

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

Nuzul Hidayat, Muhammad Ramli\*, Purwanto

Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [ramli@unhas.ac.id](mailto:ramli@unhas.ac.id)

Manuscript received: 30 May 2022; Received in revised form: 18 August 2022; Accepted: 28 September 2022

### Abstrak

Kegiatan penambangan membutuhkan area kerja luas yang berpotensi menyebabkan masalah lingkungan. Salah satu dampak yang dapat ditimbulkan yaitu peningkatan laju erosi yang dapat menurunkan fungsi lahan khususnya di lokasi rencana area rehabilitasi tambang. Potensi erosi yang terbentuk harus di prediksi untuk mempersiapkan metode pencegahannya. Estimasi potensi erosi dilakukan di Tiung AB *Dump* PT. Kaltim Prima Coal menggunakan metode RUSLE (*Revised Unified Soil Loss Equation*) yang mempertimbangkan erosivitas hujan, erodibilitas material, faktor kemiringan lereng, faktor vegetasi dan faktor konservasi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan rata-rata laju erosi sebesar 292,4 ton/ha/bulan dengan luas tangkapan air sebesar 0,674 km<sup>2</sup>. Pengurangan erosi menggunakan teknik konservasi metode terasering yang didukung dengan konstruksi saluran terbuka untuk mengalirkan debit hujan yang masuk dalam tangkapan area. Curah hujan menggunakan data 15 tahun terakhir dengan curah hujan tertinggi di bulan Januari sebesar 231,9 mm/bulan dan terendah dibulan September 118,3 mm/bulan. Kala ulang 10 tahunan curah hujan hari tertinggi yaitu 121,49 mm/hari. Debit hujan puncak aliran permukaan yaitu 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. Penggunaan *tyre drop structure* maka dapat menurunkan kecepatan hingga 3,8 m/s yang masuk dalam kecepatan yang diperbolehkan berdasarkan jenis materialnya sehingga erosi dapat diturunkan hingga 11,7 ton/ha/bulan atau 96% dari laju erosi natural.

**Kata Kunci:** konservasi; terasering; superkritis; saluran; rehabilitasi.

### Abstract

Mining activities require large work areas that potentially cause environmental problems. One of the impacts that can be caused is an increase of erosion rate, which can reduce the function of the land, especially in the location that planned to be mine rehabilitation area. The potential for erosion formed 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 rain discharge that enters the catchment area. Rainfall uses data from the last 15 years with the highest rainfall in January of 231.9 mm/month and the lowest in September of 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 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 supercritical flow. The use of a tire drop structure can reduce the speed up to 3.8 m/s which is within the permissible speed based on the type of material so that erosion can be reduced to 11.7 tons/ha/month or 96% of the natural erosion rate.

**Keywords:** conservation; terracing; supercritical; channel; rehabilitation.

## Pendahuluan

Kegiatan pemanfaatan 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 memerlukan 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 sesuai dengan UU no. 3 Tahun 2020 tentang pertambangan mineral dan batubara.

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 dan merusak struktur tanah.

Penanganan erosi telah dilakukan dengan berbagai metode berupa penanaman vegetasi cepat tumbuh yang mampu mereduksi laju erosi (Hancock dkk., 2020). Penerapan reklamasi tambang juga dapat dilakukan dengan metode terasering. Namun metode ini harus didukung dengan perkuatan saluran karena terbentuknya saluran terbuka yang besar. Metode ini sebagai upaya penghijauan kembali area penimbunan tambang. Pembentukan konstruksi pengendali erosi dapat mencegah terjadinya erosi (Nabi dkk., 2017).

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 dan perkuatan saluran yang dapat mendukung saluran terbuka yang ada dalam metode terasering.

*Drop structure* bisa digunakan sebagai media bertingkat untuk mendisipasi energi pada aliran air. Metode ini bisa menjadi solusi untuk menangani erosi di lokasi rehabilitasi tambang (Hancock dkk., 2015). Menggunakan metode *Tyre drop structure* dapat digunakan sebagai bahan dasar peningkatan nilai guna dari *tyre* bekas di perusahaan dibandingkan dengan pembentukan konstruksi dengan konkrit yang membutuhkan biaya yang mahal.

