

SKRIPSI

EVALUASI SISTEM PENGELOLAAN AIR TAMBANG PADA *PIT* PT SATRIA ALAM MANUNGGAL DI KABUPATEN KAPUAS PROVINSI KALIMANTAN TENGAH

Disusun dan diajukan oleh:

**MUTIARA MUMTAZHA ARYANI
D111 20 1050**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

EVALUASI SISTEM PENGELOLAAN AIR TAMBANG PADA *PIT* PT SATRIA ALAM MANUNGGAL DI KABUPATEN KAPUAS PROVINSI KALIMANTAN TENGAH

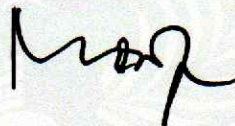
Disusun dan diajukan oleh

Mutiara Mumtazha Aryani
D111 20 1050

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 18 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, M.T.
NIP 196807181993091001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Mutiara Mumtazha Aryani

NIM : D111 20 1050

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Evaluasi Sistem Pengelolaan Air Tambang pada *Pit* PT Satria Alam Manunggal
di Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah}

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, 18 November 2024

Yang Menyatakan



Mutiara Mumtazha Aryani

ABSTRAK

MUTIARA MUMTAZHA ARYANI. *Evaluasi Sistem Pengelolaan Air Tambang pada Pit PT Satria Alam Manunggal di Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah* (dibimbing oleh Muhammad Ramli)

PT Satria Alam Manunggal adalah salah satu kontraktor pertambangan untuk PT Telen Orbit Prima di Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Kegiatan penambangan dilakukan dengan target produksi yang besar menyebabkan cekungan pada bukaan tambang. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem penyaliran tambang dengan membuat dimensi saluran terbuka dan dimensi kolam pengendapan yang sesuai dengan debit air limpasan yang masuk. Debit air limpasan yang akan masuk ke dalam area penambangan PT Satria Alam Manunggal untuk tahun 2024-2028 pada titik maksimum terjadi pada bulan Oktober tahun 2026 sebesar $29,70 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan nilai debit limpasan minimum terjadi pada bulan Januari tahun 2024 yaitu $2,52 \text{ m}^3/\text{detik}$. Evaluasi sistem penyaliran terhadap saluran terbuka dan kolam pengendapan dibuat berdasarkan frekuensi terbanyak sebesar $17 \text{ m}^3/\text{detik}$ karena sangat sesuai dengan kondisi daerah penelitian. Saluran terbuka dibuat dengan luas penampang sebesar $7,14 \text{ m}$. Saluran terbuka tersebut memiliki dinding tanah dengan panjang sisi saluran $3,12 \text{ m}$ dan kemiringan sisi saluran sebesar 60° . Kolam pengendapan yang akan dibuat memiliki kapasitas penampungan berdasarkan debit limpasan yang masuk sebesar 31.240 m^3 . Kolam dibuat dengan model berkelok-kelok dan memiliki empat kompartemen. Pada kolam juga dilakukan analisis terhadap efektivitas pengendapan. Persentase pengendapan yang diperoleh yaitu sebesar 44% , persentase tersebut termasuk kecil ($<80\%$), karena pompa yang digunakan hanya mampu mengisap air dan partikel yang masuk bersamaan dengan air yang mengalir ke *inlet* melalui pompa hanya sedikit. Kondisi aktual sistem penyaliran tambang pada daerah penelitian dibuat dengan dimensi yang tidak memperhitungkan jumlah debit yang masuk. Pembuatan desain sistem penyaliran untuk saluran terbuka dan kolam pengendapan, diharapkan dapat dievaluasi dengan membuat dimensi yang sesuai berdasarkan debit limpasan agar penerapannya dapat berfungsi dengan baik.

Kata Kunci: Tambang Batubara, Saluran Terbuka, Kolam Pengendapan

ABSTRACT

MUTIARA MUMTAZHA ARYANI. *Evaluation of Mine Water Management System at PT Satria Alam Manunggal in Kapuas Regency, Central Kalimantan Province* (supervised by Muhammad Ramli)

PT Satria Alam Manunggal is one of the mining contractors for PT Telen Orbit Prima in Kapuas Tengah District, Kapuas Regency, Central Kalimantan Province. Mining activities are carried out with a large production target causing depressions in mine openings. Based on this, this research was conducted to evaluate the mine drainage system by making the dimensions of the open channel and the dimensions of the settling pond in accordance with the incoming runoff water discharge. The runoff water discharge that will enter the PT Satria Alam Manunggal mining area for 2024-2028 at the maximum point occurs in October 2026 at $29.70 \text{ m}^3/\text{s}$ and the minimum runoff discharge value occurs in January 2024 at $2.52 \text{ m}^3/\text{s}$. The evaluation of the conveyance system for the open channel and settling pond was made based on the highest frequency of $17 \text{ m}^3/\text{s}$ because it is very suitable for the conditions of the study area. The open channel was made with a cross-sectional area of 7.14 m . The open channel has an earthen wall with a channel side length of 3.12 m and a channel side slope of 60° . The settling pond to be created has a storage capacity based on the incoming runoff discharge of $31,240 \text{ m}^3$. The pond is made with a meandering model and has four compartments. The pond was also analyzed for settling effectiveness. The percentage of precipitation obtained is 44%, this percentage is small ($<80\%$), because the pump used is only able to suck water and the particles that enter along with the water flowing into the inlet through the pump are only a few. The actual condition of the mine drainage system in the research area is made with dimensions that do not take into account the amount of incoming discharge. The design of the drainage system for open channels and settling ponds is expected to be evaluated by making appropriate dimensions based on runoff discharge so that its application can function properly.

Keywords: Coal Mine, Open Channel, Settling Pond

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Penambangan Batubara.....	5
2.2 Siklus Hidrologi	7
2.3 Sistem Penyaliran Tambang.....	9
2.4 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Sistem Penyaliran	12
2.5 Saluran Terbuka	17
2.6 Kolam Pengendapan.....	20
2.7 Model Sistem Dinamis.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Lokasi Penelitian.....	25
3.2 Variabel Penelitian.....	26
3.3 Alat-Alat Penelitian.....	27
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	27
3.5 Teknik Analisis	27
3.6 Tahapan Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Analisis Hidrologi	38
4.2 Evaluasi Sistem Penyaliran	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus Hidrologi	8
Gambar 2 Bentuk-bentuk penampang saluran terbuka	18
Gambar 3 Sketsa kolam pengendapan	21
Gambar 4 Peta lokasi penelitian.....	25
Gambar 5 Penentuan luas daerah tangkapan hujan.....	28
Gambar 6 Bagan alir penelitan.....	37
Gambar 7 Grafik prediksi curah hujan tahun 2024-2028.....	40
Gambar 8 Grafik intensitas curah hujan tahun 2024-2028	42
Gambar 9 Kondisi aktual lahan daerah penelitian	43
Gambar 10 Grafik debit limpasan tahun 2024-2028.....	45
Gambar 11 <i>Stock flow diagram</i>	45
Gambar 12 Grafik distribusi frekuensi debit limpasan	46
Gambar 13 Saluran terbuka <i>pit</i> PT Satria Alam Manunggal	47
Gambar 14 Visualisasi penampang saluran terbuka tipe 1	50
Gambar 15 Visualisasi penampang saluran terbuka tipe 2	53
Gambar 16 Kondisi aktual kolam pengendapan PT Satria Alam Manunggal	53
Gambar 17 Tampak atas kolam pengendapan	54
Gambar 18 Penampang kolam pengendapan tipe 1	56
Gambar 19 Penampang kolam pengendapan tipe 2	57
Gambar 20 Visualisasi penempatan kolam pengendapan di <i>pit</i>	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Periode ulang hujan.....	14
Tabel 2 Interpretasi nilai MAPE	29
Tabel 3 Nilai koefisien limpasan.....	31
Tabel 4 Koefisien kekasaran dinding saluran Manning.....	32
Tabel 5 Data curah hujan maksimum tahun 2019-2023	38
Tabel 6 Kalibrasi hasil prediksi curah hujan tahun 2021-2023.....	39
Tabel 7 Dimensi saluran terbuka tipe 1.....	50
Tabel 8 Dimensi saluran terbuka tipe 2.....	52
Tabel 9 Dimensi kolam pengendapan tipe 1	55
Tabel 10 Dimensi kolam pengendapan tipe 2	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta kesampaian daerah.....	69
Lampiran 2 Peta daerah tangkapan hujan	71
Lampiran 3 Curah hujan tahun 2019-2023	73
Lampiran 4 Data hasil analisis hidrologi	79
Lampiran 5 Kartu konsultasi tugas akhir	82

