

# 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 tersebut membuat Indonesia menjadi 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 dkk, 2017).

Hujan memiliki dampak yang signifikan pada operasi tambang terbuka. Selama musim hujan, tingginya curah hujan dapat mengganggu kegiatan penambangan dengan menyebabkan peningkatan debit air limpasan di sekitar area penambangan. Jika air limpasan tidak dikelola dengan baik, dapat mengganggu proses penambangan dengan menyebabkan genangan air di area tambang, membuat jalan tambang menjadi licin, memengaruhi stabilitas lereng sehingga berpotensi menyebabkan longsor, merusak peralatan tambang yang dapat mengakibatkan penurunan efisiensi kerja. Semua permasalahan ini dapat mengakibatkan penurunan produksi bijih nikel secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem penyaliran tambang yang efektif dan efisien untuk mengatasi permasalahan tersebut (Zendrato & Rusli, 2021).

PT Mulia Pacific Resources merupakan salah satu perusahaan tambang bijih nikel yang memiliki resiko rawan terganggu aktivitas penambangannya, terutama pada Blok 2A. Hal tersebut dikarenakan Blok 2A memiliki kemajuan aktivitas penambangan dan target produksi yang ingin dicapai cukup besar, sehingga perusahaan merencanakan pengadaan area bukaan baru (Pit 2A2) untuk ditambang.

Adanya rencana area bukaan tambang yang baru, maka dibutuhkan rancangan sistem penyaliran tambang. Rancangan sistem penyaliran tambang diharapkan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan besarnya debit air limpasan, sehingga dilakukan penelitian untuk merancang sistem penyaliran tambang yang akan digunakan pada Pit 2A2 Blok 2A PT Mulia Pacific Resources.

## 1.2 Rumusan Masalah

Curah hujan memainkan peran penting dalam akumulasi air limpasan. Debit dan volume air limpasan yang memasuki daerah tangkapan hujan akan mempengaruhi dimensi saluran terbuka dan *settling pond*. Kinerja sistem penyaliran tambang akan terganggu jika dimensi saluran terbuka dan *settling pond* tidak sesuai dengan debit dan volume limpasan yang dihasilkan. Rumusan masalah dalam penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Luas daerah tangkapan hujan pada Pit 2A2 PT Mulia Pacific Resources.
2. Debit dan volume air limpasan yang masuk kedalam area penambangan berdasarkan daerah tangkapan hujan.
3. Bentuk dan dimensi saluran terbuka yang sesuai dengan debit air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan.
4. Dimensi *settling pond* yang sesuai dengan KEPMEN ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis luas daerah tangkapan hujan pada Pit 2A2 PT Mulia Pacific Resources.
2. Menganalisis debit dan volume air limpasan yang masuk kedalam area penambangan berdasarkan daerah tangkapan hujan.
3. Membuat desain rancangan saluran terbuka berdasarkan debit air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan.
4. Menentukan dimensi *settling pond* yang sesuai dengan 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 2A2 PT Mulia Pacific Resources sehingga dapat menunjang kelancaran proses penambangan nikel.

## **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup wilayah penelitian ini adalah daerah tangkapan hujan Pit 2A2 Blok 2A PT Mulia Pacific Resources. Pit 2A2 secara administrasi terletak di Desa Tontowea, Kecamatan Petasia Barat, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Pit 2A2 dipilih karena merupakan area bukaan tambang yang baru dibuka pada Blok 2A. Kemajuan aktivitas penambangan pada Blok 2A PT Mulia Pacific Resources cukup besar, sehingga mengakibatkan bertambahnya area bukaan baru untuk ditambang.

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah berfokus pada sistem penyaliran tambang pada Pit 2A2 Blok 2A PT Mulia Pacific Resources. Sistem penyaliran masih dalam tahap perancangan dikarenakan pada Pit 2A2 tersebut masih dalam tahap pembersihan lahan bukaan tambang. 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 22 April 2024 – 22 Juni 2024.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Sistem Penambangan**

Sistem penambangan merupakan suatu rangkaian dari kegiatan penambangan mineral dan batubara untuk menghasilkan bahan tambang yang siap untuk diproses lebih lanjut ke tahap pengolahan dan pemurnian ataupun dijual langsung sebagai bahan berharga. Kegiatan ini ditandai oleh tiga kegiatan utama, yakni pemberaian, pemuatan, dan pengangkutan material batuan. Agar memastikan kelancaran dan efisiensi dari rangkaian kegiatan utama ini, berbagai faktor pendukung harus dipertimbangkan, seperti perencanaan dan perancangan desain sistem penambangan, aspek geoteknik, keamanan dan kesehatan kerja, pemeliharaan peralatan, manajemen logistik, pengelolaan lingkungan, dan penyaliran tambang (Gautama, 2019).

