

**DESAIN *TYRE DROP STRUCTURE* UNTUK PENANGANAN  
EROSI PADA AREA REHABILITASI TAMBANG**

*DESIGN OF TYRE DROP STRUCTURE TO PREVENT EROSION  
IN MINE REHABILITATION AREA*



**NUZUL HIDAYAT  
NIM. D112 20 1003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR  
2022**

***DESIGN OF TYRE DROP STRUCTURE TO PREVENT  
EROSION IN MINE REHABILITATION AREA***

**DESAIN TYRE DROP STRUCTURE UNTUK PENANGANAN  
EROSI PADA AREA REHABILITASI TAMBANG**



**NUZUL HIDAYAT  
NIM. D112 20 1003**

**MINING ENGINEERING MASTER PROGRAM FACULTY OF  
ENGINEERING HASANUDDIN UNIVERSITY**

**MAKASSAR  
2022**

## TESIS

### DESAIN *TYRE DROP STRUCTURE* UNTUK PENANGANAN EROSI PADA AREA REHABILITASI TAMBANG

NUZUL HIDAYAT  
NIM D112 20 1003

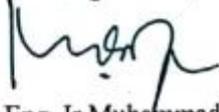
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 9 Desember 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

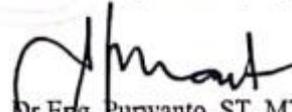
Menyetujui

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



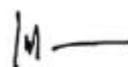
Dr. Eng. Purwanto, ST., MT  
NIP. 197010052008012026

Dekan Fakultas Teknik,  
Universitas Hasanuddin



  
Prof. Dr. Eng. Ir Muhammad Idris Ramli, S.T., M.T  
NIP. 196604091997031002

Ketua Program Studi,  
Magister Teknik Pertambangan

  
Dr. Ir. Irzal Nur, MT  
NIP. 197309262000121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nuzul Hidayat  
NIM : D112201003  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**DESAIN *TYRE DROP STRUCTURE* UNTUK PENANGANAN EROSI PADA AREA REHABILITASI TAMBANG**

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

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

Makassar, 21 Desember 2022



Yang menyatakan

Nuzul Hidayat

## ABSTRAK

Kegiatan penambangan membutuhkan area kerja luas yang berpotensi menyebabkan masalah lingkungan. Salah satu dampak yang dapat timbul adalah peningkatan laju erosi khususnya di lokasi dumping pada aktivitas penambangan batubara. Potensi erosi yang akan terjadi harus dapat diprediksi untuk mempersiapkan metode pencegahannya. Penelitian ini dilakukan di lokasi Tiung AB Dump PT. Kaltim Prima Coal menggunakan Metode Revised Unified Soil Loss Equation (RUSLE). Estimasi erosi dengan Metode RUSLE mempertimbangkan faktor erosivitas hujan, erodibilitas material, kemiringan lereng, jenis vegetasi dan metode konservasi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan rata-rata laju erosi sebesar 292,4 ton/ha/bulan dengan luas daerah tangkapan hujan sebesar 0,674 km<sup>2</sup>. Pengurangan erosi dilakukan dengan teknik konservasi Metode Terasering yang didukung dengan konstruksi saluran terbuka untuk mengalirkan limpasan permukaan dalam daerah kajian. Analisis curah hujan menggunakan data 15 tahun terakhir dengan curah hujan tertinggi pada bulan Januari sebesar 231,9 mm/bulan dan terendah pada bulan September 118,3 mm/bulan. Prediksi curah hujan harian tertinggi dengan periode ulang 10 tahun diperoleh 121,49 mm/hari. Debit hujan puncak aliran permukaan yang terjadi sebesar 13,22 m<sup>3</sup>/s dengan debit infiltrasi yaitu 9,72 m<sup>3</sup>/s. Saluran terbuka yang didesain memiliki kemampuan debit aliran 21,09 m<sup>3</sup>/s dengan aliran yang superkritis. Prinsip menggunakan *tyre drop structure* pada saluran terbuka dapat mendisipasi energi aliran dan menurunkan kecepatan aliran hingga 3,8 m/s. Material *tyre drop structure* terdiri dari ban bekas yang diisi dengan batuan sehingga dapat menahan gerusan pada saluran terbuka. Penggunaan *tyre drop structure* untuk mendukung teknik konservasi Metode Terasering dapat menurunkan potensi laju erosi hingga 11,7 ton/ha/bulan atau 96% dari laju erosi natural.

Kata kunci: konservasi, terasering, aliran superkritis, saluran terbuka, reklamasi tambang

## **ABSTRACT**

*Mining activities require large work areas that potentially cause environmental problems. One of the impacts that can be caused is an increase in erosion rate, especially at dumping sites in coal mining activities. The potential of erosion must be predicted to prepare methods of prevention. Estimation of erosion potential was carried out at Tiung AB Dump PT. Kaltim Prima Coal uses the RUSLE Revised Unified Soil Loss Equation method which considers rain erosivity, material erodibility, slope factor, vegetation factor and conservation factor. Based on the results of the study, the average erosion rate was 292.4 tons/ha/month with a catchment area of 0.674 km<sup>2</sup>. Erosion reduction uses a conservation technique using the terracing method which is supported by the construction of an open channel to drain the surface discharge that enters the catchment area. Rainfall uses data from the last 15 years with the highest rainfall in January at 231.9 mm/month and the lowest in September at 118.3 mm/month. The 10-year return period of the highest rainfall is 121.49 mm/day. Peak runoff rainfall is 13.22 m<sup>3</sup>/s with an infiltration discharge is 9.72 m<sup>3</sup>/s. The designed open channel has a flow rate of 21.09 m<sup>3</sup>/s with the supercritical flow. The principle of using a Tyre drop structure in an open channel is to dissipate the energy of water flow and reduce the velocity up to 3.8 m/s. Tyre drop structure material consists of used tires filled with rock so that they can withstand scouring in open channels. Use of Tyre drop structure to support conservation techniques Terracing Method can reduce the potential erosion rate to 11.7 tons/ha/month or 96% of the natural erosion rate.*

*Keywords: conservation, terracing, supercritical flow, open channel, mine reclamation*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah, Rahmat dan karuniaNya sehingga penyusunan Tesis ini dapat berjalan dengan lancar dan selesai dengan baik. Tak lupa pula penulis kirimkan shalawat beserta salam kepada junjungan Nabiyullah Muhammad SAW, keluarga, para sahabat serta orang-orang yang senantiasa istiqomah mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Tesis dengan judul *Desain Tyre Drop Structure* untuk penanganan erosi pada area rehabilitasi tambang di PT. Kaltim Prima Coal Studi Kasus : Area Rehabilitasi Tiung-AB Dump Departemen Hatari Kecamatan Sangatta Utara Kabupaten Kutai Timur Kalimantan Timur merupakan syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan pada program Magister Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin, Makassar.

Besar harapan penulis semoga tesis ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan literatur bagi civitas akademika dalam memahami objek yang berkaitan dengan judul tesis ini. Penyusunan Tesis ini mengalami cukup banyak tantangan dan kendala namun berkat dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, hal tersebut dapat diselesaikan. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memotivasi dalam penyelesaian Tesis ini.

Penulis haturkan terima kasih sebesar-besarnya kepada bapak P Bambang Catur selaku Superintendent Technical Departemen Hatari dan pembimbing dalam melaksanakan penelitian ini di PT. Kaltim Prima Coal, Departemen L&D yang

telah memberikan ijin untuk melaksanakan penelitian. Segenap staff dan engineer yang telah membantu dan berbagi pengetahuan selama melaksanakan penelitian.

Melalui kesempatan ini juga penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada Dosen Pembimbing Bapak Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, MT dan Bapak Dr.Eng. Purwanto, ST.,MT atas segala kesediaan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan kepada penulis serta Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT, Dr. phil nat. Sri Widodo, ST., MT dan Dr.Ir. Irzal Nur, MT sebagai tim penguji yang telah berkenan hadir mulai dari seminar proposal hingga sidang akhir.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis haturkan kepada kedua orang tua tercinta atas segala pengorbanan dan doanya yang begitu besar senantiasa mengiringi langkah penulis. Terima kasih kepada bapak Drs. H. Agussalim Salihi, M. Si, dan Ibu Hj. Asila yang terus memberikan dukungan dan kasih sayang tiada batas sehingga penulis bisa sampai ketitik ini. Teruntuk Istriku Anisa Ramadhani Sahlan S.T, M.T., penulis haturkan doa dan terima kasih karena telah memberikan dukungan dan macam-macam bantuan dalam menyelesaikan Tesis ini.

Terakhir penulis berterima kasih kepada semua pihak yang namanya belum sempat dicantumkan satu persatu. Penulis menyadari tulisan ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kepada para pembaca, kiranya dapat memberikan sumbangan pikiran demi kesempurnaan ilmu pengetahuan. Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat-Nya kepada kita semua.

