

ALGORITMA PERENCANAAN TATA KELOLA AIR

¹⁾Fahmi Syaifudin* dan ¹⁾Yogi Irmans Pratama

¹⁾Departemen Mine Planning, PT Kaltim Prima Coal,
*E-mail: fahmi.syaifudin@kpc.co.id

ABSTRAK

Salah satu prinsip dalam tata kelola air tambang batu bara terbuka adalah kontrol kuantitas air. Konfigurasi desain kolam optimal yang diterapkan terdiri atas embung kering sebagai kolam detensi untuk kontrol debit dan kolam labirin untuk pengolahan kualitas air. Sumber air yang akan diolah pada kolam pengendap berasal dari limpasan air permukaan (*run off*) yang muncul ketika terjadi hujan (*event flow*). Selain itu terdapat aliran dasar (*base flow*) yang berasal dari pompa pit (*dewatering pump*) dan aliran natural yang alirannya cenderung bersifat terus menerus (*continuous flow*). Pada pemodelan hidrograf, perhitungan aliran dasar dipisahkan dengan aliran limpasan. Pemisahan perhitungan berdasarkan karakteristik aliran akan memberikan ruang lebih untuk mengakomodasi volume air dari bangkitan *event flow*, terutama pada kondisi hujan yang terjadi berulang pada hari berikutnya. Penerapan metode ini pada simulasi lebih menggambarkan kondisi faktual. Kontrol debit harus mempertimbangkan besaran *continuous flow*, kemampuan kapasitas kolam kontrol debit yang bisa dibangun, dan kapasitas instalasi pengolahan kualitas air. Kapasitas outlet harus mempertimbangkan *continuous flow* untuk dapat secara langsung dikeluarkan dari sistem kolam detensi. Hasil dari simulasi perhitungan menunjukkan bahwa tinggi muka air pada intake saluran akan cepat kembali normal pada kejadian hujan dan debit yang timbul akibat hujan susulan dapat ditangani.

Kata kunci: Kelola, air, hujan, debit

ABSTRACT

Water quantity control is one of the principles of water management in open-pit coal mines. The applied optimal pond design configuration includes a dry pond as detention pond for discharge control and labyrinth for water quality treatment. The source of the water to be treated in the settling pond is runoff that occurs during rainfall (event flow). Moreover, there are base flow come from dewatering pumps pit and natural flow that tend to flow continuously (continuous flow). The base flow and runoff flow are separated in hydrographic modeling. Separating calculations based on flow characteristics will provide more space to accommodate event flow, especially in repeatedly rain conditions. Implementation of the method in simulation provides more accurate representation of the real-world conditions. Continuous flow, the size of the control pond that can be built and water quality treatment plant capacity are all factors to be taken into account when designing the discharge control system. The outlet capacity must disengage continuous flow directly from the detention pond system. The simulation results show that the water level on the intake channel will quickly return to normal after rain, and aftershock discharge can be managed.

Keywords: manage, water, rain, discharge.

A. PENDAHULUAN

Salah satu prinsip dalam tata kelola air tambang batubara terbuka adalah kontrol kuantitas air. Konfigurasi desain kolam optimal yang diterapkan terdiri atas embung kering sebagai kolam detensi untuk kontrol debit dan labirin untuk pengolahan kualitas air. Kolam kontrol debit merupakan kolam hulu yang akan mengalirkan air ke kolam labirin yang sekaligus berfungsi sebagai kolam penataan sebelum air masuk ke badan air penerima.

Sumber air yang akan diolah pada kolam pengendap berasal dari aktivitas penambangan pada suatu Daerah Tangkapan Air (DTA). Aktifitas ini antara lain bisa berupa proses pembersihan lahan, pengupasan tanah pucuk, pemindahan batuan penutup, dan juga penyebaran kembali tanah pucuk sebagai bagian dari proses reklamasi sebagaimana diilustrasikan pada gambar 1 dibawah. Ketika terjadi hujan, limpasan air permukaan (*run off*) yang muncul dalam DTA tersebut menimbulkan bangkitan aliran air yang dikategorikan sebagai (*event flow*). Selain limpasan air langsung/permukaan di suatu DTA tersebut pada saat hujan, ketika progress penambangan pit sudah dibawah level topografi pengaliran secara gravitasi, terdapat tambahan sumber berupa aliran dari pompa (*dewatering pump*) dan aliran dasar permukaan yang muncul dari dalam tanah (*base flow*) yang alirannya cenderung bersifat terus menerus (*continuous flow*).

