



SIMULASI PENGISIAN LUBANG BEKAS TAMBANG PIT D2 SITE BINUNGAN 01 KALIMANTAN TIMUR

SIMULATION OF VOID FILLING IN THE BINUNGAN 01 PIT D2 SITE MINE HOLE EAST KALIMANTAN

D. Wulandari¹, R. S. Gautama², G. J. Kusuma³, A. Badhurahman⁴

¹⁻⁴Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

¹⁻⁴Jl. Ganesa No.10 Lb.Siliwangi Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat

e-mail: ¹*diahwulandari28@gmail.com, ²r_sayoga@mining.itb.ac.id, ³jaluku@gmail.com,

⁴abiebadhurahman@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan penambangan baik tambang batubara, bijih maupun batuan akan berakhir dan pada beberapa kasus meninggalkan lubang bekas tambang yang dijadikan sebagai danau pascatambang (*pit lake*). Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pembentukan danau pascatambang yang dapat digunakan untuk mengestimasi laju dan durasi atau waktu pengisian air danau yang terbentuk. Pit D2 Site Binungan 01 merupakan lokasi penelitian yang terletak di antara dua sungai utama yaitu Sungai Kelay dan Sungai Binungan. Sungai Kelay memiliki panjang ± 259 km, lebar 128 meter dengan kedalaman ± 25 meter. Debit Sungai Kelay 928,22 m³/s hingga 1539,32 m³/s dengan kecepatan aliran 0,540 m/s. Sungai Binungan memiliki panjang ± 35 km, lebar sungai 15,9 meter dengan kedalaman $\pm 2,8$ meter. Debit Sungai Binungan 117,39 m³/s hingga 304,30 m³/s dengan kecepatan aliran 0,640 m/s. Pengisian danau pascatambang dengan menggunakan air sungai masih jarang dilakukan, sehingga penelitian ini diharapkan menjadi salah satu acuan atau pedoman untuk reklamasi pascatambang di Indonesia. Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Kelay secara terus-menerus akan berlangsung selama 18 bulan sejak pengisian pertama dengan mengalirkan debit sungai sebesar 2 m³/s. Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Kelay ketika banjir akan berlangsung selama 16 bulan sejak pengisian pertama dengan mengalirkan debit sungai 2,75 m³/s. Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Binungan secara terus-menerus akan berlangsung selama 25 bulan sejak pengisian pertama dengan mengalirkan debit sungai sebesar 1,5 m³/s. Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Binungan ketika banjir akan berlangsung selama 18 bulan sejak pengisian pertama dengan mengalirkan debit sungai 1,85 m³/s.

Kata kunci: danau pascatambang, air asam tambang, pengisian, air sungai

ABSTRACT

Mining activities, both coal, ore and rock mining will end and in some cases leave former mining pits which are used as post-mining lakes (*pit lake*). This research was conducted with the aim of predicting the formation of post-mining lakes, which can be used to estimate the rate and duration/time of filling water in the lake formed. Pit D2 Site Binungan 01 is the planned research location. The location of Pit D2 itself is located between the two main rivers, namely the Kelay River and the Binungan River. The Kelay River has a length of ± 259 km, a width of 128 meters and a depth of ± 25 meters. The Kelay River discharge is 930.22 m³/s to 1187.3 m³/s with a flow speed of 0.540 m/s. The Binungan River has a length of ± 35 km, a width of 15.9 meters and a depth of ± 2.8 meters. The Binungan river discharge ranges from 207.89 m³/s to 251.58 m³/s with a flow speed of 0.640 m/s. Filling of post-mining lakes using river water is still rarely done, so this research is expected to be one of the references or guidelines for post-mining reclamation in Indonesia. The filling simulation by relying on the Kelay River continuously will last for 33 months since the first filling by flowing a river discharge of 2 m³/s. The filling simulation by relying on the Kelay River when it floods will last for 34 months from the first filling by flowing a river discharge of 2.75 m³/s. The filling simulation by relying on the Binungan River continuously will last for 25 months since the first filling by flowing a river discharge of 1,5 m³/s. The filling simulation by relying on the Binungan River during a flood will last for 18 months from the first filling by flowing a river discharge of 1,85 m³/s.

