

# SKRIPSI

## RANCANGAN DESAIN *SETTLING POND* PADA *SITE SELATAN* TAMBANG BATUGAMPING PT. PERTAMA MINA SUTRA PERKASA KABUPATEN JEMBER PROVINSI JAWA TIMUR

Disusun dan diajukan oleh:

ARRORA SWESTYA LIKANTO  
D111 19 1017



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### RANCANGAN DESAIN *SETTLING POND* PADA *SITE* SELATAN TAMBANG BATUGAMPING PT. PERTAMA MINA SUTRA PERKASA KABUPATEN JEMBER PROVINSI JAWA TIMUR

Disusun dan diajukan oleh

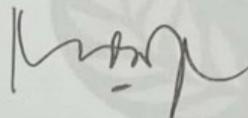
**ARRORA SWESTYA LIKANTO**  
NIM D111 19 1017

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 30 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

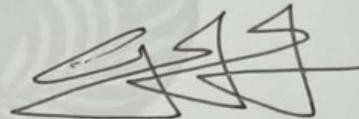
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

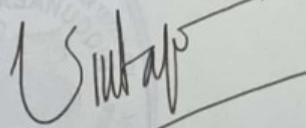


Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT  
NIP 19680718 199309 1 001



Ir. Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT  
NIP 19951126 202204 3 001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virianti Anas, ST., MT  
NIP 19701005 200801 2 026



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : ARRORA SWESTYA LIKANTO  
NIM : D111 19 1017  
Program Studi : TEKNIK PERTAMBANGAN  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

RANCANGAN DESAIN *SETTLING POND* PADA *SITE* SELATAN  
TAMBANG BATUGAMPING PT. PERTAMA MINA SUTRA PERKASA  
KABUPATEN JEMBER PROVINSI JAWA TIMUR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 30 Agustus 2024



Arrora Swesty Likanto



## ABSTRAK

**ARRORA SWESTYA LIKANTO.** *Rancangan Desain Settling Pond pada Site Selatan Tambang Batugamping PT. Pertama Mina Sutra Perkasa Kabupaten Jember Provinsi Jawa Timur* (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT dan Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT)

PT. Pertama Mina Sutra Perkasa adalah perusahaan penambangan batugamping yang menggunakan metode tambang terbuka dengan sistem *quarry* yang sering menghadapi masalah genangan air saat hujan dan dapat mengganggu produktivitas tambang terlebih jika bukaan tambang semakin besar akibat kemajuan tambang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem penyaliran tambang dengan mempertimbangkan aspek-aspek yang mengganggu aktivitas penambangan, menganalisis luasan daerah tangkapan hujan terhadap kemajuan tambang, menganalisis debit air limpasan, dan merancang desain saluran terbuka serta *settling pond*. Proses pengolahan dilakukan menggunakan *software* ArcGIS 10.4.1 dan metode analitis. Curah hujan maksimum dihitung menggunakan distribusi Gumbel, intensitas hujan menggunakan metode Mononobe, evapotranspirasi menggunakan metode Thornthwaite, dan debit air limpasan menggunakan metode Rasional. Saluran terbuka dihitung dengan rumus Manning dan *settling pond* dengan rumus *frustum of cone*. Hasil yang diperoleh dari analisis sistem penyaliran tambang adalah luas daerah tangkapan hujan dibagi menjadi empat sub-daerah berdasarkan jumlah saluran terbuka. Sub-daerah pertama seluas 36.305 m<sup>2</sup> dengan debit air limpasan sebesar 1,47 m<sup>3</sup>/detik dari nilai intensitas hujan sebesar 161,47 mm/jam dan evapotranspirasi sebesar 2,69 m<sup>3</sup>/hari, sub-daerah kedua seluas 37.586 m<sup>2</sup> dengan debit air limpasan sebesar 0,87 m<sup>3</sup>/detik dari nilai intensitas hujan sebesar 92,41 mm/jam dan evapotranspirasi sebesar 4,86 m<sup>3</sup>/hari, sub-daerah ketiga seluas 35.721 m<sup>2</sup> dengan debit air limpasan sebesar 0,62 m<sup>3</sup>/detik dari nilai intensitas hujan sebesar 77,94 mm/jam dan evapotranspirasi sebesar 5,47 m<sup>3</sup>/hari, dan sub-daerah keempat 106.188 m<sup>2</sup> dengan debit air limpasan sebesar 1,48 m<sup>3</sup>/detik dari nilai intensitas hujan sebesar 62,66 mm/jam dan evapotranspirasi sebesar 20,25 m<sup>3</sup>/hari. Volume saluran terbuka juga diperoleh dengan sub-daerah pertama sebesar 1,29 m/s, sub-daerah kedua sebesar 1,13 m/s, sub-daerah ketiga sebesar 1,04 m/s, dan sub-daerah keempat sebesar 1,29 m/s. Selain itu, terdapat tiga *settling pond*, masing-masing volume penampungan yakni pada *settling pond* 1 sebesar 406,5 m<sup>3</sup>, pada *settling pond* 2 sebesar 558,71 m<sup>3</sup>, dan pada *settling pond* 3 sebesar 2167,96 m<sup>3</sup>, dengan kecepatan pengendapan sebesar 0,16 m/s.

Kata Kunci: Penyaliran Tambang, Saluran Terbuka, Kolam Pengendapan.



## ABSTRACT

**ARRORA SWESTYA LIKANTO.** *Settling Pond Design Plan at South Site of The Limestone Mine PT. Pertama Mina Sutra Perkasa, Jember Regency, East Java Province (supervised by Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT and Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT)*

*PT. Pertama Mina Sutra Perkasa is a limestone mining company that uses an open-pit mining method with a quarry system, which often faces waterlogging problems during rain that can disrupt mining productivity, especially if the mine openings become larger due to mining progress. This research aims to analyze the mine drainage system by considering aspects that disrupt mining activities, analyzing the rain catchment area relative to mining progress, analyzing runoff water discharge, and designing open channels and settling ponds. The data processing was done using ArcGIS 10.4.1 software and analytical methods. Maximum rainfall was calculated using the Gumbel distribution, rain intensity using the Mononobe method, evapotranspiration using the Thornthwaite method, and runoff water discharge using the Rational method. Open channels were calculated using the Manning formula and settling ponds with the frustum of cone formula. The results obtained from this mine drainage system analysis is the rain catchment area is divided into four sub-areas based on the number of open channels. The first sub-area with a catchment area of 36,305 m<sup>2</sup> has a runoff discharge of 1.47 m<sup>3</sup>/s from a rain intensity of 161.47 mm/hr and evapotranspiration of 2.69 m<sup>3</sup>/d. The second sub-area with a catchment area of 37,586 m<sup>2</sup> has a runoff discharge of 0.87 m<sup>3</sup>/s from a rain intensity of 92.41 mm/hr and evapotranspiration of 4.86 m<sup>3</sup>/d. The third sub-area with a catchment area of 35,721 m<sup>2</sup> has a runoff discharge of 0.62 m<sup>3</sup>/s from a rain intensity of 77.94 mm/hr and evapotranspiration of 5.47 m<sup>3</sup>/d. The fourth sub-area with a catchment area of 106,188 m<sup>2</sup> has a runoff discharge of 1.48 m<sup>3</sup>/s from a rain intensity of 62.66 mm/hr and evapotranspiration of 20.25 m<sup>3</sup>/d. The open channel volume was also obtained with the first sub-area at 1.29 m/s, the second sub-area at 1.13 m/s, the third sub-area at 1.04 m/s, and the fourth sub-area at 1.29 m/s. Additionally, there are three designed settling ponds to collect and process runoff before it is discharged out of the mining area. Each settling pond has dimensions adjusted to the water volume, settling pond 1 at 406.5 m<sup>3</sup>, settling pond 2 at 558.71 m<sup>3</sup>, and settling pond 3 at 2167.96 m<sup>3</sup>. These settling ponds function to settle solid particles carried by the water flow, based on a settling velocity of 0,16 m/s.*

*Keywords: Mine Drainage, Drainage, Settling Pond*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Perancangan .....	4
1.4 Manfaat Perancangan .....	4
1.5 Asumsi perancangan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sistem Tambang Terbuka ( <i>Surface Mining</i> ).....	6
2.2 Siklus Hidrologi .....	9
2.3 Sistem Penyaliran Tambang.....	13
2.4 Faktor-Faktor Penting dalam Sistem Penyaliran Tambang .....	16
2.5 Saluran Terbuka (Paritan) .....	27
2.6 Kolam Pengendapan ( <i>Settling Pond</i> ) .....	30
BAB 3 METODE PERANCANGAN.....	35
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	35
3.2 Variabel Penelitian .....	36
3.3 Alat Penelitian.....	37
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	37
3.5 Sumber Data.....	39
3.6 Analisis dan Pengolahan Data.....	45
3.7 Bagan Alir Penelitian .....	56
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Kondisi Umum Daerah Pengamatan.....	57
4.2 Kondisi Aktual Pengelolaan Air Tambang .....	60
4.3 Penentuan Arah dan Panjang Aliran Air.....	62
4.4 Penentuan Daerah Tangkapan Hujan ( <i>Catchment Area</i> ) .....	63
4.5 Analisis Distribusi Ukuran Partikel .....	67
4.6 Pengolahan Data Hidrologi.....	71
4.7 Rancangan Saluran Terbuka .....	80
4.8 Rancangan Kolam Pengendapan ( <i>Settling Pond</i> ) .....	85
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	95
5.1 Kesimpulan .....	95
5.2 Saran .....	95
DAFTAR PUSTAKA .....	97



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus hidrologi (Hasmar, 2012). .....	9
Gambar 2 Distribusi air selama terjadi hujan (Gautama, 2022).....	23
Gambar 3 Metode kolam terbuka (Powers, 1992). .....	27
Gambar 4 Metode paritan (Powers, 1992). .....	28
Gambar 5 Zona pada kolam pengendapan (Prodjosumarto, 1994).....	32
Gambar 6 Peta IUP PT. Pertama Mina Sutra Perkasa. ....	36
Gambar 7 Penampang saluran terbuka.....	51
Gambar 8 Bagan alir penelitian.....	56
Gambar 9 Peta geologi daerah pengamatan (dimodifikasi dari PT. PMSP, 2021).....	58
Gambar 10 Saluran terbuka pada jalan tambang.....	61
Gambar 11 Arah aliran dan panjang aliran daerah penelitian.....	62
Gambar 12 Luas daerah tangkapan hujan saluran terbuka 1.....	65
Gambar 13 Luas daerah tangkapan hujan saluran terbuka 2.....	65
Gambar 14 Luas daerah tangkapan hujan saluran terbuka 3.....	66
Gambar 15 Luas daerah tangkapan hujan saluran terbuka 4.....	66
Gambar 16 Berat awal sampel. ....	68
Gambar 17 Pemisahan sampel berdasarkan ukuran <i>mesh</i> .....	68
Gambar 18 Penimbangan masing-masing ukuran <i>mesh</i> . ....	69
Gambar 19 Penampang saluran terbuka 1.....	81
Gambar 20 Penampang saluran terbuka 2.....	82
Gambar 21 Penampang saluran terbuka 3.....	83
Gambar 22 Penampang saluran terbuka 4.....	85
Gambar 23 Penampang kolam pengendapan 1. ....	87
Gambar 24 Penampang kolam pengendapan 2. ....	88
Gambar 25 Penampang kolam pengendapan 3. ....	90



