

Model Empiris Penanggulangan *Floods Disaster* Akibat Bukaannya Tambang Berdasarkan Observasi Curah Hujan untuk Pengelolaan Lingkungan Pertambangan

Muh. Karnoha Amir^{1*}, Nur Amrina Rosada¹, Aina Firdayanti¹, Risal Gunawan¹,
La Ode Dzakir², Aldiansyah³, Aqsal Ramadhan Shaddad³, Muhammad Ilham Kadar⁴

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

²Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

³Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Kendari

⁴Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Halu Oleo

*Email: karnohaamir020594@gmail.com

SARI

Kegiatan pertambangan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, khususnya pada pengelolaan air yang dapat memicu bencana banjir akibat peningkatan curah hujan dan bukaannya lahan. Air permukaan dari hujan serta kontribusi air tanah mempengaruhi kondisi hidrologi, di mana curah hujan ekstrem meningkatkan debit limpasan dan berisiko mengganggu aktivitas tambang serta masyarakat sekitar. Penelitian ini bertujuan merancang strategi penanggulangan *flood disaster* pada area pertambangan melalui analisis hidrologi dan sistem penyaliran dengan pendekatan model empiris. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data curah hujan 10 tahun, topografi, *catchment area*, dan sekuens penambangan, yang dianalisis menggunakan metode rasional dan distribusi Gumbel. Tahapan penelitian meliputi survei lapangan, pemetaan dengan ArcGIS, analisis curah hujan dan limpasan, serta prediksi curah hujan ekstrem. Hasil analisis menunjukkan debit limpasan maksimum sebesar 25,89 m³/detik, luas *catchment area* 0,716 km². Desain model penyaliran berupa drainase (tinggi muka air (d) 1,1 m, lebar dasar saluran (b) 1,3 m, kedalaman saluran (h) 1,3 m, lebar permukaan saluran (B) 1,7 m, lebar penampang dari sisi saluran (a) 1,5 m, serta tinggi *freeboard* (F) 0,30 m), *sump* (panjang permukaan (c) 27,6 m, panjang alas (e) sebesar 24,8 m, lebar permukaan (d) 9,6 m, dan lebar alas (f) 8,6 m), dan *settling pond* (panjang (A) 37 m dan lebar (B) 15 m, *baffle* memiliki panjang (C) 10 m dan lebar (D) 4 m) semua saling terintegrasi. Dimensi saluran dihitung dengan metode rasional, sedangkan kapasitas *sump* dan *settling pond* mengacu pada standar dengan faktor keamanan 1,25. Sistem juga dilengkapi pemantauan hidrologi dan kualitas air. Model ini efektif mengendalikan limpasan, meminimalkan *flood disaster*, dan mendukung keberlanjutan pertambangan.

Kata kunci: *flood disaster*; curah hujan ekstrem; debit limpasan; penyaliran tambang; lingkungan.

How to Cite: Amir, M.K., Rosada, N.A., Firdayanti, A., Gunawan, R., Dzakir, L.O., Aldiansyah, Shaddad, A.R., dan Kadar, M.I. 2025. Model Empiris Penanggulangan *Floods Disaster* Akibat Bukaannya Tambang Berdasarkan Observasi Curah Hujan untuk Pengelolaan Lingkungan Pertambangan. Jurnal Geomine, 13 (3): 229-244.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Phone:

+6285299961257
+628124190813

Article History:

Submit August 20, 2025

Received from September 29, 2025

Accepted November 30, 2025

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

Mining activities have the potential to generate significant environmental impacts, particularly in water management, which may increase the risk of flooding due to intensified rainfall and extensive land clearing. Surface runoff generated by precipitation, together with groundwater contributions, influences the hydrological conditions of mining areas. Extreme rainfall events substantially increase runoff discharge, posing risks to mining operations as well as to surrounding communities. This study aims to develop a flood disaster mitigation strategy for a mining area through hydrological analysis and mine drainage system design using an empirical modeling approach. The research methodology involved the collection of ten years of rainfall data, topographic information, catchment area characteristics, and mining sequence data, which were subsequently analyzed using the Rational Method and the Gumbel distribution. The research stages comprised field surveys, spatial mapping using ArcGIS, rainfall and runoff analyses, and the prediction of extreme rainfall events. The analysis indicated a maximum runoff discharge of 25.89 m³/s within a catchment area of 0.716 km². The proposed integrated drainage system consists of a drainage channel with a water depth (d) of 1.1 m, a channel bottom width (b) of 1.3 m, a channel depth (h) of 1.3 m, a channel top width (B) of 1.7 m, a side slope width (a) of 1.5 m, and a freeboard height (F) of 0.30 m; a sump with a top length (c) of 27.6 m, a bottom length (e) of 24.8 m, a top width (d) of 9.6 m, and a bottom width (f) of 8.6 m; and a settling pond measuring 37 m in length (A) and 15 m in width (B), equipped with a baffle measuring 10 m in length (C) and 4 m in width (D). The drainage channel dimensions were determined using the Rational Method, whereas the capacities of the sump and settling pond were designed in accordance with established engineering standards using a safety factor of 1.25. The proposed system is further complemented by continuous hydrological and water quality monitoring. Overall, the integrated drainage model proved effective in controlling surface runoff, mitigating flood disaster risks, and supporting environmentally sustainable mining operations.

Keywords: *flood disaster; extreme rainfall; runoff discharge; mine drainage; environment.*

PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan berpotensi mengubah kondisi hidrologi akibat pembukaan lahan, perubahan topografi, dan berkurangnya infiltrasi sehingga meningkatkan limpasan permukaan (*surface runoff*) serta risiko banjir apabila pengelolaan air tambang tidak dilakukan secara optimal (Lehmkuhl & Stauch, 2023; et al., 2024). Pada tambang terbuka, air permukaan yang berasal dari curah hujan dan air tanah dapat meningkatkan debit air di dalam pit sehingga diperlukan sistem penyaliran yang efektif untuk menjaga keberlangsungan operasi tambang dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan maupun masyarakat. Penelitian Kurniawan et al. (2025) menunjukkan bahwa pemodelan HEC-HMS dan HEC-RAS mampu menghasilkan estimasi debit limpasan yang lebih akurat, sedangkan Riyadi dan Cahyadi (2025) menekankan pentingnya pengelolaan drainase yang terintegrasi.

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada analisis hidrologi, sistem *dewatering*, dan evaluasi kapasitas drainase tambang (Zdeb et al., 2021; Siddique et al., 2025). Namun, penelitian yang mengintegrasikan perubahan bukaan tambang, karakteristik curah hujan, debit limpasan, dan potensi banjir terhadap masyarakat sekitar masih terbatas. Kondisi tersebut menjadi research gap penelitian ini.