Keywords : post-mining lake, acid mine water, filling, river water

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan dengan metode tambang terbuka dilakukan dengan kegiatan penggalian dan penimbunan dalam skala besar menyebabkan terbentuknya lubang besar pada akhir penambangan yang diistilahkan sebagai *void*. *Void* yang akan terisi atau diisi dengan air akan terbentuk danau pascatambang yang diistilahkan dengan *mine lake* atau *pit lake* [1].

Danau pascatambang yang terbentuk menunjukkan berbagai ukuran, kedalaman, kesetimbangan air (*water balance*). Prediksi pengembangan danau pascatambang pada masa depan serta strategi manajemen kualitas air jangka panjang sangat bergantung pada pemodelan yang harus disesuaikan dengan karakteristik danau pascatambang dan luasan daerah tangkapan hujan.

Model pembentukan danau pascatambang dilakukan dengan memanfaatkan potensi sungai yang berada di sekitar *void*. Analisisnya dilakukan dengan memperhatikan aspek hidrologi untuk mengetahui kuantitas yang akan terbentuk pada danau pascatambang. Mengingat pengisian danau pascatambang dengan air sungai masih jarang dilakukan, maka dilakukan penelitian “Simulasi Pengisian pada Lubang Bekas Tambang Pit D2 Site Binungan 01, Kalimantan Timur”. Penelitian ini bermanfaat untuk menjadi salah satu referensi pengisian dengan menggunakan air sungai dan limpasan air hujan.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang berperan dalam menentukan kuantitas danau pascatambang dari aspek hidrologi dan mengkaji opsi-opsi pengisian danau pascatambang yang nantinya akan dijadikan parameter untuk pengambilan keputusan.

Pengembangan model pembentukan danau pascatambang dilakukan dengan memperhatikan aspek hidrologi. Aspek hidrologi dilakukan untuk mengetahui volume air yang masuk dalam pit, lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengisi pit dengan air dan kuantitas air yang akan terbentuk [2]. Untuk mempercepat pengisian danau pascatambang diperlukan pengisian air dari sungai di sekitar area pit final D2 sehingga material PAF (Potential Acid Forming) tidak terlalu lama terekspos yang akan menyebabkan kualitas air danau pascatambang buruk.

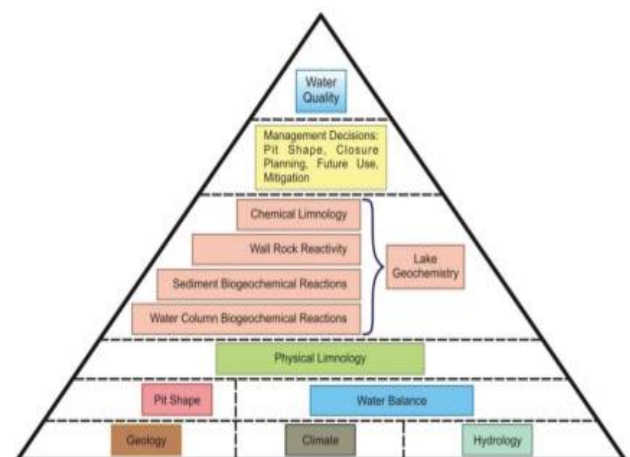
Adapun hipotesisnya adalah:

1. Jika danau pascatambang tidak direncanakan dengan baik, maka akan menghasilkan kualitas yang buruk.
2. Proses prediksi waktu pengisian danau pascatambang dapat dilakukan dengan menggunakan model hidrologi melalui pemilihan skenario pengisian danau pascatambang.
3. Pengisian danau pascatambang dengan air sungai masih jarang dilakukan.
4. Pengisian danau pascatambang dengan air sungai dapat mengkonservasi kondisi air tanah yang terpotong akibat proses penambangan, sehingga

meningkatkan ketahanan sungai dalam menghadapi banjir.