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Makassar, Desember 2022

Nuzul Hidayat

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	2
1.5. Peneliti Terdahulu.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Erosi.....	6
2.2. Faktor yang memengaruhi laju erosi.....	8
2.2.1. Faktor Iklim.....	8
2.2.2. Faktor topografi.....	9
2.2.3. Faktor tanah.....	9
2.2.4. Faktor Vegetasi.....	10
2.2.5. Faktor Manusia.....	11
2.3. Konsep Aliran Air Permukaan.....	12
2.3.1. Aliran Permukaan.....	12
2.3.2. Proses Terjadinya aliran permukaan.....	13
2.3.3. Prediksi Aliran Permukaan menggunakan Metode Rasional.....	14
2.4. Pola Aliran.....	15

2.5.	Gerusan .....	20
2.6.	Terasering .....	21
2.6.1.	Teras bangku atau teras tangga <i>bench terrace</i> .....	21
2.6.2.	Teras gulud <i>contour ridges/ridges terrace</i> .....	22
2.6.3.	Teras kredit <i>gradual terrace</i> .....	23
2.6.4.	Teras individu .....	23
2.7.	Teknik Konservasi Tanah Secara Mekanik Melalui Bangunan Terjun <i>Drop Structures</i> .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>27</b>
3.1.	Lokasi Penelitian.....	27
3.2.	Pengambilan Data .....	28
3.3.	Pengolahan dan Analisis Data.....	31
3.3.1.	Analisis dengan metode RUSLE untuk menghitung laju erosi.....	31
3.3.2.	Desain aliran terbuka dengan menggunakan metode <i>tyre drop structure</i> . 31	
3.4.	Bagan Alir Penelitian .....	33
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>34</b>
4.1.	Analisis erosi dengan menggunakan metode RUSLE .....	34
4.2.	Pemodelan lahan reklamasi tambang .....	41
4.3.	Analisis curah hujan dengan menggunakan Metode Rasional.....	42
4.3.1.	Perhitungan kala ulang hujan tahunan .....	42
4.3.2.	Perhitungan debit limpasan air.....	44
4.4.	Desain saluran terbuka simulasi aliran.....	47
4.4.1.	Perhitungan dimensi dan debit saluran terbuka .....	47
4.4.2.	Pola Aliran .....	48
4.5.	Desain Drainase menggunakan <i>tyre drop structure</i> .....	49
4.6.	Estimasi efektivitas reduksi laju erosi.....	52
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>57</b>
5.1.	Kesimpulan .....	57
5.2.	Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>63</b>

## DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
2. 1 Persamaan dimesi saluran terbuka (Chow, 1989).....	16
4. 1 Curah hujan bulanan di area disposal.....	35
4. 2 Faktor K berdasarkan tipe tanah (Kironoto dan Yulistiyanto, 2000).....	39
4. 3 Perhitungan Faktor LS .....	40
4. 4 Faktor P berdasarkan konservasi lahan (Arsyad, 2010).....	40
4. 5 Faktor C berdasarkan penggunaannya (Arsyad, 2010).....	40
4. 6 Perhitungan potensial erosi .....	41
4. 7 Tabel perhitungan dengan Metode Gumbel.....	43
4. 8 Nilai standar deviasi.....	44
4. 9 Perhitungan kala ulang tahunan .....	44
4. 10 Hasil perhitungan durasi waktu dan intensitas hujan.....	45
4. 11 Nilai koefisien Permukaan (Apriadi dkk, 2017) .....	45
4. 12 Laju Infiltrasi beberapa jenis tanah (Syukur, 2009).....	46
4. 13 Perhitungan debit infiltrasi.....	46
4. 14 Hasil perhitungan debit curah hujan kala ulang 10 tahunan .....	46
4. 15 Dimensi aliran terbuka .....	47
4. 16 Hasil perhitungan kapasitas debit saluran.....	47
4. 17 Tabel perhitungan Froud Number .....	49
4. 18 Tabel perhitungan <i>Tyre drop structure</i> .....	50
4. 19 Kecepatan aliran maksimum (USDA, 2007) .....	53
4. 20 Rangkuman kelayakan aliran pada saluran terbuka.....	54
4. 21 Tabel estimasi penurunan laju erosi dengan konservasi .....	54

## DAFTAR GAMBAR

No. Urut	Halaman
2. 1 Tipe-Tipe Erosi (Senanayake et all, 2020).....	7
2. 2 Tipe-tipe aliran (Senanayake et all, 2020) .....	13
2. 3 Jenis-jenis pola aliran (Hussein dan Hashim, 2018) .....	17
2. 4 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu (Ariyanto, 2009). .....	21
2. 5 Teras bangku (Agus dan Widiyanto, 2004) .....	22
2. 6 Penampang samping teras gulud (Agus dan Widiyanto, 2004) .....	22
2. 7 Penampang samping teras kredit (Agus dan Widiyanto, 2004).....	23
2. 8 Sketsa teras individu (Agus dan Widiyanto, 2004).....	24
2. 9 Contoh Drop structure (Apriadi dkk, 2017).....	26
2. 10 Contoh drop structure dari bekas ban (Apriadi dkk, 2017).....	26
3.1 Peta Administrasi PT. KPC Sangatta Utara, Kalimantan Timur .....	27
3.2 Peta Lokasi Penelitian via google maps satellite .....	28
3.3 Bagan Alir Penelitian .....	33
4. 1 Kondisi aktual Tiung-AB dump dengan pembentukan erosi awal. ....	34
4. 2 Kondisi Geologi di PT. KPC.....	35
4. 3 Curah hujan bulanan dengan jumlah hari hujan.....	36
4. 4 Curah hujan harian rata-rata.....	38
4. 5 Erosivitas curah hujan .....	38
4. 6 Proses konturing dan penyebaran tanah pucuk .....	41
4. 7 Proses pembentukan terasering dengan metode teras gulud .....	42
4. 8 Grafik curah hujan maksimum harian 15 tahun terakhir .....	43
4. 9 Debit infiltrasi dan debit aliran permukaan.....	48
4. 10 Sketsa <i>Tyre Drop Structure</i> .....	49
4. 11 Pemasangan <i>Tyre drop structure</i> di Tiung-AB.....	50
4. 12 Susunan TDS yang direncanakan.....	51
4. 13 Tiung-AB Dump dengan rekayasa konservasi terasering dan TDS.....	52
4. 14 Grafik kecepatan maksimum aliran yang diperbolehkan.....	53
4. 15 Persentase penurunan laju erosi terhadap tindakan konservasi .....	55
4. 16 Lokasi penelitian hasil penerapan metode <i>tyre drop structure</i> .....	55

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta lokasi departemen Hatari PT. KPC .....	64
B Grafik curah hujan 15 tahun terakhir.....	65
C Peta topografi aktual.....	66
D Peta topografi setelah konturing.....	67
E Sayatan topografi sesudah konturing.....	68
F Peta Area Tangkapan Air.....	69
G Pemodelan aliran air teras .....	70
H Geometri saluran terbuka bentuk trapesium.....	71
I Tabel angka Manning .....	72
J Daftar Istilah, Singkatan dan Lambang .....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Kegiatan manusia dalam memanfaatkan sumber daya alam, termasuk dalam kegiatan batu bara tanpa disertai tindakan konservasi akan menimbulkan kerusakan lingkungan antara lain adanya bahaya erosi. Salah satu dampak dari erosi adalah menurunnya produktivitas tanah, sehingga perlu tindak lanjut berupa rehabilitasi hutan dan lahan, baik di dalam maupun di luar kawasan hutan (Wantzen dan Mol, 2013). Khususnya bagi perusahaan yang bergerak dalam kegiatan pertambangan batu bara diwajibkan untuk melakukan kegiatan reklamasi.

Erosi yang terjadi pada lahan yang sudah direklamasi merupakan masalah utama yang dihadapi, khususnya dalam upaya konservasi dan rehabilitasi lahan. Dampak dari erosi adalah menipisnya lapisan permukaan tanah bagian atas, yang menyebabkan menurunnya kemampuan lahan atau degradasi lahan (Molla dan Shiseber, 2016). akibat lain dari erosi adalah menurunnya kemampuan tanah untuk meresapkan air.

Penanganan erosi yang dilakukan berupa penanaman vegetasi cepat tumbuh yang mampu mereduksi laju erosi (Hancock et all, 2020). Berdasarkan permasalahan di atas maka akan dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai penanganan erosi di lokasi tambang. Penelitian ini berfokus pada desain aliran yang mampu menurunkan laju erosi.

Penerapan reklamasi tambang dengan melakukan terasering harus didukung dengan perkuatan karena terbentuknya saluran terbuka yang besar, hal ini sebagai upaya penghijauan kembali area penimbunan tambang. Pembentukan konstruksi pengendali erosi dapat mencegah terjadinya erosi di lokasi rehabilitasi tambang (Nabi et all, 2017). Disipasi energi dengan *drop structure* bisa menjadi solusi untuk menangani erosi di lokasi rehabilitasi tambang. Pembentukan konstruksi membutuhkan material yang kuat dan biaya yang mahal. *Tyre drop*

*structure* dapat digunakan sebagai bahan dasar peningkatan nilai guna dari *tyre* bekas di perusahaan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Erosi di lokasi penambangan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang cukup kompleks, baik dari sisi perencanaan, penerapan hingga dilakukannya monitoring secara berkala di lapangan. Penelitian ini akan berfokus pada sisi perencanaan awal dan desain yang bisa diterapkan di lapangan.