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Periode ulang hujan rencana.....	19
Tabel 2 Hubungan keadaan curah hujan dengan intensitas curah hujan dalam satuan menit.....	21
Tabel 3 Hubungan keadaan curah hujan dengan intensitas curah hujan dalam satuan jam dan hari.....	21
Tabel 4 Nilai koefisien limpasan.....	25
Tabel 5 Koefisien kekasaran Manning.....	30
Tabel 6 Kecepatan pengendapan pada kondisi ideal.....	33
Tabel 7 Data rata-rata curah hujan per hari (mm).....	40
Tabel 8 Data suhu udara (°C).....	42
Tabel 9 Suhu udara rata-rata.....	43
Tabel 10 Data panjang aliran dan elevasi.....	63
Tabel 11 Daerah tangkapan hujan saluran terbuka.....	67
Tabel 12 Distribusi ukuran partikel.....	70
Tabel 13 Perbandingan awal dan akhir distribusi ukuran partikel.....	70
Tabel 14 Evapotranspirasi.....	77
Tabel 15 Hasil data hidrologi.....	79
Tabel 16 Dimensi saluran terbuka 1.....	80
Tabel 17 Dimensi saluran terbuka 2.....	82
Tabel 18 Dimensi saluran terbuka 3.....	83
Tabel 19 Dimensi saluran terbuka 4.....	84
Tabel 20 Dimensi kolam pengendapan 1.....	86
Tabel 21 Dimensi kolam pengendapan 2.....	88
Tabel 22 Dimensi kolam pengendapan 3.....	89



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
PT	Perseroan Terbatas
PMSP	Pertama Mina Sutra Perkasa
IUP	Izin Usaha Pertambangan
K3	Keamanan, Kesehatan, dan Keselamatan Kerja
WMO	<i>World Organization Meteorological</i>
KEPMEN ESDM	Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya
TDS	Mineral
TSS	<i>Total Dissolved Solid</i>
Ha	<i>Total Suspended Solid</i>
pH	Hektar
BT	<i>Potential Hydrogen</i>
LS	Bujur Timur
N	Lintang Selatan
S	<i>North</i>
E	<i>South</i>
W	<i>East</i>
NW	<i>West</i>
SE	<i>North West</i>
NE	<i>South East</i>
SW	<i>North East</i>
NNW	<i>South West</i>
SSE	<i>North Northwest</i>
	<i>South Southeast</i>



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta <i>Site Plan</i> PT. Pertama Mina Sutra Perkasa.....	101
Lampiran 2 Faktor Koreksi Thornthwaite (Nugroho, 1989).....	103
Lampiran 3 Peta Arah Aliran, Panjang Aliran dan Daerah Tangkapan Hujan ...	104
Lampiran 4 Kartu Konsultasi Tugas Akhir.....	106



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam, yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad صلى الله عليه وسلم, yang telah membawa cahaya petunjuk bagi umat manusia. Puji dan syukur kepada Allah تعالى سبحانه وتعالى yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul Rancangan Desain *Settling Pond* pada Site Selatan PT. Pertama Mina Sutra Perkasa Kabupaten Jember Provinsi Jawa Timur dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai syarat mendapatkan gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kendala yang dihadapi selama proses penulisan laporan tugas akhir ini. Namun, berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, semua kendala tersebut dapat terlewati. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan bantuan selama penulisan laporan tugas akhir ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada bapak Ekhwan Khuzaeri selaku Manager PT. Pertama Mina Sutra Perkasa yang telah menyetujui dilaksanakannya pengambilan data tugas akhir yang bertempat di PT. Pertama Mina Sutra Perkasa yang berlangsung selama dua bulan dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat melihat langsung kegiatan operasional pada tambang batugamping. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada selaku pembimbing di lapangan atas bimbingan dan arahan yang diberikan dari, bapak Muhammad Haqqi, bapak Agus Al-Ansori, bapak Aris Dwi Satrio, bapak Diki Ari Setiawan yang telah turut serta membantu dalam penyelesaian laporan ini.

Terima kasih kepada bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, ST., MT., selaku kepala Laboratorium Lingkungan Tambang serta dosen pembimbing utama tugas akhir yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan laporan ini. Serta kepada bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T selaku pembimbing pendamping tugas akhir yang juga turut serta memberi dorongan dan mengarahkan penulis. Terima kasih atas bimbingan dan pengarahan selama masa studi penulis yang telah menjadi landasan bagi pemahaman penulis tentang ilmu pengetahuan dan peningkatan kemampuan akademik penulis. Terima kasih juga atas segala saran, masukan, dan nasehat yang membangun kepada penulis.

Tidak lupa, terima kasih kepada teman-teman seperjuangan, IGNEOUZ19 atas dukungan, kerjasama, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada keluarga dan sahabat yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis.



Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada orang tua, saudara, serta pihak-pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas dukungan baik materil maupun moril kepada penulis selama proses penyusunan laporan ini. Dukungan yang diberikan menjadi pendorong utama bagi penulis untuk terus menghadapi tantangan dan menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Yang paling penting, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis bapak Pujiyanto dan Ibu Lilik Trisnawati serta kakak dan adik penulis. Dukungan, cinta, dan doa yang diberikan tidak akan dapat tergantikan oleh apapun. Terima kasih karena menjadi sumber kekuatan yang selalu ada dalam setiap langkah perjalanan hidup penulis.

Demikian laporan ini dibuat, penulis meminta maaf apabila ada salah kata dalam penulisan laporan ini, karena penulis sadar kesempurnaan hanya milik Sang Pencipta dan kesalahan berasal dari diri penulis. Semoga ke depannya laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Semoga laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan dan praktik di bidang pertambangan. Semoga hasil penelitian ini dapat menjadi landasan bagi penelitian-penelitian selanjutnya dan bermanfaat bagi pengembangan keilmuan di masa yang akan datang. Semoga Allah سبحانه وتعالى senantiasa memberkahi dan melindungi semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis. Semoga langkah kita selalu berada di jalan yang lurus dan membawa manfaat bagi diri sendiri dan orang lain.

Gowa, September 2024

Arrora Swesty Likanto



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Penambangan merupakan suatu kegiatan mengambil sumberdaya alam berupa bahan galian untuk dimanfaatkan. Salah satu contoh bahan galian yang banyak ditambang adalah batugamping. PT. Pertama Mina Sutra Perkasa (PMSP) merupakan perusahaan yang memproduksi komoditas batugamping. PT. PMSP merupakan perusahaan pertambangan yang melakukan kegiatan penggalian dan pengolahan batugamping dan terletak di Gunung Sadeng, Desa Grenden, Kecamatan Puger, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur. Penambangan pada perusahaan ini menggunakan metode tambang terbuka (*surface mining*) dengan sistem *quarry*.

Metode tambang terbuka dengan sistem *quarry* merupakan jenis penambangan yang bersentuhan langsung dengan lingkungan luar sehingga ketika terjadi hujan, air akan masuk langsung ke area penambangan. Air dalam jumlah yang banyak adalah permasalahan besar dalam kegiatan penambangan. Jumlah air yang besar akan berpengaruh terhadap produktivitas baik secara langsung maupun tidak langsung. Air hujan yang jatuh dapat menggenang di sekitar area penambangan dan akan mengalir menuju jalan tambang maupun area di sekitar penambangan yang memiliki elevasi yang rendah.

Pengelolaan air dalam suatu tambang terbuka dapat dilakukan dengan penyaliran tambang (*mine drainage*). Penyaliran tambang merupakan suatu usaha yang diterapkan pada daerah penambangan untuk mencegah air masuk ke area tambang. Upaya ini untuk mencegah gangguan pada aktivitas penambangan akibat air yang berlebih terutama pada musim hujan, juga untuk memperlambat kerusakan alat-alat mekanis agar dapat bertahan untuk waktu yang lama (Suwandhi, 2004). Selain itu, melalui upaya penanganan air yang masuk ke area penambangan yakni dengan sistem penyaliran air tambang, maka diharapkan permasalahan yang timbul

ak terkelolanya air yang masuk ke area penambangan dapat dihindari dan disisir, sehingga aktifitas penambangan tetap dapat dilakukan walaupun cuaca ekstrim (Endriantho & Ramli, 2013).



Selain permasalahan air, aliran tambang juga sering mengandung total padatan terlarut dan tersuspensi (sedimen) dalam jumlah tinggi (Mansilha, et al., 2021). Sedimen terjadi karena adanya proses erosi yang disebabkan oleh air yang dalam keadaan normal di lapangan meliputi tahapan, yaitu tahap pemecahan agregat batuan ke dalam bentuk butir-butir kecil, tahap pemindahan atau pengangkutan butir-butir kecil, dan tahap pengendapan partikel-partikel di tempat yang lebih rendah atau pada kolam pengendapan (*settling pond*) (Fajryanti & Moralista, 2021). *Settling pond* digunakan pada kegiatan penambangan untuk mengatur kualitas air maupun sedimen yang ikut pada aliran tambang. Seluruh proses pengelolaan aliran ini perlu dinilai secara sistematis sebelum opsi biaya yang paling hemat dapat diidentifikasi (Subagiyo, Wahyudin, & Sitorus, 2021).

Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan sistem penyaliran yang tepat dan sesuai untuk diterapkan di PT. PMSP, terutama dengan mempertimbangkan curah hujan yang tinggi, agar pada saat curah hujan tinggi area penambangan tidak tergenang air dan kegiatan penambangan tetap dapat dilakukan sesuai dengan yang direncanakan. Salah satunya yaitu dengan menganalisa debit air limpasan yang masuk ke area penambangan melalui saluran terbuka untuk selanjutnya dialirkan ke *settling pond* yang akan di desain sesuai dengan debit air untuk menampung air dan mengolah sedimen.

## 1.2 Rumusan Masalah

Ada tiga wilayah IUP pada PT. PMSP yakni *site* utara, *site* selatan, dan *site* timur. *Site* selatan merupakan salah satu wilayah IUP pada PT. PMSP yang menjadi pusat kegiatan penambangan batugamping. Hal tersebut disebabkan karena kualitas batugamping pada *site* ini lebih bagus dibandingkan kualitas batugamping pada *site* utara dikarenakan kandungan air di dalam batugamping pada *site* ini sangat rendah berkisar antara 0,2% - 1,15%. Semakin rendah kadar air yang terkandung didalamnya maka semakin bagus kualitas dari batugamping tersebut. Serta diketahui terdapat kandungan CaO yang tinggi yakni berada di angka 54,58% -



Semakin tinggi kadar CaO yang terkandung dalam batugamping maka bagus kualitas batugamping tersebut. Pemintaan dan konsumsi gamping juga banyak digunakan untuk keperluan industri seperti industri bahan

bangunan yakni sebagai campuran semen, pemutih, kerajinan tangan, pakan ternak, dan pupuk. Kebutuhan batugamping terbesar di daerah Jember dan sekitarnya adalah untuk memenuhi kebutuhan material industri maupun untuk kegiatan pembangunan dan konstruksi. Pemasaran batugamping selain untuk suplai lokal dan domestik, juga akan dikirim ke beberapa kota di Indonesia (PT. PMSP, 2019). Berdasarkan kualitas batugamping dan permintaan pasar maka kegiatan penambangan lebih banyak dilakukan pada *site* ini. Akibat dari kegiatan penambangan pada *site* selatan maka daerah bukaan tambang menjadi lebih besar dan mengalami kemajuan yang signifikan.

Perluasan bukaan tambang membuat sistem penyaliran tambang tidak dapat berfungsi maksimal apabila air limpasan tidak dikelola dengan baik dan akan menyebabkan terhambatnya kegiatan operasional penambangan dan kerja alat pada *site* ini. Berdasarkan pengamatan di lapangan ketika saat terjadi hujan pada *site* selatan terjadi genangan air pada elevasi terendah di area penambangan yang mengalir melalui jalan tambang. Air limpasan tersebut dapat mengganggu kegiatan penambangan dimana alat gali dan alat angkut mengalami kendala dan tidak dapat menuju ke area penambangan dengan elevasi yang lebih tinggi sehingga kegiatan penambangan terhambat. Air menyebabkan jalan tambang menjadi licin sehingga menyulitkan bagi alat angkut untuk melakukan perputaran (*maneuver*) dan menanjak pada proses pengangkutan.

