

SKRIPSI

ANALISIS NERACA AIR VOID BEKAS TAMBANG BIJIH BESI DI DAERAH BONTOCANI, KABUPATEN BONE, SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

MUH. SATYA DHARMA NURPRAJA

D62115506



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS NERACA AIR VOID BEKAS TAMBANG BIJIH BESI DI
DAERAH BONTOCANI, KABUPATEN BONE, SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

MUH. SATYA DHARMA NURPRAJA

D621 15 506

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 29 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

NIP. 196807181993091001

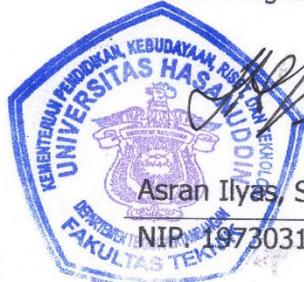
Pembimbing Pendamping,



Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T.

NIP. 199511262022043001

Ketua Program Studi,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197303142000121001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Satya Dharma Nurpraja
NIM : D62115506
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Analisis Neraca Air Void Bekas Tambang Bijih Besi Di Daerah Bontocani,
Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan**

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alih tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Agustus 2022

Yang menyatakan



Muh. Satya Dharma Nurpraja

ABSTRAK

Lubang bekas tambang, akan menjadi kolam, yang kemudian akan terisi atau diisi air, dan akhirnya akan menjadi kolam bekas tambang atau biasa disebut *pit lake* atau void. Void merupakan fitur pasca tambang di mana lubang terbuka diisi dengan air tanah dan air limpasan seperti danau alami. Pada lahan bekas tambang bijih besi di daerah bontocani, kabupaten bone, sulawesi selatan terdapat lubang bekas galian bijih besi atau void yang dapat menyebabkan air masuk secara langsung. Berdasarkan hal tersebut, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini mengetahui volume void pada daerah penelitian, menganalisis neraca air void bekas tambang, dan menentukan mengalami surplus atau defisit neraca air pada void. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan diperoleh volume void adalah sebesar 34.755,67 m³. Pada bulan february hingga september, terjadi surplus neraca air yang ditandai dengan terbentuknya overflow pada void. Pada bulan oktober hingga januari, terjadi defisit neraca air yang ditandai dengan berkurangnya volume air pada void.

Kata kunci: Void, Neraca air, Daerah tangkapan hujan, Prestipitasi, Evapotranspirasi.

ABSTRACT

The ex-mining pit will become pond, which will then be filled or filled with water, and will eventually become a former mining pool or commonly called a pit lake or Void. Voids are post-mining features where open pits are filled with groundwater and runoff like a natural lake. On ex-iron ore mining land in the bontocani area, bone regency, south sulawesi, there are holes used for excavated iron ore or voids that can cause water to enter directly. Based on this, the problems that will be discussed in this study are knowing the volume of voids in the research area, analyzing the water balance of ex-mining voids, and determining whether there is a surplus or deficit in the water balance of the void. Based on the results of research and analysis that has been done, the volume of voids is 34,755.67 m³. From February to September, there is a surplus of water balance which is indicated by the formation of overflow in the voids. From october to january, there is a water balance deficit which is indicated by a decrease in the volume of water in the voids.

Keywords: Void, Water balance, Catchment area, Precipitation, Evapotranspiration.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang diberi judul "Analisis Neraca Air Void Bekas Tambang Bijih Besi Daerah Bontocani, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan."

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr.Eng.Ir. Muhammad Ramli, M.T. selaku Pembimbing Satu dalam penyusunan skripsi ini, dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T. selaku Pembimbing Dua dalam penyusunan skripsi ini yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan arahan, saran, dan masukan kepada penulis dalam menyusun dan menyelesaikan laporan penelitian ini.

Terima kasih penulis ucapkan kepada ayahanda yaitu Drs. Burhan Nurdin M.Si., ibunda yaitu Awaliah S.Ag., saudara saudari sedarah yaitu Fachril, Mutia, dan Syarpia , dan keluarga lainnya memberikan dukungan moril.

Terima kasih penulis ucapkan kepada teman-teman atau saudara saudari tidak sedarah yaitu, Baso Ardimansyah, Afika, Akhmad Nujul, dan Gita trianjani, karena yang tidak henti - hentinya memberikan semangat, dorongan, dan pengalaman selama masa perkuliahan dan menyelesaikan studi ini.

Terima kasih penulis ucapkan kepada teman-teman Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin kakak – kakak senior dan adik – adik junior yang telah memberikan banyak pelajaran pada masa perkuliahan, kepada Aditya Anugrah, Antari Ruanda, Andi Baso Sawerigading, dan teman angkatan 2015 (Stability) lainnya, yang telah terlibat dalam penyusunan skripsi ini yang telah memberikan doa, dukungan, serta bantuan dalam proses pengerjaan, penulisan atau penyusunan skripsi.

Penulis sebagai penyusun merasa bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini karena batasan masalah dalam penelitian seperti waktu, energi dan materil. Oleh karena itu penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam menambah pengetahuan bagi pembaca.