Rumusan masalah yang akan diangkat pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Tingkat laju erosi pertahun yang terjadi di lokasi rehabilitasi tambang.
2. Erosi dapat dipengaruhi oleh curah hujan, karakteristik fisik material dan geometri di lokasi tersebut.
3. Pemodelan saluran terbuka untuk pengendalian debit air puncak
4. Desain konstruksi dalam rangka penanganan erosi pada area rehabilitasi tambang.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang akan dilakukan pada penelitian berikut adalah :

1. Menganalisis tingkat erosi di lokasi rehabilitasi tambang
2. Menganalisis tingkat curah hujan dengan Metode Gumbel.
3. Memodelkan debit aliran air hujan puncak dan rencana di lokasi rehabilitasi tambang
4. Mendesain konstruksi *tyre drop structure* sebagai metode untuk menangani erosi di lokasi rehabilitasi tambang

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Secara akademis, penelitian ini diharapkan memberi kontribusi ilmiah pada kajian tentang penanganan erosi. Kajian tentang penanganan erosi memang sudah cukup beragam. Penelitian yang secara spesifik fokus pada usaha pembentukan konstruksi pencegah erosi terutama di lokasi rehabilitasi tambang masih minim. Oleh karena itu, riset ini diharapkan mampu menyediakan referensi

baru tentang desain konstruksi untuk penanganan erosi sebagai upaya konservasi lahan di lokasi rehabilitasi tambang.

Secara praktis, penelitian ini diharapkan memberi manfaat sebagai salah satu contoh desain drop struktur yang bisa diterapkan di lapangan. Desain ini sebagai salah satu solusi konkrit dalam pengelolaan air yang efektif di area rehabilitasi tambang. Pengelolaan air yang memadai di area rehabilitasi tambang tentunya dapat memicu pertumbuhan vegetasi yang lebih baik terutama dalam upaya penghijauan rehabilitasi tambang. Desain menggunakan *Tyre* bekas akan menghemat biaya karena menggunakan bahan bekas dari kegiatan pertambangan itu sendiri.

## 1.5. Peneliti Terdahulu

Penelitian mengenai erosi telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, berikut beberapa contoh peneliti terdahulu yang telah meneliti masalah erosi dan penanganannya di berbagai lokasi:

1. Hancock et al 2015 Dalam penelitiannya yang berjudul "*catchment reconstruction-erosional stability at millennial time scales using landscape evolution model*" menjelaskan bahwa bagian penting dari perencanaan untuk rehabilitasi lokasi tambang adalah desain bentuk lahan akhir yang stabil. Penelitian ini menggunakan pemodelan SIBERIA dan CAESAR untuk menghitung tingkat dan pola erosinya. Vegetasi memiliki pengaruh besar pada potensi erosi permukaan bentuk lahan. Kedua metode ini memberikan hasil yang sangat mirip.
2. Kayet et al 2017, memaparkan dalam penelitiannya yang berjudul "*Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope areas*" yaitu kegiatan penambangan menghasilkan tanah yang tandus serta timbunan limbah yang rentan terhadap erosi di musim hujan. Laju kehilangan tanah rata-rata kemudian dihitung dengan menggunakan metode RUSLE dan SCS-CN di aplikasi GIS. Hal ini menghasilkan korelasi yang kuat antara kehilangan tanah dengan limpasan curah hujan dengan koefisien determinasi  $R^2$  0,834.

3. Nabi, et all 2017 menuliskan dalam penelitiannya yang berjudul “*Optimizing micro watershed management for soil erosion control under various slope gradient and vegetation cover conditions using SWAT Modelling*” bahwa dengan menggunakan pemodelan SWAT atau *Soil and Water Assessment Tool* dapat diaplikasikan di berbagai area tangkapan kecil di site Chakwal and Attock. Struktur konservatif dengan batuan dipasang di beberapa lokasi dengan berbagai kemiringan. Struktur tersebut memiliki efek yang signifikan rata rata penurunan laju sediment bervariasi dari 54 % - 98 %.
4. Hancock et all 2020, dalam penelitiannya tentang “*Mining Rehabilitation – Using Geomorphology to engineer ecologically sustainable landscape for highly disturbed land*” memaparkan kegiatan penambangan dapat mengganggu sistem abiotik dan biotik sehingga perlu memulihkan penggunaan lahan baru dan ekosistem. Stabilitas erosi berdasarkan prinsip geomorfik merupakan bagian pertama dan terpenting dari proses tersebut. Tanpa stabilitas erosi, vegetasi akan sulit dibangun dan dipelihara serta tanah dan nutrisi akan hilang dari lokasi. Pembentukan geomorfologi yang sesuai dapat menjadi solusi permasalahan area rehabilitasi.
5. Molla dan Sisheber 2016 dengan penelitian yang berjudul “*risk and evaluating erosion control measures for soil conservation Planning at Koga Watershed, Highlands of Ethiopia*” menjelaskan tentang erosi tanah yang menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi keberlanjutan produksi pertanian di Ethiopia. Dari hasil perhitungan menggunakan metode RUSLE didapatkan laju rata-rata kehilangan tanah tahunan adalah 30,2 ton/ha/tahun, dan terendah sekitar 12,1 t/ha/tahun. Kehilangan tanah tertinggi diperkirakan dari lereng curam dibagian hulu DAS yaitu 456,2 t/ha/tahun. Penggunaan lahan yang ada memperparah erosi tanah dengan koefisien determinasi 98%, dan faktor topografi memiliki pengaruh sebesar 89%. Berdasarkan evaluasi standar teknis tindakan konservasi dengan standar nasional dapat menurunkan erosi tanah sebesar 35,56%.

Oleh karena itu, praktik pertanian, struktur konservasi tanah yang terstandarisasi harus diterapkan di DAS Koga.

6. Pacetti et al 2020 dalam penelitiannya yang berjudul “*Mining activity impacts on soil erodibility and reservoirs silting: Evaluation of mining decommissioning strategies*” mengemukakan bahwa Pengelolaan sedimen merupakan poin kunci untuk mendorong pengembangan sumberdaya air yang berkelanjutan dan sangat terkait dengan pengelolaan perubahan penggunaan lahan yang tepat khususnya wilayah yang dikhususkan untuk kegiatan pertambangan. Secara khusus, skenario yang dianalisis menunjukkan bahwa orientasi dan restorasi sungai menyebabkan penurunan yang signifikan sedimentasi yang terjadi.
7. Apriadi dkk, 2017 dalam buku petunjuk teknis yang berjudul “*Technical Handbook MOD*” mengemukakan bahwa salah satu bentuk konstruksi yang dapat digunakan untuk melakukan perkuatan drainase dapat menggunakan ban bekas. Perkuatan ini mampu menurunkan kecepatan aliran bergantung dari jenis ban dan geometri lereng

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

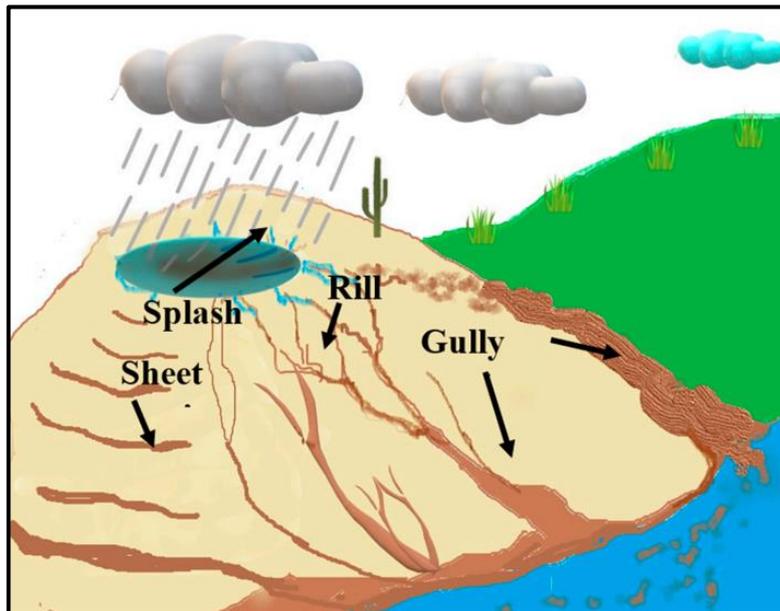
#### **2.1. Erosi**

Erosi tanah adalah proses lambat yang berlangsung relatif lama tanpa disadari, proses tersebut dapat terjadi pada tingkat yang cukup tinggi dan menyebabkan hilangnya lapisan tanah atas. Erosi tanah merupakan salah satu bentuk degradasi tanah bersama dengan pemadatan tanah, bahan organik rendah, hilangnya struktur tanah, drainase internal yang kurang memadai dan masalah keasaman tanah. Bentuk-bentuk lain dari degradasi tanah, biasanya berkontribusi pada percepatan erosi tanah.. Agen erosi tanah adalah air dan angin, masing-masing menyumbang sejumlah besar kehilangan tanah setiap tahun. Hilangnya tanah dari lahan pertanian dapat tercermin dalam potensi produksi tanaman yang berkurang, kualitas air permukaan yang lebih rendah dan jaringan drainase yang rusak.

