

ANALISIS HIDROLOGI MENGGUNAKAN METODE RASIONAL DAN NAKAYASU UNTUK SISTEM PENYALIRAN TAMBANG PADA PT. TRUBAINDO COAL MINING, KABUPATEN KUTAI BARAT, PROPINSI KALIMANTAN TIMUR

Hadi Prawira^{1a}, Peter Eka Rosadi¹, Tedy Agung Cahyadi¹, Faizal Agung Riyadi¹, Dwi Herniti²

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

²Prodi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta

^aemail: 112190011@student.upnyk.ac.id

ABSTRACT

Hydrological analysis is crucial in designing a mine drainage system. At the research site, flooding in the loading area due to rainwater accumulation necessitates a hydrological evaluation of the mine drainage infrastructure. Meanwhile, groundwater presence is also a problem and needs to be addressed properly. Rational method is generally been used for hydrological analysis, given their suitability for relatively small mining operation areas. Additionally, the Nakayasu method is an alternative. Comparing these methods helps design appropriate open channel dimensions to handle the runoff. Rainfall analysis employs the Gumbel distribution with data from the past decade (2013-2022), resulted in planned daily rainfall of 148,97 mm/day, a rainfall intensity of 20,79 mm/hour, for 3-year rain return period, and 86.8% hydrological risk. The catchment area (DTH) at the site is divided into two sections: within the mining area (DTH I) and outside, subdivided into DTH II, DTH III, and DTH IV. The rational method's runoff water discharge values are 2,7051 m³/second, 1,2485 m³/second, 0,7976 m³/second, and 0,7630 m³/second, while the Nakayasu method results are 3,6446 m³/second, 5,2492 m³/second, 3,3523 m³/second, and 3,2654 m³/second.

Keywords: hydrology, infrastructure, nakayasu method, rational method, mine drainage system.

ABSTRAK

Analisis hidrologi merupakan tahap yang penting dalam merancang sistem penyaliran tambang. Pada daerah penelitian, potensi banjir di area pemuatan (*loading*) akibat akumulasi air hujan memerlukan evaluasi hidrologi terhadap infrastruktur drainase tambang. Sementara itu, keberadaan air tanah juga menjadi masalah dan perlu ditangani dengan baik. Metode rasional umumnya digunakan untuk analisis hidrologi, mengingat kesesuaiannya untuk area operasi tambang yang relatif kecil. Selain itu, alternatif lainnya adalah dengan menggunakan metode Nakayasu. Dengan menerapkan dan membandingkan hasil perhitungan dengan kedua metode tersebut dapat membantu merancang dimensi saluran terbuka yang lebih sesuai untuk menangani air potensi air limpasan yang dapat mengganggu operasi penambangan. Analisis curah hujan menggunakan distribusi Gumbel dilakukan terhadap data dari 10 tahun terakhir (2013 - 2022) untuk periode ulang hujan 3 tahun, memperoleh hasil curah hujan harian terencana sebesar 148,97 mm/hari dan intensitas curah hujan sebesar 20,79 mm/jam, dan risiko hidrologi sebesar 86,8%. Daerah tangkapan hujan (DTH) di lokasi dibagi menjadi dua bagian: dalam area tambang (DTH I) dan di luar area tambang, yang terbagi lagi menjadi DTH II, DTH III, dan DTH IV. Nilai debit limpasan metode rasional adalah 2,7051 m³/detik, 1,2485 m³/detik, 0,7976 m³/detik, dan 0,7630 m³/detik, sedangkan hasil metode Nakayasu adalah 3,6446 m³/detik, 5,2492 m³/detik, 3,3523 m³/detik, dan 3,2654 m³/detik.

Kata Kunci: hidrologi, infrastruktur, metode nakayasu, metode rasional, sistem penyaliran tambang.

PENDAHULUAN

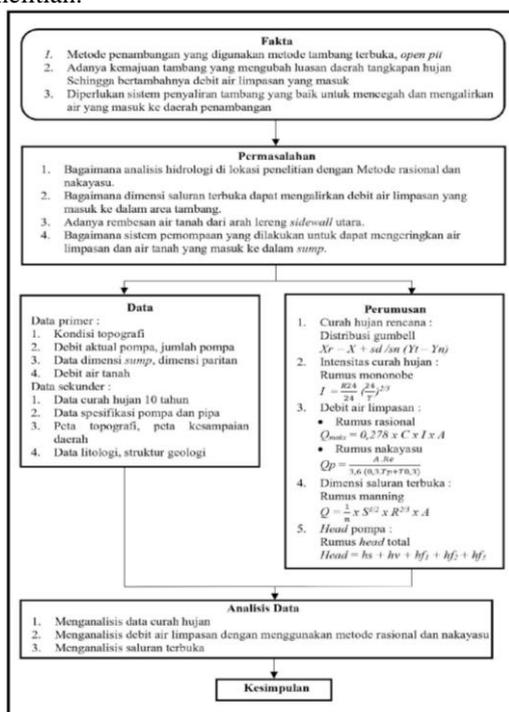
PT. Trubaindo Coal Mining (PT. TCM) merupakan salah satu anak perusahaan dari PT. Indo Tambangraya Megah, Tbk (PT. ITM), yang berdiri pada tanggal 13 Maret 1990. PT. Trubaindo Coal Mining pada saat ini sedang melaksanakan penambangan batubara yang beroperasi di Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur dengan IUP seluas 23.650 Ha. PT. Trubaindo Coal Mining menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *Open Pit*.

Aktivitas penambangan pada tambang terbuka sangat dipengaruhi oleh keadaan iklim dan cuaca terutama curah hujan yang sangat mempengaruhi efektivitas kegiatan penambangan. Sumber air yang masuk di area penambangan dapat berasal dari air tanah (*groundwater*) dan air limpasan permukaan (*surface run-off*).

Permasalahan yang terjadi pada lokasi penelitian yaitu tergenangnya area *loading* akibat adanya air hujan dan air limpasan, oleh karena itu perlu dilakukan analisis hidrologi guna mengevaluasi infrastruktur penyaliran tambang. Selain itu, keberadaan air tanah yang muncul dari arah lereng *sidewall* utara perlu diperhatikan agar tidak mengganggu proses penambangan. Sesuai dengan uraian tersebut maka dilakukan penelitian analisis hidrologi menggunakan metode rasional dan nakayasu untuk menunjang sistem penyaliran tambang.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan tahapan penelitian yang tercantum pada Gambar 1 yang berisi tentang fakta dilapangan, permasalahan yang berada dilapangan, perumusan masalah, dan analisis penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Curah hujan rencana merupakan suatu kriteria utama dalam perencanaan sistem penyaliran untuk air permukaan pada suatu tambang. penentuan curah hujan rencana dengan distribusi gumbell dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$X_r = X + \frac{sd}{sn} (Y_t - Y_n)$$

Atau

$$X_r = X + k \cdot SD$$

$$k = \frac{(y_t - y_n)}{sn}$$

Keterangan :

X_r = curah hujan rencana harian maksimum (mm / hari) dengan PUH tertentu

X = curah hujan rata-rata (mm)

sd = standar deviasi (simpangan baku)

sn = standar deviasi dari reduksi variate, tergantung dari jumlah data (n)

k = faktor reduced variate

Y_t = nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada PUH

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variate, tergantung dari jumlah data (n)

Intensitas air hujan merupakan jumlah curah hujan yang turun dalam suatu satuan waktu. Satuan yang digunakan adalah mm/jam. Penentuan intensitas curah hujan dengan menggunakan rumus mononobe (Sorsodarsono, dkk., 2003)

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

Keterangan :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya waktu hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum (mm)

Penentuan besarnya air limpasan maksimum ditentukan dengan metode rasional (Gautama) sebagai berikut :

$$Q_{maks} = 0,278 \times C \times I \times A$$

Keterangan :

Q_{maks} = debit air limpasan maksimum (m^3/s)

C = koefisien limpasan

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah tangkapan hujan (km^2)