Makassar, 06 Juni 2022

Muhammad Satya Dharma R.N.
NIM: D621 15 506

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Lokasi Penelitian.....	3
1.6 Tahapan Penelitian.....	4
BAB II ANALISIS NERACA AIR VOID BEKAS TAMBANG.....	6
2.1 Siklus Hidrologi	6
2.2 Void (<i>Pit Lake</i>)	6
2.3 Evapotranspirasi.....	10
2.4 Curah Hujan	12
2.5 Daerah Tangkapan Hujan.....	17
2.6 Neraca Air	18

BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Studi Literatur	20
3.2 Observasi dan Pengambilan Data	21
3.3 Analisis Data	21
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	28
BAB IV ANALISIS NERACA AIR VOID BEKAS TAMBANG BIJIH BESI.....	30
4.1 Analisis Debit Puncak	30
4.2 Evapotranspirasi.....	33
4.3 Geometri void	34
4.4 Analisis Neraca Air pada Void.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. 1 Lokasi Penelitian	4
2. 1 Kawah Bekas Asteroid.....	7
2. 2 Kawah Bekas Gunung Api.....	7
2. 3 Pit lake atau Void.....	8
2. 4 Klasifikasi pit lake berdasarkan limnologi.....	9
2. 5 Stratifikasi Termal.....	9
2. 6 Daerah Aliran Sungai.....	18
2. 7 Konsep water balance oleh (Shevenell, 2000).	19
3. 1 Pengolahan data dengan metode Thornthwaite	22
3. 2 Pembuatan model 3D void menggunakan aplikasi AutoCAD 2016	23
3. 3 Pentuan garis sayatan pada void.....	23
3. 4 Penampang pada sayatan A-A'	24
3. 5 Penampang pada sayatan B-B'	24
3. 6 Pengolahan data curah hujan	24
3. 7 Diagram Alir Penelitian.....	29
4. 1 Kurva IDF dengan metode mononobe.....	31
4. 2 Penentuan volume void	34
4. 3 Analisis neraca air bulanan pada void.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Rata-rata persentase harian dari jam siang hari tahunan untuk berbagai lintang (p) menurut FAO (FAO, 1986).....	12
4. 1 Nilai curah hujan maksimum pada beberapa periode ulang hujan.....	30
4. 2 Hasil perhitungan intensitas-durasi-frekuensi (IDF) hujan	31
4. 3 Nilai volume limpasan bulanan	33
4. 4 Nilai evapotranspirasi bulanan pada daerah penelitian	33
4. 5 Hasil analisis neraca air bulanan pada void	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Data curah hujan	41
B. Peta batimetri.....	43
C. Data evapotranspirasi.....	49
D. Perhitungan volume limpasan.....	37
E. Dokumentasi lapangan	51
F. Peta catchment area	54
G. Lembar konsultasi	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode penambangan dengan tambang terbuka mendominasi kegiatan penambangan di dunia, kegiatan penambangan dan mineral pada skala penambangan yang besar yang menyebabkan terbentuknya lubang bukaan besar akibat galian pertambangan *open pit* yang disebut void kemudian terisi dengan air menjadi *pit lake*. Kegiatan pasca tambang oleh beberapa perusahaan tambang menjadikan *pit lake* sebagai salah satu opsi reklamasi bentuk lain terutama untuk tambang batubara, mengingat pada beberapa kondisi penimbunan kembali di dalam *pit (in-pit dump)* tidak memungkinkan untuk dilakukan.

Kegiatan penambangan dengan metode tambang terbuka baik itu untuk penambangan batubara maupun bijih, akan memberikan dampak bagi lingkungan. Penambangan dengan metode tambang terbuka merupakan metode yang paling banyak digunakan sehingga akan berpotensi meninggalkan banyak lubang bukaan tambang. Lubang bekas tambang, akan menjadi kolam, yang kemudian akan terisi atau diisi air, dan akhirnya akan menjadi kolam bekas tambang atau biasa disebut *pit lake* (Castendyk dan Early 2009).

Pit lake atau void terbentuk dari kegiatan tambang terbuka. Void merupakan fitur pasca tambang di mana lubang terbuka diisi dengan air tanah dan air limpasan seperti danau alami, void juga menampilkan keberagaman yang sangat besar. Void biasanya dimanfaatkan pada saat pasca tambang. Void merupakan lubang bekas tambang yang dengan sengaja dan atau secara alami terisi air sehingga membentuk sebuah danau. Dominasi sistem penambangan dengan metode tambang terbuka di dunia menjadikan

pit lake atau void akan banyak tersebar di beberapa wilayah bekas penambangan, terutama di daerah tambang yang material batuananya tidak cukup untuk ditimbun kembali ke dalam lubang bekas tambang. *Pit lake* terbagi menjadi 3 jenis yakni danau *holomictic*, danau *meromictic* dan danau *amictic*, sedangkan secara stratifikasi termal, maka *pit lake* dibagi menjadi lapisan *epilimnion*, lapisan termoklin atau metalimnion dan lapisan *hypolimnion*. Pada beberapa negara, *pit lake* atau void dimanfaatkan untuk beberapa keperluan diantaranya sebagai daerah reservoir air, *recovery* logam berat, daerah wisata, tempat pelatihan selam dan masih ada beberapa pemanfaatan lainnya (Vandenberg et.al, 2015).

Neraca air atau biasa disebut *water balance* merupakan hubungan antara *inflow* (aliran air masuk) dengan *outflow* (aliran air keluar) di suatu wilayah atau tempat kurun waktu tertentu. Untuk menghitung *water balance* menggambarkan curah hujan yang tertampung di daerah *recharge* atau daerah tampungan air hujan. Air akan mengalami pengurangan jumlah melalui penguapan sebagai evapotranspirasi, air yang mengalir permukaan sebagai *surface direct run off*, dan infiltrasi air tanah.

