

SKRIPSI

**EVALUASI SISTEM PENYALIRAN TAMBANG PADA
PIT ANOA BLOK 4 *SITE* LAMERURU
PT TIRAN INDONESIA**

Disusun dan diajukan oleh:

**SALMAN
D111 19 1068**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

EVALUASI SISTEM PENYALIRAN TAMBANG PADA PIT ANOA BLOK 4 *SITE* LAMERURU PT TIRAN INDONESIA

Disusun dan diajukan oleh

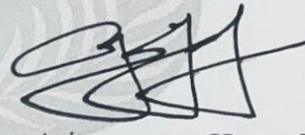
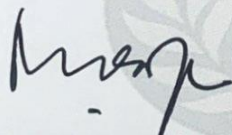
SALMAN
D111191068

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 11 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


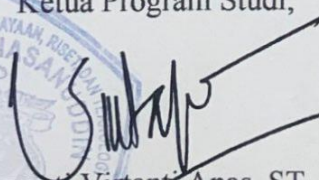
Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT.
NIP. 196807181993091001

Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT.
NIP. 199511262022043001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virianti Anas, ST., MT.
NIP. 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Salman
NIM : D111191068
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

EVALUASI SISTEM PENYALIRAN TAMBANG PADA PIT ANOA BLOK 4 *SITE* LAMERURU PT TIRAN INDONESIA

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, 11 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Salman

ABSTRAK

SALMAN. *EVALUASI SISTEM PENYALIRAN TAMBANG PADA PIT ANOA BLOK 4 SITE LAMERURU PT TIRAN INDONESIA* (dibimbing oleh Muhammad Ramli dan Asta Arjunoarwan Hatta)

Aktivitas penambangan dengan sistem tambang terbuka berhubungan langsung dengan udara luar sehingga pada saat hujan air akan masuk ke area penambangan dan menggenangi lokasi penambangan. Penanganan masalah tersebut, PT Tiran Indonesia membuat sistem penyaliran dengan menggunakan paritan atau saluran terbuka. Saluran terbuka dibuat untuk mengalirkan air limpasan menuju ke *settling pond* dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Adanya kemajuan tambang mengakibatkan terjadinya bukaan lahan semakin luas sehingga membuat debit air limpasan semakin besar. Sistem penyaliran tambang tidak dapat berfungsi maksimal apabila sistem penyaliran yang dibuat tidak sesuai dengan besar debit air limpasan. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem penyaliran tambang yang ada pada Pit Anoa blok 4 PT Tiran Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan dimensi saluran terbuka dan *settling pond* yang sesuai dengan debit air limpasan. Metode yang digunakan untuk menghitung debit air limpasan yaitu Metode Rasional. Debit air limpasan berdasarkan analisis data curah hujan tahun 2018-2022 sebesar 18,69 m³/detik. Evaluasi sistem penyaliran dilakukan pada 3 saluran terbuka. Hasil evaluasi untuk dimensi saluran terbuka I yaitu lebar atas 3,10 m, lebar dasar 1,44 m, dan kedalaman saluran terbuka 1,43 m. Dimensi saluran terbuka II yaitu lebar atas 3,70 m, lebar dasar 1,72 m, dan kedalaman saluran terbuka 1,71 m. Dimensi saluran terbuka III yaitu lebar atas 3,47 m, lebar dasar 1,61 m, dan kedalaman saluran terbuka 1,60 m. Evaluasi juga dilakukan terhadap dimensi *settling pond* dengan metode analitik menggunakan rumus limas terpancung agar dapat menampung total volume air keseluruhan sebesar 46.392,25 m³. Hasil evaluasi dimensi *settling pond* yaitu luas bawah 2.041,29 m², luas atas 2.613,00 m², kedalaman 5,00 m, dan jumlah kompartemen ada 4 unit.

Kata kunci: Tambang terbuka, Saluran terbuka, *Settling pond*

ABSTRACT

SALMAN. EVALUATION OF MINE DRAINAGE SYSTEM AT ANOA PIT BLOCK 4 SITE LAMERURU PT TIRAN INDONESIA (supervised by Muhammad Ramli and Asta Arjunoarwan Hatta)

Mining activities with an open pit mining system are directly related to the outside air so that when it rains the water will enter the mining area and inundate the mining site. PT Tiran Indonesia made a drainage system using ditches or open channels to overcome this problem. Open channels are made to drain runoff water to the settling pond by utilizing gravity. The progress of the mine has resulted in wider openings of land so that the runoff water discharge has increased. The mine drainage system cannot function optimally if the drainage system that is made is not by the amount of runoff water discharge. Therefore, this research was conducted to evaluate the existing mine drainage system at Pit Anoa block 4 PT Tiran Indonesia. This study aimed to determine the dimensions of the open channel and settling pond according to the discharge of runoff water. The method used to calculate runoff discharge is the Rational Method. Runoff water discharge based on analysis of rainfall data for 2018-2022 is 18.69 m³/second. Evaluation of the drainage system is carried out on 3 open channels. The evaluation results for the dimensions of the open channel I are the top width of 3.10 m, the bottom width of 1.44 m, and the depth of the open canal is 1.43 m. The dimensions of the open channel II are a top width of 3.70 m, a bottom width of 1.72 m, and a depth of the open canal is 1.71 m. The dimensions of the open canal III are a top width of 3.47 m, a bottom width of 1.61 m, and a depth of the open canal is 1.60 m. The evaluation was also carried out on the dimensions of the settling pond using the analytical method using the truncated pyramid formula so that it could accommodate a total water volume of 46,392.25 m³. The results of the evaluation of the dimensions of the settling pond are the bottom area of 2,041.29 m², the top area of 2,613.00 m², the depth is 5.00 m, and the number of compartments is 4 units.

Keywords: Open pit mining, Open channel, Settling pond

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Penambangan	4
2.2 Siklus Hidrologi.....	6
2.3 Sistem Penyaliran Tambang	16
2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran.....	19
2.5 Saluran Terbuka.....	25
2.6 <i>Settling Pond</i>	32
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	35
3.2 Variabel Penelitian	36
3.3 Alat Penelitian	37
3.4 Teknik Pengumpulan Data	37
3.5 Teknik Analisis.....	37
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Analisis Hidrologi.....	47
4.2 Evaluasi Sistem Penyaliran.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Siklus hidrologi	7
Gambar 2. Perbedaan metode poligon dengan isohyet	20
Gambar 3. Perbedaan volume aliran daerah tangkapan hujan	23
Gambar 4. Bentuk-bentuk penampang saluran	29
Gambar 5. Penampang saluran terbuka.....	31
Gambar 6. Sketsa <i>settling pond</i>	33
Gambar 7. Peta tunjuk lokasi penelitian	35
Gambar 8. Peta izin usaha pertambangan PT Tiran Indonesia	36
Gambar 9. Penentuan luas daerah tangkapan hujan.....	38
Gambar 10. Bagan alir penelitian.....	46
Gambar 11. Daerah tangkapan hujan untuk saluran terbuka	53
Gambar 12. Saluran terbuka I Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia.....	56
Gambar 13. Saluran terbuka II Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia	56
Gambar 14. Saluran terbuka III Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia	56
Gambar 15. Penampang saluran terbuka I	58
Gambar 16. Penampang saluran terbuka II.....	59
Gambar 17. Penampang saluran terbuka III.....	60
Gambar 18. <i>Settling pond</i> pada Pit Anoa Blok 4	61
Gambar 19. Visualisasi rencana dimensi <i>settling pond</i>	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi metode penambangan	5
Tabel 2. Perbedaan evaporasi dan transpirasi	12
Tabel 3. Derajat dan intensitas curah hujan	22
Tabel 4. Koefisien kekasaran dinding saluran Manning	29
Tabel 5. Nilai koefisien limpasan.....	42
Tabel 6. Data curah hujan maksimum tahun 2018-2022	47
Tabel 7. Data curah hujan hasil seleksi	48
Tabel 8. <i>Reduce variate</i> untuk periode ulang yang berbeda	49
Tabel 9. Curah hujan rencana untuk periode ulang berbeda	50
Tabel 10. Debit air limpasan untuk saluran terbuka.....	55
Tabel 11. Dimensi aktual saluran terbuka.....	55
Tabel 12. Dimensi saluran terbuka I	58
Tabel 13. Dimensi saluran terbuka II.....	59
Tabel 14. Dimensi saluran terbuka III.....	60
Tabel 15. Dimensi dan kapasitas aktual <i>settling pond</i>	61
Tabel 16. Hasil perhitungan rencana dimensi <i>settling pond</i>	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Peta lokasi penelitian	70
Lampiran B Daerah tangkapan hujan.....	72
Lampiran C Data curah hujan tahun 2018-2022	74
Lampiran D Perhitungan saluran terbuka	80
Lampiran E Perhitungan efektivitas <i>settling pond</i>	86
Lampiran F Kartu konsultasi tugas akhir	89

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, senantiasa kita ucapkan puji syukur kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* yang hingga saat ini masih memberikan kita nikmat iman, kesehatan, limpahan rahmat dan karunia-Nya, serta kesempatan-Nya sehingga skripsi dengan judul “Evaluasi Sistem Penyaliran Tambang pada Pit Anoa Blok 4 Site Lameruru PT Tiran Indonesia” dapat diselesaikan. Sholawat dan salam yang selalu dipanjatkan kepada sang tauladan bagi seluruh ummat di muka bumi ini adalah Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* yang telah mengantarkan umat manusia dari peradaban hidup yang jahiliyah menuju pada peradaban hidup yang modern.

Selama penulisan skripsi ini penulis telah mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, ST., MT. dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT. selaku dosen pembimbing, atas kesempatan dan kesabaran yang telah diberikan selama membimbing penulis dalam pekerjaan skripsi ini.

Skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan dan kesempatan yang diberikan oleh pihak PT Tiran Indonesia. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Edi Iswandi selaku *Manager HR & GA* di PT Tiran Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di PT Tiran Indonesia. Serta kepada Bapak Sunaryo Sadli, S.T dan Ibu Mecky Mantung, S.T selaku pembimbing lapangan yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan kepada penulis selama kegiatan penelitian. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada teman-teman Teknik Pertambangan angkatan 2019 yang telah menjadi teman diskusi dan memberikan semangat serta dukungan untuk penulis selama melaksanakan penelitian. Serta, terima kasih pula penulis sampaikan kepada orang tua yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan selama kegiatan penelitian dan dalam penyusunan skripsi ini sehingga kritik dan saran sangat

penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Gowa, 11 Agustus 2023

Salman

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan potensi cadangan mineral sangat tinggi di dunia, salah satunya yaitu nikel. Indonesia memiliki cadangan nikel sebesar 72 juta ton Ni dari 139.419.000 ton cadangan dunia atau sebesar 52% dari cadangan dunia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat, Indonesia memiliki tambang nikel seluas 520.877,07 ha. Tambang nikel Indonesia merupakan produsen tambang bijih nikel terbesar dunia dengan produksi sebesar 800.000 ton Ni.