Saluran terbuka berfungsi untuk menampung dan mengalirkan air tambang dari bukaan tambang menuju lokasi yang telah ditentukan. Pemilihan bentuk penampang saluran didasarkan pada debit air, jenis tanah/batuan, serta kemudahan dalam pembuatannya dan keekonomisannya. Perhitungan kapasitas pengaliran suatu saluran dapat dihitung menggunakan rumus Manning, yaitu :

$$Q = 1/n \cdot A \cdot S^{1/2} \cdot R^{2/3}$$

Keterangan :

Q = debit pengaliran maksimum ($m^3/detik$)

A = luas penampang (m^2)

S = kemiringan dasar saluran (%)

R = jari-jari hidrolis (meter)

n = koefisien kekerasan dinding saluran menurut manning

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah yang membentuk itu dan di dalam retak-retak dari batuan. Pergerakan air tanah terjadi mulai dari *recharge area* (masuknya air dalam tanah), bergerak menuju *discharge area* (keluarnya air tanah dalam bentuk mata air, rembesan atau limpasan pada sumur). Pergerakan air tanah dapat didekati dengan Hukum Darcy pada persamaan berikut:

$$V = K \cdot i = K \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

Sehingga debit air tanah dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Q = V \cdot A \\ = K \cdot i \cdot A$$

Keterangan :

- V = Kecepatan aliran air dalam akuifer (m/s)
- K = Hydraulic Conductivity (cm/s)
- i = Gradien hidraulik searah aliran
- Δh = Tinggi tekan piezometrik (potential head) = $h_1 - h_2$
- L = Jarak titik tinjauan
- Q = Debit air melalui akuifer (m^3/s)
- A = Luas penampang (m^2)

Pengukuran debit air tanah dapat juga menggunakan metode apung (*Float Method*) dan metode Thompson (*V-Notch 90°*) pada sebuah saluran.

Metode Apung (*Float Method*)

Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$Q = V \cdot A$$

Keterangan :

- Q = debit aliran ($m^3/detik$)
- V = kecepatan aliran (m/detik)
- A = Luas penampang saluran (m^2)

Yang dimana :

V = jarak pengukuran (m) / waktu tempuh (detik)

A = kedalaman saluran (m) / lebar saluran (m)

Metode Thompson (*V-Notch 90°*)

Sekat ukur Thomson berbentuk segi tiga siku-siku dan dapat digunakan untuk menghitung debit yang sangat kecil. Dengan menggunakan persamaan diferensial dan integrasi didapat suatu rumus persamaan untuk mencari nilai debit pada alat ukur sekat V-notch, adapun persamaan tersebut adalah apabila sudut $\alpha = 90^\circ$, $Cd = 0,6$ dan percepatan gravitasi = $9,81 m^2/d$ maka, debitnya :

$$Q = 1,417 \cdot H^{5/2}$$

Dimana :

Q = Debit ($m^3/detik$)

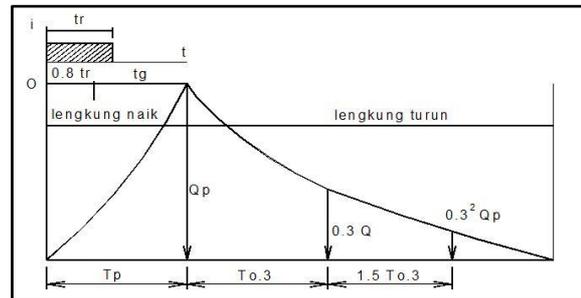
H = Tinggi muka air diatas punggung bending (m)

Hidrograf nakayasu dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan dari hidrograf satuan alami yang berasal dari sejumlah besar DAS yang ada di Jepang.

Bentuk Nakayasu Tak Berdimensi

Hidrograf satuan tak berdimensi nakayasu adalah hidrograf sintetis yang di-ekspresikan dalam bentuk perbandingan antara debit Q dengan debit puncak Q_p

dan waktu t dengan waktu naik T_p dan selanjutnya dibentuk menjadi kurva HSS nakayasu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hidrograf Nakayasu (Natakusumah, 2014)

Dari peta DAS yang akan dianalisis, dapat diperoleh beberapa elemenelemen penting seperti panjang sungai (L) dan luas DAS (A) yang dapat digunakan menentukan bentuk dari hidrograf satuan sintetis nakayasu.

Time Lag (T_g) dan Waktu Memuncak (T_p)

Time Lag dan Waktu Memuncak ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_g = 0,5279 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km}$$

$$T_r = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km}$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

Dimana :

T_p = waktu memuncak (jam)

T_g = time lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)

T_r = satuan waktu curah hujan (jam)

L = panjang sungai (km)

Debit Puncak untuk hujan efektif 1 mm pada daerah seluas $A \text{ km}^2$

Jika harga waktu memuncak dan waktu menurun diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintetis akibat tinggi hujan satu satuan ($Re = 1 \text{ mm}$) yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $T_r = 1 \text{ jam}$. Hujan efektif (Re) merupakan asumsi pada metode ini untuk membentuk kerangka hidrografnya. Sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{A \cdot Re}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})}$$

Dimana :

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)

Re = Hujan Efektif satuan (1 mm)

T_p = Waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

A = Luas daerah tangkapan hujan (km^2)

$T_{0,3}$ = Waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30% ($T_{0,3} = \alpha \cdot T_g$)

Nilai α merupakan nilai karakteristik daerah aliran yang didapat dengan *trial and error*, dimana :

$\alpha = 1,5 \rightarrow$ Pada bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat

$\alpha = 2 \rightarrow$ Pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 3 \rightarrow$ Pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

Persamaan Bentuk Dasar Hidrograf

Dari bentuk dasar ini akan didapatkan nilai ordinat yang merupakan hasil dari luas daerah tangkapan hujan dan panjang saluran terbuka dalam persamaan nakayasu. Bentuk hidrograf satuan nakayasu terdiri dari empat segmen kurva yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

Pada waktu kurva naik : $0 < t < T_p$

$$Q_t = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4} \cdot Q_p$$

Dimana :

Q_t = Limpasan sebelum mencari debit puncak (m³/detik)

t = jam

Pada waktu kurva turun

i. Selang nilai : $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{t-T_p}{T_{0,3}}\right)$$

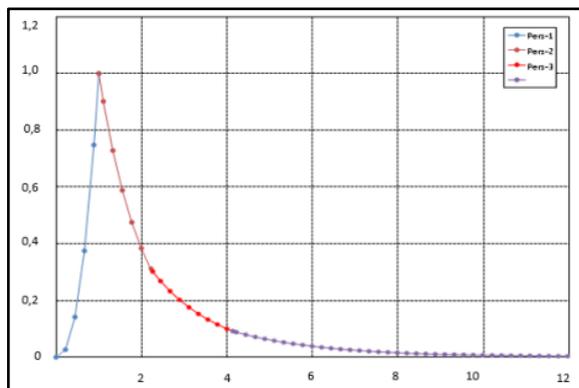
ii. Selang nilai : $(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{t-T_p+0,5 \cdot T_{0,3}}{1,5 \cdot T_{0,3}}\right)$$

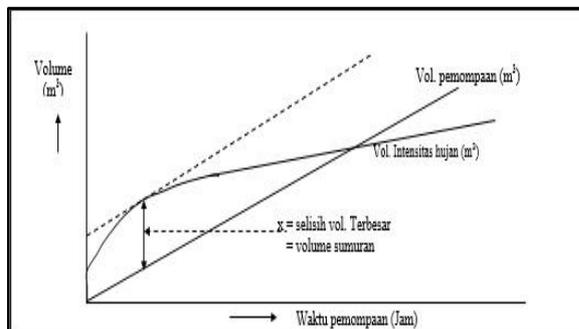
iii. Selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{t-T_p+0,5 \cdot T_{0,3}}{2 \cdot T_{0,3}}\right)$$

Bentuk nakayasu tak- berdimensi dapat digambarkan dengan empat segment kurva. Sumbu horizontal (sumbu-x) menunjukkan satuan waktu (jam) sedangkan sumbu vertikal (sumbu-y) menunjukkan debit. Segmen grafik nakayasu dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Segmen Grafik Nakayasu (Natakusumah, 2014)



Gambar 4. Grafik Penentuan Volume Sumuran Air Tambang (Sosodarsono dan Takeda, 1993)

Kebutuhan Sump

Sump berfungsi sebagai penampung air sebelum dipompa ke luar tambang. Dengan demikian, dimensi sump sangat tergantung dari jumlah air yang masuk serta keluar dari sump. Volume sump ditentukan dengan menggabungkan grafik intensitas hujan yang dihitung dengan teori Mononobe versus waktu, dan grafik debit pemompaan versus waktu (Gambar 4).