Penghitungan neraca air diperlukan untuk memberikan gambaran sebenarnya mengenai ketersediaan air pada reservoir. Seperti diketahui bahwa neraca air merupakan komponen terpenting dalam sistem hidrologi. Secara sederhana neraca air merupakan sejumlah air hujan yang jatuh ke dalam tanah dikurangi penguapan dan aliran permukaan. Dengan kata lain neraca air merupakan hubungan antara aliran air ke dalam tanah yang berupa masukan (*input*) dengan luaran air (*output*) dalam rentang waktu tertentu. Luaran air (*output*) bisa dalam bentuk evapotranspirasi aktual dan aliran permukaan. Di sini faktor yang paling penting untuk menghitung neraca air adalah ketersediaan data air hujan (*precipitation*) selain suhu udara, tutupan lahan dan jenis dan kondisi tanah (*soil*) di daerah penelitian”.

1.2 Rumusan Masalah

Pada Lahan Bekas Tambang Bijih Besi Di Daerah Bontocani, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan terdapat lubang bekas galian bijih besi atau Void yang dapat menyebabkan air masuk secara langsung. Berdasarkan hal tersebut, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini mengetahui volume void pada daerah penelitian, menganalisis neraca air void bekas tambang, dan menentukan kapan neraca air pada void tambang mengalami surplus atau defisit.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas yaitu

1. Menentukan volume void pada daerah penelitian.
2. Menentukan surplus dan defisit neraca air pada void.
3. Menentukan terjadinya volume *overflow* yang terbentuk pada void.

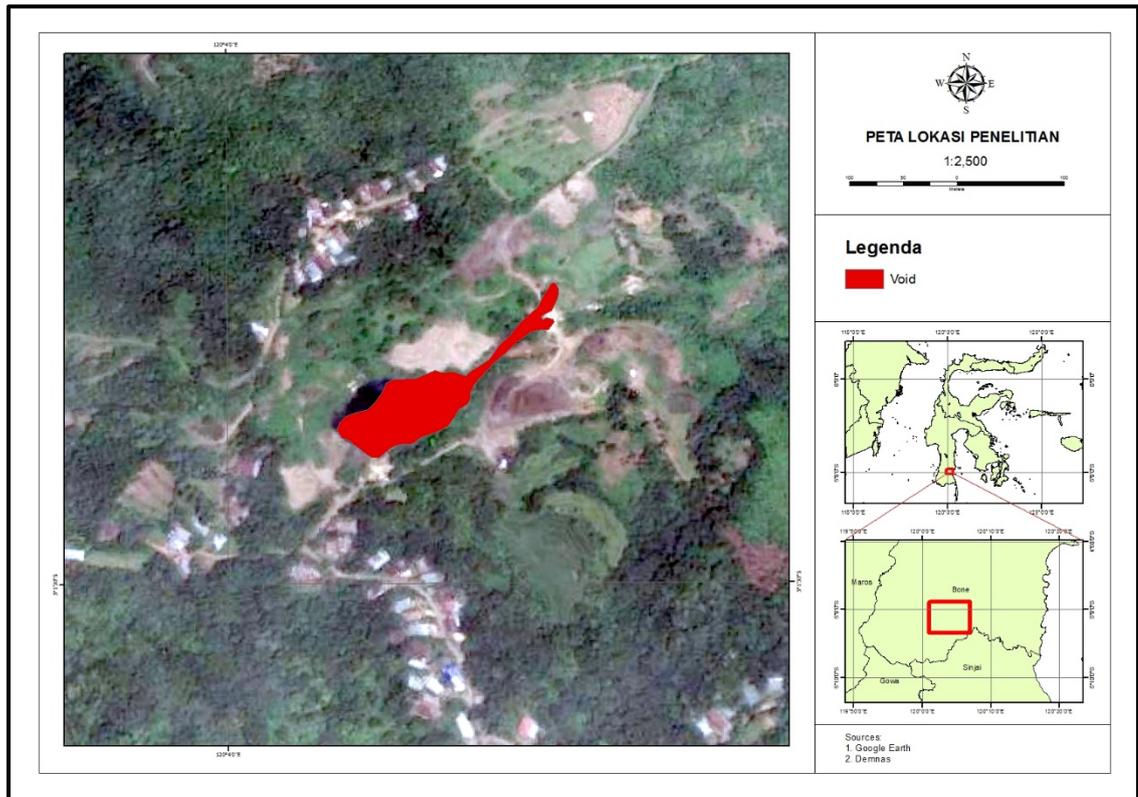
1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui luas *catchment* pada daerah penelitian. Selain itu, penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui bagaimana kondisi *water balance* pada void tambang yang dikaji untuk dapat mengantisipasi akibat yang akan ditimbulkan ketika void surplus air dan mengalami *overflow*.

1.5 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian merupakan lahan bekas tambang bijih besi dan terdapat lubang bekas galian opent pit yang membentuk sebuah Void kemudian terisi oleh air menjadi *pitlake*. Secara administratif lokasi penelitian terletak di Desa Bontocani, Kecamatan Kahu, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah penelitian berjarak sekitar 112 Km dari ibukota provinsi sulawesi selatan yaitu Kota Makassar. Daerah

penelitian ditempuh selama \pm 3 jam, melalui perjalanan darat menggunakan kendaraan roda empat. Koordinat lokasi pengambilan sampel terletak pada $4^{\circ}49'54.2''S$ dan



$119^{\circ}46'15.1''E$.

Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian

1.6 Tahapan Penelitian

1. Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan meliputi tahapan studi literatur. Studi literatur meliputi tahapan pencarian referensi yang berkaitan dengan penelitian. Literatur yang diperoleh sebagai bahan pustaka dapat diperoleh dari beberapa sumber antara lain jurnal nasional dan internasional, prosiding dan perpustakaan.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan untuk mengkaji informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Data yang diperoleh

adalah data curah hujan, temperatur cuaca, catchment area dan geometri dari void.

3. Tahapan Pengolahan Data

Beberapa metode digunakan untuk mengolah masing-masing data yang telah dikumpulkan. Data curah hujan diolah dengan menggunakan metode gumble untuk menghitung curah hujan rencana. Selain itu, curah hujan juga diolah menjadi intensitas hujan dengan menggunakan metode mononobe. Data catchment area dan intensitas hujan yang didapatkan dengan metode mononobe diolah dengan menggunakan metode rasional untuk menghasilkan debit limpasan.

4. Analisis Data

Data yang telah diolah selanjutnya akan dianalisis dengan menggunakan analisis water balance (Neraca Air). Dengan menggunakan analisis tersebut, surplus dan defisit dari air yang ada pada void dapat diketahui.

5. Pembuatan Tugas Akhir

Hasil dari penelitian berupa hubungan antara pengolahan data yang telah dilakukan serta permasalahan yang diteliti kemudian dituliskan dalam bentuk tugas akhir atau skripsi.

BAB II

ANALISIS NERACA AIR VOID BEKAS TAMBANG

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses berkelanjutan dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi. Air di permukaan tanah dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface run off*) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung terus menerus yang disebut dengan siklus hidrologi.

2.2 Void (*Pit Lake*)

Kegiatan penambangan dengan metode tambang terbuka baik itu untuk penambangan batubara maupun bijih, akan memberikan dampak bagi lingkungan. Penambangan dengan metode tambang terbuka merupakan metode yang paling banyak digunakan sehingga akan berpotensi meninggalkan banyak lubang bukaan tambang. Lubang bekas tambang, akan menjadi kolam, yang kemudian akan terisi atau diisi air, dan akhirnya akan menjadi kolam bekas tambang atau biasa disebut *pit lake* (Castendyk dan Early 2009). Berbagai jenis tambang menghasilkan lubang dengan berbagai

karakteristik fisik, geokimia dan ekologis (Christopher et.al, 2013). *Pit lake* memiliki kesamaan bentuk seperti bekas asteroid atau kawah bekas gunung api. Beberapa contoh perbedaan antara kawah bekas asteroid, kawah bekas gunung api dan *pit lake* atau void dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 1 Kawah Bekas Asteroid



Gambar 2. 2 Kawah Bekas Gunung Api

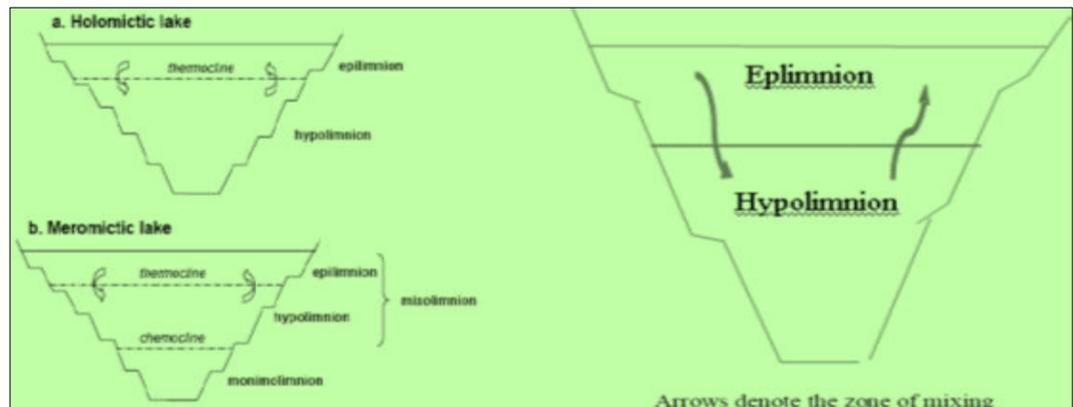


Gambar 2. 3 *Pit lake* atau Void

Pit lake terbentuk ketika kegiatan penambangan berakhir dan lubang bekas penambangan diisi dengan air, baik air tanah, air permukaan atau air hujan. Semua *pit lake* mengalami sejumlah proses fisik, kimia, dan biologis yang akan menentukan kesesuaian lingkungan. Hal ini untuk mendukung kehidupan air dan untuk melepaskan air ke lingkungan penerima. Aspek-aspek utama dari *pit lake* adalah hidrologi, limnologi, kimia dan biologi (Vandenberg et.al, 2015). Aspek ini digunakan untuk mengetahui pengelolaan yang tepat pada suatu *pit lake* Seperti :

