

Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Pada Penambangan Batubara Blok B PT Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi

Randi Sepniko^{1*}, Murad MS^{1,**}, and Yoszi Mingsi Anaperta¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*randysepniko@yahoo.com

**muradms@ft.unp.ac.id

Abstract. This study discusses optimal solution to handle water entering coal mining Block B PT. Minemex Indonesia. Water comes from ground water and surface runoff that floods the ground floor of the mining work area, causing coal cannot be carried out. To determination runoff and groundwater discharge into the mining, we have to know its debit. We also determinate dimensions of open channel, sump, and settling pond, and also capacity of the pump used. The results, pit B mining PT. Minemex Indonesia has a total catchment area of 47.3 ha with maximum daily rainfall of 94,44 mm/day. Total debit is 1,22651 m³/second, maximum capacity of sump is 85.775 m³, with 123 m x 123 m surface dimensions, and 116 m x 116 m at the base and 6 m depth. The trapezoidal-shaped open channel sare located on the mining front to drain the water to sump, and near the settling pond to drain the pumped water from the sump to the settling pond. By using HDPE pipes and 3 units Coates HL-200 centrifugal pumps that have 63 meters maximum head and 107 liters/second maximum pumping debit, water will be pumped into settling pond which has 5 compartments and 10.400,4 m³ overall volume.

Keywords: *Catchment Area, Rainfall, Sump, Pump, Settling Pond*

1 Pendahuluan

Pada era globalisasi saat ini dunia industri tumbuh dan berkembang dengan cepat yang menyebabkan kebutuhan terhadap energi semakin meningkat. Batubara merupakan salah satu sumber energi alternatif yang saat ini meningkat pesat dalam pasaran dunia sebagai sumber energi yang berlimpah serta ekonomis. Adanya kegiatan pertambangan akan memberikan dampak positif dan negatif bagi negara dan daerah di sekitar industri pertambangan.

Dalam kegiatan penambangan tidak akan terlepas dari permasalahan penanganan genangan air di lokasi penambangan. Dimana metode tambang terbuka yang terpapar langsung dengan udara luar sangat dipengaruhi oleh iklim seperti cuaca hujan, cuaca panas dan akan mempengaruhi kondisi tempat kerja alat dan kondisi pekerja, yang selanjutnya dapat mempengaruhi produktivitas penambangan. Untuk mengurangi resiko

dari genangan air tersebut, diperlukan perhitungan yang matang dalam menganalisis bagaimana ukuran dimensi *sump*, saluran terbuka, *settling pond*, serta berapa jumlah pompa yang dibutuhkan sehingga meminimalisir terjadinya resiko genangan air di area kerja penambangan

Dari observasi dan pengamatan yang penulis lakukan di tambang terbuka Blok B PT. Minemex Indonesia, terdapat curah hujan yang tinggi di lokasi penambangan dengan rata-rata curah hujan harian sebesar 94,44 mm/hari yang mengakibatkan air yang berasal dari limpasan permukaan menggenangi lantai dasar area kerja penambangan.

Masalah lain yang penulis temukan yaitu kurangnya *maintenance* terhadap saluran terbuka yang ada untuk mengalirkan air yang tergenang pada lantai dasar di area kerja penambangan menuju *sump*, hal ini dikarenakan adanya tanah-tanah lereng tambang di sekitar saluran

yang tergerus air hujan dan menumpuk pada saluran, sehingga membuat laju aliran air menuju *sump* menjadi tidak lancar. Maka dari itu diperlukan rancangan saluran yang baik dengan ukuran yang ditentukan berdasarkan debit air yang masuk ke lokasi penambangan.

Dengan luas *sump* yang ada yaitu sebesar 1,28 ha, masih belum mampu untuk menampung volume air yang masuk sebesar 105.970,4 m³/hari yang berasal dari lokasi penambangan, akibatnya air dapat meluap ke badan jalan tambang. Untuk mencegah resiko meluapnya air dari *sump* tersebut diperlukan perhitungan dalam menganalisis bagaimana dimensi *sump* yang memadai dan apakah dengan 3 pompa yang sudah ada cukup atau tidak untuk memompakan air keluar dari *sump* sehingga meminimalisir terjadinya resiko air di *sump* meluap ke badan jalan tambang.

Dari permasalahan di atas, maka diperlukan suatu bentuk upaya yang optimal untuk penanganan sumber air yang masuk ke area kerja penambangan. Sumber air tersebut harus diketahui volume perjamnya, serta penentuan debit limpasan dan debit air tanah yang masuk ke area kerja penambangan dalam perdetiknya. Selain itu dilakukan penentuan ukuran dimensi saluran terbuka, ukuran dimensi *sump* dan ukuran dimensi *settling pond* serta kapasitas pompa yang digunakan agar proses penambangan tidak terganggu dan dapat berjalan dengan baik. Penanganan air tersebut dilakukan melalui suatu bentuk analisis *mine dewatering system* dengan menganalisis aspek-aspek penyaliran yang menyebabkan terganggunya aktivitas penambangan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan besar debit limpasan yang masuk ke *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.
2. Menentukan besar debit air tanah yang masuk ke *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.
3. Menentukan ukuran dimensi saluran terbuka yang ideal pada *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.
4. Menentukan ukuran dimensi *sump* dan *settling pond* yang ideal untuk sistem penyaliran tambang pada *pit* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.
5. Menentukan jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air dari *sump* menuju *settling pond* pada *pit* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.

2 Kajian Teori

Sistem penyaliran tambang adalah suatu upaya yang diterapkan pada kegiatan penambangan untuk mencegah, mengeringkan, atau mengalirkan air yang

masuk ke bukaan tambang. Upaya ini dimaksudkan untuk mencegah terganggunya aktivitas penambangan akibat adanya air dalam jumlah yang berlebihan, terutama pada musim hujan. Selain itu, sistem penyaliran tambang ini juga dimaksudkan untuk memperlambat kerusakan alat serta mempertahankan kondisi kerja yang aman, sehingga alat-alat mekanis yang digunakan pada daerah tersebut mempunyai umur yang lama.

Penanganan masalah air dalam suatu tambang terbuka dapat dibedakan menjadi dua^[1] yaitu.

2.1 Mine Drainage

Merupakan upaya untuk mencegah masuknya air ke daerah penambangan. Hal ini dilakukan untuk penanganan air tanah dan air yang berasal dari sumber air permukaan. Beberapa metode *mine drainage* adalah sebagai berikut :

2.1.1 Metode Siemens

Pada tiap jenjang dari kegiatan penambangan dibuat lubang bor kemudian ke dalam lubang bor dimasukkan pipa dan di setiap bawah pipa tersebut diberi lubang-lubang. Bagian ujung ini masuk ke dalam lapisan akuifer, sehingga air tanah terkumpul pada bagian ini dan selanjutnya dipompa ke atas dan dibuang ke luar daerah penambangan.

2.1.2 Metode Pemompaan Dalam

Metode ini digunakan untuk material yang mempunyai permeabilitas rendah dan jenjang tinggi. Dalam metode ini dibuat lubang bor kemudian dimasukkan pompa ke dalam lubang bor dan pompa akan bekerja secara otomatis jika tercelup air. Kedalaman lubang bor 50 - 60 meter.

2.1.3 Metode Elektro Osmosis

Pada metode ini digunakan batang anoda serta katoda. Bilamana elemen-elemen dialiri arus listrik maka air akan terurai, H⁺ pada katoda (di sumur besar) dinetralsisir menjadi air dan terkumpul pada sumur lalu dihisap dengan pompa.

2.1.4 Small Pipe with Vacuum Pump

Cara ini diterapkan pada lapisan batuan yang impermeabel (jumlah air sedikit) dengan membuat lubang bor. Kemudian di masukkan pipa yang ujung bawahnya diberi lubang-lubang. Antara pipa isap dengan dinding lubang bor diberi kerikil-kerikil kasar (berfungsi sebagai penyaring kotoran) dengan diameter kerikil lebih besar dari diameter lubang. Di bagian atas antara pipa dan lubang bor di sumbat supaya saat ada isapan pompa, rongga antara pipa lubang bor kedap udara sehingga air akan terserap ke dalam lubang bor.