State of the art penelitian ini terletak pada penerapan analisis hidrologi yang mempertimbangkan perubahan daerah tangkapan air akibat perkembangan bukaan tambang

untuk mengevaluasi efektivitas sistem penyaliran. Adapun kebaruan penelitian ini adalah penyusunan strategi pengelolaan air tambang yang mengintegrasikan analisis curah hujan, perubahan bukaan lahan, debit limpasan, dan potensi dampaknya terhadap masyarakat sebagai dasar mitigasi *flood disaster* dalam penerapan *good mining practice*.

Berdasarkan konsep *good mining practice*, kegiatan pertambangan harus waspada terhadap peningkatan air permukaan akibat bertambahnya bukaan lahan. Keberadaan air yang tidak tertangani dapat memicu mpasan berlebih atau *flood disaster* yang berpotensi menjadi bencana (Amir, M.K., dkk., 2021).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang strategi pengelolaan air tambang melalui analisis curah hujan, *catchment area*, dan debit limpasan guna meningkatkan efektivitas sistem penyaliran serta meminimalkan risiko banjir pada area tambang dan wilayah sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Tahapan riset dimulai dari: persiapan alat dan bahan, survei pendahuluan, survei lapangan, pengambilan data primer, pengumpulan data sekunder, hingga tahap analisis data, pemodelan, evaluasi, dan penarikan kesimpulan. Seluruh kegiatan penelitian akan dilakukan secara luring di laboratorium

a. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas sepatu safety, baju dan helm lapangan, GPS, kompas lapangan, palu geologi, plastik sampel, rollmeter, alat ukur pH, *drone*, serta alat tulis kantor (ATK).

b. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas berupa data rainfall 10 tahun terakhir dan sekuen penambangan yang memengaruhi besarnya mpasan air; variabel terikat berupa strategi penanggulangan *flood disaster* yang disusun berdasarkan hasil anasis; serta variabel kontrol berupa kondisi topografi, *catchment area*, arah *runoff*, dan jenis tanaman yang menjadi kondisi tetap dalam proses anas

c. Tahapan Penelitian

Skema tahapan penelitian ini secara singkat disajikan di bawah ini:

1. Tahap Pertama

a) *Survey* Lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan di area pertambangan untuk memperoleh gambaran kondisi eksisting lokasi penetian. Aspek yang diamati meputi kondisi sekuen reklamasi selama umur tambang, kondisi rainfall, serta topografi daerah penetian

b) Pengambilan dan Pengumpulan Data

Tahap ini dilakukan pengumpulan data kondisi eksisting yang meputi data *rainfall* 10 tahun terakhir, batas topografi, *catchment area*, sekuen penambangan, dan arah aran mpasan. Data bersumber dari hasil observasi lapangan, data *rainfall* BMKG, serta peta topografi dan sekuen penambangan yang diperoleh dari perusahaan

c) Analisis Data

Tahapan analisis data dilakukan dengan metode rasional. Kegiatan analisis yaitu sebagai berikut:

1. Klasifikasi dan karakterisasi hujan,

Analisis dilakukan berdasarkan frekuensi intensitas hujan pada skala jam, bulan, dan tahun untuk mengetahui pengaruh curah hujan terhadap pelaksanaan kegiatan reklamasi.

2. Analisis *rainfall* rencana

Analisis dilakukan untuk menentukan *rainfall* rencana dan debit mpasan menggunakan metode distribusi Gumbel dan Mononobe. Metode Gumbel digunakan untuk menentukan curah hujan rencana, sedangkan metode Mononobe digunakan untuk menghitung intensitas hujan sebagai dasar perhitungan debit limpasan (Jarwindah & Badurahman A., 2021).

Tabel 1. Tahapan Anasis *Rainfall* Rencana (Distribusi Gumbel)

No	Tahapan	Formula
1	Rata-rata	-
2	Standar Deviasi	$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$
3	Perhitungan <i>Reduce Mean</i> (Y_m)	$y_m = -\ln\left(-\ln\left(\frac{n+1-m}{n+1}\right)\right)$
4	Perhitungan <i>Reduced Variate</i> (Y_t)	$Y_t = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)$
5	Perhitungan <i>Rainfall</i> dengan periode ulang (T)	$x_r = \bar{x} + \left(\frac{Y_t - Y_m}{S_m}\right)S$
6	Intensitas <i>Rainfall</i> (T_c)	$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$

3. Analisis Temperatur

Menentukan suhu bulanan daerah penelitian, berdasarkan rekapan perusahaan, laporan terdahulu, maupun lembaga lain seperti BMKG.

4. *Mapping Catchment Area*

Pemetaan dilakukan berdasarkan kondisi topografi dan batas daerah tangkapan air hasil pengamatan lapangan menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

5. *Mapping Sekuen* Penambangan (Bukaan Tambang),

Dilakukan berdasarkan rencana bukaan aktifitas penambangan selama umur tambang. Pemetaan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ArcGis*.

2. Tahap Kedua

Tahap kedua menggunakan pendekatan empiris melalui perhitungan matematis berdasarkan hasil analisis data untuk menentukan besarnya beban air berlebih akibat *rainfall* di area pertambangan.

Tabel 2. Impresi Empiris

No	Keterangan	Formula
a)	Perhitungan Debit mpasan Q = Debit mpasan (m ³ /s) C = Koefisien mpasan Air Permukaan I = Intensitas Hujan (mm/jam) A = Luas CA (km ³)	$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A$
b)	Perhitungan Volume <i>Flood</i> Vol _Q = Volume <i>Flood</i> (m ³) T _c = Koefisien mpasan Q = Debit mpasan (m ³ /s)	$Vol_Q = Q \cdot T_c$

a) Perhitungan Debit *Runoff*

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui debit air permukaan yang masuk ke area bukaan tambang dengan menggunakan metode rasional.

b) Perhitungan Volume *Flood*

Dilakukan untuk mengetahui besaran volume air yang masuk dalam bukaan tambang persatuan waktu berdasarkan intensitas hujan yang terjadi.

c) Prediksi *Rainfall* Ekstrem

Dilakukan untuk melihat peningkatan presentasi debit limpasan dan volume air ketika *rainfall* ekstrem terjadi dalam kurung waktu tertentu. Tujuannya adalah sebagai faktor koreksi dalam menentukan dimensi sarana mitigasi potensi beban air berlebih.