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Alhamdulillah *robbil 'alamin*, puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Evaluasi Sistem Pengelolaan Air Tambang Pada *Pit* PT Satria Alam Manunggal di Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah”. Skripsi ini dibuat karena sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana sekaligus menyelesaikan masa studi Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penelitian ini penting dilakukan untuk memberikan pemahaman bagi mahasiswa khusus Teknik pertambangan dan pemecahan masalah terhadap sistem penyaliran tambang.

Penyelesaian skripsi tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan dan kesempatan oleh pihak PT Satria Alam Manunggal. Terima kasih kepada Bapak Herry Tanis selaku HR PT Gagah Putera Satria, Bapak Noor Hasanudin selaku Asisten General Manager, dan Bapak Aris Kharisma Hariasi S.Pd selaku HRD yang telah menerima penulis untuk melaksanakan penelitian di wilayah kerjanya. Terimakasih kepada seluruh pekerja wanita yang telah banyak membantu dan senantiasa menemani selama di daerah penelitian. Terima kasih kepada Bapak Yurdi Andi Makkarumpa dan Bapak Ali Wahyudi selaku pembimbing lapangan yang sudah menerima penulis dengan baik serta memberikan dukungan selama kegiatan penelitian.

Penulis menyampaikan hormat dan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T., selaku dosen pembimbing atas kesediaan dan saran membangun yang telah diberikan selama membimbing penulis dalam mengerjakan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman Teknik Pertambangan Angkatan 2020 dan sahabat penulis yang senantiasa memberikan dukungan, saran, dan motivasi kepada penulis. Penulis juga berterima kasih kepada teman-teman magang dari Universitas Palangkaraya untuk Immanuel Nababan, Romualdo Nadeak, dan Kevin Sidauruk yang telah membantu selama penelitian dan cepat tanggap ketika penulis membutuhkan bantuan. Terima kasih yang tiada

hentinya dan sayang tulus kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan baik materi, motivasi, dan doa kepada penulis yang tak terhalang waktu serta jarak, sehingga dapat membantu lancarnya poses pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan selama kegiatan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran dari pembaca guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya mahasiswa Teknik Pertambangan sekiranya dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dan pengembangan dalam bidang pertambangan.

Gowa, November 2024

Mutiara Mumtazha Aryani

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu komoditas tambang terbesar di Indonesia khususnya pada daerah Kalimantan. Batubara adalah bahan *non* logam yang sifatnya seperti arang kayu, tetapi panas yang dihasilkan lebih besar. Batubara adalah fosil dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami perubahan kimia akibat dari tekanan suhu yang tinggi dalam kurun waktu lama. Komposisi penyusun batubara terdiri dari campuran hidrokarbon dengan komponen utama karbon. Batubara diklasifikasikan menurut kadar kandungan karbon yang ada di dalamnya, yaitu berturut-turut makin besar kadarnya lignit, bitumen, dan antrasit (Arif, 2021).

Kegiatan penambangan batubara dilakukan dengan sistem tambang terbuka metode *open pit*. Peningkatan jumlah pengupasan *overburden* dan batubara pada metode *open pit* mengakibatkan terjadinya perubahan dimensi *front* tambang yang semakin dalam, serta arah penambangan yang menuju penyebaran batubara, sehingga menyebabkan terbentuknya cekungan yang cukup luas. Cekungan yang luas sangat berpotensi untuk menjadi daerah tampungan air, baik yang berasal dari air limpasan permukaan maupun air tanah (Haq dan Har, 2022).

Air merupakan salah satu masalah yang menimbulkan turunnya produktivitas pada kegiatan pertambangan. Pengelolaan air penting dilakukan untuk menghindari masalah yang dapat menimbulkan terganggunya aktivitas penambangan. Penelitian pada pertambangan batubara yang menggunakan sistem penambangan terbuka pada saat musim hujan dengan intensitas curah hujan yang tinggi menyebabkan genangan air pada bukaan tambang, sehingga perlu mencari cara untuk mengeluarkan air keluar dari area tersebut (Khalik, dkk., 2021).

Sistem yang digunakan untuk mengeluarkan air dari area penambangan disebut sistem penyaliran tambang. Sistem penyaliran tambang juga merupakan suatu upaya yang diterapkan pada kegiatan penambangan untuk mencegah, mengeringkan, atau mengalirkan air yang masuk ke bukaan tambang. Penyaliran tambang merupakan suatu aktivitas yang tak dapat dipisahkan dalam kegiatan operasional penambangan baik itu tambang terbuka maupun tambang bawah tanah.

Parameter yang mempengaruhi dalam sistem penyaliran yaitu tingginya curah hujan atau intensitas hujan (*rainfall intensity*) dan rancangan dari saluran (Winarno, dkk., 2019).

PT Satria Alam Manunggal adalah salah satu kontraktor pertambangan untuk PT Telen Orbit Prima di Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem penyaliran tambang pada *pit* PT Satria Alam Manunggal. Perusahaan yang bekerja sebagai kontraktor harus memenuhi target produksi yang diinginkan oleh perusahaan pemilik IUP (*owner*). Tingginya curah hujan dan air permukaan yang timbul memengaruhi banyaknya air limpasan yang masuk ke area tambang. Hal tersebut menyebabkan banyaknya bukaan tambang yang berakibat air terakumulasi pada area tambang. Pengelolaan sistem penyaliran tambang perlu dilakukan dengan mempertimbangkan debit limpasan yang masuk, sehingga aktivitas penambangan dapat terkendali dengan baik dan efektif. Evaluasi sistem penyaliran pada daerah penelitian dengan membuat dimensi terhadap saluran terbuka dan kolam pengendapan.

