

Kajian Simulasi Neraca Air Pada Kolam Kerja Tertutup di Washing Plant Darat

Water Balance in A Closed Working Pool in The Washing Plant

Egidia Vit Mafiana^{1*}, Reza Aryanto², Christin Palit³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti, Jalan Kyai Tapa No.1, Tomang, Grogol Petamburan, Jakarta 11440, Indonesia

*E-mail untuk korespondensi (*corresponding author*): egidiavm16@gmail.com

ABSTRAK – *Metode Cutter suction dredger (CSD) – Washing Plant (WP) Darat* merupakan metode penambangan timah dikembangkan oleh PT Timah Tbk pada tahun 2018. Berlokasi di Tanjung Gunung, Pulau Bangka, proses penggalian bijih timah dilakukan di laut menggunakan kapal CSD, sedangkan proses pencuciannya dilakukan di WP darat. Material dari laut ditransportasi ke darat melalui pipa apung. Pada area WP darat terdapat kolam-kolam kerja yang saling berhubungan dalam mensirkulasikan air kerja selama proses pencucian berlangsung sehingga membentuk sirkulasi tertutup. Kolam-kolam kerja tersebut meliputi kolam *stockpile*, kolam pengendapan, dan kolong air kerja. Rencana pencucian di WP darat dilakukan selama 24 jam sehari sehingga neraca air pada ketiga kolam kerja perlu dijaga agar tidak terjadi defisit air dan/atau surplus air. Peneliti melakukan kajian neraca air terhadap volume tiap kolam yang tersedia guna mengetahui apakah kolam dapat menangani air yang bekerja atau tidak. Kajian neraca air disimulasikan selama satu bulan, yakni pada bulan Maret dengan pemilihan blok penambangan pada Blok 13 karena memiliki rencana produksi tertinggi. Diperoleh volume kolam *stockpile* sebesar 14.400 m³, kolam pengendapan sebesar 78.568 m³, dan kolong air kerja sebesar 32.000 m³. Perhitungan neraca air didasarkan pada debit aliran masuk dan keluar tiap kolam kerja. Berdasarkan hasil kajian diketahui bahwa pada kolam *stockpile* terjadi defisit air pada jam tertentu dan dapat ditangani dengan penambahan air dari kolong air kerja melalui saluran *overflow* tambahan. Pada kolam pengendapan aman dan tidak perlu dilakukan penanganan. Pada kolong air kerja terjadi surplus air pada jam tertentu dan dapat ditangani dengan pembukaan pintu sorong yang terdapat pada kolam tersebut.

Kata-kata kunci: neraca air, debit, volume, kolam *stockpile*, kolam pengendapan, kolong air kerja

ABSTRACT – *Cutter Suction Dredger (CSD) – Inland Washing Plant (WP) method* is a tin extraction method that PT Timah Tbk developed in 2018. Located in Tanjung Gunung, Bangka Island, the ore-getting is obtained offshore using the CSD vessel, whereas the ore processing is done in the inland-WP unit. Therefore, a floating pipe line was installed to for the material transportation. There are three working ponds in the inland-WP area which connected to one another and, thus, creating a closed-cycle system. They are stockpile pond, settling pond, and water-supply pond. The inland-WP unit is aimed to work for 24 hours a day. The water circulation between the three working ponds has to be balanced to avoid water deficit and/or water surplus among the ponds. The simulation of water balance corresponds to the storage volume of each pond. The water balance was simulated during March for the Block-13 CSD mine planning. The storage volume of the stockpile pond is 14.400 m³, the settling pond is 78.568 m³, and the water-supply pond is 32.000 m³. The calculation of water balance is based on the water flow rate that goes in and out of each pond. The result of this study showed that water deficit will happen in the stockpile pond and to avoid it, it is suggested to install overflow pipe that flows from the water-supply pond to the stockpile pond. The settling pond is safe. The water-supply pond will be flooded and to avoid it, it is suggested to open the sluice gate.

Keywords: water balance, flow rate, volume, stockpile pond, settling pond, water-supply pond

PENDAHULUAN

Metode penambangan *cutter suction dredger* (CSD) dengan *washing plant* (WP) Darat merupakan suatu metoda penambangan bijih timah lepas pantai dengan proses pencucian di darat, yang baru dikembangkan oleh PT Timah, Tbk. pada tahun 2018. Metode ini dilakukan di wilayah Tanjung Gunung, Kabupaten Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung. Proses penambangan dimulai dengan pemberaian material oleh kapal CSD menggunakan sebuah cutter. Material yang telah diberai, kemudian diisap oleh pompa dredger yang terdapat di kapal CSD dan dialirkan melalui pipa apung (*floating pipe*) yang disambung dengan pipa *high density polyethylene* (HDPE) menuju *stockpile* di darat. Proses pencucian bijih timah untuk peningkatan kadar dilakukan di WP darat.