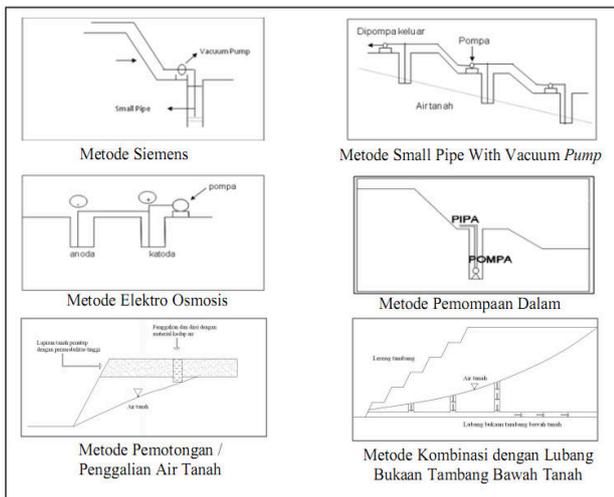
2.1.5 Metode Pemotongan / Penggalian Air Tanah

Metode ini digunakan untuk mengatasi air tanah dimana lapisan akuifernya terletak pada permukaan atau pada lapisan atas. Cara ini dilakukan dengan menggali/memotong lapisan akuifer tersebut, sehingga air tanah tidak menerus ke dalam *pit*, kemudian bekas galian diisi dengan material yang kedap air.

2.1.6 Metode Kombinasi dengan LubangBukaan Tambang Bawah Tanah

Metode ini dilakukan dengan membuat lubang bukaan tambang bawah tanah secara mendatar, kemudian pada lubang bukaan mendatar tersebut dibuat lubang bukaan secara vertikal ke atas menembus lapisan akuifer untuk menurunkan muka air tanah. Air akan mengalir secara gravitasi, sehingga tidak dibutuhkan pemompaan.

Bentuk metode *mine drainage* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk-Bentuk Metode *Mine Drainage*

2.2 Mine Dewatering

Merupakan upaya untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah penambangan. Upaya ini terutama untuk menangani air yang berasal dari air hujan. Beberapa metode penyaliran *mine dewatering* adalah sebagai berikut:

2.2.1 Sistem Kolam Terbuka

Sistem ini diterapkan untuk membuang air yang telah masuk ke daerah penambangan. Air dikumpulkan pada sumur (*sump*), kemudian dipompa keluar dan pemasangan jumlah pompa tergantung kedalaman penggalian.

2.2.2 Cara Paritan

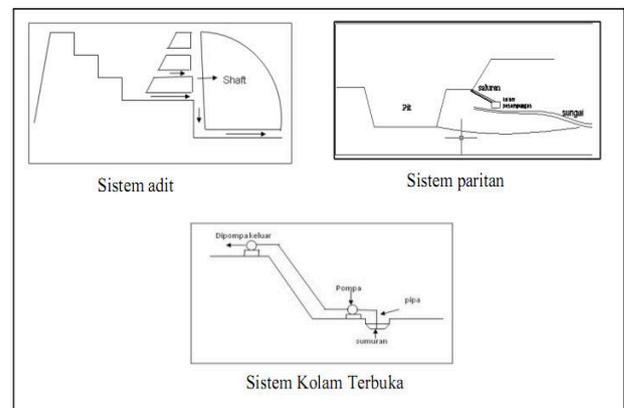
Penyaliran dengan cara paritan ini merupakan cara yang paling mudah, yaitu dengan pembuatan paritan (saluran) pada lokasi penambangan. Pembuatan parit ini

bertujuan untuk menampung air limpasan yang menuju lokasi penambangan. Air limpasan akan masuk ke saluran-saluran yang kemudian dialirkan ke kolam penampung atau dibuang langsung ke tempat pembuangan dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

2.2.3 Sistem Adit

Cara ini biasanya digunakan untuk pembuangan air pada tambang terbuka yang mempunyai banyak jenjang. Saluran horizontal yang dibuat dari tempat kerja menembus ke *shaft* yang dibuat disisi bukit untuk pembuangan air yang masuk ke dalam tempat kerja. Pembuangan dengan sistem ini biasanya mahal, disebabkan oleh biaya pembuatan saluran horizontal tersebut dan *shaft*.

Bentuk metode *mine dewatering* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk-Bentuk Metode *Mine Dewatering*

2.3 Siklus Hidrologi

Proses siklus hidrologi merupakan proses kontiniu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi. Uap air akan bergerak dan memasuki atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (*aliran permukaan* atau *surface runoff*) mengisi cekungan tanah, danau dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir kelaut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir kedalam tanah (*perkolasi*) mengisi air tanah yang kemudian ke luar sebagai mata air atau mengalir ke sungai disebut dengan siklus hidrologi^[2,3]. Siklus hidrologi terdiri dari :

2.3.1 Presipitasi

Presipitasi adalah nama umum dari uap yang mengkondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi.

2.3.2 Infiltrasi

Proses infiltrasi terjadi karena hujan yang jatuh di atas permukaan tanah sebagian atau seluruhnya akan mengisi pori-pori tanah. Curah hujan yang mencapai permukaan tanah akan bergerak sebagai air limpasan permukaan (*run off*) atau sebagai infiltrasi.

2.3.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah gabungan dari dua proses dalam siklus hidrologi yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi yaitu proses penguapan air yang terjadi di sungai, danau maupun lautan, sementara transpirasi yaitu proses penguapan air yang terjadi pada makhluk hidup, khususnya tumbuhan.

2.4 Limpasan (*Run Off*)

Limpasan adalah semua air yang mengalir akibat hujan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah tanpa memperhatikan asal atau jalan yang di tempuh sebelum mencapai saluran. Limpasan permukaan sangat berhubungan dengan infiltrasi, oleh karna itu dengan memahami proses terjadinya limpasan permukaan, faktor yang berpengaruh, akan bisa dilakukan analisis limpasan permukaan serta kaitannya dengan erosi dan sedimentasi. Perhitungan debit air limpasan dengan metode rasional^[1,4,5,6] adalah sebagai berikut.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (1)$$

- Q = Debit limpasan (m³/detik)
- C = Koefisien limpasan (Tabel 3)
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas catchment area (km²)

2.5 Air Tanah

Air tanah merupakan air yang terdapat di bawah permukaan tanah, khususnya yang berada di dalam zona jenuh air. Sedangkan air bawah tanah merupakan seluruh air yang terdapat di bawah permukaan tanah, mulai dari zona tidak jenuh (*unsaturated zone*) hingga zona jenuh air (*saturated zone*). Banyaknya air yang tertampung di bawah permukaan tergantung pada keseragaman lapisan di bawah tanah. Untuk mengetahui debit air tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan^[3,7] sebagai berikut.

$$Q = h \frac{\left[\frac{L1 + L2}{2} \right]}{(\Delta t)} \quad (2)$$

- Q = Debit air tanah (m³/jam)
- Δt = Waktu pengamatan perubahan air *sump* (jam)
- h = Kenaikan permukaan. (m)
- L1 = Luas permukaan air di awal (m²)
- L2 = Luas permukaan air di akhir (m²)

2.6 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah atau volume air hujan yang jatuh pada satu satuan luas tertentu, dinyatakan dalam satuan mm. 1 mm berarti pada luasan 1 m² jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 liter. Curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan sistem penirisan, karena besar kecilnya curah hujan pada suatu daerah tambang akan mempengaruhi jumlah air yang masuk ke lokasi penambangan yang harus ditanggulangi.

2.6.1 Curah Hujan Rencana

Pengolahan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan data curah hujan yang siap pakai untuk suatu perencanaan sistem penyaliran. Pengolahan data ini dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode Gumbel^[1,4,8,9]. Persamaan *Gumbel* tersebut adalah sebagai berikut.

$$X_t = \bar{X} + \left(\frac{Y_t - Y_n}{S_n} \right) S \quad (3)$$

$$Y_n = - \ln \left[- \ln \left\{ \frac{n + 1 - m}{n + 1} \right\} \right] \quad (4)$$

$$Y_t = - \ln \left[- \ln \left(\frac{T - 1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n - 1}} \quad (6)$$

$$= \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

- X_t = Curah hujan untuk periode ulang T (mm)
- \bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)
- S = Standar deviasi
- S_n = Standar deviasi dari reduksi variat, tergantung dari jumlah data (n)
- Y_t = Nilai reduksi variat dari variabel
- Y_n = Nilai rata-rata dari reduksi variat
- n = Jumlah sampel
- m = Urutan sampel
- T = Periode ulang hujan, tahun

2.6.2 Intensitas Curah Hujan

Besarnya intensitas curah hujan yang kemungkinan terjadi dalam kurun waktu tertentu dihitung berdasarkan persamaan *Mononobe*^[5,6,8,10,11]. Rumus tersebut menyatakan bahwa nilai tingkat intensitas curah hujan yang diperbolehkan yaitu curah hujan perbandingan rata-rata per-hari terhadap lamanya hujan rata-rata per-hari dapat dilihat pada rumus berikut.

$$I = \frac{R}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3} \quad (8)$$

$$t_c = 0,0195(L^{0,77} \times S^{-0,385}) \quad (9)$$

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R = Curah hujan rancangan (mm/hari)
- tc = Lama waktu konsentrasi (jam)
- L = Panjang aliran (m)
- H = Beda elevasi (m)
- S = Slope/Kemiringan

2.7 Saluran Tambang

Bentuk penampang saluran yang paling sering dan umum dipakai adalah bentuk trapesium, sebab mudah dalam pembuatannya, murah, efisien dan mudah dalam perawatannya serta stabilitas kemiringannya (z) dapat disesuaikan menurut keadaan topografi dan geologi. Perhitungan kapasitas pengaliran suatu saluran air dilakukan dengan rumus *Manning*^[1,4,7].