3. Tahap Ketiga

a) Perancangan Model

Perancangan model dilakukan berdasarkan hasil analisis data dan impresi empiris. Hasil tahapan ini berupa model strategi rancangan penanggulangan *flood disaster*.

b) Evaluasi

Kegiatan ini dilakukan untuk optimalisasi model rancangan menjadi rekomendasi yang sesuai dengan permintaan dan kemampuan pengadaan oleh pihak perusahaan yang bersangkutan.

c) Penafsiran dan Penyimpulan

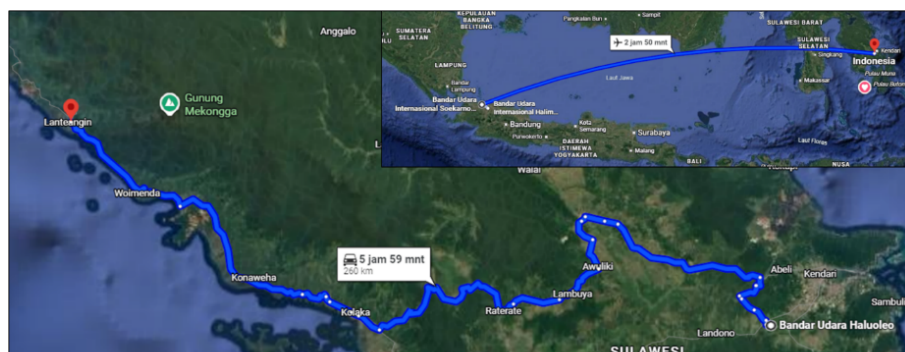
Dari hasil penelitian yang dilakukan selanjutnya dibuat laporan detail mengenai mekanisme kerja dan prosedur penelitian secara rinci.

HASIL PENELITIAN

Hasil Tahap 1

a. Survey Lapangan

Penelitian terletak pada Desa Walasiho, Kec. Wawo, Kab. Kolaka Utara, Prov. Sulawesi Tenggara. Perjalanan darat dari Kota Kendari ke lokasi selama ± 6 Jam.



Gambar 1. Akses Lokasi Daerah Penelitian (**koordinat: $121^{\circ}04'22.83''$ BT, $3^{\circ}42'29.58''$ LS**)

b. Pengamatan dan Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap kondisi aktual area lokasi penelitian yang berfokus pada aspek hidrologi daerah tambang, meliputi:

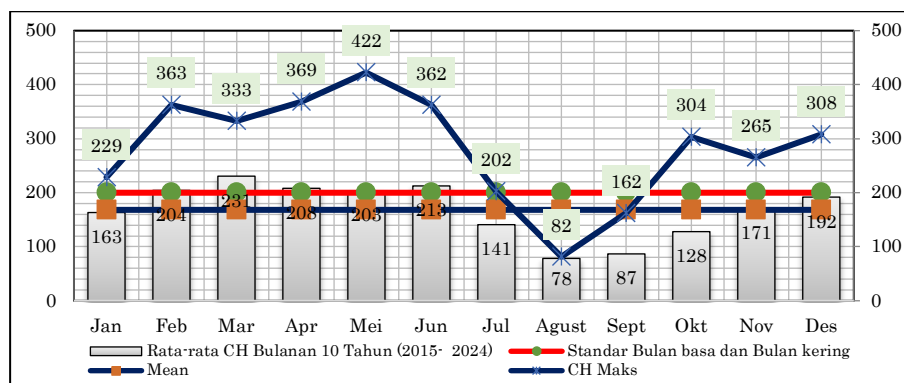
1. Pemetaan Topografi

Daerah penelitian memiliki topografi bervariasi dari pesisir hingga perbukitan. Limpasan umumnya mengarah dari daerah yang lebih tinggi menuju pesisir, dengan potensi erosi dan longsor lebih besar pada lereng yang curam.

2. Pengambilan Data *Rainfall* 10 Tahun Terakhir

Data curah hujan menunjukkan wilayah studi beriklim tropis basah–kering dengan distribusi hujan tidak merata, sehingga meskipun tidak menjadi kendala utama,

kondisi ini perlu dipertimbangkan dalam perencanaan teknis, pengelolaan air, dan mitigasi risiko operasional.



Gambar 2. Grafik Curah Hujan 10 Tahun Terakhir (2015 -2024)
WIUP PT. Lawaki Makmur Sejahtera

3. Penentuan Tapal Batas dan Pemetaan *Catchment Area* Penambangan

Penentuan batas *catchment area* dilakukan berdasarkan analisis topografi dan kontur elevasi untuk mengidentifikasi batas aliran (*watershed divide*) sebagai dasar perencanaan pengendalian air tambang.



Gambar 3. Pengamatan Tapal Batas Daerah Tangkapan Air

4. *Mapping* Sekuen Penambangan

Peninjaun sekuen penambangan bertujuan mengevaluasi perkembangan bukaan lahan dan perubahan pola aliran permukaan sebagai dasar penentuan kapasitas serta lokasi fasilitas pengendalian air guna meminimalkan risiko genangan dan *flood disaster*.

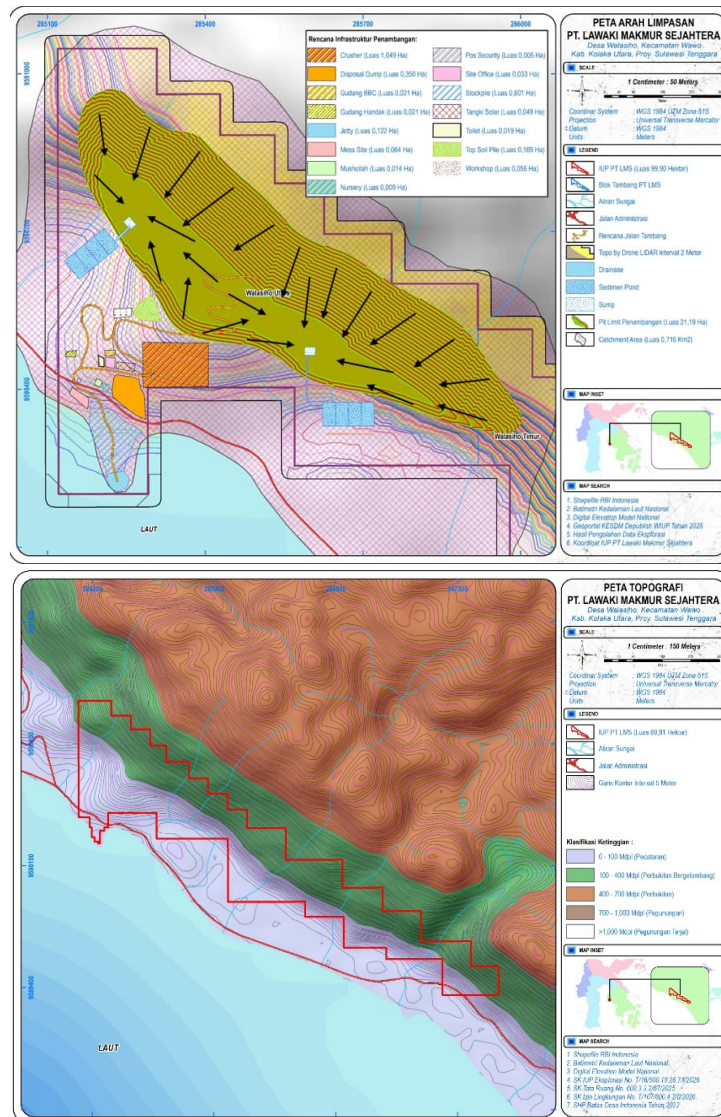


Gambar 4. Kondisi Topografi Daerah Penelitian Kegiatan Pemetaan *Catchment Area*

5. Pemetaan *Arah Runoff*

Pengamatan dilakukan untuk menentukan arah limpasan (*run off*) sebagai sumber utama air yang masuk ke area penambangan. Debit limpasan dihitung menggunakan

metode rasional berdasarkan intensitas hujan, luas *catchment area*, dan koefisien limpasan sebagai dasar perancangan drainase.