Sistem penambangan adalah metode atau teknik yang digunakan untuk mengambil atau melepaskan deposit bahan galian yang memiliki nilai ekonomis dari batuan asalnya, agar dapat diolah lebih lanjut dengan tujuan mendapatkan keuntungan maksimal, sambil menjaga keamanan dan keselamatan kerja yang optimal serta mengurangi dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan. Secara garis besar, metode penambangan dikelompokkan menjadi 4, yaitu (Simanlangi, 2016):

1. Tambang terbuka atau *surface mining*, merupakan teknik penambangan di mana semua kegiatan dilakukan di atas permukaan bumi atau dekat dengan permukaan, dan area kerjanya terhubung secara langsung dengan udara luar.
2. Tambang bawah tanah atau *underground mining*, merupakan metode penambangan di mana semua kegiatan dilakukan di bawah permukaan bumi, dan area kerja tidak terhubung secara langsung dengan udara luar.
3. Tambang bawah air atau *underwater mining*, merupakan teknik penambangan di mana aktivitas penggaliannya dilakukan di bawah permukaan air atau di lokasi dimana endapan mineral berharganya berada di bawah permukaan air.
4. Tambang di tempat yang juga dikenal sebagai *insitu mining* atau *novel mining*, melibatkan pemilihan metode penambangan berdasarkan pada

potensi keuntungan maksimal yang dapat diperoleh, bukan tergantung pada kedalaman atau letak geografis dari endapan tersebut.

Menurut Hartman (2002), 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		<i>Open pit mining</i>	Metal, non-metal
		<i>Quarrying</i>	Non-metal
Tambang Terbuka	Mekanis	<i>Open cast mining</i>	Batubara, non-metal
		<i>Auger mining</i>	Batubara, metal, non-metal
	Aquaeous	<i>Hydraulicking</i>	Metal, non-metal
		<i>Dredging</i>	Metal, non-metal
		<i>Room &amp; pillar mining</i>	Batubara, non-metal
	Swa-sangga (self - supported)	<i>Stope &amp; Pillar mining</i>	Metal, non-metal
		<i>Underground gloryhole</i>	Metal, non-metal
		<i>Gophering</i>	Metal, non-metal
Tambang Bawah Tanah		<i>Shrinkage stoping</i>	Metal, non-metal
		<i>Sublevel stoping</i>	Metal, non-metal
	Berpenyangga buatan (supported)	<i>Cut &amp; fill stoping</i>	Metal
		<i>Stull stoping</i>	Metal
		<i>Square set stoping</i>	Metal
	Ambrukan (Caving)	<i>Longwall mining</i>	Batubara, non-metal
		<i>Sublevel caving</i>	Metal
		<i>Block caving</i>	Metal
Inkonvensional		Penggalian cepat	Batuan keras
		Automasi, robotik	semua
		Gasifikasi bawah tanah	Batubara, batuan lunak
Novel		<i>Retorting</i> bawah tanah	Hidrokarbon
		Tambang samudra	Metal
		Tambang nuklir	Non-batubara
		tambang luar bumi	Metal, non-metal

Sumber: Hartman & Mutmanskyy, 2002

Gautama (2019) menjelaskan bahwa terdapat dua sistem penambangan yang umum dikenal, yakni sistem penambangan terbuka dan sistem penambangan bawah

tanah. Pemilihan sistem penambangan untuk suatu deposit mineral atau batubara dipengaruhi oleh beberapa faktor, namun yang paling penting adalah bentuk dan penyebaran deposit tambang serta kedudukannya relatif terhadap permukaan tanah. Sebagian besar deposit hanya cocok untuk satu sistem penambangan saja. Sebagai contoh, deposit batubara dengan kemiringan (*dip*)  $15^\circ$  hanya dapat dieksploitasi secara ekonomis melalui penambangan terbuka. Sementara itu, deposit bijih emas dalam bentuk urat atau *vein* dengan ketebalan rata-rata 2 meter dan kemiringan  $80^\circ$  di daerah berbukit-bukit hanya dapat ditambang secara ekonomis melalui penambangan bawah tanah.