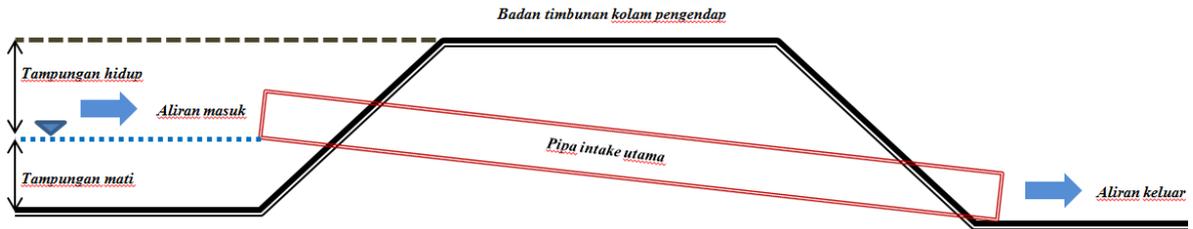
Kapasitas kolam kontrol debit dirancang untuk menampung debit masukan dari aliran dasar dan aliran permukaan. Kapasitas kolam dapat dibagi atas tampungan hidup (*live storage*) dan tampungan mati (*dead storage*). Volume tampungan dihitung pada setiap tinggi elevasi yang ditentukan, kemudian volume tampungan kumulatif untuk mengetahui total jumlah tampungan yang terdapat pada kolam dalam bentuk tabulasi nilai volume.



Gambar 1. Konsep umum pengelolaan air pada tambang batubara terbuka

Tampungan mati merupakan volume air yang level permukaannya berada dibawah dari level intake utama kolam pengendap. Sedangkan tampungan hidup adalah volume diatas level tampungan

mati hingga level air mencapai level tertingginya di pelimpah darurat (*emergency spillway*). Secara fungsi tampungan hidup merupakan kapasitas kolam yang akan berfungsi sebagai kontrol aliran keluaran kolam pengendap untuk diolah kualitasnya dan tampungan mati berfungsi sebagai penampung sedimen. Gambar 2 di bawah menunjukkan ilustrasi perbedaan tampungan hidup dan tampungan mati.



Gambar 2. Skema ilustrasi tampungan mati dan tampungan hidup

Formula empiris yang dipakai untuk menghitung debit air inflow pada kondisi hujan/banjir menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu. Perhitungan HSS Nakayasu dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{cARo}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2)$$

- Q_p : Q_{maks} , debit puncak banjir
- c : koefisien aliran
- A : luas DTA
- R_o : hujan satuan
- T_p : tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir
- $T_{0,3}$: waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak.

Pada kurva naik : $0 \leq T < T_p$

$$Q = Q_p \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2,4} \quad (3)$$

Pada kurva turun

$$T_p \leq t < (T_p + T_{0,3}) \rightarrow Q = Q_p 0,3 \frac{t - T_p}{T_{0,3}} \quad (4)$$

$$(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + 2,5T_{0,3}) \rightarrow Q = Q_p 0,3 \frac{t - T_p + 0,5T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \quad (5)$$

$$t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}) \rightarrow Q = Q_p 0,3 \frac{t - T_p + 1,5 T_{0,3}}{2T_{0,3}} \quad (6)$$

Dalam praktiknya untuk melakukan penelusuran debit banjir akibat hubungan inflow, tampungan hidup kolam, dan outflow aliran yang keluar dari sistem kolam pengendap menggunakan metode Muskingum. Menurut Saihul dalam Hendri dan Inra (2007), metode Muskingum termasuk metode yang cukup akurat, tingkat kesalahan prediksinya rata-rata sebesar 14 persen dan kesalahan prediksi waktu debit puncak rata-rata 0,16 jam. Metode Muskingum tidak didasarkan atas hukum-hukum dasar hidrolika. Metode ini hanya meninjau hukum kontinuitas dan tampungan.