Gambar 5. Kondisi Topografi Area Penelitian dan Kondisi Arah *Run Off*

c. Analisis Data

1. Klasifikasi dan Karakterisasi Curah Hujan

Desain hujan puncak (*design rainfall intensity* atau *design storm*) adalah perhitungan curah hujan maksimum yang diperkirakan terjadi dalam suatu periode ulang tertentu (misalnya 2, 5, 10, 25, atau 50 tahun).

2. Distribusi Curah Hujan

Berdasarkan Gambar 2, musim hujan terjadi pada Februari–Juni dengan puncak Mei (± 205 mm; maksimum ± 422 mm) yang berpotensi meningkatkan risiko genangan dan erosi. Musim kering berlangsung Juli–September dengan curah hujan terendah pada Agustus (± 78 mm), sedangkan Oktober–Desember merupakan masa peralihan dengan peningkatan curah hujan (± 128 – 192 mm).

3. Desain Distribusi Hujan

Desain hujan puncak ditentukan melalui analisis statistik menggunakan data hujan maksimum tahunan 2015–2024 dari nilai maksimum harian (24 jam) untuk

mengidentifikasi karakteristik dan frekuensi curah hujan. Analisis menggunakan distribusi Gumbel, dengan uji kompatibilitas untuk memastikan kesesuaian distribusi. Perhatikan tabel berikut:

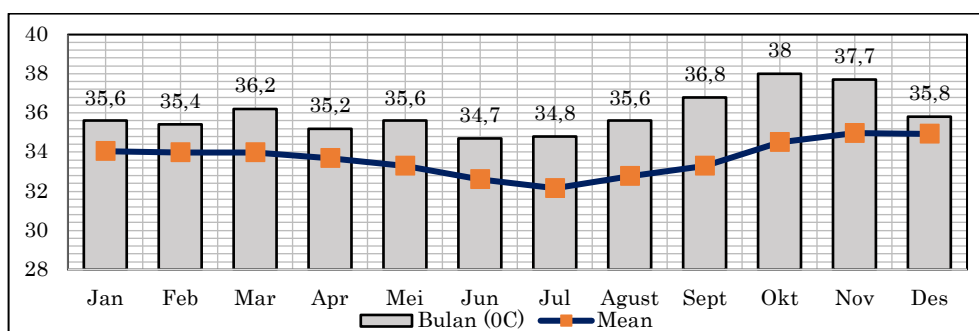
Tabel 3. Analisis Jenis Distribusi *Rainfall* (Tipe-1)

No	Bulan (2015-2024)	CH Bulanan Max (Xi)	(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Xi-X) ³	(Xi-X) ⁴
1	Januari	229	-54,8	3.004,0	(164.641,7)	9.023.736,0
2	Februari	363	79,6	6.334,8	504.199,9	40.130.114,2
3	Maret	333	49,4	2.439,5	120.492,8	5.951.339,5
4	April	369	85,6	7.325,9	627.038,8	53.669.300,2
5	Mei	422	139,1	19.346,5	2.690.935,8	374.286.742,5
6	Juni	362	78,8	6.208,1	489.148,7	38.540.837,6
7	Ju	202	-81,0	6.562,4	(531.605,0)	43.064.438,4
8	Agustus	82	-201,8	40.726,6	(8.218.968,0)	1.658.656.224,7
9	September	162	-121,0	14.643,0	(1.771.927,1)	214.417.939,1
10	Oktober	304	20,2	407,7	8.232,2	166.222,1
11	November	265	-18,5	342,6	(6.340,2)	117.346,3
12	Desember	308	24,5	599,8	14.691,1	359.810,1
	Average	283,31	0,0	8.995,1	-519.895,2	203.198.670,9
Jumlah				107.940,9	(6.238.742,6)	2.438.384.050,8
<i>Standar Deviasi (S)</i>					99,06	
<i>Coefficient Variance (Cv)</i>					(0,70)	
<i>Coefficient Skewness (Cs)</i>					2,11	
<i>Coefficient Kurtosis (Ck)</i>					0,35	

Berdasarkan hasil analisis nilai CV, CS dan CK maka hasil distribusi *rainfall* yang memenuhi syarat adalah menggunakan distribusi Gumbel. Selanjutnya, dari analisis *rainfall* rencana yang akan digunakan dalam perancangan sistem penyaliran.

4. Analisis Temperatur Daerah Penelitian

Data temperatur 2015–2024 menunjukkan wilayah PT Lawaki Makmur Sejahtera beriklim tropis panas (30,7°C–38,0°C; rata-rata 32°C–35°C). Suhu tertinggi terjadi pada awal–akhir tahun dengan puncak 38,0°C (Oktober 2020), sedangkan terendah pada Juni–Agustus (30,7°C–33,0°C). Secara umum, tidak terdapat tren penurunan temperatur jangka panjang. Perhatikan gambar berikut:



Gambar 6. Grafik Temperatur WIUP PT. Lawaki Makmur Sejahtera

5. Analisis *Rainfall* Rencana

Berdasarkan hasil analisis data curah hujan dengan pendekatan distribusi Gumbel PT. Lawaki Makmur Sejahtera, maka hasil analisis curah hujan di tunjukkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Hasil Analisis Intensitas Curah Hujan (Persamaan Mononobe)

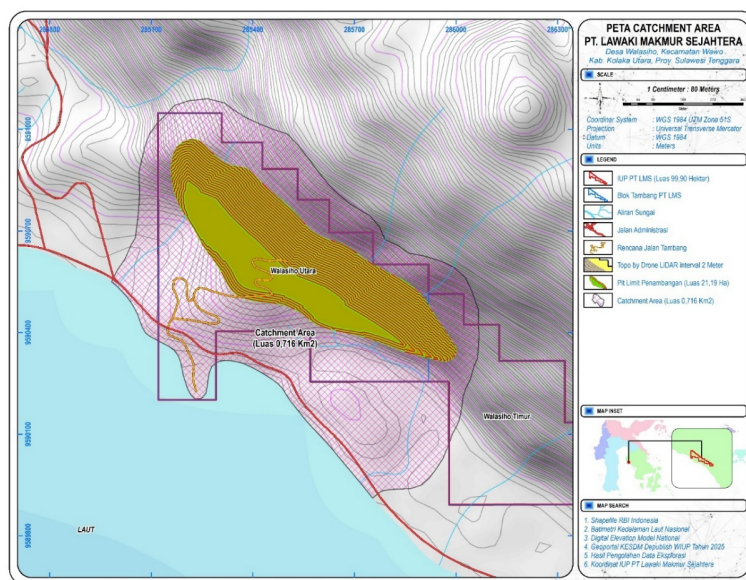
No	Periode Ulang (P)	Intensitas Curah Hujan / I (t = 2 jam)
1	2	62.40
2	5	73.58
3	10	80.98
4	25	90.33
5	50	97.26
6	100	104.15