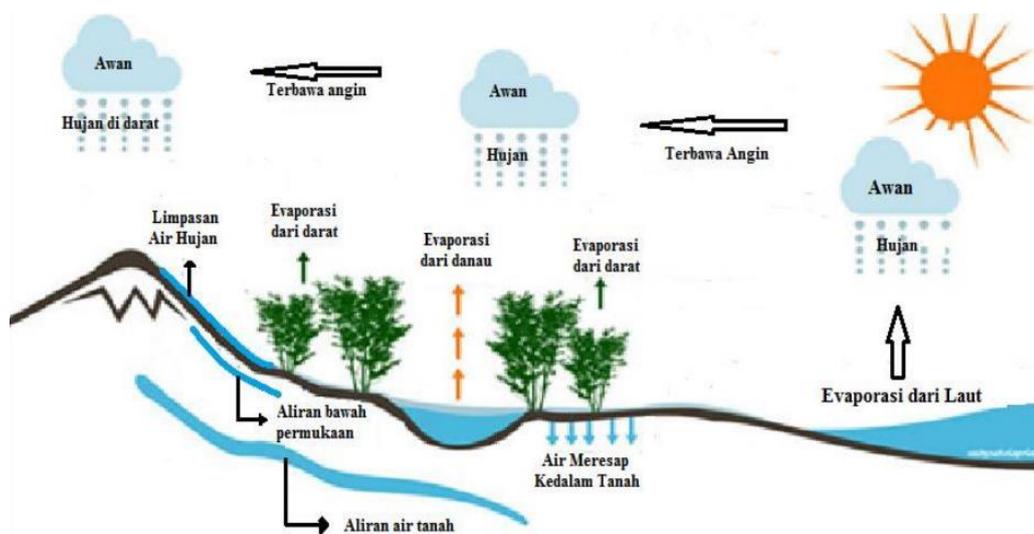
Proses penambangan pada tambang terbuka dimulai dengan membersihkan lahan dari vegetasi (*land clearing*), mengupas lapisan tanah atas yang kaya akan unsur hara serta unsur lain yang mendukung pertumbuhan tanaman, menggali dan menimbun batuan penutup (*overburden*) atau limbah batuan (*waste rock*), serta menggali, mengangkut, dan menimbun bahan yang menjadi target penambangan seperti bijih, batuan, atau batubara. Kegiatan penggalian dan penimbunan ini akan mengubah bentang alam di area tambang secara signifikan. Sementara itu, pada tambang bawah tanah, proses dimulai dengan tahap persiapan penambangan (*development*) atau konstruksi, termasuk pembuatan lubang masuk seperti sumur (*shaft*) atau terowongan miring (*inclined shaft* atau *decline*), serta lubang-lubang akses ke tubuh bijih atau batubara. Operasi penambangan terbuka sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama hujan, dan kadang-kadang oleh keberadaan lapisan air tanah. Sebaliknya, operasi tambang bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca. Namun, tantangan air yang sering dihadapi adalah potensi terpotongnya atau pengaruhnya terhadap operasi penambangan bawah tanah.

## **2.2 Siklus Hidrologi**

Secara umum, masalah yang sering dihadapi dalam industri pertambangan adalah terkait dengan air. Indonesia, sebagai negara beriklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau, memiliki tantangan tersendiri. Pada musim hujan, tingginya curah hujan menyebabkan limpahan air menjadi masalah utama dalam kegiatan penambangan. Fenomena ini terjadi karena curah hujan yang tinggi dapat berlangsung dalam periode yang berkelanjutan. Oleh karena itu, perencanaan

sistem penyaliran tambang yang efektif sangat penting untuk mencapai target produksi tambang tahunan. Perencanaan sistem penyaliran yang efektif memerlukan pemahaman yang baik terhadap siklus hidrologi, sehingga dapat menganalisis total volume air yang masuk ke dalam area 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 dengan penguapan air dari permukaan laut ke atmosfer. Di atmosfer, uap air tersebut mengalami kondensasi dan membentuk awan. Angin akan membawa awan tersebut dari atas samudra menuju ke daratan. Selama perjalanan, awan akan terus menyerap uap air yang menguap dari permukaan laut. Ketika kapasitas maksimal awan tercapai, awan akan mulai menumpahkan air yang tertampung di dalamnya kembali ke permukaan bumi (Chakti & Har, 2020).

### 2.2.1. Presipitasi

Presipitasi adalah proses di mana air berpindah dari atmosfer ke permukaan bumi dan kembali ke laut. Air yang jatuh bisa membentuk hujan atau salju tergantung pada lokasi jatuhnya. Daerah yang beriklim tropis, presipitasi umumnya terjadi dalam bentuk hujan, sedangkan di daerah beriklim sedang, presipitasi dapat berupa hujan ataupun salju. Wilayah Indonesia merupakan daerah yang beriklim tropis, maka presipitasi yang umum 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 merupakan proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah yang kemudian akan mengisi pori-pori tanah. Proses infiltrasi dapat terjadi baik secara vertikal maupun horizontal. Proses infiltrasi secara vertikal terjadi karena gaya gravitasi dan sering disebut sebagai perkolasi. Sementara itu, proses infiltrasi secara horizontal yang disebabkan oleh gaya kapiler yang dikenal sebagai aliran antara (*interflow*).

Proses infiltrasi melibatkan tiga tahap yang saling tidak tergantung satu sama lain. Tahap pertama adalah masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah. Tahap kedua, air hujan tersebut tertampung di dalam tanah, dan tahap terakhir adalah aliran air tersebut ke tempat lain, baik ke arah bawah, samping, maupun ke atas. Ketika air hujan jatuh ke permukaan tanah, sebagian atau seluruhnya dapat meresap ke dalam tanah melalui pori-pori yang ada. Proses ini dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan kapilaritas tanah. Laju infiltrasi air yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi terbatas oleh diameter pori-pori tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi, yaitu (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Vegetasi

Penutupan tanah dengan vegetasi dapat meningkatkan laju infiltrasi pada suatu area. Perbedaan kapasitas infiltrasi antara penggunaan lahan yang berbeda menunjukkan bahwa faktor vegetasi memiliki peran penting dalam menentukan kapasitas infiltrasi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kapasitas infiltrasi pada tanah yang ditutupi dengan vegetasi umumnya lebih tinggi daripada tanah yang tidak ditutupi dengan vegetasi. Tanah yang ditumbuhi oleh tanaman biasanya memiliki laju infiltrasi yang lebih besar dibandingkan dengan permukaan tanah yang terbuka. Hal ini disebabkan oleh akar tanaman yang meningkatkan porositas tanah, sehingga jumlah air yang dapat diserap oleh permukaan tanah yang tertutupi oleh vegetasi menjadi lebih banyak. Akar tanaman juga dapat menyerap energi dari hujan, sehingga hal ini memungkinkan tanah untuk mempertahankan laju infiltrasi yang tinggi.