Pada area WP ini terdapat kolam kerja yang saling berhubungan dalam mensirkulasikan air kerja selama proses pencucian sehingga membentuk sirkulasi tertutup. Kolam kerja tersebut meliputi kolam *stockpile*, kolam pengendapan atau *settling pond*, dan kolam air kerja. Kegiatan pencucian bijih timah di WP darat akan dilakukan selama 24 jam dalam sehari sesuai dengan rencana perusahaan maka setiap debit air yang masuk dan keluar kolam kerja harus diketahui besarnya agar neraca air dapat seimbang. Selain itu, perlu diperhatikan daya tampung kolam apakah kolam mampu untuk menangani air yang bekerja atau tidak. Selanjutnya, dibutuhkan tindakan yang harus dilakukan apabila terjadi kebanjiran (surplus air) pada kolam kerja dan/atau terjadi kekeringan pada kolam kerja (defisit air).

METODE

Penambangan dengan Kapal *Cutter suction dredger* (CSD)

Kegiatan penambangan dimulai dengan penggalian cadangan dengan kapal CSD yang diberi nama Kapal Isap Semujur yang memiliki panjang 61 m, lebar 12 m, dan tinggi 14 m. Untuk memberai material digunakan cutter berdiameter 2,38 m dengan 6 blades. Cutter tersebut berada pada ujung ladder yang memiliki panjang 20 m dengan kemampuan sudut gali 45o. Material yang telah diberai akan dihisap oleh pompa dredger dan dialirkan menuju kolam *stockpile* di darat melalui pipa apung. Material yang dipompa berupa slurry yang terdiri atas campuran material padat (*solid*) dan fluida. Besaran persentase *solid* mengacu pada standar yang diterapkan oleh PT Timah Tbk bahwa untuk penambangan timah alluvial ideal dilakukan pada persentase *solid* 8% hingga 10%, yang mana pernyataan tersebut didukung dalam buku "Penambangan Timah Alluvial" (Ichwan, 2012).

Kolam Kerja Tertutup di *Washing Plant* (WP) Darat

Kolam-kolam kerja dengan sirkulasi tertutup di WP darat meliputi kolam *stockpile*, kolam pengendapan, dan kolam air kerja. Kolam *stockpile* berfungsi sebagai area penimbunan material hasil gali yang berasal dari laut dan pada kolam ini dilengkapi dengan pompa monitor untuk memberai timah dan mengumpan material ke camui. Camui merupakan cekungan yang terdapat pada dasar kolam *stockpile* yang berfungsi sebagai tempat berkumpulnya material untuk diisap oleh pompa tanah menuju alat saring putar. Kolam pengendapan berguna sebagai tempat penampungan *tailing* hasil pencucian dan kolam penjernihan air yang memiliki 6 buah kompartemen dengan kedalaman masing-masing 4 m. Kolong air kerja memiliki kedalaman 4m dan berfungsi sebagai kolam penampung air bersih yang digunakan untuk keperluan pompa monitor serta untuk memenuhi kebutuhan jig melalui pompa *underwater*.

Neraca Air

Pada studi hidrologi mengenai sumber air, komponen hidrologi meliputi evapotranspirasi, infiltrasi, limpasan air, dan air permukaan. Selain itu perlu adanya perhitungan perubahan-perubahan pada sumber air. Oleh sebab itu, konsep neraca air atau water balance diterapkan. Neraca air dapat dikatakan sebagai debit air yang mengalir masuk dan keluar dari sebuah sistem. Sistem tersebut dapat berupa daerah aliran sungai, akuifer, danau atau siklus hidrologi secara global, tergantung dari jangkauan studi dan batasan-batasan permasalahan Karamouz, Nazif, & Falahi (2012).