Tabel 5. Intensitas Curah Hujan Siklus 84 jam (KepMen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018)

No	Periode Ulang (P)	I (t = 12 jam)	I (t = 24 jam)	I (t = 48 jam)	I (t = 84 jam)
1	2	18,89	18,89	7,49	5,16
2	5	22,27	22,27	8,83	6,08
3	10	24,51	24,51	9,72	6,69
4	25	27,34	27,34	10,84	7,47
5	50	29,44	29,44	11,68	8,04
6	100	31,52	31,52	12,50	8,61

6. Mapping Daerah Tangkapan Air (*Catchment Area*)

Karakteristik *catchment area* yang memengaruhi aliran air menuju pit memerlukan perencanaan drainase yang baik. Air hujan dan *runoff* yang masuk ke area tambang berpotensi menyebabkan genangan, erosi, dan sedimentasi, terutama pada musim hujan.

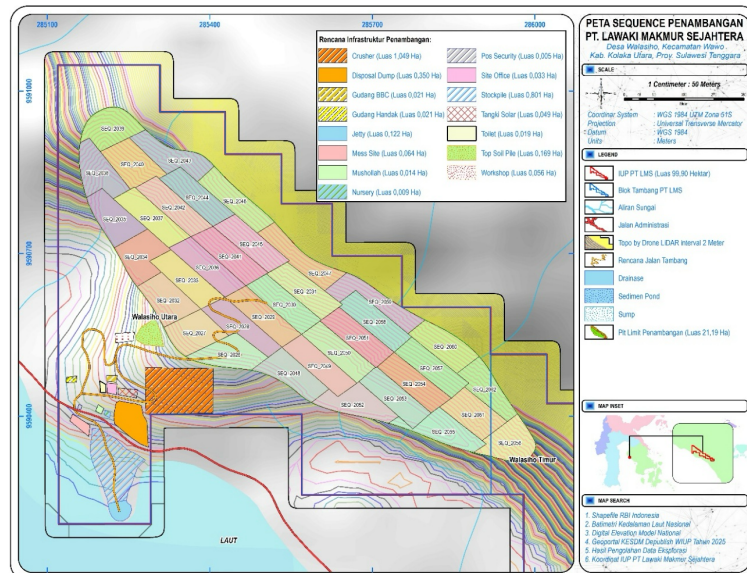


Gambar 7. Kondisi *Catchment Area* Daerah Penelitian

7. Mapping Sekuen Penambangan (Bukaan Tambang)

Urutan sekuen penambangan direncanakan bertahap dari Blok Walasiho Utara ke Walasiho Timur dengan bukaan rata-rata $\pm 1,8$ Ha/tahun pada elevasi 23–113 mdpl, mengikuti kondisi topografi. Perkembangan bukaan lahan menyebabkan perubahan morfologi yang berpotensi meningkatkan limpasan permukaan, erosi, serta risiko genangan dan banjir, terutama pada lereng sedang–curam dan curah hujan tinggi. Meskipun sistem pengelolaan air seperti drainase, *sump*, dan *settling pond* telah direncanakan, diperlukan integrasi yang konsisten dengan tahapan penambangan serta peningkatan kapasitas pengendalian air untuk mengimbangi bertambahnya luas bukaan. Secara keseluruhan, keberhasilan penambangan sangat bergantung pada

keterpaduan antara sekuen penambangan dan sistem pengelolaan air yang adaptif guna meminimalkan risiko *flood disaster*. Perhatikan gambar 8.



Gambar 8. Kondisi Sekuen Tambang selama Umur Tambang

Hasil Tahap 2

a. Perhitungan debit limpasan

Dalam model penanggulangan *flood disaster*, debit limpasan merupakan parameter kunci karena menentukan kapasitas drainase, kolam retensi, dan kanal. Luas *catchment area* dan karakteristik fisik aliran dari rencana bukaan tambang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Luas *Catchment Area* Selama Umur Tambang

No	Catchmen Area	Total Area (km ²)	Zona Sekuen
1	CA 1	0,716	Sekuen 2026 & 2030

Nilai debit puncak *runoff* untuk *Catchmen Area* penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Estimasi Debit Puncak Limpasan Permukaan Tambang

No	DTA	Koefisien Limpasan (C)	Curah Hujan Maksimum	Luas (A) (km ²)	Debit (m ³ /s)	Debit (m ³ / 84 Jam)
1	CA 1	0,9	422	0,716	0,75	226.357

b. Perhitungan Volume Flood

Perhitungan volume *flood* penting dalam penanggulangan *flood disaster* di area tambang karena menjadi dasar desain kapasitas drainase dan kolam tampungan agar mampu menampung limpasan hujan secara optimal. Estimasi yang akurat juga membantu mengurangi risiko erosi, sedimentasi, dan gangguan operasional, sehingga mendukung pengelolaan air tambang yang efektif dan berkelanjutan. Volume *flood* dapat dilihat pada tabel 7.

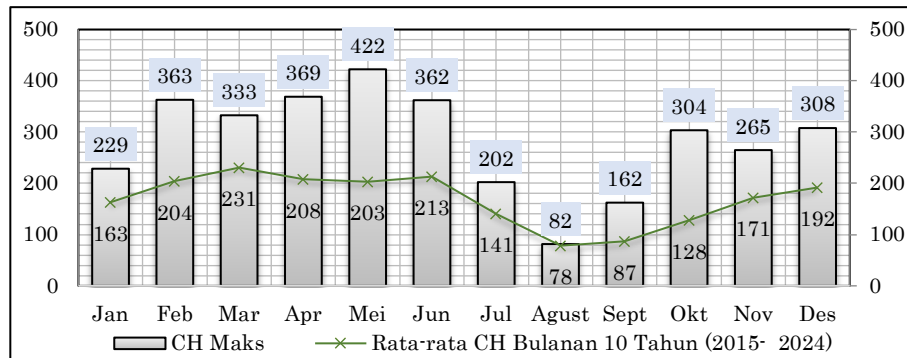
Tabel 7. Nilai Estimasi Volume Limpasan Permukaan Tambang

No	Tc (jam)	Debit Limpasan (m ³ /detik)	Volume (m ³)
1	4,6	226.357	103,9171.5

c. Prediksi *Rainfall* Ekstrem

Berdasarkan analisis data curah hujan bulanan selama periode 2015–2024, diketahui bahwa curah hujan ekstrem (CH Maks) pada lokasi studi menunjukkan variasi yang

signifikan sepanjang tahun. Nilai CH Maks tertinggi tercatat pada bulan Mei, yaitu sebesar 422 mm, yang mengindikasikan puncak musim hujan di wilayah tersebut. Perhatikan Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Curah Ekstrem WIUP PT. Lawaki Makmur Sejahtera

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model penanggulangan *flood disaster* pada wilayah IUP PT. Lawaki Makmur Sejahtera dapat dilakukan melalui integrasi sistem penyaliran tambang berupa *ditch*, *sump*, dan *settling pond*. Rancangan tersebut disusun berdasarkan karakteristik topografi, luas *catchment area*, debit *runoff*, serta kondisi bukaan tambang yang berpotensi meningkatkan akumulasi air dan risiko genangan.

a. Perancangan Model

Model penanggulangan *flood disaster* dirancang melalui pendekatan empiris dan analisis terintegrasi dengan menerapkan sistem penyaliran tambang yang efektif untuk mengendalikan aliran air, mencegah genangan, serta mengurangi risiko banjir, erosi, dan longsor.