Penyebab erosi yang utama terjadi secara alami dan aktivitas manusia (Asdak, 2010). Erosi tanah merupakan masalah sosial dan merupakan faktor penting dalam menilai kesehatan dan fungsi ekosistem. Erosi tanah merupakan salah satu masalah yang terjadi secara alami pada tanah. Ini akan mempengaruhi semua bentang alam. Erosi tanah juga dapat terjadi melalui kekuatan yang terkait dengan kegiatan pertanian seperti pengolahan tanah. Tanah lapisan atas, yang kaya akan bahan organik, kesuburan tinggi, dan kehidupan tanah, dipindahkan ke tempat lain di lokasi di mana ia menumpuk seiring waktu atau dibawa ke luar lokasi di mana ia mengisi saluran drainase. Erosi tanah mengurangi produktivitas lahan pertanian. Erosi tanah berkontribusi terhadap pencemaran aliran air, lahan basah, dan danau yang berdekatan

Proses terjadinya erosi akan melalui beberapa fase yaitu fase pelepasan, pengangkutan dan pengendapan (Triwanto, 2012). Erosi merupakan proses alami di mana material tanah dan batuan dilonggarkan dan dihilangkan. Erosi oleh air, angin dan es telah menghasilkan beberapa pemandangan paling spektakuler yang

kita tahu. Erosi alami terjadi pada skala waktu geologis, tetapi ketika aktivitas manusia mengubah bentang alam, proses erosi dapat berlangsung lebih cepat. Erosi lokasi konstruksi menyebabkan masalah yang lebih serius, baik yang ada di lokasi konstruksi ataupun dilokasi luar konstruksi.



Gambar 2. 1 Tipe-Tipe Erosi (Senanayake et all, 2020)

Proses tanah dimulai dengan air yang jatuh sebagai titik hujan dan mengalir di permukaan tanah. Gambar 2.1 menjelaskan empat jenis erosi tanah pada lahan terbuka : Erosi percikan, erosi lembar, erosi alur dan Erosi parit. Erosi percikan terjadi ketika kekuatan tetesan hujan yang jatuh pada tanah yang gundul atau bervegetasi jarang melepaskan partikel-partikel tanah. Erosi lembaran terjadi ketika partikel-partikel tanah ini dengan mudah diangkut dalam lapisan ini, atau lembaran, oleh air yang mengalir. Jika limpasan lembaran ini dibiarkan terkonsentrasi dan mendapatkan kecepatan, ia memotong alur dan parit karena melepaskan lebih banyak partikel tanah. Karena kekuatan erosi dari air yang mengalir meningkat dengan panjang lereng dan gradien, parit menjadi saluran dan ngarai yang dalam. Semakin besar jarak dan kemiringan, semakin sulit untuk mengontrol peningkatan volume dan kecepatan limpasan dan semakin besar kerusakan yang dihasilkan.

Sedimentasi adalah pengendapan partikel-partikel tanah yang telah diangkut oleh air dan angin. Kuantitas dan ukuran material yang diangkut meningkat dengan kecepatan limpasan. Sedimentasi terjadi ketika air di mana partikel tanah terbawa cukup lambat untuk jangka waktu yang cukup lama untuk memungkinkan partikel mengendap. Partikel yang lebih berat, seperti kerikil dan pasir, akan mengendap lebih cepat daripada partikel yang lebih halus, seperti tanah liat. Lamanya waktu partikel tetap dalam suspensi untuk waktu yang sangat lama dan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekeruhan air.

## **2.2. Faktor yang memengaruhi laju erosi**

Potensi suatu daerah untuk terkikis ditentukan oleh empat faktor utama: tanah, tutupan permukaan, topografi dan iklim. Faktor-faktor ini saling terkait dalam pengaruhnya terhadap potensi erosi. Keragaman di medan, tanah dan vegetasi membuat pengendalian erosi unik untuk setiap perkembangan.

### **2.2.1. Faktor Iklim**

Iklim juga merupakan pendorong utama erosi. Perubahan curah hujan dan ketinggian air dapat menggeser tanah, fluktuasi suhu yang ekstrem dapat membuat lapisan atas tanah lebih rentan terhadap erosi, dan kekeringan yang berkepanjangan dapat mencegah tanaman tumbuh, membuat tanah terbuka lebih jauh. (Utomo, 1989). Erosi juga sangat ditentukan oleh ukuran butir hujan. Agregat tanah yang hancur diakibatkan oleh proses energi kinetik oleh titik hujan itu sendiri. Energi tersebut sangat bergantung pada intensitas, jumlah hujan dan kecepatan hujan. Namun ukuran butir-butir hujan dan angin mempengaruhi jatuhnya butir hujan itu.

Degradasi tanah akibat erosi merupakan masalah dunia yang signifikan pada skala spasial dari pedon hingga DAS dan temporal yang berbeda. Semua tahapan dan faktor dalam proses erosi harus dideteksi dan dievaluasi untuk mengurangi masalah lingkungan ini dan melindungi tanah subur dan ekosistem alami yang ada. Studi laboratorium menggunakan simulator curah hujan memungkinkan faktor tunggal dan efek interaktif diselidiki di bawah kondisi yang

terkendali selama peristiwa curah hujan ekstrem . Menghindari tahap awal erosi sangat penting, sehingga semua tindakan perlindungan tanah harus diambil untuk mengurangi dampak pada tahap ini. Tahap akhir erosi tampak terlalu rumit untuk dimodelkan, karena faktor yang berbeda menunjukkan efek yang berbeda pada erosi (Shojae et all, 2020).

### 2.2.2. Faktor topografi

Topografi, atau letak tanah, merupakan variabel penting dalam erosi. Lebih khusus lagi, derajat kecuraman (persen kemiringan), serta panjang lereng. Lereng yang curam memiliki kecepatan aliran air yang tinggi. Ini meningkatkan energi erosifnya. Ketika lereng lebih panjang (panjang), luas permukaan untuk pengumpulan air juga meningkat dan oleh karena itu meningkatkan volume limpasan (Harjadi dan Farida, 1996).

Fitur topografi jelas mempengaruhi potensi erosi (Triwanto, 2012). Ukuran dan bentuk DAS, misalnya, mempengaruhi laju dan volume limpasan. Lereng yang panjang dan curam meningkatkan kecepatan aliran limpasan. Sengkedan dan saluran memusatkan aliran permukaan, yang menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Tanah terbuka yang menghadap ke selatan lebih panas dan kering, yang membuat vegetasi lebih sulit untuk dibangun.

Penggunaan lahan curam adalah situasi yang semakin umum di daerah tropis karena tekanan populasi yang tinggi dan perambahan terus-menerus di lahan berbukit. Potensi erosi dan erosi aktual dalam pengaturan ini dapat melebihi puluhan atau bahkan ratusan ton kehilangan tanah per hektar per tahun sehingga pemilihan dan desain sistem tanam, sistem pengelolaan lahan, dan sistem pengelolaan air harus disesuaikan untuk mencapai pengendalian limpasan dan erosi yang efektif untuk menghindari dampak merugikan baik di dalam maupun di luar lokasi (El-Swaify, 1997).

### 2.2.3. Faktor tanah

Tanah adalah produk dari lingkungannya. Kerentanan tanah terhadap erosi, yang dikenal sebagai erodibilitasnya, merupakan akibat dari sejumlah

karakteristik tanah, yang dapat dibagi menjadi dua kelompok: yang mempengaruhi infiltrasi, pergerakan air ke dalam tanah; dan yang mempengaruhi ketahanan terhadap pelepasan dan pengangkutan oleh curah hujan dan limpasan. Faktor erodibilitas tanah (K) adalah ukuran kerentanan tanah terhadap erosi oleh air. Faktor kunci yang mempengaruhi erodibilitas adalah tekstur tanah, kandungan bahan organik, struktur tanah, dan permeabilitas tanah.

Erodibilitas tanah dan tutupan vegetasi pada dasarnya dapat menentukan kualitas hara tanah di DAS kecil pada kondisi curah hujan yang sama. Sifat tanah itu sendiri dan efek terkait pada jumlah dan laju limpasan di bawah curah hujan tertentu, erositivitas memiliki dampak dominan pada nutrisi tanah (Wang et al, 2020). Organik dan partikel mineral merupakan penyusun tanah secara fisik. Sebagian kandungannya kurang lebih 50% terkandung oleh air dan sebagian lainnya terisi udara. Sifat fisik dari tanah itu sendiri mempengaruhi penggunaan tanah.

Tekstur, kedalaman, bahan organik, struktur, sifat lapisan tanah dan tingkat kesuburan tanah merupakan sifat yang berpengaruh langsung terhadap erosi. Sedangkan mudah atau tidaknya tanah tererosi dipengaruhi oleh sifat fisik tanah (Arsyad, 2010).