Pada dasarnya sump ditentukan atau dibuat berdasarkan penentuan lantai (floor) sump yang memiliki elevasi paling rendah sehingga tidak mengganggu aktivitas penggalian batubara dan jenjang disekitar tidak mudah longsor, serta dekat dengan kolam pengendapan.

Pompa adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengeluarkan atau memindahkan fluida. Suatu pompa dibutuhkan head (julung), sedangkan setiap pompa memiliki kemampuan untuk mencapai debit atau julung tertentu. Oleh karena itu dapat diatur dua atau lebih pompa yang dipasang bersamaan, baik secara parallel atau seri (Sularso dan Haruo Tahara, 2006).

Julung (head), yaitu energi yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah air pada kondisi tertentu. Semakin besar debit air yang dipompa, maka julung juga akan semakin besar. Julung total pompa untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa, sehingga julung total pompa dapat dituliskan sebagai berikut :

$$H = h_s + h_f + \frac{v^2}{2g} \text{ (m)}$$

Keterangan :

H = head total pompa (m)

h_s = head statis pompa (m)

h_f = julung untuk mengatasi berbagai hambatan pada pompa dan pipa (m), meliputi julung gesekan pipa, serta julung belokan dan lainnya.

$\frac{v^2}{2g}$ = head kecepatan (m)

Perhitungan berbagai julung pada pemompaan :

Head statis (h_s)

$$h_s = h_2 - h_1$$

Keterangan :

h_1 = elevasi sisi isap (m)

h_2 = elevasi sisi keluar (m)

Head gesekan (h_{f1})

$$h_{f1} = f \left(\frac{L v^2}{2 D g}\right) \text{ (m)}$$

Nilai koefisien gesekan λ dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\lambda = 0,020 + \frac{0,0005}{D}$$

Keterangan :

h_{f1} = head kerugian gesekan (m)

f = koefisien gesek

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

D = diameter dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

G = kecepatan gravitasi bumi (m/detik²)

Head belokan (h_{f2})

$$h_{f2} = \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

$$k = \left(0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5}\right) \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5}$$

$$R = \frac{D}{\tan \frac{\theta}{2}}$$

Keterangan :

h_{f2} = head kerugian belokan (m)

k = koefisien kerugian

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

g = kecepatan gravitasi bumi (m/detik²)

D = diameter dalam pipa (m)

R = jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

θ = sudut belokan (°)

Julang katup isap (h_{f3})

$$h_{f3} = f \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

Keterangan :

f = koefisien kerugian pada katup isap

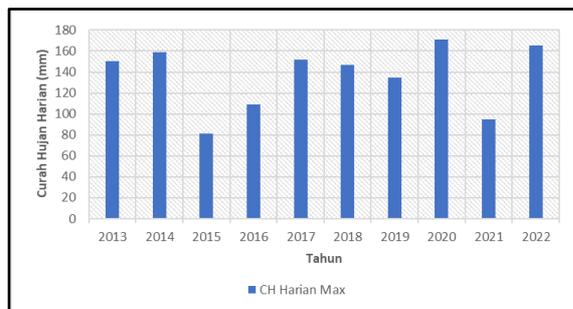
v = kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)

g = kecepatan gravitasi bumi (m/detik²)

HASIL PENELITIAN

1. Iklim dan Curah Hujan

Daerah Kalimantan Timur merupakan daerah beriklim tropis, yang memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Pada musim hujan, intensitas curah hujan di Desa Muara Lawa, Kecamatan Muara Lawa, Kabupaten Kutai Barat, Propinsi Kalimantan Timur sebesar 20,79 mm/jam yang termasuk dalam kategori hujan sangat lebat dengan rata-rata durasi curah hujan selama 3,9 jam. Adapun data curah hujan harian dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 5. Data Curah Hujan Harian (Departemen Mine Operation PT. TCM, 2023)

2. Curah hujan rencana

Curah hujan rencana merupakan curah hujan maksimum dengan besaran tertentu yang mungkin terjadi selama umur sarana penyaliran suatu tambang. Perhitungan curah hujan rencana diolah dengan menggunakan distribusi gumbell. Berdasarkan hasil perhitungan pada umur tambang 5 tahun, didapat curah hujan rencana dengan periode ulang hujan 3 tahun dan resiko hidrologi sebesar 86,8%.

3. Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan merupakan banyaknya hujan yang turun tiap jam dengan satuan mm, penentuan intensitas curah hujan menggunakan rumus mononobe

dengan kesesuaian data curah hujan. Durasi atau lamanya hujan (t) Intensitas curah hujan diperoleh dengan mengkonversikan data curah hujan harian menjadi curah hujan per jam.

Perhitungan intensitas curah hujan diperoleh di daerah penelitian adalah sebesar 20,79 mm/jam.

4. Koefisien limpasan

Keadaan morfologi pada lokasi penelitian terdapat satu satuan morfologi, yaitu bergelombang, lereng sedang sampai terjal, dan tersusun oleh litologi batu lempung, batu lanau, batu pasir dengan sisipan lempung dan batubara, serta memiliki vegetasi berupa hutan lebat hingga jarang.

1) Koefisien limpasan di dalam bukaan tambang

Koefisien limpasan di daerah area bukaan tambang menggunakan nilai koefisien 0,9 hal ini terjadi karena kondisi daerah penelitian memiliki kemiringan >15% (curam sekali) dan berupa tanah gundul tanpa adanya tanaman serta merupakan daerah penambangan.

2) Koefisien limpasan di luar bukaan tambang

Daerah tangkapan hujan di luar bukaan tambang menggunakan nilai koefisien masing-masing 0,6 dengan lahan berupa topografi yang bergelombang, perbukitan hingga pegunungan. Lapisan litologi berupa batu lempung, batu lanau, batu pasir dengan sisipan lempung dan batubara, serta memiliki vegetasi berupa hutan lebat hingga jarang.

5. Daerah tangkapan hujan

Daerah tangkapan hujan merupakan batasan luar dari suatu daerah atau keadaan topografi yang memiliki elevasi lebih tinggi dan apabila terjadi hujan akan mengalirkan air ke daerah yang memiliki elevasi lebih rendah. Data luas daerah tangkapan hujan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Daerah Tangkapan Hujan

| Lokasi | Luas (Km ²) | Luas (m ²) |
|---------|-------------------------|------------------------|
| DTH I | 0,52 | 520.000 |
| DTH II | 0,36 | 360.000 |
| DTH III | 0,22 | 220.000 |
| DTH IV | 0,23 | 230.000 |

6. Debit air limpasan

6.1. Metode Rasional

Debit yang diperoleh dihitung dengan menggunakan nilai koefisien limpasan (C) 0,9, intensitas hujan (I) 20,79 mm/jam dan luas tiap daerah tangkapan hujan pada Tabel 1 di atas. Besarnya debit air limpasan yang mengalir pada daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 2, 3, 4 dan 5.