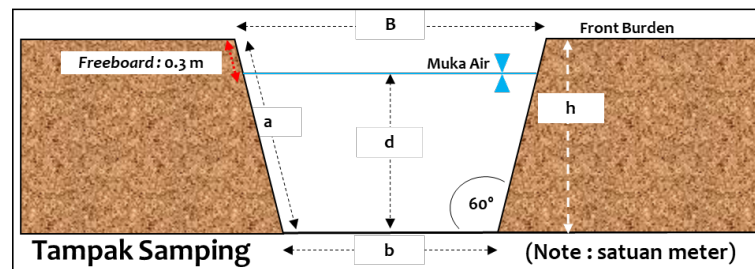
1. Rancangan Saluran Drainase (*Ditch*)

Saluran drainase (*ditch*) dirancang untuk menampung dan mengalirkan limpasan air dari area bukaan tambang menuju sump, sebelum dipompa ke kolam sedimen. Dimensi saluran ditentukan berdasarkan kapasitas aliran dan jenis pelapis saluran.

Tabel 8. Rekomendasi Dimensi dan Geometri Saluran Drainase/*Ditch* (Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 = Dimensi Aktual*1,25)

Variabel	Simbol	Parameter Dimensi	satuan
Kemiringan Saluran	Persen	2	%
Sudut Kemiringan (60°)	Derajat	60	Derajat
Tinggi Muka Air	d	1,1	Meter
Lebar dasar	b	1,3	Meter
Kedalaman Saluran	h	1,3	Meter
Lebar Permukaan	B	1,7	Meter
Lebar Penampang dari sisi saluran	a	1,5	Meter
Freeboard	F	0,30	Meter

Model rekomendasi dimensi dan geometri saran drainase (*ditch*) pada wilayah IUP PT Lawaki Makmur Sejahtera dapat dihat pada gambar 10.



Gambar 10. Model Rekomendasi Dimensi dan Geometri Saran Drainase (*Ditch*)

Dimensi saluran drainase yang direkomendasikan memiliki tinggi muka air 1,1 m, lebar dasar 1,3 m, dan *freeboard* 0,30 m. Hasil ini sejalan dengan penelitian Amir et al. (2025) yang menyatakan bahwa peningkatan kapasitas saluran drainase pada area tambang terbuka mampu mengurangi potensi *flood disaster* dan erosi akibat peningkatan limpasan permukaan. Selain itu, penerapan sistem main *ditch* dan *collector ditch* yang mengikuti kontur lahan juga sesuai dengan penelitian Kurniawan et al. (2025), yang menunjukkan bahwa desain saluran berbasis karakteristik *catchment area* lebih efektif dalam mengendalikan debit puncak.

Perbedaan dimensi saluran dan kapasitas tampungan dibandingkan penelitian sebelumnya disebabkan oleh perbedaan kondisi geomorfologi, intensitas curah hujan, luas daerah tangkapan hujan, serta perkembangan bukaan tambang. Pada lokasi penelitian, kondisi topografi yang relatif kompleks menyebabkan konsentrasi aliran permukaan lebih tinggi sehingga diperlukan faktor keamanan sebesar 1,25 ka sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Hal ini menunjukkan bahwa desain penyaliran tambang tidak dapat digeneralisasi, tetapi harus disesuaikan dengan karakteristik hidrologi masing-masing wilayah.

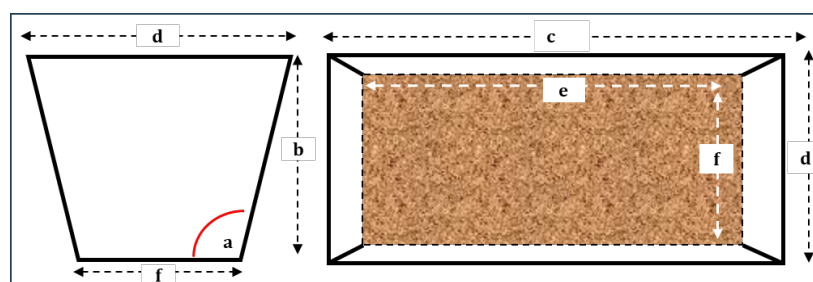
2. Perancangan *Sump*

Sump dirancang berdasarkan luas *catchment area* sebagai tampungan sementara air tambang sebelum dialirkan ke *settling pond*, dengan kapasitas minimum sebesar 1,25 kali volume air masuk.

Tabel 9. Rekomendasi Rancangan Dimensi *Sump* (Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 = *Dimensi Aktual**1,25)

Parameter	Simbol	Nilai Dimensi <i>Sump</i>	Satuan
Kemiringan dinding	a	60	derajat
Kedalaman	b	4	m
Panjang Permukaan	c	27,6	m
Panjang Alas	e	24,8	m
Lebar Permukaan	d	9,6	m
Lebar Alas	f	8,6	m
Volume	-	70.832	m ³

Rekomendasi model dimensi dan geometri rancangan dimensi *sump* pada wilayah IUP PT. Lawaki Makmur Sejahtera dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Rekomendasi Model Dimensi *Sump* Tampak Atas & Samping

Rancangan *sump* dengan volume tampungan sebesar 70.832 m³ menunjukkan kemampuan yang cukup untuk menampung air sementara sebelum dipompa menuju *settling pond*. Hasil ini mendukung penelitian Ajić et al. (2024) yang menjelaskan bahwa sistem *mine dewatering* yang efektif memerlukan kapasitas tampungan yang memadai guna mengantisipasi fluktuasi debit akibat kejadian hujan ekstrem. Perbedaan volume tampungan dengan beberapa penelitian terdahulu dipengaruhi oleh variasi kedalaman pit, konfigurasi penambangan, dan besarnya kontribusi air tanah terhadap sistem tambang.

Sump ditempatkan di titik terendah pit untuk memanfaatkan aliran gravitasi, dilengkapi pompa, tanggul, dan *diversion channel*, serta didukung sistem drainase (*catch*, *peripheral*, dan *main drain*) yang mengikuti kontur guna mengalirkan air secara efektif dan mencegah genangan.