#### 2.2.4. Faktor Vegetasi

Vegetasi menahan hujan, mengurangi energinya dan mencegah erosi percikan. Kondisi tersebut memperlambat limpasan, mengurangi erosi lembar, dan memperkuat tanah dengan sistem akarnya (Sukmana dan Soewardjo, 1978).

Limpasan air permukaan dari daerah bervegetasi jauh lebih sedikit daripada dari tanah gundul karena kombinasi kekasaran permukaan, infiltrasi, dan intersepsi. Limpasan umumnya tidak melebihi 10 sampai 20 persen dari curah hujan yang diterima di daerah aliran sungai kecil yang tertutup pepohonan atau rerumputan. Namun, tanpa vegetasi, ini bisa mencapai 60 hingga 70 persen. Air yang bergerak melintasi permukaan tanah yang gundul mengikis tanah dan mengangkut partikel-partikel yang sudah terlepas. Vegetasi membatasi kapasitas air yang mengalir untuk memisahkan partikel tanah dan mengangkut sedimen

dengan mengurangi volume limpasan, memperlambat kecepatan, dan melindungi permukaan tanah dari air yang mengalir (Kartasapoetra, 2005).

#### 2.2.5. Faktor Manusia

Erosi tanah adalah hasil dari sejumlah faktor, bekerja secara terpisah atau berhubungan satu sama lain. Terlepas dari faktor alam seperti curah hujan yang sangat deras, mengakibatkan aliran air yang deras, angin kencang di daerah kering, sifat tanah dan fisiografi, manusia merupakan faktor penting yang bertanggung jawab atas erosi tanah. Kegiatan manusia yang tidak sesuai seperti penggundulan hutan, peternakan berlebihan dan metode pertanian yang salah telah membuat erosi tanah menjadi masalah yang serius (Suripin, 2002). Selain pengalihan aliran drainase alami, orientasi jalan dan rel kereta api yang salah, tanggul dan jembatan juga menyebabkan erosi tanah.

Peningkatan populasi menyebabkan tekanan pada sumber daya hutan meningkat setiap hari. Hal ini mengakibatkan penebangan hutan secara sembrono yang menyebabkan masalah erosi tanah. Akar pohon dan tanaman mengikat partikel tanah dan mengatur aliran air, sehingga menyelamatkan tanah dari erosi. Oleh karena itu, penggundulan hutan berpotensi besar mengakibatkan banjir dan erosi tanah.

Hutan dan padang rumput menyediakan makanan yang sangat dibutuhkan untuk hewan. Selama musim hujan, ada banyak pertumbuhan dan hewan mendapatkan pakan yang cukup. Selama periode kering yang panjang, ada kekurangan pakan ternak dan rumput digembalakan ke tanah dan dicabut oleh hewan sampai ke akar-akarnya. Hal ini menyebabkan kehilangan struktur tanah dan tanah mudah hanyut oleh hujan. Selain itu, tanah dihancurkan oleh kuku dan gigi hewan, terutama oleh domba dan kambing dan dengan demikian terbukti merusak lapisan atas tanah ketika hujan deras turun di atasnya.

Sebagian besar erosi tanah disebabkan oleh metode pertanian yang salah. Yang paling menonjol adalah pembajakan yang salah, kurangnya rotasi tanaman dan praktik perladangan berpindah. Jika ladang dibajak di sepanjang lereng, aliran air tidak terhalang dan air dengan mudah menyapu lapisan atas tanah. Di beberapa

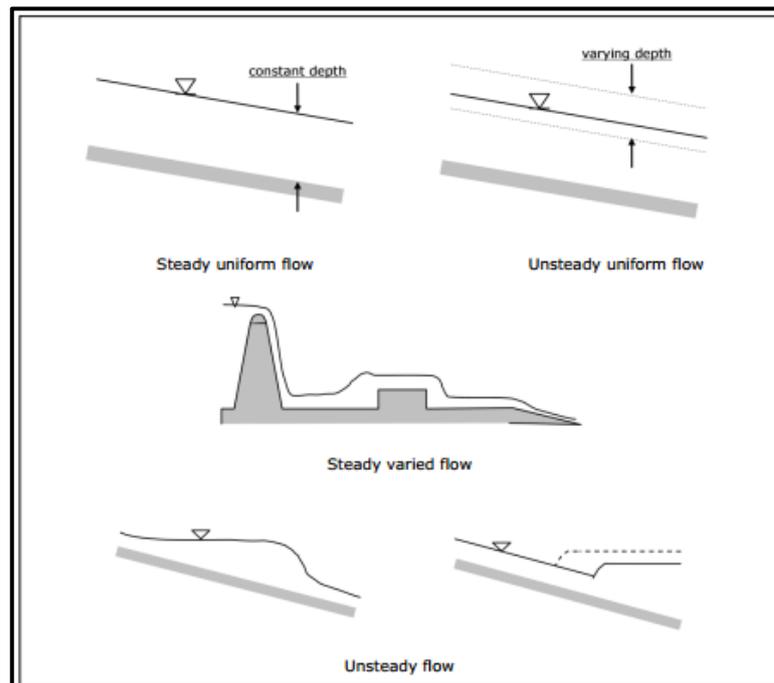
bagian negara, tanaman yang sama ditanam dari tahun ke tahun yang merusak keseimbangan kimiawi tanah. Tanah ini habis dan mudah terkikis oleh angin atau air.

### **2.3. Konsep Aliran Air Permukaan**

#### 2.3.1. Aliran Permukaan

Limpasan permukaan adalah air yang mengalir di atas permukaan tanah pada saluran-saluran sungai. Sebagian limpasan permukaan akan meresap ke dalam tanah dan bergerak secara lateral melalui horizon tanah bagian atas menuju sungai, yang disebut aliran bawah permukaan, sedangkan air yang diproyeksikan dan mengalir ke tanah hingga mencapai sungai disebut aliran airtanah (Seyhan,1990)

Aliran *base flow* adalah air bawah tanah yang bergerak ke dalam saluran secara lateral dan perlahan melalui daerah yang jenuh air. Biasanya, air jernih ini dapat mencapai saluran air atau setelah beberapa hari atau minggu hingga beberapa bulan. Aliran ini berasal dari air hujan yang terkumpul di air bawah tanah. Sedangkan aliran sungai adalah aliran air pada saluran atau sungai yang jernih. Aliran sungai merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran bawah tanah dan aliran air bawah tanah. Jenis aliran dapat dilihat pada gambar 2.2. Aliran musim hujan dapat berasal dari ketiga aliran tersebut, namun pada pertengahan musim kemarau aliran sungai hanya berasal dari aliran bawah tanah. Aliran air akan banyak berkontribusi pada aliran sungai beberapa saat setelah hujan turun, terutama pada musim hujan (Haridjaja, 1990).



Gambar 2. 2 Tipe-tipe aliran (Senanayake et all, 2020)

### 2.3.2. Proses Terjadinya aliran permukaan

Konsep dasar yang digunakan dalam semua hidrologi adalah siklus hidrologi. Konsep siklus air merupakan titik awal pengetahuan hidrologi karena siklus air tidak memiliki awal dan akhir (Arsyad, 2010). Air mengalir dari laut ke atmosfer, ke permukaan bumi dan kembali ke laut, dan dalam perjalanannya sementara ditampung di dalam tanah atau di sungai, tersedia untuk digunakan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya, dan kembali ke udara.

Air menguap dari permukaan tanah, membentuk tetesan, dan kembali dalam bentuk hujan. Air hujan yang terhalang oleh vegetasi sebagian menguap dan sebagian jatuh ke tanah melalui proses aliran batang dan tajuk hutan, kemudian jatuh dan lepas. Air dari kanopi yang terkulai atau aliran batang memasuki permukaan tanah paling atas melalui proses infiltrasi. Air hujan yang jatuh langsung ke tanah masuk ke rembesan permukaan. Selain itu, air merembes ke dalam dan sebagian digunakan untuk mengisi lekukan dan lekukan di permukaan tanah sebagai penyimpan permukaan.

Proses infiltrasi menjenuhkan lapisan tanah dan menambah air tanah. Air yang dihasilkan dari proses rembesan dan rembesan bergerak ke daerah yang lebih rendah dan muncul sebagai mata air di sungai, danau, atau laut. Ketika kapasitas infiltrasi maksimum terlampaui dan curah hujan tinggi, tahap selanjutnya adalah pembentukan tegangan tipis air hujan di permukaan tanah. Tegangan ini mengalir dari laminar ke turbulen di atas permukaan, baik sebagai penebalan maupun sebagai tambatan permukaan. Arus mengalir menuju daerah dataran rendah. Air yang mengalir di atas permukaan disebut limpasan.

Penguapan evaporasi akan terjadi walaupun dalam jumlah yang tidak banyak saat ada kelebihan air hujan di aliran permukaan. Aliran permukaan kemudian terbentuk saat proses hidrologi telah tercapai dan air hujan masih berlanjut. Kemudian aliran permukaan lanjut mengalir saluran menuju sungai hingga mencapai danau dan lautan. Proses intersepsi, simpanan depresi, evaporasi, infiltrasi akan terjadi terlebih dahulu sebelum terjadi aliran permukaan.