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} A \quad (10)$$

- Q = Debit aliran pada saluran (m³/detik)
- R = Jari-jari hidrolis = $\frac{A}{P}$
- S = Kemiringan dasar saluran (%)
- P = Keliling basah
- A = Luas penampang
- n = Koefisien *Manning*

2.8 Sumuran (Sump)

Sump berfungsi sebagai tempat penampungan air sebelum dipompa keluar tambang. Dimensi sumuran tambang tergantung pada jumlah volume air limpasan, kapasitas pompa dan waktu pemompaan (volume pemompaan), kondisi lapangan seperti kondisi penggalian terutama pada lantai tambang (*floor*) dan lapisan batubara serta jenis tanah atau batuan di bukaan tambang. Volume *sump* dapat ditentukan sebagai berikut.^[12]

$$V = (Luas atas + Luas bawah) \times \frac{1}{2} t \quad (11)$$

2.9 Pompa

Dalam sistem penyaliran tambang, pompa sangat diperlukan untuk mencegah maupun mengeluarkan air yang masuk ke lokasi tambang. Pompa merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan air di daerah tambang, baik itu air tanah maupun air bawah tanah. Jenis pompa yang banyak digunakan dalam kegiatan penyaliran tambang adalah pompa *sentrifugal*.

2.9.1 Head Total Pompa

Head total pompa untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi

instalasi yang akan dilayani oleh pompa tersebut, sehingga julang total pompa dapat dituliskan sebagai berikut^[4,6,10,13].

$$H = h_s + \Delta h_p + h_f + h_{sv} + h_v \quad (12)$$

- H = *Head* total pompa (m).
- hs = *Head* statis pompa (m).
- Δh_p = Beda *head* tekanan pada kedua permukaan air (m).
- hf = *Head* untuk mengatasi berbagai hambatan pada pompa dan pipa (m) yaitu *head* gesekan pipa
- hsv = Kerugian akibat fitting-fitting (belokan) pada pipa (m)
- hv = *Head* kecepatan pada ujung pipa keluar.

2.9.2 Head Statis

Head statis merupakan perbedaan elevasi muka air di sisi keluar dan di sisi isap^[4,6,10,13].

$$h_s = h_b - h_a \quad (13)$$

2.9.3 Head Tekanan (Δh_p)

Perbedaan tekanan *atmosfir* pada permukaan air^[4,6,10,13] adalah:

$$\Delta h_p = h_{pa} - h_{pb} \quad (14)$$

$$h_{pa} = 10,33 (1 - 0,0065 \times h_a/288)^{5,256}$$

$$h_{pb} = 10,33 (1 - 0,0065 \times h_b/288)^{5,256}$$

- Δh_p = Perbedaan tekanan pada permukaan air (m)
- hpa = Tekanan pada permukaan air yang akan dipindahkan
- hpb = Tekanan pada permukaan air buangan
- ha = Elevasi sisi isap (m)
- hb = Elevasi sisi keluar (m)
- 10,33 = Tekanan udara pada ketinggian 0 m

2.9.4 Head Gesekan (hf)

Rumus ini umumnya digunakan untuk menghitung *head* gesekan pada pipa, dapat menggunakan persamaan *Hazen-Williams*^[4,6,10].

$$H_f = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,85}} \times L \quad (15)$$

- hf = Julang kerugian (m)
- Q = Laju aliran (m³/s)
- D = Diameter pompa (m)
- L = Panjang pipa (m)
- C = Koefisien

2.9.5 Kerugian Head Pada Belokan (hsv)

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung *Head* belokan^[4,6,10,13] adalah:

$$h_{sv} = f \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

- f = Koefisien kerugian pada belokan

$$f = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \quad (17)$$

- D = Diameter dalam Pipa (m)
V = Kecepatan aliran dalam pipa (m/detik)
R = Jari jari lengkung sumbu belokan (m)
 θ = Sudut belokan (derajat)

2.9.6 Kerugian head kecepatan (hv)

Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan head kecepatan aliran air^[4,6,10] adalah:

$$h_v = \frac{v^2}{2 \times g} \quad (18)$$

- g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
v = kecepatan aliran rata-rata di dalam pipa (m/s)

2.10 Kolam Pengendapan Lumpur

Kolam pengendapan berfungsi untuk mengendapkan lumpur-lumpur atau material padatan yang bercampur dengan air limpasan yang disebabkan adanya aktivitas penambangan maupun karena erosi. Di samping tempat pengendapan, kolam pengendapan juga dapat berfungsi sebagai tempat pengontrol kualitas dari air yang akan dialirkan ke perairan umum, baik itu kandungan materialnya, tingkat keasaman ataupun kandungan material lain yang dapat membahayakan lingkungan. Dengan adanya kolam pengendapan diharapkan semua air yang keluar dari daerah penambangan benar-benar air yang sudah memenuhi ambang batas yang diizinkan oleh Keputusan menteri Lingkungan Hidup^[14].

2.10.1 Kecepatan Pengendapan Partikel

Kecepatan pengendapan dapat dihitung dengan menggunakan hukum Stokes dan hukum Newton. Hukum Stokes berlaku bila padatannya kurang dari 40%, sedangkan padatan yang lebih dari 40% berlaku untuk hukum Newton^[5,15]

Hukum Stokes

$$v = \frac{g \times D^2 \times (\rho_s - \rho_a)}{18\mu} \quad (19)$$

- v = Kecepatan pengendapan partikel (m/detik)
g = Percepatan gravitasi (m/detik²)
 ρ_s = Berat jenis partikel padatan
 ρ_a = Berat jenis air (kg/m³)
 μ = Kekentalan dinamik air (kg/mdetik)
D = Diameter partikel padatan (m)

Hukum Newton

$$v = \frac{g \times D^2 \times (\rho_{as} - \rho_a)}{3 \times Fg \times \rho_a} \quad (20)$$

- v = Kecepatan pengendapan partikel (m/detik)
g = Percepatan gravitasi (m/detik²)
 ρ_{as} = Berat jenis partikel padatan (kg/m³)
 ρ_a = Berat jenis air (kg/m³)
D = Diameter partikel padatan (m)
Fg = Nilai koefisien tahanan

2.10.2 Persentase Pengendapan

Perhitungan persentase pengendapan ini bertujuan untuk mengetahui kolam pengendapan yang akan dibuat dapat berfungsi untuk mengendapkan partikel padatan yang terkandung dalam air limpasan tambang. Perhitungan tersebut memerlukan data-data antara lain persen (%) padatan dan persen (%) air yang terkandung dalam lumpur. Waktu yang dibutuhkan oleh partikel untuk mengendap dengan kecepatan (v = m/s) sejauh (h)^[16] adalah :

$$tv = \frac{h}{vt} \quad (21)$$

- tv = Waktu pengendapan partikel (menit)
vt = Kecepatan pengendapan partikel (m/detik)
h = Kedalaman Saluran (m)

Jika:

$$vh = \frac{Q}{A} \quad (22)$$

- vh = Kecepatan mendatar partikel (m/detik)
Q = Debit aliran yang masuk ke kolam pengendapan(m³/detik)
A = Luas permukaan saluran (m²)

Waktu yang dibutuhkan partikel untuk keluar dari kolam pengendapan dengan kecepatan V/h adalah:

$$th = \frac{P}{vh} \quad (23)$$

- P = Panjang kolam pengendapan (m)

Perhitungan persentase pengendapan dapat dilihat sebagai berikut,.

$$\% P = \frac{th}{(th + tv)} \times 100 \quad (24)$$

- % P = Persentase pengendapan (%)
th = Waktu yang dibutuhkan partikel untuk keluar dari KPL
tv = Waktu yang dibutuhkan oleh partikel untuk mengendap

2.10.3 Waktu Pengerukan Settling pond

Perhitungan waktu pengerukan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut^[15,16].

$$T = \frac{\text{volume kolam pengendapan}}{\text{Volumepada tan}} \quad (25)$$

3 Metode Penelitian

Dalam Penelitian ini penulis menggunakan jenis penelitian terapan (*Applied Research*). Penelitian terapan adalah usaha menemukan kelemahan-kelemahan atau kekurangan-kekurangan atau keburukan-keburukan di dalam aspek kehidupan yang

diselidikinya, yang diikuti dengan merumuskan alternatif alternatif cara mengatasinya^[17].