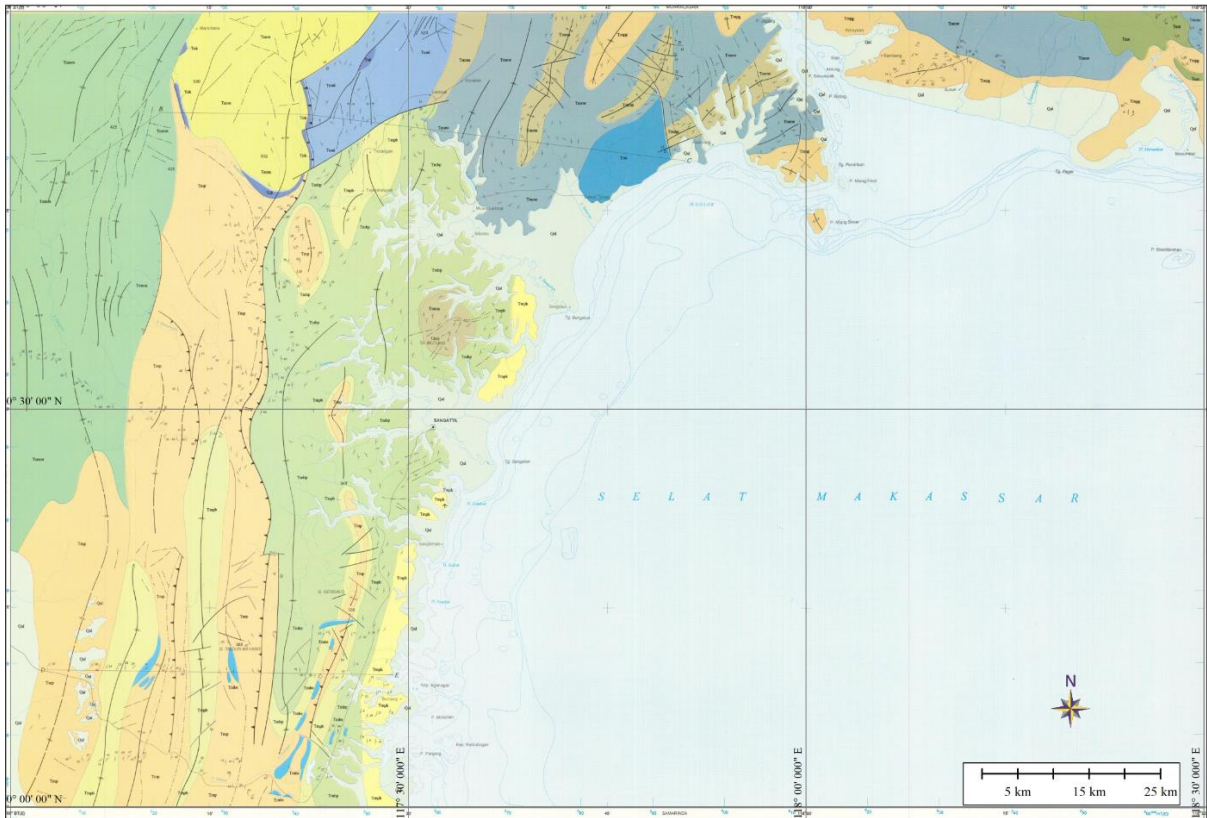
## Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Kaltim Prima Coal yang secara geografis terletak pada  $117^{\circ}26'24''$ –  $117^{\circ}33'36''$  BT dan  $0^{\circ}14'24''$  –  $0^{\circ}22'48''$ LU. Secara administratif PT. Kaltim Prima Coal terletak di Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Area penelitian bernama Tiung-AB *Dump* yaitu *void* bekas tambang yang dihasilkan dari aktivitas penambangan sebelumnya (Gambar 1). Topografi lokasi ini memiliki tebing yang tinggi dengan kemiringan yang besar sehingga memiliki potensi erosi yang besar. Tiung-AB *Dump* masuk dalam tahapan awal perencanaan aktivitas reklamasi. Oleh karena itu, kondisi ini sangat sensitif terhadap proses erosi dan penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap potensi erosi dan pencegahannya.



**Gambar 1.** Kondisi aktual Tiung-AB Dump dengan pembentukan erosi.



**Gambar 2.** Peta Geologi Lembar sangatta Kab. Kutai Timur Prov Kalimantan Timur (Sukardi dkk., 1995).

Formasi Sangatta dan Bengalon di lokasi penelitian berasal dari Formasi Balikpapan Miosen. Formasi ini terbentuk di Cekungan Kutai yang memanjang dari sisi selatan Samarinda ke arah utara Sangkulirang (Gambar 2). Area Sangatta terdapat dua grup potensial batubara utama yaitu

endapan Pinang dan Melawan. Operasi penambangan batubara yang sementara dilakukan terdiri dari lapisan *overburden* dan lapisan batubara dengan tebal rata-rata 3 meter. Lapisan *overburden* terdiri dari material batupasir, batulanau dan batulempung. Namun material yang sudah

masuk di area *wastedump* telah bercampur dikarenakan material berpotensi berasal dari area galian yang berbeda-beda.

#### *Analisis dengan metode RUSLE untuk menghitung laju erosi*

Analisis yang diperlukan untuk mengetahui besarnya erosi yaitu dengan menghitung faktor-faktor erosi. Faktor penentu erosi adalah erosititas, indeks erodibilitas, indeks panjang dan kemiringan lereng, indeks penutupan vegetasi dan indeks pengelolaan lahan/tindakan konservasi tanah (Fadda dkk., 2010).

Perhitungan akan menggunakan metode RUSLE (*Revised Unified Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Renard dkk. (1997) dengan persamaan berikut:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

dengan:

A = banyaknya tanah tererosi dalam ton/ha/tahun (laju erosi)

R = faktor erosititas hujan

K = faktor erodibilitas tanah

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng

C = faktor penutupan vegetasi dan pengelolaan tanaman

P = faktor pengelolaan lahan/tindakan konservasi

#### *Desain aliran terbuka dengan menggunakan tyre drop structure*

Penentuan desain aliran terbuka dengan metode *tyre drop structure* menggunakan beberapa parameter perhitungan yaitu:

##### a. Perhitungan Debit Puncak Menggunakan Metode Rasional

Parameter yang digunakan pada perhitungan debit limpasan menggunakan rumus rasional yaitu intensitas hujan, luas tangkapan area dan koefisien limpasan (Apriadi dkk., 2017). Intensitas hujan dihitung menggunakan persamaan Monobe sebagai berikut:

$$I = \left( \frac{R_{24}}{24} \right) \times \left( \frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad (2)$$

dengan:

I = Intensitas hujan

R = Curah hujan maksimum

Curah harian maksimum didapat dari hasil perhitungan curah hujan menggunakan distribusi gumbel dengan periode ulang 25 tahun. Luas tangkapan area dapat dihitung dengan menggunakan *software* Minex 6.5.

b. Perhitungan Dimensi Saluran Terbuka  
Perhitungan dimensi saluran terbuka dilakukan untuk mendapatkan debit tampungan, dimana nilai debit tampungan ini harus lebih besar daripada debit limpasan yang masuk. Berdasarkan perhitungan didapatkan geometri saluran terbuka berupa kedalaman, lebar dasar saluran, dan lebar permukaan saluran pada masing masing saluran baik di area dumping maupun saluran terbuka menuju kolam pengendapan lumpur.