### 2.3.3. Prediksi Aliran Permukaan menggunakan Metode Rasional

Waktu konsentrasi merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi laju aliran puncak permukaan dalam perhitungan menggunakan Metode Rasional. Haridjaja (1990) menjelaskan bahwa waktu konsentrasi merupakan ukuran yang dijadikan acuan untuk menetapkan aliran dari dalam area tangkapan telah mencapai titik keluaran serta tercapainya debit aliran puncak. Waktu konsentrasi ini dapat juga di sebut sebagai waktu dari air mengalir di permukaan dari titik awalnya hingga titik akhir tempat pembuangan air dari lokasi tangkapan di area tersebut.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung puncak laju aliran permukaan dengan Metode Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,0028 \times C \times I \times A \dots\dots\dots 2.1$$

Di mana,

Q: laju puncak aliran permukaan maksimum m<sup>3</sup>/s

C: koefisien aliran permukaan

i: intensitas hujan yang lamanya sama dengan waktu konsentrasi mm/jam  
 A: luas daerah aliran ha

## 2.4. Pola Aliran

Terdapat hubungan antara kedalaman aliran, kemiringan dari saluran, debit air dan permukaan bebas. Hal ini yang menyebabkan kedudukan permukaan cenderung berubah berdasarkan waktu dan ruang. Kondisi ini juga secara langsung memengaruhi kondisi aliran dalam saluran terbuka. Maka dari itu variasi dari saluran terbuka lebih banyak dari saluran tertutup.

Berikut beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pola aliran:

### a. Debit Aliran

Debit aliran merupakan hubungan perkalian antara kecepatan aliran dengan luas tampang basah saluran (Chow, 1989).

$$Q = U \cdot A \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana: Q = Debit Aliran, m<sup>3</sup>/det

U = Kecepatan aliran rata-rata, m/det

A = Luas Penampang aliran, m<sup>2</sup>

### b. Kecepatan aliran rata-rata

Kecepatan aliran rata rata merupakan perbandingan antara debit aliran yang melewati saluran Q dengan luas tampang basah saluran A seperti persamaan dibawah ini (Chow, 1989).

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot Y_o} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana: U = Kecepatan aliran rata-rata, m/det

Y<sub>o</sub> = Kedalaman aliran, m

B = Lebar saluran, m

Q = Debit, m<sup>3</sup>/det

A = Luas Penampang aliran, m<sup>2</sup>

Kecepatan rata-rata Chezy dirumuskan sebagai berikut (Putra,2014) :

$$U = C \sqrt{RSf} \dots\dots\dots 2.4$$

$$C = 18 \log \frac{12Y_0}{K+2\frac{\partial}{7}} \dots\dots\dots 2.5$$

$$\partial = \frac{11,6}{U_0} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana: C = Koefisien Chezy

Sr = Kemiringan garis energy

Y<sub>0</sub> = Kedalaman aliran

R = Jari-jari hidrolis

K = Diameter kekasaran dasar

Δ = batas daerah transisi laminar dan turbulen

Y = Viskositas

Rumus perhitungan yang dilakukan sebelum persamaan diatas untuk mendapatkan nilai debit air tampungan tersedia pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 Persamaan dimesi saluran terbuka (Chow, 1989)

No	Parameter	Persamaan
1	Lebar saluran permukaan	$CW = b + 2 \times m \times h$
2	Luas Penampang Basah	$A = \{b + (m \times h)\}h$
3	Keliling Basah	$P = b + (2 \times h) \times \sqrt{1 + m^2}$
4	Jari-jari Hidrolis	$R = \frac{A}{P}$
5	Kecepatan Aliran	$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$

c. Bilangan Reynolds

Jenis aliran dapat dibedakan dengan menggunakan bilangan Reynolds.

Menurut Reynolds, jenis aliran dibedakan sebagai berikut (Junaidi, 2014):

Aliran laminar adalah jenis aliran yang ditunjukkan oleh gerakan partikel karena garis arus paralel halus dengan nilai Reynolds kurang dari 500.

Nilai bilangan Reynolds turbulen lebih besar dari 1000, dan alirannya tidak memiliki garis arus paralel yang mulus. Aliran transisi biasanya yang paling sulit untuk diamati, dengan bilangan Reynolds dalam kisaran 500 hingga 1000.

Persamaan untuk menghitung bilangan Reynolds yaitu:

$$Re = \frac{U \cdot l}{\nu} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana: Re = Bilangan Reynolds

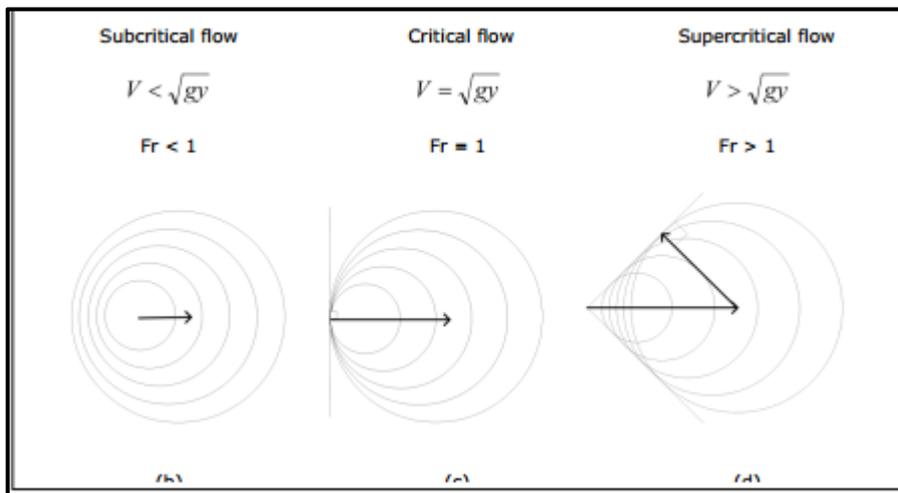
U = Kecepatan aliran m/det

l = Panjang karakteristik meter

$\nu$  = Viskositas kinematic m<sup>2</sup>/detik

d. Bilangan Froude

Chow menjelaskan dalam bukunya Open Channel Hydraulics bahwa pengaruh tarikan gravitasi bumi terhadap aliran dinyatakan dengan rasio inersia terhadap tarikan gravitasi bumi, g. Rasio ini diterapkan sebagai bilangan Froude Fr. Jenis-jenis pola aliran dapat dilihat pada Gambar 2.3. Jika bilangan Froude sama dengan 1, gangguan permukaan yang disebabkan, misalnya, riak yang disebabkan oleh batu yang dilemparkan ke sungai tidak akan bergerak melawan arus. Aliran subkritis terjadi ketika bilangan Froude kurang dari 1. Untuk aliran subkritis, biasanya pada kedalaman yang besar dan kecepatan aliran yang rendah, semua riak yang terjadi memiliki potensi untuk bergerak melawan aliran. Jika bilangan Froude lebih besar dari 1, itu adalah air superkritis.



Gambar 2. 3 Jenis-jenis pola aliran (Hussein dan Hashim, 2018)

Persamaan untuk menghitung bilangan Froude, yaitu:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}} \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana: Fr = Bilangan Froude

U = Kecepatan aliran m/dtk

g = percepatan gravitasi m/dtk<sup>2</sup>

h = kedalaman aliran m

Nilai kecepatan U diperoleh dengan rumus:

$$U = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana: Q = Debit aliran m<sup>3</sup>/dtk

A = Luas saluran m<sup>2</sup>

Nilai luas saluran A di peroleh dengan rumus:

$$A = b \cdot H \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana: H = Tinggi aliran m

b = Lebar saluran m

e. Koefisien kekasaran Manning

Kekasaran Manning dapat dipengaruhi oleh kondisi-kondisi sebagai berikut (Chow, 1989):

- i. Penanda kekasaran permukaan dapat dilihat dari bentuk dan ukuran butiran pembentuk luas basah serta menghasilkan efek penahan terhadap aliran. Butirah hasil tersebut memengaruhi nilai n yang relative rendah maupun nilai n yang tinggi tergantung dari butirannya.
- ii. Aliran dapat diperkecil kapasitasnya dan dihambat oleh vegetasi di area tersebut.
- iii. Keliling basah dan penampang yang bervariasi berpengaruh besar terhadap saluran yang bervariasi.
- iv. Nilai n yang rendah juga dapat dipengaruhi oleh garis tengah yang landai, namun garis tengah yang curam dengan belokan yang tajam dapat meningkatkan nilai n.
- v. Nilai n dapat diperkecil dengan perubahan saluran yang tidak beraturan menjadi agak beraturan dengan adanya pengendapan. Sebaliknya nilai n

dapat membesar jika terjadi gerusan. Pengendapan tersebut sangat dipengaruhi oleh sifat alami dari bahan yang diendapkan.

vi. Nilai *n* berpotensi meningkat dengan adanya hambatan dari pilar jembatan dan balok sekat, serta bahan lain yang serupa.