1.2 Rumusan Masalah

Cekungan yang dihasilkan dari kegiatan penambangan menyebabkan air limpasan masuk yang dapat berakibat tergenangnya *pit*. Sistem penyaliran tambang tidak efisien apabila dimensi saluran terbuka dan kolam pengendapan yang dibuat tidak sesuai dengan debit limpasan yang masuk. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini perlu diperlukan untuk menganalisis permasalahan berikut:

1. Berapa luas daerah tangkapan hujan pada *pit* PT Satria Alam Manunggal?
2. Berapa debit air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan berdasarkan daerah tangkapan hujan?
3. Bagaimana dimensi saluran terbuka yang sesuai dengan debit air limpasan yang masuk dalam area penambangan?
4. Bagaimana dimensi kolam pengendapan yang sesuai dengan Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018?
5. Bagaimana hasil evaluasi dari sistem penyaliran tambang berdasarkan kondisi aktual daerah penambangan PT Satria Alam Manunggal ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis luas daerah tangkapan hujan pada *pit* PT Satria Alam Manunggal.
2. Menganalisis debit air limpasan yang masuk ke dalam *pit* penambangan berdasarkan daerah tangkapan hujan.
3. Membuat desain rancangan saluran terbuka berdasarkan debit air limpasan yang masuk ke area penambangan.
4. Membuat dimensi kolam pengendapan mengacu kepada Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018.
5. Menentukan evaluasi sistem penyaliran tambang berdasarkan kondisi aktual daerah penambangan PT Satria Alam Manunggal.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian berupa desain saluran terbuka dan kolam pengendapan yang sesuai dengan debit air limpasan yang masuk dalam daerah tangkapan hujan PT Satria Alam Manunggal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan solusi terkait sistem penyaliran tambang kepada perusahaan lokasi penelitian, sehingga diharapkan dapat membantu efisiensi pada aktivitas penambangan. Penelitian juga bermanfaat sebagai bahan referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan sistem penyaliran tambang terbuka khususnya pada tambang batubara.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup wilayah penelitian ini adalah daerah tangkapan hujan yang terdapat pada *pit* PT Satria Alam Manunggal. PT Satria Alam Manunggal merupakan kontraktor pertambangan untuk PT Telen Orbit Prima yang terletak di Desa Buhut Jaya, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Kegiatan penelitian dilakukan pada lokasi tersebut karena perlu dilakukan peninjauan terhadap sistem penyaliran tambang, dimana operasional penambangan yang tidak efektif akibat besarnya limpasan hujan yang masuk ke dalam *pit*.

Kegiatan operasional yang terganggu dapat mengakibatkan kurangnya produktivitas dalam mengejar target produksi.

Ruang lingkup materi pada penelitian ini berfokus pada sistem penyaliran tambang pada *pit* Satria Alam Manunggal. Sistem penyaliran yang telah ada akan dilakukan peninjauan kembali (evaluasi) dikarenakan pada *pit* tersebut terjadi perluasan bukaan tambang, sehingga sistem penyaliran tambang tidak efisien. Sistem penyaliran tambang yang dilakukan yaitu menganalisis intensitas curah hujan, pembuatan dimensi saluran terbuka dan dimensi kolam pengendapan. Pembuatan dimensi saluran terbuka dan kolam pengendapan berdasarkan debit air limpasan yang masuk ke dalam *pit*. Pengumpulan data penelitian berlangsung selama lebih kurang 28 hari dari tanggal 13 Januari hingga 20 Februari 2024.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penambangan Batubara

Batubara adalah salah satu sumber energi dunia, dimana merupakan komoditas energi yang semakin menarik. Eksplorasi dan eksploitasi batubara terus meningkat dalam pemenuhan kebutuhan energi masyarakat dunia. Batubara merupakan istilah yang luas untuk bahan bersifat karbon secara menyeluruh yang terjadi secara alamiah. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara menjelaskan definisi batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan. Batubara merupakan campuran yang sangat kompleks yang tersusun dari zat kimia organik yang mengandung karbon, oksigen dan hidrogen dalam sebuah rantai karbon (Arif, 2021). Dalam pengertian lain, batubara merupakan batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna cokelat sampai hitam, yang sejak pengedapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikan kaya akan kandungan karbon (Sukandarrumidi, 2018).

Batubara berasal dari tumbuhan yang telah mati dan tertimbun dalam waktu yang sangat lama diperkirakan mencapai jutaan tahun. Dalam proses pembentukan batubara terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti besaran temperatur dan tekanan terhadap tumbuhan mati akan berdampak pada kondisi lapisan batubara yang terbentuk, termasuk pengayaan kandungan karbon di dalam batubara. Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair untuk dihidrogenasikan untuk membuat gas metana. Gas sintesis atau bahan bakar berupa gas dapat diproduksi sebagai produk utama dengan gasifikasi batubara menggunakan oksigen dan uap maupun udara dan uap (Arif, 2021).

Pertambangan di Indonesia bagian Utara sebagian besar meliputi penambangan batubara. Sistem penambangan secara umum terbagi menjadi dua yaitu tambang terbuka dan tambang bawah tanah, sistem penambangan terbuka dengan metode gali-isi-kembali (*back filling method*) dengan kombinasi alat gali

muat dan angkut berupa *backhoe* dan *dumptruck*. Metode tambang terbuka adalah metode penambangan yang seluruh kegiatan penambangannya berada di permukaan bumi dan tempat kerjanya berhubungan langsung dengan udara luar (Putri F. A., 2020)

Sistem penambangan yang banyak ditemukan dalam penambangan batubara adalah sistem tambang terbuka. Hal ini dikarenakan sebagian besar cadangan batubara terdapat pada dataran rendah atau pada topografi yang landai dengan kemiringan lapisan batubara yang kecil yaitu $<30^\circ$. Dengan karakteristik cadangan di Indonesia, penambangan batubara dengan menggunakan metode tambang terbuka dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan tambang dalam (bawah permukaan). Namun, di beberapa area cadangan dengan karakteristik cebakan berada jauh di bawah permukaan dan dengan bentuk yang tidak beraturan, maka sangat mungkin penambangan batubara dilakukan dengan metode tambang bawah tanah atau *underground mine*. Industri pertambangan, khususnya tambang terbuka batubara di Indonesia melibatkan aktivitas, peralatan, dan sumber daya manusia yang masif (Luthfia, et al., 2020).

Menurut Hartono (2008), terdapat 5 proses produksi penambangan batubara, yaitu meliputi:

1. Pembersihan lahan (*land clearing*) merupakan kegiatan yang dilakukan untuk membersihkan lahan yang akan ditambang mulai dari rerumputan hingga pepohonan baik yang berukuran kecil hingga berukuran besar.
2. Pengupasan tanah pucuk (*top soil removal*) yaitu pemindahan tanah yang berfungsi untuk menyelamatkan tanah agar tidak rusak sehingga masih memiliki unsur hara yang kemudian dapat digunakan kembali untuk kegiatan reklamasi. Tanah pucuk yang diambil akan dipindahkan ke disposal area sebagai tempat penyimpanan sementara.
3. Pengupasan tanah penutup (*stripping overburden*). Pada proses ini terdapat dua cara dalam melakukan pengupasan tanah, apabila material tanah penutup merupakan material lunak maka tanah penutup tersebut dapat dilakukan dengan sistem pengeboran (*drilling*). Namun apabila materialnya merupakan material kuat, maka dalam melakukan pengupasan tanah yang diawali dengan peledakan (*blasting*) kemudian dilakukan penggalian.