##### c. Desain Saluran Menggunakan Tyre Drop Structure

*Tyre drop structure* adalah bangunan yang dibuat dari ban-ban bekas *dumprtruck* yang di tengahnya diisi dengan batuan berukuran >10 cm. Tujuan dibangunnya *tyre drop structure* adalah sebagai perkuatan saluran yang dapat memperlambat kecepatan aliran air. Spesifikasi ban yang digunakan pada penelitian ini yaitu ban *dumprtruck* Komatsu HD 785.

d. Estimasi efektivitas Pengendalian erosi  
Pengujian efektifitas pengendalian erosi dengan metode *tyre drop structure* akan disajikan untuk mengestimasi penurunan laju erosi secara kualitatif dan kuantitatif.

## Hasil dan Pembahasan

### *Estimasi laju erosi*

Berdasarkan hasil perhitungan laju erosi dengan metode RUSLE menggunakan parameter erosititas hujan, erodibilitas

tanah, faktor panjang dan kemiringan lereng, area tutupan tanaman serta dukungan konservasi. Rata-rata laju erosi sebesar 292,4 ton/ha/bulan. Laju erosi ini

masuk dalam kategori sangat berbahaya. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Perhitungan estimasi laju erosi.

	Keterangan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
R	Faktor Erosivitas	97,0	97,5	98,8	96,4	95,8	94,6	94,4	94,3	89,9	96,1	96,7	97,2
K	Faktor Erodibilitas	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
LS	Faktor Lereng	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
C	Faktor tutupan	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
P	Faktor Konservasi	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
A	Laju Erosi (Ton/Ha/Bulan)	399,3	401,4	406,8	397,0	394,2	389,3	388,7	388,0	370,0	395,5	398,1	400,0

### Pemodelan Reklamasi Tambang

Prinsip reklamasi tambang dilaksanakan dengan melalui beberapa tahap, yaitu penataan lahan, penyebaran tanah pucuk dan pengaturan sistem drainase. Penataan lahan diawali dengan pembentukan kemiringan lereng sesuai dengan

perencanaan aliran dengan menggunakan unit dozer D375B (Gambar 3). Proses selanjutnya dalam tahapan reklamasi yaitu penyebaran tanah pucuk. Penyebaran tanah pucuk berfungsi sebagai sarana vegetasi agar dapat tumbuh dengan optimal. Tanah pucuk untuk reklamasi diambil dari tanah pucuk bekas lahan bukaan di area pit.



**Gambar 3.** Proses konturing area reklamasi tambang.

Pemodelan lahan reklamasi dalam rangka pengaturan sistem drainase menggunakan teknik terasering. Terasering merupakan salah satu teknik konservasi yang dapat menurunkan laju erosi dan mengalirkan air ke saluran air yang telah direncanakan.

Pemodelan teras akan menggunakan *Ridges Terrace* atau Teras Gulud karena efisien secara biaya dan efektif dibandingkan dengan teras bangku dan teras kredit. Proses pembentukan terasering dapat dilihat pada Gambar 4.



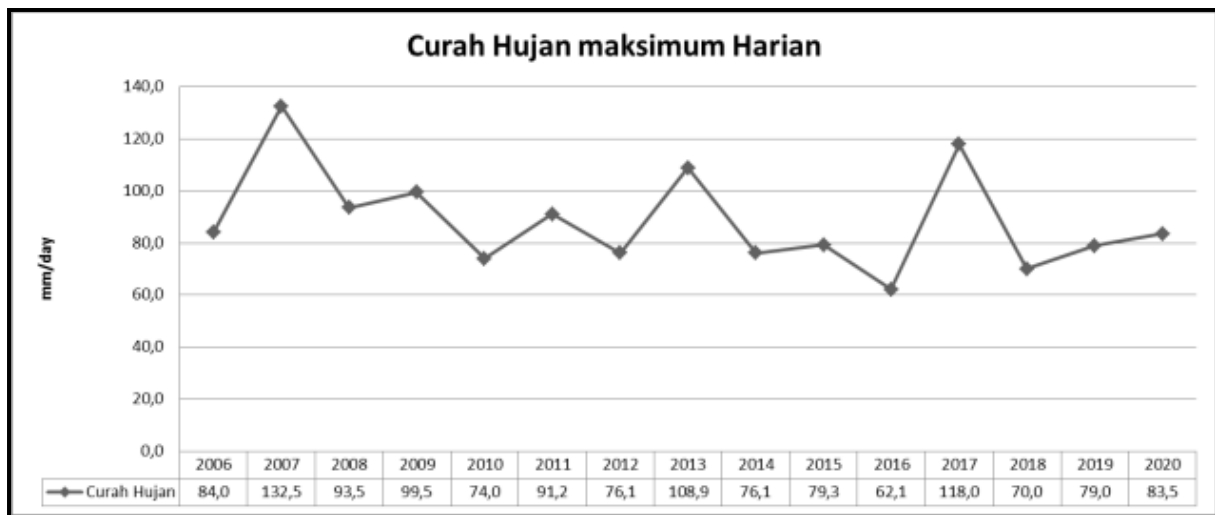


**Gambar 4.** Proses pembentukan terasering dengan metode teras gulud.

*Analisis curah hujan dengan menggunakan metode rasional*

Analisis curah hujan yang diterapkan untuk menentukan debit curah yaitu Metode Rasional. Parameter yang digunakan yaitu Intensitas hujan dan nilai koefisien *run-off*. Nilai akhir yang didapatkan dapat menunjukkan tingkat debit aliran yang harus ditampung di lokasi penelitian. Analisis curah hujan dapat dibagi menjadi beberapa perhitungan sebagai berikut:

- a. Perhitungan kala ulang hujan tahunan  
Perhitungan kala ulang hujan tahunan menggunakan Metode Gumbel. Metode ini menggunakan analisis statistik dari data curah hujan maksimum dari 15 tahun terakhir (Gambar 5), kemudian dari data tersebut ditentukan *possibility* curah hujan maksimum yang dapat terjadi dengan kala ulang 2,5,10 dan 25 tahun.



**Gambar 5.** Grafik curah hujan maksimum harian 15 tahun terakhir.

Perhitungan dengan Metode Gumbel dapat dilihat pada Tabel 2, Nilai curah hujan maksimum bulanan diambil selama 15 tahun terakhir kemudian diurutkan dari

yang terbesar ke yang terendah. Secara sederhana dapat dilihat bahwa semakin tinggi curah hujan, namun *possibility* terjadinya semakin rendah.

**Tabel 2.** Tabel perhitungan dengan Metode Gumbel.

No	Year	CHH max	P (%)	Ri-Rrata	(Ri-Rrata) <sup>2</sup>
1	2007	132,50	6,25	43,99	1.934,68
2	2017	118,00	12,50	29,49	869,37
3	2013	108,88	18,75	20,36	414,53
4	2009	99,50	25,00	10,99	120,67
5	2008	93,50	31,25	4,99	24,85
6	2011	91,17	37,50	2,65	7,03
7	2006	84,00	43,75	(4,52)	20,39
8	2020	83,50	50,00	(5,02)	25,15
9	2015	79,33	56,25	(9,18)	84,30
10	2019	79,00	62,50	(9,52)	90,54
11	2012	76,13	68,75	(12,39)	153,51
12	2014	76,13	75,00	(12,39)	153,51
13	2010	74,00	81,25	(14,52)	210,69
14	2018	70,00	87,50	(18,52)	342,81
15	2016	62,10	93,75	(26,42)	697,75
Total		1.327,73	750,00	-	5.149,77

Berdasarkan 15 total data yang telah di olah, nilai rata-rata curah hujan maksimum sebesar 88,52 mm dengan nilai standard deviasi 19,18 (Tabel 3). Nilai tersebut menunjukkan curah hujan rentang 60-100. mm adalah curah hujan dengan frekuensi yang cukup besar dan berpotensi paling sering terjadi. Namun tidak menutup kemungkinan curah hujan yang lebih besar juga dapat terjadi.

**Tabel 3.** Nilai standar deviasi.

No	Parameter	Nilai
1	Total Value (n)	15,00
2	Rr Rata-rata (mm)	88,52
3	Sr standar Deviasi	19,18

Perhitungan ini akan menggunakan kala ulang 10 tahun dengan mempertimbangkan konstruksi yang akan dibangun. Konstruksi didesain minimal dapat bertahan atau mengakomodir curah hujan maksimal yang terjadi dalam 10 tahun dengan potensi curah hujan maksimalnya yaitu 121,49 mm (Tabel 4). Nilai ini yang akan dijadikan acuan dalam perhitungan debit limpasan.

**Tabel 4.** Perhitungan kala ulang tahunan.

No	Kala Ulang (Tahun)	Yt	Kt	Rt (mm)
1	2	0,37	0,14	86,09
2	5	1,50	0,97	107,39
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>2,25</b>	<b>1,70</b>	<b>121,49</b>
4	25	3,20	2,63	139,31
5	50	3,90	3,32	152,53
6	100	4,60	4,00	165,65

**b. Perhitungan debit limpasan**

Berdasarkan perhitungan waktu konsentrasi yang dibutuhkan untuk mencapai debit aliran tertinggi yaitu sebesar 0,24 jam. Ketinggian curah hujan yang terbentuk dapat mencapai hingga 108,58 mm/jam. Hasil perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah.

**Tabel 5.** Hasil perhitungan durasi waktu dan intensitas hujan.

Kala Ulang 10 Tahun	
Intensitas Hujan (I)	Durasi waktu (t)
108,58 mm/jam	0,24 jam

Air limpasan (*surface run off*) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau, atau lautan. Perhitungan debit limpasan menggunakan nilai koefisien limpasan (C) sebesar 0,65. Nilai C sama dengan 0,65 artinya area tersebut dalam kondisi selesai didumping (*final dump*) dan telah dilakukan penebaran tanah pucuk (*spreading topsoil*).

Nilai infiltrasi yang terbentuk dihitung berdasarkan jenis tanahnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Syukur (2009), laju infiltrasi dapat diklasifikasi berdasarkan jenis tanahnya pada Tabel 6. Jenis tanah pada lokasi penelitian yaitu tanah latosol dan litosol, maka dapat dihitung besaran debit air yang terinfiltrasi perdetik.

**Tabel 6.** Laju Infiltrasi beberapa jenis tanah (Syukur, 2009).

No	Jenis Tanah	Laju Infiltrasi Konstan	
		cm/jam	m <sup>3</sup> /jam/ha
1	Aluvial Kelabu	37	3709
2	Litosol	35,55	3551
3	Komplek Latosol-Litosol Asosiasi	5,21	519
4	Mediteran Merah-Litosol	4,18	418

Perhitungan debit infiltrasi dengan menggunakan luasan yang sama dengan area tangkapan dan laju infiltrasi 519 m<sup>3</sup>/jam/ha, didapatkan debit infiltrasi sebesar 9,72 m<sup>3</sup>/s. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Perhitungan debit infiltrasi.

