



Analisis Perbandingan Metode Rasional dan Nakayasu untuk Penentuan Kapasitas Sump Pit 19AS

Nadia Rahmavidy Gitarista^{1*}, Tedy Agung Cahyadi¹, Reza Ferdyan², Edward Pernando²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN "Veteran" Yogyakarta

²Mine Planning Departement, PT Indominco Mandiri

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i2.1785>

Article Info:

Received : 15 Maret 2026
Revised : 19 Maret 2026
Accepted : 05 April 2026
Published : 10 April 2026

Correspondence:

Nadia Rahmavidy Gitarista

Phone: +6282195289096

Abstract: A well-designed drainage system is a fundamental component in planning new open-pit (greenfield) mining operations to ensure production continuity and operational safety from the outset. This study aims to compare the Rational and Nakayasu methods in a hydrological analysis to design the sump capacity of Pit 19AS, with a catchment area of 289 ha. The methodology includes rainfall frequency distribution analysis, runoff discharge estimation using both methods, and water balance simulation to determine sump capacity. The results show significant differences between the two approaches. The Rational method produces a static runoff estimate due to the assumption of uniform rainfall intensity, resulting in a sump volume of 168,773 m³. In contrast, the Nakayasu method more effectively represents flow dynamics by incorporating lag time and recession phases in the hydrograph, yielding a sump volume of 179,156 m³. Based on the water balance simulation, the Nakayasu method is recommended as a more reliable and representative approach for sump design in greenfield open-pit mining, particularly for large catchment areas such as the 289 ha case, as it complies with the mine drainage feasibility standards outlined in the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 1827 K/30/MEM/2018.

Keywords: Drainage system; Rational method; Nakayasu method; Water balance; Sump capacity.

Citation: Gitarista, N. R., Cahyadi, T. A., Ferdyan, R., & Pernando, E. (2026). Analisis Perbandingan Metode Rasional dan Nakayasu untuk Penentuan Kapasitas Sump Pit 19AS. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(2), 870–880. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i2.1785>

Pendahuluan

Sistem penyaliran tambang memiliki peranan penting dalam menjaga keberlangsungan operasional tambang terbuka, khususnya pada wilayah dengan intensitas curah hujan tinggi seperti Indonesia. Intensitas curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan limpasan yang berpotensi menimbulkan genangan pada area *front* penambangan, sehingga mengganggu produktivitas dan meningkatkan risiko keselamatan kerja (Santoso et al., 2019). Oleh karena itu, penyusunan rencana desain kapasitas *sump* yang berguna sebagai wadah untuk menampung air limpasan menjadi prioritas utama dalam perencanaan sistem penyaliran tambang (Fitri et al., 2018).

Permasalahan utama dalam perencanaan sistem penyaliran tambang, khususnya pada pengembangan *pit* baru (*greenfield*), adalah ketidakpastian dalam prediksi debit limpasan yang masuk ke dalam *pit* dapat menyebabkan desain *sump* tidak optimal. Selain itu, kompleksitas karakteristik *catchment area* pada daerah penelitian seperti luas area, kondisi topografi, dan distribusi curah hujan sangat mempengaruhi kuantitas limpasan yang dihasilkan (Endriantho & Ramli, 2013).

Metode rasional merupakan metode yang umum digunakan dalam menghitung debit limpasan karena kesederhanaannya, namun memiliki keterbatasan teoretis karena mengasumsikan distribusi hujan yang seragam (*uniform rainfall intensity*), sehingga cocok

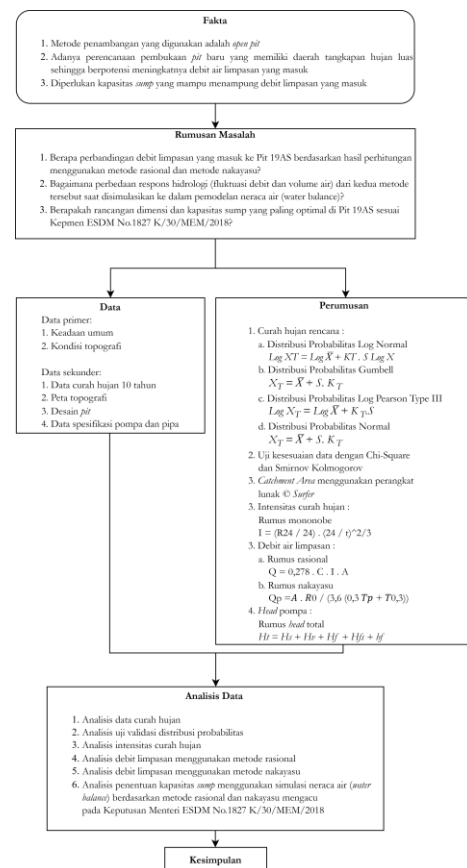
digunakan untuk daerah pengaliran yang memiliki luas <100 ha (Abdillah, 2025). Disisi lain, metode nakayasu menawarkan pendekatan parameter fisik lebih komprehensif pada *catchment area* dengan luas >100 ha. Analisis hidrograf menggunakan metode nakayasu memiliki validitas tinggi dengan deviasi yang minim dibandingkan dengan pemodelan numerik modern (HEC-HMS) (Ansori et al., 2023).

Perbedaan pendekatan antara metode rasional dan nakayasu berpotensi menghasilkan estimasi debit limpasan yang berbeda, sehingga mempengaruhi keputusan desain *sump* yang diambil. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan (*comparative analysis*) debit limpasan menggunakan metode rasional dan nakayasu untuk menentukan kapasitas *sump* yang paling optimal pada *Pit 19AS*. Analisis dilakukan menggunakan simulasi neraca air (*water balance*) untuk mengevaluasi perbedaan respons hidrologi (debit dan volume) dari kedua metode, sehingga menghasilkan kapasitas *sump* yang memenuhi standar keamanan hidrologi (*reliability*) dan efisiensi operasional tambang.

Metode

Prosedur pengolahan data dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan berjenjang seperti pada Gambar 1. Tahap awal dimulai dengan pengolahan dan analisis data distribusi curah hujan menggunakan distribusi probabilitas Log Normal, Gumbel, Normal, dan Log Pearson Type III kemudian dilakukan uji keselarasan menggunakan Metode Chi-Square dan Smirnov Kolmogorov dan dilanjutkan dengan inventarisasi data spasial menggunakan perangkat lunak © *Surfer* untuk menentukan parameter dari *catchment area*.