4. Penimbunan tanah (*material removal*) merupakan kegiatan pemindahan material bongkaran dari kegiatan pengupasa tanah dengan menggunakan alat gali yaitu *excavator* jenis *backhoe* atau *shovel* dari *point loading* menuju *disposal area* yang telah direncanakan dan ditentukan oleh perusahaan. penambangan batubara. Penimbunan tanah penutup dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan *backfilling* dan penimbunan secara langsung. *Backfilling* merupakan metode efektif untuk mengurangi kandungan asam dari kegiatan kegiatan penambangan yang dilakukan maupun lahan tambang yang telah digunakan.
5. Penambangan Batubara (*coal getting*) merupakan proses pengambilan batubara dari pembersihan, proses pengangkutan raw coal menggunakan *dumpruck* (*coal hauling*), proses pemecahan batubara dari ukuran besar menjadi ukuran kecil (*coal crushing*) hingga pengisian batubara ke alat angkut untuk kemudian diangkut menuju tempat penampungan (*stockpile*).

2.2 Siklus Hidrologi

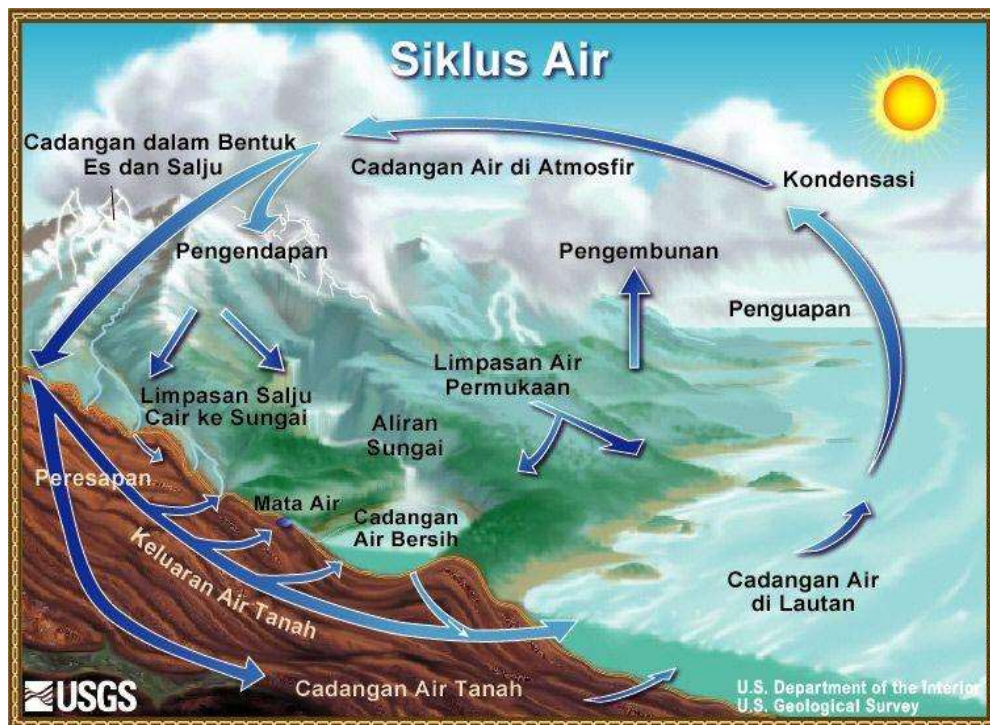
Air merupakan salah satu masalah yang menimbulkan turunnya produktivitas pada kegiatan pertambangan. Keberadaan air pada kegiatan penambangan merupakan hal yang umum ditemukan pada berbagai lokasi kegiatan penambangn, terutama pada daerah tropis yang memiliki curah hujan yang tinggi serta pada daerah tambang yang memiliki lapisan pembawa air tanah. Curah hujan yang tinggi pada musim penghujan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu mengakibatkan besarnya limpasan air hujan yang terdapat pada *front* penambangan (Gautama, 2019).

Berdasarkan prosesnya, hidrologi berkaitan dengan pergerakan air di bumi, kejadiannya, sirkulasi dan distribusinya, sifat kimia dan fisik air. Hidrologi juga dipengaruhi oleh reaksi air dengan lingkungan termasuk hubungannya dengan makhluk hidup (Ray, 1975). Hubungan air dengan lingkungan tersebut mempengaruhi setiap fase siklus hidrologi yang disebabkan oleh urbanisasi dan industrialisasi yang berkembang pesat termasuk penggundulan hutan, perubahan tutupan lahan, dan irigasi (Devia, *et al.*, 1975).

Siklus hidrologi juga dikenal sebagai siklus air ini adalah sistem pemulihan air normal di bumi. Radiasi matahari menyebabkan air menguap, umumnya sumber

air tersebut berasal dari laut, danau, dan sebagainya. Air juga menguap dari daun tanaman melalui mekanisme transpirasi. Pada saat uap air naik ke atmosfer terjadi beberapa proses yaitu pembekuan, mengembun, hingga air kembali ke daratan dan laut sebagai curah hujan. Curah hujan jatuh ke permukaan Bumi sebagai air permukaan dan menciptakan aliran air yang menghasilkan danau dan sungai. Sebagian air yang mengembun menembus ke dalam tanah dan bergerak ke bawah melalui retakan membentuk akuifer. Akhirnya, sebagian air permukaan dan air bawah tanah mengalir ke laut (Inglezakis, *et al.*, 2016).

Siklus hidrologi sangat terkait dengan perubahan suhu atmosfer dan keseimbangan radiasi. Peningkatan sistem iklim dalam beberapa dekade terakhir tidak dapat disangkal berdasarkan observasi peningkatan suhu udara dan laut rata-rata global karena melelehnya salju dan es secara meluas dan naiknya permukaan laut secara global (Inglezakis, *et al.*, 2016). Visualisasi siklus air dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Siklus Hidrologi (Kuchment, 2004)

Siklus hidrologi diperkuat dengan lebih banyak curah hujan dan lebih banyak evaporasi, tetapi curah hujan tambahan akan tidak merata di seluruh dunia.

Diperkirakan bahwa beberapa wilayah di dunia mungkin melihat penurunan signifikan dalam curah hujan atau bahkan variasi lebih besar dalam waktu musim hujan dan kemarau (Inglezakis, *et al.*, 2016). Pengamatan terhadap daur hidrologi untuk menganalisis sumber air perlu dilakukan. Hal tersebut berguna untuk mengetahui total air limpasan yang masuk ke dalam area penambangan menghasilkan manajemen penyaliran tambang yang baik.

2.3 Sistem Penyaliran Tambang

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. 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).

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam proses penambangan adalah masalah penanganan air, atau lebih umum disebut dengan istilah penyaliran tambang. Metode penambangan yang terpapar langsung dengan udara luar seperti metode tambang terbuka yang diterapkan pada tambang batubara (Khusairi, dkk., 2018). Kegiatan penambangan batubara memiliki risiko yang tinggi baik dari segi teknis maupun ekonomis, sehingga dibutuhkan suatu perencanaan tambang yang baik. Salah satu perencanaan yang dibutuhkan penambangan batubara adalah perencanaan sistem penyaliran tambang. Adanya perencanaan sistem penyaliran tambang yang baik, perusahaan bisa mengoptimalkan produksi tanpa adanya genangan air pada *front* penambangan maupun di *hauling road* (Febrian dan Murad, 2019).