## 2. Intensitas hujan

Hujan menjadi faktor yang sangat signifikan di daerah tropis karena dapat menyebabkan kerusakan pada tanah melalui energi kinetiknya, yang ditunjukkan oleh intensitas, durasi, ukuran butiran hujan, dan kecepatan jatuhnya. Faktor iklim diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu saat curah hujan tahunan mencapai 2500 mm.

## 3. Tekstur tanah

Kelas tekstur tanah menunjukkan perbandingan antara tiga fraksi tanah halus, antara lain pasir (0,005-2 mm), debu (0,002-0,005 mm), dan tanah liat (< 0,002 mm). Tekstur tanah menentukan tata air, tata udara, kemudahan pengelolaan, dan struktur tanah. Berdasarkan fraksi-fraksi tanah tersebut, tekstur tanah dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu halus, sedang, dan kasar. Semakin halus tekstur tanah, dapat mengakibatkan kualitas tanah cenderung semakin buruk karena kemampuannya dalam menyerap air menurun. Profil tanah yang dalam dan permeabilitas tanah yang baik (sedang-cepat) memungkinkan air permukaan dapat meresap jauh lebih dalam ke dalam tanah, 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 *intercelluler*, dan pertukaran uap ke atmosfer diatur oleh celah stomata. Hampir semua air diserap keluar selama proses transpirasi, dan tanaman hanya menggunakan sebagian kecil.

Beberapa 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 juga faktor 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 atau besarnya evapotranspirasi, antara lain (Salsabila dan Nugraheni, 2020):

1. Metode Thornthwaite

Thornthwaite berhasil mengembangkan metode yang mampu 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
- $t$  = temperature udara rata-rata bulan ke-n ( $^{\circ}C$ )
- $J$  = index 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 ( $^{\circ}C$ )

### 3. Metode Blaney-Criddle

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 adalah bentuk air yang terdapat di sekitar bumi dan berada di dalam tanah. Sebagian besar air tanah terdapat di lapisan tanah, mulai dari yang dekat dengan permukaan hingga yang jauh dari permukaan. Air tanah terbentuk sebagai bagian dari siklus hidrologi. Air hujan yang turun ke bumi sebagian besar mengalir di permukaan tanah sebagai air permukaan, seperti sungai, danau, atau rawa. Namun, sebagian kecil air hujan tersebut juga meresap ke dalam tanah dan masuk ke dalam zona jenuh, di mana air tersebut 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*).

1. Air tanah *freatik* adalah air tanah dangkal yang terletak tidak jauh dari permukaan tanah dan berada di atas lapisan impemeable atau kedap air, contohnya adalah air sumur.
2. 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.

1. Air tanah meteorit (*vados*) adalah air tanah yang berasal dari proses presipitasi (hujan) dari awan yang mengalami kondensasi dan tercampur dengan debu meteorit.
2. Air tanah baru (*juvenile*) adalah air tanah yang berasal dari dalam bumi karena tekanan intrusi magma, contohnya adalah *geyser* atau sumber air panas.
3. 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 bagian dari kegiatan penambangan yang tidak termasuk dalam kegiatan utama, tetapi merupakan aspek pendukung penting. Meskipun demikian, kegiatan ini menjadi sangat krusial ketika area penambangan menghadapi permasalahan terkait air permukaan (*run off*) atau air tanah. Kehadiran air limpasan dan air tanah di lokasi tambang bisa menghambat proses penambangan, karena dapat mengganggu kinerja alat berat dan aktivitas lainnya. Oleh karena itu, sistem penyaliran tambang menjadi esensial untuk menjaga kelancaran dan efisiensi proses penambangan (Zendrato & Rusli, 2021)

Sistem penyaliran tambang merupakan teknik pengelolaan air yang bertujuan untuk mengatasi air hujan dan air tanah dengan mengalirkannya atau membuangnya ke daerah terendah. Tujuan dari penerapan sistem ini oleh perusahaan pertambangan adalah agar air yang masuk ke area penambangan tidak mengganggu operasi produksi sehingga target produksi dapat tercapai. Air hujan merupakan salah satu sumber air yang hadir di area penambangan. Ketika air hujan masuk ke dalam bukaan tambang, biasanya akan mengalir melalui saluran terbuka menuju muara. Sementara itu, air hujan yang tidak tertampung akan dialirkan ke penampungan sementara (*sump*) di dasar lubang tambang. Kemudian, air yang terkumpul di *sump* tersebut akan dipompa dan dialirkan melalui saluran terbuka menuju kolam *settling pond*. Kolam *settling pond* digunakan untuk mengendapkan partikel padat yang terbawa air sebelum air tersebut dibuang (Afrizal dkk, 2022).