Perkataan terapan di dalam penelitian terapan pada dasarnya bersifat menerangkan, sehingga berfungsi memberikan ciri-ciri dan membatasi kegiatan yang dilakukan. Teknik pengumpulan data yang dilakukan penulis yaitu:

1. Data primer berupa debit air tanah, luas *cacthmentarea*, elevasi titik tertinggi, elevasi buang dan hisap serta jarak pengaliran terjauh.
2. Data sekunder berupa peta topografi, data curah hujan, spesifikasi pompa, diameter pipa data *layout* penyaliran.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Curah Hujan

Metode yang dipakai dalam pengolahan data curah hujan adalah dengan menggunakan Analisis *Gumbel*. Untuk menghitung curah hujan rencana, terlebih dahulu harus dihitung *Reduced Mean* (Y_n), *Reduced Variate* (Y_t), *Standart Deviaton* (S), dan *Reduced Standard Deviation* (S_n) sebagai berikut :

4.1.1 Reduced Mean

Perhitungan Koreksi Rata-Rata (Y_n) sebagai berikut :

$$\text{Urutan sample 1, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-1)}{10+1} \right\} \right] = 2,35062$$

$$\text{Urutan sample 2, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-2)}{10+1} \right\} \right] = 1,60609$$

$$\text{Urutan sample 3, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-3)}{10+1} \right\} \right] = 1,14428$$

$$\text{Urutan sample 4, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-4)}{10+1} \right\} \right] = 0,79411$$

$$\text{Urutan sample 5, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-5)}{10+1} \right\} \right] = 0,50065$$

$$\text{Urutan sample 6, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-6)}{10+1} \right\} \right] = 0,23768$$

$$\text{Urutan sample 7, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-7)}{10+1} \right\} \right] = -0,01153$$

$$\text{Urutan sample 8, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-8)}{10+1} \right\} \right] = -0,26181$$

$$\text{Urutan sample 9, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-9)}{10+1} \right\} \right] = -0,53342$$

$$\text{Urutan sample 10, } Y_n = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(10+1-10)}{10+1} \right\} \right] = -0,87459$$

4.1.1 Reduced Variate

Nilai *reduced variate* dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai *Reduced Variate*

Periode Ulang (Tahun)	Koreksi Variansi (Yt)
2	0.36651
3	0.90272
4	1.24590
5	1.49994
6	1.70198
7	1.86982
8	2.01342
9	2.13891
10	2.25037

4.1.2 Standar Deviation

Nilai *standar deviation* dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Standar Deviation

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum	Curah Hujan Rata-Rata	(X-i)^2	S
		(mm/hari)	(mm)		
1	2007	119,6	94,44	14304,16	31,4354
2	2008	84	94,44	7056	
3	2009	97,8	94,44	9564,84	
4	2010	66	94,44	4356	
5	2011	135,8	94,44	18441,64	
6	2012	126,8	94,44	16078,24	
7	2013	112,8	94,44	12723,84	
8	2014	102,8	94,44	10567,84	
9	2015	56,8	94,44	3226,24	
10	2016	42	94,44	1764	
Jumlah		944,4		98082,8	

4.1.3 Reduced Standar Deviation

Hasil perhitungan *reduced standar deviation* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perhitungan Koreksi Simpangan

No	Urutan Sampel	Y_n	\bar{Y}_n	$(Y_n - \bar{Y}_n)^2$	S_n
1	1	2,35062	0,49521	5,5254	1,12892
2	2	1,60609		2,5795	
3	3	1,14428		1,3094	
4	4	0,79411		0,6306	
5	5	0,50065		0,2507	
6	6	0,23768		0,0565	
7	7	-0,01153		0,0001	
8	8	-0,26181		0,0685	
9	9	-0,53342		0,2845	
10	10	-0,87459		0,7649	
Jumlah		4,95207		11,4702	

4.2 Perhitungan Curah Hujan Rencana

4.2.1 Curah Hujan Rencana Periode Ulang 5 Tahun

Hasil perhitungan curah hujan rencana periode ulang 5 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.

4.2.2 Nilai Batas Curah Hujan

Rata-rata curah hujan maksimal (\bar{x}) = 94,44 mm/hari
Standart Deviation (S) = 31,4354
Reduced Mean (\bar{Y}_n) = 0,49521
Reduced Standart Deviation (S_n) = 1,12892

Tabel 4. Curah Hujan Rencana Periode Ulang 5 Tahun

Standar Deviasi (S)	Reduced Mean (Yn)	Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate (Yt)	Reduced Standar Deviasi (Sn)	Curah Hujan Rencana (Xt)
31,4354	2,3506	1	0	1,12892	80,6507
	1,6060	2	0,3665		90,8564
	1,1442	3	0,9027		105,7874
	0,7941	4	1,2458		115,3434
	0,5006	5	1,499		122,4173
	0,2376	6	1,7019		128,0433
	-0,0115	7	1,8698		132,7169
	-0,2618	8	2,0134		136,7154
	-0,5334	9	2,1389		140,2098
	-0,8745	10	2,2503		143,3133
4,95207					

4.3 Intensitas Curah Hujan

Penentuan intensitas hujan dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya dengan metode *Monnonobe*.

4.3.1 Perhitungan Nilai Tc

Diketahui: Elevasi Tertinggi = 39 m
Elevasi Terendah = -7 m

$$t_c = 0,0195(L^{0,77} \times S^{-0,385})$$

$$S = \frac{H}{L}$$

$$S = \frac{46}{780,85}$$

$$= 0,05891$$

$$t_c = 0,0195 (780,85^{0,77} \times 0,05891^{-0,385})$$

$$= 9,79013 \text{ jam}$$

4.3.2 Perhitungan Intensitas Hujan

$$I = \frac{R}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3}$$

$$I = \frac{122,4173}{24} \times \left(\frac{24}{9,79013}\right)^{2/3}$$

$$= 10,2177 \text{ mm/jam}$$

4.4 Perhitungan Debit Limpasan

Dengan intensitas curah hujan periode ulang 5 tahun sebesar 10,2177 mm/jam dan koefisien limpasan 0,9. Didapatkan debit limpasan sebagai berikut:

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

$$Q = 0,278 \times 0,9 \times 10,2177 \frac{\text{mm}}{\text{jam}} \times 0,473 \text{ km}^2$$

$$Q = 1,2092 \text{ m}^3/\text{detik}$$

4.5 Debit Air Total Yang Masuk Ke Lokasi Tambang

Total debit air yang masuk ke tambang adalah debit air limpasan ditambah dengan debit air tanah. Sehingga didapatkan total debit air yang masuk ke pit penambangan Blok B PT. Minemex Indonesia sebesar:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{limpasan}} + Q_{\text{air tanah}}$$

$$= 1,2092 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,01731 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 1,22651 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 105.970,4 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4.6 Perhitungan Debit Air Tanah

Pengukuran kenaikan muka air di *sump* dilakukan dengan menggunakan alat *total station*. Hasil perhitungan debit air tanah dapat dilihat pada Tabel 5berikut.