Sistem penyaliran tambang adalah suatu usaha yang diterapkan pada suatu daerah penambangan yang dilakukan untuk mencegah, mengeringkan, dan mengeluarkan air dalam jumlah berlebihan yang masuk ke area penambangan. Upaya ini dimaksudkan untuk mencegah terganggunya aktivitas penambangan akibat adanya air dalam jumlah yang berlebih, terutama pada musim hujan. Air

dalam jumlah yang besar merupakan permasalahan besar dalam pekerjaan penambangan, baik secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh terhadap produktivitas. Sumber air yang masuk ke lokasi penambangan, dapat berasal dari air permukaan tanah maupun air bawah tanah (Baso, dkk., 2019). Sistem penyaliran tambang juga bertujuan untuk memperlambat kerusakan alat dan juga membuat kondisi kerja yang aman, sehingga alat-alat mekanis yang digunakan pada daerah tersebut mempunyai umur yang lama (Haq dan Har, 2022). Penanganan masalah air pada tambang terbuka dapat dibedakan menjadi dua yaitu *mine drainage* dan *mine dewatering*.

2.3.1 Mine drainage system

Mine drainage (sistem penyaliran) merupakan upaya yang dilakukan untuk mencegah masuknya air ke dalam *pit* penambangan. Hal ini biasanya dilakukan untuk penanganan air tanah dan air permukaan (Chakti dan Har, 2020). *Mine drainage system* pada umumnya dilakukan dengan menyediakan saluran terbuka di lingkaran luar tambang atau rantai jenjang, adapun metode-metode dalam, yaitu sebagai berikut:

1. *Siemens method*

Pada metode ini, jenjang dari kegiatan penambangan dibuat lubang bor dengan diameter 30 cm, kemudian lubang bor dimasukkan pipa berukuran 9 cm hingga 20 cm. Ujung bawah pipa tersebut dibuat lubang-lubang (perporasi) dan bagian ujung pipa tadi masuk hingga ke dalam lapisan akuifer, sehingga air yang ada pada bagian bawah pipa dapat dipompa ke atas secara seri, kemudian dibuang ke kolam pengendapan (Sapan, dkk., 2020).

2. *Small pipe system with vacuum pump drainage*

Metode ini diterapkan untuk lapisan batuan yang memiliki sedikit kandungan air, caranya dengan membuat lubang bor dengan diameter 15 cm. Pada lubang bor tersebut dimasukkan pipa berdiameter 5 cm atau 6 cm. Pada ujung pipa dibuat lubang-lubang (perporasi). Pipa dan dinding lubang bor diberikan batuan kasar dengan fungsi sebagai penyaring kotoran. Penyumbatan dilakukan pada bagian atas antara pipa dan lubang bor,

sehingga air dapat terhisap ke dalam lubang bor diakibatkan adanya kondisi *vacuum* udara saat terjadi isapan pompa (Sapan, dkk., 2020).

3. *Deep well pump method drainage*

Metode ini digunakan untuk material yang mempunyai permeabilitas rendah dan jenjang yang tinggi. Pembuatan metode ini yaitu dengan cara membuat lubang bor dengan diameter 15 cm, selanjutnya pompa dimasukkan ke dalam lubang bor (*submersible pump*) yang digerakkan dengan listrik. Kedalaman lubang bor sekitar 50 sampai 60 meter (Sapan, dkk., 2020).

4. *Electro osmosis system drainage*

Metode ini dilakukan apabila lapisan tanah terdiri dari tanah lempungan, sehingga pekerjaan pemompaan akan sulit dilakukan karena adanya sifat kapiler. Cara mengatasi keadaan tersebut, maka digunakan cara elektro osmosis. Pada metode ini digunakan batang anoda dan katoda. Apabila elemen-elemen dialiri arus listrik, maka air (H_2O) akan terurai, H^+ 10 menuju ke katoda dan OH^- ke anoda. H^+ pada katoda (di sumur besar) dinetralsir menjadi air dan terkumpul pada sumur lalu diisap dengan pompa (Nauli, 2014).

5. Metode pemotongan air tanah

Metode ini digunakan untuk mengamati air tanah, dimana penggalian dilakukan sampai mencapai lapisan akuifer. Peristiwa terpotongnya air tanah mengakibatkan aliran hilir akan menjadi kering. Lubang penggalian kemudian akan ditimbun dengan material kedap air atau dilapisi dengan semen (Nauli, 2014).

2.2.2 *Mine dewatering system*

Mine dewatering (sistem penirisan) merupakan upaya untuk mengeluarkan air yang telah masuk ke daerah penambangan. Upaya ini terutama untuk menangani air yang berasal dari air hujan. Terdapat beberapa metode penyaliran *mine dewatering* yaitu (Baso, dkk., 2019):

1. Sistem kolam terbuka

Sistem ini diterapkan untuk membuang air yang telah masuk ke daerah penambangan. Air dikumpulkan pada sumur (*sump*) dan dipompa keluar.

2. Cara paritan

Penyaliran dilakukan dengan membuat paritan (saluran) pada lokasi penambangan, yang bertujuan untuk menampung air limpasan yang menuju ke lokasi penambangan dan kemudian akan dialirkan ke kolam penampungan sementara atau dialirkan langsung ke tempat pembuangan dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

3. Sistem adit

Sistem adit digunakan untuk pembuangan air pada tambang terbuka yang mempunyai banyak jenjang. Saluran dibuat secara horisontal dari tempat kerja menembus ke *shaft* yang dibuat di sisi bukit untuk pembuangan air yang masuk ke dalam tempat kerja.

2.4 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Sistem Penyaliran

Sistem penyaliran tambang dipengaruhi oleh beberapa variabel pendukung yaitu:

2.4.1 Curah hujan

Curah hujan adalah jumlah atau volume air hujan yang jatuh pada satu satuan luas tertentu, dinyatakan dalam satuan mm, berarti pada luasan tiap meter persegi jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 liter. Sumber utama air permukaan pada suatu tambang terbuka adalah air hujan (Chow, 1959). Perhitungan curah hujan rata-rata dimaksudkan untuk mendapatkan nilai curah hujan rata-rata pada daerah tangkapan hujan (DTH), yang merupakan hasil penggabungan nilai curah hujan yang diperoleh dari stasiun-stasiun pengamatan curah hujan dengan metode tertentu. Adapun metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata ada beberapa cara yaitu (Jafar, dkk., 2016):

1. Metode rata-rata aljabar (metode aritmatika)

Metode rata-rata aljabar dapat menghasilkan data yang baik bila daerah pengamatannya datar, penempatan alat ukur tersebar merata, dan besarnya curah hujan tidak bervariasi. Metode ini merupakan metode yang paling

sederhana, yaitu dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya stasiun pengukuran curah hujan.

2. Metode poligon thiessen

Metode poligon thiessen memiliki ketelitian yang cukup, sehingga sangat baik jika digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata DTH yang masing-masing dipengaruhi oleh lokasi stasiun pengamatan curah hujan berdasarkan lokasi stasiun pengamatan. Syarat-syarat penggunaan metode Thiessen, yaitu:

- a. Stasiun hujan minimal 3 buah dan letak stasiun dapat tidak merata
- b. Daerah yang terlibat dibagi menjadi poligon-poligon, dengan stasiun pengamat hujan sebagai pusatnya.

3. Metode isohyet

Prinsip dari metode ini yaitu curah hujan pada suatu wilayah di antara dua isohyet sama dengan rata-rata curah hujan dari garis-garis isohyet tersebut.

Syarat-syarat penggunaan metode isohyet, yaitu:

- a. Digunakan di daerah datar/ pegunungan.
- b. Stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata
- c. Perlu ketelitian tinggi dan diperlukan analisis yang berpengalaman.