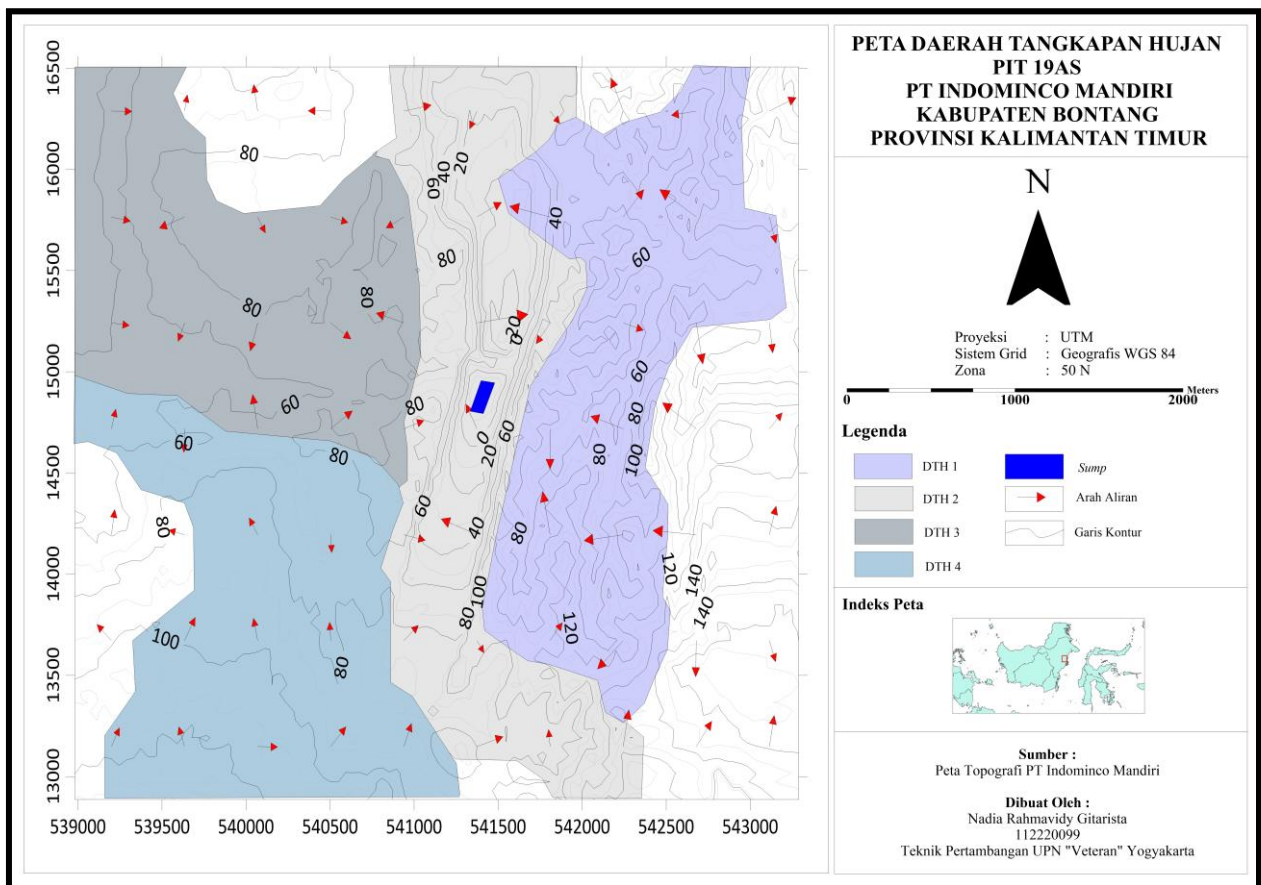
Perhitungan intensitas curah hujan dilakukan menggunakan rumus Mononobe yang selanjutnya dilakukan perhitungan debit limpasan menggunakan metode rasional dan metode nakayasu. Hasil dari perhitungan debit limpasan pada masing-masing metode tersebut selanjutnya disimulasikan ke dalam model neraca air (*water balance*) untuk menentukan kapasitas *sump* berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dengan kapasitas tampung minimum 1,25 kali lipat dari akumulasi volume air.



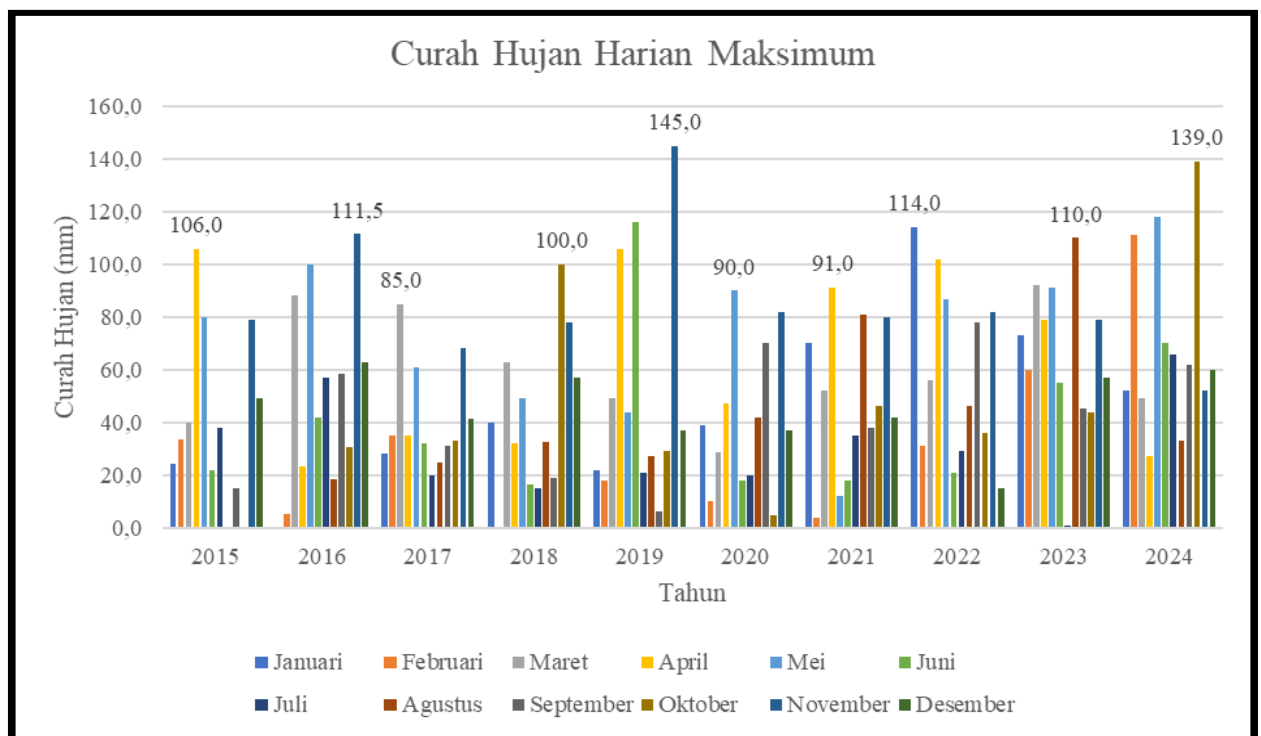
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Area Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan yang bertempat di lokasi rencana bukaan *Pit 19AS* PT Indominco Mandiri Kalimantan Timur, yang memiliki luas daerah tangkapan hujan (*catchment area*) 1 sebesar 298 ha, daerah tangkapan hujan 2 sebesar 289 ha, daerah tangkapan hujan 3 sebesar 274 ha, dan daerah tangkapan hujan 4 sebesar 295 ha seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Luas daerah tangkapan hujan yang digunakan untuk analisis debit limpasan pada penelitian ini yaitu daerah tangkapan hujan 2 karena merupakan sumber limpasan air yang masuk kedalam *Pit 19AS*. Kondisi iklim di lokasi penelitian dipantau menggunakan pengukuran langsung di lapangan, salah satunya curah hujan. Hasil pengukuran data curah hujan harian pada lokasi penelitian sejak tahun 2015 hingga tahun 2024 tertera pada Gambar 3.