Tabel 5. Perhitungan Debit Air Tanah

Tanggal Pengukuran	Perhitungan Debit Air Tanah				
	elevasi awal muka air ketika pompa dimatikan (m)	elevasi akhir dalam waktu 3 jam (m)	Tinggi kenaikan (m)	Luas Bukaannya awal (m ²)	Luas Bukaannya akhir (m ²)
7 Agustus 2017	-1,237	-1,222	0,015	11.826,5	12.059
9 Agustus 2017	-1,359	-1,349	0,01	9.935,5	10.090,5
12 Agustus 2017	-1,301	-1,287	0,014	10.834,5	11.051,5
14 Agustus 2017	-1,271	-1,25	0,021	11.299,5	11.625
15 Agustus 2017	-1,348	-1,324	0,024	10.106	10.478
19 Agustus 2017	-1,422	-1,399	0,023	8.959	9.315,5
21 Agustus 2017	-1,357	-1,34	0,017	9.966,5	10.230
Rata-rata			0,01771	10.418,2	10.692,8
Debit Air Tanah Q (m ³ /3Jam)			186,9379		
Debit Air Tanah (m ³ /detik)			0,01731		

4.7 Perhitungan Kapasitas Pompa

Diketahui:

$$Q = 1,22651 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$D = 18 \text{ Jam} = 0,75 \text{ hari}$$

Maka:

Volume total air yang masuk/jam

$$= 1,22651 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik/jam}$$

$$= 4.415,4 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Debit pompa yang dibutuhkan:

$$Q_p = \frac{4.415,4 \text{ m}^3/\text{jam}}{0,75 \times 3600 \times 24}$$

$$= 0,0681 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit total pompa = 0,0681 m³/detik x 3 pompa

$$= 0,2043 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 13238,64 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari hasil penelitian pompa yang digunakan untuk mengeluarkan air yang masuk ke dalam tambang adalah pompa Coates HL 200. dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Pompa Coates HL 200

4.8 Perhitungan Head Total Pompa

4.8.1 Head of static (hs)

$$h_s = h_b - h_a$$

$$= 40 \text{ m} - (-2 \text{ m})$$

$$= 42 \text{ m}$$

4.8.2 Head of pressure

$$h_{pa} = 10,33 \left(1 - \frac{0,0065 \times h_a}{288} \right)^{5,256}$$

$$= 10,33 \left(1 - \frac{0,0065 \times (-3)}{288} \right)^{5,256} = 10,33 \text{ m}$$

$$h_{pb} = 10,33 \left(1 - \frac{0,0065 \times h_b}{288} \right)^{5,256}$$

$$= 10,33 \left(1 - \frac{0,0065 \times 40}{288} \right)^{5,256}$$

$$= 10,281 \text{ m}$$

$$\Delta h_p = h_{pa} - h_{pb}$$

$$= 10,333 \text{ m} - 10,281 \text{ m}$$

$$= 0,052 \text{ m}$$

4.8.3 Head Loss

Julang gesek pipa hisap

$$h_f = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,85}} \times L$$

$$h_f = \frac{10,666 \times 0,0681^{1,85}}{140^{1,85} \times 0,2032^{4,85}} \times 2$$

$$h_f = 0,036 \text{ m}$$

Julang gesek pipa buang

$$h_f = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,85}} \times L$$

$$h_f = \frac{10,666 \times 0,0681^{1,85}}{140^{1,85} \times 0,1524^{4,85}} \times 266,393$$

$$h_f = 19,264 \text{ m}$$

Jadi julang gesek total pada pipa adalah

$$h_f = h_f \text{ pipa hisap} + h_f \text{ pipa buang}$$

$$h_f = 0,036 + 19,264 = 19,3 \text{ m}$$

Head Belokan

$$h_{sv} = f_2 \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$f_2 = \left[0,131 + 1,875 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

$$R = \text{jari-jari lengkung belokan (m)} \quad R = \frac{D}{\tan \frac{1}{2}\theta}$$

Kecepatan aliran pada pipa buang:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,0681 \text{ m}^3/\text{detik}}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

$$V = \frac{0,0681 \text{ m}^3/\text{detik}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,1524^2}$$

$$V = 3,735 \text{ m/detik}$$

Untuk melihat hasil perhitungan head belokan pompa, dapat dilihat pada Tabel 6.

4.8.4 Head of Velocity (Julang Kecepatan)

$$h_v = \frac{3,735^2}{2 \times 9,8} = 0,7118 \text{ meter}$$

Tabel 6. Head Belokan Pompa

V	G	D	Θ	R	F	hsv Total
(m/s)	(m/s ²)	(m)		(m)		(m)
3,735	9,8	0,152	16	1,084	0,055	0,039
3,735	9,8	0,152	17	1,020	0,057	0,041
3,735	9,8	0,152	12	1,450	0,048	0,034
3,735	9,8	0,152	17	1,020	0,057	0,041
3,735	9,8	0,152	14	1,241	0,052	0,037
3,735	9,8	0,152	20	0,864	0,062	0,044
3,735	9,8	0,152	12	1,450	0,048	0,034
3,735	9,8	0,152	17	1,020	0,057	0,041
Jumlah						0,311

4.8.5 Head Total

Julang total pompa (H)

$$\begin{aligned}
 H &= h_s + \Delta h_p + h_f + h_{sv} + h_v \\
 &= 42 + 0,052 + 19,3 + 0,311 + 0,7118 \\
 &= 62,374 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.9 Pemilihan Pompa

Jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengatasi debit air yang masuk ke tambang adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{jumlah pompa} &= \frac{Q \text{ total}}{Q \text{ pompa}} \\
 \text{jumlah pompa} &= \frac{105.970,4 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,107 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik} \times 18 \text{ jam/hari}} \\
 \text{jumlah pompa} &= 15,283 = 16 \text{ pompa}
 \end{aligned}$$

4.10 Perencanaan Sump

Volume air total

$$\begin{aligned}
 &= \text{Debit air total} \times \text{lama waktu dalam satu hari} \\
 &= 1,22651 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik} \times 24 \text{ jam/hari} \\
 &= 105.970,4 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Volume pompa

$$\begin{aligned}
 &= \text{Jam kerja} \times Q \text{ max pompa} \\
 &= 18 \text{ jam/hari} \times (0,107 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik} \times 3) \\
 &= 20.800,8 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Volume sump

$$\begin{aligned}
 &= \text{Volume total} - \text{Volume pompa} \\
 &= 105.970,4 \text{ m}^3/\text{hari} - 20.800,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 85.169,6 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, volume sump yang akan dibuat adalah 85.169,6 m³. Bentuk dari sumuran adalah bentuk trapesium, sehingga untuk menampung volume total digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$V = \frac{(X^2 + Y^2)}{2} \times Z$$

X² = luas atas (m²)
 Y² = luas bawah (m²)
 Z = kedalaman (m)

Untuk sumuran dengan bentuk trapesium kemiringan sumuran adalah sebesar 60° dan kedalaman kolam (Z) yang direncanakan adalah 6 meter, adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{6}{\tan 60^\circ} = 3,46 \\
 X &= 2(W) + Y \\
 X &= 2(3,46) + Y = 6,92 + Y
 \end{aligned}$$

Diketahui volume trapesium:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{(X^2 + Y^2)}{2} \times Z \\
 &= \frac{\{(6,92 + Y)^2 + Y^2\}}{2} \times 6 \\
 &= (47,88 + 13,84 Y + Y^2 + Y^2) \times 3 \\
 &= 143,64 + 41,52 Y + 6 Y^2
 \end{aligned}$$

Nilai V telah diketahui berdasarkan volume sump optimal yang direncanakan, sehingga persamaan diatas menjadi:

$$\begin{aligned}
 V &= 143,64 + 41,52 Y + 6 Y^2 \\
 85.169,6 &= 143,64 + 41,52 Y + 6 Y^2 \\
 6 Y^2 + 41,52 Y - 85.169,6 &= 0
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai Y dapat digunakan rumus abc sebagai berikut:

$$Y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

diketahui:

$$\begin{aligned}
 a &= 6 \\
 b &= 41,52 \\
 c &= -85.169,6
 \end{aligned}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai di atas maka dapat dicari ukuran dimensi sump.

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-41,52 + \sqrt{(41,52)^2 - (4 \times 6 \times (-85.169,6))}}{2 \times 6} \\
 &= \frac{-41,52 + 1.429,1}{12} \\
 &= 115,63 \text{ m} = 116 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai X

$$\begin{aligned}
 X &= 2(W) + Y \\
 X &= 2(3,46) + Y \\
 X &= 6,92 + Y \\
 &= 6,92 + 126 \\
 &= 122,92 \text{ m} = 123 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka untuk menampung volume maksimum sebesar 85.169,6 m³, perlu melakukan perubahan dimensi sump sebagai berikut:

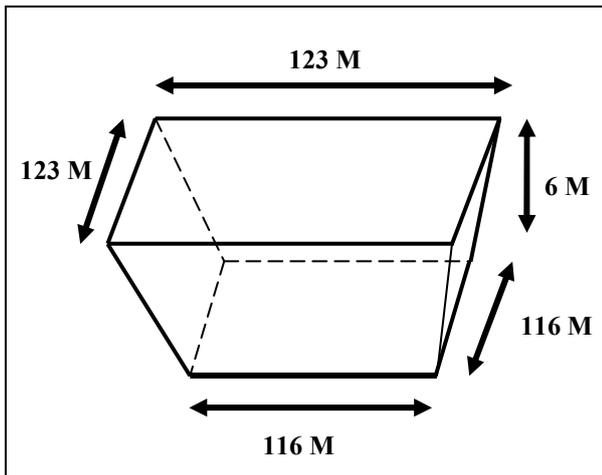
$$\begin{aligned}
 \text{Panjang permukaan sumuran} &= 123 \text{ m} \\
 \text{Lebar permukaan sumuran} &= 123 \text{ m} \\
 \text{Panjang dasar sumuran} &= 116 \text{ m} \\
 \text{Lebar dasar sumuran} &= 116 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman} &= 6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Volume maksimum yang dapat ditampung oleh sump dengan dimensi di atas adalah:

$$\text{Volume} = \frac{\{(123\text{m} \times 123\text{m}) + (116\text{m} \times 116\text{m})\}}{2} \times 6\text{m}$$

$$= 85.775\text{m}^3$$

Maka ukuran volume *sump* optimal yang akan dibuat untuk menampung air yang masuk ke lokasi penambangan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Dimensi Sump