Evaporasi dan Evapotranspirasi

Evaporasi dan evapotranspirasi merupakan komponen penting dalam siklus hidrologi dimana air berubah fasa menjadi uap air yang dibawa ke atmosfer. Evaporasi atau penguapan adalah proses perubahan fasa dari air menjadi gas yang terjadi di permukaan bebas melalui pertukaran energi kalor. Pada proses transportasi, tanaman kehilangan kelembapan yang disebabkan oleh penguapan air tanah dan air di sekitar tanaman tersebut. Dalam lingkup hidrologi, proses evaporasi dan transportasi dapat dikatakan sebagai kesatuan proses yang disebut evapotranspirasi. Kehilangan air karena proses penguapan dapat ditinjau dari dua aspek, yakni: (1) Evaporasi dari permukaan bebas yang berasal dari danau, sungai, dan waduk; (2) Evaporasi yang berasal dari proses transpirasi tanaman atau Evapotranspirasi (Karamouz et al., 2012).

Presipitasi

Presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi; yang dapat berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Hujan berasal dari uap air di atmosfer sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur, dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan. Hujan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di sungai dan di dalam tampungan, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Jumlah dan variasi debit sebuah tampungan tergantung air pada jumlah, intensitas, dan distribusi hujan (Triatmodjo, 2013).

Sistem Pemompaan di WP Darat

Pompa merupakan suatu alat mesin yang berguna untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang ditransport dan berlangsung secara kontinyu. Pada proses pencucian di WP darat menggunakan beberapa pompa dengan fungsinya masing-masing, yaitu meliputi: pompa monitor berfungsi memberai *slurry* di sekitar kolam *stockpile* dan mengumpulkannya ke camui, pompa tanah berfungsi mengalirkan *slurry* dari camui menuju alat pencucian saring putar, pompa *underwater* berfungsi mengalirkan air dari kolong air kerja menuju alat pencucian *jig*, dan pompa *tailing* berfungsi mengalirkan *tailing* pada kolam pengendapan menuju kolam *tailing*.

Persamaan Matematika

Triatmodjo (2013) menyatakan bentuk umum dari neraca hidrologi pada jangka waktu tertentu dalam satuan volume air (m^3) atau dalam debit air ($m^3/detik$) sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (1) dengan variabel yang meliputi: presipitasi, P ; debit aliran masuk dan keluar, Q_i dan Q_o ; aliran air tanah masuk dan keluar, G_i dan G_o ; evaporasi, E ; evapotranspirasi, E_t ; dan perubahan volume tampungan, ΔS .

$$P + Q_i + G_i - E - E_t - Q_o - G_o - \Delta S = 0 \quad (1)$$

Nilai evaporasi dapat ditentukan dengan Metode Perpindahan Energi (*Mass Transfer Method*) sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (2) dengan variabel yang meliputi: besarnya evaporasi, E (mm/hari); kecepatan angin, U_2 ; tekanan uap air jenuh, e_s (millibar), tekanan uap terdapat di udara, e_d (millibar); dan luas permukaan air, A (m^2).

$$E = 0,291 A^{-0,05} U_2(e_s - e_d) \quad (2)$$

Nilai evapotranspirasi dapat ditentukan dengan Metode Thornthwaite sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (3) dengan variabel yang meliputi: besarnya evapotranspirasi, E_t dan temperatur rata-rata bulanan, T (oC).

$$E_t = 1,62 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (3)$$

Dimana nilai I dan a masing-masing diperoleh dengan Persamaan (4) dan Persamaan (5).

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

$$a = \frac{(675 \times 10^{-9})I^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 + (179 \times 10^{-4})I + 492 \times 10^{-4}}{(5)}$$

Hujan rencana merupakan curah hujan maksimum yang mungkin terjadi dalam rentang waktu tertentu. Besarnya hujan rencana dapat diperoleh dari hasil analisa frekuensi data curah hujan harian maksimum dengan periode ulang tertentu menggunakan Metode Gumbel (1960), sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (6).

$$X_t = \bar{X} + (K \cdot S_x) \quad (6)$$

Dimana nilai K dan S_x diperoleh dengan Persamaan (7) hingga Persamaan (11).

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (8)$$

$$Y_t = -\log \left[-\log \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \quad (9)$$

$$Y_n = -\log \left[-\log \left(\frac{n+1-m}{n+1} \right) \right] \quad (10)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n-1}} \quad (11)$$

Besarnya intensitas curah hujan dapat diperoleh melalui Persamaan Mononobe sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (12).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (12)$$

Debit air limpasan maksimum dapat diperoleh dengan Metode Rasional sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (13).

$$Q = 0,278 \times C I A \quad (13)$$

Persamaan Hazen – Williams secara empiris menyatakan bahwa debit air yang mengalir pada suatu pipa dipengaruhi oleh bahan dari pipa dan adanya perbedaan tekanan. Persamaan ini banyak diterapkan pada sistem penyaluran air melalui pipa. Lihat Persamaan (14).

$$V = K C R^{0,63} S^{0,54} \quad (14)$$

Maka untuk mendapatkan nilai debit aliran saluran pipa dapat menggunakan Persamaan (15).