Gambar 2. Catchment area Pit 19AS



Gambar 3. Curah hujan maksimum tahun 2015-2024 (PT Indominco Mandiri, 2025)

Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana (*design rainfall*) merupakan nilai suatu kejadian hujan yang diprediksi akan terjadi di suatu daerah pada periode ulang tertentu (Ferdyan, 2023). Data curah hujan yang digunakan yaitu 10 tahun terakhir karena dianggap mampu merepresentasikan karakteristik hujan untuk *catchment area* (Putranda, 2022). Analisis frekuensi curah hujan diolah melalui empat pendekatan distribusi, yakni Log Normal, Gumbel, Log Pearson Type III dan Normal. Guna menentukan metode distribusi probabilitas yang paling representatif terhadap sampel data yang dianalisis, dilakukan tahapan uji kesesuaian (*goodness - of - fit test*) menggunakan metode Chi-Kuadrat dan metode Smirnov-Kolmogorov.

Distribusi Probabilitas Log Normal

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K_T \cdot S \text{ Log } X$$

Keterangan:

- $\text{Log } X_T$ = Nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T
- $\text{Log } \bar{X}$ = Nilai rata-rata dari $\text{log } X$
- $S \text{ Log } X$ = Standar deviasi dari $\text{log } X$
- K_T = Faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari T

Distribusi Probabilitas Gumbell

$$X_T = \bar{X} + S \cdot K_T$$

Keterangan:

- X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)
- \bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)
- S = Standar deviasi dari hujan
- K_T = Faktor Frekuensi Gumbel : $K = (Y_t - Y_n) / S_n$
- Y_t = *Reduce variate*
- S_n = *Reduced standart deviation*
- Y_n = *Reduced mean*

Distribusi Probabilitas Log Pearson Type III

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K_T \cdot S \text{ Log } X_T$$

Keterangan:

- $\text{Log } X_T$ = Nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T
- $\text{Log } \bar{X}$ = Nilai rata-rata dari $\text{log } X$
- $S \text{ Log } X$ = Standar deviasi dari $\text{log } X$
- K_T = Variabel standar, besarnya bergantung koefisien kempungan (C_s atau G)

Distribusi Probabilitas Normal

$$X_T = \bar{X} + S \cdot K_T$$

Keterangan:

- X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)
- \bar{X} = Nilai rata-rata dari data hujan (X) (mm)
- S = Standar deviasi dari data hujan (X) (mm)
- K_T = Faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari T

Metode Chi-Kuadrat

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Keterangan :

- χ^2 = Parameter *Chi-Kuadrat* terhitung
- E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya
- O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama
- n = Jumlah sub kelompok

Distribusi probabilitas yang digunakan untuk menentukan curah hujan rencana yaitu distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis, dirumuskan pada persamaan dibawah.

$$\chi^2 < \chi^2_{cr}$$

Keterangan:

- χ^2 = Parameter *chi-kuadrat* terhitung
- χ^2_{cr} = Parameter *chi-kuadrat* kritis

Metode Smirnov Kolmogorof

$$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X)$$

Keterangan :

- ΔP_i = Selisih antara peluang empiris dan teoritis
- $P(X_i)$ = Peluang empiris masing-masing data
- $P'(X)$ = Peluang teoritis masing-masing data

Jika $\Delta P_i < \Delta P$ kritis artinya distribusi probabilitas yang dipilih dapat diterima, demikian sebaliknya.

Periode Ulang Hujan

PUH atau *return period* merupakan perkiraan waktu rata-rata dimana suatu kejadian hujan dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui setidaknya satu kali dalam jangka waktu tersebut (Hendri Satria, 2023). Penentuan periode ulang didasarkan pada risiko hidrologi yang berfungsi sebagai probabilitas bahwa suatu hujan dengan periode ulang T

akan terjadi setidaknya satu kali selama umur tumbang. Perhitungan periode ulang dan resiko hidrologi dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah.

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Keterangan:

- R = Risiko hidrologi
- T = Periode ulang
- n = Umur tumbang (tahun)

Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan merupakan jumlah laju presipitasi per satuan waktu yang dinyatakan dalam mm/jam, dan menggambarkan seberapa cepat air hujan jatuh ke permukaan (Dessy S Nanda C Mayor, H.Marwan Asof, 2018). Rumus Mononobe biasa digunakan untuk mengubah curah hujan harian 24 jam (R₂₄) dalam satuan mm menjadi intensitas hujan (I) dengan durasi hujan (t) jam dapat ditulis secara umum seperti persamaan dibawah.