4.10.1 Perhitungan Saluran Terbuka

1. Saluran Terbuka di Front Penambangan

Dalam menentukan dimensi saluran terbuka bentuk trapesium dengan luas maksimum hidrolis, luas penampang basah saluran (A), jari-jari hidrolis (R), kedalaman penampang aliran (d), kedalaman saluran terbuka (h), lebar dasar saluran (b), penampang sisi saluran dasar ke permukaan (a), lebar permukaan saluran (B), dan kemiringan dinding saluran (m), mempunyai hubungan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A = (b \times d) + (m \times d^2)$$

$$R = 0.5 \times d$$

$$B = b + (2m \times h)$$

$$b/d = 2 \{1 + m^2\}^{0.5} - m\}$$

$$a = h/\sin\alpha$$

$$x = 15\% \times d$$

$$h = d + x$$

Untuk dimensi saluran terbuka dengan bentuk trapesium dengan luas penampang optimum dan mempunyai sudut kemiringan 60° , maka:

$$m = \text{Cotg } \alpha$$

$$= \text{Cotg } 60^\circ$$

$$= 0,58$$

Setelah mendapatkan nilai kemiringan dinding saluran (m), maka selanjutnya dicari nilai lebar dasar saluran (b) dan kedalaman penampang aliran (d), dengan rumus:

$$b/d = 2 \{(1 + m^2)^{0.5} - m\}$$

$$= 2 \{(1 + 0,58^2)^{0.5} - 0,58\}$$

$$b = 1,15 d$$

Kemudian substitusikan nilai b ke dalam rumus luas penampang basah saluran (A) sebagai berikut:

$$A = (b \times d) + (m \times d^2)$$

$$= (1,15d \times d) + (0,58 \times d^2)$$

$$= 1,732 d^2$$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai d, maka substitusikan lagi persamaan luas penampang ke dalam persamaan mencari debit saluran terbuka (Q), dimana nilai debit limpasan sudah diperoleh sebesar $1,2092 \text{ m}^3/\text{detik}$, kemiringan saluran $0,25\%$, dan koefisien *manning* sebesar $0,03$ karena tipe dinding saluran yang ada berupa tanah. Selanjutnya akan diperoleh nilai d dengan menggunakan rumus debit saluran terbuka sebagai berikut.

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

$$= 1/0,03 \times (1,732 d^2) \times (0,0025^{1/2}) \times (0,5 d)^{2/3}$$

$$1,2092 = 1/0,03 \times (1,732 d^2) \times (0,0025^{1/2}) \times (0,5 d)^{2/3}$$

$$d^{8/3} = 1,1584$$

$$d = 1,058 \text{ m}$$

$$A = 1,732 d^2$$

$$= 1,732 \times 1,058^2$$

$$= 1,938 \text{ m}$$

Selanjutnya nilai d yang diperoleh disubstitusikan ke dalam persamaan b yang telah diperoleh diatas, maka akan diperoleh nilai lebar dasar saluran (b) sebagai berikut:

$$b = 1,15 \times d$$

$$= 1,15 \times 1,058$$

$$= 1,216 \text{ m}$$

Nilai x dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$X = 15\% \times d$$

$$= 15\% \times 1,058$$

$$= 0,158 \text{ m}$$

Nilai kedalaman saluran (h) dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$h = d + x$$

$$= 1,058 \text{ m} + 0,158 \text{ m}$$

$$= 1,216 \text{ m}$$

Nilai lebar permukaan saluran (B) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$B = b + (2m \times h)$$

$$= 1,216 \text{ m} + (2 \times 0,58 \times 1,216 \text{ m})$$

$$= 2,626 \text{ m}$$

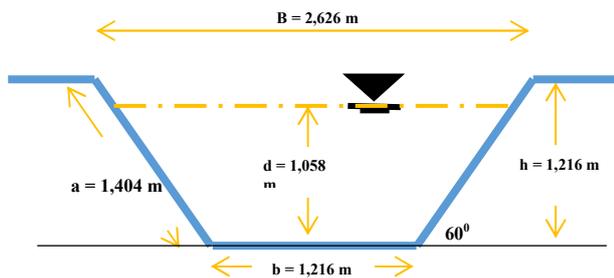
Nilai penampang sisi saluran dari dasar ke permukaan (a) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$a = h/\sin\alpha$$

$$= 1,216 \text{ m}/\sin 60$$

$$= 1,404 \text{ m}$$

Bentuk dan ukuran dimensi saluran terbuka di *front* penambangan yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Dimensi Saluran Terbuka di *Front* Penambangan

2. Saluran Terbuka di *Settling pond*

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

$$0,107 \times 3 = 1/0,03 \times (1,732 d^2) \times (0,0025^{1/2}) \times (0,5 d)^{2/3}$$

$$0,321 = 1/0,03 \times (1,732 d^2) \times (0,0025^{1/2}) \times (0,5 d)^{2/3}$$

$$d^{8/3} = 0,1759$$

$$d = 0,520 \text{ m}$$

$$A = 1,732 d^2$$

$$= 1,732 \times 0,520^2$$

$$= 0,468 \text{ m}^2$$

Selanjutnya nilai d yang diperoleh disubstitusikan ke dalam persamaan b yang telah diperoleh diatas, maka akan diperoleh nilai lebar dasar saluran (b) sebagai berikut:

$$b = 1,15 \times d$$

$$= 1,15 \times 0,520 \text{ m}$$

$$= 0,598 \text{ m}$$

Nilai x dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$x = 15\% \times d$$

$$= 15\% \times 0,520 \text{ m}$$

$$= 0,078 \text{ m}$$

Nilai kedalaman saluran (h) dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$h = d + x$$

$$= 0,520 \text{ m} + 0,078 \text{ m}$$

$$= 0,598 \text{ m}$$

Nilai lebar permukaan saluran (B) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$B = b + (2m \times h)$$

$$= 0,598 \text{ m} + (2 \times 0,58 \times 0,598 \text{ m})$$

$$= 1,291 \text{ m}$$

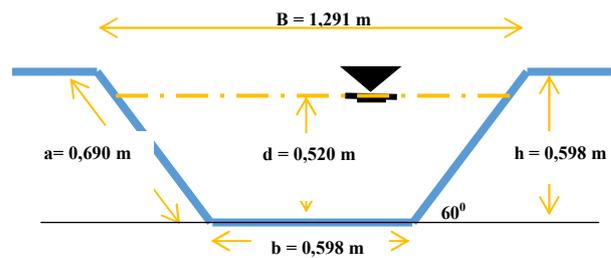
Nilai penampang sisi saluran dari dasar ke permukaan (a) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$a = h/\sin \alpha$$

$$= 0,598 \text{ m}/\sin 60$$

$$= 0,690 \text{ m}$$

Bentuk dan ukuran dimensi saluran terbuka di *settling pond* yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 6 berikut



Gambar 6. Dimensi Saluran Terbuka di *Settlingpond*

4.11 Perencanaan Kolam Pengendapan Lumpur

4.11.1 Perhitungan Persen Solid

Untuk menghitung berapa persen *solid* air hasil pemompaan, dibutuhkan data TSS (*Total Suspended Solid*). Dimana nilai TSS pada bulan Agustus 2017 adalah sebesar 170 mg/liter, dengan pH, Fe dan Mn air yang sudah memenuhi ambang batas yang diizinkan.

$$\text{Residu tersuspensi} = \text{TSS} \times \text{Debit Pemompaan}$$

$$= 170 \text{ gr/m}^3 \times 0,321 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 54,57 \text{ gr/detik}$$

Diketahui ρ partikel padatan adalah 1.730 kg/m^3 , maka volume padatan yang masuk adalah

$$\text{Volume padatan yang masuk (Vpn)} = \frac{54,57 \text{ gr/detik}}{1.730.000 \text{ gr/m}^3}$$

$$= 0,000031 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Sehingga persentase padatan yang masuk terhadap total air dan padatan adalah:

$$\% \text{ Solid} = \frac{0,000031 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,321 \text{ m}^3/\text{detik}} \times 100\% = 0,0096\%$$

$$\% \text{ Air} = 100\% - 0,0096\% = 99,9904\%$$

Berdasarkan data perhitungan persen *solid* padatan 0,0096% dan persen air 99,9904% dengan volume padatan $0,000031 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Maka kecepatan pengendapan partikel (V_t) adalah:

$$V_t = \frac{9,8 \times (0,0000625)^2 \times (1.730 - 1.000)}{18 \times 0,000801}$$

$$V_t = 0,001938 \text{ m/detik}$$

4.11.2 Perhitungan Dimensi Kolam Pengendapan Lumpur

Bentuk kolam pengendapan yang direncanakan yaitu berbentuk persegi panjang dan berbelok-belok yang bertujuan untuk memperpanjang aliran air agar waktu yang dibutuhkan untuk mengendapkan material padatan lebih lama dan pengendapan material padatan yang terjadi lebih banyak.