No	Parameter	Nilai	Unit
1	Laju infiltrasi	519	m <sup>3</sup> /jam/ha
2	Luas area tangkapan	0,674	km <sup>2</sup>
3	<b>Debit infiltasi</b>	<b>9,72</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

Berdasarkan batas-batas aliran air dengan menggunakan aplikasi Minex maka dapat ditentukan besar daerah tangkapan air sebesar 0,674 km<sup>2</sup>. Hasil perhitungan didapatkan debit curah hujan maksimum sebesar 13,22 m<sup>3</sup>/s (Tabel 8).

**Tabel 8.** Hasil perhitungan debit curah hujan kala ulang 10 tahunan.

No	Parameter	Unit	Hasil
1	Elevasi tertinggi	RL	150
2	Elevasi terendah	RL	90
3	Panjang Aliran	km	1,2
4	Waktu konsentrasi	hr	0,24
5	Curah hujan kala ulang 10 tahun	mm	121,49
6	Intensitas Hujan	mm/hr	108,58
7	Tangkapan area	km <sup>2</sup>	0,674
8	Koefisien aliran permukaan		0,65
9	<b>Discharge (Qrunoff)</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>13,22</b>

*Desain aliran saluran terbuka*

a. Perhitungan dimensi dan debit saluran terbuka

Pembuatan saluran terbuka di Tiung AB-Dump akan dimulai dari titik tangkapan air pada elevasi timbunan yang paling tinggi hingga paling rendah pada elevasi RL 150 hingga elevasi terendah yaitu RL 90 yang kemudian outletnya akan keluar ke AB Void sebagai kolam pengendapan sementara.

Hasil akhir dari perhitungan dimensi saluran ini adalah mendapatkan debit air tampungan sesuai dengan rumus manning sesuai dengan Tabel 9. Nilai debit air tampungan harus lebih besar dari debit air limpasan yang masuk untuk menghindari banjir atau *overtopping*.

**Tabel 9** Hasil perhitungan kapasitas debit saluran.

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Lebar saluran permukaan	CW	5,60	m
2	Lebar saluran basah	W	5,00	m
3	Tinggi saluran	H	1,30	m
4	Luas penampang basah	A	4,00	m <sup>2</sup>
5	Luas penampang total	O	5,83	m
6	Jari-jari hidrolik	R	0,69	m
7	Kecepatan maksimum	V	5,27	m/s
8	<b>Kapasitas debit Saluran</b>	<b>Q</b>	<b>21,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

Berdasarkan perhitungan dimensi saluran, didapatkan debit tampungan lebih besar dari debit yang masuk. Nilai debit tampungan yang didapatkan sebesar 21,09 m<sup>3</sup>/detik. Nilai *safety factor* didapatkan dengan membagi debit tampungan dengan debit limpasan sebesar 1,6. Nilai tersebut menunjukkan geometri saluran pada perhitungan tersebut dapat digunakan.

b. Pola aliran

Penentuan pola aliran ditentukan oleh kecepatan aliran yang terbentuk pada jalur drainase. Pola aliran berpotensi akan membentuk gerusan yang dapat merusak saluran. Klasifikasi pola aliran dari pemodelan sebelumnya dapat ditentukan dengan melihat bilangan *froud*. Nilai tersebut menunjukkan arus aliran yang bersifat sub kritis, kritis dan superkritis.



**Tabel 10.** Tabel perhitungan *Froud Number*

No	Parameter	Nilai	Unit
1	Kecepatan Aliran	5,27	m/s
2	Luas Basah	4,00	m <sup>2</sup>
3	Lebar Puncak	5,00	m
4	<b><i>Froud Number</i></b>	<b>1,88</b>	<b>Aliran Super-Kritis</b>

Hasil perhitungan pada Tabel 10 menunjukkan bahwa aliran air yang terbentuk berpotensi menunjukkan arus aliran superkritis dengan nilai  $F > 1$ . Hasil ini menunjukkan bahwa lokasi tersebut membutuhkan perkuatan untuk menghindari gerusan pada saluran terbuka yang telah direncanakan.

c. Desain drainase menggunakan *tyre drop structure*

Saluran dengan kategori superkritis harus dilakukan perkuatan pada saluran terbuka yang direncanakan. Saluran ini bagian paling penting untuk mendukung teknik konservasi air di area rehabilitasi tambang.

**Tabel 11.** Tabel perhitungan *Tyre drop structure*

No	Parameter	Koefisien	Nilai	Satuan
1	Panjang Horisontal	Lt =	230	m
2	Tinggi Vertikal	Ht =	50	m
3	Kemiringan slope		0,015	
4	Tinggi drop yang layak	$\Delta H$ =	3,45	m
5	Total ketinggian drop structure yang harus diterima	$\sum h_s$ =	46,55	m
6	Masing-masing tinggi drop	hd =	0,75	m
7	Jumlah <i>drop structure</i>	N =	62	Drops
8	Jarak antar <i>drop structure</i>	L =	3,7	m
9	<b>Kecepatan aliran di TDS</b>	<b>V =</b>	<b>3,8</b>	<b>m/s</b>

Konstruksi *tyre drop structure* menggunakan ban bekas yang sudah aus dan tidak bisa digunakan lagi. Ban bekas yang dibutuhkan cukup banyak namun biaya yang dibutuhkan tidak terlalu besar karena biaya yang diperlukan hanya biaya pemindahan. Di sisi lain, barang bekas ini termasuk salah satu limbah tambang namun dapat dipergunakan sebagai salah satu aspek pendukung reklamasi tambang.