Danau pascatambang terbentuk akibat penambangan dengan metode tambang terbuka, salah satunya dengan metode open pit, baik itu tambang bijih, batubara maupun batuan. Penambangan terbuka dilakukan untuk menambang mineral berharga sampai pada batas ekonomis yang telah ditentukan. Penambangan dengan metode ini akan meninggalkan lubang bekas tambang yang berbentuk kolam atau “void” [1].

Pemahaman konsep pascatambang dapat diilustrasikan dalam bentuk piramida yang tersusun atas proses hidrologi, biokimia, geologi dan limnology yang saling terkait (Gambar 1). Dasar piramida terdiri atas iklim, geologi dan hidrologi area penambangan. Tingkat kedua terdiri atas bentuk akhir dan kedalaman pit penambangan yang tergantung dari kondisi geologi dan juga kesetimbangan air yang dikontrol kondisi iklim dan hidrologi. Selanjutnya pada tingkat ketiga terdapat limnologi fisik danau pascatambang dan pada tingkat keempat terdapat rencana manajemen pengelolaan danau pascatambang yang terdiri dari dimensi pit, rencana penutupan tambang, pemanfaatan danau ke depan dan mitigasi [1].



Gambar 1. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air danau pascatambang [1]

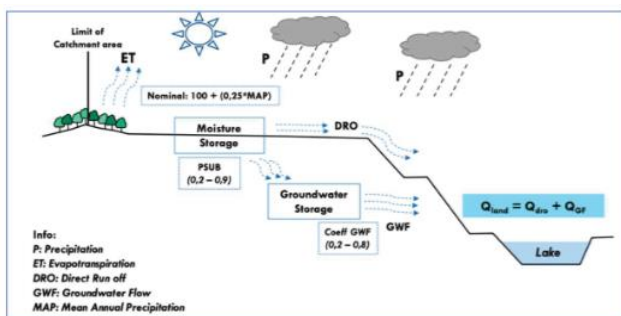
Neraca air menentukan seberapa cepat lubang tambang terbuka diisi dengan air setelah pascatambang dan juga mempengaruhi volume air akhir danau yang terbentuk. Sebagian besar pit pada akhirnya akan memotong air tanah selama penambangan selama kegiatan penambangan berlangsung. Setelah berakhirnya penambangan, pompa pengeringan biasanya ditutup sehingga air tanah akan masuk pada lubang bekas tambang dan akhirnya terbentuklah danau pascatambang. Persamaan umum dari neraca air untuk pembentukan pascatambang [3] adalah sebagai berikut :

$$P + S_{Win} + G_{Win} = E + (T) + S_{Wout} + G_{Wout} \pm \Delta S \quad (1)$$

P adalah presipitasi langsung yang jatuh di permukaan danau, S_{Win} adalah jumlah air permukaan yang masuk seperti aliran yang dialihkan (air limpasan atau limbah air yang dibuang ke danau), G_{Win} adalah air tanah yang masuk ke danau, E adalah evaporasi atau penguapan, T adalah transpirasi tumbuhan, S_{Wout} adalah air permukaan yang keluar dari sistem (termasuk air yang dipompa, diolah, dan dibuang ke badan air penerima), G_{Wout} adalah air tanah yang keluar dari danau dan ΔS adalah perubahan penyimpanan volume air dalam danau pascatambang [4].

Ada dua zona dalam pengisian danau pascatambang dengan mengandalkan air limpasan hujan. Jamal (2022) dalam penelitiannya menerangkan bahwa zona pengisian danau pascatambang terbagi atas dua yaitu zona *overland* – *subsurface* atau daerah tangkapan air hujan dan zona pit lake atau zona lubang tambang itu sendiri [5]. Struktur model membagi aliran bulanan menjadi dua limpasan yakni limpasan langsung dan tampungan air tanah (Gambar 2).