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$$

Keterangan:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimum harian (mm)
- t = Waktu hujan (jam)

Metode Rasional

Metode Rasional biasa digunakan untuk mengestimasi aliran air hujan pada tumbang terbuka. Metode ini mencakup perkiraan aliran puncak, volume dan distribusi waktu hujan (Bargawa et al., 2019). Dalam analisis hidrologi, terdapat sejumlah faktor variabel yang mempengaruhi sifat aliran permukaan. Metode rasional mengestimasi aliran permukaan tertinggi dinyatakan dalam persamaan dibawah.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Keterangan:

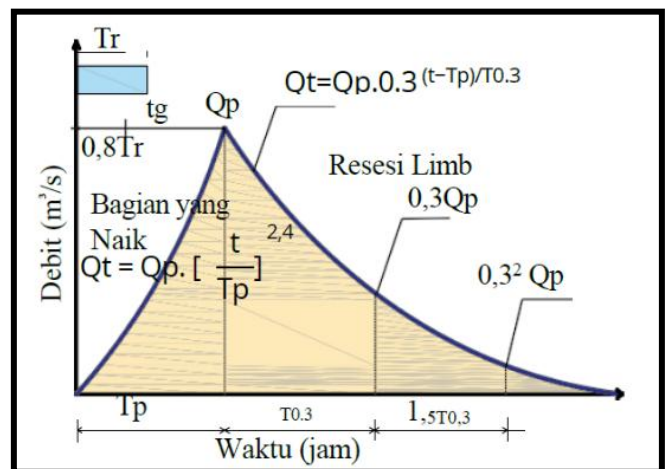
- Q = Air larian (debit) puncak (m³/detik)
- C = Koefisien air larian
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas wilayah DAS (ha)

Metode Nakayasu

Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu (HSS Nakayasu) merupakan salah satu pendekatan hidrograf yang dapat digunakan untuk memperoleh debit rancangan maksimum sekaligus menggambarkan sebaran limpasan dari saat hujan mulai terjadi hingga aliran kembali surut atau berhenti (Nggarang et al.,

2020). Grafik hidrologi sintesis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang. Selain itu, penggunaannya di Indonesia dimulai dengan proyek sumber daya air di daerah aliran Sungai Brantas pada tahun 1970-an. Kinerja Metode Nakayasu telah diteliti beberapa kali dan dicantumkan dalam SNI 2415:2016.

Perhitungan Metode Nakayasu memerlukan beberapa karakteristik parameter area aliran, termasuk waktu tunda (T_g), waktu puncak (T_p), grafik hidrologi dasar waktu (T_b), luas daerah aliran sungai (A), panjang saluran terpanjang (L), dan koefisien aliran permukaan untuk menghitung aliran puncak (Q_p). Kurva hidrograf Nakayasu ditampilkan pada Gambar 4, sedangkan persamaan empiris hidrograf disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4. Kurva hidrograf nakayasu (Ansori et al., 2023)

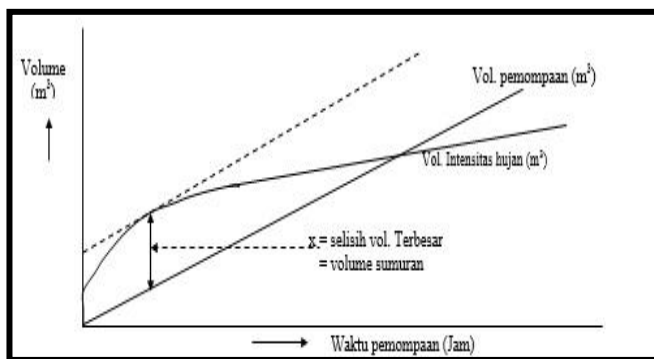
Tabel 1. Persamaan empiris Metode Nakayasu

Nakayasu Equation	Parameter
$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{3,6 (0,3 T_p + 0,3)}$	A = Luas DAS (km ²) T _p = Waktu Puncak (jam) R ₀ = Curah Hujan satuan (1mm) Q _p = Debit puncak HSS Nakayasu (m ³ /s)
$T_g = 0,4 + 0,058 L$ (untuk L > 15 km)	T _g = Waktu kelambatan (jam) L = Panjang alur utama/sungai terpanjang (km)
$T_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$ (untuk L < 15 km)	
$T_p = T_g + 0,8T_r$	T _p = Waktu puncak (jam) T _r = Durasi hujan efektif (jam)
$T_r = 0,5 \text{ s.d. } 1T_g$	

Nakayasu Equation	Parameter
$T_{0,3} = a \cdot T_g$	$a =$ Faktor bentuk DAS
	$\alpha = 2 \rightarrow$ DAS normal
	$\alpha = 1.5 \rightarrow$ Kenaikan lambat, resesi cepat
	$\alpha = 3 \rightarrow$ Kenaikan cepat, resesi lambat

Sump

Perencanaan kapasitas *sump* bertujuan untuk menyediakan fasilitas tampungan yang optimal sebelum air dialirkan keluar menuju kolam pengendapan. Kapasitas *sump* merupakan fungsi variabel yang sangat bergantung pada neraca air (*water balance*), yaitu interaksi antara laju debit air limpasan yang masuk (*inflow*) dan kapasitas debit pemompaan yang bisa dikeluarkan (*outflow*). *Volume sump* ditentukan melalui grafik gabungan antara intensitas curah hujan berbasis metode mononobe terhadap waktu dengan grafik debit pemompaan terhadap waktu seperti pada Gambar 5 (Prawira et al., 2024).



Gambar 5. Grafik penentuan volume *sump* (Ir. Suyono Sosrodarsono & Takeda, 1993).

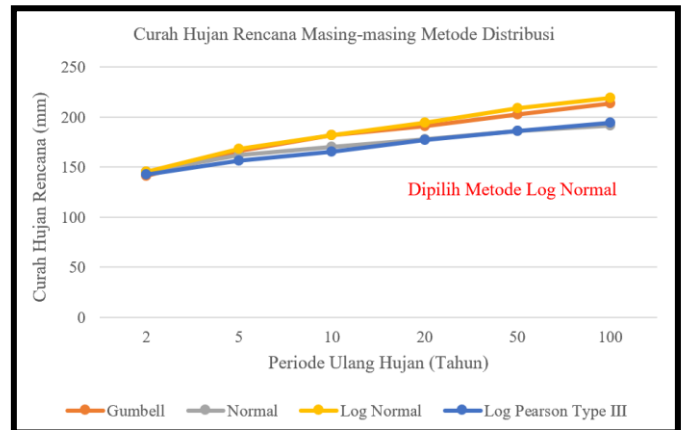
Dalam sistem penyaliran tambang, pompa berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan fluida dengan melawan hambatan hidrolik. Kinerja sistem pompa ditentukan oleh parameter *Total Dynamic Head* (jumlah total), yaitu besaran energi yang diperlukan oleh pompa untuk mengalirkan debit air dari elevasi terendah (isap) menuju elevasi tertinggi (buang). Jumlah total pada pompa dapat dinyatakan dalam persamaan dibawah.

$$H_t = H_s + H_v + H_f + H_{fs} + h_f$$

Pada persamaan diatas, H_t merupakan nilai *head* total dalam satuan meter yang didapatkan dari akumulasi antara *head* statis (H_t), *head velocity* (H_v), *friction loss* (H_f), *head loss minor* (H_{fs}), dan *shock head loss* (h_f).