Tabel 2. Debit Air Limpasan DTH I

| PUH | Konversi | Nilai C | Intensitas (mm/jam) | DTH (km ²) | Debit (m ³ /det) |
|---------------|----------|---------|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| PUH 3 tahun | 0,278 | 0,9 | 20,79 | 0,52 | 2,7051 |
| PUH 5 tahun | | | 23,36 | | 3,0397 |
| PUH 10 tahun | | | 26,59 | | 3,4601 |
| PUH 20 tahun | | | 29,69 | | 3,8634 |
| PUH 50 tahun | | | 33,71 | | 4,3854 |
| PUH 100 tahun | | | 36,71 | | 4,7766 |

Tabel 3. Debit Air Limpasan DTH II

| PUH | Konversi | Nilai C | Intensitas (mm/jam) | DTH (km ²) | Debit (m ³ /det) |
|---------------|----------|---------|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| PUH 3 tahun | 0,278 | 0,6 | 20,79 | 0,36 | 1,2485 |
| PUH 5 tahun | | | 23,36 | | 1,4029 |
| PUH 10 tahun | | | 26,59 | | 1,5970 |
| PUH 20 tahun | | | 29,69 | | 1,7831 |
| PUH 50 tahun | | | 33,71 | | 2,0240 |
| PUH 100 tahun | | | 36,71 | | 2,2046 |

Tabel 4. Debit Air Limpasan DTH III

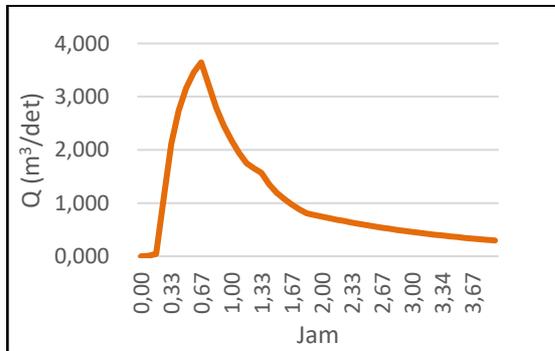
| PUH | Konversi | Nilai C | Intensitas (mm/jam) | DTH (km ²) | Debit (m ³ /det) |
|---------------|----------|---------|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| PUH 3 tahun | 0,278 | 0,6 | 20,79 | 0,23 | 0,7976 |
| PUH 5 tahun | | | 23,36 | | 0,8963 |
| PUH 10 tahun | | | 26,59 | | 1,0203 |
| PUH 20 tahun | | | 29,69 | | 1,1392 |
| PUH 50 tahun | | | 33,71 | | 1,2931 |
| PUH 100 tahun | | | 36,71 | | 1,4085 |

Tabel 5. Debit Air Limpasan DTH IV

| PUH | Konversi | Nilai C | Intensitas (mm/jam) | DTH (km ²) | Debit (m ³ /det) |
|---------------|----------|---------|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| PUH 3 tahun | 0,278 | 0,6 | 20,79 | 0,22 | 0,7630 |
| PUH 5 tahun | | | 23,36 | | 0,8573 |
| PUH 10 tahun | | | 26,59 | | 0,9759 |
| PUH 20 tahun | | | 29,69 | | 1,0897 |
| PUH 50 tahun | | | 33,71 | | 1,2369 |
| PUH 100 tahun | | | 36,71 | | 1,3473 |

6.2. Metode Nakayasu

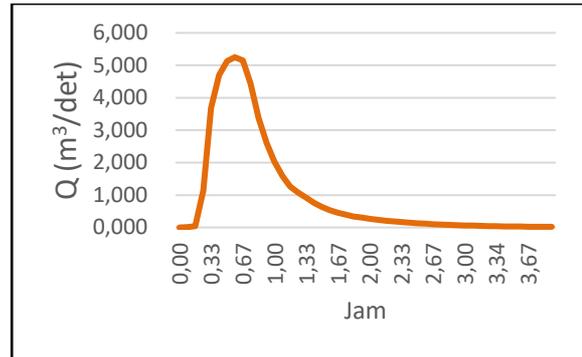
Hasil perhitungan debit air limpasan dengan metode HSS nakayasu yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 6 untuk DTH 1. Sementara itu, perhitungan debit air limpasan dengan metode HSS nakayasu yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Tabel 7 untuk DTH 2.



Gambar 6. Grafik Debit Limpasan Metode Nakayasu DTH I

Tabel 6. Debit Air Limpasan DTH 1 (Nakayasu)

| Periode Ulang Hujan | Debit(m ³ /det) |
|---------------------|----------------------------|
| 3 tahun | 3.64 |
| 5 tahun | 4.09 |
| 10 tahun | 4.66 |
| 20 tahun | 5.21 |
| 50 tahun | 5.91 |
| 100 tahun | 6.44 |

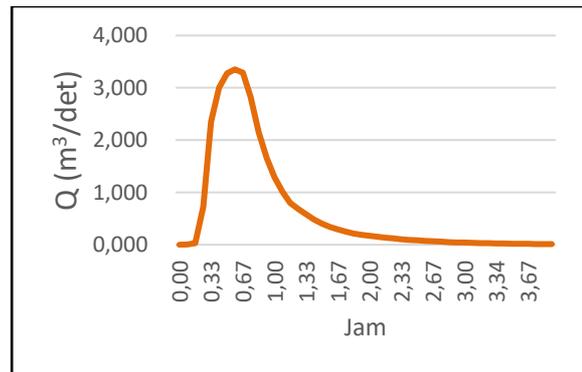


Gambar 7. Grafik Debit Limpasan Metode Nakayasu DTH II

Tabel 7. Debit Air Limpasan DTH 2 (Nakayasu)

| Periode Ulang Hujan | Debit (m ³ /det) |
|---------------------|-----------------------------|
| 3 tahun | 5,25 |
| 5 tahun | 5,90 |
| 10 tahun | 6,71 |
| 20 tahun | 7,50 |
| 50 tahun | 8,51 |
| 100 tahun | 9,27 |

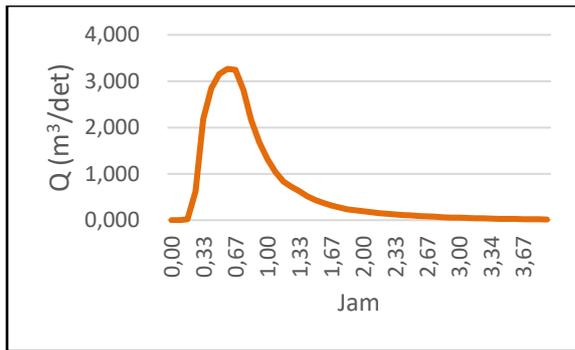
Perhitungan debit air limpasan dengan metode HSS nakayasu yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Tabel 7 untuk DTH 3. Sedangkan Perhitungan debit air limpasan dengan metode HSS nakayasu yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 9 untuk DTH 4.



Gambar 8. Grafik Debit Limpasan Metode Nakayasu DTH III

Tabel 8. Debit Air Limpasan DTH 3 (Nakayasu)

| Periode Ulang Hujan | Debit (m ³ /det) |
|---------------------|-----------------------------|
| 3 tahun | 3.35 |
| 5 tahun | 3.77 |
| 10 tahun | 4.29 |
| 20 tahun | 4.79 |
| 50 tahun | 5.43 |
| 100 tahun | 5.92 |



Gambar 9. Grafik Debit Limpasan Metode Nakayasu DTH IV

Tabel 9. Debit Air Limpasan DTH 4 (Metode Nakayasu)

| Periode Ulang Hujan | Debit(m³/det) |
|---------------------|---------------|
| 3 tahun | 3.27 |
| 5 tahun | 3.67 |
| 10 tahun | 4.18 |
| 20 tahun | 4.66 |
| 50 tahun | 5.29 |
| 100 tahun | 5.77 |

7. Air tanah

Perhitungan debit air tanah dilakukan secara aktual di lapangan, dimana air tanah yang muncul dari lapisan dinding di arah *sidewall* utara (Gambar 10) yang kemudian dialirkan ke sebuah saluran yang diarahkan ke menuju *sump*. Pengukuran debit air tanah dilakukan dengan menggunakan metode apung (*float method*) dan metode Thompson (V-Notch), yang masing-masing didapatkan debit sebesar 141,075 m³/jam dan 143,592 m³/jam. Dengan adanya potensi air tanah yang cukup besar maka perlu dilakukan penanganan lebih lanjut agar tidak mengganggu keamanan dari lereng yang dapat mengganggu proses penambangan. Kondisi rembesan air tanah pada daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 10. Kondisi Air Tanah di Daerah Penelitian

8. Volume *sump*

Sump pada lokasi penelitian dapat menampung air hingga volume 333.473 m³ dengan elevasi -15 sampai dengan -25 mdpl, sedangkan volume sisa dari volume

total aktual *sump* sebesar 154.467 m³ yang dihitung dari elevasi -15 mdpl sampai dengan -18 mdpl. *Sump* di lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Sump* di Lokasi Penelitian

9. Pompa dan Pipa

Sistem pemompaan di lokasi penelitian menggunakan dua unit pompa yaitu pompa Multiflo 420-E yang keduanya diletakkan di *sump pit* 3000 blok 10. Pompa yang dioperasikan pada *sump* menuju kolam pengendapan di *setting* pada putaran impeller 1200 rpm dengan debit aktual 520, 2 m³/jam, dengan waktu kerja efektif rata-rata yaitu 17,6 jam/hari. Pada jalur pipa pompa Multiflo 420-E menggunakan pipa hisap dengan diameter 12 inch (30,54 cm) dan panjang pipa sebesar 6 m dengan panjang total dari inlet sampai outlet pompa sebesar 674 m.