Tampungan kelengasan ditentukan oleh hujan dan evapotranspirasi dan kelebihan kelengasan yang menjadi limpasan langsung dan imbuan air tanah yang keluar. Tampungan air tanah ditentukan oleh imbuan air tanah yang masuk dan air tanah yang keluar [3].



Gambar 2. Ilustrasi zona *overland* – *subsurface* dan zona *pit lake* [6]

Dalam menentukan neraca air diperlukan perhitungan evapotranspirasi. Evapotranspirasi merupakan variabel yang menggambarkan kehilangan air dari lahan dan permukaan air di suatu daerah tangkapan akibat kombinasi proses evaporasi dan transpirasi. Dalam analisis hidrologi setidaknya dikenal dengan evapotranspirasi potensial dan aktual. Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang mungkin terjadi pada kondisi air yang berlebihan. Faktor penting yang mempengaruhi evapotranspirasi potensial adalah tersedianya air yang cukup banyak. Jika jumlah air selalu tersedia berlebihan dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi, maka jumlah air yang

ditranspirasikan akan lebih besar dibandingkan apabila tersedianya air di bawah kebutuhan.

Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau pada musim kemarau. Besarnya lahan yang tidak tertutupi lahan hijau untuk setiap daerah berbeda-beda. Klasifikasi lahan yang tidak tertutupi lahan hijau terbagi menjadi tiga daerah dengan masing-masing nilainya (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai variabel lahan yang tidak tertutupi lahan hijau

No.	Persentase	Karakteristik daerah
1.	0 %	Hutan primer, sekunder
2.	10 – 40 %	Daerah tererosi
3.	30 – 50 %	Daerah ladang pertanian

Evapotranspirasi aktual merupakan evapotranspirasi sesungguhnya yang terjadi dengan ketersediaan air atau kelembaban tanah eksisting. Sehingga nilai evapotranspirasi aktual dan evapotranspirasi potensial adalah sama ($AET = PET$). Hal ini menunjukkan persediaan air yang tidak terbatas.

Neraca air sungai dapat dihitung dengan melakukan perhitungan debit andalan dan debit sintetis. Dalam penelitian ini neraca air sungai yang akan diteliti adalah Sungai Binungan dan Sungai Kelay. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Baiquni dkk (2018), perhitungan debit dilakukan secara aktual dengan menggunakan alat AWLR sehingga diketahui debit andalan sungai tersebut [7].

Debit andalan dihitung berdasarkan kurva durasi debit. Sehingga besarnya debit tertentu yang kejadiannya dihubungkan dengan probabilitas atau periode ulang tertentu [8]. Dengan memperhatikan definisi dari debit andalan, besarnya debit andalan biasanya ditentukan berdasarkan hasil pengukuran, sehingga digunakan persamaan seperti pada persamaan 2.

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

Debit (Q) didapatkan dengan pengkalian kecepatan aliran air (V) yang diukur dengan menggunakan *flowmeter* dengan luas penampang sungai amatan (A).

Debit sintetis adalah debit yang dalam perencanaan pengembangan serta operasi suatu sistem sumber daya air, data debit aliran merupakan data utama yang harus dalam runtut waktu tertentu yang berkesinambungan [9]. Data debit aliran umumnya terbatas sehingga tidak banyak stasiun yang memiliki data runtut waktu yang lengkap (misalkan sepuluh tahun terakhir). Untuk mengisi

data debit aliran yang kosong serta memperpanjang seri data debit, maka dikembangkan model untuk simulasi curah hujan – limpasan yang bertujuan untuk membuat data debit aliran sintesis berdasarkan data hujan, penguapan (evapotranspirasi) dan karakteristik daerah aliran sungai tersebut [10].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada area bekas tambang Pit D2 site Binungan 01, Kalimantan timur (Gambar 3). Untuk menentukan kuantitas danau pascatambang diperlukan analisis hidrologi untuk mendapatkan simulasi pengisian danau pascatambang. Tahapan analisis hidrologi ini adalah mengetahui luasan daerah tangkapan hujan dari pit bekas tambang. Kemudian analisis karakterisasi masing-masing sungai yang terdapat pada area bekas tambang dengan menggunakan metode debit andalan secara aktual dan debit sintesis dengan metode NRECA (The National Rural Electric Cooperative Association).