Hasil dan Diskusi Curah Hujan Rencana

Berdasarkan pengujian data curah hujan harian maksimum di lokasi penelitian selama 10 tahun, dilakukan uji distribusi menggunakan metode distribusi curah hujan Log Normal, Gumbel, Log Pearson Type III dan Normal. Hasil pengujian setiap distribusi disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Curah hujan rencana pada masing-masing distribusi

Pemilihan metode distribusi probabilitas dengan melakukan uji kesesuaian (*Goodness of Fit Test*) menggunakan metode *Chi-Square* dan *Smirnov-Kolmogorov* dilakukan untuk mendapatkan distribusi yang sesuai. Hasil yang pengujian yang diperoleh pada metode *Smirnov-Kolmogorov* dan *Chi-Square* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil uji Metode Smirnov Kolmogorov

Smirnov Kolmogrov	ΔP_i	ΔP Kritis
Gumbel	0,13	0,41
Normal	0,12	0,41
Log Normal	0,10	0,41
Log Pearson Type III	0,90	0,41

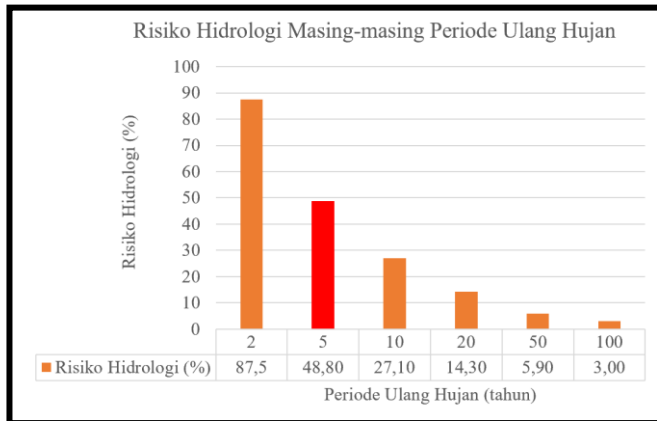
Tabel 3. Hasil uji Metode Chi-Square

Chi-Square	X^2 terhitung	X^2 cr
Gumbel	2	5,991
Normal	2	5,991
Log Normal	2	5,991
Log Pearson Type III	8	5,991

Periode Ulang Hujan

Berdasarkan periode ulang hujan 2, 5, 10, 20, 50, dan 100, didapatkan hasil perhitungan risiko hidrologi pada masing-masing periode terlampir pada Gambar 7. Pemilihan curah hujan rencana pada penelitian ini menggunakan periode ulang 5 tahun dengan risiko hidrologi sebesar 48,8% mempertimbangan umur tambang (*life of mine*) Pit 19AS yang relatif singkat, yakni

3 tahun. Penggunaan periode ulang 5 tahun memberikan dampak rasional terhadap infrastruktur penyaliran. Dari segi ekonomis, desain infrastruktur *sump* menjadi lebih efisien dan tidak *over-estimate*, sehingga menekan biaya *capital expenditure* (CAPEX) di awal penambangan, dengan risiko hidrologi yang masih berada pada batas yang dapat dikendalikan (*acceptable risk*).



Gambar 7. Hubungan antara PUH dengan risiko hidrologi

Intensitas Curah Hujan

Berdasarkan Tabel 2. yang menunjukkan bahwa pada pengujian menggunakan metode *Smirnov Kolmogorov* dengan nilai ΔP Kritis sebesar 0,41 didapatkan bahwa distribusi probabilitas Gumbel, Log Normal dan Normal dapat diterima karena memenuhi syarat dimana $\Delta P_i < \Delta P$ Kritis. Pada pengujian distribusi probabilitas menggunakan metode *Chi-Square* pada Tabel 3. dengan nilai $X^2 cr$ sebesar 5,991 didapatkan bahwa distribusi probabilitas Gumbel, Log Normal dan Normal juga dapat diterima karena memenuhi syarat dimana X^2 terhitung $< X^2 cr$. Berdasarkan analisis terhadap hasil pengujian distribusi probabilitas menggunakan metode *Chi-Square* dan *Smirnov-Kolmogorov*, distribusi Log Normal memiliki simpangan terkecil dibandingkan dengan distribusi Gumbel dan Log Normal, sehingga metode ini dinyatakan paling valid untuk merepresentasikan karakteristik hujan di area penelitian.

Tabel 4. Intensitas hujan masing-masing periode

Periode Ulang (tahun)	Curah Hujan Rencana (Rt) mm/hari	Intensitas Hujan (I) mm/jam
2	145,00	15,22
5	168,39	17,68
10	182,11	19,12
20	194,16	20,39
50	208,87	21,93
100	219,54	23,05

Curah hujan rencana (R_{24}) menggunakan distribusi log normal untuk masing-masing periode ulang akan dikonversi menjadi intensitas curah hujan jam-jaman (I) menggunakan persamaan Mononobe. Hasil perhitungan intensitas hujan untuk durasi hujan 6 jam diperoleh nilai yang tertera pada Tabel 4. Data intensitas ini menjadi variabel input utama dalam perhitungan debit limpasan pada masing-masing metode.

Metode Rasional

Perhitungan debit limpasan metode rasional menggunakan angka 0,9 sebagai sebagai input koefisien limpasan dikarenakan pada area penelitian merupakan daerah tanpa tumbuhan dan daerah tambang yang mempunyai kondisi topografi dengan kemiringan $>15\%$ yang ditunjukkan pada Gambar 8. Perhitungan debit rasional pada masing-masing periode ulang hujan didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.