Sistem penyaliran tambang memiliki tujuan utama untuk mencegah gangguan pada aktivitas penambangan akibat kelebihan air, terutama selama musim hujan. Selain itu, sistem ini juga dianggap dapat mengurangi kerusakan pada peralatan dan menjaga kondisi kerja yang aman, sehingga alat mekanik dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih 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 & 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 setiap tahap kegiatan penambangan, dilakukan pembuatan lubang bor. Pipa dimasukkan ke dalam lubang bor tersebut, dan di bagian bawah pipa dipasang lubang-lubang. Bagian ujung pipa ini mencapai lapisan akuifer, di mana air tanah akan terkumpul. Kemudian, air tanah yang terkumpul tersebut dipompa ke atas dan dibuang keluar dari area penambangan.

#### 2. Metode pemompaan dalam

Metode ini umumnya digunakan untuk material yang memiliki permeabilitas rendah dan topografi dengan ketinggian yang signifikan. Dalam metode ini, dilakukan pembuatan lubang bor, lalu sebuah pompa dimasukkan ke dalam lubang bor tersebut. Pompa akan secara otomatis mulai bekerja saat tercelup oleh air. Kedalaman lubang bor biasanya berkisar antara 50 hingga 60 meter.

#### 3. Metode elektro osmosis

Pada metode ini, digunakan batang anoda dan katoda. Ketika arus listrik mengalir melalui elemen-elemen ini, air akan terurai. Ion  $H^+$  pada katoda (di sumur besar) akan dinetralkan menjadi air, yang kemudian terkumpul di dalam sumur. Air yang terkumpul tersebut kemudian dapat dihisap menggunakan pompa.

#### 4. *Small pipe with vacuum pump*

Cara ini umumnya diterapkan pada lapisan batuan yang impermeabel atau memiliki sedikit air, dengan membuat lubang bor. Kemudian pipa

dimasukkan ke dalam lubang bor, dan ujung bawah pipa dilengkapi dengan lubang-lubang. Antara pipa hisap dan dinding lubang bor, ditempatkan kerikil-kerikil kasar sebagai penyaring kotoran, dengan diameter kerikil yang lebih besar dari diameter lubang. Di bagian atas, antara pipa dan lubang bor, disumbat agar saat pompa dihisap, ruang antara pipa dan lubang bor menjadi kedap udara, sehingga air akan terserap ke dalam lubang bor.

#### 5. Metode kombinasi dengan lubang bukaan bawah tanah

Metode ini melibatkan pembuatan lubang bukaan mendatar di dalam tanah untuk menampung air dari permukaan. Beberapa lubang sumur dibuat untuk menyalurkan air permukaan ke dalam terowongan bawah tanah. Pendekatan ini cukup efektif karena air akan mengalir secara alami akibat gaya gravitasi, sehingga tidak memerlukan penggunaan 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 umumnya digunakan untuk pembuangan air pada tambang terbuka yang memiliki banyak tingkatan. Saluran horisontal dibuat dari tempat kerja untuk menembus ke shaft yang dibuat di sisi bukit untuk pembuangan air

yang masuk ke dalam tempat kerja. Metode pembuangan ini seringkali mahal karena memerlukan biaya pembuatan saluran horisontal yang cukup besar.

## **2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Penyaliran**

### **2.4.1. Curah hujan**

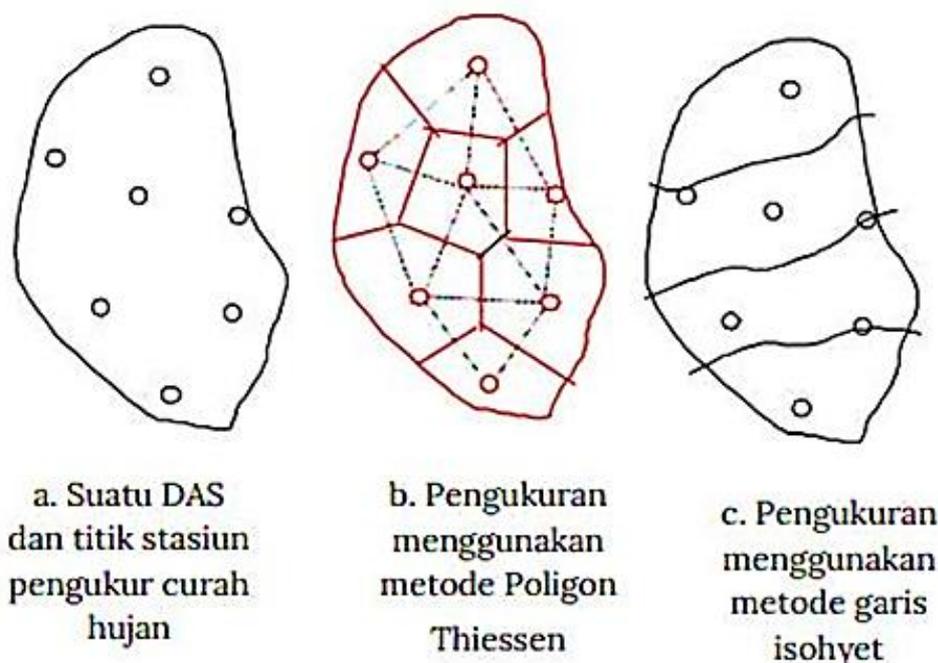
Curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh ke tanah dalam jangka waktu tertentu, diukur dalam satuan mm pada permukaan horisontal. Ini menggambarkan banyaknya air hujan yang terkumpul pada suatu tempat yang datar tanpa meresap atau meluap. Sebagai contoh, curah hujan sebesar 1 milimeter berarti bahwa 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 merupakan hasil dari penjumlahan seluruh data yang diukur oleh alat pengukur curah hujan dalam suatu periode waktu hujan tertentu, kemudian hasil penjumlahan tersebut dibagi dengan jumlah alat pengukur yang digunakan. Teknik pengukuran ini dianggap sebagai teknik yang paling mudah dalam menghitung rata-rata curah hujan. Namun, penggunaan teknik rata-rata aritmatika ini perlu memperhatikan beberapa faktor, di antaranya adalah lokasi alat pengukur curah hujan yang harus tersebar merata di area yang diamati, serta daerah pengamatan yang harus seragam terutama dalam hal ketinggian.
2. Teknik poligon, seperti Poligon Thiessen, melibatkan penghubungan satu alat pengukur curah hujan dengan alat pengukur lainnya melalui proses interpolasi. Poligon Thiessen merupakan salah satu metode interpolasi yang umum digunakan. Teknik poligon digunakan untuk menentukan curah hujan di suatu daerah dengan cara menghubungkan stasiun pengukur curah hujan yang ada. Namun, teknik ini tidak sesuai untuk digunakan di daerah yang bergunung atau memiliki intensitas curah hujan yang tinggi. Untuk mencari stasiun terdekat terhadap setiap titik di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS), digunakan pendekatan grafis dengan menghubungkan stasiun-