Metode penelitian untuk analisis evapotranspirasi menggunakan Metode Thornthwaite dimana perhitungan neraca air didasarkan pada hubungan antara pasokan air (input) dan luaran (output) dari suatu wilayah dalam jangka waktu tertentu. Karena itulah neraca air dapat dipakai untuk mengidentifikasi sumber-sumber air dan penggunaan air di wilayah dalam periode waktu tertentu. Parameter input data yang diperlukan untuk Metode Thornthwaite ini adalah curah hujan, temperatur, penguapan tutupan lahan dan kondisi tanah hasil pengamatan lapangan.



Gambar 3. Lokasi penelitian

Definisi neraca air sungai pada Metode NRECA adalah selisih antara curah hujan dengan evapotranspirasi aktual. Pada persamaan 3, dapat dilihat perhitungan neraca air sungai dengan debit sintesis.

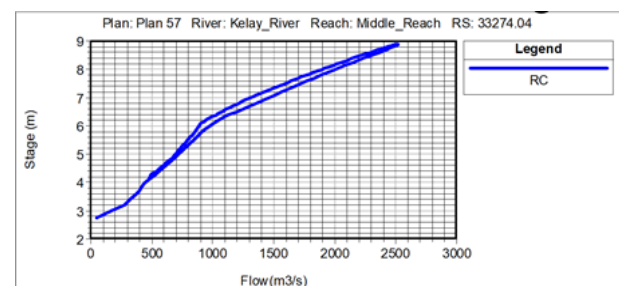
$$\text{Neraca air (mm)} = \text{Curah hujan (mm)} - \text{PET (mm)} \quad (3)$$

Pengisian dengan mengandalkan air sungai diperlukan analisis karakterisasi masing-masing sungai tersebut. Bekas area penambangan Pit D2 diapit oleh dua sungai yaitu Sungai Kelay dan Sungai Binungan. Sungai Kelay merupakan salah satu sungai terbesar di Kalimantan Timur dan sungai utama di area Binungan 01. Sungai Kelay ini digunakan salah satunya untuk perjalanan kapal tongkang pengangkut batubara. Sungai Kelay sendiri memiliki luas daerah aliran sunga (DAS) seluas 8.433,70 km² dengan panjang sungai kurang lebih 259 km dengan lebar 129 meter. Kedalaman Sungai Kelay bervariasi antara 25 meter hingga 3 meter dari hulu ke hilir (Gambar 4).



Gambar 4. Luas DAS Sungai Kelay

Pada Sungai Kelay telah dilakukan metode perhitungan debit andalan dengan melakukan pengukuran aktual di beberapa titik Sungai Kelay sehingga diperoleh gambaran debit andalan Sungai Kelay. Perbandingan antara muka air sungai dan debit dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar *rating curve* merupakan hasil dari konversi antara elevasi muka air ke debit yang dilakukan dengan menggunakan persamaan lengkung debit yang menghubungkan kedalaman air dan debit.



Gambar 5. *Rating curve* Sungai Kelay (2018)

Berdasarkan grafik *rating curve* dilakukan perbandingan dengan probabilitas untuk mengetahui debit sungai pada kemungkinan peluang di 90 persen (Gambar 6). Debit Sungai Kelay diketahui berkisar antara 928,22 m³/detik hingga 930,60 m³/detik. Debit Sungai Kelay ini diperoleh dari perbandingan probabilitas dengan perhitungan debit berdasarkan *rating curve* dengan menggunakan data

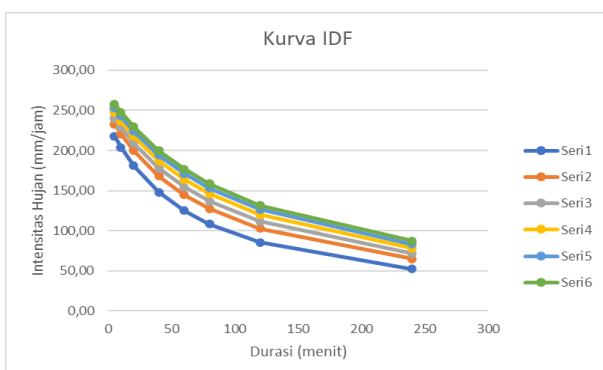
aktual perhitungan kecepatan aliran sungai dan tinggi penampang sungai di salah satu lokasi pengukuran sungai.

