presence of Nematodes, Mercury Concentrations, and Liver Pathology in Carnivorous Freshwater Fish from La Mojana, Sucre, Colombia: Assessing Fish Health and Potential Human Health Risks." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 88(2): 189–209. doi:10.1007/s00244-025-01117-w.

Kadlec, J. 1983. "WATER BUDGETS FOR SMALL DIKED MARSHES1." *Journal of The American Water Resources Association* 19: 223–30. doi:10.1111/J.1752-1688.1983.TB05318.X.

This journal is © Marsono, et al. 2026

Kayabasi, A., and C. Gokceoglu. 2012. "Coal Mining under Difficult Geological Conditions: The Can Lignite Open Pit (Canakkale, Turkey)." *Engineering Geology* 135–136: 66–82. doi:10.1016/j.enggeo.2012.03.008.

Mardonova, Mokhinabonu, and Young Soo Han. 2023. "Environmental, Hydrological, and Social Impacts of Coal and Nonmetal Minerals Mining Operations." *Journal of Environmental Management* 332(January): 117387. doi:10.1016/j.jenvman.2023.117387.

Orozco-moran, Rafael, Jose A Jimenez-berni, Elias Fereres, and Francisco Orgaz. 2025. "Irrigation Scheduling of an Almond Orchard Using the Water Balance and Remote and Proximal Sensing." *Agricultural Water Management* 313(March): 109455. doi:10.1016/J.AGWAT.2025.109455.

Pu, Zaohong, Jie Bai, Qilong Zhang, Kai Tian, Wei Yang, and Yan wei Zhao. 2024. "Ecological Water Replenishment through Optimal Allocation of Lake Water in Water-Scarce Areas Based on Channel Selection and Replenishment Period: A Case Study of China's Baiyangdian Lake." *Science of the Total Environment* 956(March): 177340. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.177340.

Schultze, Martin, Karl Heinz Pokrandt, and Wolfram Hille. 2010. "Pit Lakes of the Central German Lignite Mining District: Creation, Morphometry and Water Quality Aspects." *Limnologica* 40(2): 148–55. doi:10.1016/j.limno.2009.11.006.

Wang, Xuanxuan, Huan Liu, Yangwen Jia, Jianhua Wang, Xuewu Wei, Yuhua Wang, Xiaola Wang, et al. 2025. "A Technical Framework for Determining Water Consumption Thresholds in the Semi-Arid Xiliao River Plain Based on Terrestrial Water Balance." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 58(February): 102261. doi:10.1016/j.ejrh.2025.102261.

Wittenberg, H. 1999. "Baseflow Recession and Recharge as Nonlinear Storage Processes." *Hydrological Processes* 13: 715–26. doi:10.1002/(SICI)1099-1085(19990415)13:5<715::AID-HYP775>3.0.CO;2-N.

Wu, Qingsong, Qiting Zuo, Lekai Zhang, Yihu Ji, and Zhizhuo Zhang. 2025. "Quantifying Basin Water Balance Considering Water-Economic Society-Ecology Nexus." *Journal of Hydrology* 657(100): 133067. doi:10.1016/j.jhydrol.2025.133067.

Xiang, Meng, Di Wu, Qianan Yu, Haitao Wu, Tianchi Cai, and Yuanlai Cui. 2025. "Enhancing Water Balance Simulations in SWAT for Paddy-Dominated Catchments through Refined Soil Moisture Dynamics." *Agricultural Water Management* 312(September 2024). doi:10.1016/j.agwat.2025.109461.

Zeitfogel, Hanna, Mathew Herrnegger, and Karsten Schulz. 2024. "Regional-Scale Assessment of Groundwater Recharge and the Water Balance for Austria." 59.

Zhou, Ming, Xiaoping Li, Meng Zhang, Bin Liu, Yuchao Zhang, Yu Gao, Hameed Ullah, et al. 2020. "Water Quality in a Worldwide Coal Mining City: A Scenario in Water Chemistry and Health Risks Exploration." *Journal of Geochemical Exploration* 213(199): 106513. doi:10.1016/j.gexplo.2020.106513.