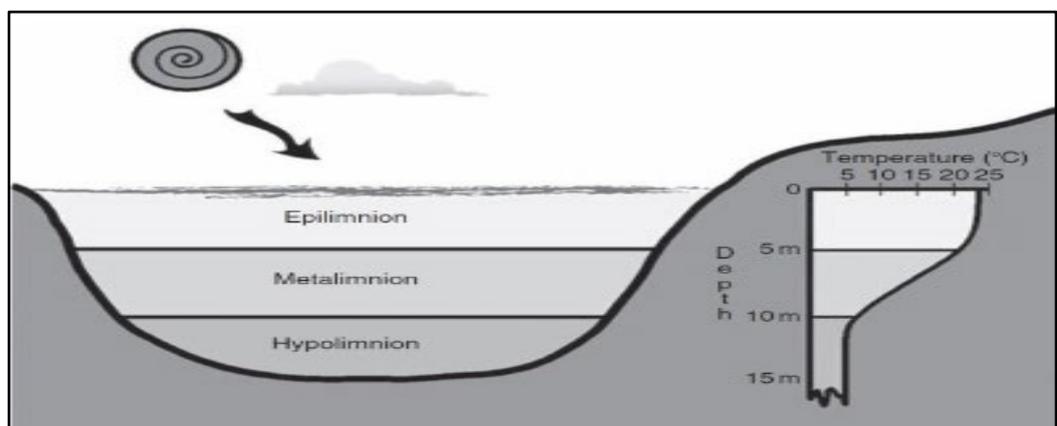
1. Aspek Hidrologi menentukan seberapa cepat tambang terbuka terisi dengan air setelah pascatambang dan juga mempengaruhi terbentuknya kondisi akhir air pada *pit lake*. Daur hidrologi adalah siklus air yang berjalan secara kontinue mulai dari atmosfer ke bumi dan kembali melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pergerakan dan siklulasi air diakibatkan oleh adanya uap air (evaporasi), presipitasi, pergerakan air dalam tanah (perkolasi) dan air limpasan (*run off*). Model konseptual *pit lake*, menunjukkan komponen utama air dan keseimbangan yaitu neraca air (*water balance*) (Vandenberg et.al, 2015).
2. Aspek Limnologi penting untuk danau. struktur vertikal danau dan perubahan musim yang konduif disebut sebagai "turnover". *Pit lake* diklasifikasikan sebagai holomictic lake atau meromictic lake. Pada danau, pemisahan zona pencampuran

(tergantung pada suhu, kepadatan dan kedalaman). Holomiktik yaitu air danau yang sepenuhnya tercampur sedangkan Meromiktik adalah air pada danau mencampur sebagian, lapisan paling dalam tidak pernah bercampur karena kerapatan air yang tinggi disebabkan oleh substansi terlarut atau karena dilindungi dari efek angin, ilustrasi seperti gambar berikut. (Soni et.al, 2015)



Gambar 2. 4 Klasifikasi pit lake berdasarkan limnologi

sedangkan secara stratifikasi termal, maka *pit lake* dibagi menjadi (lapisan *epilimnion*) merupakan lapisan bagian atas perairan, temperatur relatif konstan dan hangat, seluruh air dapat tercampur dengan baik oleh angin maupun gelombang, (lapisan termoklin atau metalimnion) merupakan lapisan di bawah epilimnion dan di atas hipolimnion dengan perubahan temperatur relatif besar antara epilimnion dan hipolimnion, sehingga disebut juga sebagai termoklin dan (lapisan *hypolimnion*) merupakan lapisan bawah danau, temperatur lebih dingin, densitas air lebih besar, terlihat seperti gambar berikut. (Efendi, 2003)



Gambar 2. 5 Stratifikasi Termal

3. Aspek Kimia beberapa *pit lake* menunjukkan kualitas air yang berbeda hal ini bergantung pada deposit mineral yang diekstraksi. *Pit lake* dari bekas tambang batubara mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi (misalnya, Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, U) yang dapat menimbulkan ancaman bagi lingkungan. Tergantung pada penggunaan akhir *pit lake*, parameter kualitas air seperti salinitas, kekeruhan, konsentrasi DO dan kandungan nutrisi menjadi penting. Oleh karena itu, parameter kimia dan biologi *pit lake* memainkan peran penting dalam pengendalian dan pengelolaan pencemaran air (Siswadi, 2004).
4. Aspek Biologi *pit lake* adalah salah satu faktor terpenting dalam pembentukan badan air. Kehidupan biologis dalam badan air tergantung dari berbagai aspek. Salah satu aspek utama adalah keberadaan berkelanjutan siklus bio-geo-kimia di ekosistem perairan. Parameter kualitas air utama yang paling berpengaruh untuk badan air yang aktif secara biologis adalah pH, suhu, kekeruhan, dll. Oleh karena itu, survei rencana perairan dan biota akuatik di wilayah studi diperlukan untuk mengetahui kekayaan keanekaragaman hayati perairan (Siswadi, 2004).

2.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah gabungan dua proses dari siklus hidrologi yaitu evaporasi dan transpirasi. Evapotranspirasi potensial merupakan laju penguapan yang terjadi dengan anggapan persediaan air dan kelembapan tanah cukup sepanjang waktu. Pengetahuan evapotranspirasi sangat berguna untuk berbagai tujuan pengaplikasian dalam perhitungan neraca air, keseimbangan energi, kajian klimatologi maupun meteorologi dan estimasi produksi tanaman. Evapotranspirasi tanaman (ET_c) adalah perpaduan dua istilah yakni evaporasi dan transpirasi. Kebutuhan air dapat diketahui berdasarkan kebutuhan air dari suatu tanaman. Apabila kebutuhan air suatu tanaman diketahui, kebutuhan air yang lebih besar dapat dihitung (Hansen et.al, 1986).