Kegiatan penambangan bijih nikel di Indonesia dilakukan dengan menggunakan sistem penambangan terbuka dengan metode *open cast mining*. Metode ini dipilih karena karakteristik bijih nikel di Indonesia merupakan nikel laterit (Arif, 2018). Aktivitas penambangan dengan sistem penambangan terbuka akan berhubungan langsung dengan udara luar sehingga kegiatan penambangan dipengaruhi langsung oleh kondisi cuaca dan iklim (Siahaan, 2017).

Hujan merupakan faktor yang berpengaruh secara signifikan pada sistem tambang terbuka. Pada saat musim penghujan kegiatan penambangan dapat terganggu oleh tingginya curah hujan yang menimbulkan adanya debit air limpasan di sekitar area penambangan. Air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan apabila tidak dikelola dengan baik dapat mengganggu proses penambangan yang sedang berlangsung. Hal ini dapat menyebabkan area penambangan tergenang air, jalan tambang menjadi licin, mempengaruhi kestabilan lereng sehingga berpotensi mengakibatkan longsor, dan peralatan tambang cepat rusak serta efisiensi kerja menurun. Permasalahan tersebut dapat mengakibatkan produksi bijih nikel menurun secara signifikan, sehingga diperlukan suatu sistem penyaliran tambang yang efektif dan efisien untuk mengatasinya (Zendrato dan Rusli, 2021).

PT Tiran Indonesia adalah salah satu perusahaan tambang bijih nikel yang memiliki resiko rawan terganggu aktivitas penambangannya, terutama pada Pit Anoa Blok 4. Hal tersebut dikarenakan Pit Anoa Blok 4 memiliki kemajuan aktivitas penambangan, sehingga mengakibatkan semakin banyak area bukaan baru untuk

ditambang. Semakin banyak area bukaan tambang maka debit air limpasan akan semakin besar, Sistem penyaliran tambang tidak dapat berfungsi maksimal apabila sistem penyaliran yang dibuat tidak sesuai dengan besar debit air limpasan. Sehingga dilakukan penelitian untuk mengevaluasi sistem penyaliran tambang yang ada pada Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Curah hujan memiliki peran yang sangat besar terhadap akumulasi air limpasan. Debit dan volume air limpasan yang masuk dalam daerah tangkapan hujan akan berpengaruh terhadap dimensi saluran terbuka dan dimensi *settling pond*. Sistem penyaliran tambang tidak dapat berfungsi dengan maksimal apabila dimensi saluran terbuka dan *settling pond* tidak sesuai dengan debit dan volume limpasan. Rumusan permasalahan dalam penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Daerah tangkapan hujan pada Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia semakin luas dan terjadi perubahan tata guna lahan dari hutan menjadi bukaan tambang.
2. Debit dan volume air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan semakin besar dikarenakan daerah tangkapan hujan semakin luas.
3. Bentuk dan dimensi saluran terbuka tidak sesuai dengan debit air limpasan yang masuk dalam area penambangan.
4. Dimensi *settling pond* tidak sesuai dengan KEPMEN ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis luas daerah tangkapan hujan pada Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia.
2. Menganalisis debit dan volume air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan berdasarkan daerah tangkapan hujan.
3. Membuat desain rancangan saluran terbuka berdasarkan debit air limpasan yang masuk dalam area penambangan.
4. Menentukan dimensi *settling pond* berdasarkan KEPMEN ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan menghasilkan desain saluran terbuka dan *settling pond* yang sesuai dengan debit air limpasan yang akan masuk ke dalam pit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan solusi bagi masalah sistem penyaliran tambang khususnya dalam penanganan air limpasan yang terjadi pada Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia sehingga dapat menunjang kelancaran proses penambangan nikel.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup wilayah penelitian ini adalah daerah tangkapan hujan Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia. Pit Anoa secara administrasi terletak di Desa Lameruru Kecamatan Langgikima Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. Pit Anoa dipilih karena memiliki resiko paling tinggi terganggu aktivitas penambangannya daripada pit lainnya. Kemajuan aktivitas penambangan pada Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia cukup besar, sehingga mengakibatkan semakin banyak area bukaan baru untuk ditambang.

Ruang lingkup materi (substansial) dari penelitian ini adalah berfokus pada sistem penyaliran tambang pada Pit Anoa Blok 4 PT Tiran Indonesia. Sistem penyaliran yang ada akan dilakukan evaluasi dikarenakan pada Pit Anoa tersebut terjadi perluasan bukaan tambang sehingga menyebabkan sistem penyaliran tidak dapat berfungsi secara optimal. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dimensi saluran terbuka dan dimensi *settling pond* yang sesuai dengan volume air limpasan yang masuk ke dalam lokasi penambangan. Adapun data yang dikumpulkan dimulai dari tanggal 23 Januari 2023 - 14 Februari 2023.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penambangan

Kegiatan penambangan adalah salah satu rangkaian dari kegiatan penambangan mineral dan batubara untuk menghasilkan bahan tambang yang siap untuk diproses lebih lanjut pada dalam tahap pengolahan dan pemurnian atau dijual langsung sebagai bahan berharga. Kegiatan ini dicirikan oleh tiga pekerjaan utama, yaitu pemberaian, pemuatan, dan pengangkutan batuan. Agar rangkaian pekerjaan utama ini dapat berlangsung dengan produktif dan efisien, berbagai aspek pendukung harus dilakukan, seperti perencanaan dan perancangan sistem penambangan, geoteknik, kesehatan dan keselamatan kerja, pengolahan peralatan, logistik, pengelolaan lingkungan, dan penyaliran tambang (Gautama, 2019).

Sistem penambangan adalah suatu cara atau teknik yang dilakukan untuk membebaskan atau mengambil endapan bahan galian yang mempunyai arti ekonomis dari batuan induknya untuk diolah lebih lanjut sehingga dapat memberikan keuntungan yang besar dengan memperlihatkan keamanan dan keselamatan kerja yang terbaik serta meminimalisasi dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan.

Secara garis besar, metode penambangan dikelompokkan menjadi 4, yaitu (Hartman and Mutmansky, 2002):

1. Tambang terbuka (*surface mining*) adalah metode penambangan yang segala kegiatan atau aktivitas penambangannya dilakukan di atas (atau relatif dekat dengan permukaan bumi), dan tempat kerjanya berhubungan langsung dengan udara luar.
2. Tambang dalam/tambang bawah tanah (*underground mining*) adalah metode penambangan yang segala kegiatan atau aktivitas penambangannya dilakukan di bawah permukaan bumi, dan tempat kerjanya tidak berhubungan langsung dengan udara luar.
3. Tambang bawah air (*underwater mining*) adalah metode penambangan yang kegiatan penggaliannya dilakukan di bawah permukaan air atau endapan mineral berharganya terletak di bawah permukaan air.

4. Tambang di tempat (*insitu mining or novel mining*). Pemilihan metode penambangan dilakukan berdasarkan pada keuntungan terbesar yang akan diperoleh, bukan berdasarkan letak dangkal atau dalamnya suatu endapan.

Menurut Hartman (1987), dari empat kelompok besar metode penambangan tersebut dapat dibagi menjadi metode-metode penambangan yang lebih spesifik. Klasifikasi metode penambangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi metode penambangan

Sistem	Kelas	Metode	Bahan Galian
Konvensional			
Tambang Terbuka	Mekanis	<i>Open pit mining</i>	Metal, non-metal
		<i>Quarrying</i>	Non-metal
		<i>Open cast mining</i>	Batubara, non-metal
	Aqueous	<i>Auger mining</i>	Batubara, metal, non-metal
		<i>Hydraulicking</i>	Metal, non-metal
		<i>Dredging</i>	Metal, non-metal
Tambang Bawah Tanah	Swa-sangga (<i>self-supported</i>)	<i>Room & pillar mining</i>	Batubara, non-metal
		<i>Stope & Pillar mining</i>	Metal, non-metal
		<i>Underground gloryhole</i>	Metal, non-metal
	Berpenyangga buatan (<i>supported</i>)	<i>Gophering</i>	Metal, non-metal
		<i>Shrinkage stoping</i>	Metal, non-metal
		<i>Sublevel stoping</i>	Metal, non-metal
		<i>Cut & fill stoping</i>	Metal
	Ambrukan (<i>caving</i>)	<i>Stull stoping</i>	Metal
		<i>Square set stoping</i>	Metal
		<i>Longwall mining</i>	Batubara, non-metal
Inkonvensional			
Novel	Penggalian cepat Automasi, robotik Gasifikasi bawah tanah	<i>Retorting</i> bawah tanah	Batuan keras semua
		Tambang samudra	Batubara, batuan lunak
		Tambang nuklir	Hidrokarbon
	tambang luar bumi	Tambang nuklir	Metal
		tambang luar bumi	Non-batubara
Metal, non-metal			

Sumber: Hartman, 1987

Menurut Gautama (2019) terdapat dua sistem penambangan yang dikenal, yaitu sistem penambangan terbuka dan sistem penambangan bawah tanah. Pemilihan sistem penambangan yang akan diterapkan pada suatu cebakan mineral atau batubara ditentukan oleh beberapa faktor, namun pertimbangan utamanya adalah bentuk dan sebaran cebakan bahan tambang dan posisinya dari permukaan tanah. Tetapi pada umumnya suatu bentuk cebakan hanya memberikan peluang untuk penerapan satu sistem penambangan saja. Contohnya cebakan batubara yang tersingkap dengan kemiringan (*dip*) 15° hanya dapat ditambang secara ekonomis dengan tambang terbuka. Atau cebakan bijih emas berupa urat atau *vein* dengan ketebalan rata-rata 2 meter dan kemiringan 80° pada daerah berbukit-bukit hanya mungkin ekonomis ditambang secara tambang bawah tanah.