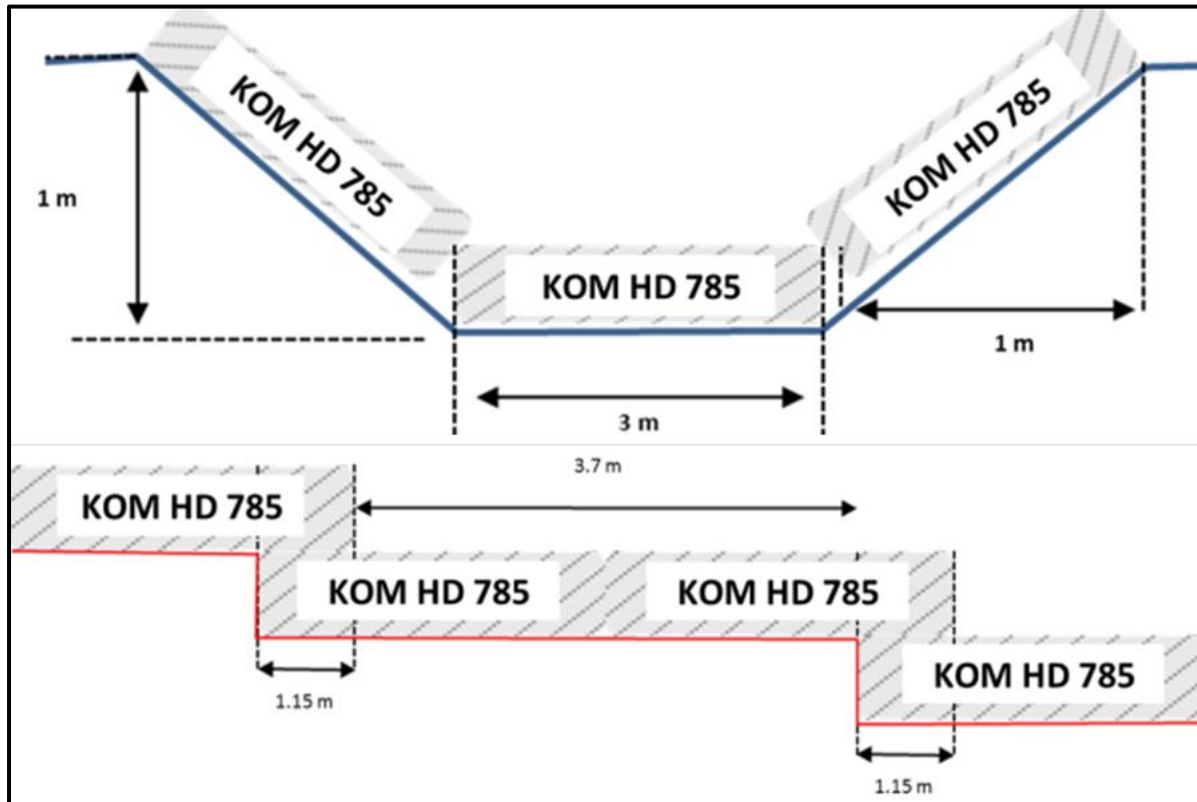
d. Estimasi efektivitas reduksi laju erosi

Perkuatan yang diajukan yaitu dengan menggunakan Ban bekas unit Kom HD 785 dengan spesifikasi ban tinggi 0,75 m dan lebar 3 meter.

Ban bekas kemudian disusun dengan bentuk *drop structure* menyesuaikan dengan desain saluran terbuka yang telah dihitung sebelumnya. Terjadinya disipasi energi pada setiap tingkatan *drop structure* dapat menurunkan laju kecepatan aliran yang sebelumnya sebesar 5,27 m/s turun ke 3,8 m/s sesuai dengan perhitungan pada Tabel 11.

Penyusunan *drop structure* membutuhkan sebanyak 62 drop dengan jarak antar *drop structure* adalah 3,7 meter, untuk menghasilkan desain yang sesuai maka ukuran *tyre* yang ditumpuk secara vertikal sebesar 1,1 meter dengan 2 *tyre drop structure* yang disusun secara horizontal (Gambar 6). Susunan ini membutuhkan jumlah ban sebanyak sekitar 370 ban dengan kemiringan *slope* 1,5%.

Penentuan efektivitas dari penggunaan *tyre drop structure* dibagi menjadi dua yaitu dilihat dari sisi kualitas dan kuantitas. Secara kualitas mempertimbangkan keberlangsungan saluran terbuka sesuai dengan yang direncanakan yaitu bertahan hingga minimal 10 tahun dan dari sisi kuantitas adalah jumlah penurunan laju erosi yang didapatkan setelah menerapkan teknik konservasi air terasering yang didukung dengan saluran *tyre drop structure*.



Gambar 6. Susunan TDS yang direncanakan.

Tabel 12. Kecepatan aliran maksimum (USDA, 2007).