Evapotranspirasi dapat dianalisis menggunakan beberapa rumus empiris dengan perhitungan berdasarkan data unsur-unsur cuaca seperti suhu udara, kelembapan relatif, evaporasi, lamanya penyinaran matahari, dan kecepatan angin. Evapotranspirasi adalah unsur utama dalam menghitung kebutuhan air tanaman yang kemudian menjadi dasar dalam penjadualan irigasi. Evapotranspirasi merupakan proses perubahan molekul air yang merupakan jumlah dari uap air permukaan bumi, tanah dan vegetasi dan kembali lagi ke atmosfer (Loebis, 1993). Evapotranspirasi dipengaruhi banyak faktor sehingga pengukurannya secara langsung tidak mudah, karena itu dikembangkan banyak model pendugaan untuk mengatasi hal tersebut. Salah satu pendugaan laju evapotranspirasi yang di rekomendasikan oleh (FAO) Food And Agriculture Organization yaitu metode Penman Monteith (Richard et.al, 2003). Tetapi metode paling sederhana menghitung evapotranspirasi yang banyak digunakan sebelum diperkenalkan metode Penman Monteith untuk perhitungan evapotranspirasi yaitu Thornwaite metode ini hanya berdasarkan pada data Klimatologi. Pada metode Thornwaite, evapotranspirasi dipengaruhi oleh temperatur dan lama penyinaran matahari. Untuk 30 hari dalam satu bulan dan penyinaran matahari 12 jam sehari (Triatmodjo, 2008). Dengan persamaan:

$$ET_{\text{bulan}} = 1,62 \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

ET_{bulan} = Evapotranspirasi Potensial (mm/bulan)

T_m = Rata-rata temperatur harian (°C)

I = Rata-rata persentase harian dari jam siang tahunan

Tabel 2. 1 Rata-rata persentase harian dari jam siang hari tahunan untuk berbagai lintang (p) menurut FAO (FAO, 1986).

Lintang	Utara	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okto	Nov	Des
	Selatan	Jul	Agus	Sep	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
60'		15	20	26	32	38	41	40	34	28	22	17	13
55'		17	21	26	32	36	39	38	33	28	23	18	16
50'		19	23	27	31	34	36	35	32	28	24	20	18
45'		20	23	27	30	34	35	34	32	28	24	21	20
40'		22	24	27	30	34	34	33	31	28	25	22	21
35'		23	25	27	29	32	32	32	30	28	25	23	22
30'		24	25	27	29	31	32	31	30	28	26	24	23
25'		24	26	27	29	31	31	31	29	28	26	25	24
20'		25	26	27	28	30	30	30	29	28	26	25	25
15'		26	26	27	28	29	29	29	28	28	27	26	25
10'		26	27	27	28	29	29	29	28	28	27	26	26
5'		27	27	27	28	28	28	28	28	28	27	27	27
0'		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

2.4 Curah Hujan

Curah hujan merupakan jumlah air yang jatuh di permukaan tanah dasar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter di atas permukaan horizontal. Dalam penjelasan lain curah hujan juga dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Indonesia merupakan negara yang memiliki angka curah hujan bervariasi dikarenakan daerahnya yang berada pada ketinggian yang berbeda-beda. Curah hujan 1 (satu) milimeter, artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air setinggi 1 liter (Triatmodjo, 2008).

Proses terjadinya curah hujan atau Presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Di daerah tropis hujan memberikan sumbangan terbesar sehingga seringkali hujanlah yang dianggap presipitasi (Triatmodjo, 2008). Sedangkan menurut (Sosrodarsono,

1985). Presipitasi adalah sebutan umum dari uap yang mengkondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi, biasanya jumlah selalu dinyatakan dengan dalamnya presipitasi (mm). Jika uap air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan (*rainfall*) dan jika berbentuk padat disebut salju (*snow*).

Pengamatan curah hujan dilakukan oleh alat penakar curah hujan. Angka-angka curah hujan yang diperoleh sebelum diterapkan dalam rencana pengendalian air permukaan, harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan data curah hujan yang akan dianalisa adalah besarnya curah hujan harian maksimum.

2.4.1 Periode Ulang Hujan

Curah hujan biasanya terjadi menurut pola tertentu dimana curah hujan tertentu biasanya akan berulang pada periode tertentu yang dikenal 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 periode ulang hujan 10 tahun, maka peristiwa yang bersangkutan (hujan, banjir) akan terjadi rata-rata sekali setiap periode 10 tahun. Terjadinya peristiwa tersebut tidak harus 10 tahun, melainkan rata-rata sekali setiap periode 10 tahun, misal 10 kali dalam periode 100 tahun, 25 kali dalam 250 tahun dan seterusnya. Periode ulang ini memberikan gambaran bahwa semakin besar periode ulang semakin tinggi curah hujannya. Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijaksanaan yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan. Pertimbangan dalam penentuan periode ulang hujan tersebut adalah resiko yang dapat ditimbulkan bila curah hujan melebihi curah hujan rencana (Suwandhi, 2004).

2.4.2 Curah Hujan Rencana

Data hujan merupakan bagian dari data hidrologi yang penting untuk analisis-
analisis dalam berbagai macam perencanaan. Dalam pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) juga diperlukan data hujan yang jatuh di suatu DAS sebagai bahan pertimbangan

dalam pengelolaan. Data-data hujan yang terkumpul dari hasil perekaman suatu stasiun hujan dapat digunakan untuk memprediksi curah hujan rencana tahunan yang akan datang. Curah hujan rencana merupakan estimasi hujan yang akan terjadi pada suatu DAS. Untuk menghitung hujan rencana tahunan dapat dicari menggunakan metode distribusi Gumbel.