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, penggalian dan penimbunan batuan penutup (*overburden*) atau batuan samping (*waste rock*) serta penggalian, pengangkutan dan penimbunan bahan yang menjadi target penambangan (bijih, batuan, atau batubara). Kegiatan penggalian dan penimbunan tentu akan mengubah bentang alam di areal tambang secara dinamis. Sementara pada tambang bawah tanah kegiatan diawali dengan tahap penyiapan penambangan (*development*) atau konstruksi berupa penggalian lubang masuk, baik yang berbentuk vertikal, disebut *shaft*, ataupun miring (*inclined shaft* atau *decline*) dan lubang-lubang bukaan menuju ke badan bijih atau batubara

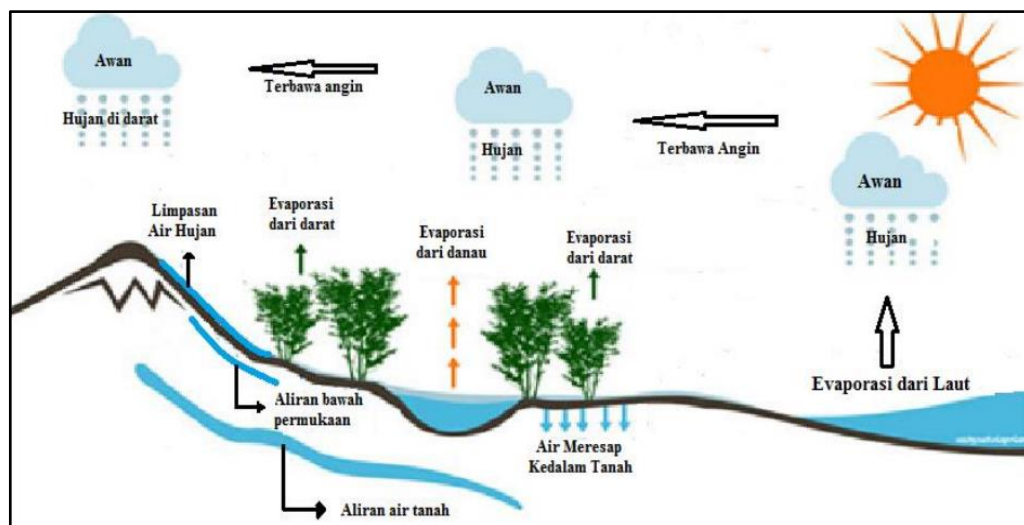
Operasi penambangan terbuka akan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama hujan. Dalam beberapa kasus, juga dipengaruhi oleh keberadaan lapisan air tanah. Sebaliknya, operasi tambang bawah tanah tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Permasalahan air yang sering dihadapi adalah keberadaan lapisan air tanah yang terpotong atau memengaruhi operasi penambangan bawah tanah.

2.2 Siklus Hidrologi

Pada umumnya masalah yang sering dihadapi dalam industri pertambangan adalah air. Indonesia yang merupakan negara beriklim tropis dengan dua musim yaitu musim hujan dan musim panas. Pada musim hujan, limpasan air hujan yang tinggi

menjadi masalah dalam kegiatan penambangan. Hal ini dikarenakan curah hujan yang tinggi pada musim penghujan yang terjadi dalam beberapa kurun waktu secara berturut-turut. Sehingga perlu merencanakan sistem penyaliran tambang yang baik dan efektif agar proses penambangan tidak terganggu. Perencanaan sistem penyaliran yang efektif memerlukan pengamatan siklus hidrologi untuk menganalisis total jumlah air yang masuk dalam daerah *front* penambangan.

Di alam, proses deformasi, pergerakan aliran air (dalam tanah, permukaan tanah dan udara) dan jenis air terjadi dalam siklus yang seimbang dan dikenal sebagai siklus hidrologi. Siklus hidrologi mencakup proses hidrologi di semua skala hidrosfer dan dikendalikan oleh radiasi matahari dan gravitasi. Siklus hidrologi diwujudkan dalam interaksi lautan, atmosfer, tanah dan pertukaran air dan energi (Yang, D. *et al.*, 2021). Siklus hidrologi biasanya disebut konsekuensi berulang dari berbagai bentuk pergerakan air dan perubahan keadaan fisiknya di alam pada suatu wilayah tertentu (Kuchment, 2004). Siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus hidrologi (Triatmodjo, 2008)

Siklus hidrologi dimulai dari peristiwa menguapnya air laut ke atmosfer. Di atmosfer, uap air akan mengalami kondensasi dan membentuk awan. Angin akan mendorong awan di atas samudra menuju ke daratan. Selama perjalanan awan menuju daratan, awan akan menampung banyak uap air yang menguap. Akhirnya awan tidak mampu lagi menampung uap air yang naik, sehingga jika sudah mencapai titik jenuhnya, awan akan menjatuhkan uap air yang tertampung ke bumi (Chakti dan Har, 2020).

2.2.1 Presipitasi

Presipitasi adalah proses dimana air bergerak dari atmosfer ke permukaan bumi dan ke laut. Air yang jatuh juga bisa membentuk hamparan hujan atau salju tergantung di mana air jatuh. Di daerah tropis, presipitasi terjadi dalam bentuk air hujan. Sebaliknya, jika terjadi di daerah beriklim sedang, presipitasi dapat berupa hujan atau salju. Karena Indonesia terletak di daerah tropis, maka presipitasi yang terjadi adalah curah hujan.

Hujan merupakan peristiwa iklim alam yang merepresentasikan perubahan wujud air dari uap menjadi cair akibat proses kondensasi. Peristiwa presipitasi secara rinci dapat dilihat pada siklus hidrologi. Proses hujan dimulai ketika uap air naik dari tanah ke atmosfer. Uap air di atmosfer mendingin dan mengembun membentuk awan. Kondensasi terjadi ketika suhu udara turun. Ketika awan pembentuk tidak dapat lagi menahan air, awan tersebut melepaskan uap air di dalamnya dalam bentuk hujan. Secara sederhana, harus mendukung empat hal berikut:

1. Kelembaban udara yang cukup.
2. Terdapat inti yang cukup untuk pembentukan kondensasi.
3. Kondisi udara cukup baik untuk proses penguapan terjadi.
4. Awan pembentukan kondensasi harus mencapai bumi.

Presipitasi dapat terjadi dalam beberapa bentuk. Berdasarkan ukurannya, bentuk-bentuk presipitasi dapat dijelaskan sebagai berikut (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. *Drizzle*, merupakan presipitasi yang terdiri dari butir-butir air berdiameter kurang dari 0,02 mm atau intensitasnya kurang dari 0.04 mm per jam.
2. *Rain*, merupakan presipitasi dengan ukuran butir air lebih besar dari 0,02 mm.
3. *Glaze*, merupakan presipitasi berupa es yang terbentuk dari hujan atau *drizzle* yang membeku akibat kontak dengan lingkungan yang dingin.
4. *Sleet*, merupakan presipitasi terbentuk apabila butir-butir hujan sewaktu jatuh mengalami pembekuan akibat udara yang dingin.
5. *Snow*, merupakan presipitasi dalam bentuk kristal es.

6. *Hail*, merupakan presipitasi dalam bentuk bola es dengan diameter lebih dari 0,2 inci.

2.2.2 Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah dan akan mengisi pori-pori tanah. Proses infiltrasi dapat berlangsung secara vertikal dan horisontal. Proses infiltrasi secara vertikal disebabkan oleh adanya gaya gravitasi dan dikenal dengan sebutan perkotasi, Proses infiltrasi yang terjadi secara horisontal disebabkan oleh adanya gaya kapiler yang dikenal sebagai aliran antara (*interflow*).

Proses infiltrasi melibatkan tiga proses yang saling tidak tergantung satu sama lain, yaitu proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah, tertampungnya air hujan tersebut di dalam tanah, dan proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain (bawah, samping, dan atas). Ketika air hujan menyentuh permukaan tanah, sebagian atau seluruh air hujan tersebut masuk ke dalam tanah melalui pori-pori permukaan tanah. Proses masuknya air hujan ke dalam tanah disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah. Laju air infiltrasi yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dibatasi oleh besarnya diameter pori-pori tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah sebagai berikut (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Vegetasi

Penutup tanah dengan vegetasi dapat meningkatkan laju infiltrasi pada suatu area, perbedaan kapasitas infiltrasi untuk penggunaan lahan yang berbeda menunjukkan bahwa faktor vegetasi berperan penting dalam menentukan kapasitas infiltrasi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kapasitas infiltrasi pada tanah bervegetasi umumnya lebih tinggi daripada tanah yang tidak bervegetasi.

Tanah yang ditumbuhi oleh tanaman biasanya mempunyai laju infiltrasi lebih besar dibandingkan permukaan tanah yang terbuka. Hal ini disebabkan oleh akar tanaman yang meningkatkan porositas tanah menjadi lebih tinggi, sehingga air lebih banyak dan meningkat pada permukaan yang tertutupi

oleh vegetasi, dapat menyerap energi tumbuk hujan dan sehingga mampu mempertahankan laju infiltrasi yang tinggi.

2. Intensitas hujan

Hujan merupakan faktor terpenting di daerah tropis karena dapat merusak tanah melalui kemampuan energi kinetiknya yang digambarkan sebagai intensitas, durasi, ukuran butiran hujan, dan kecepatan jatuh. Faktor iklim diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu pada saat curah hujan tahunan 2500 mm.

3. Tekstur tanah

Kelas tekstur tanah menunjukkan perbandingan antara pasir (0,005-2 mm), debu (0,002-0,005 mm), dan liat ($< 0,002$ mm) pada fraksi tanah halus. Tekstur menentukan tata air, tata udara, kemudahan pengelolaan, dan struktur tanah. Berdasarkan fraksi-fraksi tanah, tekstur tanah dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu halus, sedang, dan kasar. Semakin halus tekstur tanah mengakibatkan kualitas tanah semakin buruk, karena kemampuan tanah dalam menyerap air semakin menurun. Profil tanah yang dalam dan permeabilitas tanah yang baik (sedang-cepat) memungkinkan air permukaan dapat masuk lebih dalam ke dalam tanah dan mengisi pori-pori dan rongga-rongga yang ada jauh di dalam tanah.