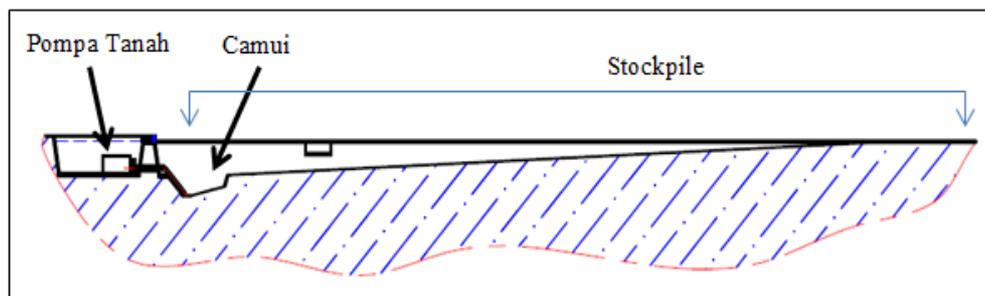
$$Q = V \times A \quad (15)$$

Pintu sorong atau *sluice gate* merupakan pintu yang bekerja secara hidrolis untuk mengontrol air pada sebuah saluran. Swamee (1992) menyatakan besarnya aliran pintu sorong sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (16).

$$Q = 0,864 a b \sqrt{2gh_0} \left(\frac{h_0 - a}{h_0 + 15a} \right)^{0,072} \quad (16)$$

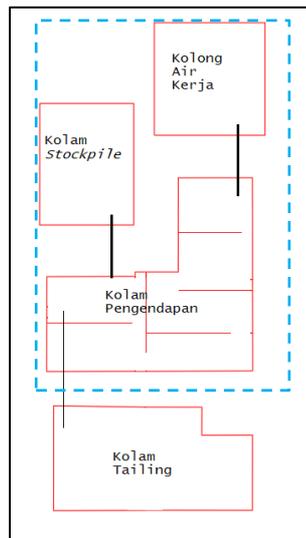
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi tampak samping kolam *stockpile* dan camui yang memiliki ketinggian berbeda dengan ketinggian maksimum dari permukaan kolam masing-masing adalah 4 m dan 6,5 m.



Gambar 1. Ilustrasi tampak samping kolam *stockpile* dan camui (Sumber: PT Timah, Tbk., 2019)

Gambar 2 menunjukkan ilustrasi letak tiap kolam kerja tertutup (kolam *stockpile*, kolam pengendapan, dan kolong air kerja) serta kolam *tailing* yang terdapat pada area WP darat.



Gambar 2. Ilustrasi Letak Kolam Kerja di WP Darat

Tabel 1 menunjukkan luasan dan volume tampung tiap kolam kerja yang terdapat di WP darat diperoleh berdasarkan perencanaan oleh perusahaan,

Tabel 1. Luasan dan Volume Tiap Kolam Kerja di WP Darat (Sumber: PT Timah, Tbk.)

Kolam	Luasan (m ²)	Volume (m ³)
<i>Stockpile</i>	9.632	14.400
Pengendapan (Total)	19.642	78.568
Kompartemen 1	2.466	9.864
Kompartemen 2	3.770	15.079
Kompartemen 3	3.269	13.078
Kompartemen 4	3.796	15.183
Kompartemen 5	3.892	15.569
Kompartemen 6	2.499	9.794
Kolong Air Kerja	8.000	32.000