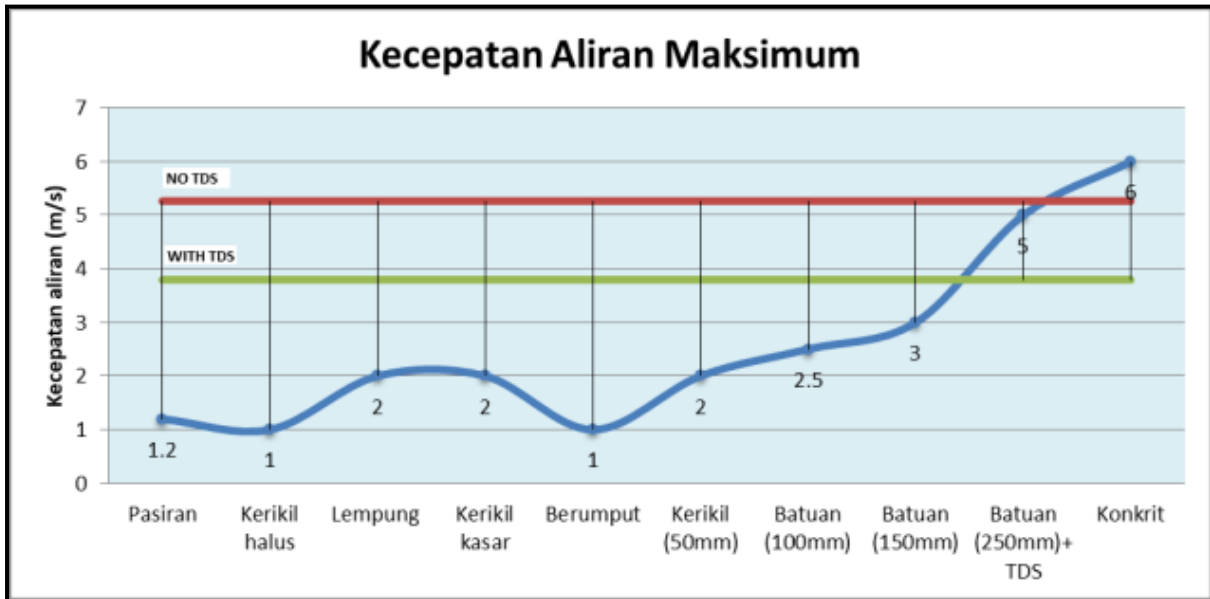
Kecepatan Maksimum		
No	Kondisi aliran	V (m/s)
1	Pasir/lanau lempung	0.5 - 1.2
2	kerikil halus	1
3	Lempung keras	1 - 2
4	Kerikil kasar	1 - 2
5	Berumput	1
6	Kerikil (50mm)	2
7	Bebatuan (100mm)	2.5
8	Bebatuan (150mm)	3
9	<b>Bebatuan (250mm min)</b>	<b>5</b>
10	Konkrit (semen)	6

Kualitas dari aliran dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang akan melalui saluran dan maksimum yang diperbolehkan. Kecepatan aliran tidak boleh lebih besar dari kecepatan yang diperbolehkan karena dapat menyebabkan gerusan pada saluran terbuka. Rangkuman kelayakan aliran pada saluran terbuka dapat dilihat dengan menggunakan acuan kecepatan aliran maksimum dari USDA (2007) seperti pada Tabel 12.

Hasil rangkuman menunjukkan kondisi aliran orisinil, kerikil dan fragmen batuan masuk dalam kondisi tidak layak. Kondisi aliran yang layak yaitu dengan konkrit namun potensi biaya sangat tinggi. Oleh karena itu, penggunaan *tyre drop structure* menurunkan kecepatan aliran dan masuk dalam kecepatan yang diperbolehkan dengan TDS ditambahkan dengan fragmen batuan dengan biaya yang lebih rendah karena menggunakan ban bekas yang sudah tidak digunakan (Gambar 7).

e. Efektivitas secara kuantitas

Efektivitas secara kuantitatif yaitu dengan membandingkan nilai laju erosi sebelum dan sesudah dilakukan teknik konservasi. Potensi penurunan laju erosi dilakukan estimasi dengan melakukan perhitungan laju erosi menggunakan metode RUSLE. Parameter yang berubah setelah penerapan *tyre drop structure* adalah nilai faktor P. Oleh karena itu dapat disimulasikan perhitungan laju erosi menggunakan nilai P berdasarkan Tabel 13.



Gambar 7. Grafik kecepatan maksimum aliran yang diperbolehkan.

Tabel 13. Rangkuman kelayakan aliran pada saluran terbuka.

No	Kondisi	Kecepatan aliran	Kecepatan yang diperbolehkan	Status
1	Orisinil	5,27	1-2	Tidak layak
2	Kerikil	5,27	2-2,5	Tidak layak
3	Bebatuan (1.5cm)	5,27	3	Tidak layak
4	<b>TDS + Bebatuan (2.5 cm)</b>	<b>3,8</b>	<b>4-5</b>	<b>Layak</b>
5	Konkrit	5,27	6	Layak, namun biaya tinggi

Tabel 14. Tabel estimasi penurunan laju erosi dengan konservasi.

No	Tindakan konservasi	Faktor P	Potensial Laju Erosi (ton/ha/bulan)	Persentase penurunan
1	Tanpa tindakan konservasi	1	292,36	0%
2	Pengolahan tanah kemiringan >20%	0,9	263,13	10%
3	Pengolahan tanah kemiringan 9-20%	0,75	219,27	25%
4	Pengolahan tanah kemiringan 0-8%	0,5	146,18	50%
5	Strip tanaman rumput (padang rumput)	0,4	116,95	60%
6	Teras tradisional baik	0,4	116,95	60%
7	Teras kurang baik	0,35	102,33	65%
8	Teras konstruksi sedang	0,15	43,85	85%
9	Teras Konstruksi Baik	0,04	11,69	96%

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Tabel 14 dan Gambar 8 tindakan konservasi memberikan nilai potensi laju erosi yang berbeda dan menunjukkan penurunan secara bertahap. Tanpa tindakan konservasi laju erosi sebesar 292,36 ton/ha/bulan. Pengolahan tanah dengan kemiringan >20% hingga <8% dapat menurunkan potensial laju erosi sebesar 50% atau sebesar 146,18 ton/ha/bulan. Penggunaan teknik terasering tradisional memiliki nilai yang sama dengan penanaman *strip* tanaman rumput dapat menurunkan laju

erosi sebesar 60% hingga ke 116,95 ton/ha/bulan. Kualitas konstruksi terasering sangat mempengaruhi laju erosi, dengan konstruksi kurang baik hingga sedang dapat menurunkan hingga 65 – 85%.