Gambar 8. Kondisi lingkungan pada daerah penelitian

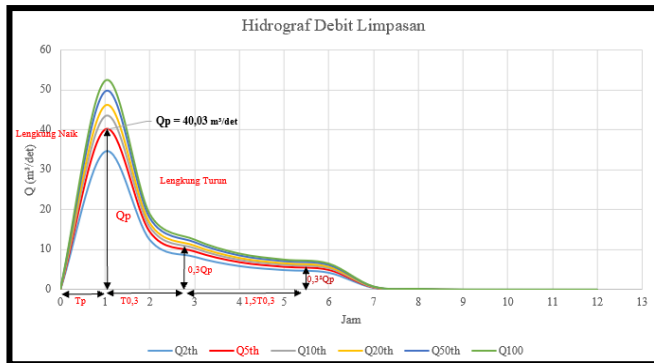
Tabel 5. Debit limpasan pada masing-masing periode ulang

Periode Ulang (tahun)	Debit Limpasan (m³/s)
2	11,01
5	12,78
10	13,83
20	14,74
50	15,86
100	16,67

Metode Nakayasu

Pada perhitungan debit limpasan menggunakan metode nakayasu menggunakan asumsi parameter nilai L sebesar 4,39 km² sebagai panjang aliran daerah tangkapan hujan dan asumsi hujan selama 6 jam. Pada kurva hidrograf yang dihasilkan pada Gambar 9

memperlihatkan fase naik (*rising limb*) dengan waktu kelambatan selama 0,59 jam, waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak sebesar 1,7 jam, nilai waktu puncak (T_p) sebesar 1,03 jam dan nilai debit puncak (Q_p) sebesar 40,03 m³/s. Bagian lengkung naik dimulai pada waktu 0 sampai dengan 1,03 jam dan lengkung turun dimulai pada waktu 1,03 sampai dengan 12 jam. Nilai koefisien atau faktor DAS yang digunakan sebesar 3, hal ini menunjukkan bahwa DAS memiliki karakteristik fase naik yang cenderung cepat dan fase resesi yang lambat.

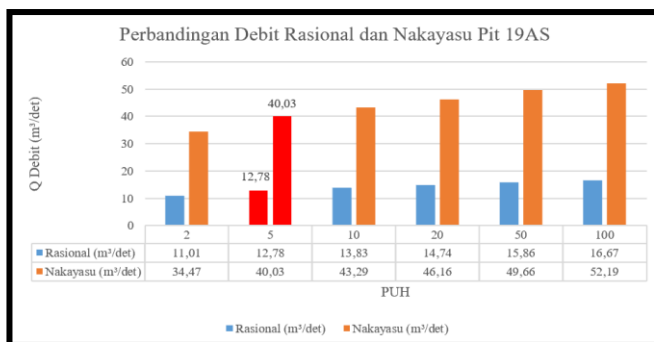


Gambar 9. Hidrograf debit limpasan

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode nakayasu diperoleh nilai debit limpasan masing-masing periode ulang seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Debit limpasan pada masing-masing periode ulang

Periode Ulang (tahun)	Debit Limpasan (m ³ /s)
2	34,47
5	40,03
10	43,29
20	46,16
50	49,65
100	52,19



Gambar 10. Perbandingan debit Rasional dan Nakayasu

Hasil analisis pada Gambar 10 menunjukkan bahwa metode nakayasu menghasilkan debit limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan metode rasional. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan asumsi yang digunakan pada kedua metode. Metode rasional menggunakan asumsi bahwa curah hujan turun dengan intensitas yang seragam dan merata di seluruh daerah pengaliran selama durasi tertentu, dan debit limpasan diasumsikan langsung mencapai titik puncak ketika hujan berlangsung. Keunggulan metode rasional terletak pada fleksibilitasnya ketika diterapkan pada daerah tangkapan hujan berskala kecil atau terbatas. Kekurangan dari metode ini yaitu tidak dapat memodelkan dinamika aliran dalam bentuk kurva hidrograf, melainkan hanya menyajikan angka debit puncak sesaat secara statis.

Pada metode nakayasu debit puncak ditentukan berdasarkan respons maksimum pada grafik kurva hidrograf, nilai ordinat hidrograf yang dihasilkan oleh metode ini dikalikan dengan nilai koefisien C dan nilai intensitas curah hujan sehingga didapatkan nilai debit limpasan. Keunggulan utama dari metode nakayasu adalah kemampuannya dalam memodelkan hidrograf yang mencakup fase naik (*rising limb*) pada awal terjadinya hujan, fase puncak dan fase resesi (*recession limb*) yang melambat hingga hujan berhenti dan sangat ideal untuk diaplikasikan pada daerah tangkapan hujan (*catchment area*) berskala besar. Kekurangan metode nakayasu yaitu tidak sesederhana metode rasional, metode ini membutuhkan ketersediaan data karakteristik daerah aliran yang lebih spesifik seperti panjang aliran, waktu kelambatan dan lain-lain.

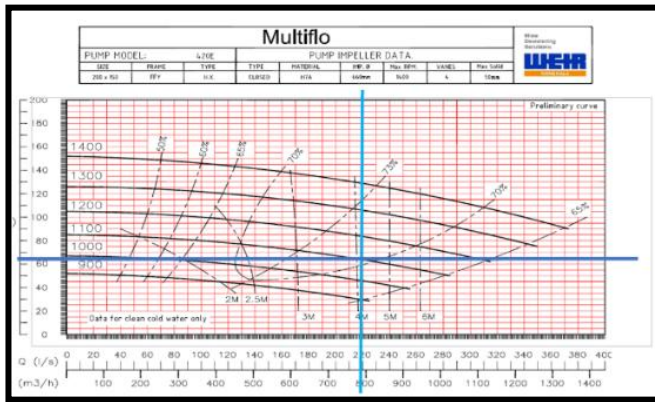
Sump

Pada sistem penyaliran Pit 19AS yang akan beroperasi direncanakan menggunakan unit pompa sentrifugal dengan Tipe Multiflo 420-EX. Instalasi sistem penyaliran ini dikonfigurasi menggunakan jaringan pipa *High-Density Polyethylene* (HDPE) berdiameter 14 inci dengan panjang total pipa sebesar 303 meter. Pemilihan pipa HDPE didasarkan pada karakteristik durabilitas material terhadap tekanan dan fleksibilitas di tambang terbuka. Dalam menentukan kapasitas pompa yang akan digunakan, dilakukan perhitungan menggunakan *Total Dynamic Head* (TDH) atau energi yang harus disediakan agar dapat mengalirkan air seperti yang telah direncanakan.