stasiun yang ada dan membentuk poligon yang mengelilingi setiap stasiun. Luas area di dalam poligon menunjukkan wilayah yang paling dekat dengan stasiun tersebut, sehingga pemberatan terhadap stasiun pengukur tersebut dilakukan berdasarkan perbandingan antara luas poligon terdekat dengan luas total DAS.

3. Isohyet adalah garis kontur yang menghubungkan titik-titik stasiun pengukur curah hujan yang memiliki jumlah curah hujan yang sama. Teknik ini dianggap sebagai metode yang paling baik dalam menentukan curah hujan. Dalam metode ini, daerah tangkapan air dan daerah yang dibatasi oleh garis isohyet dihitung luasnya menggunakan planimeter. Curah hujan untuk setiap daerah tangkapan air dihitung dengan cara mengalikan luas masing-masing bagian isohyetal dengan curah hujan dari daerah tersebut, kemudian hasil perkalian tersebut dibagi dengan luas total daerah tangkapan air. Perbedaan antara metode poligon dan metode isohyet dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbedaan metode polygon dan isohyet (Salsabila dan Nugraheni, 2020)

4. Metode *inverse-distance* merupakan teknik untuk menghitung curah hujan di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan menggunakan interpolasi pada satu titik tertentu, dengan mempertimbangkan data-data yang ada pada titik-

titik lain di sekitarnya dan memberikan bobot pada data tersebut berdasarkan jaraknya. Metode ini berguna terutama pada daerah dengan kerapatan stasiun pengukur curah hujan yang memadai, di mana data yang tersedia cukup untuk melakukan interpolasi dengan baik.

Pengamatan curah hujan dilakukan menggunakan alat pengukur curah hujan, yang terdiri dari dua jenis yaitu alat ukur manual dan otomatis. Alat pengukur ini biasanya ditempatkan di tempat terbuka agar air hujan yang jatuh tidak terhalangi oleh bangunan atau pepohonan. Data yang dihasilkan oleh alat pengukur curah hujan ini sangat berguna dalam menentukan hujan rencana. Analisis terhadap data curah hujan dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu:

1. Metode *Annual Series* adalah pendekatan yang dilakukan dengan mengambil satu data maksimum dari curah hujan setiap tahunnya. Dalam metode ini, hanya besaran maksimum curah hujan setiap tahun yang dianggap berpengaruh dalam analisis data penelitian. Pendekatan ini berguna untuk mengevaluasi curah hujan ekstrem yang terjadi dalam periode waktu tertentu.
2. Metode *Partial Duration Series* melibatkan penentuan batas awal tertentu untuk curah hujan. Setelah batas awal tersebut ditetapkan, data curah hujan yang lebih besar dari batas tersebut diambil dan dijadikan sebagai data yang akan dianalisis. Pendekatan ini membantu dalam memfokuskan analisis pada kejadian curah hujan yang signifikan dan ekstrem, sehingga lebih relevan untuk keperluan perencanaan dan mitigasi risiko.

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 dkk, 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).

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).