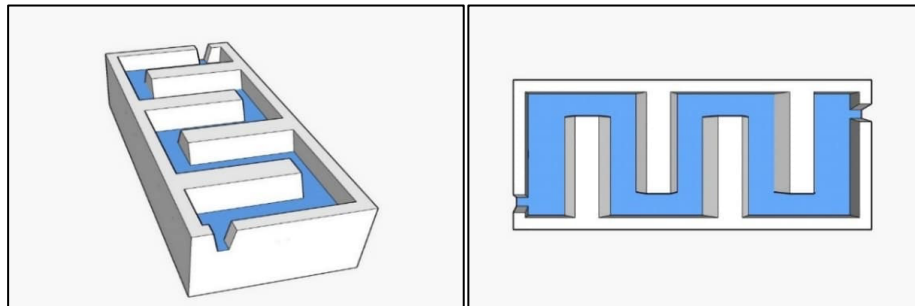
3. Perancangan *Settling Pond*

Settling pond dirancang berbentuk trapesium dengan *baffle* untuk memperpanjang aliran dan mencegah *shortcut*, sementara dimensinya dihitung menggunakan metode *steady-state overflow rate* dengan asumsi aliran tenang dan debit masuk sama dengan keluar. Rekomendasi dimensi kolam pengendapan ditentukan berdasarkan hasil perhitungan yang telah memasukkan faktor keamanan sebesar 1,25 ka sesuai Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Perhatikan tabel berikut:

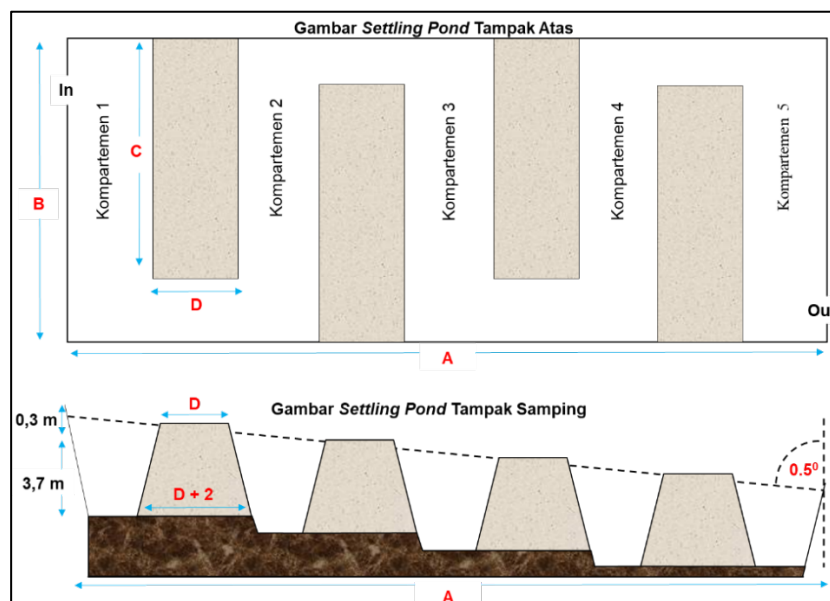
Tabel 10. Rekomendasi Dimensi *Settling Pond* (Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 = Dimensi Aktual*1,25)

Parameter Operasi	Satuan	Nilai Dimensi <i>settling pond</i>
Debit Pemompaan		
Jumlah pompa	n (buah)	1
Jam kerja	jam/hari	8
Debit	m ³ /s	0,75
	m ³ /hari	21.558
Dimensi <i>Safety Pond</i>		
Panjang	p (meter)	140
Lebar	l (meter)	50
Kedalaman	d (meter)	4
Kondisi Pengendapan		
Kedalaman total	dtotal (meter)	6
Kedalaman <i>storage</i>	dstorage (meter)	4
Luas penampang total	Atotal (m ²)	22
Luas penampang <i>storage</i>	Astorage (m ²)	14
Kecepatan aliran <i>inlet-outlet</i>	v (m/s)	0,02
Waktu pengendapan	t (menit)	120
Panjang <i>inlet-outlet</i>	S (meter)	101
Volume total	Vtotal (m ³)	1415
Volume <i>storage</i>	Vstorage (m ³)	909
Dimensi Kolam Pengendapan		
Panjang (A)	p (meter)	37
Lebar (B)	l (meter)	15
Dimensi <i>Baffle</i>		
Panjang (C)	p' (meter)	10
Lebar (D)	l' (meter)	4
Jumlah <i>baffle</i>	n (buah)	4

Konsep tipikal desain rekomendasi *settling pond*, dengan tata letak lokasi kolam pengendapan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Rekomendasi Model *Settling Pond* Tampak Atas & Samping.



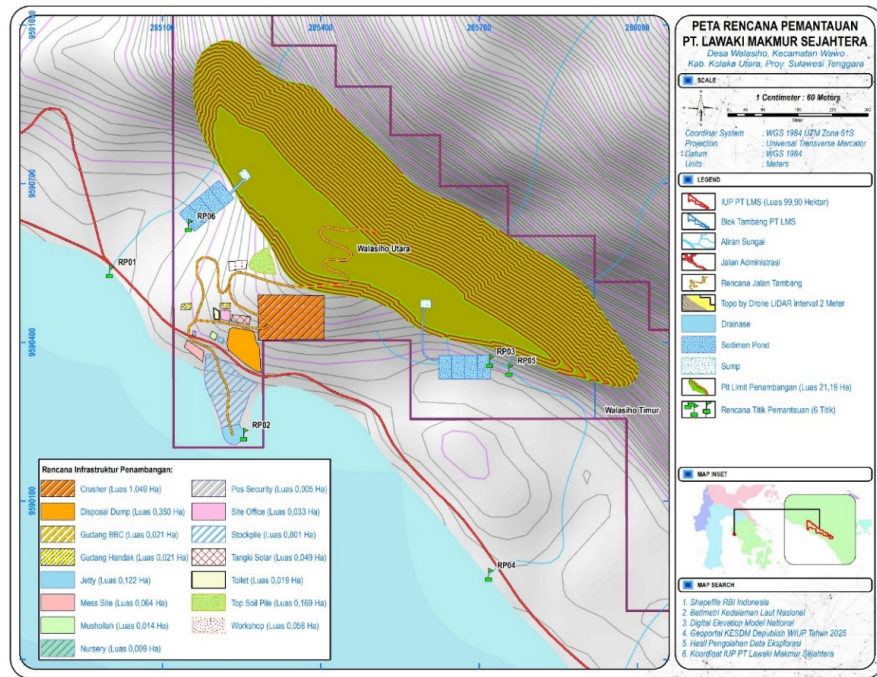
Gambar 13. Rekomendasi Model Dimensi *Settling Pond* Tampak Atas & Samping

Desain *settling pond* dengan dimensi 37 m × 15 m dan penggunaan 4 unit *baffle* menunjukkan upaya peningkatan efisiensi proses pengendapan sedimen. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan *baffle* dapat memperpanjang lintasan aliran (*flow path*) dan meningkatkan waktu tinggal (*retention time*) sehingga efisiensi pengendapan sedimen menjadi lebih tinggi. Perbedaan jumlah *baffle* dan dimensi kolam pada berbagai penelitian dipengaruhi oleh debit pemompaan, karakteristik sedimen, serta target kualitas air yang ingin dicapai.