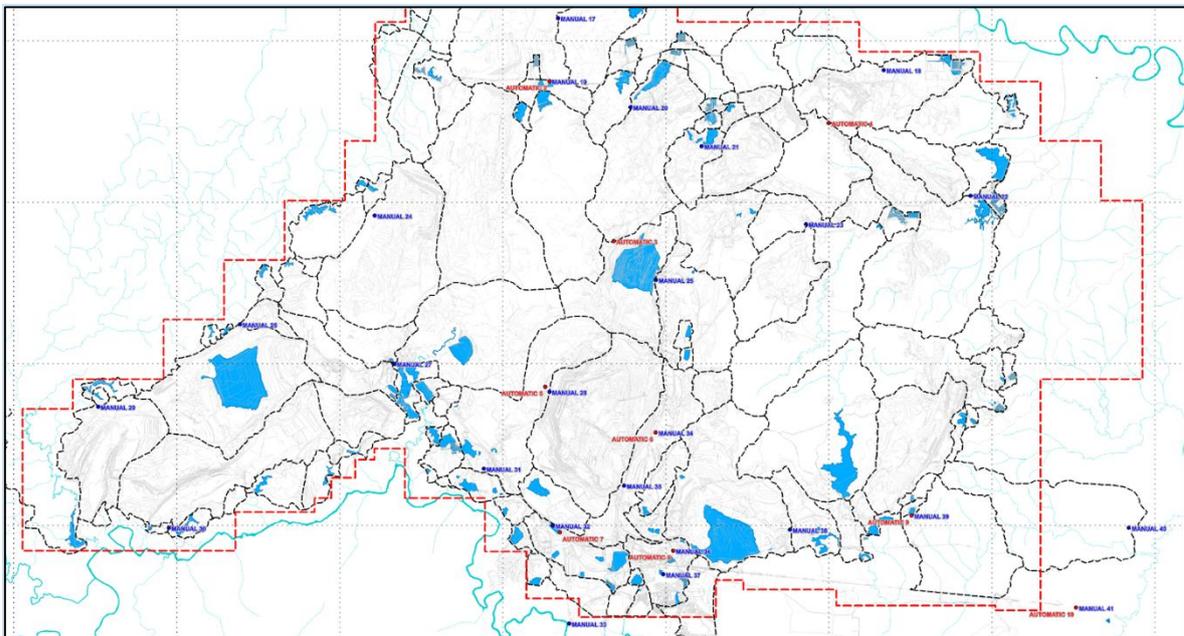
Metode Muskingum menggunakan data debit masuk dan data debit keluar yang diukur pada waktu yang bersamaan dalam satuan waktu/jam kejadian (Hendri dan Inra, 2007). Prediksi dan pemodelan banjir mengacu pada proses transformasi hujan menjadi aliran permukaan berupa hidrograf banjir dimana terjemahan hidrograf tersebut merupakan respon DAS ketika terjadi hujan di suatu daerah.

Pemodelan hidrograf banjir harus memisahkan antara aliran dasar dengan aliran limpasan. Aliran dasar harus selalu teralirkan sehingga kemampuan kolam tetap terjaga ketika terdapat aliran limpasan. Sebagai gambaran untuk aliran dasar yang berasal dari pompa, terdapat 75 pompa yang beroperasi, dimana jika rata-rata pompa mengeluarkan debit $0,2 \text{ m}^3/\text{detik}$ maka keseluruhan pompa tersebut setara dengan debit $15 \text{ m}^3/\text{detik}$. Fakta ini memunculkan hipotesis bahwa besarnya sumber aliran dasar pada suatu DTA yang tidak dapat dialirkan akan mempengaruhi kemampuan kolam secara keseluruhan dalam melakukan fungsinya sebagai kontrol debit.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif, perbandingan data rencana dengan aktual di lapangan merupakan dasar berfikir pada penelitian ini. Pencatatan data aktual di lapangan dijadikan sebagai bahan inputan untuk melakukan analisa balik dan penelaahan lebih lanjut. Data pencatatan aliran dasar dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan, sedangkan aliran yang berasal dari pompa menggunakan pendekatan data debit teoritis. Nilai debit untuk pompa dengan tipe Multiflo MF 420 atau yang sejenisnya diambil sebesar $0,2 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Data hujan yang dipakai dalam analisa merupakan data primer yang diambil langsung di beberapa stasiun hujan yang terpasang di area KPC. Terdapat 2 macam tipe stasiun pencatatan data hujan di KPC yaitu, pencatatan hujan manual dan pencatatan hujan secara otomatis. Gambar 3 berikut menunjukkan lokasi penyebaran stasiun hujan di KPC. Data diolah dengan metode pengolahan statistik sehingga didapatkan hujan rencana kala ulang yang dipakai sebagai dasar perencanaan dan perhitungan debit.