4. Kerapatan massa (*bulk density*)

Bulk density atau kerapatan massa tanah banyak mempengaruhi sifat fisik tanah, seperti porositas, kekuatan, daya dukung, kemampuan tanah menyimpan air, drainase, dan lain lain. Sifat fisik tanah berhubungan dengan penggunaan tanah dalam berbagai keadaan. *Bulk density* sangat berhubungan erat dengan *particle density*, jika *particle density* tanah sangat tinggi, maka *bulk density* juga tinggi. Hal ini dikarenakan *particle density* berbanding lurus dengan *bulk density*, namun apabila tanah memiliki tingkat kadar air yang tinggi maka *particle density* dan *bulk density* akan rendah. Dapat dikatakan bahwa *particle density* berbanding terbalik dengan kadar air. Hal ini terjadi jika suatu tanah memiliki tingkat kadar air yang tinggi dalam menyerap air tanah, maka kepadatan tanah menjadi rendah karena

pori-pori di dalam tanah besar sehingga tanah yang memiliki pori besar akan lebih mudah memasukkan air di dalam agregat tanah.

2.2.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari dua proses yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses dimana air menguap atau hilang dari tanah dan badan air (abiotik), sedangkan transpirasi adalah proses dimana air dilepaskan dari tanaman (biotik) melalui proses respirasi dan fotosintesis. Transpirasi pada dasarnya adalah proses dimana air menguap dari tanaman melalui daun ke atmosfer. Sistem akar tumbuhan mengambil jumlah air yang bervariasi dan menyalurkannya melalui tumbuhan dan daun. Dua proses terpisah dari kehilangan air dari permukaan tanah melalui penguapan dan kehilangan air dari tumbuhan melalui penguapan disebut evapotranspirasi (ET).

Faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi adalah suhu air, suhu udara (atmosfer), kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, sinar matahari. Kondisi kondisi iklim harus diperhatikan saat mengukur evaporasi, karena perubahan lingkungan sangat mempengaruhi faktor tersebut. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses transpirasi adalah suhu, kecepatan angin, kelembaban tanah, sinar matahari, gradien tekanan uap. Faktor sifat tanaman dan kerapatan tanaman juga berpengaruh.

Proses evaporasi dimulai ketika energi dibutuhkan untuk mengubah bentuk molekul air dari fase cair ke fase uap. Radiasi matahari langsung dan faktor lingkungan yang mempengaruhi suhu udara merupakan sumber energi. Kekuatan pendorong untuk menghilangkan uap air dari permukaan yang menguap adalah perbedaan tekanan antara uap air pada permukaan yang menguap dan tekanan udara atmosfer. Selama proses tersebut, udara sekitar perlahan-lahan menjadi jenuh, dan kemudian proses tersebut melambat dan dapat berhenti jika udara lembab tidak berpindah ke atmosfer. Pertukaran udara jenuh dengan udara kering sangat bergantung pada kecepatan angin. Oleh karena itu, radiasi matahari, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin merupakan parameter iklim yang diperhitungkan saat menentukan proses penguapan. Jika permukaan penguapan adalah tanah, maka ketinggian tajuk tanaman dan jumlah air yang tersedia pada

permukaan penguapan juga merupakan faktor yang mempengaruhi proses penguapan. Ada beberapa metode untuk mengukur evaporasi, yaitu dengan bejana evaporasi, lisimeter, pengukuran meteorologis.

Proses transpirasi melibatkan penguapan cairan (air) dalam jaringan tanaman dan transfer uap ke atmosfer. Tanaman biasanya kehilangan air melalui stomata. Stomata adalah saluran terbuka pada permukaan daun tanaman yang menguap dan menjadi gas. Air bersama dengan beberapa unsur hara lainnya diserap oleh akar dan diangkut ke seluruh tanaman. Proses penguapan berlangsung di daun yang disebut ruang *intercellular*, dan pertukaran uap ke atmosfer diatur oleh celah stomata. Hampir semua air diserap keluar selama proses transpirasi, dan tanaman hanya menggunakan sebagian kecil.

Perbedaan evaporasi dan transpirasi dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Perbedaan evaporasi dan transpirasi

No	Evaporasi	Transpirasi
1	Proses fisika murni	Proses fisiologis atau fisika yang termodifikasi
2	Tidak diatur bukaan stomata	Diatur bukaan stomata
3	Tidak diatur oleh tekanan	Diatur beberapa macam tekanan
4	Tidak terbatas pada jaringan hidup	Terjadi di jaringan hidup
5	Permukaan yang menjalankannya menjadi kering	Permukaan sel basah

Sumber: Salsabila dan Nugraheni, 2020

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan evapotranspirasi adalah sebagai berikut (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Faktor iklim mikro, mencakup radiasi netto, suhu, kelembaban, dan angin.
2. Faktor tanaman, mencakup jenis tanaman, derajat penutupan, struktur tanaman, tahap perkembangan dan pertumbuhan, keteraturan dan banyaknya stomata.
3. Faktor tanah, mencakup kondisi tanah, aerasi tanah, potensial air tanah, dan kecepatan air tanah bergerak ke akar tanaman.

Ada beberapa metode dalam penetapan nilai/besarnya evapotranspirasi, antara lain (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Metode Thorntwaite

Thornwite telah mengembangkan suatu metode untuk memperkirakan besarnya evapotranspirasi potensial dari data klimatologi. Evapotranspirasi potensial (PET) berdasarkan suhu udara rerata bulanan dengan standar 1 bulan 30 hari dan lama penyinaran matahari 12 jam sehari. Metode ini memanfaatkan suhu udara sebagai indeks ketersediaan energi panas untuk berlangsungnya proses ET dengan asumsi suhu udara tersebut berkorelasi dengan efek radiasi matahari dan unsur lain yang mengendalikan proses ET. Evapotranspirasi potensial tersebut berdasarkan suhu udara rata-rata bulanan dengan standar 1 bulan (30 hari) dan lama penyinaran 12 jam sehari. Rumus dasar dari metode ini adalah:

$$J = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (1)$$

$$PE_T = 16 \left(\frac{10t}{J}\right)^a \quad (2)$$

$$a = (675 \times 10^{-9})J^3 - (771 \times 10^{-7})J^2 + 1(79 \times 10^{-4})J + 0,492 \quad (3)$$

dimana:

PE_T = evapotranspirasi potensial bulanan (mm/bulan) dengan asumsi 30 jumlah hari dalam 1 bulan dan penyinaran rata-rata 12 jam/hari

t = temperatur udara rata-rata bulan ke-n ($^{\circ}C$)

J = indeks panas tahunan

a = koefisien yang tergantung dari tempat

2. Metode Blaney-Criddle

Metode ini digunakan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi dari tumbuhan yang pengembangannya didasarkan pada kenyataan bahwa evapotranspirasi bervariasi sesuai dengan keadaan temperatur, lamanya penyinaran matahari, dan kebutuhan tanaman. Rumus dari metode ini adalah:

$$ET = c\{p(0,46t + 8)\} \quad (4)$$

dimana:

- c = faktor koreksi yang tergantung (n/N) dan RH
- p = persentase penyinaran matahari
- t = temperatur udara bulanan rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

3. Metode Modifikasi

Metode ini adalah metode yang bervariasi tergantung dari temperatur, lama penyinaran matahari, kelembaban relatif, dan kecepatan angin.

Rumus dari metode ini adalah:

$$ET_0 = c (W \cdot R_n + (1-W)f(u)(e_a - e_d) \quad (5)$$

dimana:

- c = faktor koreksi akibat keadaan iklim siang atau malam
- W = faktor bobot
- R_n = radiasi netto
- $f(u)$ = fungsi kecepatan angin
- e_a = tekanan uap jenuh
- e_d = tekanan uap aktual

2.2.4 Aliran permukaan (*run off*)

Limpasan permukaan (*run off*) adalah bagian dari air hujan yang mengalir tipis di atas permukaan tanah. Air mengalir ke tempat yang lebih rendah dan kemudian ke sungai atau danau atau waduk dan bahkan ke laut. Aliran limpasan permukaan merupakan hujan yang mengalir di permukaan tanah yang membawa zat dan partikel tanah. Limpasan disebabkan oleh intensitas curah hujan yang melebihi kapasitas infiltrasi, maka ketika laju infiltrasi tercapai, air akan mengisi cekungan-cekungan di permukaan tanah. Ketika cekungan ini terisi air dan penuh, air (melimpas) mengalir di atas tanah (*surface run off*).

Proses terjadinya limpasan permukaan adalah hujan yang jatuh ke tanah pada suatu daerah tertentu. Pada saat sampai ke tanah, air hujan masuk ke dalam tanah sebagai air infiltrasi, setelah itu ditahan sebagai air intersepsi oleh tajuk pohon. Infiltrasi akan berlangsung terus menerus hingga kapasitas lahan sudah terpenuhi. Saat curah hujan berlanjut dan lahan sudah terisi penuh, kelebihan air hujan akan tetap terinfiltrasi yang selanjutnya akan menjadi air perkolasi dan sebagian digunakan untuk mengisi cekungan atau depresi permukaan tanah sebagai

simpanan permukaan (*depression stroge*). Selanjutnya setelah simpanan depresi terpenuhi, kelebihan air tersebut akan menjadi genangan air (*detention stroge*). Sebelum menjadi aliran permukaan. (*overland flow*), kelebihan air hujan di atas sebagian akan menguap atau terevaporasi meskipun jumlahnya sangat kecil (Salsabila dan Nugraheni, 2020).

2.2.5 Air tanah

Air tanah dapat didefinisikan sebagai salah satu bentuk air yang berada di sekitar bumi dan terdapat di dalam tanah. Air tanah sebagian besar ditemukan di lapisan tanah baik dari yang dekat dengan permukaan tanah sampai dengan yang jauh dari permukaan tanah. Air tanah terbentuk berkaitan dengan adanya siklus siklus hidrologi. Air yang turun ke bumi sebagai air hujan sebagian besar akan mengalir dipermukaan tanah sebagai air permukaan, seperti sungai, danau, atau rawa. Sebagian kecil air hujan tersebut juga meresap ke dalam tanah dan masuk ke dalam zona jenuh, sehingga menjadi air tanah (Salsabila dan Nugraheni, 2020).

Air tanah digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu berdasarkan letak di permukaan tanah dan berdasarkan asalnya. Air tanah berdasarkan letaknya dibagi kembali menjadi 2 jenis, yaitu air tanah freatik dan air tanah dalam (artesis).