Adanya kemajuan tambang menyebabkan semakin luas pula area yang terganggu yang juga berakibat pada semakin luasnya daerah tangkapan hujan sehingga dikhawatirkan daerah resapan yang ada tidak dapat menampung debit air limpasan ketika terjadi curah hujan yang tinggi dan dapat terjadi peluapan air ke area penambangan. Permasalahan lain yang diperoleh yaitu belum adanya rancangan saluran terbuka dan *settling pond* dalam pengelolaan air untuk menampung air limpasan agar tidak mengganggu kegiatan operasional penambangan.

Air limpasan telah menjadi permasalahan umum yang dialami perusahaan dan harus segera ditangani sesuai prosedur dan ketentuan yang berlaku. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dan pembuatan rancangan *settling pond* yang akan difungsikan untuk mengatur air limpasan yang ada pada daerah



penambangan ketika terjadi hujan. Kajian teknis terhadap sistem penyaliran tambang yang mencakup perhitungan debit air tambang yang masuk ke bukaan tambang sebagai dasar dalam penentuan saluran terbuka juga perlu dilakukan agar dapat menentukan dimensi dari rancangan *settling pond* nantinya agar operasi penambangan dapat berkelanjutan.

### 1.3 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis sistem penyaliran tambang dengan mempertimbangkan aspek-aspek penyaliran yang menyebabkan terganggunya aktifitas penambangan.
2. Menganalisis luasan daerah tangkapan hujan terhadap kemajuan tambang.
3. Menganalisis debit air limpasan yang masuk ke area penambangan.
4. Merancang desain saluran terbuka dan *settling pond* di area penambangan.

### 1.4 Manfaat Perancangan

Penelitian ini akan menghasilkan rancangan desain saluran terbuka dan *settling pond* yang sesuai dengan mempertimbangkan debit air limpasan yang akan masuk ke dalam area penambangan. Hasil dari penelitian tersebut diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan berupa bahan referensi dasar dan pedoman atau masukan serta sebagai acuan bagi perusahaan dalam menangani permasalahan yang berkaitan dengan sistem penyaliran tambang khususnya dalam penanganan air limpasan yang terjadi pada *site* selatan PT. PMSP sehingga dapat menunjang kelancaran proses penambangan batugamping dan merancang sistem penyaliran tambang berfungsi secara maksimal pada rencana kemajuan penambangan batugamping. Manfaat lain dari penelitian ini adalah sebagai bahan referensi dan pedoman bagi penelitian dengan topik yang sama mengenai rancangan sistem penyaliran tambang maupun rancangan pembuatan saluran terbuka dan *settling pond* pada tambang batugamping.



#### msi perancangan

ini memiliki batasan lingkup pembahasan yakni sistem penyaliran pada *site* selatan PT. PMSP sebagai upaya agar air limpasan yang terdapat

pada area penambangan dan mengganggu kegiatan penambangan dapat dialirkan secara teratur melalui saluran terbuka. Aliran yang melalui saluran terbuka kemudian akan terakumulasi di *settling pond* untuk selanjutnya dilakukan pengendapan pada partikel sedimen yang ikut terbawa. Air limpasan yang terdiri dari air dan sedimen diharapkan tidak mengalir pada jalan tambang yang akan menghambat kegiatan penambangan. Sistem penyaliran tambang yang dibahas pada penelitian ini dengan tanpa mempertimbangkan dari segi nilai ekonomis ataupun biaya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Tambang Terbuka (*Surface Mining*)

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009, Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batuan yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta kegiatan pasca tambang. Keterkaitan pertambangan dengan kehidupan modern dapat dilihat dari fakta bahwa sekitar 20% sumber daya alam berasal dari industri pertambangan dunia. Produk utama pertambangan meliputi bijih logam dan non-logam, serta bahan konstruksi ataupun pupuk (Ramani, 2012).

Pemilihan sistem penambangan yang akan diterapkan ditentukan oleh beberapa faktor, namun pertimbangan utamanya adalah bentuk dan sebaran cadangan bahan tambang dan posisinya dari permukaan tanah. Tetapi pada umumnya suatu bentuk cadangan hanya memberikan peluang untuk penerapan satu sistem penambangan saja (Gautama, 2022). Setelah deposit mineral ditemukan, digambarkan, dan dievaluasi, metode penambangan yang paling tepat dipilih berdasarkan pertimbangan teknis, ekonomi, dan lingkungan yang dapat dipertanggungjawabkan. Langkah pertama dalam memilih metode penambangan yang paling tepat adalah membandingkan efisiensi ekonomi ekstraksi deposit mineral dengan metode yang akan dipilih (Yamatomi & Okubo, 2016). Jika deposit mineral terletak dekat dengan permukaan, dan berukuran cukup besar, sistem tambang terbuka dapat menjadi metode yang paling sesuai untuk mengekstraksi bijih tersebut (Whyte & Cumming, 2007).

Produksi industri pertambangan sering dinyatakan dalam metode sistem tambang terbuka (*surface mining*) dan sistem tambang bawah tanah (*underground mining*). Sistem tambang terbuka merupakan metode penambangan yang segala



atau aktivitas penambangan dilakukan di atas atau relatif dekat dengan permukaan bumi dengan daerah kerja yang berhubungan langsung dengan udara. Sistem tambang terbuka adalah metode eksploitasi di mana mineral ditambang

dari permukaan dan menjadi metode penambangan yang paling umum digunakan di dunia. Lebih dari 80% material yang ditangani di industri pertambangan menggunakan metode tambang terbuka. Penambangan terbuka akan menjadi sumber utama sebagian besar komoditas pertambangan di masa mendatang (Ramani, 2012).

Tambang terbuka mempunyai sedikit keterbatasan dalam pengoperasian mesin besar dengan kapasitas tinggi, sedangkan tambang bawah tanah sangat dibatasi oleh ruang kerja yang sempit dan kondisi batuan. Selain itu, waktu perjalanan yang diperlukan di tambang terbuka lebih sedikit dibandingkan tambang bawah tanah yang memakan waktu lebih lama karena biasanya jarak yang jauh dari pintu masuk tambang ke *stope* dan *front* penambangan. Dengan demikian, lebih banyak jam kerja bersih tersedia di tambang terbuka, sehingga menghasilkan tingkat produksi yang lebih tinggi. Penambangan terbuka umumnya dianggap memberikan pemulihan, kontrol kemiringan, fleksibilitas, keselamatan, dan lingkungan kerja yang lebih baik dibandingkan penambangan bawah tanah (Yamatomi & Okubo, 2016).

Penambangan terbuka dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan metode ekstraksi yakni ekstraksi mekanis dan ekstraksi air. Metode ekstraksi mekanis menggunakan proses mekanis di lingkungan kering untuk memulihkan mineral, yang mencakup metode penambangan spesifik seperti *open pit mining*, *open cut mining*, *open cast mining*, *strip mine*, *alluvial mine*, *auger mining*, dan *quarry* (Yamatomi & Okubo, 2016).

Sekitar 75% permukaan tanah dunia merupakan batuan sedimen, dan sekitar 20% dari luas tersebut terdiri dari batugamping. Batugamping tidak memiliki nilai jual yang tinggi seperti material logam karena cadangannya yang sangat besar namun cadangan ini selalu diperlukan. Material lain dapat menggantikan batugamping untuk beberapa kegunaan, seperti agregat, namun, untuk penggunaan yang memerlukan sifat kimia tertentu, penggantian tidak dapat dilakukan (Kennedy, 1990).



Indonesia termasuk ke dalam salah satu negara yang memiliki banyak batugamping. Luas pegunungan batugamping di Indonesia yakni 5,4 juta hektar atau 8,2% dari luas daratannya. Gunung batugamping

merupakan bentang alam yang memiliki nilai ekonomi penting bagi lingkungan seperti sumber daya air, keanekaragaman hayati dan pariwisata. Permintaan batugamping semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan semakin membaiknya pembangunan di Indonesia. Oleh karena itu, penambangan batugamping di berbagai wilayah pegunungan batugamping di Indonesia semakin marak (Ramani, 2012).

Batugamping sebagian besar dihasilkan melalui penambangan terbuka dan penambangan bawah tanah, namun beberapa endapan modern, seperti cangkang dan oolit, dihasilkan melalui pengerukan bawah air. Tonase batu terbesar dihasilkan oleh penambangan terbuka karena umumnya lebih murah dibandingkan penambangan bawah tanah, namun alasan resiko keselamatan penambangan bawah tanah dapat menjadi alasan kuat (Kennedy, 1990). Sebagian besar penambangan batugamping yang dilakukan di Indonesia menggunakan metode penambangan terbuka (*surface mining*). Namun penambangan terbuka mempengaruhi topografi dan bawah permukaan serta mempunyai implikasi terhadap penggunaan lahan tambang secara produktif terutama pada saat ini ketika terdapat banyak permintaan untuk permukaan tanah yang layak huni untuk penggunaan lain (Ramani, 2012). Banyak tambang terbuka dan tambang batugamping di Indonesia yang lokasinya berdekatan ke daerah padat penduduk, telah mengubah pertambangan sistem dari pengeboran dan peledakan konvensional menjadi pemecahan batu mekanis (Kramadibrata, et al., 2015).

Sistem tambang terbuka dilakukan dengan teknik yang berbeda-beda, tergantung pada produknya yang berupa batu pecah atau batu dimensi. Rangkaian kegiatan penambangan pada tambang terbuka diawali dengan pekerjaan pembersihan lahan dari vegetasi (*land clearing*), pengupasan tanah bagian atas yang kaya akan unsur hara maupun unsur-unsur lain yang dapat menunjang tumbuhan (Gautama, 2022). Pemindahan lapisan penutup dilakukan untuk mendapatkan akses ke batu yang akan digali. Jika lapisan penutup terdiri dari tanah atau material yang tidak terkonsolidasi, maka dapat digunakan *buldoser*, *dragline*, atau *scraper*,

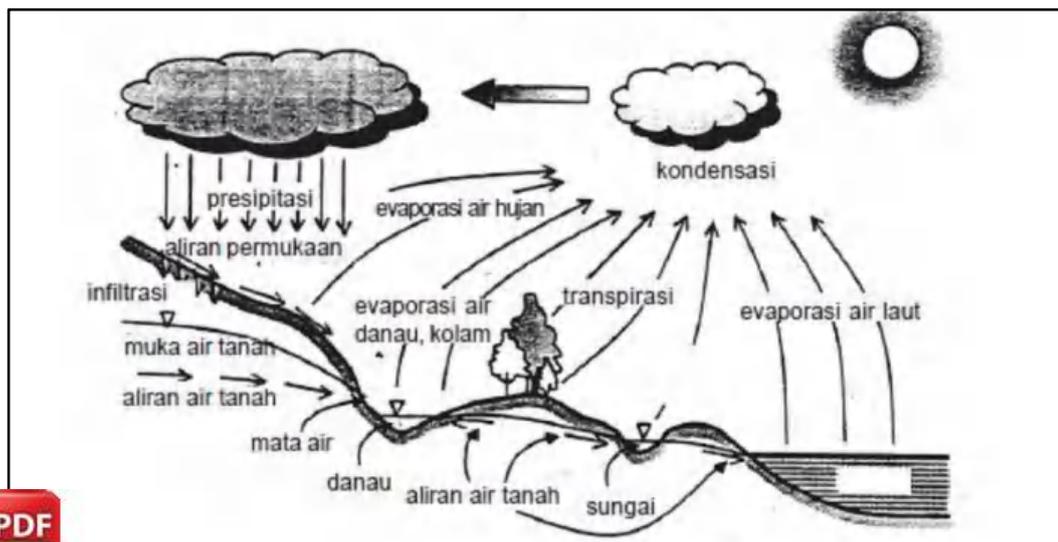
jika material tersebut terkonsolidasi, peledakan diperlukan untuk pemindahan. Peledakan yang dilakukan pada penghancuran batuan tidak hanya untuk membebaskan batuan tetapi juga untuk membentuk



tahap pertama fragmentasi batu. Material tersebut kemudian diangkut, umumnya dengan *loader*, truk, dan *belt conveyor* ke pabrik pemrosesan untuk penghancuran akhir, pengukuran, dan penimbunan (Kennedy, 1990). Kegiatan penghancuran batuan dan penimbunan tentu akan mengubah bentang alam di area tambang secara dinamis. Operasi penambangan terbuka juga sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama hujan. Keberadaan lapisan air tanah juga ditemukan dalam beberapa kasus (Gautama, 2022).