Gambar 3. Peta sebaran stasiun pencatatan hujan manual dan otomatis

Analisa penelusuran debit banjir untuk mengetahui dan membandingkan aktual kondisi di lapangan dengan kondisi perhitungan menggunakan metode Muskingum. Hubungan tumpang, debit

masukannya, debit keluaran, dan tinggi muka air dianalisis lebih lanjut untuk dibandingkan dengan kondisi aktual pencatatan dari tim operasional.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan debit banjir merupakan salah satu bagian penting dalam melakukan berbagai analisis, baik analisis untuk desain infrastruktur seperti bangunan air, kapasitas sungai, pembuatan bendung/ bendungan, jembatan, saluran drainase dan lain-lain. Debit rencana atau besarnya debit banjir maksimum yang ditentukan diambil berdasarkan periode ulang, faktor keamanan, ekonomi, dan sosial.

Banjir rancangan (*design flood*) adalah besaran debit yang secara statistik akan disamai atau dilampaui sekali dalam kala ulang tertentu (Montarcih, 2010). Kala ulang (*return period*) merupakan waktu hipotetik, yang mana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tertentu. Tidak ada pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut.

Pada perencanaan tata kelola air, hujan rancangan yang digunakan kala ulang 100 tahun, dengan peluang kejadian tiap tahun adalah 1%. Hal ini tentunya telah mempertimbangkan faktor keamanan, faktor biaya konstruksi, dan faktor sosial di sisi hilir kolam pengendap. Tabel berikut memperlihatkan tabel hujan rancangan berbagai kala ulang yang digunakan.

Tabel 1. Simulasi hujan berbagai kala ulang hasil olah data stasiun hujan

No	Kala Ulang (Tahun)	Harian	3 Harian	7 Harian	30 Harian	Tahunan
		(mm) Log Person III	(mm) Log Person III	(mm) Normal	(mm) Log Normal	(mm) Normal
1	1.01	44.24	64.90	78.28	175.40	1087.76
2	2	78.58	104.53	157.47	340.37	2018.02
3	5	93.83	128.56	186.01	432.27	2353.39
4	10	102.30	144.36	200.97	489.92	2529.06
5	25	111.68	164.31	215.52	553.42	2700.08
6	50	117.91	179.27	227.14	609.92	2836.49
7	100	123.60	194.29	236.65	660.50	2948.28

Model hidrologi untuk keperluan prediksi banjir dapat dikategorikan ke dalam pemodelan fisik dan pemodelan matematis. Model matematika menggambarkan perilaku sistem dalam hal: persamaan matematika yang mewakili hubungan antara keadaan sistem, input, dan output. Sherman (1932) adalah orang yang pertama mengajukan model matematis melalui konsep hidrograf satuan sintetis. Hidrograf Satuan Sintetis suatu DAS didefinisikan sebagai hidrograf dari limpasan langsung yang dihasilkan langsung dari satu satuan volume curah hujan dengan intensitas konstan dan terdistribusi secara merata pada suatu daerah.

DAS memberikan respon terhadap hujan secara linier. hal ini artinya bahwa secara prinsip superposisi berlaku sehingga tanggapan dari beberapa hujan dapat ditumpangkan untuk mendapatkan respon gabungan dari daerah tangkapan.