Komponen hujan pada daerah penambangan merupakan komponen masukan paling penting yang mempengaruhi kondisi hidrologi tambang. Besar curah hujan dapat ditentukan melalui pengukuran dengan alat ukur curah hujan, dalam hal ini adalah alat penakar hujan. Alat penakar hujan manual mempunyai luas bukaan sebesar 200 cm² dan di letakkan kurang lebih satu meter dari permukaan tanah. Pengukuran dilakukan sekali dalam sehari, biasanya pada pagi hari dengan demikian akan didapat curah hujan harian. Alat penakar hujan diletakkan ditempat terbuka agar air hujan yang jatuh tidak terhalangi oleh bangunan atau pepohonan (Amin, 2002).

Perancangan sistem penyaliran untuk air permukaan pada suatu tambang, memerlukan curah hujan rencana. Hujan rencana adalah hujan maksimum yang mungkin terjadi selama umur dari sarana penirisan tersebut. 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 (Meliane, dkk., 2023).

Curah hujan biasanya terjadi menurut pola tertentu dimana curah hujan biasanya akan berulang pada suatu periode tertentu, yang dikenal dengan periode ulang hujan. Periode ulang hujan adalah periode dimana suatu hujan dengan tinggi intensitas yang sama kemungkinan bisa terjadi lagi. Kemungkinan terjadinya adalah satu kali dalam batas periode ulang yang ditetapkan. Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijakan dan resiko yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan (Putri, 2020).

Penggunaan periode ulang hujan penting dalam perencanaan infrastruktur, manajemen banjir, dan desain sistem drainase. Konsepnya seperti hujan dengan periode ulang 10 tahun berarti hujan dengan intensitas tersebut diperkirakan akan terjadi rata-rata sekali dalam 10 tahun. Hal tersebut merupakan probabilitas bukan suatu kepastian dikarenakan hujan dengan periode ulang tertentu bisa saja terjadi dua kali dalam setahun atau tidak terjadi sama sekali (Suyono, dkk., 2020). Acuan untuk menentukan periode ulang hujan (PUH) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Periode ulang hujan

No	Keterangan	Periode Ulang Hujan (tahun)
1	Daerah terbuka	0,50
2	Sarana tambang	2 -5
3	Lereng-lereng tambang dan penimbunan	5 - 10
4	Sumuran utama	10 - 25
5	Penyaliran keliling tambang	25
6	Pemindahan aliran sungai	100

Sumber: Kite (1988)

2.4.2 Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan menyatakan besarnya curah hujan dalam jangka pendek yang memberikan gambaran deras hujan tiap jam. Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan per satuan waktu yang relatif singkat, dinyatakan dalam mm per jam, mm per menit, mm per detik. Intensitas curah hujan biasanya dinotasikan dengan satuan

mm per jam, yang artinya tinggi atau kedalaman yang terjadi dalam waktu satu jam adalah sekian mm (Sapan, dkk., 2020).

Penentuan intensitas curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan kurva durasi yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan air limpasan di daerah penelitian. Pengolahan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan kurva durasi yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan air limpasan di daerah penelitian (Khusairi, dkk., 2018). Prinsip 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 air hujan merupakan luasan wilayah yang apabila hujan turun, aliran air permukaan (*runoff*) akan terkonsentrasi pada suatu titik tertentu (Ramadhan, dkk., 2020). Daerah tangkapan hujan adalah suatu daerah dimana air hujan yang turun akan tertampung dan menuju ke suatu titik konsentrasi yang sama. Luas daerah tangkapan hujan dapat ditentukan dengan peta topografi untuk daerah yang masih alami, sedangkan untuk daerah-daerah yang sudah terganggu digunakan peta situasi.

Hasil pengamatan langsung di lapangan terhadap kemungkinan arah aliran air limpasan dan bentuk permukaan bumi pada lokasi di peta topografi disimpulkan semakin luas muka kerja suatu area penambangan, maka semakin luas pula area yang terganggu dan luasan daerah tangkapan hujan (DTH) menjadi semakin besar. Hal ini akan menyebabkan jumlah air yang perlu ditanggulangi oleh suatu sistem penyaliran cenderung semakin besar (Subiakto, dkk., 2016). Daerah tangkapan hujan adalah areal atau daerah tangkapan hujan dimana batas wilayah tangkapannya ditentukan dari titik-titik elevasi tertinggi sehingga akhirnya merupakan suatu poligon tertutup yang mana polanya disesuaikan dengan kondisi topografi, dengan mengikuti kecenderungan arah gerak air (Sosrodarsono dan Takeda, 2003).

2.4.4 Air limpasan

Limpasan (*runoff*) adalah semua air yang mengalir akibat dari hujan yang bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah, tanpa memperhatikan asal atau jalan yang ditempuh oleh air tersebut. Limpasan permukaan adalah kelebihan air dari kecepatan infiltrasi dan tampungan permukaan. Volume air ini yaitu aliran langsung (*direct runoff*). Besarnya volume aliran ini tergantung pada intensitas hujan yang berlangsung, semakin besar intensitas hujan maka akan semakin besar pula volume aliran pada suatu saluran. Pemodelan aliran permukaan digunakan untuk memahami hasil dan respons daerah tangkapan air, memperkirakan ketersediaan air, perubahan waktu, dan prediksi (Sitterson, *et al.*, 2018)

Koefisien limpasan permukaan atau sering disingkat C adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya limpasan permukaan terhadap besarnya curah hujan. Misalnya, C untuk hutan adalah 0,10 artinya 10 persen dari total curah hujan akan menjadi limpasan permukaan. Secara matematis, koefisien limpasan permukaan dapat dijabarkan sebagai berikut. Nilai C yang besar menunjukkan bahwa lebih banyak air hujan yang menjadi limpasan permukaan. Hal ini kurang menguntungkan dari segi pencagaran sumberdaya air karena jumlah air yang akan menjadi air tanah akan berkurang. Kerugian lainnya adalah dengan semakin besarnya jumlah air hujan yang menjadi limpasan permukaan, maka ancaman terjadinya erosi dan banjir menjadi lebih besar. Angka C berkisar antara 0 hingga 1. Angka 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terdistribusi menjadi air intersepsi terutama infiltrasi. Angka $C = 1$ menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai limpasan permukaan (Baso, dkk., 2019).

Penentuan koefisien limpasan, beberapa faktor yang harus diperhatikan adalah (Putri, 2020):

1. Kerapatan vegetasi

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

2. Tata guna lahan

Lahan persawahan atau rawa-rawa akan memberikan nilai C yang kecil daripada daerah hutan atau perkebunan, karena pada daerah persawahan misalnya padi, air hujan 47 yang jatuh akan tertahan pada petak-petak sawah, sebelum akhirnya menjadi limpasan permukaan.