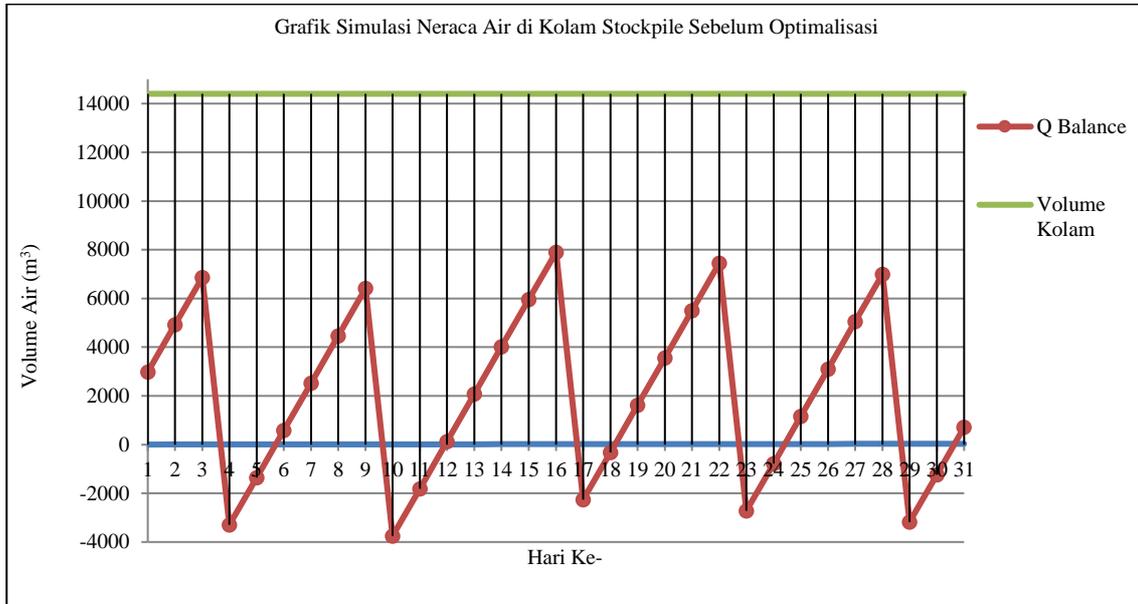
Tabel 2 menunjukkan kapasitas maksimum tiap pompa yang digunakan dalam metode penambangan CSD – WP darat.

Tabel 2. Debit pompa maksimum

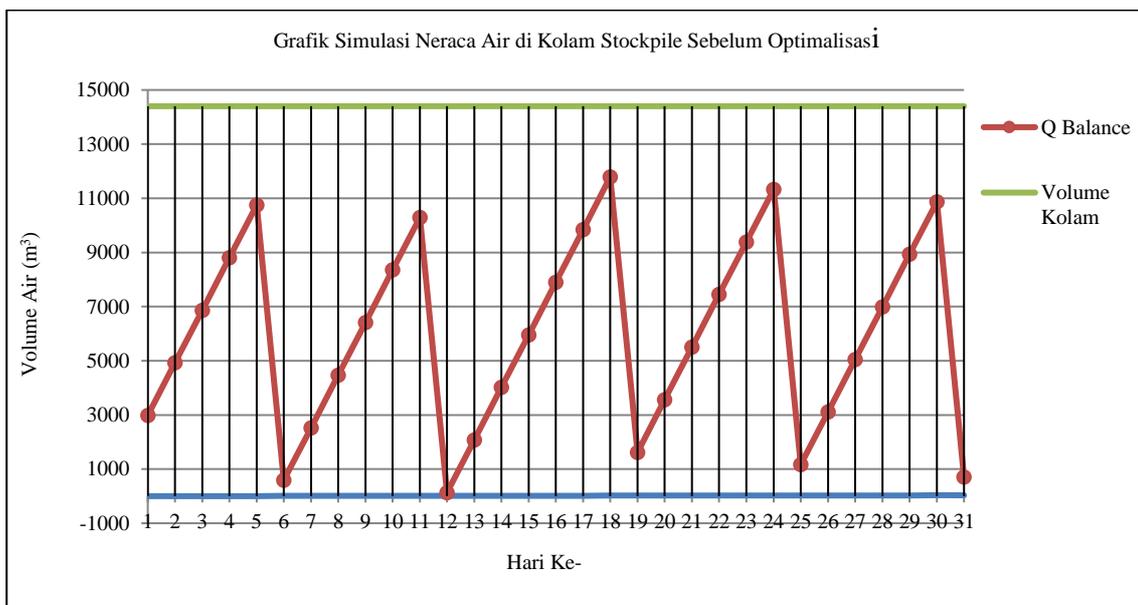
No	Model	Aplikasi	Jumlah	Debit (m ³ /jam)
1	<i>Gravel Pump / HMRD 121-26-60</i>	<i>Pompa Dredger</i>	1	1.000 (<i>solid</i>)
2	Warman 14/12 GK-G-SYG 1287	Pompa Tanah	1	250 (<i>solid</i>)
3	Taki Pump SPM 300 - 35	Pompa <i>Onderwater</i>	2	2.000
4	Linatex	Pompa <i>Tailing</i>	1	250 (<i>solid</i>)
5	Paco Pump by Grundfos	Pompa Monitor	2	600