Analisis hujan rencana tahunan menggunakan metode distribusi Gumbel. Cara yang di gunakan untuk menentukan besarnya hujan rencana pada metode ini biasanya digunakan untuk analisis limpasan permukaan dan frekuensi banjir pada suatu DAS. Data yang dihasilkan menggunakan metode ini berupa data curah hujan maksimum periode tahunan. Hujan maksimum merupakan data yang penting diketahui karena merupakan salah satu karakteristik faktor yang dapat menyebabkan banjir maksimum pada suatu DAS. Data curah hujan maksimum juga dapat digunakan untuk menentukan rencana bangunan pengendali hujan pada suatu sungai. Data hujan periode tahunan juga bermanfaat untuk perancangan desain bendungan, jaringan irigasi, saluran drainase dan sebagainya. Berikut ini merupakan rumus perhitungan analisis hujan rencana dengan metode distribusi Gumbel yang di adopsi dari buku (Loebis, 1984).

2.4.3 Intensitas Curah hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujanyang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut terkonsentrasi, dengan satuan mm/jam. Besarnya intensitas curah hujan sangat diperlukan dalam perhitungan debit banjir rencana berdasar metode rasional durasi adalah lamanya suatu kejadian hujan. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak sangat luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi panjang jarang terjadi, tetapi apabila terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan ditumpahkan dari langit (Triatmodjo, 2008).

Intensitas hujan yang diperlukan untuk memperkirakan hidrograf banjir rencana dengan cara hidrograf satuan sehingga perlu diketahui sebaran hujan jam-jaman dengan suatu interval tertentu. Data hujan jam-jaman tersebut digunakan untuk membuat lengkung IDF dengan persamaan Talbot, Sherman, atau Ishiguro. Apabila yang tersedia adalah data hujan harian menggunakan persamaan Mononobe mengusulkan sebagai berikut:

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

R_t = intensitas hujan rerata dalam T jam (mm/jam),

R_{24} = curah hujan maksimum dalam 1 hari (mm),

t = lamanya curah hujan (jam).

2.4.4 Metode Rasional

Metode Rasional adalah Metode yang digunakan untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak. Metode ini sangat simple dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha. Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf (Goldman, 1986).

Laju masukan pada sistem adalah hasil curah hujan dengan intensitas I pada DAS dengan luas A. Nilai perbandingan antara laju masukan dengan laju debit puncak (Q_p) yang terjadi pada saat t_c dinyatakan sebagai *Run off coefficient* (C) dengan nilai $0 \leq C \leq 1$ (Hasan, 2018). Beberapa asumsi dasar untuk menggunakan Metode Rasional adalah (Limantara, 2018):

1. Curah hujan terjadi dengan intensitas yang tetap dalam jangka waktu tertentu, setidaknya sama dengan waktu konsentrasi.
2. Langsung mencapai maksimum ketika durasi hujan dengan intensitas tetap sama dengan waktu konsentrasi.

3. Koefisien *Run off* dianggap tetap selama durasi hujan.
4. Luas DAS tidak berubah selama durasi hujan.

Rumus ini adalah rumus yang tertua dan yang terkenal diantara rumus-rumus empiris lainnya, rumus ini banyak digunakan untuk sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran perencanaan *drainase* daerah pengaliran yang relatif sempit. Bentuk umum rumus Rasional ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Q = Debit puncak limpasan permukaan (m³/det).

C = Angka pengaliran/limpasan.

A = Luas daerah pengaliran (km²).

I = Intensitas curah hujan (mm/jam).

Koefisien limpasan (C) merupakan nilai tetap yang merupakan perbandingan antara hujan efektif dan hujan yang jauh. Besarnya koefisien limpasan (C) dapat ditentukan menggunakan rumus mencari nilai rata-rata sebagai berikut.

$$C = \frac{C1.A1+C2.A2}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

C = Angka pengaliran/limpasan.

A1,A2 = Luas daerah pengaliran sesuai dengan kondisi permukaan

C1,C2 = Koefisien pengaliran sesuai dengan tipe kondisi permukaan

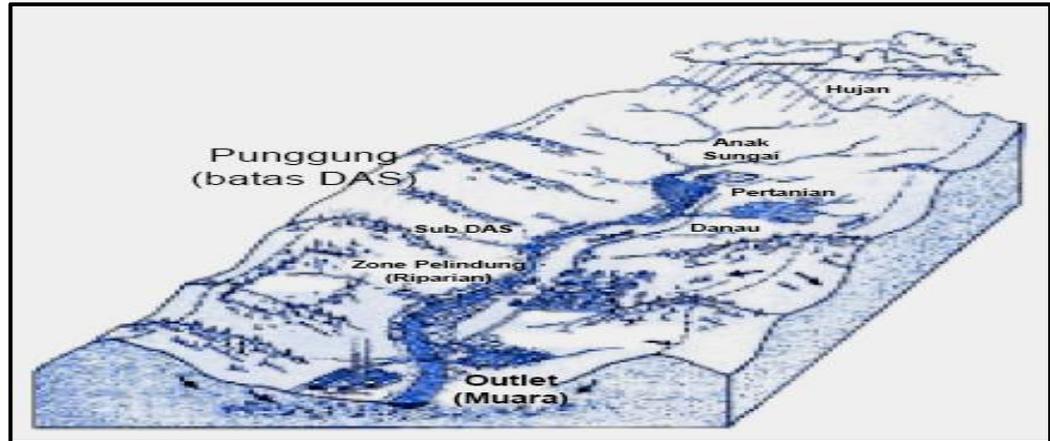
n = Jumlah data

2.5 Daerah Tangkapan Hujan

Konsep daerah aliran sungai atau yang sering disingkat dengan DAS merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi. Secara umum Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah, yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberikan kontribusi aliran ke titik pelepasan (*Outlet*) (Suripin, 2004).

Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dipandang sebagai bagian dari permukaan bumi tempat air hujan menjadi aliran permukaan dan mengumpul ke sungai menjadi aliran sungai menuju ke suatu titik di sebelah hilir sebagai titik pengeluaran. Setiap DAS besar yang bermuara ke laut merupakan gabungan dari beberapa DAS sedang sub DAS adalah gabungan dari sub DAS kecil - kecil. Berdasarkan perbedaan debit banjir yang terjadi, bentuk DAS dapat dibedakan menjadi tiga bentuk, yaitu sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003):

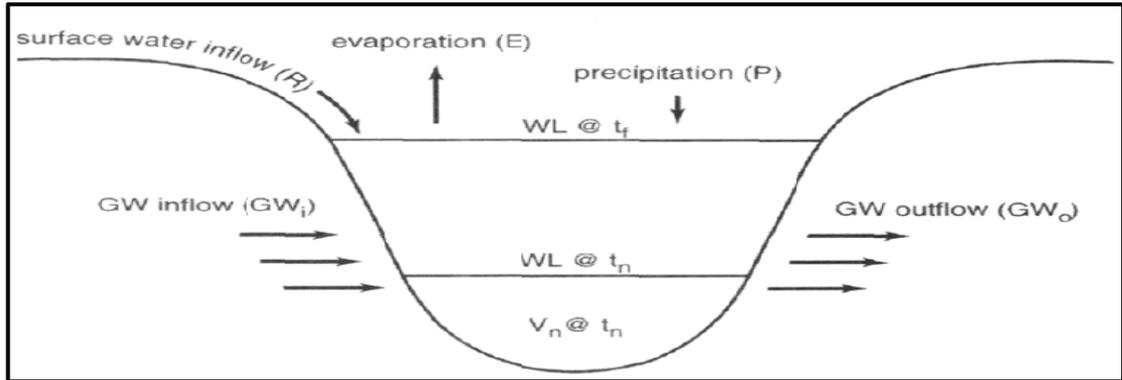
- a. Bentuk Memanjang Suatu daerah pengaliran yang mempunyai jalur daerah di kiri kanan sungai utama dimana anak sungai mengalir ke sungai utama. Daerah pengaliran demikian mempunyai debit banjir yang kecil, oleh karena waktu tiba banjir dari anak sungai itu berbeda - beda. Sebaliknya banjirnya berlangsung agak lama.
- b. Bentuk Menyebarkan Daerah pengaliran yang berbentuk kipas atau lingkaran dan dimana anak sungainya mengkonsentrasi ke suatu titik secara radial. Daerah pengaliran semacam ini mempunyai banjir yang besar di dekat titik pertemuan anak sungai.
- c. Bentuk Sejajar Daerah pengaliran seperti ini mempunyai corak dimana dua jalur daerah pengaliran yang bersatu di bagian hilir. Banjir itu terjadi di sebelah hilir titik pertemuan sungai.



Gambar 2. 6 Daerah aliran sungai

2.6 Neraca Air

Neraca air (*water balance*) secara umum merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan (*surplus*) ataupun kekurangan (*defisit*). Perhitungan neraca air didasarkan pada hubungan antara pasokan air (*input*) dan luaran (*output*) dari suatu wilayah dalam jangka waktu tertentu. Karena itulah neraca air dapat dipakai untuk mengidentifikasi sumber-sumber air dan penggunaan air di wilayah dalam periode waktu tertentu (Moghadas, 2009). Untuk menghitung neraca air menggunakan Metode Thornthwaite, diperlukan *input* data meliputi: curah hujan, temperatur atau suhu udara, penguapan, data tutupan lahan dan kondisi *soil*/hasil pengamatan lapangan. Curah hujan merupakan satu-satunya komponen *input* sedangkan evapotranspirasi, limpasan dan air masuk dalam tanah berada di sisi *output* (Ufoegbune *et al.*, 2011). Sementara hasil pengamatan lapangan bisa memberi pertimbangan (*adjust*) dalam menghitung neraca air (Schwerdtfeger *et al.*, 2014). Perhitungan neraca air dipengaruhi oleh jumlah curah hujan yang jatuh di permukaan bumi dan berapa banyak air yang kembali menguap maupun masuk ke dalam tanah yang dapat diasumsikan pada Gambar 2.3



Gambar 2. 7 Konsep *water balance* (Shevenell, 2000).

Model konseptual ditunjukkan pada Gambar 2.3, dan dapat diringkas dengan persamaan keseimbangan massa berikut:

$$\Delta S = P + R - E \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

ΔS = perubahan volume tampungan danau pit

P = volume presipitasi langsung ke permukaan danau pit

R = volume limpasan air permukaan

E = volume penguapan dari permukaan danau pit