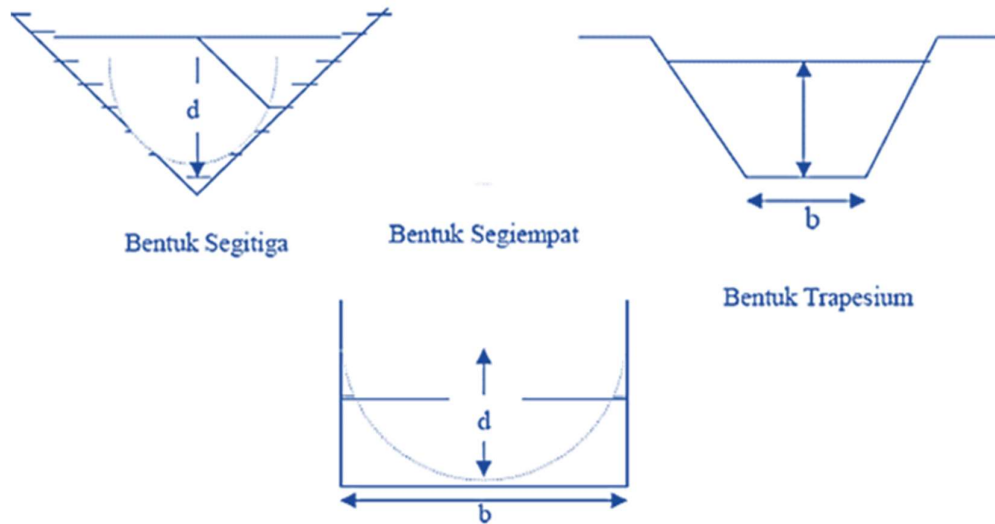
3. Kemiringan tanah

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

2.5 Saluran Terbuka

Saluran terbuka yaitu saluran yang dibuat untuk menampung air limpasan permukaan dari air hujan suatu daerah dan mengalirkannya ke tempat pengumpulan air seperti sumuran, badan sungai, atau tempat lainnya. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan bentuk dan dimensi saluran terbuka yaitu saluran tersebut harus dapat mengaliri air yang direncanakan, mudah dalam pembuatannya, sesuai dengan arah aliran air limpasan (*runoff*) dan sesuai topografi dari daerah tersebut, serta ekonomis dan efektif pada bentuk dan dimensinya. Pembuatan saluran tambang dilakukan untuk air limpasan permukaan pada suatu daerah dan mengalirkannya ke tempat terkumpulnya air (sumuran) atau tempat lainnya (Dewa, dkk., 2020).

Saluran ini juga digunakan untuk mengalirkan air hasil pemompaan keluar areal penambangan. Bentuk penampang saluran umumnya dipilih berdasarkan debit air, tipe material pembentuk saluran serta kemudahan dalam pembuatannya. Saluran air dengan penampang persegi empat atau segitiga umumnya untuk debit yang kecil, sedangkan penampang trapesium untuk debit yang besar (Haq dan Har, 2022). Bentuk-bentuk penampang saluran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk-bentuk penampang saluran terbuka (Hartono, 2008)

Perencanaan sistem saluran terbuka pada daerah penambangan sangat diperlukan, mengingat bahwa daerah tambang merupakan lahan tanah kosong yang berpotensi terbentuknya genangan air pada daerah penambangan. Tujuan pembuatan saluran terbuka yaitu untuk mencegah, mengeringkan, atau mengeluarkan air yang masuk ke lokasi kerja. Upaya tersebut dimaksudkan untuk mengurangi terganggunya aktivitas produksi akibat adanya air hujan dalam jumlah berlebihan, terutama pada musim hujan. Sistem penyaliran tambang juga bertujuan untuk memperlambat kerusakan alat serta mempertahankan kondisi kerja yang aman dan kondusif (Fajrin, dkk., 2018).

Adapun jenis-jenis saluran drainase secara umum dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu sebagai berikut (Kusumo, 2009):

1. Drainase menurut sejarah terbentuknya

- a. Drainase alamiah (*natural drainage*)

Drainase yang terbentuk secara alami dan tidak terdapat bangunan-bangunan penunjang, saluran ini terbentuk oleh gerusan air yang bergerak karena gravitasi yang lambat laun membentuk jalan air yang permanen seperti sungai.

- b. Drainase buatan

Drainase yang dibuat dengan maksud dan tujuan tertentu sehingga memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu, gorong-gorong, dan pipa-pipa.

2. Drainase menurut letak bangunannya

a. Drainase permukaan tanah (*surface drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan. Analisis alirannya merupakan analisis *open channel flow* (aliran saluran terbuka).

b. Drainase bawah permukaan tanah (*subsurface drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan untuk mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah yaitu menggunakan pipa-pipa dikarenakan alasan-alasan tertentu, seperti alasan tuntutan artistik.

3. Drainase menurut konstruksinya

a. Saluran terbuka merupakan saluran yang lebih cocok untuk drainase air hujan yang terletak di daerah luasan yang cukup luas, ataupun untuk drainase air *non*-hujan yang tidak membahayakan kesehatan lingkungan.

b. Saluran tertutup adalah saluran yang pada umumnya sering di pakai untuk aliran air kotor (air yang mengganggu kesehatan atau lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tengah kota.

4. Drainase menurut sistem buangnya

Sistem pengumpulan air buangan sesuai dengan fungsinya maka pemilihan sistem buangnya dibedakan menjadi:

a. Sistem terpisah (*separate system*) Sistem terpisah merupakan sistem dimana air kotor dan air hujan dilayani oleh sistem saluran masing-masing secara terpisah.

b. Sistem tercampur (*combined system*) Sistem tercampur merupakan sistem dimana air kotor dan air hujan disalurkan melalui satu saluran yang sama.

c. Sistem kombinasi (*pscudo separate system*) Sistem kombinasi merupakan perpaduan antara saluran air buangan dan saluran air hujan dimana pada waktu musim hujan air buangan dan air hujan tercampur dalam saluran air buangan, sedangkan air hujan berfungsi sebagai pengenceran penggelontor .kedua saluran ini tidak bersatu tetapi dihubungkan dengan sistem perpipaaan *interceptor*.

Ketentuan-ketentuan dalam perancangan dimensi saluran drainase berdasarkan Buku Pedoman Konstruksi dan Bangunan dalam Perencanaan Sistem Drainase Jalan oleh Departemen Pekerjaan Umum (2006) diantaranya sebagai berikut:

1. Ditempatkan melintang jalan yang berfungsi untuk menampung air dari hulu saluran drainase dan dapat mengalirkannya.
2. Harus cukup besar untuk melewati debit air secara maksimum dari daerah pengaliran secara efisien.
3. Harus dibuat dengan tipe permanen. Adapun pembangunan gorong-gorong terdiri dari tiga konstruksi utama, yaitu:
 - a. Pipa kanan air utama yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bagian hulu ke bagian hilir secara langsung.
 - b. Apron (dasar) dibuat pada tempat masuk untuk mencegah terjadinya erosi dan dapat berfungsi sebagai dinding penyekat lumpur.
 - c. Bak penampung diperlukan pada kondisi beberapa kondisi yaitu saat pertemuan antara saluran drainase dan saluran tepi serta pertemuan lebih dari dua arah aliran. Perhitungan dimensi saluran drainase mengambil asumsi sebagai saluran terbuka. Perhitungan dimensi saluran drainase harus memperkirakan debit-debit yang masuk pada saluran tersebut.
4. Dimensi saluran drainase minimum dengan diameter 80 cm. Kedalaman saluran drainase yang aman terhadap permukaan jalan yaitu minimum 1 m hingga 1,5 m dari permukaan jalan.
5. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan keluaran adalah kemiringan dan kekasaran saluran drainase.
6. Hidrolik saluran drainase.
7. Ukuran dan jenis saluran drainase ditentukan berdasarkan debit yang direncanakan dan lokasi pembuatannya.