Pada kolam *stockpile* besaran debit aliran masuk meliputi debit penggalan kapal CSD yang berasal dari laut, yakni sebesar 8.000 m³/jam. Debit limpasan air hujan, yakni sebesar 33,97 m³/jam. Debit pompa monitor, yakni sebesar 600 m³/jam dengan efisiensi pompa yang dimiliki sebesar 80% maka debit pompa monitor yang bekerja adalah 480 m³/jam. Debit aliran yang keluar dari kolam *stockpile* meliputi besarnya penguapan pada kolam *stockpile*, yakni sebesar 0,0002636 m³/jam. Debit pompa tanah, yakni sebesar 2.500 m³/jam dengan efisiensi pompa yang dimiliki sebesar 80% maka debit pompa tanah yang bekerja, yakni 2.000 m³/jam.

Debit aliran pada saluran *overflow* 1 yang berasal dari kolam *stockpile* menuju ke kompartemen 1 pada kolam pengendapan, yakni sebesar 12.106 m³/jam. Gambar 3 berupa grafik hasil simulasi neraca air pada kolam *stockpile* selama 31 hari pada bulan Maret menunjukkan bahwa kolam mengalami kekurangan air atau defisit air pada hari tertentu dengan nilai rata-rata -2.070,93 m³. Untuk mengatasi defisit air pada waktu-waktu tersebut agar kegiatan pencucian di WP darat dapat terus berjalan maka dilakukan penambahan air yang berasal dari kolong air kerja yang dialirkan melalui saluran *overflow* tambahan dengan debit aliran sebesar 12.106 m³/jam, sebagaimana tergambar pada Gambar 4.



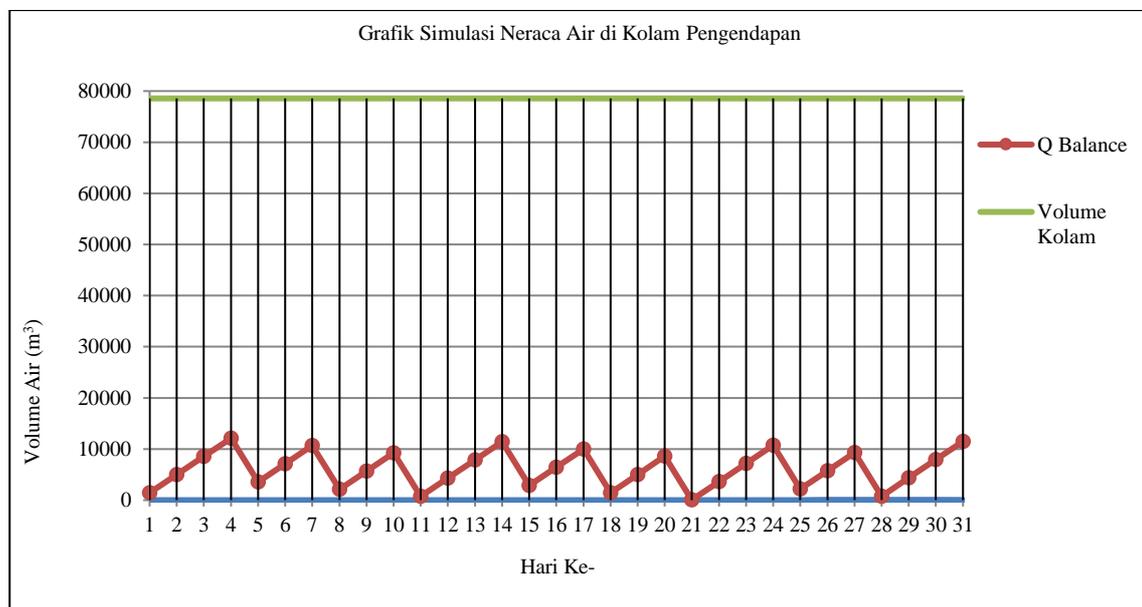
Gambar 3. Grafik Simulasi Neraca Air Harian di Kolam *Stockpile* Selama Bulan Maret Sebelum Optimalisasi



Gambar 4. Grafik Simulasi Neraca Air Harian di Kolam *Stockpile* Selama Bulan Maret Setelah Optimalisasi