## 2.2 Siklus Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang memiliki pokok pembahasan tentang air dalam segala bentuk, baik berupa cairan, padatan, maupun gas yang terdapat di atas maupun di bawah permukaan bumi. Ilmu hidrologi juga membahas lebih terperinci mengenai air seperti daur ulang air, perilaku air, penyebaran air, sifat fisik dan kimia air, serta hubungannya dengan unsur-unsur yang terkandung dalam air. Siklus hidrologi termasuk ke dalam salah satu pembahasan dalam ilmu hidrologi. Siklus hidrologi atau biasa juga disebut sebagai siklus air adalah suatu proses perjalanan atau perputaran air di alam yang berkaitan, berlanjut, dan berurutan sehingga membentuk suatu daur ulang atau siklus tertutup aliran air yang terjadi terus menerus, dimana air yang berasal dari atmosfer bergerak turun menuju ke bumi dan masuk ke dalam tanah kemudian selanjutnya kembali ke atmosfer lagi.



Gambar 1 Siklus hidrologi (Hasmar, 2012).



Siklus hidrologi berfungsi untuk menjaga keseimbangan air di alam. Siklus hidrologi menjelaskan berbagai hubungan antara aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) di suatu wilayah selama waktu tertentu. Proses ini disebut neraca air atau keseimbangan air (Sosrodarsono & Takeda, 2003). Kuantitas dan kualitas air dalam siklus hidrologi sangat dipengaruhi oleh tata guna lahan, morfologi, geologi, dan iklim. Batas daerah aliran sungai juga sangat penting untuk menghitung komponen perhitungan siklus hidrologi dan kondisi akuifer (Devy, 2018). Adanya siklus hidrologi menyebabkan air tersedia di seluruh permukaan bumi. Siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 1.

Siklus hidrologi atau daur air merupakan proses perputaran air di alam yang tidak pernah berhenti dari bumi ke udara atau atmosfer dan akhirnya kembali mengalir ke bumi. Terdapat beberapa proses yang saling terkait dalam siklus hidrologi dan perlu diperhatikan dalam merencanakan pengelolaan air, yaitu proses penguapan (evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi), kondensasi, jatuhnya air (presipitasi), aliran permukaan (*surface runoff*), aliran air tanah (*subsurface runoff*), infiltrasi, dan perkolasi. Pemanasan air di permukaan bumi oleh sinar matahari menjadi kunci dalam siklus hidrologi agar dapat berjalan secara terus menerus dan teratur. Air yang terkena panas dari sinar matahari akan mengalami penguapan sehingga mengakibatkan uap air terangkat ke udara atau atmosfer. Proses penguapan yang terjadi pada air yang terdapat di permukaan tanah atau menggenang seperti sungai, danau, laut, kolam, maupun genangan akibat hujan merupakan proses evaporasi. Sementara transpirasi merupakan proses penguapan pada tumbuhan melalui bawah daun atau disebut stomata. Apabila kedua proses penguapan ini terjadi secara bersamaan maka disebut sebagai proses evapotranspirasi. Uap air yang terangkat ke udara atau atmosfer akan mengalami proses kondensasi atau proses perubahan uap air yang dalam keadaan jenuh menjadi titik-titik air yang akan berkumpul dan membentuk awan. Akibat tiupan angin, awan akan terus mengalami pergerakan. Awan akan menampung banyak uap air yang menguap selama pergerakan terjadi. Ketika awan sudah tidak mampu lagi

ing uap air yang naik dan adanya tabrakan antara butir-butir air akibat angin, sehingga jika sudah mencapai titik jenuhnya, awan akan kan uap air yang tertampung ke permukaan bumi (Chakti & Rusli, 2021).



Air yang jatuh ke permukaan bumi merupakan bagian dari proses presipitasi. Proses presipitasi dapat terjadi dalam bentuk air hujan, butiran es, salju, kabut ataupun embun. Beberapa presipitasi dapat menguap kembali ke udara atau atmosfer atau langsung jatuh ke permukaan kemudian terserap oleh tanaman sebelum mencapai tanah. Air yang jatuh mengenai permukaan tanah akan menimbulkan aliran permukaan (*surface run off*). Aliran permukaan akan bergerak mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Aliran permukaan dapat membentuk aliran yang kecil maupun besar seperti sungai dan akan mengalir sampai ke laut. Semakin landai lahan dan sedikitnya pori-pori tanah menyebabkan semakin besarnya aliran permukaan. Aliran permukaan yang tidak mengalir akan mengisi cekungan di permukaan tanah dan terkumpul membentuk genangan seperti danau, waduk, atau rawa. Ketika aliran permukaan bergerak melewati daerah dengan pori-pori tanah atau batuan yang besar maka air akan mengalami proses infiltrasi yakni air akan teresap masuk ke dalam tanah akibat dari gaya gravitasi. Air yang meresap di bawah permukaan tanah sebagian akan mengalir terus ke dalam tanah atau disebut dengan perkolasi. Proses perkolasi akan terjadi hingga air masuk ke daerah jenuh (*saturated zone*) atau bergerak mengisi air tanah hingga mencapai muka air tanah. Aliran dari permukaan dapat bergerak secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah. Aliran yang berada di bawah permukaan akan terus bergerak hingga air tersebut memasuki kembali keluar ke permukaan menjadi aliran permukaan. Aliran air tanah mengalir melalui akuifer dan kemudian masuk ke sungai atau langsung merembes ke laut dengan perlahan-lahan. Air yang masuk ke dalam tanah dapat menjadi sumber atau cadangan air bersih untuk makhluk hidup, bahkan kebanyakan air tanah langsung diserap oleh tumbuhan yang kemudian akan kembali mengalami transpirasi. Ketika seluruh proses pada siklus hidrologi telah dijalani maka akan berulang kembali secara kontinu karena jumlah air di bumi relatif tetap, yang berubah adalah wujud dan tempatnya.

Air pada siklus hidrologi dapat terbagi menjadi tiga berdasarkan sistem terjadinya proses hidrologi yaitu air atmosfer (*atmospheric water*), air permukaan (*surface water*), dan air bawah permukaan (*subsurface water*). Air atmosfer dimulai di dunia proses evaporasi atau transpirasi ke udara yang kemudian akan mengalami kondensasi hingga proses presipitasi atau jatuh sebagai hujan, butiran es, salju,



ataupun embun. Air permukaan merupakan air yang berada di permukaan bumi baik yang mengalir maupun yang tergenang seperti sungai, danau, waduk, rawa, kolam hingga air yang mengalir dan berkumpul di laut. Salju dan es di daratan adalah air dalam simpanan sementara (Wilson, 1993). Air bawah permukaan adalah air yang alirannya tidak terkena langsung dengan lingkungan luar seperti air tanah, air rembesan, sungai bawah tanah, dan sejenisnya sebelum air tersebut keluar menjadi air permukaan (Aisy, 2023).

Benar adanya urutan peristiwa siklus seperti itu, tetapi tidak sesederhana yang dijelaskan. Pertama, siklus dapat membuat jalan pintas pada berbagai tahap, seperti curahan langsung di lautan, danau, atau jalan air. Kedua, tidak dapat dipastikan waktu yang digunakan dalam siklus tersebut adalah sama. Pada waktu ada kekeringan, siklus akan terlihat terhenti sama sekali, dan selama banjir tampak siklus berlangsung terus menerus. Ketiga, siklus bekerja dengan penyinaran matahari yang berbeda-beda sepanjang tahun, bergantung pada garis lintang dan musim. Oleh karena itu, kehebatan dan kekerapan siklus bergantung pada geografi dan iklim. Akhirnya, berbagai bagian dari siklus air menjadi cukup rumit dan hanya sedikit yang mampu dikendalikan (Wilson, 1993).

Beberapa faktor memengaruhi banyaknya jumlah air yang masuk ke dalam tambang seperti infiltrasi, limpasan permukaan (*run off*) dan evapotranspirasi. Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan ke dalam tanah yang 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 limpasan permukaan (*surface run off*). Hal ini tergantung dengan besar kecilnya debit limpasan yang terjadi terhadap kapasitas infiltrasi. Jika daerah pengaliran itu terdiri dari daerah dengan lapisan tanah yang mempunyai permeabilitas rendah (lapisan *impermeable* seperti *clay* dan *silt*), maka limpasan permukaannya akan lebih besar dari kapasitas infiltrasi (Girsang, Ibrahim, & Mukiat, 2017). Air dalam jumlah yang besar merupakan permasalahan besar dalam pekerjaan penambangan, baik secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh

produktivitas baik pada tambang terbuka (*open mining*) maupun tambang nah (*underground mining*). Sumber air di terdapat lokasi penambangan



dapat berasal dari air tanah atau air permukaan (Khusairi, Kasim, & Yunasril, 2018).

Hidrologi tambang adalah bagian dari hidrologi yang terkait dengan kegiatan pertambangan dan relevan dengan penyaliran tambang. Informasi tentang kondisi hidrologi merupakan data penting dalam merancang dan merencanakan sistem penyaliran tambang yang diperlukan pada suatu tambang, baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah, termasuk merancang sarana penyaliran tambang yang diperlukan. Pengelolaan air tambang yang baik didasarkan pada pemahaman akan sumber air tambang. Pemahaman tentang hubungan antara berbagai komponen hidrologi juga penting dalam menganalisis dampak kegiatan penambangan terhadap sumber daya air dan lingkungan hidup. Upaya-upaya yang perlu dilakukan dapat dirancang agar dampak yang bersifat negatif dapat dihilangkan atau paling tidak diminimalkan (Gautama, 2022).

### 2.3 Sistem Penyaliran Tambang

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di khatulistiwa yang dipengaruhi oleh iklim monsun dan dicirikan oleh curah hujan yang relatif tinggi yang berkisar antara 1600 mm sampai 5000 mm per tahun. Keberadaan air pada kegiatan penambangan merupakan hal yang umum ditemukan pada berbagai lokasi kegiatan pertambangan, terutama pada daerah tropis yang memiliki curah hujan yang tinggi serta pada daerah tambang yang memiliki lapisan pembawa air tanah (akuifer). Air pada daerah tambang dan terpengaruh oleh atau terkait dengan kegiatan penambangan disebut dengan air tambang. Air limpasan hujan merupakan sumber air tambang utama pada semua tambang terbuka di Indonesia. Permasalahan air tambang yang dihadapi oleh masing-masing tambang tentu akan berbeda dan sangat bergantung dari bentuk, geometri, dan luas area tambang. Beberapa permasalahan air tambang pada operasi tambang terbuka yaitu (Gautama, 2022):

1. Keberadaan air tambang di permukaan kerja penambangan akan mempengaruhi efisiensi dan produktivitas peralatan dan pekerja. Bahkan ialah air tambang yang berlebih, misalnya pada saat curah hujan yang sangat tinggi atau luahan dari sumber air permukaan (banjir), dapat



menyebabkan tergenangnya permukaan kerja pada area penambangan yang pada beberapa kasus kondisi ekstrim menenggelamkan peralatan tambang.