- Air tanah freatik adalah air tanah dangkal yang terletak tidak jauh dari permukaan tanah dan berada di atas lapisan *impermeable* atau kedap air, contohnya adalah air sumur.
- Air tanah dalam (artesis) adalah air tanah yang terletak di antara lapisan akuifer dan batuan kedap air, contohnya adalah sumur artesis

Sedangkan, air tanah berdasarkan asalnya kembali dibagi menjadi 3 jenis, yaitu air tanah meteorit (*vados*), air tanah baru (*juvenil*), dan air konat.

- Air tanah meteorit (*vados*) adalah air tanah yang berasal dari proses presipitasi (hujan) dari awan yang mengalami kondensasi dan tercampur dengan debu meteorit.
- Air tanah baru (*juvenil*) adalah air tanah yang berasal dari dalam bumi karena tekanan intrusi magma, contohnya adalah geiser atau sumber air panas.
- Air konat adalah air tanah yang terkurung pada lapisan batuan purba.

2.3 Sistem Penyaliran Tambang

Kegiatan sistem penambangan terbuka sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama hujan. Saat hujan, air dapat masuk ke lokasi penambangan, membasahi material dan membuat jalan licin, mengganggu aktivitas penambangan, menunda produksi dan menyebabkan pencemaran air di lokasi lain (Kurnianda dkk, 2022). Oleh karena itu, air yang menggenangi lokasi penambangan menjadi masalah yang penting untuk ditangani bagi perusahaan penambangan. Salah satu cara untuk mengendalikan air di area penambangan agar tidak mengganggu aktivitas penambangan yaitu dengan dengan cara membuat sarana sistem penyaliran (Gautama, 2019).

Sistem penyaliran tambang adalah salah satu kegiatan yang bukan merupakan kegiatan utama dalam kegiatan penambangan melainkan salah satu aspek pendukung. Kegiatan ini merupakan kegiatan yang utama jika di dalam area penambangan memiliki permasalahan terhadap air permukaan (*run off*) atau air tanah. Terdapatnya air limpasan dan air tanah pada lokasi tambang dapat menghambat kegiatan penambangan yang sedang berlangsung, karena kerja alat berat tidak optimal (Zendrato dan Rusli, 2021).

Sistem penyaliran tambang ialah teknik penanggulangan air sehingga air yang berasal dari air hujan maupun air tanah dapat diatasi dengan cara dikeluarkan maupun dialirkan langsung ke daerah titik terendah. Sistem penyaliran tambang diterapkan oleh perusahaan dengan maksud agar air yang masuk ke dalam area penambangan tidak mengganggu kegiatan operasi-produksi sehingga target produksi dapat tercapai. Air hujan merupakan salah satu sumber air yang terdapat di area penambangan, dimana air yang masuk ke bukaan tambang langsung mengalir melalui saluran terbuka yang menuju ke muara dan air hujan yang tidak tertampung mengalir ke penampungan sementara (*sump*) pada pit di dasar lubang untuk kemudian dibuang melalui pemompaan ke saluran terbuka menuju kolam *settling pond* (Afrizal, 2022).

Sistem penyaliran tambang bertujuan untuk mencegah terganggunya aktivitas penambangan akibat adanya air dalam jumlah yang berlebihan, terutama pada musim hujan. Selain itu, sistem penyaliran tambang ini juga dikatakan dapat

memperlambat kerusakan alat dan menjaga kondisi kerja yang aman agar alat mekanik dapat digunakan dalam waktu yang lama (Khusairi dkk, 2020)

Sistem penyaliran tambang adalah usaha yang dilakukan untuk mencegah, mengeringkan, dan mengatasi air yang masuk ke area penambangan yang berasal dari aktivitas penambangan seperti penggalian, peledakan, serta air hujan atau air limpasan dan air tanah. Secara umum, ada dua sistem penyaliran pada tambang terbuka yaitu *mine drainage system* (penyaliran) maupun *mine dewatering system* (penirisan) (Chakti dan Har, 2020).

2.3.1. *Mine drainage system*

Mine drainage system merupakan upaya yang dilakukan untuk mencegah masuknya air ke dalam bukaan tambang. Hal ini umumnya dilakukan untuk penanganan air tanah dan air yang berasal dari sumber air permukaan. Beberapa metode penyaliran *mine drainage system* yaitu sebagai berikut:

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. 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 bekerja secara otomatis jika tercelup air. Kedalaman lubang bor 50 m sampai 60 m.

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) dinetralisir menjadi menjadi air dan terkumpul pada sumur lalu dihisap dengan dihisap dengan pompa.

4. *Small pipe with Vacuum Pump*

Cara ini diterapkan pada lapisan batuan yang impermiabel (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.

5. Metode kombinasi dengan lubang bukaan bawah tanah

Metode ini dilakukan dengan membuat lubang bukaan mendatar di dalam tanah guna menampung air dari permukaan. Beberapa lubang sumur dibuat untuk menyalurkan air permukaan kedalam terowongan bawah tanah tersebut. Cara ini cukup efektif, karena air akan mengalir sendiri akibat pengaruh gravitasi sehingga tidak memerlukan pompa.

2.3.2. *Mine dewatering system*

Mine dewatering system merupakan upaya untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah penambangan sehingga proses penambangan dapat dilakukan dengan aman. Upaya ini terutama untuk menangani air yang berasal dari air hujan. Beberapa metode penyaliran *mine dewatering* adalah sebagai berikut:

1. Sistem kolam terbuka

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

2. Saluran terbuka

Penyaliran dengan cara saluran terbuka ini merupakan cara yang paling mudah. Pembuatan saluran terbuka bertujuan untuk menampung air limpasan yang menuju lokasi penambangan. Air limpasan akan masuk ke dalam saluran-saluran kemudian di alirkan ke suatu kolam penampung atau di buang langsung ke tempat pembuangan dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

3. Sistem adit

Cara ini biasanya digunakan untuk pembuangan air pada tambang terbuka yang mempunyai banyak jenjang. Saluran horisontal yang di buat 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 horisontal tersebut.

2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran

2.4.1. Curah hujan

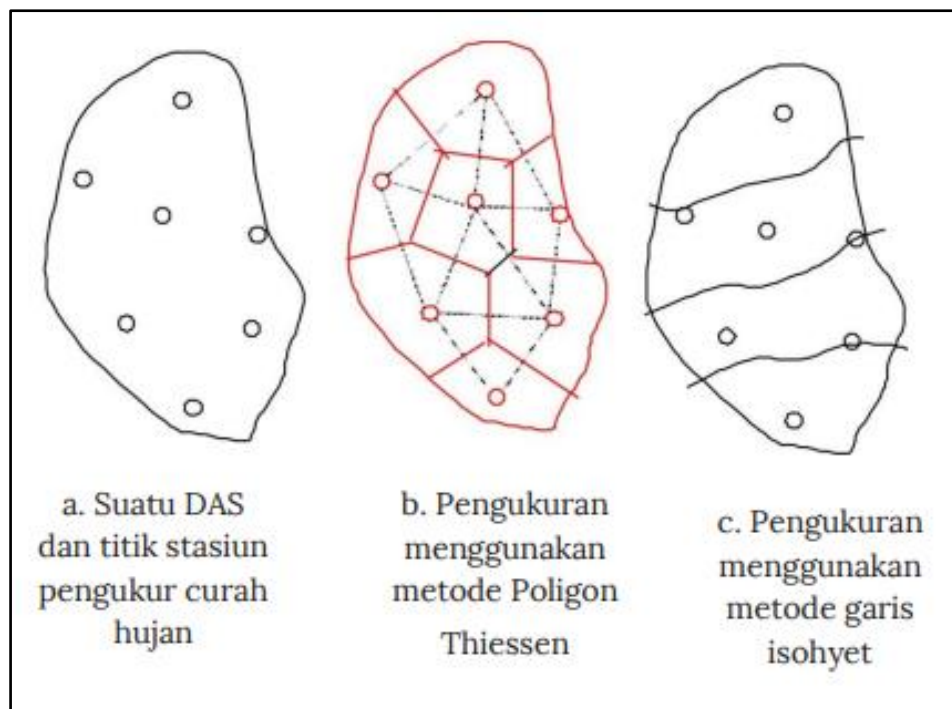
Curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh ke tanah dalam jangka waktu tertentu, diukur dalam satuan mm pada permukaan horizontal. Curah hujan dapat diartikan sebagai banyaknya air hujan yang terkumpul pada suatu tempat yang datar tanpa meresap atau meluap. Curah hujan 1 (satu) milimeter, yaitu dalam luasan satu meter persegi di atas tanah datar dapat terakumulasi satu milimeter air atau satu liter air.

Pengukuran curah hujan harian, bulanan, dan tahunan pada suatu tempat dapat menggunakan 3 cara, yaitu (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Rata-rata aritmatika, rata-rata dari penjumlahan seluruh alat pengukur curah hujan dalam periode waktu hujan tertentu dan dibagi dengan jumlah alat pengukur yang digunakan. Teknik pengukuran ini dianggap sebagai teknik pengukuran yang paling mudah. Namun, pengukuran rata-rata aritmatik ini perlu mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu lokasi alat pengukur curah hujan harus tersebar merata dan daerah pengamatan harus seragam terutama dalam hal ketinggian.
2. Teknik poligon, menghubungkan satu alat pengukur curah hujan terpasang dengan alat pengukur lainnya (interpolasi). Poligon Thiessen merupakan salah satu metode interpolasi yang paling banyak dipakai. Teknik poligon dapat digunakan untuk menentukan curah hujan suatu daerah. Teknik ini tidak cocok digunakan di daerah bergunung dan daerah dengan intensitas curah hujan yang tinggi. Stasiun terdekat terhadap setiap titik di dalam DAS dapat dicari dengan menghubungkan stasiun-stasiun yang ada secara grafis, kemudian dibuat garis tegak lurus yang membagi dua stasiun terdekat, dan membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Luasan di dalam poligon menunjukkan wilayah yang paling dekat dengan stasiun di

dalamnya sehingga pemberatan yang dilakukan terhadap stasiun tersebut adalah perbandingan antara luas poligon terdekat dengan luas total DAS.