Pada kolam pengendapan besaran debit aliran masuk meliputi debit pompa tanah sebesar 2.000 m³/jam yang bekerja dengan efisiensi 80% maka debit pompa yang bekerja, yakni sebesar 1.600 m³/jam. Pompa onderwater memiliki debit sebesar 1.600 m³/jam yang bekerja dengan efisiensi 80% dengan output hasil proses pencucian sebesar 80% dari debit aliran yang masuk sehingga debit aliran menuju kolam pengendapan adalah sebesar 1.280 m³/jam. Limpasan air hujan, yakni sebesar 73,78 m³/jam. Debit aliran yang masuk ke kolam pengendapan melalui saluran *overflow* 1 yang berasal dari kolam *stockpile*, yakni sebesar 12.106 m³/jam. Debit aliran yang keluar kolam pengendapan meliputi adanya penguapan, yakni sejumlah 0,0002609 m³/jam. Terdapat pompa tailing yang memiliki debit 2.000 m³/jam yang bekerja dengan efisiensi pompa 80%.

Pada kompartemen ke-6 di kolam pengendapan terdapat saluran *overflow* 2 menuju kolong air kerja dengan debit aliran sebesar 12.106 m³/jam. Gambar 5 berupa grafik hasil simulasi neraca air pada kolam pengendapan selama 31 hari pada bulan Maret menunjukkan bahwa kolam tidak mengalami baik kekurangan maupun kelebihan air sehingga tidak perlu dilakukan penanganan khusus.

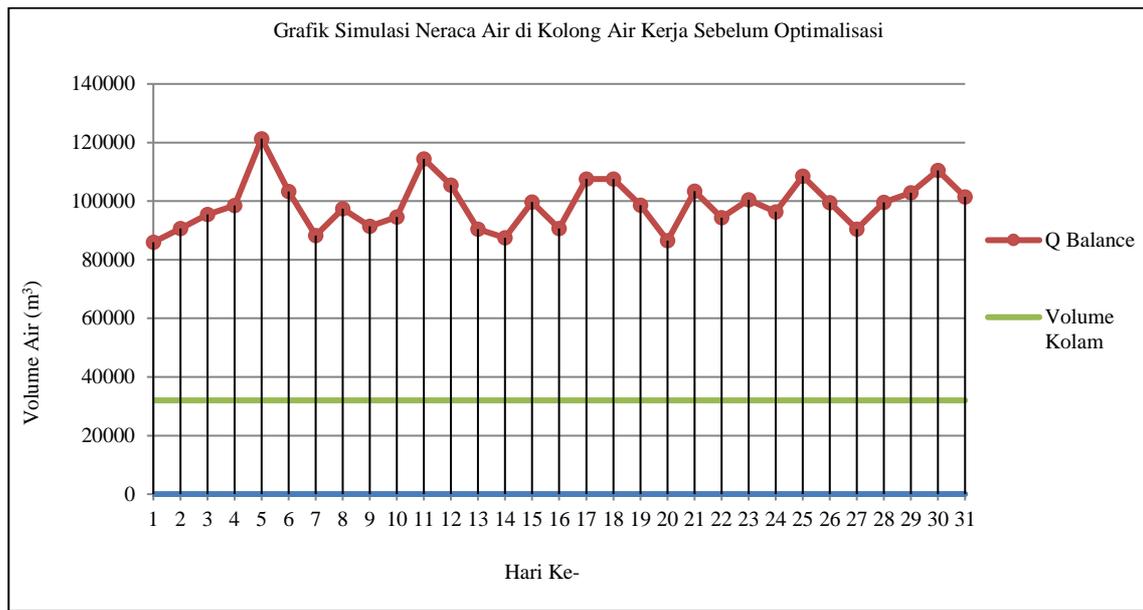


Gambar 5. Grafik simulasi neraca air harian di kolam pengendapan selama Bulan Maret