2. Tambang dengan kondisi batuan yang relatif lunak, keberadaan air tambang membuat jalan angkut menjadi basah dan jika tidak dirawat dengan baik akan berlumpur dan tergenang air sehingga berpotensi dapat menimbulkan bahaya tergelincir bagi alat angkut yang melewatinya. Kondisi tersebut menyebabkan dihentikannya operasi penambangan untuk sementara pada beberapa tambang yang mengakibatkan kehilangan waktu kerja karena hujan cukup signifikan.
3. Keberadaan air pada lereng tambang dapat memicu terjadinya ketidakstabilan lereng atau kelongsoran, baik melalui peningkatan kejenuhan atau tekanan hidrostatik air pada rekahan. Jika dipilih opsi pelandaian lereng untuk mengantisipasi risiko tersebut akan meningkatkan jumlah batuan penutup yang harus dipindahkan atau meningkatkan nisbah pengupasan.
4. Keberadaan air tambang juga akan mempengaruhi kinerja peledakan, baik terkait dengan jenis bahan peledak yang digunakan, misalnya bahan peledak yang tahan air atau pola peledakan yang disesuaikan maupun efek dari peledakan yang diharapkan, misalnya terkait dengan fragmentasi batuan.
5. Air tambang yang bersifat asam akan menyebabkan korosi pada peralatan yang dapat mengurangi umur kerja dari peralatan yang dapat mengurangi umur kerja dari peralatan atau meningkatkan biaya perawatan.

Sistem penyaliran tambang bertujuan untuk mencegah, mengeringkan, dan mengeluarkan air yang berlebihan yang masuk ke lokasi penambangan. Upaya ini bertujuan untuk menghindari adanya gangguan dalam operasi penambangan karena jumlah air yang berlebihan, terutama selama musim hujan. Selain itu, sistem penyaliran tambang bertujuan untuk menciptakan kondisi kerja yang aman dan mengurangi kerusakan alat, sehingga alat mekanis yang digunakan dapat berumur panjang. *Mine drainage* dan *mine dewatering* biasa dilakukan untuk penanganan masalah air dalam suatu tambang terbuka. *Mine drainage* merupakan upaya untuk pencegahan aliran air yang akan masuk atau mengalir ke area penambangan,

a *mine dewatering* atau biasa disebut sistem penyaliran langsung (ional) adalah upaya untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah ngan (Haq & Rusli, 2022).



Sistem penyaliran tambang yang baik adalah suatu sistem pengaliran air tambang yang dapat mengarahkan aliran air tersebut agar tidak mengganggu kegiatan penambangan (Fitri, Paramita, Lewier, & Firaz, 2015). Analisa sistem penyaliran tambang didasari oleh banyaknya debit air yang masuk dan keluar dari area tambang. Kegiatan penyaliran tambang memiliki tujuan utama yaitu mengendalikan air yang masuk ke area penambangan menuju ke area yang tidak mengganggu kegiatan penambangan, sehingga dapat mendukung kelancaran produksi penambangan (Putri, 2020). Cakupan penyaliran tambang tidak saja terbatas pada area penambangan saja tetapi juga bisa meluas ke area sekitarnya karena efek penyaliran tambang dapat meliputi daerah tangkapan air permukaan dan air tanah regional (Gautama, 2022).

Kegiatan penambangan terbuka yang dicirikan oleh kegiatan penggalian dan penimbunan pasti akan mengubah bentang alam, yang berarti juga mengubah pola aliran air alami (*natural drainage pattern*) di sekitar wilayah penambangan tersebut yang selanjutnya dapat memengaruhi aliran sungai utama. Kondisi tambang terbuka sangatlah dinamis, berubah setiap saat karena operasi penggalian, baik penggalian batuan penutup maupun batuan target, dan penimbunan terutama batuan penutup. Tantangan yang dihadapi adalah memperhitungkan kondisi ekstrim yang berpeluang akan terjadi selama masa operasi sarana penyaliran berdasarkan data historis yang terbatas sementara kebutuhan akan sarana penyaliran sudah muncul sejak kegiatan penggalian dimulai (Gautama, 2022).

Penyaliran tambang merupakan komponen penting dari tambang terbuka yang berkaitan dengan kondisi kerja, keselamatan, produktivitas, dan lingkungan (Marwan, Widodo, & Jafar, 2016). Sistem penambangan dengan metode tambang terbuka yang seluruh aktifitasnya berhubungan langsung dengan air yang berasal dari air hujan dan air limpasan. Intensitas, durasi dan distribusi curah hujan merupakan faktor meteorologi yang mempengaruhi air limpasan (Putri, 2020). Intensitas curah hujan besarnya tergantung pada lamanya curah hujan yang terjadi di suatu wilayah, apabila dalam suatu wilayah memiliki curah hujan yang tinggi

am pelaksanaan penambangan juga akan terganggu dan diperlukannya  
luran untuk mengendalikan air.



Metode tambang terbuka (*surface mining*) menyebabkan terbentuknya cekungan yang luas, yang sangat mungkin menjadi daerah tampungan air dari air limpasan permukaan dan air tanah. Air limpasan permukaan dapat menggenangi lantai dasar dalam kondisi cuaca ekstrim, seperti curah hujan yang tinggi, menyebabkan area penambangan berlumpur, yang merugikan bagi perusahaan. Material yang dibawa oleh air limpasan jika tidak ditangani dengan baik maka akan berdampak terhadap kerusakan alat dan ekosistem sekitar (Putri, 2020).

Tambang terbuka yang dicirikan oleh luasnya area lahan yang terbuka, baik pada area penggalian maupun penimbunan batuan penutup, erosi lahan terutama oleh air limpasan hujan tidak dapat dielakkan. Erosi tidak saja terjadi di lahan terbuka seperti lereng penggalian atau penimbunan tetapi juga pada paritan yang mengalirkan air tambang menuju sarana pengelolaan air tambang. Akibatnya kandungan padatan di dalam air tambang akan meningkat, baik padatan yang tersuspensi (*total suspended solids*, TSS) maupun padatan yang larut (*total dissolved solids*, TDS), yang harus dikendalikan pada konsentrasi di bawah baku mutu lingkungan jika akan dilepas ke lingkungan (Gautama, 2022).

Perencanaan sistem penyaliran yang baik meliputi saluran terbuka yang mampu mengalirkan air limpasan, serta *settling pond* yang mampu menampung endapan sedimen sebelum dialirkan ke sungai terdekat (Girsang, Ibrahim, & Mukiat, 2017). Tuntutan akan pengelolaan lingkungan hidup yang baik dari aktivitas penambangan mewajibkan setiap usaha pertambangan untuk mengelola air yang mengalir atau keluar dari wilayah kerja penambangan sehingga memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku. Dengan demikian lingkup pengelolaan air tambang tidak hanya mencakup penanganan air secara kuantitas tetapi harus pula mengendalikan kualitas air tambang yang akan dialirkan ke badan perairan alami (Gautama, 2022).

## 2.4 Faktor-Faktor Penting dalam Sistem Penyaliran Tambang

Sistem penyaliran tambang (*mine drainage*) adalah upaya yang berkaitan dengan air tambang sehingga gangguan yang ditimbulkannya terhadap aktivitas penambangan dapat diminimalkan. Sistem penyaliran tambang (*water management*) didefinisikan sebagai sistem untuk mengelola air



tambang mencakup aspek identifikasi dan kuantifikasi sumber air tambang, optimasi manajemen air tambang, perencanaan dan perancangan sarana dan prasarana penyaliran serta pengendalian dampak lingkungan akibat air tambang yang ditimbulkan akibat curah hujan yang tinggi (Gautama, 2022). Terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pembuatan sistem penyaliran tambang yang optimal, yaitu:

#### 2.4.1 Rencana penambangan

Rencana penambangan sangat berkaitan dengan sistem penyaliran tambang yang akan diterapkan. Sistem penyaliran tambang yang akan dibuat harus disesuaikan dengan rancangan penambangan, sehingga dapat mendukung kegiatan penambangan yang akan dilakukan. Rancangan sistem penyaliran tambang merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dari rancangan penambangan secara keseluruhan (Riswan & Aditya, 2012). Rancangan penambangan yang berkaitan dalam pengelolaan sistem penyaliran tambang salah satunya adalah peta kemajuan tambang.

Pengelolaan sistem penyaliran tambang yang efektif sangat bergantung pada rancangan penambangan yang terencana dengan baik. Salah satunya adalah peta kemajuan tambang yang berfungsi sebagai alat pemantau perkembangan dan perencanaan operasi penambangan secara komprehensif. Peta kemajuan tambang adalah alat yang digunakan untuk mencatat, menganalisis, dan merencanakan operasi penambangan. Peta ini mencakup berbagai informasi penting mengenai perkembangan dan status aktivitas penambangan pada suatu periode tertentu. Peta kemajuan tambang menyediakan data visual yang detail mengenai area penambangan, termasuk luas daerah tangkapan hujan yang sangat penting dalam pengelolaan air tambang.

Daerah tangkapan hujan, juga disebut sebagai *catchment area* adalah area sebagai tempat mengalir air hujan yang paling banyak dari daerah lebih rendah menuju titik pengaliran. Air yang jatuh ke permukaan sebagian akan meresap ke tanah (infiltrasi), sebagian lagi akan ditahan oleh tumbuhan (intersepsi), dan lagi akan mengisi liku-liku permukaan bumi dan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Daerah tangkapan hujan dapat menyebabkan air limpasan permukaan



(*run off*) mengalir ke daerah penambangan yang lebih rendah. Daerah tangkapan hujan dibatasi oleh area penambangan. Daerah tangkapan hujan yang luas mempengaruhi volume air yang harus dikelola dalam tambang, sehingga perencanaan sistem penyaliran harus mempertimbangkan saluran terbuka dan *settling pond*. Peta kemajuan tambang memungkinkan untuk menentukan lokasi optimal untuk pembuatan saluran terbuka yang dapat mengalihkan air permukaan dari area tambang aktif ke *settling pond* yang dirancang khusus untuk menampung dan mengelola air limpasan.

Peta kemajuan tambang juga memainkan peran penting dalam *monitoring real-time* kondisi tambang dan sistem penyaliran. Melalui pembaruan berkala, peta ini memungkinkan penyesuaian sistem penyaliran sesuai dengan perubahan kondisi di lapangan, seperti perubahan dalam struktur tambang atau peningkatan curah hujan yang tidak terduga. Selain itu, peta kemajuan tambang membantu dalam perencanaan jangka panjang dengan memberikan gambaran yang jelas tentang perkembangan tambang dan kebutuhan penyaliran di masa depan. Informasi ini penting untuk menyusun rencana cadangan dalam menghadapi situasi darurat seperti banjir atau kerusakan sistem penyaliran. Informasi yang disediakan oleh peta ini, termasuk luas daerah tangkapan hujan, tambang dapat merencanakan dan mengelola sistem penyaliran dengan lebih efektif, memastikan operasi penambangan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

#### 2.4.2 Curah hujan

Hujan merupakan air yang jatuh ke permukaan bumi dan merupakan uap air di atmosfer yang terkondensasi dan jatuh dalam bentuk tetesan air. Air yang masuk ke lokasi tambang sebagian besar berasal dari air hujan, sehingga sistem penyaliran tambang lebih fokus pada penanganan air permukaan. Curah hujan adalah jumlah atau volume air hujan yang jatuh pada satu satuan luas, diukur dalam milimeter, yang berarti satu liter air hujan jatuh pada luas satu meter persegi. Ada dua jenis alat pengukur curah hujan yakni manual dan otomatis. Biasanya, alat ini



kan di tempat terbuka agar air hujan tidak terhalang oleh bangunan atau lain. Semakin banyak data curah hujan maka semakin akurat jumlah hujannya. Adapun pengolahan curah hujan meliputi beberapa faktor berikut:

## 1. Periode ulang hujan

Periode ulang hujan merupakan jangka waktu suatu hujan dengan tinggi intensitas yang sama atau lebih besar kemungkinan dapat terjadi lagi. Curah hujan biasanya turun menurut pola tertentu atau biasanya turun sekaligus selama periode tertentu yang dikenal sebagai periode ulang hujan. Periode ulang hujan adalah waktu ketika hujan dengan intensitas yang sama hampir pasti akan terjadi lagi, dengan kemungkinan terjadinya satu kali dalam batas periode ulang yang ditetapkan. Salah satu pertimbangan penentuan periode ulang hujan tersebut adalah resiko yang dapat ditimbulkan bila curah hujan melebihi curah hujan rencana. Masalah kebijakan dan risiko yang perlu diambil sesuai perencanaan lebih diprioritaskan saat menetapkan periode ulang hujan. Jika data yang tersedia adalah untuk jangka waktu yang pendek tentu hasil dari analisis kurang akurat, terlebih lagi jika digunakan untuk menghitung curah hujan dengan periode ulang yang panjang. Jadi semakin panjang data hujan estimasi akan semakin akurat apalagi untuk menghitung curah hujan ekstrim yang umum dilakukan dalam perancangan sarana penyaliran tambang (Gautama, 2022). Acuan untuk menentukan periode ulang hujan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Periode ulang hujan rencana.