Sungai Binungan merupakan salah satu anak sungai yang ada di Binungan dengan hilir menuju Sungai Kelay. Sungai Binungan memiliki luas DAS seluas 136,1 km² dengan panjang sungai 35 km dan lebar 15,9 meter (Gambar 6). Kedalaman Sungai Binungan pun bervariasi dari 5,5 meter hingga 4 meter dari hulu ke hilir. Pada Sungai Binungan belum pernah dilakukan pengukuran secara aktual sehingga perhitungan debit di Sungai Binungan mengandalkan debit sintetis dengan pendekatan metode NRECA dengan mengandalkan data curah hujan di area lokasi penelitian sepuluh tahun terakhir.



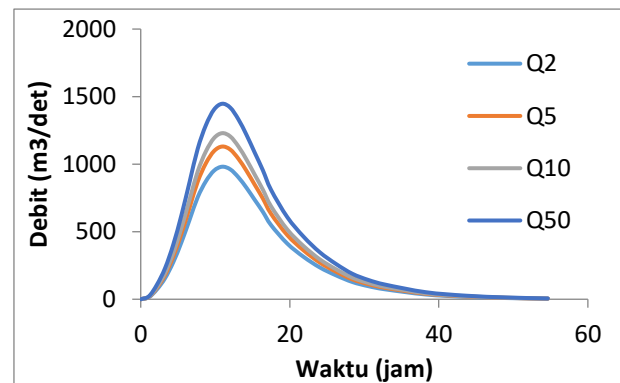
Gambar 6. Luas DAS Sungai Binungan

Debit Sungai Binungan didapatkan dengan mendekati perhitungan debit sintetis dengan metode model NRECA yang mengandalkan data curah hujan sepuluh tahun terakhir. Analisis intensitas hujan di area Binungan didapatkan bahwa rata – rata hujan di Binungan 01 berkisar antara 200 mm/jam hingga 250 mm/jam (Gambar 7). Berdasarkan kurva IDF dan dilakukan perbandingan dengan probabilitas dapat diketahui debit Sungai Binungan berkisar antara 117,39 m³/detik hingga 118,89 m³/detik.

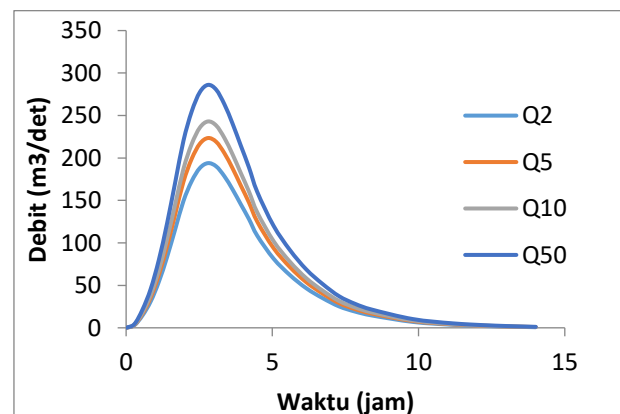


Gambar 7. Kurva IDF curah hujan Daerah Binungan

Analisis hidrologi pada kedua sungai tidak lepas dari debit banjir sintetis yang dihitung pada kedua sungai. Untuk mengetahui hidrograf sintetisnya berdasarkan curah hujan dari series dari kurva IDF berdasarkan PUH 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9 yang merupakan hidrograf SCS Sungai Kelay dan hidrograf SCS Sungai Binungan.