Besarnya koefisien dasar saluran dapat dihitung menurut dengan rumus (Chow, 1989) :

$$n = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana: *n* = Koefisien kekasaran manning

*v* = kecepatan aliran m/dtk

*R* = jari-jari hidrolik m

*I* = kemiringan saluran

Nilai jari-jari hidrolik *R* diperoleh dengan rumus:

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana: *P* = Keliling tampang basah m

*A* = Luas saluran m<sup>2</sup>

Nilai kemiringan saluran *I* diperoleh dengan rumus:

$$I = \frac{\Delta h}{s} \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana:  $\Delta h$  = beda tinggi saluran hulu dan hilir m

*S* = panjang tinjauan hulu dan hilir m

Tabel 2.2 Koefisien Kekasaran Manning (Triadmodjo, 2008)

<b>Bahan</b>	<b>n</b>
Besi Tulang Lapis	0.014
Kaca	0.014
Saluran Beton	0.013
Bata Dilapis Mortar	0.015
Pasangan Batu Disemen	0.025
Saluran Tanah Bersih	0.022
Saluran Tanah	0.030
Saluran dengan dasar batu dan Tebing	0.040
Rumput	0.040
Saluran Pada Galian Batu Padas	0.040

## 2.5. Gerusan

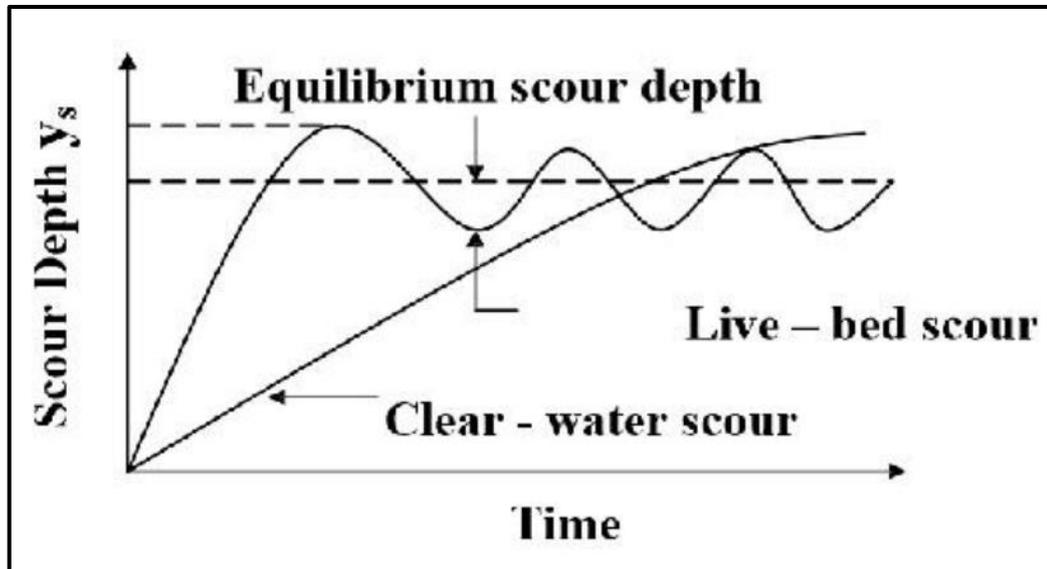
Gerusan adalah fenomena alam yang disebabkan oleh erosi arus air di dasar dan tebing saluran aluvial, proses interaksi aliran dengan material dasar mengurangi atau memperdalam dasar di bawah elevasi permukaan alami datum. Gerusan yang terjadi di sekitar pilar merupakan hasil dari sistem vortex yang ditimbulkan oleh terhalangnya aliran oleh pilar. Saat aliran mendekati kolom, tekanan stagnasi berkurang dan terjadi *downflow*, yaitu aliran dari kecepatan tinggi ke kecepatan rendah (Ariyanto, 2009). Kekuatan *downflow* paling besar ketika berada di dasar saluran.

Gerusan didefinisikan sebagai ekspansi aliran dengan gerakan material di bawah aksi gerakan fluida. Gerusan lokal terjadi pada kecepatan aliran di mana sedimen yang diangkut lebih besar daripada sedimen yang dikirim. Transportasi sedimen meningkat dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, dan gerusan terjadi ketika tegangan geser dasar meningkat karena perubahan kondisi aliran.

Miller 2003 menjelaskan jika struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur tersebut akan bertambah, dan *gradient* kecepatan vertikal *gradient* dari aliran akan berubah menjadi *gradient* tekanan ini merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur *bed*. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran. Hal ini dinamakan pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*), karena dilihat dari atas bentuk pusaran ini mirip tapal kuda.

Jenis gerusan b dan c diklasifikasikan lebih lanjut menjadi gerusan air tawar dan gerusan sedimen dasar. Gerusan air tawar dikaitkan dengan dasar sungai diam di hulu bangunan tanpa material yang diangkut, sedangkan gerusan air sedimen dikaitkan dengan kondisi aliran di dalam saluran yang menggusur material di bawahnya. Hubungan antara kedalaman gerusan dan waktu dapat dilihat pada Gambar 2.4. Peristiwa ini menunjukkan bahwa tegangan geser pada

saluran lebih besar dari nilai kritisnya. Kedalaman gerusan kesetimbangan dicapai pada zona transisi antara gerusan dasar hidup dan gerusan air tawar.



Gambar 2. 4 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu (Ariyanto, 2009).

## 2.6. Terasering

Terasering merupakan suatu metode konservasi yang bertujuan untuk mengurangi panjang lereng dan menahan air untuk mengurangi laju dan volume limpasan serta meningkatkan peluang penyerapan air oleh tanah. Jenis terasering yang relatif banyak dikembangkan di lahan pertanian Indonesia adalah teras bangku atau teras berundak, teras bangku dan teras Gulud (Dariah dll,2004). Teras kredit dapat dikembangkan untuk mengatasi tingginya biaya pembangunan teras bangku.

### 2.6.1. Teras bangku atau teras tangga *bench terrace*

Teras bangku atau teras berundak dibuat dengan cara memotong panjang lereng dan meratakan tanah pada bagian bawahnya sehingga dilapisi dengan bangunan berundak. Contoh teras bangku ditunjukkan pada Gambar 2.5. Penggunaan pertanian di lahan kering, fitur utama teras bangku adalah:

- a. Memperlambat aliran permukaan
- b. Menampung dan menyalurkan aliran permukaan dengan kekuatan yang tidak merusak.
- c. Meningkatkan laju infiltrasi.

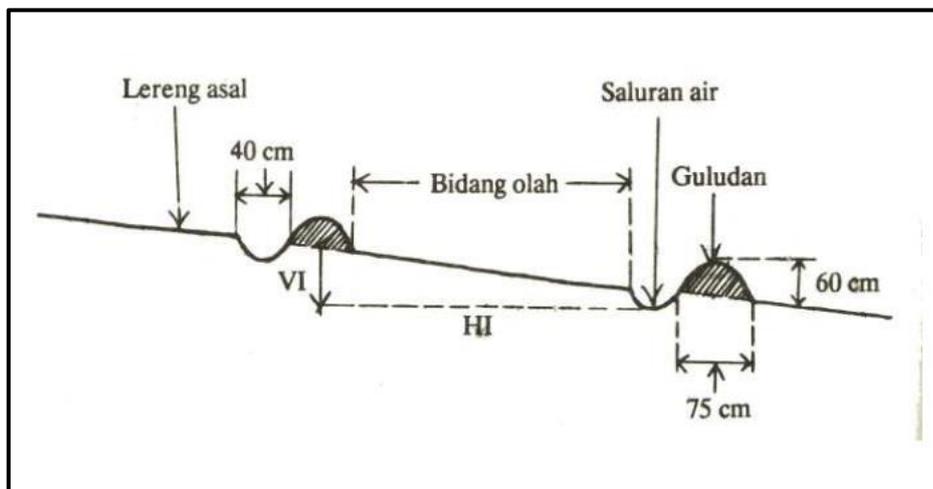
- d. Mempermudah pengolahan tanah.