Kondisi	Periode Ulang Hujan (Tahun)
Daerah Terbuka	0 - 5
Sarana Tambang	2 – 5
Lereng Tambang dan Penimbunan	5 – 10
Sumuran Utama	10 – 25
Penyaliran Keliling Tambang	25
Pemindahan Aliran Sungai	100

Sumber : Sayoga, 1999.

## 2. Curah hujan rencana



Curah hujan rencana adalah jumlah air hujan yang jatuh pada satuan luas, dinyatakan dalam millimeter. Hasil analisis frekuensi data curah hujan menentukan hujan rencana ini, yang ditunjukkan dalam curah hujan selama

periode ulang tertentu. Salah satu metode dalam menganalisis data curah hujan adalah metode distribusi Gumbel. Metode yang digunakan untuk memilih curah hujan rencana adalah analisis frekuensi. Frekuensi keterlampaian atau frekuensi rencana adalah risiko yang telah diperhitungkan dan dapat diterima oleh perencana. Semakin kecil risiko keterlampaian berarti sarana penyaliran menjadi semakin besar dan akan membutuhkan biaya yang besar. Sebaliknya jika keterlampaian sering terjadi atau keterlampaian besar dapat dinilai bahwa sarana penyaliran tidak memadai sebagai sarana yang andal (Gautama, 2022).

### 3. Analisis Frekuensi

Terdapat dua cara memanfaatkan seri data dalam analisis frekuensi, yaitu seri data tahunan (*annual series*) dan seri durasi parsial (*partial duration series*). Data tahunan atau *annual series* adalah seri data yang terdiri atas satu nilai tertinggi untuk setiap tahun. Kelemahan cara ini adalah tidak dipertimbangkannya data peringkat kedua, ketiga dan seterusnya pada suatu tahun yang mungkin lebih tinggi dari nilai maksimum pada tahun tertentu. Kelemahan ini diatasi oleh seri data durasi parsial atau *partial duration series*, yang mengambil semua data yang melampaui nilai tertentu yang telah ditetapkan. Data untuk suatu periode data tertentu diurutkan berdasarkan nilai, dari yang terbesar sampai terkecil tanpa mempertimbangkan tahun berapa terjadinya. Jika dari urutan tersebut diambil sebanyak  $n$  data yang teratas dimana  $n$  adalah jumlah tahun rekaman data tersebut maka kejadian tersebut disebut lampaian tahunan (*annual exceedances*).

#### 2.4.3 Intensitas curah hujan

Penentuan intensitas curah hujan nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan air limpasan di daerah penelitian. Perhitungan intensitas curah hujan dapat dilakukan dengan metode analisa Mononobe. Perhitungan tersebut menunjukkan jumlah hujan dalam volume hujan atau tinggi hujan dalam satuan



tinggi rendahnya nilai intensitas curah hujan dapat diklasifikasikan ke beberapa tingkatan. Penentuan intensitas curah hujan juga memiliki 1 dengan derajat curah hujan yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2 Hubungan keadaan curah hujan dengan intensitas curah hujan dalam satuan menit.

Keadaan curah hujan	Intensitas curah hujan (mm/menit)		Kondisi
Hujan sangat lemah	< 0,02		Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan lemah	0.02-0.05		Tanah basah semuanya
Hujan normal	0.05-0.25		Bunyi hujan terdegar Air tergenang diseluruh permukaan dan terdengar bunyi dari genangan
Hujan deras	0.25-1.00		Hujan seperti ditumpahkan, saluran pengairan meluap

Sumber: Sayoga, 1999.

Tabel 3 Hubungan keadaan curah hujan dengan intensitas curah hujan dalam satuan jam dan hari.

Keadaan curah hujan	Intensitas curah hujan (mm)		Kondisi
	1 jam	1 hari	
	Hujan sangat ringan	< 1	
Hujan ringan	1 – 5	2 – 20	Tanah basah semuanya
Hujan normal	5 – 10	20 – 50	Bunyi hujan terdegar Air tergenang diseluruh permukaan dan terdengar bunyi dari genangan
Hujan lebat	10 – 20	50 – 100	Hujan seperti ditumpahkan, saluran pengairan meluap

Sumber: Sosrodarsono & Takeda, 2003.



Pengukuran curah hujan pada dasarnya adalah mengukur sejumlah volume yang jatuh pada suatu luas penampang tertentu (luas penampang mulut kar hujan) pada suatu periode waktu tertentu. Periode waktu pengukuran

umumnya satu hari atau lebih kurang 24 jam pada alat penakar hujan biasa. Dengan demikian hasil pengukuran hujan menggunakan alat penakar biasa adalah curah hujan harian. Sementara pada alat penakar hujan otomatis, pengukuran berlangsung secara kontinu setiap terjadi hujan sehingga dengan alat tersebut dapat direkam tingkat atau intensitas hujan dan lama berlangsungnya hujan (atau durasi hujan). Derajat hujan menggambarkan kondisi atau magnitude hujan pada periode tertentu. Hubungan antara derajat hujan dengan intensitas hujan yang dinyatakan dalam durasi 1 jam dan 24 jam atau 1 hari dapat dilihat pada Tabel 3.

Intensitas hujan yang digunakan sebagai parameter rancangan utama pada perancangan struktur hidraulik disebut intensitas hujan rencana. Besaran intensitas hujan rencana diperoleh dari hasil analisis data hujan dan probabilitas keterlampauannya akan sangat bergantung pada umur operasi sarana penyaliran yang akan dibangun. Sarana penyaliran dengan umur operasi yang pendek misalnya sampai satu tahun tentu probabilitas keterlampauan atau periode ulang intensitas hujan yang dipilih tidak akan panjang, demikian pula sebaliknya. Semakin lama masa operasi suatu sarana penyaliran akan dirancang untuk mengantisipasi intensitas hujan dengan periode ulang yang lebih panjang.

#### 2.4.4 Debit air limpasan

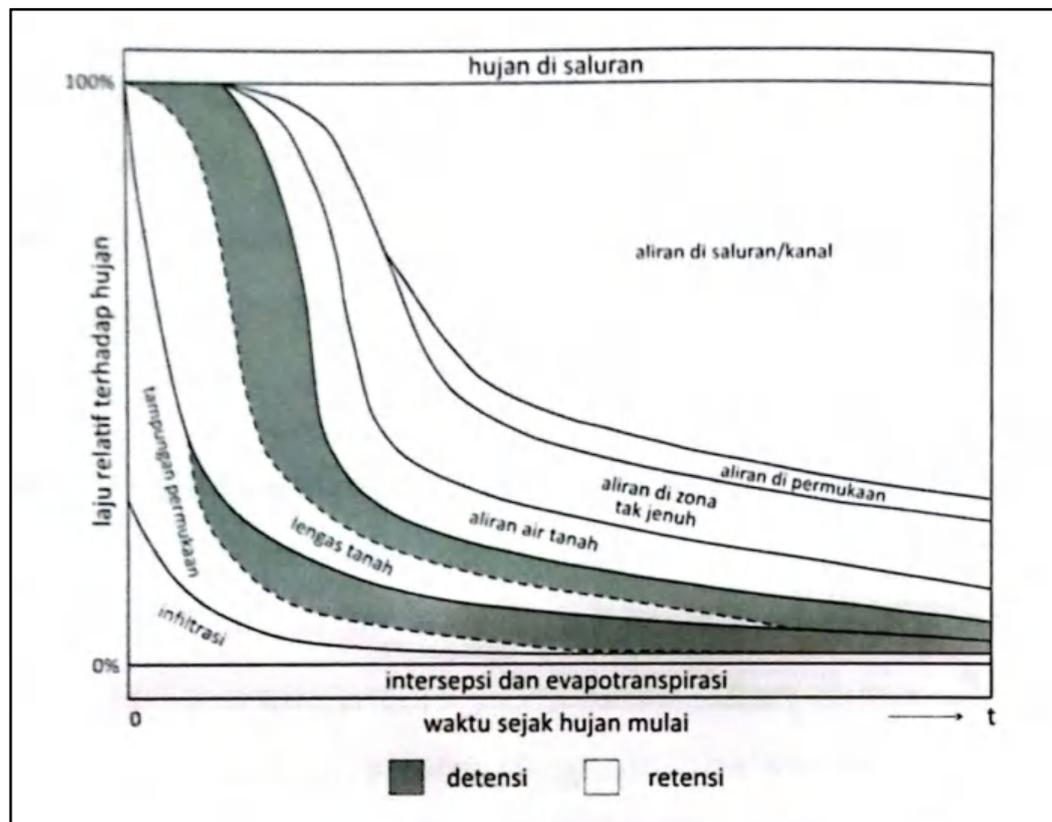
Air hujan yang tidak mengalami penguapan dan infiltrasi akan menjadi limpasan. Rujukan yang digunakan dalam pembahasan tentang limpasan adalah daerah tangkapan hujan (*watershed, catchment area*) yang merupakan daerah dimana air limpasan mengalir menuju ke sistem penyaliran alami pada suatu lokasi tertentu (Gautama, 2022). Debit air limpasan adalah air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau atau laut. Aliran ini terjadi karena curah hujan yang mencapai permukaan bumi tidak dapat terinfiltrasi karena intensitas curah hujan atau faktor lainnya, seperti kelerengan, bentuk, dan kekompakan permukaan tanah dan vegetasi. Penentuan debit air limpasan ditentukan dengan metode rasional. Komposisi air hujan pada saat jatuh ke permukaan bumi terhadap

pat dilihat pada Gambar 2.

lainnya bagian terbesar dari hujan akan berkontribusi pada penyimpanan air di atas permukaan (*surface storage*) dan penyimpanan kadar air tanah akibat dari proses



infiltrasi. Ada dua jenis penyimpanan, yaitu retensi dan detensi. Retensi berkaitan dengan penyimpanan untuk jangka waktu yang panjang dan akan berkurang karena penguapan. Sementara detensi adalah penyimpanan jangka pendek dan akan berkurang oleh aliran keluar. Pada saat penyimpanan detensi mulai terisi terjadilah aliran keluar dalam bentuk aliran pada zona tidak jenuh dekat permukaan, aliran air tanah melalui akuifer yang lebih dalam, dan aliran permukaan tanah (*overland flow*) di permukaan. Aliran saluran (*channel flow*) merupakan bentuk utama dari aliran air permukaan (Gautama, 2022).



Gambar 2 Distribusi air selama terjadi hujan (Gautama, 2022).