Agar pengendapan maksimal, maka penulis mengasumsikan untuk membuat dimensi kolam pengendapan mempertimbangkan debit pemompaan selama 1 *shift* kerja, total debit pemompaan adalah $0,321 \text{ m}^3/\text{detik}$, jadi selama 9 jam kerja maka debit pemompaan adalah $10.400,4 \text{ m}^3/\text{hari}$. Jadi volume

kolam pengendapan yang akan dibuat adalah 10.400,4 m³.

Ukuran dimensi kolam pengendapan yang dibuat juga harus mempertimbangkan spesifikasi alat gali yang akan beroperasi dalam perawatan kolam, alat yang digunakan adalah PC 200 LC-8 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Kapasitas bucket	= 0,8 m ³
Kemampuan kedalaman penggalian	= 6,62 m
Jangkauan mendatar maksimum	= 9,875 m
Lebar alat	= 4 m

Tabel 6. Dimensi Kolam Pengendapan

No	Komponen Kolam Pengendapan	Ukuran
1	Lebar atas kolam	25 meter
2	Lebar bawah kolam	23 meter
3	Panjang atas kolam	112,5 meter
4	Panjang bawah kolam	110,5 meter
5	Lebar atas penyekat	5 meter
6	Lebar bawah penyekat	7 meter
7	Panjang atas penyekat	23 meter
8	Panjang bawah penyekat	23 meter
9	Banyak kompartemen	5
10	Lebar atas masing-masing kompartemen	18,5 meter
11	Lebar bawah masing-masing kompartemen	16,5 meter
12	Banyak penyekat	4
13	Kedalaman kolam	5 meter
14	Kapasitas seluruh kompartemen	10.400,4 m ³
15	Kapasitas tiap kompartemen	2.080,08 m ³

4.11.3 Perhitungan Persentase Pengendapan

Waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap adalah:

$$t_v = \frac{h}{v} = \frac{5 \text{ m}}{0,001938 \text{ m/s}} = 2.579,98 \text{ detik} = 42,99 \text{ menit}$$

Waktu yang dibutuhkan material untuk keluar dari kolam pengendapan (th). Partikel-partikel padatan dapat mengendap dengan baik jika $t_v < t_h$. Kecepatan air dalam kolam adalah :

$$Vh = \frac{Q}{A} = \left(\frac{L1+L2}{2} \right) \times h = \left(\frac{18,5\text{m} + 16,5\text{m}}{2} \right) \times 5 \text{ m} = 87,5 \text{ m}^2$$

$$Vh = \frac{0,321 \text{ m}^3/\text{detik}}{87,5 \text{ m}^2} = 0,00366 \text{ m/detik}$$

Sehingga t_h (waktu yang dibutuhkan air dan material tersuspensi keluar dari kolam pengendapan) dapat dicari dengan rumus:

$$t_h = \frac{P}{v_h}$$

P adalah Panjang aliran dalam kolam pengendapan. Dimana panjang aliran dianggap sama dengan sisi lebar kolam ditambah dengan lebar sekat. Nilai P untuk setiap kompartemennya berbeda sehingga waktu yang dibutuhkan material untuk keluar dari kolam pengendapan juga berbeda. Kolam pengendapan rencana memiliki 5 kompartemen dengan ukuran 25 m x 18,5 m x 5 m.

Kapasitas 1 kompartemen

$$V = \frac{(25 \times 18,5) + (23 \times 16,5)}{2} \times 5 = 2105 \text{ m}^3$$

Berikut adalah nilai P untuk setiap kompartemen:

$$P_{\text{kompartemen 1}} = 25 \text{ m}$$

$$P_{\text{kompartemen 2}} = 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} = 55 \text{ m}$$

$$P_{\text{kompartemen 3}} = 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} = 85 \text{ m}$$

$$P_{\text{kompartemen 4}} = 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} = 115 \text{ m}$$

$$P_{\text{kompartemen 5}} = 25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 25 \text{ m} = 145 \text{ m}$$

Maka waktu yang dibutuhkan material endapan untuk keluar dari kolam pengendapan (t_h) sejauh P_{total} adalah:

$$t_{h1} = \frac{P_1}{v_h} = \frac{25 \text{ m}}{0,00366 \text{ m/detik}} = 6.830,6 \text{ detik} = 113,84 \text{ menit}$$

$$t_{h2} = \frac{P_2}{v_h} = \frac{55 \text{ m}}{0,00366 \text{ m/detik}} = 15.027 \text{ detik} = 250,45 \text{ menit}$$

$$t_{h3} = \frac{P_3}{v_h} = \frac{85 \text{ m}}{0,00366 \text{ m/detik}} = 23.224,04 \text{ detik} = 387,06 \text{ menit}$$

$$t_{h4} = \frac{P_4}{v_h} = \frac{115 \text{ m}}{0,00366 \text{ m/detik}} = 31.420,48 \text{ detik} = 523,67 \text{ menit}$$

$$t_{h5} = \frac{P_5}{v_h} = \frac{145 \text{ m}}{0,00366 \text{ m/detik}} = 39.617,48 \text{ detik} = 660,29 \text{ menit}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan $t_v < t_h$. Dengan membandingkan waktu pengendapan dan waktu keluarnya air dan material dapat digunakan rumor berikut untuk mengetahui persentase pengendapan, yaitu:

$$\% \text{ Pengendapan} = \frac{t_h}{(t_h + t_v)} \times 100\%$$

% Pengendapan Kompartemen 1

$$= \frac{113,84}{(113,84 + 42,99)} \times 100\% = 72,58 \%$$

% Pengendapan Kompartemen 2

$$= \frac{250,45}{(250,45 + 42,99)} \times 100\% = 85,34 \%$$

% Pengendapan Kompartemen 3

$$= \frac{387,06}{(387,06 + 42,99)} \times 100\% = 90 \%$$

% Pengendapan Kompartemen 4

$$= \frac{523,67}{(523,67 + 42,99)} \times 100\% = 92,41 \%$$

% Pengendapan Kompartemen 5

$$= \frac{660,29}{(660,29 + 42,99)} \times 100\% = 93,88 \%$$

Setelah % pengendapan masing-masing kompartemen diketahui, selanjutnya dapat dihitung padatan yang masuk pada setiap kompartemen dengan

debit 0,321 m³/detik dan dengan volume padatan masuk (Vpm) sebesar 0,000031 m³/detik adalah:

$$\begin{aligned}
 K1 &= 0,000031 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 18 \text{ jam} \times 72,58\% \\
 &= 1,457 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 K2 &= 0,000031 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 18 \text{ jam} \times 12,76\% \\
 &= 0,256 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 K3 &= 0,000031 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 18 \text{ jam} \times 4,66\% \\
 &= 0,093 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 K4 &= 0,000031 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 18 \text{ jam} \times 2,41\% \\
 &= 0,048 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 K5 &= 0,000031 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3.600 \times 18 \text{ jam} \times 1,36\% \\
 &= 0,029 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis data yang dilakukan pada pit penambangan Blok. PT Minemex Indonesia, air yang masuk ke dalam tambang berasal dari air tanah dan air limpasan. Perhitungan debit air tanah dilakukan dengan melihat tinggi elevasi permukaan *sump* dan luas bukaan *sump* pada saat pompa dimatikan dalam keadaan cuaca cerah (tidak hujan), ketika diamati pada selang waktu 3 jam terjadinya perbedaan elevasi muka air akibat dari adanya zona akuifer. Pengukuran debit air tanah dilakukan menggunakan alat *total stations*. Dari analisis data yang telah dilakukan diperoleh debit air tanah sebesar 0,01731 m³/detik.