Tindakan konservasi terasering dengan penataan yang sesuai dengan perencanaan dapat menurunkan laju erosi sebesar 96% hingga ke 11,7 ton/ha/bulan sehingga masuk dalam kategori laju erosi yang tidak berbahaya.



Gambar 8. Persentase penurunan laju erosi terhadap tindakan konservasi.

## Kesimpulan

Pertama; tingkat laju erosi di area Tiung AB-Dump Departemen Hatari PT. Kaltim Prima Coal masuk dalam kategori tinggi. Laju erosi rata-rata perbulan adalah sebesar 292,4 ton/ha/bulan. Erosi paling rendah di bulan September yaitu 274.5 ton/ha/bulan dan erosi paling tinggi terbentuk di bulan Maret yaitu sebesar 301,8 ton/ha/bulan. Hal ini dipengaruhi oleh curah hujan yang secara umum dibagi dua, yaitu musim hujan dan kemarau. Kedua; berdasarkan perhitungan data curah hujan maksimum 15 tahun terakhir menggunakan Metode Gumbel, curah hujan maksimum yang berpotensi terjadi dengan kala ulang 10 tahun yaitu 121,49 mm/hari. Curah hujan harian tersebut masuk dalam kategori tinggi. Ketiga; pemodelan aliran air di Tiung-AB mengikuti teknik konservasi dengan menggunakan metode terasering. Debit air masuk dari hujan adalah sebesar 22,94 m<sup>3</sup>/s. Debit air yang mengalir di permukaan yaitu 13,22 m<sup>3</sup>/s dan debit air yang masuk kedalam tanah dalam bentuk infiltrasi sebesar 9,72 m<sup>3</sup>/s. Desain saluran terbuka yang didesain memiliki kemampuan debit sebesar 21,09 m<sup>3</sup>/s dengan kecepatan aliran 5,27 m/s. Keempat; pola aliran yang terbentuk

memiliki *froud number* > 1 menunjukkan aliran superkritis. Teknik konservasi dengan terasering yang baik dengan adanya perkuatan TDS di saluran terbuka secara kualitas menjadi layak karena dapat menurunkan kecepatan aliran hingga lebih rendah dari kecepatan yang diperbolehkan dan secara kuantitas nilai laju erosi dapat turun hingga 96% ke 11,7ton/ha/bulan.

## Ucapan terima kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih ke PT. Kaltim Prima Coal untuk segala dukungan dan fasilitas yang disediakan saat penelitian. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada *editor* dan *reviewer* atas bantuan, *review* dan masukan atas tulisan ini.

## Daftar Pustaka

- Apriadi, D., Kurniawan, M., Sumarjono dan Tanzilullah. 2017. *Technical Mining Operation Division Handbook*. Sangatta: PT. Kaltim Prima Coal.
- Fadda, S., Fiori, M. and Matzuzzi, C. 2010. *Developing rehabilitation design for the abandoned mine excavations in Central Sardinia, Italy*.

- International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 24(4), pp.286 – 306.  
<https://doi.org/10.1080/17480931003775607>
- Hancock, G.R., Duque, J.M. dan Willgoose, G.R. 2020. *Mining rehabilitation Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands*. Ecological Engineering. 155(15), pp.105836.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105836>
- Hancock, G.R., Lowry, J.C. dan Coulthard, T.J. 2015. *Catchment reconstruction – erosional stability at millennial time scales using landscape evolution models*. Geomorphology. 231, pp.15 – 27.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.034>
- Molla, T. dan Shiseber, M. 2016. *Estimating Soil Erosion Risk and Evaluating Erosion Control Measures for Soil Conservation Planning at Koga Watershed, Highlands of Ethiopia*. Solid Earth. 8(1), pp.13 – 25.  
<https://doi.org/10.5194/se-8-13-2017>
- Nabi, G., Hussain, F., Wu, R.-S., Nangia, V., Bibi, R. dan Majid, A. 2017. *Optimizing micro watershed management for soil erosion control under various slope gradient and vegetation cover conditions using SWAT modeling*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. Preprint.  
<https://doi.org/10.5194/hess-2017-532>
- Renard, K., Foster, G., Essies, G., McCool, D. dan Yoder, D. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. United States Government Printing.
- Sukardi, N., Sikumbang, I., Umar dan Sunaryo, R. 1995. *Peta Geologi Lembar Sangatta*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi.
- Syukur, S. (2009). *Laju infiltrasi dan peranannya terhadap pengelolaan daerah aliran sungai Allu-Bangkala*. Agroland. 16(3), pp.231 – 236.  
<http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/AGROLAND/article/view/251>
- USDA. 2007. *Stream Restoration Design National Engineering Handbook*. Washington D.C: Natural Resources Conservation Service.
- Wantzen, K.M. dan Mol, J.H. 2013. *Soil Erosion from Agriculture and Mining: A Threat to Tropical Stream Ecosystems*. Agriculture. 3(4), pp.660 – 683.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture3040660>