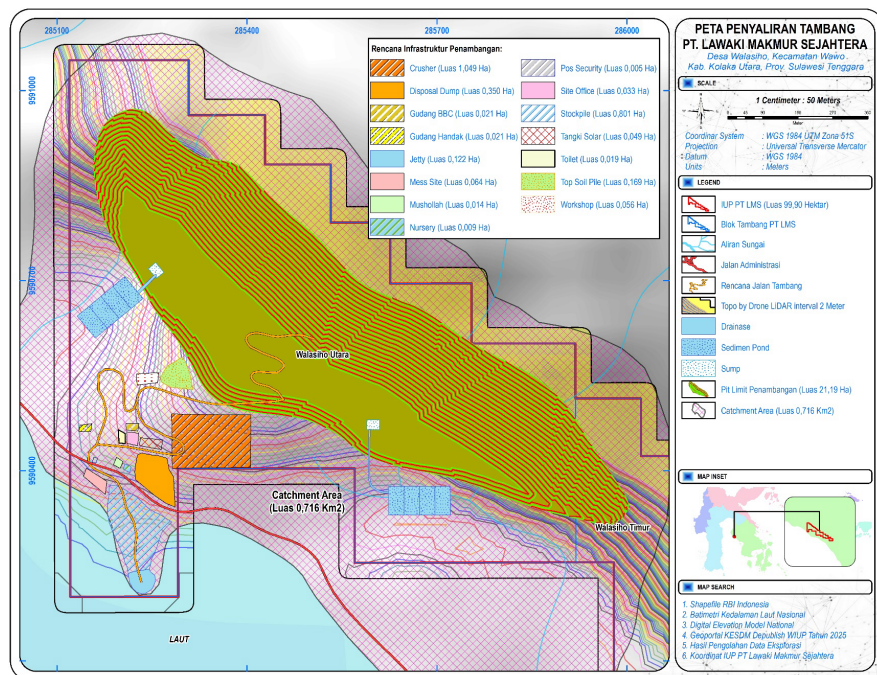
b. Evaluasi Rekomendasi Model

Evaluasi rekomendasi model rencana *flood disaster* berupa program dan prosedur pemantauan terhadap kondisi hidrologi dan hidrogeologi dilakukan berdasarkan beberapa parameter yaitu:

1. Pemantauan Curah Hujan Pemantauan Klimatologi
2. Pemantauan Muka Air Tanah
3. Pemantauan Debit
4. Pemantauan Air Permukaan dan Air Tanah



Gambar 14. Peta Rencana Pemantauan



Gambar 15. Peta Rencana Sistem Penyaliran PT. Lawaki Makmur Sejahtera

KESIMPULAN

Daerah penelitian merupakan kawasan IUP yang berada di sekitar perkebunan masyarakat dengan kondisi iklim tropis basah–kering dan distribusi curah hujan tidak merata, sehingga perlu diperhatikan dalam pengelolaan air dan operasional tambang; *catchment area* ($\pm 0,716 \text{ km}^2$) berpotensi menghasilkan debit limpasan signifikan seiring rencana penambangan satu pit yang berkembang pada periode 2026–2062, sehingga dirancang model penanggulangan *flood disaster* berbasis analisis hidrologi dan pendekatan empiris melalui sistem drainase,

sump, dan *settling pond* terintegrasi, dengan mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dan faktor keamanan 1,25 untuk mengendalikan banjir serta mendukung keberlanjutan operasional.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada pengembangan model empiris penanggulangan *flood disaster* yang mengintegrasikan aspek hidrologi, hidrogeologi, dan sistem penyaliran tambang ke dalam satu kerangka pengelolaan air pertambangan. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada analisis limpasan atau desain saluran secara parsial, penelitian ini menghasilkan rekomendasi sistem penyaliran yang adaptif terhadap perubahan bukaan tambang dan dinamika curah hujan. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam penyusunan rencana pengelolaan air lingkungan pertambangan yang lebih efektif dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

PUSTAKA

- Amir, M.K., Priyana, Y.L.O., Febriyanty, M., Rahman, W.W., Pino, A.A.K., Latif, W.O.U., dan Yunus, F.N. 2025. Proyeksi Curah Hujan Rencana untuk Kebutuhan Penanaman Revegetasi pada Kegiatan Reklamasi Tambang dengan Pendekatan Distribusi Gumbel. *Jurnal Geomine*, 13 (1): 335-347.
- Amir, M.K., Priyana, Y.L.O., Dzakir, L.O., Shaddad, A.R., Aldiyansyah, Kadar, M.I., 2021. Analisis Kualitas pH dan TSS Air mbah Penambangan Bijih Nikel PT Prima Utama Lestari di Desa Ulissu, Kecamatan Malili, Kabupaten Luwu Timur. *Jurnal Geomine*, 9 (3):267-274.
- Ajić D, Bajić S, Trivan J, et al. 2024. A *teamwork-based protocol for a holistic approach to selecting a sustainable mine dewatering management plan*. *Sustainability*. 2024;16(23):10424. <https://doi.org/10.3390/su162310424>.
- Jarwindah, Badurahman A. 2021. Analisis Rainfall Rencana Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Untuk Wilayah Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Science, Technology, and Virtual Culture*. 2021; 1 (1): 51-54.
- Kurniawan A, Rahman A, Setiawan B. 2025. *Hydrological modeling for mine water management using HEC-HMS and HEC-RAS approaches in open pit mining areas*. *Journal of Mining and Environmental Studies*. 2025.
- Kurniawan, I., Damarnegara, S., & Margini, N. F. (2025). *Evaluation of Discharge Calculation in Open Pit Mining*. *Journal of Civil Engineering*.
- Lehmkuhl, F., & Stauch, G. 2023. *Anthropogenic influence of open pit mining on river floods, an example of the Blessem flood 2021*. *Geomorphology*, 421, 108522.
- Lehmkuhl F, Stauch G. *Land use changes and hydrological response in mining environments: Implications for runoff and flood hazards*. *Environmental Earth Sciences*. 2023;82:415.
- Riyadi, F. A., & Cahyadi, T. A. 2025. *Surface Water and Mine Drainage System Management for Open Pit Gold Mine in Central Java, Indonesia*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Siddique, A., Tan, Z., Rashid, W., & Ahmad, H. 2025. *Sustainable Water-Related Hazards Assessment in Open Pit-to-Underground Mining Transitions*. *Water*, 17(9), 1354.
- Zdeb, T., et al. (2021). *Open-Pit Mine Dewatering Based on Water Recirculation—Case Study with Numerical Modelng*. *Energies*, 14(15), 4576.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jakarta: Kementerian ESDM; 2018.