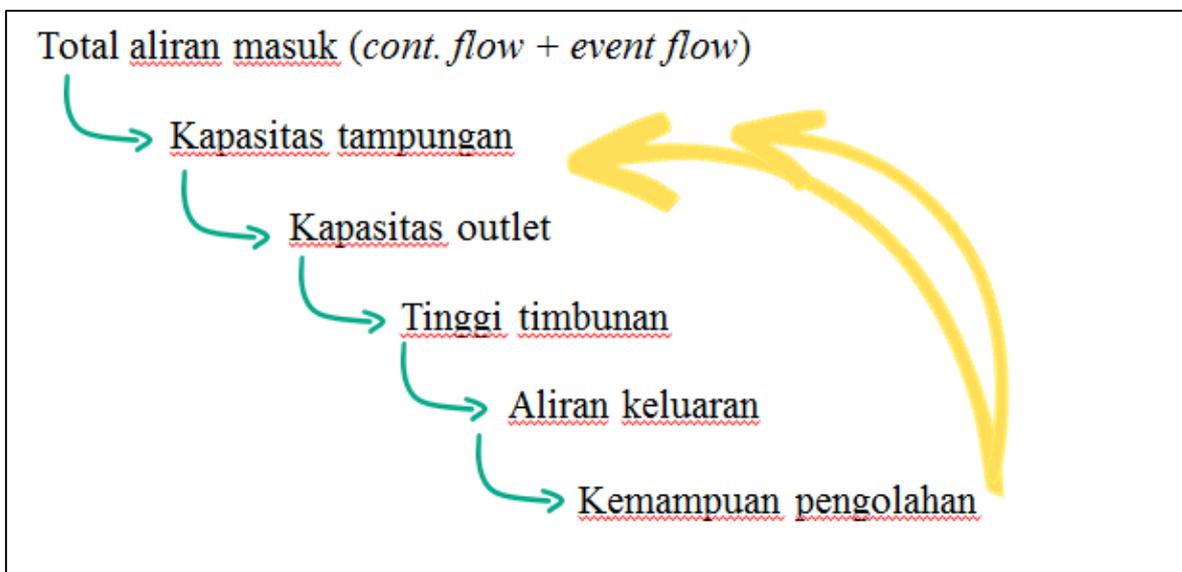
- a. Intensitas curah hujan efektif tersebar merata di seluruh DAS.
- b. Curah hujan terjadi dengan intensitas konstan sepanjang durasi hujan.

- c. Durasi hidrograf limpasan langsung tidak tergantung pada intensitas hujan efektif dan hanya bergantung pada durasi hujan efektif.

Total aliran sungai selama peristiwa presipitasi termasuk aliran dasar yang mengalir di dalam DTA sebelum hujan dan limpasan karena curah hujan. Total hidrograf aliran biasanya terdiri dari 2 macam aliran, yaitu:

- a. Limpasan Langsung, yang terdiri dari kontribusi limpasan permukaan dan limpasan cepat yang menjadi satu. Analisis hidrograf satuan hanya mengacu pada limpasan langsung.
- b. *Baseflow*, yang terdiri dari kontribusi dari *delay interflow* dan limpasan air tanah. Namun, pada kasus perusahaan tambang batu bara terbuka, penambahan outlet pompa yang mengalirkan air keluaran secara konstan dihitung sebagai tambahan baseflow disamping aliran base flow yang berasal dari aliran natural. Aliran dasar adalah komponen aliran yang paling lambat hilang dan bertahan paling lama. aliran dasar biasanya terkait dengan proses air tanah dan tidak dapat dikaitkan dengan curah hujan tunggal. (Duncan, 1951). Aliran dasar dapat berasal dari sumber mata air atau pun pemompaan dari aktivitas dewatering pump pit. Aktivitas pompa yang berkelanjutan menimbulkan aliran terus menerus walau tidak ada hujan.

Hidrograf merupakan penyajian grafis salah satu besaran aliran sebagai fungsi waktu. Hidrograf menunjukkan tanggapan menyeluruh DTA (Daerah Tangkapan Air) terhadap masukan hujan. Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif merata di DTA dengan intensitas tetap (diambil 1mm/jam) dalam satu satuan waktu yang ditetapkan (diambil 1 jam). Untuk sungai-sungai yang tidak mempunyai hidrograf banjir pengamatan, biasanya digunakan hidrograf-hidrograf sintesis yang telah dikembangkan di negara-negara lain, yang parameternya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau.