Faktor yang mempengaruhi limpasan dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu faktor meteorologi serta faktor fisik daerah tangkapan hujan. Faktor-faktor meteorologi meliputi jenis presipitasi, intensitas hujan, lamanya atau durasi curah hujan, distribusi curah hujan dalam daerah pengaliran, arah pergerakan hujan, curah hujan terdahulu dan kelembaban tanah, serta kondisi-kondisi meteorologi lainnya itu, kecepatan angin, dan sebagainya. Sementara itu, faktor-faktor fisik pengaliran mencakup tata guna tanah (*land use*), luas daerah, keadaan



topografi, jenis tanah, serta faktor-faktor lain seperti karakteristik jaringan sungai dan saluran terbuka (Gautama, 2022).

Salah satu parameter penting dalam model limpasan pada daerah tangkapan hujan adalah waktu konsentrasi yang didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh limpasan yang terjadi pada titik terjauh secara hidraulik dari titik pengamatan. Waktu konsentrasi pada dasarnya adalah jumlah dari waktu tempuh dari semua segmen aliran. Waktu tempuh adalah waktu yang dibutuhkan oleh air untuk mengalir dari suatu tempat ke tempat lain. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu tempuh dan waktu konsentrasi adalah (Gautama, 2022):

1. Kekasaran permukaan

Area yang terbuka karena kegiatan penambangan akan meningkatkan kecepatan aliran, namun dengan terbentuknya jenjang-jenjang penambangan maupun di area timbunan secara keseluruhan waktu tempuh akan berkurang.

2. Bentuk saluran dan pola aliran

Area penambangan dalam bentuk jenjang akan mengurangi aliran permukaan (*overland flow*) karena aliran segera diarahkan ke saluran dengan demikian waktu tempuh keseluruhan akan berkurang.

3. Kemiringan

Area penambangan maupun penimbunan kemiringan dapat meningkat pada bagian-bagian tertentu atau berkurang pada bagian lainnya.

#### 2.4.6 Koefisien limpasan

Koefisien limpasan merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan besarnya limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan yang terjadi pada daerah tangkapan hujan. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Kerapatan vegetasi

Daerah dengan vegetasi yang rapat akan memberikan nilai C yang kecil, karena air hujan yang masuk tidak dapat langsung mengenai tanah, melainkan akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan sedangkan tanah yang gundul akan

memberikan nilai C yang besar.

guna lahan



Lahan persawahan ataupun rawa-rawa akan memberikan nilai C yang kecil daripada daerah hutan ataupun perkebunan, karena pada daerah persawahan air hujan yang jatuh akan tertahan pada petak-petak sawah sebelum akhirnya menjadi limpasan permukaan.

### 3. Kemiringan tanah

Daerah dengan kemiringan kecil ( $< 3\%$ ) akan memberikan nilai C yang kecil, daripada daerah dengan kemiringan tanah yang sedang sampai curam untuk keadaan yang sama.

Tabel 4 Nilai koefisien limpasan.

Kemiringan	Tutupan Lahan	Nilai C
< 3%	Sawah, rawa	0,2
	Hutan, perkebunan	0,3
	Perumahan dengan kebun	0,4
3% - 15%	Hutan, perkebunan	0,4
	Perumahan	0,5
	Tumbuhan yang jarang	0,6
	Tanpa tumbuhan, daerah penimbunan batuan penutup	0,7
> 15%	Hutan	0,6
	Perumahan dengan kebun	0,7
	Tumbuhan yang jarang	0,8
	Tanpa tumbuhan, daerah penambangan dan penimbunan	0,9

Sumber: Gautama, 2022.

Koefisien air limpasan (C) adalah angka yang menunjukkan perbandingan aliran permukaan dan curah hujan. Salah satu indikator kondisi fisik daerah n hujan adalah koefisien aliran permukaan ini. Nilai C berkisar dari 0 Nilai C sama dengan 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinfiltrasi i tanah. Sebaliknya, nilai C yang lebih tinggi atau sama dengan 1



menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Koefisien air limpasan berbeda untuk setiap daerah seperti pada Tabel 4. Kondisi topografi, kondisi tanah, dan kondisi vegetasi adalah beberapa faktor yang harus diperhatikan saat menentukan koefisien air limpasan (Mahardhika, 2022).

#### 2.4.7 Evapotranspirasi

Evaporasi adalah proses yang mengubah air dari bentuk cair atau padat menjadi bentuk gas melalui perpindahan energi panas. Menurut WMO (2012), evaporasi didefinisikan sebagai emisi uap air oleh permukaan basah atau air bebas pada suhu di bawah titik didih air. Awal terjadinya hujan sebagian butir air hujan tidak akan sampai ke permukaan tanah karena menguap dalam perjalanannya atau tertangkap pada daun atau batang tumbuhan atau tumpukan daun yang menutupi tanah di hutan, disebut sebagai intersepsi. Air yang intersepsi ini juga akan menguap dan menjadi bagian dari evaporasi (Gautama, 2022).

Transpirasi adalah lepasnya uap air ke atmosfer melalui pori-pori dari tanaman. Transpirasi didefinisikan sebagai proses fisiologis tanaman secara alami dimana air dalam bentuk lengas tanah (*soil moisture*) diserap oleh akar dan mengalir melalui struktur tanaman dan dievaporasikan dari sel dalam daun yang disebut stomata. Gabungan dari kedua bentuk penguapan air adalah evapotranspirasi. Evapotranspirasi merupakan proses penting dalam daur hidrologi, di daratan dapat sampai sekitar 70-75% dari total presipitasi tahunan akan kembali ke atmosfer melalui evaporasi dan transpirasi. Evapotranspirasi dapat dibedakan menjadi (Gautama, 2022):

1. Evapotranspirasi aktual (nyata atau efektif)

Evapotranspirasi aktual merupakan evapotranspirasi nyata yang terjadi dari suatu permukaan yang ditanami tumbuhan per satuan luas dan per satuan waktu pada kondisi klimatologi dan meteorologi tertentu.

2. Evapotranspirasi potensial

Evapotranspirasi potensial merupakan evapotranspirasi maksimal yang mungkin terjadi dari suatu permukaan yang ditanami tumbuhan bila air tersedia dengan optimal.



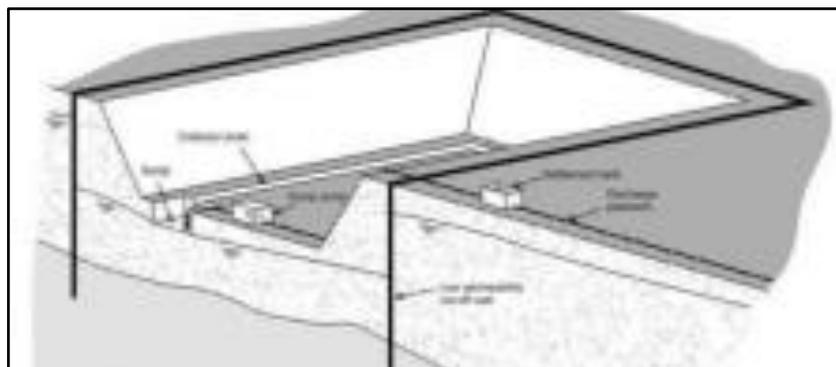
Pengukuran evapotranspirasi sangat sulit dilakukan mengingat kapasitas transpirasi dari tanaman berbeda-beda, baik dari segi jenis maupun umur tanaman, maka telah dikembangkan cara-cara tidak langsung untuk menghitungnya, yaitu berdasarkan data meteorologi dan klimatologi. Secara garis besar rumus-rumus yang dikembangkan untuk perhitungan penguapan dapat dibedakan menjadi (Gautama, 2022):

1. Rumus Empiris:
  - a. Berdasarkan temperatur, misalnya rumus dari Thornthwaite dan Blaney - Criddle.
  - b. Berdasarkan keadaan kelembaban, contohnya rumus dari Albrecht dan Haude
  - c. Berdasarkan dari beberapa parameter, contohnya rumus dari Turc
2. Rumus setengah empiris, seperti rumus dari Penman

## 2.5 Saluran Terbuka (Paritan)

*Mine drainage* (penyaliran tambang) merupakan upaya untuk mengeluarkan air hujan, air tanah dan air limpasan yang telah masuk ke lokasi penambangan. Upaya ini terutama untuk menangani air yang berasal dari air hujan. Sistem penyaliran tambang lebih banyak dilakukan pada pengelolaan air permukaan terutama pada tambang terbuka karena dampak yang ditimbulkan. Adapun metode *mine drainage* adalah sebagai berikut (Mahardhika, 2022):

1. Metode kolam terbuka (*open sump sistem*)



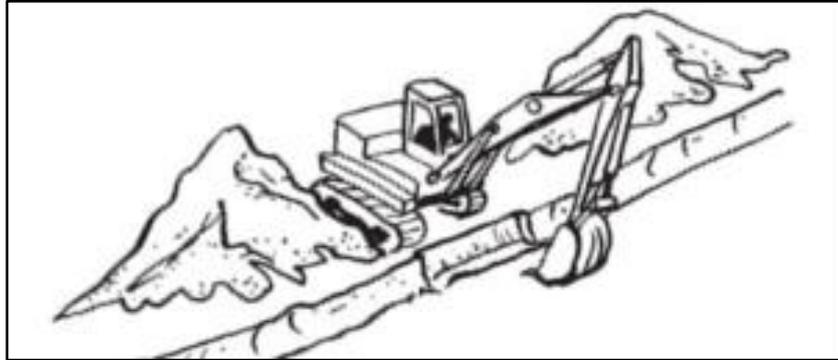
Gambar 3 Metode kolam terbuka (Powers, 1992).

Metode ini diterapkan untuk membuang air limpasan yang telah masuk ke arah penambangan. Air dikumpulkan pada kolam terbuka, kemudian pompa keluar dan pemasangan jumlah pompa tergantung kedalaman



penggalian. Metode kolam terbuka biasanya terdapat di area penambangan dengan sistem seperti *open pit* yang tidak memungkinkan adanya aliran air keluar yang memanfaatkan gravitasi seperti pada Gambar 3.

2. Metode paritan (saluran terbuka)



Gambar 4 Metode paritan (Powers, 1992).

Metode penyaliran yang paling sederhana adalah dengan membangun saluran terbuka pada lokasi penambangan untuk menampung air limpasan yang menuju lokasi penambangan. Air limpasan masuk ke saluran-saluran, lalu dialirkan ke suatu kolam penampungan atau dibuang langsung ke tempat pembuangan dengan gaya gravitasi seperti pada Gambar 4. Paritan dibuat dengan tujuan agar air limpasan yang masuk ke lokasi penambangan tidak menghambat kegiatan penambangan yang dilakukan.

Prinsip pengelolaan air tambang terbuka yang efisien adalah meminimalkan pemompaan dengan cara mengoptimalkan pengaliran air tambang secara gravitasi dan penanganan kuantitas serta kualitas air tambang secara desentralisasi. Saluran terbuka merupakan sarana dasar dari sistem penyaliran tambang yang berfungsi untuk menampung air limpasan permukaan atau air rembesan yang berasal dari air tanah dan mengarahkan aliran ke sarana pengendalian kualitas air atau langsung ke sumber air alami (umumnya sungai). Dengan demikian paritan merupakan sarana yang sangat penting dalam pengendalian dan pengelolaan air tambang, terutama di tambang terbuka. Berdasarkan lokasi atau fungsinya, paritan dapat dibedakan menjadi sebagai berikut (Gautama, 2022):



itan keliling (*perimeter ditch*) yang dibuat di sekeliling luar dari *pit* tambangan dan berfungsi untuk menangkap air limpasan permukaan dari a luar *pit* sehingga tidak mengalir masuk ke dalam *pit*.