10. Saluran terbuka (*Open Channel*)

Saluran terbuka pada daerah penelitian berjumlah 4 yang menggunakan bentuk trapesium dengan maksud untuk dapat mengalirkan debit air yang masuk, selain itu pemilihan saluran terbuka bentuk trapesium karena kemudahan dalam pembuatan dan perawatannya.



Gambar 12. Kondisi Aktual Saluran Terbuka I



Gambar 13. Kondisi Aktual Saluran Terbuka II



Gambar 14. Kondisi Aktual Saluran Terbuka III



Gambar 15. Kondisi Aktual Saluran Terbuka IV

PEMBAHASAN

Debit Air Limpasan

1. Curah Hujan dan Intensitas Hujan

Curah hujan ditentukan dari curah hujan harian maksimum selama 10 tahun dan didapatkan curah hujan rata-rata maksimum sebesar 136,4 mm/hari. Dari curah hujan harian rata-rata maksimum nantinya akan digunakan untuk menghitung curah hujan rencana, perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode gumbell didapatkan curah hujan maksimum rencana sebesar 148,97 mm/hari.

Untuk menghitung intensitas curah hujan digunakan rumus mononobe. Dalam kurun waktu selama 10 tahun terakhir rata-rata durasi hujan terjadi selama 3,91 jam dalam seharinya, dengan intensitas curah hujan 20,78 mm/hari yang tergolong curah hujan yang sangat lebat.

2. Daerah Tangkapan Hujan

Daerah tangkapan hujan digunakan untuk mengetahui luasan wilayah yang dapat mengalirkan debit air limpasan yang masuk ke dalam tambang. Penentuan luas daerah tangkapan hujan yaitu dengan melihat peta topografi dengan menggunakan bantuan software minescape. Dari peta topografi dapat dilihat garis-garis kontur yang menunjukkan arah aliran air limpasan yang akan mengalir ke daerah tambang. Selanjutnya penentuan daerah tangkapan hujan dengan menarik titik-titik tertinggi yang akan membentuk polygon tertutup.

Di lokasi penelitian daerah tangkapan hujan (*catchment area*) terbagi menjadi dua yaitu daerah tangkapan hujan di dalam area penambangan (DTH I) dan daerah tangkapan hujan di luar area penambangan, yang terbagi lagi menjadi DTH II, DTH III, dan DTH IV. DTH I memiliki luas area sebesar 52 ha. DTH II terletak di arah *highwall* yang memiliki luas area sebesar 36 ha. DTH III terletak di arah *sidewall* yang memiliki luas area sebesar 23 ha. DTH IV terletak di arah *lowwall* yang memiliki luas area sebesar 22 ha.

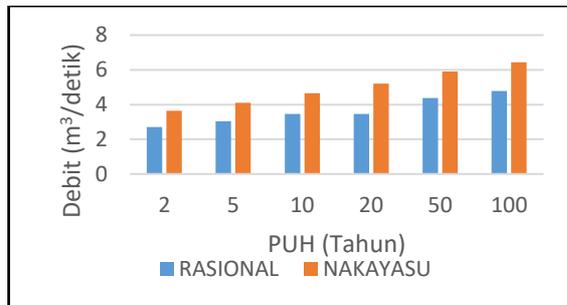
3. Koefisien Limpasan (C)

Nilai koefisien limpasan pada daerah tangkapan hujan dipengaruhi oleh faktor-faktor tata guna lahan, kemiringan lahan, jenis material, kerapatan vegetasi, tutupan lahan serta lamanya hujan. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan di lapangan, maka diketahui nilai koefisien limpasan (C) pada area tangkapan hujan disekitar wilayah penambangan yaitu, DTH I yang mempunyai kondisi topografi yang memiliki kemiringan >15%, vegetasi tanpa tanaman (gundul) dan merupakan area penambangan sehingga nilai koefisien limpasannya yaitu 0,9. DTH II dengan kondisi topografi yang memiliki kemiringan >15%, dan memiliki vegetasi berupa hutan yang cukup lebat, sehingga nilai koefisien limpasannya yaitu 0,6. DTH III dengan kondisi topografi yang memiliki kemiringan 3-15%, dan memiliki vegetasi ringan berupa rerumputan dan tanaman yang baru ditanami karena merupakan area reklamasi sehingga nilai koefisien limpasannya yaitu 0,6. DTH IV dengan kondisi topografi yang memiliki kemiringan >15% dan memiliki vegetasi berupa hutan yang cukup lebat sehingga nilai koefisien limpasannya yaitu 0,6.

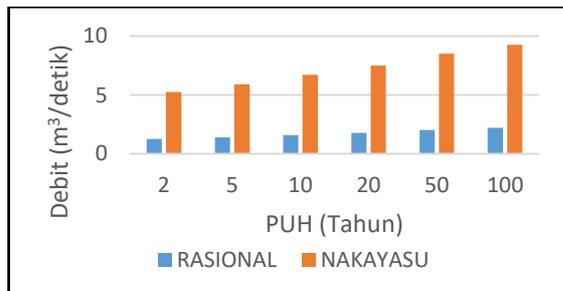
4. Debit Air Limpasan

Air yang masuk ke area tambang berasal dari air hujan yang mengalir dari daerah tangkapan hujan dan air limpasan permukaan. Dengan diketahuinya besarnya intensitas hujan, nilai koefisien limpasan dan luasan daerah tangkapan hujan pada *pit* 3000 blok 10, maka

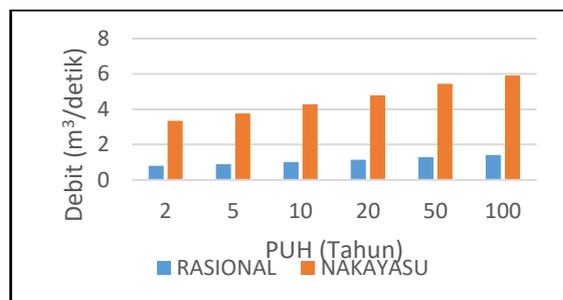
untuk mengetahui debit air limpasan dapat dihitung dengan menggunakan metode rasional dan metode nakayasu. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan analisis hidrologi berupa debit limpasan air hujan yang mengalir melalui saluran terbuka menggunakan dua metode, yaitu metode rasional dan metode nakayasu. Hasil perbandingan dari metode rasional dan metode nakayasu dapat dilihat pada Gambar 16, 17, 18, dan 19 berikut.



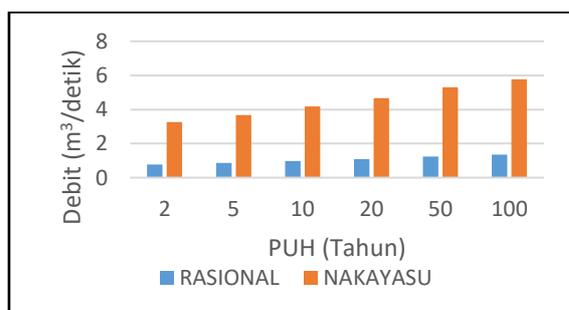
Gambar 16. Grafik Perbandingan Debit Limpasan DTH I



Gambar 17. Grafik Perbandingan Debit Limpasan DTH II



Gambar 18. Grafik Perbandingan Debit Limpasan DTH III



Gambar 19. Grafik Perbandingan Debit Limpasan DTH IV

Pada ke-empat gambar grafik tersebut dapat dilihat nilai debit limpasan dari kedua metode memiliki hasil yang berbeda, dimana nilai debit limpasan metode rasional lebih kecil daripada hasil perhitungan dengan metode nakayasu, hal ini juga mempengaruhi dengan dimensi saluran terbuka yang akan dirancang. Nilai debit yang dihasilkan metode nakayasu lebih besar karena dalam proses perhitungan terdapat nilai ordinat yang dihasilkan oleh metode nakayasu. Nilai ordinat ini akan dikalikan dengan nilai koefisien C dan intensitas curah hujan yang akan menghasilkan nilai debit limpasan.