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai *Total Dynamic Head* (TDH) sebesar 60,19 m. Nilai tersebut kemudian diproyeksikan ke dalam grafik karakteristik pompa atau *System Resistance Curve* (SRC) dari spesifikasi teknis pompa Multiflo 420-EX dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa pada pengaturan kecepatan mutar mesin (*engine RPM*) sebesar 1.100 RPM, pompa mampu menghasilkan debit

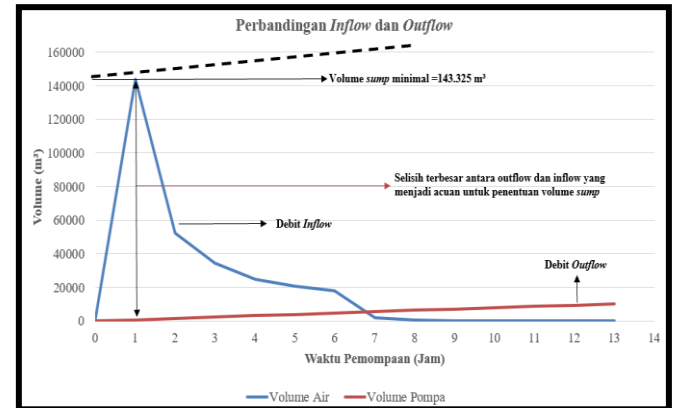
luaran (*discharge*) sebesar 792 m³/jam. Tingkat efektivitas pemompaan mencapai 70%, yang mengindikasikan efisiensi yang memadai dalam menyalurkan volume air limpasan dari *sump* menuju *outlet*. Interaksi antara debit pompa yang konstan dan fluktuasi debit limpasan inilah yang menjadi dasar dalam penentuan volume air terakumulasi sementara di dalam *sump*.

K/30/MEM/2018, ditentukan volume *sump* minimal yaitu 1,25 kali volume *sump* pada masing-masing metode, sehingga didapatkan volume *sump* pada metode rasional sebesar 168.773 m³ dan pada metode nakayasu sebesar 179.156 m³.



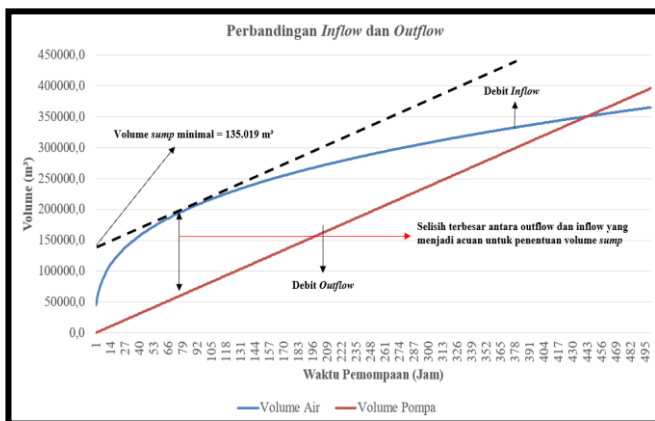
Gambar 11. Grafik Pompa Multiflo 420-EX

Analisis penentuan kapasitas *sump* dilakukan melalui simulasi neraca air yang divisualisasikan pada Gambar 12 dan Gambar 13. Pada kedua grafik tersebut, garis berwarna hitam merepresentasikan akumulasi volume air minimum yang harus ditampung oleh *sump* sebagai fungsi dari selisih maksimum antara debit limpasan yang masuk (*inflow*) dan debit pemompaan (*outflow*).



Gambar 13. Hubungan volume air dan volume pompa metode nakayasu

Berdasarkan perhitungan volume *sump* yang telah dilakukan, penelitian ini menghasilkan dua skenario desain dimensi *sump* yang merepresentasikan karakteristik dari masing-masing metode. Penentuan dimensi geometri disesuaikan dengan kondisi topografi lantai dasar (*pit bottom*) pit 19AS. Kapasitas *sump* dari hasil perhitungan metode rasional direkomendasikan dimensi *sump* dengan spesifikasi pada Tabel 7 dan Gambar 14, serta spesifikasi dimensi *sump* berdasarkan metode nakayasu tertera pada Tabel 8. dan Gambar 15.

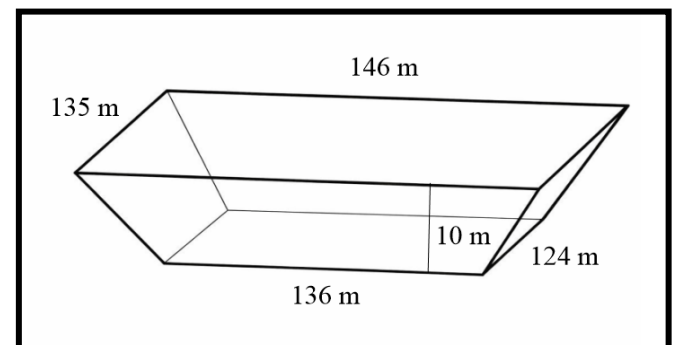


Gambar 12. Hubungan volume air dan volume pompa metode rasional

Pada Gambar 12 merepresentasikan karakteristik tampungan menggunakan metode rasional menghasilkan kebutuhan volume *sump* sejumlah 135.019 m³. Pada Gambar 13 merepresentasikan karakteristik tampungan menggunakan metode nakayasu menghasilkan volume *sump* sejumlah 143.325 m³. Berdasarkan peraturan Kepmen ESDM No.1827

Tabel 7. Geometri *sump* berdasarkan metode rasional

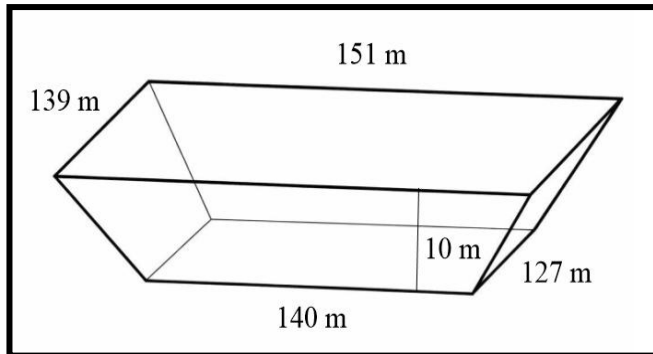
Geometri <i>Sump</i>	Nilai	Satuan
Panjang Atas	146	m
Panjang Bawah	135	m
Lebar Atas	136	m
Lebar Bawah	124	m
Kedalaman	10	m



Gambar 14. Dimensi *sump* berdasarkan metode rasional

Tabel 8. Geometri *sump* berdasarkan metode nakayasu

Geometri <i>Sump</i>	Nilai	Satuan
Panjang Atas	151	m
Panjang Bawah	139	m
Lebar Atas	140	m
Lebar Bawah	127	m
Kedalaman	10	m