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

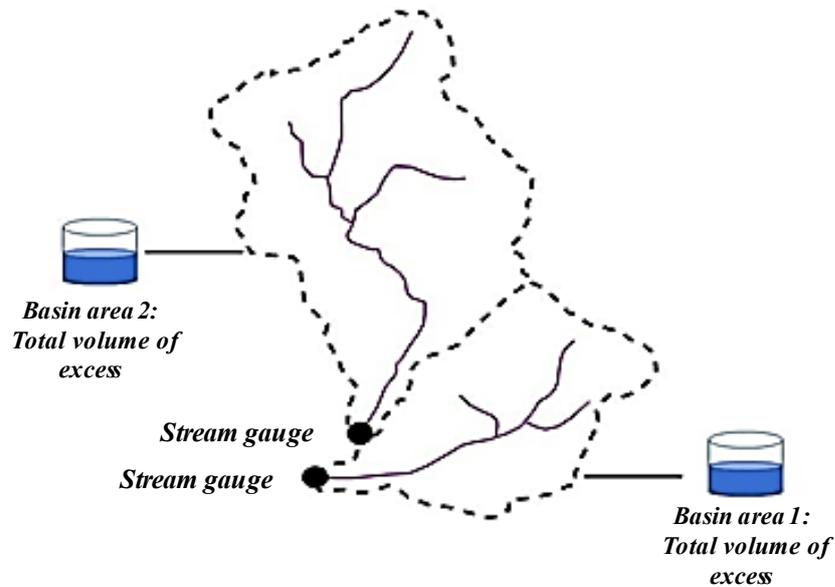
No	Derajat Hujan	Intensitas Curah Hujan	Kondisi
1	Hujan sangat lemah	< 0,02	Tanah agak basah atau dibasahi Sedikit
2	Hujan lemah	0,02 - 0,05	Tanah menjadi basah semuanya
3	Hujan normal	0,05 - 0,25	Bunyi curah hujan terdengar
4	Hujan deras	0,025 - 1,00	Air tergenang di seluruh permukaan tanah dan terdengar bunyi dari genangan
5	Hujan sangat deras	> 1,00	Hujan seperti ditumpahkan, seluruh drainase, meluap

Sumber: Gautama, 2019

#### 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 dari dua daerah tangkapan hujan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Beda volume aliran daerah tangkapan hujan (Salsabila dan Nugraheni, 2020)

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 = Debit air limpasan ( $\text{L}^3/\text{T}$ )
- I = Intensitas hujan ( $\text{L}/\text{T}$ )
- A = Luas daerah tangkapan hujan ( $\text{L}^2$ )
- C = Koefisien limpasan

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):

1. Kekasaran permukaan, area yang terbuka karena kegiatan penambangan akan meningkatkan kecepatan aliran, namun dengan terbentuknya jenjang penambangan 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, 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 & Har, 2022). Saluran terbuka merupakan suatu tindakan yang dilaksanakan di area penambangan dengan tujuan untuk mencegah maupun mengeluarkan air dengan cara mengalirkan air tersebut keluar dari area penambangan. Saluran terbuka adalah suatu sistem yang diterapkan di lokasi pertambangan dengan tujuan mengurangi, mengatasi, atau mengeluarkan air yang memasuki area penambangan. Tujuannya adalah untuk mengurangi dampak gangguan terhadap produksi akibat peningkatan volume air limpasan yang memasuki area penambangan, terutama saat musim hujan. Fungsi utama dari saluran terbuka adalah untuk mencegah air limpasan yang mengalir masuk ke area penambangan dan mengarahkannya secara langsung ke dalam kolam sedimentasi yang telah disediakan (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.

Paritan dapat dibedakan menjadi beberapa paritan, tergantung dari lokasi maupun fungsinya, yaitu (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.

Pembuatan suatu saluran terbuka terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi, yang termasuk kriteria tersebut adalah sebagai 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 ataupun dasar saluran terbuka mengingat umumnya paritan pada tambang aktif tidak diperkuat baik pada dinding maupun alasnya.
4. Perlu mempertimbangkan kemudahan dalam penggalian dan pembuatannya.

Proses perancangan saluran terbuka terdiri atas beberapa tahapan, yaitu (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 dkk, 2022). Perhitungan dimensi saluran terbuka dilakukan dengan menggunakan Persamaan Manning sebagai berikut:

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

dimana:

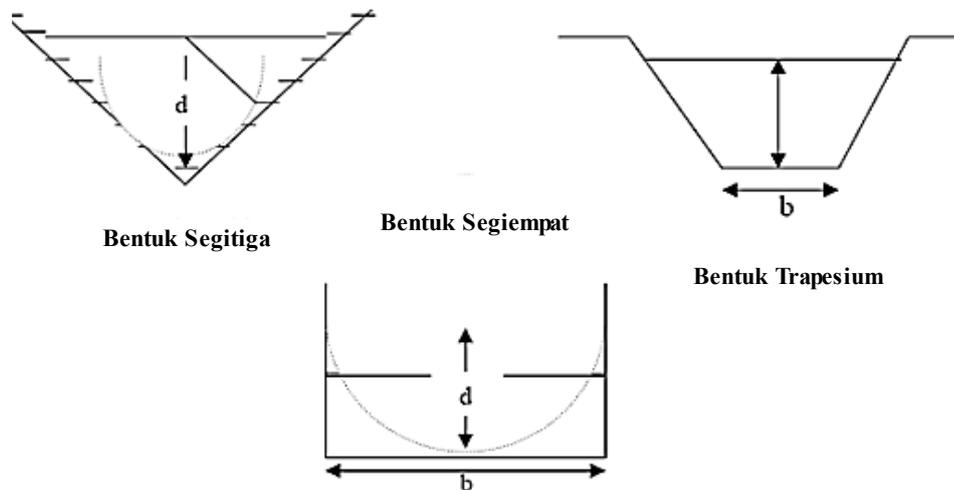
- Q = Debit air limpasan (m<sup>3</sup>/detik)  
 A = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)  
 n = Nilai kekasaran dinding saluran menurut Manning (Tabel 4)  
 S = Kemiringan saluran (%) = 0,5%  
 R = Jari-jari hidrolis (m)