5. Air Tanah

Berdasarkan struktur geologi, lokasi penelitian termasuk dalam formasi Pulaubalang yang terdiri atas lapisan batupasir, kuarsa dan gres, batulempung dengan sisipan batugamping, tuf, dan batubara. Beberapa batuan tersebut, seperti batupasir memiliki potensi terbesar untuk menyimpan dan mengalirkan air tanah, sedangkan tipe batuan lain memiliki permeabilitas rendah. Dari hasil pengukuran debit aktual air tanah yang dilakukan di lapangan didapatkan debit yaitu sebesar 141,075 m³/jam dan 143,592 m³/jam. Debit air tanah yang masuk ke *pit* dapat mengganggu proses penambangan sehingga air tanah yang muncul dari arah dinding *sidewall* sehingga perlu dialirkan menuju *sump*. Selain itu, keberadaan air tanah (*groundwater*) sangat mempengaruhi kemantapan suatu lereng. Hal ini dikarenakan air tanah memiliki tekanan air pori (*pore water pressure*) yang dapat menimbulkan gaya angkat (*uplift force*) dan menurunkan kekuatan suatu massa batuan penyusun lereng. Hal ini bisa berpotensi mengakibatkan keselamatan atas unit dan manusia yang beroperasi pada area di bawah/kaki lereng berada dalam resiko bahaya yang tinggi. Di saat yang bersamaan, kegiatan dibagian atas (*crest*) lereng juga mengalami resiko yang meningkat. Karena hal tersebut perlu kajian lebih lanjut mengenai penurunan muka air tanah guna upaya pengendalian terhadap air tanah.

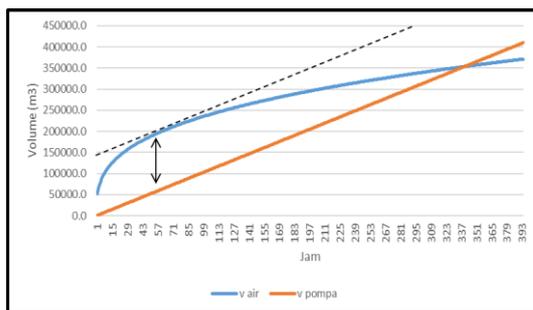
Dalam melakukan penurunan muka air tanah di sepanjang lereng biasanya menggunakan sistem *drain hole* maupun *pumping well*. Metode *drain hole* adalah metode penurunan air tanah dengan cara membuat pemboran secara horisontal maupun vertikal dengan memanfaatkan gaya gravitasi dalam mengalirkan airnya. Metode *pumping well* dipasang di sepanjang lereng dengan tujuan menurunkan muka airtanah dengan mengoperasikan pompa dengan periode waktu tertentu.

Pemasangan *drain hole* yang terjadi di lapangan sering dijumpai pada kondisi yang seragam, misalnya di sepanjang lereng di pasang dengan spasi 8 m. Akan tetapi pada beberapa kasus pengaplikasian *drain hole* untuk menurunkan muka air tanah pada media terkekarkan dengan jumlah yang seragam dapat mengakibatkan banyak lubang *drain hole* yang tidak

mengeluarkan air tanah sehingga tidak berfungsi dalam menurunkan muka air tanah. Kondisi ini menyebabkan pemborosan biaya operasional dalam kegiatan penurunan muka air tanah seperti yang dilakukan oleh Leech dkk, 2007. di Tambang Batu Hijau. Rahardjo dkk., 2003 menyatakan bahwa sedikit jumlah *drain hole* yang dipasang pada lokasi yang tepat sesuai dengan model konseptual akan lebih efektif daripada jumlah *drain hole* yang banyak dipasang pada jarak seragam di lereng. Oleh karena itu, untuk menentukan jumlah, panjang dan penempatan lubang *drain hole* dipasang secara seragam atau tidak dapat menggunakan suatu simulasi yaitu simulator Visual Modflow pada studi kasus model konseptual.

6. Kajian Sump (Kolam Penampungan)

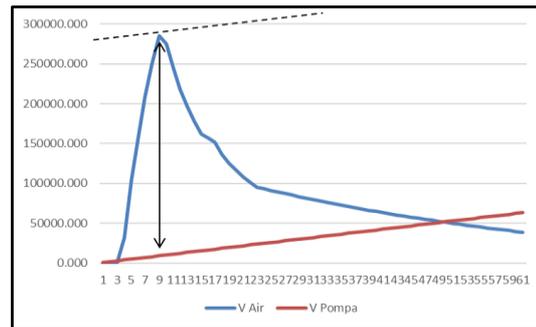
Kajian volume *sump* didasarkan pada debit air limpasan yang dialirkan dari daerah tangkapan hujan, kemampuan pemompaan, dan waktu pemompaan. Dimensi *sump* aktual di daerah penelitian berbentuk trapesium dan memiliki volume total sebesar 334.473 m³ dari elevasi -15 sampai dengan -25 mdpl dengan menggunakan software minescape 5.7. Gambar grafik penentuan volume *sump* dengan menggunakan metode rasional dapat dilihat pada gambar 20 berikut.



Gambar 20. Grafik Penentuan Volume Sump (Metode Rasional)

Dari grafik perbandingan volume pompa/kapasitas pompa dengan volume air yang masuk di *sump* di atas diperoleh volume tambahan air pada *sump* sebesar 137.277,3 m³. Volume *sump* aktual pada elevasi -18 mdpl sampai -25 mdpl adalah sebesar 179.006 m³, sehingga 179.006 m³ + 137.277,3 m³ = 316.283,3 m³ < 334.473 m³ maka volume *sump* metode rasional hasil perhitungan lebih kecil dari volume *sump* aktual sehingga volume total dari *sump* sudah mampu untuk menampung air hujan, air limpasan dan air tanah yang masuk. Berikut merupakan gambar grafik penentuan volume *sump* dengan menggunakan metode nakayasu (Gambar 21).

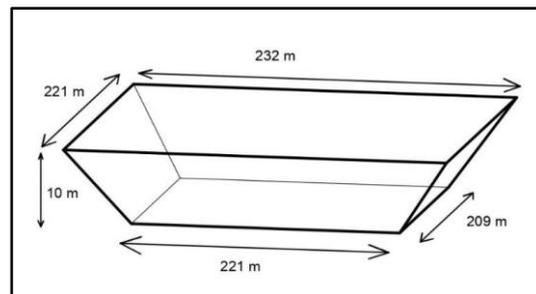
Berdasarkan perbandingan grafik penentuan volume *sump* menggunakan metode rasional dan nakayasu, maka yang dipilih adalah metode rasional karena pada desain aktual *sump* di lapangan yang ada sudah cukup mampu untuk menampung segala sumber air yang masuk kedalam daerah penambangan.