Gambar 4. Kerangka berfikir pemecahan masalah dalam tata kelola air tambang

Pada suatu algoritma perencanaan pengelolaan air dengan jumlah air kelolaan yang besar (umumnya terjadi pada luas area operasi yang besar) sistem tunda - kelola - endap menjadi suatu pilihan efektif. Tampungan hidup dari sebuah kolam kontrol debit memiliki fungsi yang krusial. Dalam kondisi ideal, ketinggian muka air pada kolam kontrol debit ketika tidak terjadi hujan berada pada level yang tidak mengurangi kapasitas tampungan hidup (cenderung stabil pada level yang sama), sehingga ketika terjadi hujan dengan curah hujan yang besar tampungan yang tersedia dapat menunda debit dengan maksimal. Ketinggian air pada kondisi hujan akan naik untuk sementara waktu dan kembali

ke level stabilnya ketika sudah tidak terdapat lagi imbuan debit dari air limpasan. Kondisi ini dapat tercapai dengan syarat aliran dasar dapat dialirkan sepenuhnya (tidak tertahan pada kolam kontrol debit). Kegagalan pengosongan tampungan hidup tentunya dapat mengurangi kemampuan penundaan banjir itu sendiri.

Kapasitas tampungan sangat bergantung kepada kondisi topografi lokasi pembangunan infrastruktur. Salah satu variabel yang dapat direkayasa adalah ketinggian badan tanggul (untuk mendapatkan daya tampung yang lebih besar secara linier), namun akan tetap bergantung kepada kondisi topografi dan juga keterbatasan biaya konstruksi.

Hubungan berkesinambungan antara tampungan - kapasitas outlet - kemampuan kelola air perlu diperhitungkan dengan seksama dalam menjaga kesetimbangan antara debit yang masuk dengan debit yang keluar. Hal ini demi proses penundaan debit dapat berjalan sesuai dengan yang direncanakan dan tidak menyebabkan terjadinya potensi kegagalan struktur. Rangkaian proses ini digambarkan pada gambar 4 di atas. Kegagalan struktur kolam pengendap terjadi ketika air mengalir tidak melalui saluran yang direncanakan karena terjadi ketidaksetimbangan dari tiga faktor utama tersebut.

Desain penempatan elevasi inlet-outlet saluran buangan utama sangat terpengaruh dari kondisi topografi di rencana kolam pengendap. Aliran air perlu tetap dapat dipastikan mengalir dan tersalurkan dengan baik hingga badan air penerima. Timbulnya aliran balik dari hilir sedianya harus dapat dihindari. Penempatan elevasi inlet saluran utama dapat secara langsung mempengaruhi besarnya ketersediaan tampungan hidup. Idealnya elevasi inlet saluran utama ditempatkan pada bagian topografi paling dasar kolam untuk meminimalkan terbentuknya tampungan mati yang tidak diperlukan, namun pada kondisi topografi yang cenderung datar, terbentuknya tampungan mati tersebut tidak dapat dihindari demi memastikan air tetap dapat mengalir dengan baik hingga ke hilir.

Jumlah air yang keluar dari kolam kontrol debit harus disesuaikan dengan kemampuan pengolahan air pada kolam labirin atau sebaliknya, dimana kapasitas labirin harus mengikuti batas maksimal debit yang bisa dikontrol pada kolam detensi. Dinamika penentuan ini akan sangat bergantung kepada rencana penambangan, budget, dan juga kondisi topografi.

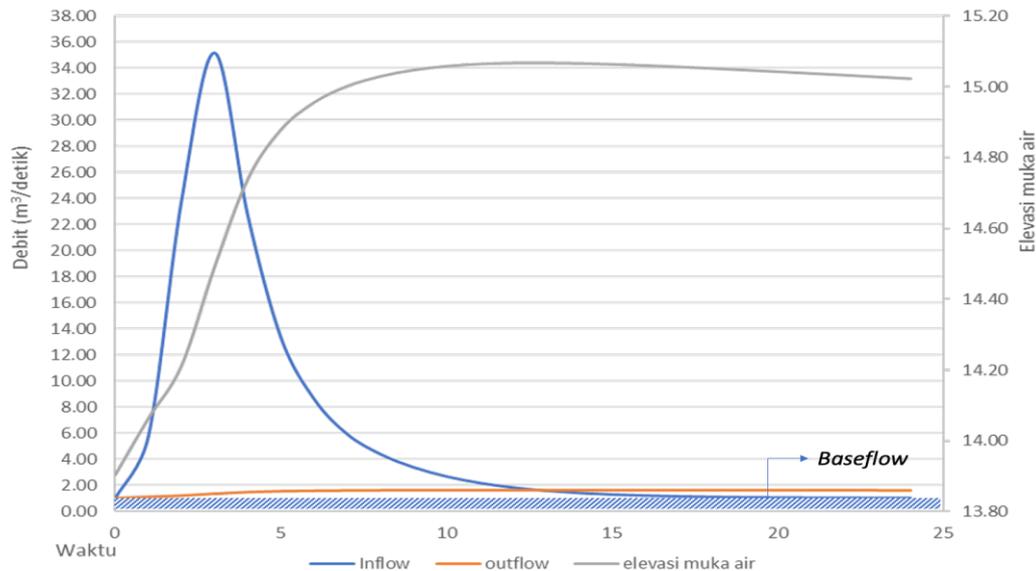
Studi perencanaan pada salah satu kolam pengendap yang telah dibangun, ditemukan salah satu masalah yaitu kondisi area yang bisa dimanfaatkan untuk kegiatan pengelolaan air cukup terbatas. Namun kontrol debit air yang maksimal dibutuhkan untuk memastikan air dapat tetap diolah dengan baik pada kolam labirin. Keterbatasan area yang tersedia membatasi desain luasan total area kolam labirin yang bisa dibangun.