Gambar 8. HSS SCS Sungai Kelay

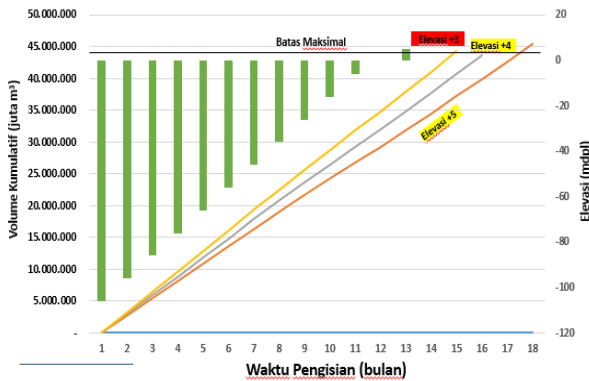


Gambar 9. HSS SCS Sungai Binungan

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 dapat dilihat bahwa untuk Sungai Kelay titik puncak banjir terletak pada jam 11. Ini diasumsikan bahwa setelah 11 jam sungai akan mengalami banjir dari hulu menuju hilir. Untuk Sungai Binungan dapat diasumsikan setelah 3 jam akan mengalami kenaikan debit sungai.

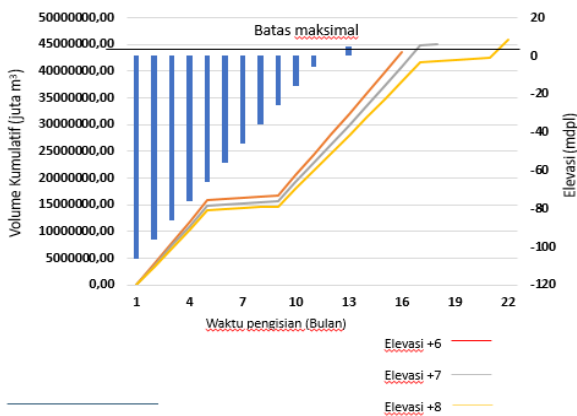
HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Kelay dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada saat debit normal dan pada saat sungai mengalami kenaikan debit atau banjir. Pada gambar 10 dapat dilihat pengisian dengan debit Sungai Kelay secara normal dengan debit sebesar 2 m³/detik dan diisi secara terus-menerus akan terisi selama 18 bulan dari pengisian bulan ke – 1 hingga bulan ke – 18.



Gambar 10. Pengisian pada saat Sungai Kelay normal

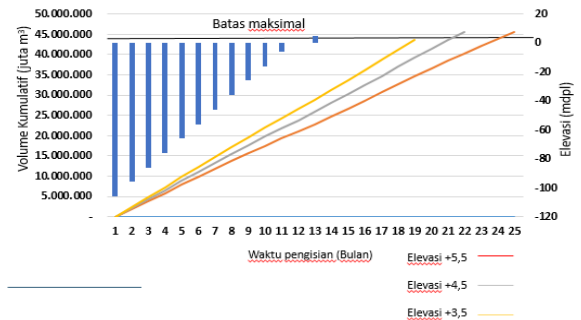
Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Kelay ketika banjir sehingga mengandalkan debit banjir Sungai Kelay dengan pengisian debit banjir 2,75 m³/detik void akan terisi selama 16 bulan dari pengisian bulan ke – 1 seperti pada gambar 11 dan diasumsikan pengisian pada saat bulan basah atau musim hujan.



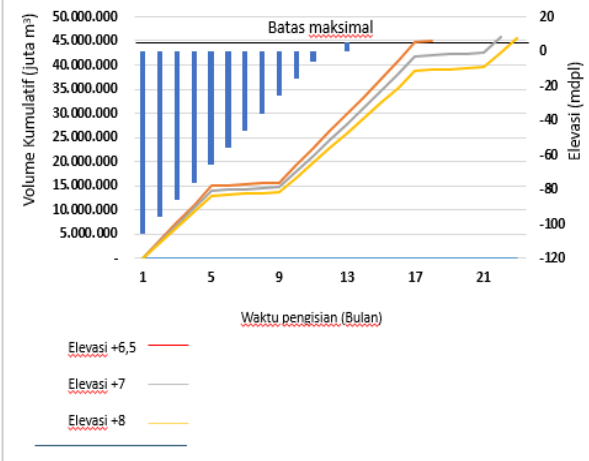
Gambar 11. Pengisian pada saat Sungai Kelay banjir

Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Binungan dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada saat debit normal dan pada saat sungai mengalami kenaikan debit atau banjir. Pada Gambar 12 dapat dilihat pengisian dengan debit Sungai Binungan secara normal dengan debit sebesar 1,5 m³/detik dan diisi secara terus-menerus akan terisi selama 25 bulan dari pengisian bulan ke-1 hingga bulan ke-25.

Simulasi pengisian dengan mengandalkan Sungai Binungan ketika banjir sehingga mengandalkan debit banjir Sungai Binungan dengan pengisian debit banjir 1,85 m³/detik void akan terisi selama 18 bulan dari pengisian bulan ke-1 dan diasumsikan pengisian pada saat bulan basah atau musim hujan (Gambar 13).



Gambar 12. Pengisian saat Sungai Binungan normal



Gambar 13. Pengisian pada saat Sungai Binungan banjir

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah pengisian air yang berasal dari Sungai Kelay akan mempercepat pengisian danau pascatambang. Pengisian dengan mengandalkan Sungai Kelay ketika banjir merupakan pengisian paling efektif dan lebih cepat. Hal ini menyebabkan material paf yang ada pada lubang bekas tambang tidak terlalu lama terkompaksi sehingga akan memungkinkan untuk menghasilkan kualitas air yang baik dari danau pascatambang. Sungai Kelay merupakan salah satu sungai yang dimanfaatkan untuk kegiatan pengangkutan (*hauling*) batubara sehingga jika dilakukan pengisian ketika banjir ini tidak akan memberikan dampak terlalu besar terhadap kegiatan yang ada di Site Binungan 01.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Castendyk, dkk. (2014). *Modelling of Pit Lake*. Journal of Mining & Enviroment.
 [2] Tuheteru, E. J (2022). *Modelling of Pit Lake Development at Coal Mining in Tropical Area*. Journal of Mining & Enviroment.
 [3] Soni, A. K., Mishara, B., dan Singh, S. (2014). *Pit Lakes as an end Use of Mining*. Journal of Mining & environment.



- [4] Gautama, R. S., dan Hartaji, S. (2014). *Improving the Accuracy of Geochemical Rock Modelling for Acid Rock Drainage Prevention in Coal Mine*. Proceeding Mine Water and the Environment.
- [5] Tuheteru, E. J., Gautama, R. S., Kusuma, G. J., Kuntoro, A. A., Pranoto, K., dan Palinggi, Y. (2021). *Water Balance of Pit Lake Development in the Equatorial Region*. Water, 13, 3160.
- [6] Tuheteru. E. J. (2022). *Pengembangan model pembentukan danau pascatambang pada penambangan batubara wilayah tropis*. Disertasi.
- [7] Alvarez, R, Ordonez, A, DeMiguel, E. dan Loredo C (2016). *Prediction of Flooding of a Mining Reservoir J Environ Manage*. NW Spain: 184, 219-228.
- [8] AMIRA Internasional. (2012). *ARD Test Book. Project P387A Prediction & Kinetic Control o Acid Mine Drainage*. Ian Wark Researcher Institute. Enviromental Geochemistry Internasional Pty Ltd.
- [9] Amos, R.T., Blowes, D. W., Bailey, B. L., Sego, D.C. (2015). *Waste Rock Hydrogeology and Geochemistry*. Applied Geochemistry, 57, 140-156.
- [10] Anawar, H. M. (2013). *Impact of Climate Change on Acid Mine Drainage Generation and Contaminant Transport in Water Ecosystems of Semi-Arid and Arid Mining Areas*. Physics and Chemistry of the Earth, 58-60, 13-21.