Gambar 21. Grafik Penentuan Volume Sump (Metode Nakayasu)

Dari grafik penentuan volume *sump* menggunakan metode Nakaysu di atas diketahui volume *sump* perhitungan sebesar 275.543,738 m³. Sehingga 179.006 m³ + 275.543,738 m³ = 454.549,738 m³ > 334.473 m³ maka apabila terjadi hujan volume sisa aktual *sump* yang ada belum mampu untuk menanggulangi potensi air limpasan. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pada dimensi *sump* agar mencegah terjadinya luapan. Usulan perbaikan volume *sump* yaitu menjadi sebesar 460.000 m³. Berikut merupakan rekomendasi dimensi *sump* berdasarkan grafik penentuan volume *sump* menggunakan metode nakaysu :

- Panjang permukaan *sump* = 232 m
- Lebar permukaan *sump* = 221 m
- Panjang dasar *sump* = 221 m
- Lebar dasar *sump* = 209 m
- Kedalaman = 10 m



Gambar 22. Bentuk dan Dimensi Sump

7. Kajian Sistem Pemompaan

Perbandingan Kapasitas Pompa Spesifikasi dan Aktual Pada lokasi penelitian di *pit* 3000 blok 10 pompa yang digunakan adalah 2 unit pompa multifo 420-E yang digunakan untuk memompa keluar air dari dalam *sump* menuju kolam pengendapan. Kapasitas pompa aktual 1200 rpm menghasilkan debit sebesar 520,2 m³/jam, dengan pengoperasian selama 17,6 jam/hari. Debit aktual pompa untuk tiap pengoperasian akan menghasilkan debit yang berbeda, sehingga dengan waktu pengoperasian selama 17,6 jam/hari diperlukan pengecekan untuk mengetahui volume air yang dikeluarkan oleh pompa per hari. Kapasitas pompa aktual 2 unit pompa Multiflo 420-E sudah mampu

untuk menjaga air dalam *sump* agar tidak meluap jika pengoperasiannya selama 17,6 jam/hari dilakukan secara teratur.

8. Julang (*Head*) Pompa

Pompa Multiflo 420-E merupakan jenis pompa yang berjenis *centrifugal pumps* yaitu pompa yang menggunakan impeller untuk mentransfer energi dari motor dengan mempercepat cairan keluar dari pusat rotasi. Air pemompaan akan mengalir menggunakan pipa hisap dengan panjang 6 meter kemudian akan keluar melalui pipa buangan dengan diameter 300 mm dengan panjang total pipa yaitu 674 meter dari *sump* menuju kolam pengendapan, sehingga diperoleh *head* pompa sebagai berikut :

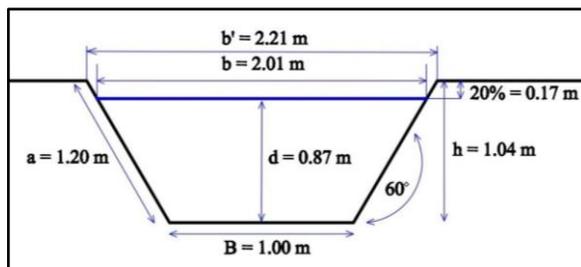
- a) *Head* statis = 70 m
- b) *Head* kecepatan = 0,213 m
- c) *Head* gesekan = 10,378 m
- d) *Head* belokan = 3,752 m
- e) *Head* katup isap = 0,379 m
- f) *Head* total = 84,53 m

9. Kajian Saluran Terbuka

Pada lokasi penelitian, terdapat empat saluran terbuka dimana diantara terdapat dua saluran terbuka memiliki dimensi aktual yang lebih kecil dibandingkan dimensi perhitungan menggunakan metode rasional, sehingga menyebabkan terjadinya luapan pada kedua saluran terbuka tersebut. Perbandingan antara dimensi saluran terbuka aktual dengan hasil rancangan dapat dilihat pada Table 10, 11, 12, dan 13. Sedangkan rancangan dimensi saluran terbuka DTH I, II, III, dan IV terdapat pada Gambar 23, Gambar 24, Gambar 25, dan Gambar 26.

Tabel 10. Perbandingan Saluran Terbuka DTH I Aktual Dengan Hasil Rasional dan Nakayasu

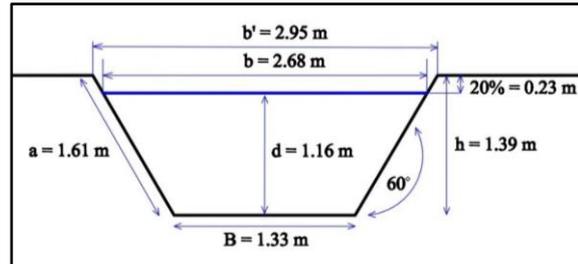
| Dimensi | Nilai Aktual (m) | Nilai Rasional (m) | Nilai Nakayasu (m) |
|---|------------------|--------------------|--------------------|
| Kedalaman air (<i>d</i>) | 0.95 | 0.87 | 1.49 |
| Kedalaman saluran (<i>h</i>) | 1.18 | 1.04 | 1.79 |
| Lebar dasar saluran (<i>B</i>) | 1.14 | 1.00 | 1.71 |
| Lebar permukaan saluran (<i>b</i>) | 2.32 | 2.01 | 3.44 |
| Lebar permukaan total saluran (<i>b'</i>) | 2.54 | 2.21 | 3.74 |
| Panjang dinding saluran (<i>a</i>) | 1.35 | 1.20 | 2.06 |



Gambar 23. Rancangan Dimensi Saluran Terbuka DTH I

Tabel 11. Perbandingan Saluran Terbuka DTH II Aktual Dengan Hasil Rasional dan Nakayasu

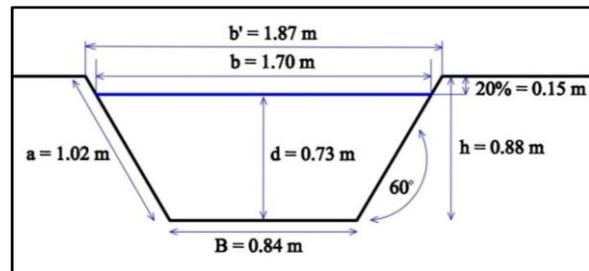
| Dimensi | Nilai Aktual (m) | Nilai Rasional (m) | Nilai Nakayasu (m) |
|---|------------------|--------------------|--------------------|
| Kedalaman air (<i>d</i>) | 1.06 | 1.16 | 1.30 |
| Kedalaman saluran (<i>h</i>) | 1.25 | 1.39 | 1.56 |
| Lebar dasar saluran (<i>B</i>) | 1.21 | 1.33 | 1.49 |
| Lebar permukaan saluran (<i>b</i>) | 2.52 | 2.68 | 3.00 |
| Lebar permukaan total saluran (<i>b'</i>) | 2.83 | 2.95 | 3.30 |
| Panjang dinding saluran (<i>a</i>) | 1.40 | 1.61 | 1.80 |



Gambar 24. Rancangan Dimensi Saluran Terbuka DTH II

Tabel 11. Perbandingan Saluran Terbuka DTH III Aktual Dengan Hasil Rasional dan Nakayasu

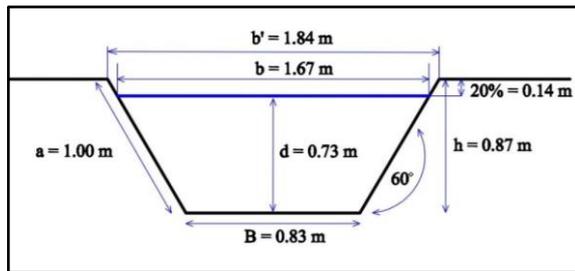
| Dimensi | Nilai Aktual (m) | Nilai Rasional (m) | Nilai Nakayasu (m) |
|---|------------------|--------------------|--------------------|
| Kedalaman air (<i>d</i>) | 0.78 | 0.73 | 1.26 |
| Kedalaman saluran (<i>h</i>) | 0.94 | 0.88 | 1.51 |
| Lebar dasar saluran (<i>B</i>) | 0.89 | 0.84 | 1.45 |
| Lebar permukaan saluran (<i>b</i>) | 1.78 | 1.70 | 2.91 |
| Lebar permukaan total saluran (<i>b'</i>) | 1.95 | 1.87 | 3.20 |
| Panjang dinding saluran (<i>a</i>) | 1.10 | 1.02 | 1.74 |



Gambar 25. Rancangan Dimensi Saluran Terbuka DTH III

Tabel 12. Perbandingan Saluran Terbuka DTH IV Aktual Dengan Hasil Rasional dan Nakayasu

| Dimensi | Nilai Aktual (m) | Nilai Rasional (m) | Nilai Nakayasu (m) |
|---|------------------|--------------------|--------------------|
| Kedalaman air (<i>d</i>) | 0.69 | 0.73 | 1.25 |
| Kedalaman saluran (<i>h</i>) | 0.83 | 0.87 | 1.49 |
| Lebar dasar saluran (<i>B</i>) | 0.79 | 0.83 | 1.43 |
| Lebar permukaan saluran (<i>b</i>) | 1.62 | 1.67 | 2.88 |
| Lebar permukaan total saluran (<i>b'</i>) | 1.78 | 1.84 | 3.17 |
| Panjang dinding saluran (<i>a</i>) | 0.96 | 1.00 | 1.73 |



Gambar 26. Rancangan Dimensi Saluran Terbuka DTH IV

Dari perbandingan dimensi saluran terbuka aktual, rasional dan nakayasu maka perlu dilakukan perbaikan sesuai perhitungan pada saluran terbuka DTH II dan DTH IV, agar mencegah terjadinya luapan pada saluran terbuka. Berdasarkan hasil perhitungan kedua metode tersebut dapat disimpulkan bahwa perhitungan metode rasional lebih cocok digunakan untuk mendesain saluran terbuka pada daerah penelitian dengan pertimbangan keamanan, efisiensi, dan kemampuan untuk menahan debit limpasan yang akan terjadi dilokasi penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UPN "Veteran" Yogyakarta dan PT Trubaindo Coal Mining karena telah mendukung penyelesaian penelitian ini.