Gambar 2. 5 Teras bangku (Agus dan Widiyanto, 2004)

#### 2.6.2. Teras gulud *contour ridges/ridges terrace*

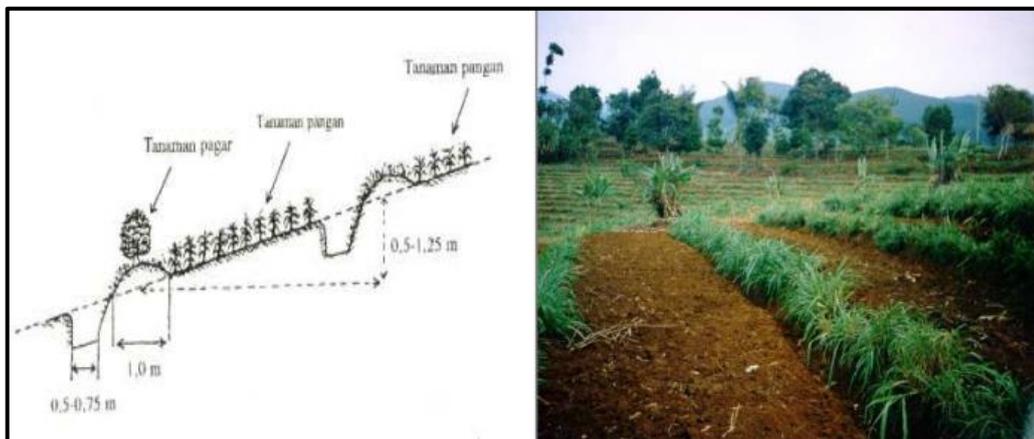
Teras gundukan adalah deretan gundukan dengan saluran di bagian belakang gundukan. Metode ini juga disebut gundukan saluran. Sebagian teras guludan terdiri dari guludan, saluran, dan lahan garapan. Tampak samping dari contoh teras gundukan ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Penampang samping teras gulud (Agus dan Widiyanto, 2004)

### 2.6.3. Teras kredit *gradual terrace*

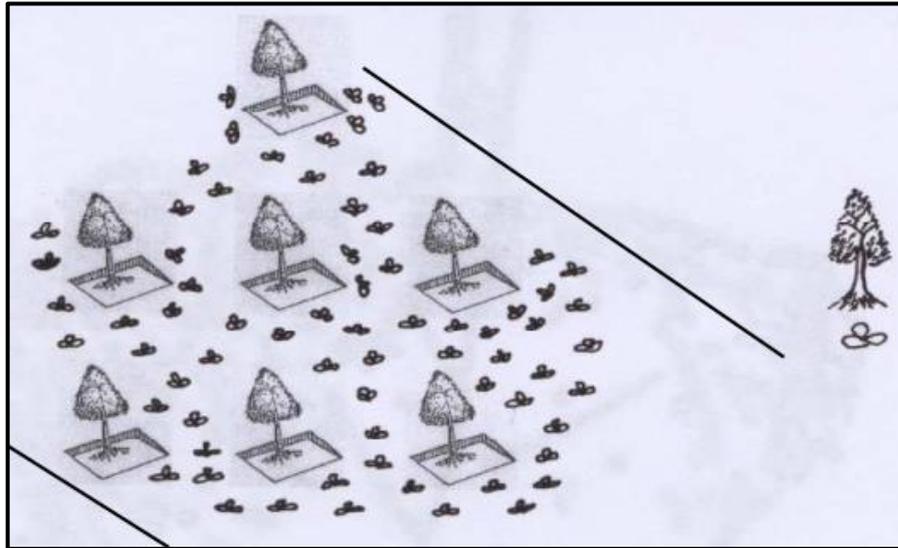
Teras kredit adalah teras yang terbentuk secara bertahap oleh retensi partikel tanah yang terkikis oleh barisan tanaman yang ditanam rapat seperti pagar dan padang rumput yang ditanam di sepanjang garis kontur. Gambar 2.7 menunjukkan tampak samping teras kredit, dimana waktu pembentukan inti relatif lama. Pembentukan teras dapat dicapai dengan pengolahan tanah. Hal ini dilakukan dengan menarik tanah ke arah lereng yang lebih rendah (Agus dan Widiyanto, 2004)



Gambar 2. 7 Penampang samping teras kredit (Agus dan Widiyanto, 2004)

### 2.6.4. Teras individu

Teras individu adalah teras yang dibuat untuk setiap individu tanaman, terutama tanaman keras. Teras jenis ini biasanya diterapkan pada area perkebunan atau pohon buah-buahan. Selain untuk mengurangi erosi, pembuatan teras individu juga bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman semusim (Agus dan Widiyanto, 2004). Untuk memudahkan pemeliharaan tanaman. Ini mengganggu pemeliharaan seperti pemupukan dan penyiangan. Sketsa teras individu dari perkebunan tahunan ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Sketsa teras individu (Agus dan Widiyanto, 2004)

## 2.7. Teknik Konservasi Tanah Secara Mekanik Melalui Bangunan Terjun *Drop Structures*

*Drop structure* adalah bangunan yang memotong saluran air di suatu tempat, dan aliran air setelah melewati bangunan tersebut menjadi air terjun. Bangunan air terjun sebaiknya dibangun pada medan berbukit dimana kemiringan saluran dibatasi untuk menghindari gerusan (Ansori dkk, 2018). Selain itu, pada saluran terbuka, bangunan berfungsi untuk mengubah kemiringan saluran yang awalnya sangat curam menjadi lereng. Dalam hal ini kecepatan aliran berubah menjadi kecepatan aliran non-kritis.

Membangun *drop structure* juga membutuhkan pembuatan kolam di hilir. Bangunan ini merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Dimensi kolam yang direncanakan harus memperhitungkan energi air yang berasal dari bangunan terjun, sehingga kolam harus diperhitungkan agar tidak ada energi air di ujung kolam.

Pertimbangan struktur transisi saluran batu/beton-ke-tanah di hilir kolam stasioner, bahkan jika energi air dari air terjun diselesaikan di daerah itu, perubahan kecepatan dari tinggi ke rendah masih diperlukan. Untuk mengatasi hal ini, saluran transisi harus dibangun dengan pasangan bata yang ditempatkan di dasar saluran dan di tepi saluran transisi.

*Drop structure* digunakan untuk mengalirkan air permukaan dari area yang tinggi ke area yang lebih rendah tanpa menyebabkan erosi atau kerusakan pada struktur jalur air. Ini menghilangkan momentum energi gravitasi yang diambil oleh air. Jika kecepatan air melebihi kecepatan maksimum yang direkomendasikan untuk kondisi saluran tertentu, modifikasi profil saluran diperlukan menggunakan kondisi/bahan yang ada. Contoh *drop structure* dapat dilihat pada gambar 2.9. Jika hal ini tidak praktis, maka pelapisan atau pengurai energi misalnya: *drop structure* diperlukan untuk mencegah erosi atau gerusan saluran.

Bahan struktur jatuh tidak terbatas pada bahan pilihan yang ada dan Alat Berat lama. Bahan alternatif untuk *drop structure* meliputi (Apriadi dkk, 2017):

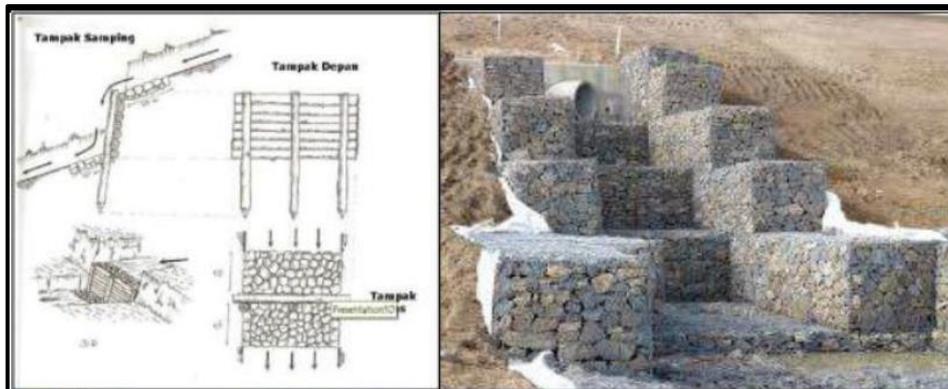
- a. Ban Alat Berat Tua, seperti yang digunakan di berbagai *drop structure* KPC yang ada saat ini
- b. Kayu bulat/kayu, biasanya dibangun oleh Perusahaan Kehutanan untuk pengendalian erosi di saluran mereka
- c. Keranjang Gabion
- d. Blok beton

Apapun material *drop structure*, operasi konstruksi harus memastikan material tersebut terhubung/terkunci untuk mencegah kerusakan dari energi air. Metode keterkaitan untuk setiap bahan tergantung pada jenis bahan itu sendiri. Misalnya baut antara ban dan menggabungkan dengan batu/batu mengisi *tyre drop structure*, contohnya dapat dilihat pada gambar 2.10.

Langkah-langkah untuk men-design *drop structure*

- a. Hitung kemiringan yang diizinkan pada upstream channel sebelum memasuki bagian lereng yang curam;
- b. Ajukan dimensi *drop structure* yang sesuai dengan dimensi saluran hulu;
- c. Periksa kecepatan air pada bagian kemiringan yang curam. *Drop structure* diperlukan jika kecepatan air pada lereng melebihi kecepatan maksimum yang diijinkan di mana lining tidak applicable atau tidak ekonomis;
- d. Hitung total penurunan vertikal dan panjang horizontal pada bagian yang curam;

- e. Hitung penurunan level yang diciptakan oleh kemiringan yang diijinkan dengan panjang horizontal pada bagian yang curam
- f. Tentukan penurunan ketinggian pada setiap langkah. Maximum penurunan ketinggian yang diharapkan hd sekitar 1m.
- g. Hitung kecepatan penurunan, periksa apakah material yang dipilih cocok untuk drop structure berdasarkan tabel
- h. Desain aliran penurunan



Gambar 2. 9 Contoh *Drop structure* (Apriadi dkk, 2017)



Gambar 2. 10 Contoh *drop structure* dari bekas ban (Apriadi dkk, 2017)