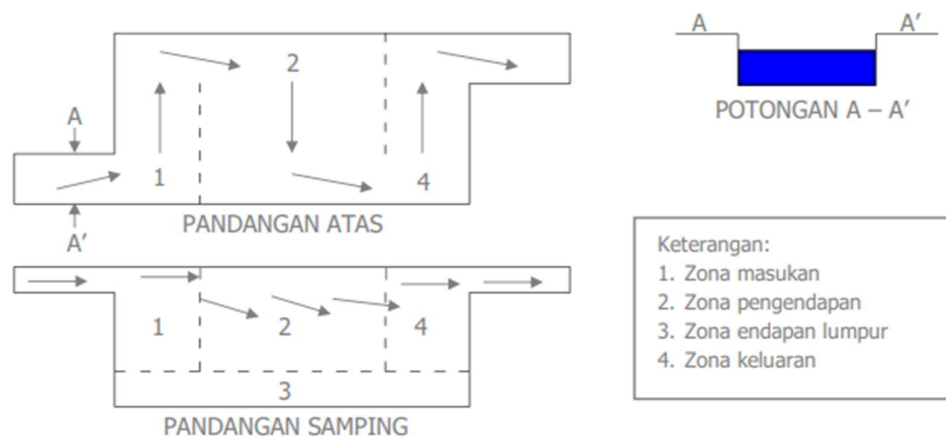
2.6 Kolam Pengendapan

Pertambangan dapat mengakibatkan terjadinya degradasi kualitas lingkungan karena luasnya vegetasi lahan yang dibuka, meningkatnya erosi dan kandungan padatan terlarut yang tinggi pada air limbah penambangan. Aliran air limpasan yang

berasal dari berbagai daerah tangkapan hujan di area pertambangan harus melalui proses pengolahan di kolam pengendapan. Kolam pengendapan merupakan pengolahan terakhir dalam penambangan sebagai kontrol erosi, sedimentasi, dan bahan pencemar lainnya seperti logam berat sebelum keluar ke badan air (Utamakno, dkk., 2020).

Kolam pengendapan adalah suatu daerah yang dibuat khusus untuk menampung air limpasan sebelum dibuang langsung menuju daerah pengaliran umum atau badan air. Sedangkan kolam pengendapan untuk daerah penambangan adalah kolam yang dibuat untuk menampung dan mengendapkan air limpasan yang berasal dari daerah penambangan maupun daerah sekitar penambangan, kemudian akan dibuang menuju tempat penampungan air umum seperti sungai, laut, maupun danau (Haq & Har, 2022).

Kolam pengendapan biasanya ditempatkan pada awal dalam rangkaian penanganan air, tetapi dapat juga digunakan sebagai kolam terakhir dalam sebuah sistem penyaliran. Rancangan kolam pengendapan diharapkan dapat membantu pengontrolan sedimen sebelum dilepaskan di anak sungai. Perancangan kolam pengendapan harus mempertimbangkan dimensi dan bentuk dari kolam tersebut. Besarnya dimensi kolam pengendapan ditentukan berdasarkan debit air yang masuk dan kecepatan pengendapan material padatnya. Bentuk kolam pengendap bermacam-macam, namun pada setiap kolam pengendap akan selalu ada 4 zona penting yang terbentuk karena proses pengendapan material padatan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Sketsa kolam pengendapan (Baso, dkk, 2019)

Keempat zona pengendapan yang dimaksud yaitu (Baso, dkk., 2019):

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

2.7 Model Sistem Dinamis

Secara umum sistem dinamik (SD) dapat digunakan sebagai kerangka kerja yang cocok untuk memasang dan menerjemahkan model yang ada ke dalam format sistem dinamik. Pendekatan ini adalah metode pemodelan untuk menganalisis sistem dinamik *non*-linier yang kompleks. Hal ini dilakukan dengan mengidentifikasi dan melibatkan variabel-variabel yang relevan untuk membentuk struktur model dan perilakunya (Abdolabadi, *et al.*, 2018).

Perilaku sistem harus dipahami dalam hubungan kausal yang akan membentuk struktur sistem. Model dinamika sistem yang dibuat terdiri dari model dasar dan model dengan skenario. Model dasar dari dinamika sistem adalah sistem yang terjadi saat ini tanpa intervensi kebijakan yang dilaksanakan (Baskoro, dkk., 2021). Penerapan sistem dinamika dalam pemodelan sistem yang kompleks menilai bagaimana perilaku sistem berubah karena perubahan parameter dan interaksinya, dan memperhitungkan mekanisme umpan balik, penundaan, dan *non*-linieritas sistem. Faktor-faktor tersebut yang berkontribusi terhadap perilaku sistem, bukan pada kekuatan prediktifnya (Libey, *et al.*, 2022).

Skema pemodelan konvensional tidak dapat digunakan untuk mengkarakterisasi hubungan umpan balik yang dinamis antara aspek fisik neraca air dan pertumbuhan penduduk, perkembangan pertanian dan industri, atau

penggunaan sumber daya lainnya. Fitur yang paling penting dari pemodelan sistem dinamis adalah penerapannya dalam menjelaskan interaksi di antara berbagai elemen dalam konteks pengambilan keputusan. Sistem dinamik mendasarkan hubungan antara struktur dan perilaku pada konsep umpan balik informasi dan kontrol (Huang, *et al.*, 2022).

Pemahaman tentang model sistem dinamik secara umum memiliki beberapa tahapan yaitu mendefinisikan masalah di lapangan, menentukan variabel signifikan terhadap sistem, menentukan persamaan matematika yang dapat menggambarkan perilaku sistem, dan menentukan jangka waktu simulasi. Penentuan variabel yang menggambarkan perilaku suatu sistem dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa kriteria berikut (Baskoro, dkk., 2021):

1. Variabel-variabel ini penting dan secara signifikan memengaruhi perilaku sistem. Hal ini tergantung dari batasan yang dibuat oleh pemodel, faktor di luar sistem dianggap tidak penting dan tidak diperhitungkan dalam pembuatan model.
2. Variabel serupa harus digabungkan karena beberapa faktor akan menghindari kompleksitas yang tidak perlu.
3. Variabel harus didefinisikan dengan tepat.

Causal loop diagram (CLD) menggambarkan hubungan sebab-akibat di antara komponen-komponen sistem. Lingkaran sebab-akibat yang terhubung dengan elemen yang dipilih dibuat melalui operasi pemodelan. *Causal loop diagram* adalah alat analisis utama yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan variabel-variabel penting dan keterkaitannya. *Causal loop diagram* memungkinkan peneliti menggunakan pendekatan sistem untuk memahami berbagai skala dan perspektif dari suatu masalah (Rajarethinam, *et al.*, 2021). Kekurangan dari *Causal loop diagram* adalah tidak mungkin untuk menggambarkan perilaku sistem dari waktu ke waktu secara kuantitatif. Oleh karena itu, analisis sistem kuantitatif dilakukan menggunakan *stock flow diagram* (SFD) (Naeem, *et al.*, 2024)

Stock flow diagram adalah alat kuantitatif yang memodelkan dan menganalisis perilaku sistem dari waktu ke waktu. *Stock flow diagram* mengukur sistem menggunakan konsep stok dan aliran. Stok mewakili akumulasi kuantitas

dari waktu ke waktu, dan aliran mewakili arus masuk atau keluar jumlah ke dalam stok dari waktu ke waktu. Model *Stock flow diagram* dikembangkan berdasarkan interaksi sistem sumber daya air dan sub sistem sosial ekonomi yang menunjukkan permintaan air. Hal ini dikarenakan, peningkatan pembangunan sosial ekonomi memengaruhi peningkatan permintaan air dari waktu ke waktu dan memberikan tekanan pada pasokan sumber daya air (Naeem, et al., 2024)