KESIMPULAN

1. Debit air limpasan metode rasional adalah sebesar 2,7051 m³/detik, 1,2485 m³/detik, 0,7976 m³/detik, 0,7630 m³/detik, sedangkan hasil dari perhitungan metode nakayasu sebesar 3,6446 m³/detik, 5,2492 m³/detik, 3,3523 m³/detik dan 3,2654 m³/detik secara berurutan dari DTH I, II, III dan IV.
2. Dimensi saluran terbuka sesuai perhitungan metode nakayasu yaitu :
 - a. Saluran terbuka DTH I : h = 1,49 m, d = 1,79 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 1,71 m, b = 3,44 m, b' = 3,74 m, a = 2,06 m.
 - b. Saluran terbuka DTH II : h = 1,30 m, d = 1,56 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 1,49 m, b = 3,00 m, b' = 3,30 m, a = 1,80 m.
 - c. Saluran terbuka DTH III : h = 1,29 m, d = 1,51 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 1,45 m, b = 2,91 m, b' = 3,20 m, a = 1,74 m.
 - d. Saluran terbuka DTH IV : h = 1,25 m, d = 1,49 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 1,43 m, b = 2,88 m, b' = 3,17 m, a = 1,73 m.
 Dimensi saluran terbuka sesuai perhitungan metode rasional yaitu :
 - a. Saluran terbuka DTH I : h = 0,87 m, d = 1,04 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 1,00 m, b = 2,01 m, b' = 2,21 m, a = 1,20 m.
 - b. Saluran terbuka DTH I : h = 1,16 m, d = 1,39 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 1,33 m, b = 2,68 m, b' = 2,95 m, a = 1,61 m.

c. Saluran terbuka DTH III : h = 0,73 m, d = 0,88 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 0,84 m, b = 1,70 m, b' = 1,87 m, a = 1,02 m.

d. Saluran terbuka DTH IV : h = 0,73 m, d = 0,87 m, $\alpha = 60^\circ$, B = 0,83 m, b = 1,67 m, b' = 1,84 m, a = 1,00 m.

Dari kedua rancangan dimensi diatas yang digunakan untuk rekomendasi perbaikan adalah rancangan dimensi sesuai perhitungan metode rasional.

3. Debit air tanah yang didapatkan dari metode apung yaitu sebesar 141,075 m³/jam sedangkan pengukuran pada metode Thompson sebesar 143,592 m³/jam.
4. Dua unit pompa Multiflo 420-E yang ada di lokasi penelitian masih mampu untuk memompa volume air yang masuk ke dalam pit, dengan efisiensi 70% menghasilkan debit sebesar 520,2 m³/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- A Tahara Haruo, Sularso, 2006. *Pompa Dan Kompresor*. Edisi IX, Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Asdak, C., 2023. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Chow dan Ven Te. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka (Bahasa Indonesia)*. Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Currie, J.M. 1973. *Unit Operations in Mineral Processing, Departement of Chemical and Metalurgical Technology*. British Columbia.
- Eka, Y., Pattiraja, A., dan Henong, S. (2020). *Analisa Perbandingan Penentuan Debit Rencana Menggunakan Metode Nakayasu dan Simulasi Aplikasi HEC-HMS di DAS Lowo Rea*. ETERNITAS: Jurnal Teknik.
- Engineering Departement. 2023. *Dokumen Mine Plan*. PT Trubaindo Coal Mining.
- Engineering Departement. 2023. *Dokumen Survey*. PT Trubaindo Coal Mining.
- Gautama, R.S. 1999. *Sistem Penyaliran Tambang*. Institut Teknologi Bandung.
- Herlambang, A., 1996. *Kualitas Air Tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Igor, K. 2001. *Pump Handbook : Third Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Julianto, A. R., dan Utomo, K. S., (2022). *Perbandingan Debit Banjir Rancangan Menggunakan Metode HSS Nakayasu, HSS Gama-1, dan Non-Hidrograf Rasional Pada Bendung Karet Sungai Blorong*. CITIZEN: Jurnal.
- Krussman, G.P. and Ridder, N.A. 1970. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen.
- Leech S., McGann, 2007. *Open pit slope depressurization using horizontal drains – a*

- Case Study Newmont, https://www.imwa.info/docs/imwa_2008/IMWA2008_035_Leech.pdf. Diunduh pada tanggal 20 April 2024.
- Mine Operation Departement. 2023. *Curah Hujan Tahunan Tahun 2013-2022*. PT Trubaindo Coal Mining.
- Mori, Kiyotoka, 1999. *Hidrologi untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Penerjemah : L. Taulu, Editor : Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda.
- Ott, H. L. 1987. *The Kutei Basin-a unique str history*. Indonesian Petroleum Association ceedings of the 16th Annual Convention, Jakarta.
- Powers, J.P. 1992. *Construction Dewatering : New Method and Application*. Jhon Wiley and Sons. New York.
- Rahardjo, H., Hritzuk, K. J., Leong, E. C. & Rezaur, R. B., 2003. *Effectiveness of horizontal drains for slope stability*. *Engineering Geology*, 69, 295-308.
- Rahmad, Basuki., Sugeng R., dan Ediyanto. 2019. *Pengantar Hidrogeologi dan Geologi Teknik Tambang Batubara*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Riyadi, F. A., Cahyadi, T. A., Nurkhamim, dan Supandi. 2019. "Desain Saluran Terbuka Berbasis Microsoft Excel Perhitungan dan Pemodelan yang Praktis dan Effisien", *Journal Technology of Civil, Electrical, Mechanical, Geology, Mining, and Urban Design*, vol. 4, no. 2, pp. 61-78. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v4i2.1563>
- Samuel, L. and Muchsin, S., 1975. *Statigraphy and Sedimentation in The Kutai Basin, Kalimantan*. Proc. 4th Ann. Conv., Indon. Petrol. Assoc.
- Satyana, A.H., Nugroho, D., Surantoko, I. 1999. *Tectonic Controls on The Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutai and Tarakan Basin, Eastern Kalimantan, Indonesia; Major Dissimilarities*. *Journal of Asian Earth Sciences Special Issue Vol. 17*. Oxford: Elsevier Science.
- Sosrosudarsono, S dan Takaeda K. 1993. *Hidrologi Untuk Pengairan*. PT. Pradnya. Jakarta.
- Sularso dan Tahara, H. 1991. *Pompa dan Kompresor (Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan)*. PT. Pradnya. Jakarta.
- Supriatna S., Sukardi R., Rustandi E., 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda*, Kalimantan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Demangan Baru. Yogyakarta.
- Suwandhi, A. 2004. *Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*. Universitas Islam Bandung.
- Todd, K. D. 2005. *Groundwater Hidrology, Third Edition*. Jhon Wiley and Sons. New York. United States of America.
- Tracey, and Carter. 1961. *Resistance Coeffisients and Velocity Distribution-Smooth Rectangular Channel*. U.S. Geological Survey.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. IA. Government Printing Office, The Hague.