Outlet kolam menggunakan pipa berdiameter 355 mm sebanyak 4 buah. Penentuan kapasitas saluran utama ini didasarkan kepada debit keluaran yang dibutuhkan, jumlah debit yang masuk, dan ketersediaan tampungan hidup kolam. Pada debit yang masuk terdapat aliran dasar dari aktivitas *dewatering pump* sebanyak 5 pompa (sekelas MF 420), sehingga akan terdapat aliran terus menerus sebesar $1 \text{ m}^3/\text{detik}$ (asumsi debit tiap pompa kontinu sebesar $0,2 \text{ m}^3/\text{detik}$). Total keseluruhan debit air yang keluar dari outlet utama ini harus mampu diolah dengan baik pada kolam labirin, dengan mempertimbangkan kecepatan pengendapan.

Elevasi inlet saluran utama ditempatkan pada elevasi RL+13, ketinggian maksimal badan tanggul berada pada RL+18, dan dasar kolam berada pada RL+11. Saluran di hilir sebagai badan air penerima berada pada RL+11, sehingga outlet harus didesain di tempat lebih tinggi dan terbentuknya tampungan mati tidak dapat dihindari.

Adanya aliran dasar dari aktivitas pompa *dewatering pit* menyebabkan elevasi air di tampungan kolam pengendap akan stabil pada elevasi RL+13,91. Dalam kondisi ini, level muka air tersebut tidak akan dapat kembali sempurna ke elevasi terbawah saluran utama (tampungan hidup tidak dapat

dikosongkan sempurna). Pada simulasi hujan kala ulang 100 tahun, debit yang timbul menyebabkan elevasi air akan berada pada elevasi RL+15,06 dimana elevasi pelimpah darurat berada pada RL+17. Dalam kondisi ini level muka air masih berada pada level aman dan tidak mengalir melewati pelimpah darurat yang sedianya dirancang untuk kondisi yang ekstrim dan lebih besar dari rencana yang dipakai. Hasil penelusuran banjir pada kolam ditampilkan pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Ilustrasi grafik *baseflow* pada hidrograf penelusuran banjir

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Pada analisa penelusuran debit, aliran dasar/menerus harus dipisahkan dengan aliran limpasan akibat hujan
2. Kestimbangan antara debit masukan, kapasitas kolam, debit keluaran dan kemampuan kolam labirin harus diatur sedemikian rupa guna memperoleh hasil pengolahan kualitas air yang memenuhi baku mutu
3. Perlunya koordinasi melekat dalam perubahan operasional aktifitas pompa pit, karena memberikan efek yang besar terhadap keseluruhan sistem rencana kolam

E. DAFTAR PUSTAKA

- Hendri, A. dan M.S. Inra. (2014): *Pemodelan Penelusuran Banjir dengan Metode Muskingum*. Repository.unri.ac.id
- Limantara, Lily Montarcih. 2010. *Hidrologi Praktis*. Lubuk Agung: Bandung
- Sherman, L.K. 1932. *Streamflow from Rainfall by Unit-Graph Method*. Eng. News Record, 108, 501-505.
- Duncan, H. P. 1951. *Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology*. Australia.
- SNI 2415: 2016. *Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. R. 627. 516 (006) KEM t. Badan Standar Nasional Indonesia: Jakarta.