3. Isohyet, garis kontur diinterpolasi dan dihubungkan titik-titik stasiun yang jumlah curah hujannya sama. Teknik ini dinilai sebagai teknik yang paling baik. Daerah tangkapan air dan daerah yang dibatasi garis isohyet dihitung luasnya dengan menggunakan planimeter. Curah hujan untuk daerah tangkapan air tersebut dihitung berdasarkan jumlah perkalian antara luas masing-masing bagian isohyetal dengan curah hujan dari setiap daerah yang bersangkutan kemudian dibagi luas total daerah tangkapan air. Perbedaan metode polygon dengan metode isohyet dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbedaan metode poligon dengan isohyet

4. Metode *inverse-distance*, metode ini menghitung hujan di suatu DAS dengan menerapkan interpolasi pada satu titik dengan mempertimbangkan data-data pada titik-titik lain di sekelilingnya dan melakukan pemberatan atas dasar jarak. Metode ini dilakukan pada daerah dengan kerapatan stasiun hujan yang memadai.

Pengamatan curah hujan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur curah hujan. Alat pengukur curah hujan ada dua, yaitu alat ukur manual dan

otomatis. Alat ini biasanya diletakkan ditempat terbuka agar air hujan yang jatuh tidak terhalangi oleh bangunan atau pepohonan. Data tersebut berguna pada saat penentuan hujan rencangan. Analisis terhadap curah hujan ini dapat dilakukan 2 metode, yaitu:

1. *Annual series*, yaitu metode dengan mengambil satu data maksimum setiap tahunnya yang berarti hanya besaran maksimum setiap tahun saja yang dianggap berpengaruh dalam analisis data penelitian.
2. *Partial duration series*, yaitu metode dengan menentukan lebih dahulu batas awal tertentu curah hujan, selanjutnya data yang lebih besar dari batas awal tersebut diambil dan dijadikan data yang akan di analisis.

Angka-angka curah hujan yang diperoleh sebelum diterapkan dalam rencana pengendalian air permukaan, harus diolah terlebih dahulu. Data curah hujan yang akan dianalisis adalah besarnya curah hujan harian maksimum. Pengolahan data curah hujan meliputi:

1. Periode ulang hujan

Curah hujan biasanya terjadi dalam pola tertentu, curah hujan tertentu biasanya berulang dalam kurun waktu tertentu yang disebut dengan periode ulang hujan. Periode ulang hujan didefinisikan sebagai waktu dimana curah hujan dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tertentu. Misalnya, dengan periode ulang hujan 10 tahun, kejadian yang relevan (hujan, banjir) terjadi rata-rata sekali dalam periode 10 tahun. Peristiwa tersebut tidak harus berlangsung 10 tahun, tetapi rata-rata 10 tahun sekali, misalnya 10 kali dalam 100 tahun, 25 kali dalam 250 tahun, dan seterusnya. Periode ulang ini menjelaskan bahwa semakin panjang periode ulang maka semakin tinggi curah hujan. Penentuan waktu kembali hujan sebenarnya lebih dititikberatkan pada masalah yang harus diperhatikan dalam rencana tersebut. Dalam menentukan periode ulang hujan, risiko yang mungkin timbul yaitu hujan melebihi curah hujan yang direncanakan atau yang telah diperhitungkan.

2. Curah hujan rencana

Hujan rencana adalah curah hujan paling tinggi yang mungkin terjadi selama umur penyaliran yang direncanakan. Hujan rencana ini ditentukan

dari hasil analisis frekuensi data curah hujan, dan dinyatakan dalam curah hujan dengan periode ulang tertentu. Salah satu metode dalam analisis frekuensi yang sering digunakan dalam menganalisis data curah hujan adalah metode distribusi ekstrim, atau juga dikenal dengan metode distribusi Gumbel.

2.4.2. Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan per satuan waktu yang relatif singkat, dinyatakan dalam mm/jam, mm/menit, mm/detik. Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf I, satuannya mm/jam. Artinya tinggi atau kedalaman dalam waktu satu jam adalah sekian mm (Sapan et al., 2020). Intensitas curah hujan bervariasi menurut ruang dan waktu yang bergantung pada letak geografis dan iklim, serta mempunyai hubungan erat dengan lamanya hujan. Jika durasi hujan yang sama menghasilkan kedalaman hujan yang berbeda, maka intensitas curah hujan rata-rata akan berbeda (Tunas et al., 2016).

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan dalam satuan waktu. Berdasarkan tinggi rendahnya nilai intensitas hujan, hujan dapat diklasifikasikan kedalam beberapa tingkatan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Derajat dan intensitas curah hujan

No	Derajat Hujan	Intensitas Curah Hujan	Kondisi
1	Hujan sangat lemah	< 0,02	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
2	Hujan lemah	0,02 - 0,05	Tanah menjadi basah semuanya
3	Hujan normal	0,05 - 0,25	Bunyi curah hujan terdengar Air tergenang di seluruh
4	Hujan deras	0,25 - 1,00	permukaan tanah dan terdengar bunyi dari genangan
5	Hujan sangat deras	> 1,00	Hujan seperti ditumpahkan, seluruh drainase, meluap

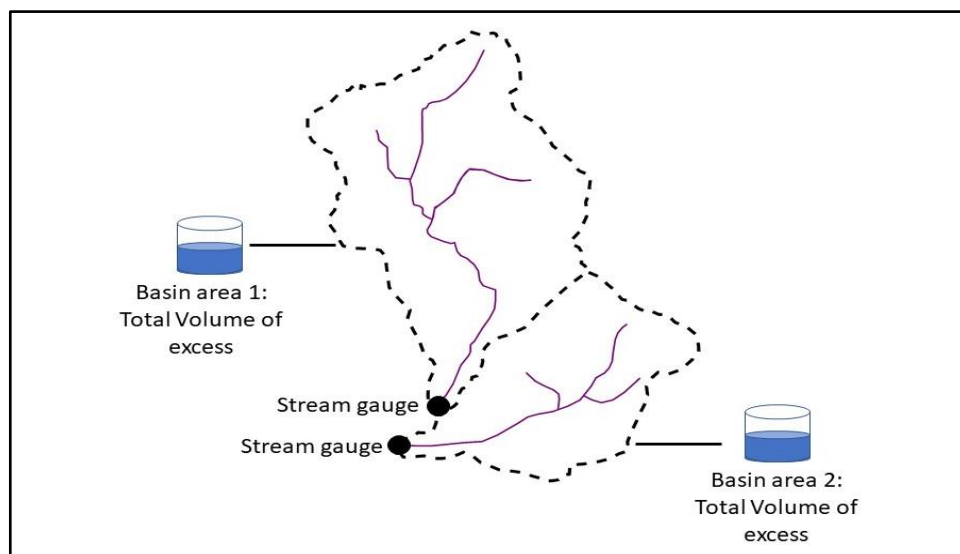
Sumber: Gautama, 1999

Pada prinsipnya pola distribusi curah hujan yang dinyatakan sebagai intensitas hujan dapat diperoleh dari alat pengukur curah hujan otomatis, tetapi jika data tersebut tidak tersedia, pola distribusi curah hujan dapat ditentukan dengan model distribusi hipotesis seperti *uniforms*, *triangle*, *Mononobe*, *alternating block method* (ABM), dan Tadashi Tanimoto (Chow et al., 1998).

2.4.3. Daerah tangkapan hujan

Daerah tangkapan hujan merupakan wilayah geografis yang dibatasi oleh titik tertinggi tempat jatuhnya air, apabila hujan air hujan akan mengalir ke daerah yang lebih rendah menuju cekungan pada saat hujan. Tangkapan air hujan ini sangat berpengaruh dalam menentukan jumlah limpasan yang mengalir ke suatu lokasi. Daerah tangkapan suatu wilayah pertambangan dapat ditentukan dengan menganalisis peta topografi dan peta kemajuan pertambangan lokasi yang akan diteliti.

Ukuran besar dan kecilnya daerah tangkapan hujan memberi kontribusi terhadap aliran sungai di dalam daerah tangkapan hujan dan berpengaruh langsung terhadap total volume aliran yang akan keluar dari daerah tangkapan hujan. Jika hujan jatuh merata di dalam dua daerah tangkapan hujan yang berbeda ukuran, maka total volume aliran yang dihasilkan pada daerah tangkapan hujan yang relatif luas akan lebih banyak dibandingkan dengan daerah tangkapan hujan yang sempit. Perbedaan volume aliran daerah tangkapan hujan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbedaan volume aliran daerah tangkapan hujan

Daerah tangkapan hujan dapat ditentukan dengan menggunakan peta topografi skala 1:50.000 yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Garis kontur tersebut dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan permukaan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah (Salsabila dan Nugraheni, 2020).

2.4.4. Debit air limpasan

Debit air limpasan merupakan debit air hujan yang direncanakan di daerah tangkapan air yang diharapkan mencapai daerah penambangan. Umumnya penentuan debit air limpasan untuk daerah tangkapan hujan yang kecil ($\leq 200 \text{ km}^2$) dihitung menggunakan rumus rasional:

$$Q = C I A \quad (6)$$

Dimana Q adalah debit air limpasan dalam satuan (L^3/T). I adalah intensitas hujan (L/T), A adalah luas daerah tangkapan hujan (L^2), dan C adalah koefisien limpasan yang didefinisikan sebagai rasio antara limpasan dan hujan (tanpa satuan) (Gautama, 2019).

Salah satu parameter penting dalam model limpasan pada daerah tangkapan hujan adalah waktu konsentrasi (T_c) 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 (*travel time*, T_t) dari semua segmen aliran. Waktu tempuh adalah waktu yang dibutuhkan oleh air mengalir dari suatu tempat ke tempat lain. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu konsentrasi adalah (Gautama, 2019):

- Kekasaran permukaan, area yang terbuka karena kegiatan penambangan akan meningkatkan kecepatan aliran, namun dengan terbentuknya jenjang-jenjang penambangan secara keseluruhan waktu tempuh akan berkurang.
- 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.
- Kemiringan, pada area penambangan maupun penimbungan kemiringan dapat meningkat pada bagian-bagian tertentu.

2.5 Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah sarana yang digunakan untuk mengalirkan air tambang yang dapat berasal dari air hujan yang jatuh di area tambang, air sungai atau rawa yang ada di sekitarnya (Welly dan Har, 2022). Saluran terbuka merupakan suatu tindakan yang dilaksanakan di area penambangan dengan tujuan untuk mencegah maupun mengeluarkan air dengan cara mengalirkannya keluar dari area penambangan.

Saluran terbuka merupakan suatu usaha yang diterapkan pada lokasi penambangan untuk mencegah, mengeringkan, atau mengeluarkan air yang masuk ke area penambangan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi gangguan produksi akibat terlalu banyaknya air limpasan yang masuk ke area penambangan, terutama pada musim hujan. Saluran terbuka berfungsi untuk mencegah air limpasan permukaan masuk ke area penambangan dan mengalirkannya langsung menuju ke kolam pengendapan (Fajrin dkk, 2018).