Tabel 4. Koefisien kekasaran dinding saluran Manning

No	Tipe 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: Gautama, 2019

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 (Hartono, 2008)

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 trapesium

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 ( $\alpha$ ), mempunyai hubungan yang dapat dinyatakan sebagai berikut (Chay, 2002):

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

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

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

$$b/d = 2\{(1 + m^2)^{0,5} - m\} \quad (11)$$

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

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

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

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

$$a = 60^\circ$$

dimana:

A = Luas penampang basah ( $m^2$ )

R = Jari-jari hidrolik (m)

B = Lebar permukaan saluran (m)

b = Lebar dasar saluran (m)

d = Kedalaman penampang aliran (m)

m = Faktor kemiringan

a = Penampang sisi saluran dasar ke permukaan (m)

h = Kedalaman air (m)

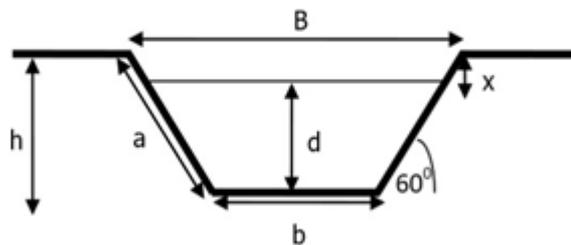
x = Tinggi jagaan

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  $60^\circ$ . 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  $60^\circ$  (Gambar 5), maka faktor kemiringannya adalah:

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

Sehingga nilai  $b/d$  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 (Hartono, 2008)

## 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 penambangn yaitu dengan membuat kolam pengendap atau *settling pond* (Gautama, 2019).

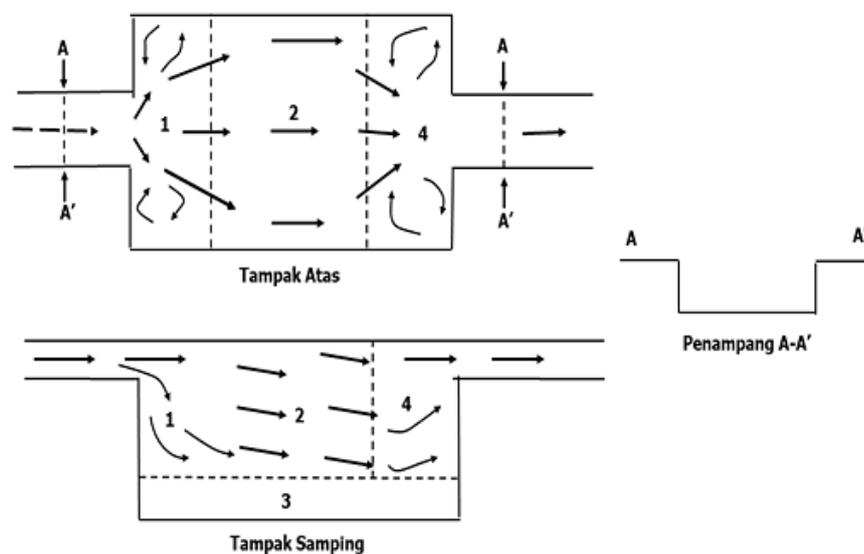
*Settling pond* berfungsi sebagai tempat menampung air limpasan sekaligus untuk mengendapkan partikel-partikel padatan yang ikut bersama dengan air dari lokasi penambangan sebelum dibuang ke aliran alami (Garbarino, *et al.*, 2018). *Settling pond* dalam penerapannya juga digunakan untuk menaikkan pH air, menetralkan keasaman, dan mengendapkan logam apapun dengan menggunakan pengendapan alami atau lahanbasah (Miaochun, *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 dkk, 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 & 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 dan aman untuk dialirkan menuju perairan (Rosalinda dkk,2022).

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* (Rosalinda dkk, 2022)

Dalam pembuatan rancangan *settling pond* harus dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi dan bentuk dari kolam pengendapan yang akan dibuat. Penentuan dimensi *settling pond* diatur oleh pemerintah pada keputusan Menteri ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang baik, yaitu menyatakan 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 atau 3,5 hari.

Empat zona utama *settling pond* adalah sebagai berikut (Prakoso & 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 (*outlet*)

Zona keluaran merupakan tempat keluaran buangan cairan yang jernih. Panjang zona ini kira-kira sama dengan kedalaman kolam pengendapan, diukur dari ujung kolam pengendapan.