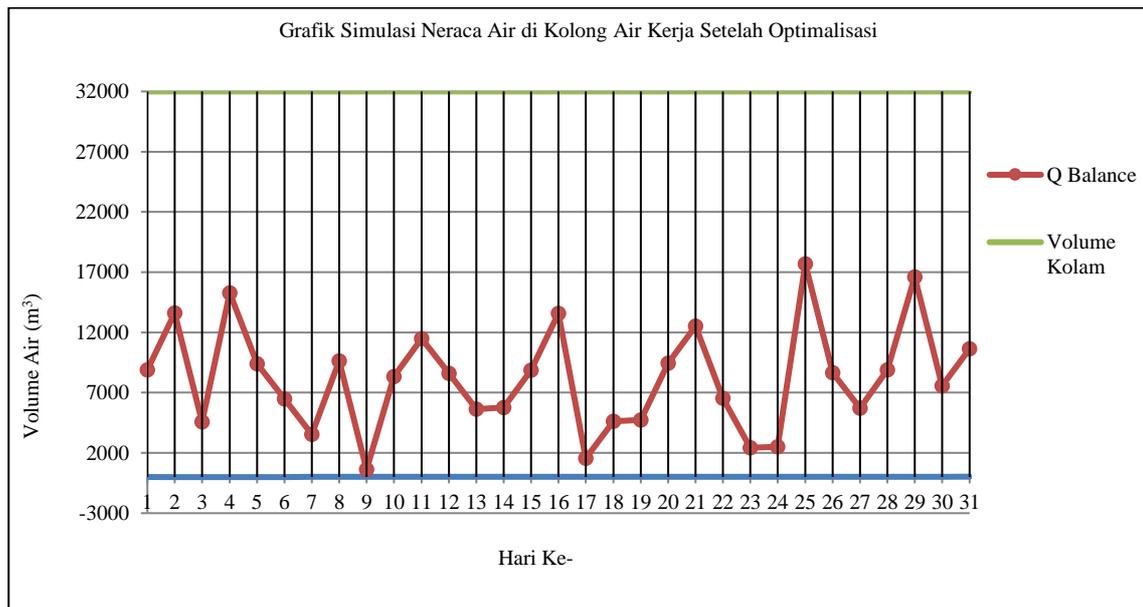
Pada kolong air kerja besaran debit aliran masuk harinya meliputi debit limpasan air hujan, yakni sebesar 36,14 m³/jam serta terdapat debit aliran dari saluran *overflow* 2 yang berasal dari kolam pengendapan, yakni sebesar 12.106 m³/jam. Sejumlah debit air yang keluar dari kolong air kerja meliputi adanya penguapan sejumlah 0,0002643 m³/jam. Terdapat dua unit pompa monitor dengan jumlah debit 960 m³/jam untuk efisiensi pompa 80%. Serta terdapat dua unit pompa onderwater dengan jumlah debit 3.200 m³/jam untuk efisiensi pompa 80%. Gambar 6 berupa hasil simulasi neraca air pada kolong air kerja selama 31 hari pada bulan Maret menunjukkan bahwa kolam mengalami kelebihan atau surplus air pada setiap harinya di waktu yang berbeda.

Upaya untuk menangani surplus air, yakni dengan membuka pintu sorong yang terdapat pada kolong air kerja yang dialirkan menuju pantai dan sebagian lainnya dialirkan melalui saluran *overflow* tambahan menuju kolam *stockpile*, sebagaimana tergambar pada Gambar 7. Pintu sorong dibuka saat ketinggian air di kolam mencapai 3,5 m atau saat volume air di kolam mencapai 28.000 m³. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah kebanjiran kolam, dimana tinggi kolam adalah 4 m

sehingga 0,5 m merupakan tinggi jagaan kolam. Pembukaan pintu sorong memiliki jadwal yang berbeda pada setiap harinya tergantung dari air yang bersirkulasi pada kolong air kerja.



Gambar 6. Grafik simulasi neraca air harian di kolong air kerja selama Bulan Maret sebelum optimalisasi



Gambar 7. Grafik simulasi neraca air harian di kolong air kerja selama Bulan Maret setelah optimalisasi

KESIMPULAN

Pada kolam pengendapan aman dan tidak perlu dilakukan penanganan. Pada kolong air kerja terjadi surplus air pada jam tertentu dan dapat ditangani dengan pembukaan pintu sorong yang terdapat pada kolam tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Timah, Tbk. atas kesempatan dan dukungan yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

B., W. R., & Gumbel, E. J. (1960). *Statistics of Extremes*. The Incorporated Statistician.

BMKG. (2019). Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Retrieved from <https://www.bmkg.go.id>.

Ichwan, A. (2012). *Penambangan Timah Alluvial*. Pangkalpinang: PT Timah (Persero) Tbk.

Karamouz, M., Nazif, S., & Falahi, M. (2012). *Hydrology and Hydroclimatology: Principles and Applications*. In *Hydrology and Hydroclimatology: Principles and Applications*.

PT TIMAH TBK. (2019). Pangkalpinang.

Swamee, P. (1992). SluiceGate Discharge Equations. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce - J IRRIG DRAIN ENG-ASCE*, 118.

Triatmodjo, B. (2013). *Hidrologi Terapan*. In Beta Offset.