Saluran terbuka atau biasa disebut paritan 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.

Dari lokasi atau fungsinya, paritan dapat dibedakan menjadi (Gautama, 2019):

1. Paritan keliling (*perimeter ditch*) yang dibuat di sekeliling luar dari pit penambangan dan berfungsi untuk menangkap air limpasan permukaan dari area luar pit sehingga tidak mengalir masuk ke dalam pit.
2. Paritan jenjang (*bench*) yang dibuat di kaki lereng 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.

Suatu saluran terbuka harus memenuhi kriteria berikut:

1. Mampu mengalirkan dengan baik debit air yang direncanakan.
2. Karena air tambang pada tambang terbuka selalu mengandung padatan hasil erosi, kecepatan aliran air di dalam paritan harus sedemikian sehingga tidak terjadi sedimentasi.
3. Kecepatan aliran air di dalam saluran terbuka harus sedemikian sehingga tidak akan merusak dinding atau dasar saluran terbuka mengingat umumnya paritan pada tambang aktif tidak diperkuat baik dinding maupun alasnya.
4. Perlu mempertimbangkan kemudahan dalam penggalian dan pembuatannya

(Gautama, 2019):

1. Tentukan area tangkapan hujan dari saluran terbuka yang akan dibuat.
2. Hitung atau tentukan intensitas hujan rencana, selanjutnya hitung debit puncak yang merupakan kapasitas pengaliran maksimum dari saluran terbuka.
3. Tentukan jalur dan hitung kemiringan, patokan yang sering digunakan adalah kemiringan saluran 2%.
4. Tentukan penampang dari saluran terbuka yang akan dibuat.
5. Hitung geometri saluran terbuka.

Pertimbangan dalam rancangan paritan (Gautama, 2019):

1. Paritan sekeliling pit (*perimeter ditch*):
 - Periode ulang intensitas hujan rencana untuk perhitungan diambil berdasarkan umur pit.
 - Dirancang dapat berfungsi hanya untuk menangkap air limpasan dari area tak terganggu di sekitar tambang, yang masih ditumbuhi tanaman atau hutan, terpisah dari air limpasan yang berasal dari area terganggu

sehingga memungkinkan untuk mengalirkan langsung ke badan perairan alami secara gravitasi.

- Karena masa operasinya panjang maka harus dirancang dan dibangun dengan konstruksi yang tahan lama dan umumnya berbentuk penampang trapesium.

2. Paritan jenjang

- Tidak harus dibuat disetiap jenjang, dapat saja daerah tangkapan satu paritan mencakup beberapa jenjang.
- Periode ulang intensitas hujan rencana yang diambil untuk perhitungan sesuai dengan umur atau masa operasi dari paritan.
- Bentuk saluran mengikuti kemudahan pembuatan. kondisi pengaliran, terutama terkait dengan gradien dan kemudahan perawatan, idealnya dibuat dengan menggunakan *backhoe* tetapi kadangkala juga menggunakan bulldozer dengan cara memiringkan *blade* (sehingga menghasilkan paritan berpenampang segitiga).
- Panjang paritan dimaksimalkan dan manfaatkan paritan di *ramp* untuk memindahkan aliran dari satu jenjang ke jenjang di bawahnya, jika terpaksa harus dialirkan dari jenjang atas ke jenjang di bawahnya tanpa melalui ramp, perlu dibuat *energy dissipation structure* atau yang sering disebut sebagai *drop structure* yang akan mengurangi energi jatuh dari air.
- Jika *berm* pada suatu jenjang juga digunakan sebagai jalan angkut, maka paritan jenjang juga berfungsi sebagai paritan jalan angkut yang hanya ada di satu sisi saja (*side channel*).

3. Paritan di *ramp*

- Arena dibuat di sisi dalam *ramp* dan *ramp* umumnya memiliki kemiringan yang cukup besar (sekitar 8% untuk mengakomodasi truk angkut yang bermuatan pada arah naik) maka memerlukan struktur untuk mengurangi energi aliran, biasanya dalam bentuk tangga.
- Periode ulang intensitas hujan rencana menyesuaikan dengan masa operasi *ramp*.

4. Paritan di dasar pit
 - Masa operasi paritan di dasar pit umumnya pendek terutama untuk pit yang perkembangannya sangat dinamis, seperti pit di tambang batubara.
5. Paritan di area timbunan batuan penutup
 - Biasanya berbentuk paritan di kaki jenjang timbunan untuk kepentingan reklamasi dan pengelolaannya diantaranya meminimalkan dan mengendalikan erosi, sering dibuat pada setiap jenjang.
 - Daerah tangkapan hujannya lebih besar dari pada di pit penambangan karena dalam proses persiapan untuk reklamasi dan revegetasi lereng timbunan dilandaikan hingga mencapai maksimum 15%.
6. Paritan di sisi jalan
 - Bentuk dan *finishing* dari paritan bergantung pada masa operasi alam tersebut. Misalnya untuk jalan angkut akrit di dalam area tambang yang dinamis atau umur operasinya pendek, paritan dapat dibuat dengan menggunakan bilah (*blade*) dari bulldozer bersamaan dengan pembuatan jalan tersebut. Sementara untuk jalan angkut yang sifatnya hampir permanen hendaknya paritan dibuat lebih kuat dengan pertimbangan perawatan yang seminimal mungkin.
 - Kemiringan paritan harus tetap dijaga sekitar 2%, tidak harus selalu mengikuti kemiringan jalan yang memiliki kemiringan lebih besar Hal tersebut dapat dilakukan dengan menyesuaikan lintasan paritan atau dengan membangun *drop structure*.

Saluran terbuka di lapangan menggunakan metode pengapungan yang tidak memperhitungkan kedalaman, daerah basah, tinggi muka air, dan dasar saluran, memenuhi klasifikasi saluran terbuka. Di saluran terbuka ada perhitungan hidrolis yang mengatur aliran tunak rata-rata. Dalam hal ini, evaluasi dilakukan dengan menggunakan metode aliran seragam, rumus Manning (Kurnianda, 2022). Perhitungan dimensi saluran terbuka dilakukan dengan menggunakan Persamaan Manning sebagai berikut:

$$Q = A \cdot 1/n \cdot S^{1/2} \cdot R^{2/3} \quad (7)$$

dimana:

$$Q = \text{Debit air limpasan (m}^3\text{/detik)}$$

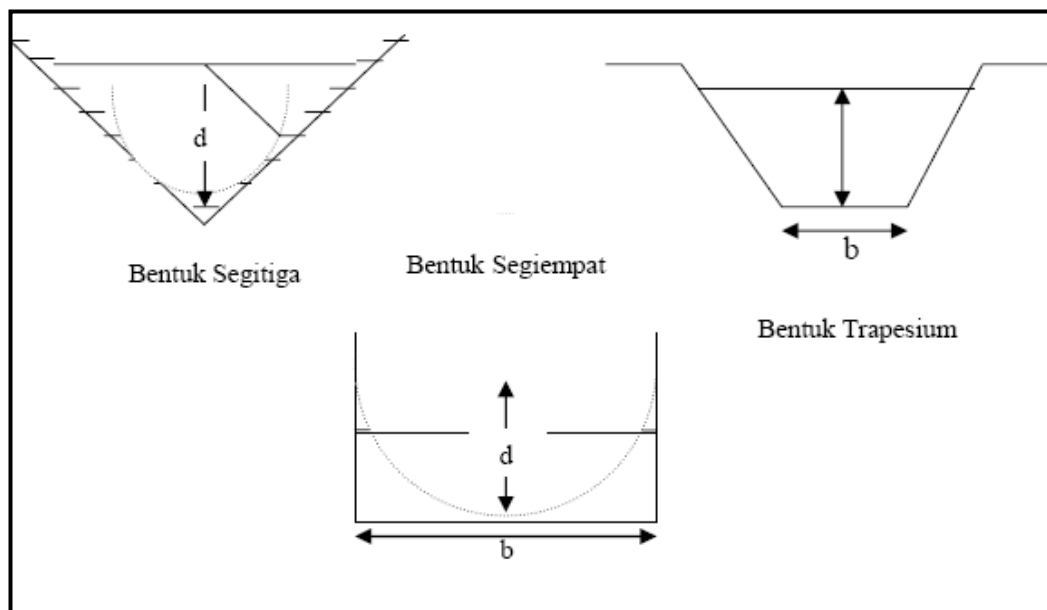
- A = Luas penampang basah (m^2)
 n = Nilai kekasaran dinding saluran menurut Manning (Tabel 4)
 S = Kemiringan saluran (%) = 0,5%
 R = Jari-jari hidrolis (m)

Tabel 4. Koefisien kekasaran dinding saluran Manning

No	Type Dinding Saluran	n
1	Semen	0,010 – 0,014
2	Beton	0,011 – 0,016
3	Bata	0,012 – 0,020
4	Besi	0,013 – 0,017
5	Tanah	0,020 – 0,030
6	Gravel	0,022 – 0,035
7	Tanah yang ditanami	0,025 – 0,040

Sumber: Pleider, 1972

Dalam sistem penyaliran itu sendiri terdapat beberapa bentuk penampang penyaliran yang dapat digunakan. Bentuk penampang penyaliran diantaranya bentuk segi empat, bentuk segitiga dan bentuk trapesium (Hartono, 2008). Bentuk-bentuk penampang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk-bentuk penampang saluran

Beberapa macam penampang saluran sebagai berikut:

1. Bentuk segi empat

$$\text{Lebar dasar saluran (b)} = 2d$$

$$\text{Luas penampang basah (A)} = 2d^2$$

$$\text{Keliling basah (P)} = 4d$$

2. Bentuk segi tiga

$$\text{Sudut tengah} = 90^\circ$$

$$\text{Luas penampang basah (A)} = d^2$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = d / 2\sqrt{2}$$

$$\text{Keliling basah (P)} = 2d \cdot \sqrt{2}$$

3. Bentuk trapezium

Dalam menentukan dimensi saluran bentuk trapesium dengan luas maksimum hidrolis, maka luas penampang basah saluran (A), jari-jari hidrolis (R), kedalaman aliran (d), lebar dasar saluran (b), penampang sisi saluran dari dasar kepermukaan (a), lebar permukaan saluran (B), faktor kemiringan (z) dan kemiringan dinding saluran (α), mempunyai hubungan yang dapat dinyatakan sebagai berikut (Chay, 2002):

$$A = b \cdot d + m \cdot d^2 \quad (8)$$

$$R = 0,5 d \quad (9)$$

$$B = b + 2m \cdot h \quad (10)$$

$$b/d = 2 \{(1 + m^2)^{0.5} - m\} \quad (11)$$

$$\alpha = h/\sin\alpha \quad (12)$$

$$x = 15\% \times d \quad (13)$$

$$h = d + x \quad (14)$$

$$m = 1/\text{tg } \alpha \quad (15)$$

$$\alpha = 60^\circ$$

dimana:

$$A = \text{Luas penampang basah (m}^2\text{)}$$

$$R = \text{Jari-jari hidrolik (m)}$$

$$B = \text{Lebar permukaan saluran (m)}$$

$$b = \text{Lebar dasar saluran (m)}$$

$$d = \text{Kedalaman penampang aliran (m)}$$

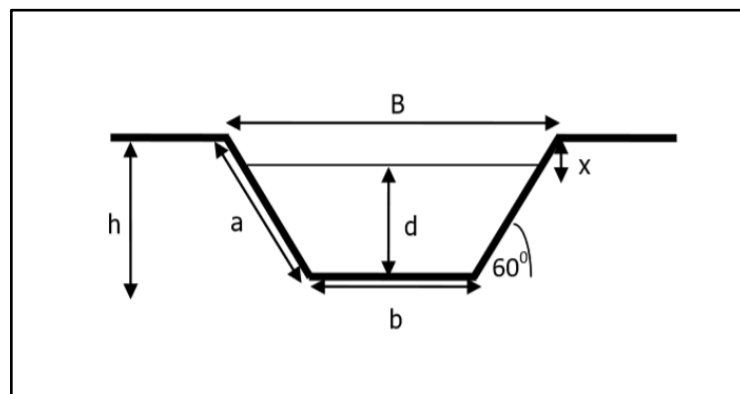
- m = Faktor kemiringan
 a = Penampang sisi saluran dasar ke permukaan (m)
 h = Kedalaman air (m)
 x = Tinggi jagaan

Saluran terbuka yang didesain harus tahan terhadap gerusan aliran air, sehingga tidak menimbulkan erosi pada dinding saluran. Penentuan lokasi saluran terbuka berdasarkan kondisi topografi, arah aliran air, dan debit air limpasan sesuai daerah tangkapan hujan. Bentuk saluran terbuka yang digunakan adalah bentuk trapesium dengan sudut 60° . Pemilihan penggunaan bentuk trapesium berdasarkan pertimbangan lebih mudah dalam pembuatan saluran, dinding saluran tidak mudah longsor, dapat mengalirkan debit yang besar, dan lebih mudah dalam perawatan (Cahyadi dkk, 2020). Untuk dimensi penyaliran dengan bentuk trapesium dengan luas penampang optimum dan mempunyai sudut kemiringan 60° (Gambar 5), maka faktor kemiringannya adalah:

$$\begin{aligned}
 m &= 1/\text{tg } \alpha \\
 &= 1/\text{tg } 60^\circ \\
 &= 0,58
 \end{aligned}$$

Sehingga harga b/d adalah:

$$\begin{aligned}
 b/d &= 2 \{(1 + m^2)^{0,5} - m\} \\
 b/d &= 2\{(1 + 0,58^2)^{0,5} - 0,58\} \\
 b &= 1,155 d \\
 A &= b \cdot d + m \cdot d^2 \\
 &= 1,155 d \cdot d + 0,58 \cdot d^2 \\
 A &= 1,7321 d^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5. Penampang saluran terbuka

2.6 *Settling Pond*

Sistem penambangan terbuka menyebabkan beberapa dampak lingkungan seperti hilangnya bentang alan, tanah, vegetasi, dan fauna, serta berpengaruh terhadap kualitas air (Shen et al., 2019). Pada saat hujan, air limpasan hujan akan bereaksi dengan batuan yang dilaluinya juga akan mengangkat partikel hasil erosi maupun lapukan batuan. Akibatnya kualitas air tambang akan berubah baik secara fisik misalnya keasaman dan konsentrasi kandungan padatan tersuspensi maupun secara kimiawi yang ditandai dengan meningkatnya konsentrasi unsur-unsur tertentu, misalnya logam. Sarana untuk mengendalikan kualitas air pada area penambangan yaitu dengan membuat kolam pengendap atau settling pond (Gautama, 2019).

Settling pond berfungsi sebagai tempat menampung air limpasan sekaligus untuk mengendapkan partikel-partikel padatan yang ikut bersama dengan air dari lokasi penambangan sebelum dibuang ke aliran alami (Garbarino et al., 2018). *Settling pond* juga digunakan untuk menaikkan pH air, menetralkan keasaman, dan mengendapkan logam apapun dengan menggunakan pengendapan alami atau lahan basah (Miaochun Fun et al., 2016). *Settling pond* dibuat agar air yang berasal dari lokasi penambangan dialirkan ke sungai sudah jernih sehingga mencegah terjadinya pendangkalan sungai dan dapat menghindari pencemaran lingkungan (Surahmad, 2021).

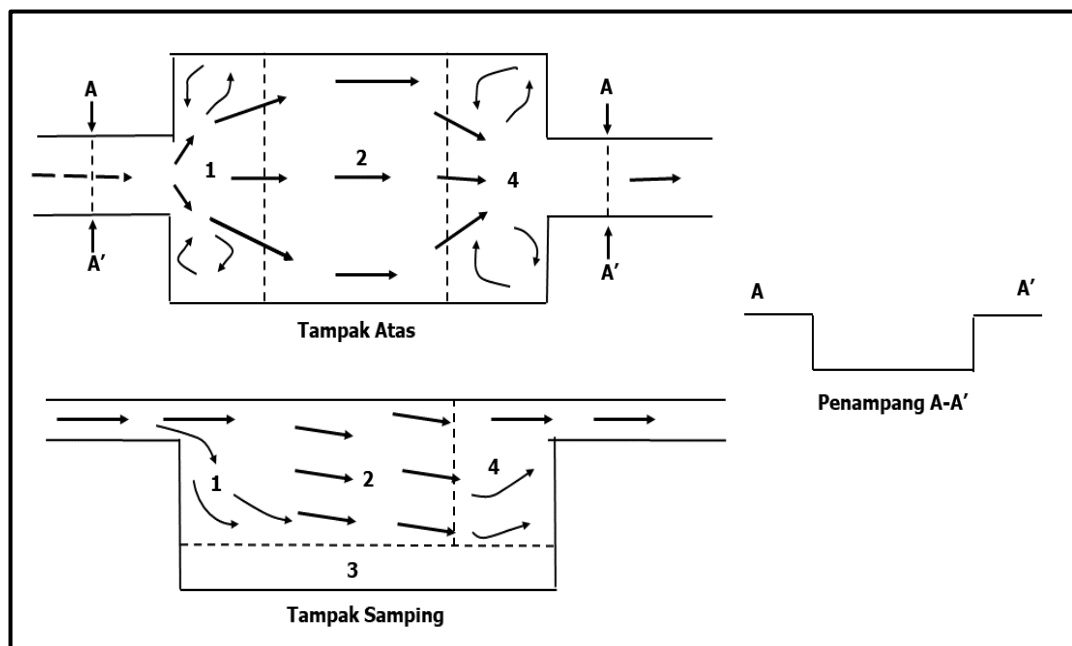
Kolam pengendapan ini dibuat di titik terendah area penambangan, sehingga air secara alami masuk ke bak pengendapan dan kemudian mengalir melalui saluran pembuangan ke sungai. Dengan adanya kolam pengendapan, diharapkan air yang keluar dari area penambangan tidak mengandung partikel padatan, sehingga tidak menimbulkan kekeruhan, baik di sungai maupun di laut. Selain itu, juga tidak menimbulkan pendangkalan sungai akibat dari partikel padatan yang terbawa bersama air (Prakoso dan Solihin, 2020).

Settling pond harus dibuat dengan dimensi ukuran dan geometri yang tepat agar *settling pond* dapat berfungsi dengan baik. *Settling pond* harus direncanakan sebaik mungkin agar air limpasan yang berasal dari area penambangan yang masuk ke dalam settling pond dapat diendapkan serta diolah. Selain itu, *settling pond* harus dirancang sebaik mungkin dengan beberapa bagian terpisah atau kompartemen agar air yang akan dialirkan menuju sungai telah benar-benar mengalami proses

pengendapan sehingga aman untuk dialirkan menuju perairan (Rosalinda dkk, 2022).

Penentuan dimensi *settling pond* diatur pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, tentang pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik, Pada bagian pengelolaan air tambang dijelaskan bahwa fasilitas penampungan air tambang, serta fasilitas pengendapan memiliki kapasitas sekurang-kurangnya 1,25 (satu koma dua puluh lima) kali volume air tambang pada curah hujan tertinggi selama 84 (delapan puluh empat) jam.

Bentuk *settling pond* biasanya digambarkan hanya secara sederhana yaitu kolam persegi panjang, namun sebenarnya bisa bervariasi tergantung kebutuhan dan kondisi lapangan. Walaupun bentuknya dapat bervariasi, tetapi pada umumnya ada empat zona utama pada *settling pond*. Empat zona tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa *settling pond*

Empat zona utama *settling pond* adalah sebagai berikut (Prakoso dan Solihin, 2020):

1. Zona masukan (*inlet*)

Zona masukan atau inlet adalah tempat masuknya air lumpur kedalam *settling pond* dengan anggapan campuran padatan-cairan yang masuk terdistribusi secara seragam.

2. Zona pengendapan (*settlement zone*)
Zona pengendapan merupakan tempat partikel padatan akan mengendap. Batas panjang zona ini adalah panjang dari kolam dikurangi panjang zona masukan dan keluaran.
3. Zona endapan lumpur (*sediment*)
Zona endapan lumpur merupakan tempat partikel padatan dalam cairan (lumpur) mengalami sedimentasi dan terkumpul di bagian bawah kolam.
4. Zona keluaran (*ounlet*)
Zona keluaran merupakan tempat keluaran buangan cairan yang jernih. Panjang zona ini kira-kira sama dengan kedalaman kolam pengendapan, diukur dari ujung kolam pengendapan.