Gambar 15. Dimensi *sump* berdasarkan metode nakayasu

Rancangan kapasitas *sump* dari metode rasional dan nakayasu sesuai peraturan Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 memiliki nilai volume yang berbeda, di mana hasil perhitungan menggunakan metode nakayasu diperoleh nilai sebesar 168.773 m³, sedangkan pada metode rasional diperoleh nilai sebesar 179.156 m³. Selanjutnya dilakukan pemilihan hasil rancangan kapasitas *sump* yang akan digunakan sebagai rekomendasi untuk diterapkan di lokasi penelitian. Hasil rancangan metode nakayasu dipilih sebagai rekomendasi kapasitas *sump pit* 19AS dengan beberapa pertimbangan mendasar antara lain yaitu pada metode ini menghasilkan tampungan yang lebih besar berfungsi sebagai faktor keamanan (*safety margin*) dan efisiensi serta mengantisipasi ketidakpastian besarnya debit limpasan yang terjadi pada daerah penelitian.

Pemilihan metode ini diperkuat oleh hasil penelitian terdahulu oleh Ansori et al (2023), yang menyatakan bahwa metode nakayasu memiliki kurva hidrograf yang mampu menggambarkan perilaku aliran air pada *catchment area* yang luas karena mencakup parameter kelambatan aliran (*time lag*) dan kurva resesi (*recession limb*) yang tidak terdapat pada metode rasional. Dukungan serupa juga dikemukakan oleh Indriani et al. (2021), yang dalam penelitiannya menegaskan efektivitas metode nakayasu sebagai acuan perancangan dimensi kolam retensi karena kemampuannya dalam merepresentasikan respons

hidrologi puncak secara akurat guna mitigasi risiko genangan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perbandingan menggunakan metode rasional dan metode nakayasu untuk penentuan kapasitas *sump* pada *Pit* 19AS, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode nakayasu menghasilkan debit limpasan yang lebih besar dan lebih komprehensif dibandingkan metode rasional.
2. Metode nakayasu lebih cocok digunakan untuk penentuan kapasitas *sump* pada lokasi penelitian yang memiliki *catchment area* luas dibandingkan dengan metode rasional, mengacu pada Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018, serta didukung validasi literatur oleh Ansori et al., 2023 dan Indriani et al., 2021.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Apresiasi secara khusus ditujukan kepada pihak manajemen dan para pembimbing lapangan di PT Indominco Mandiri atas penyediaan data hidrologi serta bantuan teknis selama penelitian berlangsung. Terima kasih yang mendalam juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas segala bimbingan, arahan, dan dedikasi waktu yang diberikan dalam menyempurnakan naskah ini. Selain itu, ungkapan rasa syukur dihaturkan kepada keluarga serta berbagai pihak lainnya atas dukungan moral maupun material yang senantiasa diberikan demi kelancaran dan penyelesaian penelitian ini.

Referensi

Abdillah, M. A., Rosadi, P. E., Cahyadi, T. A., Wiyono, B., & Wiyono, E. (2025). Analisis hidrologi dengan menggunakan metode rasional dan Nakayasu untuk evaluasi perimeter ditch. *Kurvatek*, 10(1), 21–28. doi:<https://doi.org/10.33579/krvtk.v10i1.5525>

Ansori, M. B., Lasminto, U., Agung, A., & Kartika, G. (2023). Flood hydrograph analysis using synthetic unit precipitation on-grid model for disaster risk. *International Journal of GEOMATE*, 25(107), 50–58. doi:<https://doi.org/10.21660/2023.107.3719>

Bargawa, W. S., Panca, A., Sucahyo, A., & Andiani, H. F. (2019). Design of coal mine drainage system. *E3S Web of Conferences*, 76, 04006. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197604006>

Badan Standardisasi Nasional. (2016). Tata cara perhitungan debit banjir rencana (SNI

- 2415:2016). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Endriantho, M., & Ramli, M. (2013). Perencanaan sistem penyaliran tambang terbuka batubara. *Jurnal Geosains*, 9(1), 29–40. Retrieved from <https://www.academia.edu/6535381/>
- Ferdyan, R. (2023). Evaluasi sistem penyaliran tambang pada Pit Roto Middle PT Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur (Unpublished undergraduate thesis). Universitas Mulawarman.
- Fitri, G. F., Ashari, Y., & Nasrudin, D. (2018). Evaluasi sistem penyaliran tambang batubara di area Pit Roto Selatan PT Pamapersada Nusantara Jobsite Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 537–544. Retrieved from <https://www.academia.edu/113310426/>
- Mayor, D. S. N. C., Asof, H. M., & Mukiat. (2018). Perencanaan sistem penyaliran tambang batubara di Pit Serelo Utara PT Bumi Merapi Energi Kabupaten Lahat. *JP*, 2(4), 34–43. doi:<http://repository.unsri.ac.id/id/eprint/36308>
- Mine Planning Departement, (2025). Curah Hujan Tahunan Tahun 2015-2024. PT Indominco Mandiri.
- Nggarang, Y. E. P., Pattiraja, A. H., & Henong, S. B. (2020). Analisa perbandingan penentuan debit rencana menggunakan metode Nakayasu dan simulasi. *Eternitas Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 23–33. doi:<https://doi.org/10.30822/eternitas.v1i1.547>
- Prawira, H., Rosadi, P. E., Cahyadi, T. A., Riyadi, F. A., & Herniti, D. (2024). Analisis hidrologi menggunakan metode rasional dan Nakayasu untuk sistem penyaliran tambang pada PT Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10–22. doi:<https://doi.org/10.33579/krvtk.v10i1.5525>
- Putranda, J. (2022). Debit banjir rencana pada DAS Citanduy menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu, Hasper, Keduwen, Manonobe, dan analisa frekuensi. *Jurnal Konstruksia*, 14(1), 152–161. doi:<https://doi.org/10.24853/jk.14.1.152-16>
- Satria, H. (2023). Analisis periode ulang curah hujan di Sulawesi Tenggara menggunakan metode Iwai Kadoya. *Jurnal Megasains*, 14(1), 39–46. doi:<https://doi.org/10.46824/megasains.v14i1.94>
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1993). Hidrologi untuk pengairan.
- Santoso, A., Nurhakim, N., Riswan, R., & Heru, H. (2019). Evaluasi sistem penyaliran tambang batubara pada PT Bumi Gawi Baimbai, Desa Pengaron. *Jurnal Himasapta*, 4(1). doi:<https://doi.org/10.20527/jhs.v4i01.475>