2. Paritan jenjang (*bench*) yang dibuat di kaki lereng dan berfungsi untuk menangkap air limpasan dari lereng atau *berm* dan mengalirkannya ke sumuran.
3. Paritan *ramp* yang dibuat pada sisi dalam dari *ramp*, biasanya dimanfaatkan untuk mengalirkan air dari jenjang yang lebih tinggi ke jenjang yang lebih rendah.
4. Paritan di dasar *pit* yang dibuat untuk menampung semua air limpasan dari daerah atasnya dan mengalirkannya ke sumuran di dasar *pit*.
5. Paritan di area timbunan batuan penutup yang dibuat di kaki timbunan untuk menampung air limpasan permukaan di area timbunan dan mengalirkannya ke sarana pengendali kualitas air tambang.
6. Paritan sisi jalan yang dibuat di sisi jalan untuk menampung air limpasan permukaan dari badan jalan dan menangkap aliran limpasan permukaan dari area sekitar tambang.

Saluran terbuka berfungsi untuk menampung dan mengalirkan air ke tempat pengumpulan, kolam pengendapan, atau tempat lain. Bentuk penampang saluran terbuka umumnya dipilih berdasarkan debit air, tipe material pembentuk saluran serta kemudahan dalam pembuatannya. Bentuk penampang saluran terbuka yang umum digunakan di area pertambangan terbuka adalah bentuk trapesium, segitiga dan segiempat. Bentuk penampang yang paling sering dan umum dipakai adalah bentuk trapesium, sebab mudah dalam pembuatannya, murah, efisien dan mudah dalam perawatannya serta stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan menurut keadaan topografi dan geologi (Mahardhika, 2022). Saluran dengan penampang trapesium umumnya dibuat jika saluran terbuka memiliki kapasitas penyaliran yang besar dan dirancang untuk umur operasi yang panjang, misalnya saluran terbuka di sekeliling tambang. Sementara penampang segitiga umumnya dibuat untuk saluran terbuka yang umur operasinya tidak panjang, seperti misalnya di permukaan kerja yang aktif dan berfungsi untuk mengarahkan aliran air tambang. Pembuatannya bisa dilakukan dengan menggunakan *bulldozer* (Mahardhika, 2022).



Pembuatan saluran terbuka pada tambang dilakukan untuk menampung air permukaan. Saluran ini harus memenuhi kriteria seperti mempunyai

dimensi yang sesuai dengan debit aliran air, mempunyai ruang jagaan yang cukup untuk mengantisipasi adanya sedimentasi di dalam saluran dan menampung terjadinya debit aliran yang diluar rencana, mempunyai kemiringan saluran yang aman (biasanya 1%) sehingga kecepatan aliran tidak menimbulkan gerusan pada saluran (Suwardi, 2004). Pembuatan saluran terbuka perlu memperhatikan jenis saluran dinding yang akan dibuat. Tipe dinding saluran terbuka memiliki nilai koefisien kekasaran yang dibutuhkan dalam perhitungan menggunakan persamaan Manning seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Koefisien kekasaran Manning.

Tipe Dinding Saluran	n
Semen	0,010 – 0,014
Beton	0,011 – 0,016
Bata	0,012 – 0,020
Besi	0,013 – 0,017
Tanah	0,020 – 0,030
Gravel	0,022 – 0,035
Tanah yang ditanami	0,025 – 0,040

Sumber: Pfeider, 1972.

Perancangan saluran terbuka harus mampu mengalirkan dengan baik debit air yang direncanakan. Air tambang pada tambang terbuka selalu mengandung padatan hasil erosi, kecepatan aliran air di dalam paritan harus sedemikian sehingga tidak terjadi sedimentasi. Tetapi di sisi lain, kecepatan aliran air di dalam saluran terbuka harus sedemikian sehingga tidak akan merusak dinding atau dasar saluran terbuka mengingat umumnya saluran terbuka pada tambang aktif tidak diperkuat baik dinding maupun alasnya dengan pertimbangan kemudahan dalam penggalian dan pembuatannya (Gautama, 2022).

## 2.6 Kolam Pengendapan (*Settling Pond*)



merupakan partikel organik dan anorganik yang terakumulasi secara dimen dapat terjadi akibat dari sisa pengikisan batu-batuan yang dilakukan nambangan. Batuan yang telah mengalami proses penambangan baik

proses penghancuran batuan, pengangkutan, maupun pengolahan biasa meninggalkan material-material sisa yang lebih halus. Material sisa ini berukuran lebih kecil dan biasanya halus menyebabkan debu ketika kering. Saat terjadi curah hujan tinggi maka material-material sedimen ini akan ikut terangkut pada aliran limpasan air. Apabila terjadi penumpukan sedimen yang berlebihan akan menghambat operasional penambangan.

Sedimen di dalam air tambang terutama pada tambang terbuka disebabkan oleh proses erosi oleh air limpasan hujan yang merupakan sumber air tambang utama hampir pada semua tambang terbuka. Proses erosi terjadi saat air tambang jatuh dan mengalir di permukaan lahan yang terbuka. Pencegahan terjadinya erosi tentu tidak dapat dilakukan tetapi upaya untuk meminimalkan tingkat erosi dapat dilakukan dengan cara pengendalian erosi. Sarana untuk mengendalikan kandungan sedimen di dalam air tambang yang utama adalah sarana untuk mengendapkan sedimen yang lebih dikenal sebagai kolam pengendap atau kolam sedimen atau *settling pond*. *Settling pond* merupakan suatu tempat yang digunakan untuk menampung atau menyimpan sementara air yang berasal dari saluran sebelum disalurkan kembali ke sungai atau digunakan untuk kebutuhan perusahaan dan sebagai tempat pengelolaan endapan sedimen yang terbawa oleh air. Sarana ini adalah sarana utama pengendali kualitas air tambang pada tambang terbuka sebelum dialirkan ke lingkungan melalui titik dimana kualitas air tambang harus memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku (Gautama, 2022).

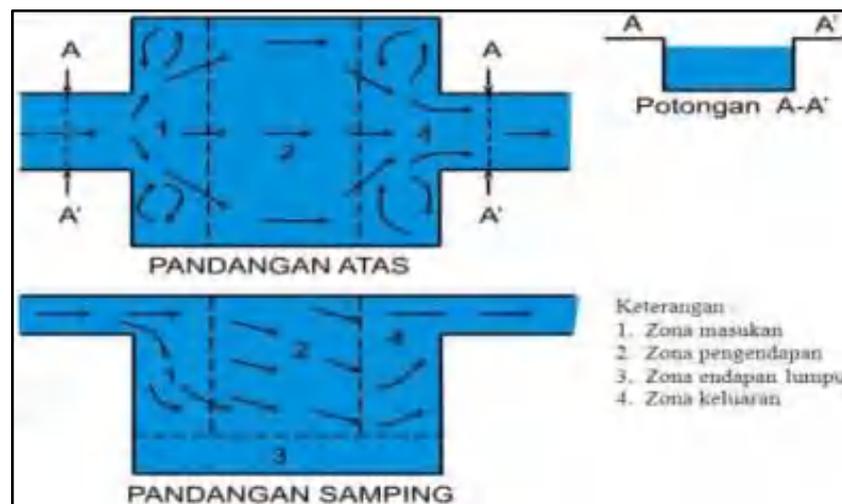
Seringkali sistem *settling pond* terdiri atas kolam jamak atau dengan cara membagi satu *settling pond* besar menjadi beberapa kompartemen. Tujuannya adalah untuk pengendapan berjenjang secara seri dimana partikel yang lebih besar akan terendapkan pada kolam pertama dan partikel yang halus akan mengendap pada kolam terakhir. Cara ini lebih efisien dalam menangkap partikel halus dibandingkan dengan kolam pengendap tunggal dengan luas area yang sama (Gautama, 2022). *Settling pond* akan dibuat menjadi beberapa zona dimana air akan masuk ke masing-masing zona dengan cara bertahap sehingga proses pengendapan



akan dengan baik, setelah tiba di zona terakhir maka air akan dicek nilainya dan didiamkan sampai nilai baku mutu air menjadi netral (Marwan, 2022). Setiap *settling pond* selalu memiliki empat zona penting yang terbentuk

sesuai dengan keperluan dan keadaan karena proses pengendapan material padatan seperti pada Gambar 5. Keempat zona tersebut adalah (Prodjosumarto, 1994):

1. Zona masukan adalah tempat masuknya aliran air berpartikel ke dalam kolam pengendapan dengan anggapan campuran antara padatan dan cairan terdistribusi secara merata.
2. Zona pengendapan merupakan tempat dimana partikel akan mengendap, material padatan disini akan mengalami proses pengendapan disepanjang saluran masing-masing *check dam*.
3. Zona endapan partikel merupakan tempat dari partikel padatan dalam cairan mengalami sedimentasi dan terkumpul pada bagian bawah saluran pengendap.
4. Zona keluaran adalah tempat keluarnya buangan cairan yang relatif bersih, zone ini terletak pada akhir saluran.



Gambar 5 Zona pada kolam pengendapan (Prodjosumarto, 1994).

Ukuran dari *settling pond* harus disesuaikan dengan jumlah air yang akan ditampung sehingga air limpasan dapat teratasi. Aspek penting lain yang harus dipertimbangkan dalam rancangan *settling pond* adalah nisbah antara panjang dan lebar kolam. Nisbah panjang dan lebar yang disarankan sebesar 5:1, jika hal ini sulit dicapai di lapangan karena keterbatasan ruang, maka disarankan 3:1. Rancangan



letak aliran masuk dan keluar dan bentuk dari *settling pond* juga akan menentukan efisiensi pengendapan sedimen di dalam *settling pond* (Gautama, 2010). Untuk menentukan letak *settling pond* yang akan dibuat harus berada di luar area perumahan, harus berada di dalam wilayah IUP, terletak di lokasi yang memiliki

elevasi lebih rendah, terletak di daerah yang relatif stabil, dan relatif dekat dengan badan-badan air di permukaan tanah (Mahardhika, 2022).

Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam merancang *settling pond* adalah debit air tambang, ukuran dan bentuk butiran padatan yang masuk dan keluar, kerapatan partikel padatan, kekentalan air tambang, persen air, dan persen padatan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan perhitungan terbaik dan paling akurat saat menggunakan *settling pond* di lapangan (Mahardhika, 2022). Faktor-faktor tersebut nantinya akan diperlukan dalam memperhitungkan kecepatan pengendapan sedimen pada *settling pond*. Kecepatan pengendapan dapat memperhitungkan terkait dengan perawatan *settling pond* seperti banyak pengerukan sedimen yang harus dilakukan. Kecepatan pengendapan pada kondisi ideal ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kecepatan pengendapan pada kondisi ideal

Klasifikasi ukuran butir	Diameter partikel (mm)	Kecepatan pengendapan (mm/s)
Pasir sangat kasar	2000	200
Pasir kasar	1000	100
Pasir sedang	500	53
Pasir halus	250	26
Pasir sangat halus	125	11
Lanau kasar	62	23
Lanau sedang	31	0,66
Lanau halus	16	0,18
Lanau sangat halus	8	0,04
Lempung	4	0,011

Sumber: Maryland Dept. of Environment, 1987 dalam Gautama, 2022.

Desain *settling pond* harus dirancang agar dapat menampung debit air limpasan yang akan digunakan untuk pengendapan partikel. Selain berfungsi tempat untuk mengendapkan material tersuspensi di area tambang, *settling pond* juga berfungsi sebagai penampung air limbah yang mengandung air asam dengan kandungan pH di bawah 6. Air limbah atau tercemar diproses



untuk menjadi normal di *settling pond* agar memenuhi ambang batas standar kualitas yang ditetapkan oleh pemerintah (Warhadi, 2018). Proses pemisahan air tambang dengan padatan yang terbawa bersama aliran air tambang di *settling pond* adalah bagian penting dari sistem penyaliran tambang. Setelah proses pemisahan ini, air tambang biasanya menjadi lebih jernih dan secara fisik layak untuk dialirkan ke badan air yang ada di permukaan tanah di sekitar tambang (Mahardhika, 2022).