Limpasan adalah semua air yang mengalir akibat hujan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah tanpa memperhatikan asal atau jalan yang di tempuh sebelum mencapai saluran. Perhitungan debit air limpasan dengan metode rasional sehingga diperoleh besar debit limpasan sebesar 1,2092 m³/detik. Maka dari hasil analisis tersebut didapatkan besar debit total sebesar 1,22651 m³/detik m³/detik.

Berdasarkan hasil perhitungan debit total air yang masuk ke dalam tambang, maka volume air yang masuk ke *sump* dalam jangka waktu 1 hari adalah 105.970,4 m³/hari. Sementara itu pompa yang bekerja hanya mampu mengeluarkan air dalam satu hari sebesar 20.800,8 m³/hari. Maka dari itu diperlukan kajian mengenai pengendalian air yang masuk ke dalam tambang seperti pembuatan saluran yang baik, rancangan *sump* dengan ukuran dimensi yang sesuai, serta jumlah pompa yang harus dibutuhkan untuk menampung volume maksimum sebesar 85.169,6 m³, perlu melakukan perubahan dimensi *sump* sebagai berikut:

1. Panjang permukaan *sump* = 123 m
2. Lebar permukaan *sump* = 123 m
3. Panjang dasar *sump* = 116 m
4. Lebar dasar *sump* = 116 m
5. Kedalaman = 6 m

Untuk ukuran dimensi *settling pond* agar pengendapannya maksimal, maka penulis mengasumsikan untuk membuat dimensi kolam pengendapan mempertimbangkan debit pemompaan selama 1 *shift* kerja (9 jam). Total debit 3 pompa adalah 0,321 m³/detik. jadi selama 9 jam kerja maka debit pemompaan sebesar 10.400,4 m³. Maka didapatkan ukuran dimensi *settling pond* sebagai berikut.

1. Lebar atas kolam = 25 m
2. Lebar bawah kolam = 23 m
3. Panjang atas kolam = 112,5 m
4. Panjang bawah kolam = 110,5 m
5. Lebar atas penyekat = 5 m
6. Lebar bawah penyekat = 7 m
7. Panjang penyekat = 23 m
8. Banyak kompartmen = 5
9. Lebar atas masing-masing compartment = 18,5
10. Lebar bawah masing-masing kompartmen = 16,5 m
11. Banyak penyekat = 4
12. Kedalaman kolam = 5 m
13. Kapasitas seluruh kompartmen = 10.400,4 m³
14. Kapasitas tiap kompartmen = 2.080,08 m³

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Debit limpasan yang masuk ke *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi adalah sebesar 1,2092 m³/detik.
2. Debit air tanah yang masuk ke *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi adalah sebesar 0,05194 m³/detik.
3. Ukuran dimensi saluran terbuka yang dibuat pada *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi adalah sebagai berikut:
 - 1) Ukuran dimensi saluran terbuka di *front* penambangan

Panjang sisi luar saluran (a)	= 1,404 m
Lebar dasar aluran (b)	= 1,216 m
Lebar permukaan (B)	= 2,626 m
Kedalaman (h)	= 1,216 m
Kedalaman aliran (d)	= 1,058 m
Kemiringan dasar saluran	= 0,25 %
 - 2) Ukuran dimensi saluran terbuka di *settling pond*

Panjang sisi luar saluran (a)	= 0,690 m
Lebar dasar aluran (b)	= 0,598 m
Lebar permukaan (B)	= 1,291 m
Kedalaman (h)	= 0,598 m
Kedalaman aliran (d)	= 0,520 m
Kemiringan dasar saluran	= 0,25 %
4. Ukuran dimensi *sump* dan *settling pond* yang dibuat pada *front* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi adalah sebagai berikut:
 - 1) Ukuran dimensi *sump*

Panjang permukaan <i>sump</i>	= 123 m
Lebar permukaan <i>sump</i>	= 123 m
Panjang dasar <i>sump</i>	= 116 m
Lebar dasar <i>sump</i>	= 116 m
Kedalaman <i>sump</i>	= 6 m

- 2) Ukuran dimensi *settling pond*
- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| Lebar atas <i>settling pond</i> | = 25 m |
| Lebar bawah <i>settling pond</i> | = 23 m |
| Panjang atas <i>settling pond</i> | = 112,5 m |
| Panjang bawah <i>settling pond</i> | = 110,5 m |
| Lebar atas penyekat | = 5 m |
| Lebar bawah penyekat | = 7 m |
| Panjang penyekat | = 23 m |
| Banyak kompartemen | = 5 |
| Lebar atas tiap kompartemen | = 18,5 m |
| Lebar bawah tiap kompartemen | = 16,5 m |
| Banyak penyekat | = 4 |
| Kedalaman kolam | = 5 m |
| Kapasitas seluruh kompartemen | = 10,400,4 m ³ |
| Kapasitas tiap kompartemen | = 2.080,08 m ³ |
5. Jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air dari *sump* menuju *settling pond* pada *pit* penambangan Batubara Blok B PT. Minemex Indonesia Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi berjumlah 16 pompa.

1.2 Saran

- Memperhatikan kemiringan lantai bukaan tambang pada saat penggalian sehingga air dapat mengalir dengan baik menuju *sump* sehingga tidak terjadi genangan air pada lantai bukaan tambang.
- Perlu adanya perhatian dalam perawatan saluran terbuka di *front* penambangan secara teratur, agar saluran terbuka dapat berfungsi dengan baik dan optimal.
- Perlu adanya perencanaan untuk jadwal perawatan *settling pond* secara berkala agar *settling pond* dapat berfungsi secara optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Gautama, Rudi Sayoga. *Sistem Penyaliran Tambang*. Jurusan Teknik Pertambangan FTM :ITB (1999)
- [2] Triatmodjo, Bambang. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset (2008)
- [3] Soemarto, CD. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga (1995)
- [4] Endriantho, Muhammad, dkk. *Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Batubara*. J. Geosains. **Vol. 09 No. 01**. Hlm. 29-39 (2013)
- [5] Syarifuddin, dkk. *Kajian Sistem Penyaliran Pada Tambang Terbuka Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan*. J. Geomine. **Vol. 5 No. 2**. Hlm. 84-89 (2017)
- [6] Saismana, Uyu, dkk. *Kajian Teknis Sistem Penyaliran dan Penirisan Tambang Pit 4 PT. Dewa, Tbk site Asam-asam, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan*. J. Sains & Teknologi. Hlm 33-38 (2016)
- [7] Saputra, M. Rully, dkk. *Kajian Teknis Sistem Penirisan pada Pit Tambang Batubara PT. Dizamatra Powerindo, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan*. J. Teknologi Pertambangan. (2014)
- [8] Yusran, Khairudin, dkk. *Sistim Penyaliran Tambang Pit AB Eks Pada PT. Andalan Mining Jobsite Kaltim Prma Coal Sangatta kalimantan Timur*. J. Geomine. **Vol. 03**. Hlm. 170-176 (2015)
- [9] Nauli, Fitri, dkk. *Rancangan Sistem Penyaliran pada Tambang Batubara Tambang Air Laya Tanjung Enim Sumatera Selatan*. Yogyakarta: J. Program Magister Teknik Pertambangan UPN (2014)
- [10] Titi sariwati, Indun, dkk. *Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Pit 3000 Block 5 South Block PT. Trubaindo Coal Mining, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur*. J. Teknologi Pertambangan. **Vol. 1 No. 1**. Hlm. 52-57 (2015)
- [11] Suhendra, Yudha Krisna, dkk. *Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Terbuka di PT Megumy Inti Anugerah Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur*. J. Teknologi Pertambangan. **Vol. 1 No. 1**. Hlm. 29-32 (2015)
- [12] Setiawan, Endra, dkk. *Kajian Teknis sistem Penyaliran pada Tambang Batubara di Pit Small PT. Pipit Mutiara Jaya Site Bebatu, Provinsi Kalimantan Utara*. J. Teknologi Pertambangan. **Vol. 1 No. 2**. Hlm 09-13 (2016)
- [13] Sularso, Tahara. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Pradnya Pramita (2000)
- [14] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113. *Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara* (2013)
- [15] Hartono. *Diktat Kuliah Sistem Penyaliran Tambang*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta (2013)
- [16] Isnaeni, dkk. *Kajian Teknis Dimensi Kolam Pengendapan di Settling Pond 71 C PT. Perkasa Inakakerta, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur*. J. Teknologi Pertambangan. **Vol. 1 No. 2**. Hlm 32-37 (2016)
- [17] Nawawi, Hadari, dkk. *Penelitian Terapan*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press (2001)